



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

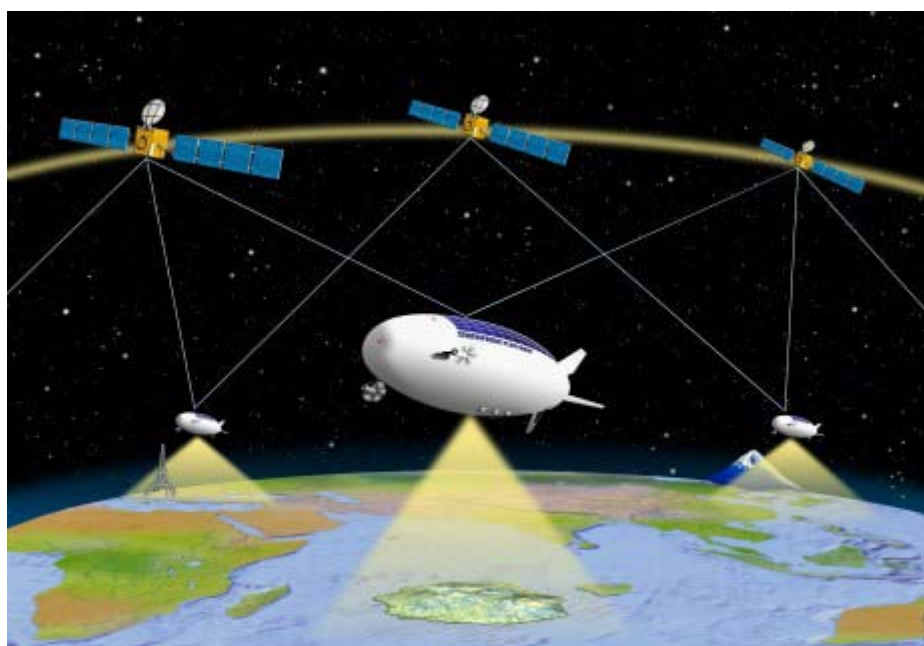
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΜΕΣΩ ΣΤΡΑΤΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΠΛΑΤΦΟΡΜΩΝ

Δήμητρα Κανελλοπούλου



Επιβλέπων Καθηγητής: Φίλιππος Κωνσταντίνου

Αθήνα, Οκτώβριος 2003

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	vii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Αρχές τηλεπισκόπησης	1
1.1. Τι είναι η τηλεπισκόπηση	2
1.2. Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα: Φωτόνια.....	4
1.2.1. Κατανομή ακτινοβολούμενης ενέργειας.....	7
1.2.2. Διάδοση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μέσα από την ατμόσφαιρα ...	10
1.2.3. Διάδοση, απορρόφηση, ανάκλαση.....	16
1.2.4. Ραδιομετρικά μεγέθη	19
1.2.5. Φασματικές υπογραφές.....	21
1.3. Βιβλιογραφία 1 ^{ου} Κεφαλαίου	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Εφαρμογές περιβαλλοντικής παρακολούθησης και εκτίμησης καταστροφών.....	24
2.1. Παγκόσμιες αλλαγές στο σύστημα της γης	24
2.1.1. Αντιμέτωποι με τις συνέπειες	26
2.1.2. Προβλέψεις για το μέλλον	27
2.1.3. Διεθνής απόκριση για την υποστήριξη του πλανήτη	29
2.2. Η σημασία της περιβαλλοντικής παρακολούθησης.....	30
2.2.1. Ανάγκη παρατήρησης της γης	30
2.2.2. Εφαρμογές περιβαλλοντικής παρακολούθησης και εκτίμησης καταστροφών	31
2.2.2.1. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου.....	32
2.2.2.1.1. Μια παγκόσμια ευθύνη	34
2.2.2.1.2. Τηλεπισκοπικοί αισθητήρες για την παρακολούθηση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου	35
2.2.2.2. Αποθέματα νερού.....	36
2.2.2.2.1. Μία βασική ανάγκη	36
2.2.2.2.2. Παρατηρώντας και κατανοώντας τον κύκλο του νερού	38
2.2.2.2.3. Ο ρόλος των τηλεπισκοπικών συστημάτων.....	39
2.2.2.3. Παρακολούθηση ωκεανών.....	40
2.2.2.3.1. Ο πλανήτης των ωκεανών.....	40
2.2.2.3.2. Διαδικασίες και φαινόμενα που χρήζουν παρατήρησης.....	41
2.2.2.3.3. Η σπουδαιότητα των συστημάτων περιβαλλοντικής παρακολούθησης.....	44
2.2.2.4. Παρακολούθηση του όζοντος	45
2.2.2.4.1. Το στρώμα του όζοντος	45
2.2.2.4.2. Η σπουδαιότητα των συστημάτων παρακολούθησης της γης.....	48
2.2.3. Εκτίμηση και διαχείριση φυσικών καταστροφών	51
2.2.3.1. Πληροφορία για τη διαχείριση των καταστροφών	53
2.2.3.2. Ο ρόλος των δορυφόρων παρακολούθησης της γης.....	54
2.2.3.3. Τα κυριότερα επικίνδυνα φυσικά φαινόμενα	54
2.2.3.3.1. Πλημμύρες	54
2.2.3.3.2. Καταστροφικοί σεισμοί	56
2.2.3.3.3. Πετρελαιοκηλίδες	56
2.2.3.3.4. Κυκλώνες	57
2.2.3.3.5. Ηφαίστεια.....	58
2.2.3.3.6. Καταστρεπτικές φωτιές.....	59
2.3. Βιβλιογραφία 2 ^{ου} Κεφαλαίου.....	62

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Τεχνολογία τηλεπισκοπικών αισθητήρων	63
3.1. Γενικά.....	63
3.2. Κυριότερα χαρακτηριστικά και είδη τηλεπισκοπικών αισθητήρων.....	65
3.2.1. Χωρική ανάλυση, μέγεθος pixel και κλίμακα	69
3.2.2. Φασματική ανάλυση	73
3.2.3. Ραδιομετρική ανάλυση	76
3.2.4. Χρονική ανάλυση	77
3.2.5. Πολυφασματική ανίχνευση.....	79
3.2.6. Υπερφασματική τηλεπισκόπηση	84
3.2.7. Θερμική απεικόνιση.....	88
3.2.8. Γεωμετρικές παραμορφώσεις στην απεικόνιση.....	90
3.3. Αισθητήρες, όργανα και τεχνολογία που χρησιμοποιείται σήμερα.....	92
3.3.1. Ραντάρ συνθετικού ανοίγματος SAR (Synthetic Aperture Radar).....	93
3.3.1.1. Εφαρμογές SAR.....	98
3.3.2. GOME (Global Ozone Monitoring Experiment).....	98
3.3.2.1. Λειτουργικά τμήματα του οργάνου	99
3.3.2.1.1. Οπτικά στοιχεία φασματομέτρου.....	100
3.3.2.1.2. Εστιακά επίπεδα συγκέντρωσης (FPA's)	101
3.3.2.1.3. Μονάδα βαθμονόμησης	102
3.3.2.1.4. Μονάδα ανίχνευσης	103
3.3.2.1.5. Συσκευή μέτρησης πόλωσης.....	104
3.3.2.1.6. Μονάδα επεξεργασίας ψηφιακής πληροφορίας.....	105
3.3.2.1.7. Εξοπλισμός θερμικού ελέγχου.....	105
3.3.2.1.8. Δομή οπτικής έδρας	106
3.3.2.2. Εφαρμογή οργάνου GOME: Ανίχνευση επιπέδου όζοντος και άλλων αερίων	106
3.3.3. Wind Scatterometer	111
3.3.4. Εξελιγμένο ραδιόμετρο πολύ υψηλής ανάλυσης AVHRR.....	114
3.3.5. Θεματικός χαρτογράφος TM (Thematic Mapper).....	121
3.3.6. Ραδιόμετρο ανίχνευσης κατά μήκος της τροχιάς ATSR	128
3.3.7. Υψομετρικό ραντάρ (Radar Altimeter)	132
3.3.8. SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field of view Sensor).....	135
3.3.8.1. Εφαρμογές του αισθητήρα SeaWiFS.....	137
3.3.9. GLAS (Geoscience Laser Altimeter System)	139
3.4. Βιβλιογραφία 3 ^{ου} Κεφαλαίου.....	142
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Δορυφόροι περιβαλλοντικής παρακολούθησης.....	144
4.1. Χαρακτηριστικά δορυφόρων περιβαλλοντικής παρακολούθησης: τροχιές και ανιχνεύσιμα μονοπάτια.....	144
4.1.1. Δορυφόροι γεωστατικής τροχιάς	145
4.1.2. Δορυφόροι πολικής τροχιάς.....	145
4.1.2.1. Ηλιακά συγχρονισμένοι δορυφόροι πολικής τροχιάς.....	148
4.1.2.1.1. Πλεονεκτήματα της ηλιακά συγχρονισμένης τροχιάς.....	149
4.1.2.1.2. Περιορισμοί για την ηλιακά συγχρονισμένη τροχιά.....	150
4.2. Ανιχνεύσιμα μονοπάτια	151
4.3. Δορυφόροι παρακολούθησης καιρικών φαινομένων.....	153
4.3.1. GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite)	154
4.3.2. Δορυφόροι NOAA	156
4.3.3. DMSP δορυφόροι	158
4.3.4. Άλλοι μετεωρολογικοί δορυφόροι.....	159
4.4. Δορυφόροι παρακολούθησης του εδάφους	161

4.4.1. Landsat	161
4.4.2. SPOT (Système Pour l'Observation de la Terre)	164
4.4.3. IRS (Indian Remote Sensing)	167
4.4.4. JERS-1 (Japanese Earth Resources Satellite)	168
4.4.5. ALOS (Advanced Land Observing Satellite)	170
4.5. Δορυφόροι παρακολούθησης των θαλασσών	171
4.5.1. Nimbus-7	172
4.5.2. MOS (Marine Observation Satellite-1)	173
4.5.3. SeaStar	175
4.6. Δορυφόροι παρακολούθησης του εδάφους, των ωκεανών και της ατμόσφαιρας	176
4.6.1. ADEOS (Advanced Earth Observing Satellite)	176
4.6.2. ADEOS-II	177
4.6.3. ERS-1 (European Remote Sensing Satellite No.1)	178
4.6.4. Aqua	179
4.7. Βιβλιογραφία 4 ^{ου} Κεφαλαίου	181
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Στρατοσφαιρικές πλατφόρμες	183
5.1. Η ιδέα για τις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες HAPs	183
5.2. Εισαγωγή στη νέα σχεδιαζόμενη τεχνολογία των HAPs	186
5.2.1. HAPs σε μορφή αερόπλοιων (airship HAPs)	188
5.2.2. HAPs σε μορφή αεροσκαφών (aeroplane HAPs)	189
5.3. HALE (High Altitude Long Endurance Stratospheric Airships)	192
5.4. Κατανομή συχνοτήτων για τις υπηρεσίες που παρέχονται από τα HAPs	194
5.5. Τεχνικά προβλήματα της τεχνολογίας των στρατοσφαιρικών πλατφορμών	194
5.6. Εναλλακτικές μορφές τροφοδότησης των στρατοσφαιρικών πλατφορμών	195
5.6.1. Ηλιακά τροφοδοτούμενες πλατφόρμες	195
5.6.2. Μηχανές ανάφλεξης	196
5.6.3. Μικροκυματικά-τροφοδοτούμενες πλατφόρμες	196
5.7. Βιβλιογραφία 5 ^{ου} Κεφαλαίου	198
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Μελέτη υπαρξιμότητας των στρατοσφαιρικών πλατφορμών για εφαρμογή τηλεπισκόπησης, περιβαλλοντική παρακολούθηση και διαχείριση φυσικών καταστροφών & έκτακτων περιστατικών	200
6.1. Εισαγωγή	200
6.2. Υπάρχουσες στρατοσφαιρικές πλατφόρμες για τηλεπισκόπηση, περιβαλλοντική παρακολούθηση και διαχείριση φυσικών καταστροφών	202
6.2.1. Στρατοσφαιρικοί δορυφόροι (Stratospheric Satellites)	203
6.2.1.1. Περιγραφή πλατφόρμας	203
6.2.1.2. Ικανότητες και χαρακτηριστικά	205
6.2.1.3. Λειτουργία στρατοσφαιρικών δορυφόρων (StratoSat)	206
6.3. Μελέτη για την εύρεση των κατάλληλων αισθητήρων για στρατοσφαιρικές πλατφόρμες τηλεπισκόπησης	207
6.3.1. Εισαγωγή	207
6.3.1.1. Απεικονιστικά μικροκυματικά ραντάρ	209
6.3.1.1.1. Περιγραφή	209
6.3.1.1.2. Πρόταση της διπλωματικής – δυνατότητα εφαρμογής στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες	211
6.3.1.2. Όργανα ατμοσφαιρικής χημείας	212
6.3.1.2.1. Περιγραφή	212
6.3.1.2.2. Πρόταση της διπλωματικής – δυνατότητα εφαρμογής στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες	213

6.3.1.3. Wind Scatterometer	215
6.3.1.3.1. Περιγραφή.....	215
6.3.1.3.2. Πρόταση της διπλωματικής – δυνατότητα εφαρμογής στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες.....	215
6.3.1.4. Απεικονιστικά πολυφασματικά ραδιόμετρα.....	216
6.3.1.4.1. Περιγραφή.....	216
6.3.1.4.2. Πρόταση της διπλωματικής – δυνατότητα εφαρμογής στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες.....	217
6.3.1.5. Απεικονιστές υψηλής ανάλυσης	218
6.3.1.5.1. Περιγραφή.....	218
6.3.1.5.2. Πρόταση της διπλωματικής – δυνατότητα εφαρμογής στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες.....	218
6.3.1.6. Πολυκατευθυντικά ραδιόμετρα	219
6.3.1.6.1. Πολυκατευθυντικά ραδιόμετρα-Περιγραφή.....	219
6.3.1.6.2. Πρόταση της διπλωματικής – δυνατότητα εφαρμογής στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες.....	221
6.3.1.7. Υψομετρικά ραντάρ	222
6.3.1.7.1. Περιγραφή.....	222
6.3.1.7.2. Πρόταση της διπλωματικής – δυνατότητα εφαρμογής στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες.....	222
6.3.1.8. Ραδιόμετρα των χρωμάτων των ωκεανών / απεικονιστικά φασματόμετρα.....	223
6.3.1.8.1. Περιγραφή.....	223
6.3.1.8.2. Πρόταση της διπλωματικής – δυνατότητα εφαρμογής στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες.....	223
6.3.1.9. Lidars	224
6.3.1.9.1. Lidars-Περιγραφή	224
6.3.1.9.2. Πρόταση της διπλωματικής – δυνατότητα εφαρμογής στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες.....	225
6.3.1.10. Γενικές παρατηρήσεις.....	226
6.4. Εφαρμογές στις οποίες θα μπορούσαν να φανούν χρήσιμες οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες (HAPs/HALE)	230
6.4.1. Εισαγωγή	230
6.4.2. Τηλεπισκόπηση μέσω στρατοσφαιρικών πλατφορμών για τη διαχείριση των φυσικών καταστροφών	232
6.4.2.1. Πλημμύρες	233
6.4.2.1.1. Περιγραφή φαινομένου.....	233
6.4.2.1.2. Κενά/ελλείψεις και προοπτικές βελτίωσης των τηλεπισκοπικών ικανοτήτων.....	233
6.4.2.1.3. Οι δυνατότητες τηλεπισκόπησης με χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών	234
6.4.2.2. Σεισμοί.....	238
6.4.2.2.1. Περιγραφή φαινομένου.....	238
6.4.2.2.2. Κενά/ελλείψεις και προοπτικές βελτίωσης των τηλεπισκοπικών ικανοτήτων.....	239
6.4.2.2.3. Οι δυνατότητες τηλεπισκόπησης με χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών	239
6.4.2.3. Σοβαρές καταιγίδες/θύελλες	242
6.4.2.3.1. Περιγραφή φαινομένου.....	242

6.4.2.3.2. Κενά/ελλείψεις και προοπτικές βελτίωσης των τηλεπισκοπικών ικανοτήτων.....	243
6.4.2.3.3. Οι δυνατότητες τηλεπισκόπησης με χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών	243
6.4.2.4. Καταστρεπτικές φωτιές.....	246
6.4.2.4.1. Περιγραφή φαινομένου.....	246
6.4.2.4.2. Κενά/ελλείψεις και προοπτικές βελτίωσης των τηλεπισκοπικών ικανοτήτων.....	247
6.4.2.4.3. Οι δυνατότητες τηλεπισκόπησης με χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών	249
6.4.2.5. Κατολισθήσεις	252
6.4.2.5.1. Περιγραφή φαινομένου.....	252
6.4.2.5.2. Κενά/ελλείψεις και προοπτικές βελτίωσης των τηλεπισκοπικών ικανοτήτων.....	253
6.4.2.5.3. Οι δυνατότητες τηλεπισκόπησης με χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών.....	254
6.4.2.6. Ξηρασία/ανομβρία	256
6.4.2.6.1. Περιγραφή φαινομένου.....	256
6.4.2.6.2. Κενά/ελλείψεις και προοπτικές βελτίωσης των τηλεπισκοπικών ικανοτήτων.....	258
6.4.2.6.3. Οι δυνατότητες τηλεπισκόπησης με χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών	258
6.4.3. Οφέλη από τη χρήση της νέας τεχνολογίας των στρατοσφαιρικών πλατφορμών.....	261
6.4.4. Συμπεράσματα	262
6.5. Βιβλιογραφία 6 ^{ου} Κεφαλαίου.....	264

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της νέας σχεδιαζόμενης τεχνολογίας των στρατοσφαιρικών πλατφορμών καθώς και της δυνατότητας χρήσης τους στην περιβαλλοντική παρακολούθηση με χρήση τηλεπισκοπικών συστημάτων. Οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες, σήμερα αναφέρονται γενικά με τον όρο HAPs (High Altitude Platforms) ή HALE (High Altitude Long Endurance) – πλατφόρμες μεγάλου ύψους και μεγάλης αντοχής - και είναι συστήματα, συνήθως μη επανδρωμένα που χρησιμοποιούν την εξελιγμένη τεχνολογία των αεροδυναμικών αεροσκαφών και των αεροστατικών αερόπλοιων για τη λειτουργία τους σε στρατοσφαιρικά ύψη της τάξης των 18-25km από την επιφάνεια της γης. Τα συστήματα αυτά σχεδιάζονται για την παροχή τόσο τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών όσο και εφαρμογών περιβαλλοντικής παρακολούθησης και διαχείρισης φυσικών καταστροφών και αναμένεται να συμπληρώσουν ή και να επεκτείνουν τις δυνατότητες των σύγχρονων δορυφορικών συστημάτων στα αντίστοιχα πεδία. Στη συνέχεια, περιγράφονται με λίγα λόγια οι θεματικές ενότητες που περικλείονται σε καθένα από τα 6 κεφάλαια του παρόντος συγγράμματος.

Στο κεφάλαιο 1 εισάγεται η έννοια της επιστήμης της τηλεπισκόπησης και εντοπίζονται οι ανάγκες για την εφαρμογή της στην παρακολούθηση του γήινου οικοσυστήματος, όπως είναι η κατανόηση των ιδιομορφιών και της πολυπλοκότητας του πλανήτη μας, η διερεύνηση των αιτιών των ποικίλων περιβαλλοντικών και μετεωρολογικών φαινομένων και επιπλέον η ανάπτυξη τρόπων άμυνας και αντιμετώπισης αυτών. Κατόπιν, αναλύονται λεπτομερειακά τα βήματα που

ακολουθούνται κατά την τηλεπισκοπική διαδικασία των απεικονιστικών συστημάτων, ώστε να αντιληφθούμε τις βασικές αρχές της τεχνολογίας τους.

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι παγκόσμιες μεταβολές που επήλθαν στην ισορροπία του συστήματος της γης. Εξαιτίας των παραπάνω ανησυχητικών μεταβολών, η περιβαλλοντική παρακολούθηση μέσω τηλεπισκόπησης αποτελεί πλέον μια επιτακτική ανάγκη που θα συνεισφέρει σημαντικά στην κατανόηση της εξέλιξης κρίσιμων φαινομένων. Τέλος, τονίζεται η σημασία της εφαρμογής των σύγχρονων τηλεπισκοπικών δορυφορικών συστημάτων στην εκτίμηση και διαχείριση φυσικών καταστροφών, όπως είναι οι σεισμοί, οι ηφαιστειακές εκρήξεις, οι πλημμύρες, οι κυκλώνες και οι φωτιές.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά και είδη των ποικίλων σύγχρονων τηλεπισκοπικών συστημάτων και των τεχνολογιών μέτρησης και τεχνικών που χρησιμοποιούν, ώστε να μπορέσουμε να αξιολογήσουμε στη συνέχεια τη δυνατότητα εφαρμογής τους στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες. Κατόπιν, περιγράφονται ορισμένα από τα σημαντικότερα τηλεπισκοπικά συστήματα που χρησιμοποιούνται σήμερα σε αποστολές περιβαλλοντικής παρακολούθησης, όπως το SAR, το GOME, το Wind Scatterometer, το TM, το Radar Altimeter, το SeaWiFS, το AVHRR και το ATSR.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα κυριότερα σύγχρονα δορυφορικά συστήματα που χρησιμοποιούνται σήμερα για την τηλεπισκοπική παρακολούθηση του γήινου οικοσυστήματος – γη, θάλασσα, ατμόσφαιρα- καθώς και οι βασικές αρχές λειτουργίας τους ώστε να κατανοήσουμε τις δυνατότητες τους και να επικεντρωθούμε αργότερα στη δυνατότητα συμπλήρωσής τους μέσω της καινούριας ιδέας των στρατοσφαιρικών πλατφορμών.

Στο κεφάλαιο 5 εισάγονται τα βασικά στοιχεία της τεχνολογίας των στρατοσφαιρικών πλατφορμών και τα διάφορα είδη που έχουν προταθεί μέχρι σήμερα: τα αεροδυναμικά στρατοσφαιρικά αεροσκάφη και τα αεροστατικά στρατοσφαιρικά αερόπλοια. Ακόμη σημειώνονται τα τεχνικά προβλήματα και οι προκλήσεις που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι επιστήμονες προκειμένου να κατασκευάσουν το αρτιότερο σύστημα για τις επιθυμητές εφαρμογές.

Στο κεφάλαιο 6 που αποτελεί και το σημαντικότερο κομμάτι της εργασίας μας καθώς εξετάζουμε έναν έναν τους υπάρχοντες αισθητήρες, προτείνουμε για πρώτη φορά την εφαρμογή τους στη νέα τεχνολογία των στρατοσφαιρικών πλατφορμών για υπηρεσίες τηλεπισκόπησης, περιβαλλοντικής παρακολούθησης και διαχείρισης εκτάκτων περιστατικών. Καταρχήν, παρουσιάζουμε την σύγχρονη ερευνητική δραστηριότητα σχετικά με τη δυνατότητα κατασκευής της κατάλληλης στρατοσφαιρικής πλατφόρμας που θα συνεισφέρει σημαντικά στις ανάγκες επαρκών και αξιόπιστων παρατηρήσεων και μετρήσεων σχετικά με το σύστημα της γης. Κατόπιν, παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα της μελέτης μας σχετικά με τη δυνατότητα εκμετάλλευσης των ήδη υπάρχοντων τηλεπισκοπικών συστημάτων και των τεχνολογιών τους από τις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες για βελτιωμένες εφαρμογές περιβαλλοντικής παρακολούθησης και εκτίμησης και διαχείρισης φυσικών καταστροφών και εκτάκτων περιστατικών. Συγκεκριμένα, καταλήγουμε ότι η τεχνολογία των πλατφορμών μεγάλου ύψους και μεγάλης αντοχής παρουσιάζει την προοπτική παροχής πολύτιμης υποστήριξης σε μια ποικιλία κρίσιμων υπηρεσιών, όπως η τηλεπισκόπηση και επίβλεψη του περιβάλλοντος της γης, η εκτίμηση και διαχείριση φυσικών καταστροφών και επειγόντων περιστατικών ιδιαίτερα σε απομακρυσμένες και απρόσιτες περιοχές. Η νέα προτεινόμενη τεχνολογία μπορεί να παρέχει υψηλής χωρικής και χρονικής ανάλυσης παρακολουθήσεις και μετρήσεις, που δεν είναι επιτεύξιμες από τα υπόλοιπα τηλεπισκοπικά συστήματα ή που θα ήταν ιδιαίτερα δαπανηρό να χρησιμοποιηθούν.

Κλείνοντας τον πρόλογο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Φίλιππο Κωνσταντίνου για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα και για την αгаστή συνεργασία μας καθόλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας, όπως επίσης και τον υποψήφιο διδάκτορα Βασίλη Μήλα για την καθοδήγηση και τις πολύτιμες υποδείξεις του.

Δήμητρα Κανελλοπούλου
Αθήνα, Οκτώβριος 2003

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Αρχές τηλεπισκόπησης

Η τηλεπισκόπηση αποτελεί μια φυσική προέκταση της ανθρώπινης ανάγκης να εξερευνήσει και να κατανοήσει το περιβάλλον του. Ο άνθρωπος, τις τελευταίες δεκαετίες, με τους γοργούς ρυθμούς ανάπτυξης της τεχνολογίας, μπόρεσε να επεκτείνει τον τρόπο με τον οποίο παρατηρεί τον κόσμο σε μια προοπτική, η οποία ποτέ άλλοτε δεν ήταν τόσο χρήσιμη και αποτελεσματική. Χρησιμοποιώντας διαφόρων ειδών πλατφόρμες στον αέρα και στο διάστημα, και εφαρμόζοντας πολλαπλά πολύπλοκα τηλεπισκοπικά και απεικονιστικά συστήματα, μπορούμε πια να παρακολουθούμε τη γη, ξεπερνώντας τους περιορισμούς της ανθρώπινης όρασης. Μέσω αυτών των συστημάτων μπορούμε πλέον να “δούμε” μέσα από διαφορετικές φασματικές ζώνες, οι οποίες, προηγούμενα, ήταν αόρατες στο ανθρώπινο μάτι.

Η ικανότητα να συλλέξουμε πληροφορίες για τον κόσμο μας και να τις παρουσιάσουμε με τρόπους που μπορούν να γίνουν αντιληπτοί από την ανθρώπινη οπτική αντίληψη, αποτελεί τον υψηλότερο στόχο της απεικονιστικής επιστήμης στην τηλεπισκόπηση. Σε όλες τις εφαρμογές, από την περιβαλλοντική παρακολούθηση μέχρι τη συλλογή πληροφορίας υψηλότερων επιστημονικών δεδομένων, αναφαίνεται η ανάγκη για απόκτηση ακριβέστερων πληροφοριών με γρήγορους και αποτελεσματικούς τρόπους. Ακριβώς αυτή η ανάγκη έχει οδηγήσει στη μελέτη και ανάπτυξη εξαιρετικών τεχνολογιών, που βοηθούν τους επιστήμονες στην κατανόηση και αντιμετώπιση φαινομένων που θα μπορούσαν ακόμη και να απειλούν τον πλανήτη μας.

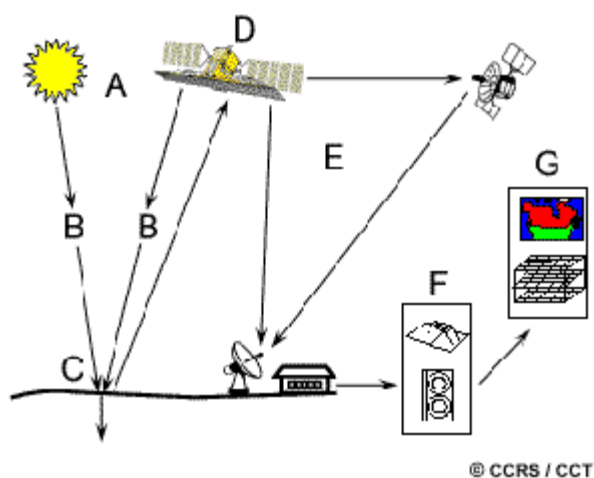
Ποτέ πριν ο άνθρωπος δεν μπορούσε να εξετάσει τη γη καθώς και τα διάφορα περιβαλλοντικά φαινόμενα με τόση ακρίβεια. Φυσικά φαινόμενα, όπως σεισμοί, κυκλώνες, καταιγίδες, πλημμύρες, ηφαιστειακές εκρήξεις καθώς και άλλα επικίνδυνα και καταστροφικά φαινόμενα στη στεριά και στη θάλασσα, αποτέλεσαν, κατά τη διάρκεια της ιστορίας, αντικείμενα φόβου, προλήψεων και δεισιδαιμονιών. Σήμερα, με τη βοήθεια της δορυφορικής τεχνολογίας, μπορούμε να παρατηρήσουμε και να αντιληφθούμε τις ιδιομορφίες και την πολυπλοκότητα του πλανήτη μας, να κατανοήσουμε τις αιτίες των διαφόρων περιβαλλοντικών και μετεωρολογικών φαινομένων και ενδεχομένως να αναπτύξουμε τρόπους άμυνας και αντιμετώπισης αυτών.

Η παρακολούθηση του γήινου οικοσυστήματος αποτελεί μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές της τηλεπισκόπησης. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται πλατφόρμες τόσο στον αέρα όσο και στο διάστημα, οι οποίες μας παρέχουν τη δυνατότητα κατανόησης των καιρικών συστημάτων, των κλιματολογικών μεταβολών καθώς και των διαφόρων γεωλογικών φαινομένων, από μια παγκόσμια οπτική.

1.1. Τι είναι η τηλεπισκόπηση

Με τον όρο τηλεπισκόπηση εννοούμε την απόκτηση πληροφοριών σχετικά με τις ιδιότητες ενός φαινομένου, ενός αντικειμένου ή ενός υλικού μέσω μιας καταγραφικής συσκευής η οποία δε βρίσκεται σε φυσική και άμεση επαφή με τα παρατηρούμενα αντικείμενα. Συνήθως για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται τεχνικές, οι οποίες επεξεργάζονται συσσωρευμένες πληροφορίες σχετικές με περιβαλλοντικά φαινόμενα και οι οποίες έχουν προκύψει από μετρήσεις πεδιακών δυνάμεων, ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ή ακουστικής ενέργειας με τη χρήση ραδιομέτρων, ανιχνευτών lasers, συστημάτων ραντάρ, ηχοβολιστικών και θερμικών συσκευών, σειсмоγράφων, μαγνητογράφων, βαρυμέτρων, σπινθηρομέτρων, φασματομέτρων και άλλων οργάνων. Η παραγόμενη πληροφορία από τα διάφορα όργανα παρατήρησης μπορεί να είναι σε μορφή εικόνας ή σε μορφή χαρτών ή γραφημάτων ανάλογα με την εφαρμογή και το επιθυμητό μετρούμενο χαρακτηριστικό.

Η κύρια διαδικασία που λαμβάνει χώρα κατά την τηλεπισκόπηση περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση ανάμεσα στην προσπίπτουσα ακτινοβολία και τους στόχους που μας ενδιαφέρουν. Η διαδικασία αυτή μπορεί να επεξηγηθεί μέσω των χρησιμοποιούμενων απεικονιστικών συστημάτων, τα οποία περιλαμβάνουν 7 διαφορετικά στάδια. Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η τηλεπισκόπηση περιλαμβάνει επίσης και τη μέτρηση της εκπεμπόμενης ενέργειας με τη χρήση μη απεικονιστικών συστημάτων. Τα 7 στοιχεία που αποτελούν την τηλεπισκοπική διαδικασία φαίνονται παραστατικά στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 1.1: Στάδια τηλεπισκοπικής διαδικασίας

- I. Πηγή ενέργειας ή ακτινοβολία (A) – η πρώτη απαίτηση για την τηλεπισκόπηση είναι η ύπαρξη μιας πηγής ενέργειας η οποία θα φωτίζει ή θα παρέχει ηλεκτρομαγνητική ενέργεια στον στόχο του ενδιαφέροντός μας.
- II. Ακτινοβολία και ατμόσφαιρα (B) – καθώς η ενέργεια διαδίδεται από την πηγή προς τον στόχο θα έρθει σε επαφή και θα αλληλεπιδράσει με την ατμόσφαιρα μέσα από την οποία διέρχεται. Αυτή η αλληλεπίδραση θα λάβει χώρα και δεύτερη φορά καθώς η ενέργεια θα διαδίδεται από τον στόχο προς τον αισθητήρα.
- III. Αλληλεπίδραση με το στόχο (C) – καθώς η ενέργεια προσπίπτει στον στόχο περνώντας μέσα από την ατμόσφαιρα, αλληλεπιδρά με το στόχο ανάλογα με τις ιδιότητες τόσο του στόχου όσο και της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.
- IV. Καταγραφή της ενέργειας από τον αισθητήρα (D) – μετά τη σκέδαση ή την εκπομπή της ακτινοβολίας από το στόχο απαιτείται ένας αισθητήρας

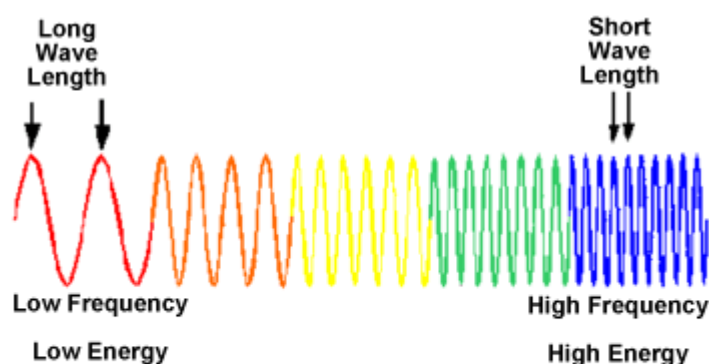
- (τηλεπισκοπικός, όχι σε επαφή με το στόχο) για τη συλλογή και την καταγραφή της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας.
- V. Εκπομπή, λήψη και επεξεργασία (E) – η καταγραφόμενη ενέργεια από τον αισθητήρα πρέπει να μεταδοθεί, συνήθως σε ηλεκτρονική μορφή, σε έναν σταθμό λήψης και επεξεργασίας όπου λαμβάνει χώρα η διαδικασία επεξεργασίας της πληροφορίας σε εικόνα.
- VI. Ερμηνεία και ανάλυση (F) – η παραγόμενη πληροφορία αναλύεται οπτικά ή/και ψηφιακά ή ηλεκτρονικά για την εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με τον αρχικά ακτινοβολούμενο στόχο.
- VII. Εφαρμογή (G) – το τελευταίο στάδιο της τηλεπισκοπικής διαδικασίας περιλαμβάνει την εφαρμογή της εξαγόμενης πληροφορίας από την εικόνα, για την καλύτερη κατανόησή της, την απόκτηση καινούριας πληροφορίας ή τη συμβολή της στην επίλυση κάποιου συγκεκριμένου προβλήματος.

1.2. Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα: Φωτόνια

Η βασική αρχή των περισσότερων μεθόδων και συστημάτων τηλεπισκόπησης είναι απλά η μέτρηση των ποικίλων ενεργειακών επιπέδων ενός αντικειμένου ή η μέτρηση του θεμελιώδους μεγέθους στο πεδίο ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων, γνωστό ως φωτόνιο. Όπως θα φανεί στη συνέχεια οι μεταβολές στην ενέργεια των φωτονίων συνδέονται στενά με την παράμετρο μήκος κύματος ή την αντίστροφή της, συχνότητα.

Όπως έχει ήδη ειπωθεί η πρώτη απαίτηση για την τηλεπισκοπική διαδικασία είναι η ύπαρξη μιας πηγής ενέργειας που θα ακτινοβολεί το στόχο (εκτός αν η ανιχνευόμενη ενέργεια εκπέμπεται από τον ίδιο το στόχο). Η ενέργεια αυτή έχει τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία η οποία ποικίλει από χαμηλά σε υψηλά ενεργειακά επίπεδα, συνθέτει το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Η ακτινοβολία προερχόμενη από διακεκριμένες ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος περιέχει φωτόνια σε διαφορετικά μήκη κύματος. Όταν οποιοδήποτε υλικό-στόχος διεγερθεί είτε από εσωτερικές διαδικασίες είτε από αλληλεπίδραση με προσπίπτουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, εκπέμπει φωτόνια σε διαφορετικά μήκη κύματος, των οποίων οι ραδιομετρικές ποσότητες διαφέρουν με τρόπο που μας επιτρέπει να αναγνωρίσουμε ή να ταξινομήσουμε τα διάφορα υλικά.

Το φωτόνιο αποτελεί το βασικό σωματίδιο το οποίο μελετάται στην κβαντομηχανική. Περιγράφεται, επίσης, ως η μικρότερη δέσμη φωτός καθώς και ως το σωματίδιο "αγγελιαφόρος" της ηλεκτρομαγνητικής δύναμης. Το σωματίδιο αυτό περιέχει ακτινοβολία, η οποία εκπέμπεται από την ύλη, όταν αυτή διεγείρεται θερμικά ή όταν λαμβάνουν χώρα κάποιες πυρηνικές διαδικασίες (τήξη, σχάση) ή από βομβαρδισμό με άλλη μορφή ακτινοβολίας. Επίσης σχετίζεται με την απορρόφηση και ανάκλαση της ακτινοβολίας. Τα φωτόνια κινούνται με την ταχύτητα του φωτός: 299.792,46 km/sec (συνηθέστερα χρησιμοποιείται η στρογγυλοποίηση στα 300.000 km/sec) σχηματίζοντας κύματα, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα.

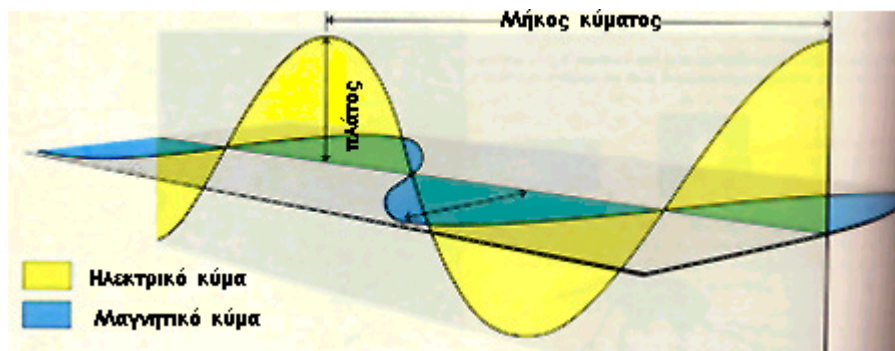


Η συχνότητα αναφέρεται στον αριθμό των κορυφών εκείνων των κυμάτων με το ίδιο μήκος κύματος που περνούν από ένα σημείο σε ένα δευτερόλεπτο.

Σχήμα 1.2: Μορφή ηλεκτρομαγνητικού κύματος

Η απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών κορυφών μιας κυματικής ημιτονικής μορφής, τους παραπάνω, ονομάζεται μήκος κύματος. Ο συνολικός αριθμός των κορυφών που περνούν από ένα σημείο αναφοράς σε ένα δευτερόλεπτο είναι η συχνότητα του κύματος (σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο και σε Hertz).

Ένα φωτόνιο ταξιδεύει ως ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα έχοντας δύο κάθετες μεταξύ τους συνιστώσες, οι οποίες ταλαντώνονται σε ημιτονικές μορφές και αποτελούν η μία το ηλεκτρικό πεδίο και η άλλη το μαγνητικό πεδίο του κύματος. Και οι δύο συνιστώσες έχουν το ίδιο πλάτος και λαμβάνουν τους μέγιστες και ελάχιστες τιμές τους την ίδια χρονική στιγμή.



Σχήμα 1.3: Ηλεκτρομαγνητικό κύμα

Σε αντίθεση με άλλες μορφές κυμάτων που απαιτούν κάποιο φέρον για τη διάδοσή τους, τα κύματα φωτονίων μπορούν να διαδοθούν στο κενό. Όταν φωτόνια διέρχονται από ένα μέσον σε ένα άλλο αλλάζουν διευθύνσεις διάδοσης και υφίστανται διάθλαση.

Ένα φωτόνιο αναφέρεται ως κβαντισμένο, με την έννοια ότι καθένα περιέχει μια συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας. Η ποσότητα της ενέργειας που χαρακτηρίζει κάθε φωτόνιο καθορίζεται χρησιμοποιώντας τη γενική εξίσωση του Planck :

$$E = h\nu$$

όπου h είναι η σταθερά του Planck ($6,6260... \times 10^{-34}$ Joules*sec) και ν συμβολίζει τη συχνότητα της ακτινοβολίας. Έτσι, φωτόνια που ταξιδεύουν σε μεγαλύτερες συχνότητες έχουν και περισσότερη ενέργεια. Εάν σε ένα υλικό που βρίσκεται σε κάποια διεγερμένη κατάσταση, συμβεί κάποια ενεργειακή μεταβολή, για παράδειγμα μετάβαση από μια υψηλότερη ενεργειακή στάθμη E_2 σε μια χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη E_1 , τότε σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση, η μεταβολή της ενέργειάς του, θα μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu$$

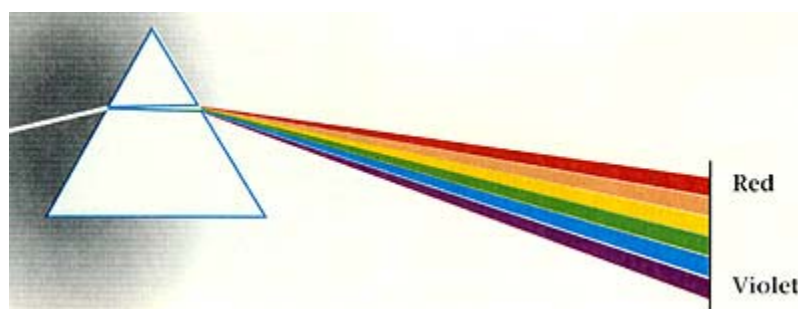
όπου η συχνότητα ν καθορίζεται από τη διαφορά $\nu_2 - \nu_1$. Με άλλα λόγια μια συγκεκριμένη ενεργειακή μεταβολή χαρακτηρίζεται από την εκπομπή ακτινοβολίας (φωτονίων) σε μια συγκεκριμένη συχνότητα ν και σε ένα αντίστοιχο μήκος κύματος που καθορίζεται από το μέγεθος της μεταβολής.

Το μήκος κύματος είναι μέγεθος αντίστροφο ως προς τη συχνότητα και συγκεκριμένα η σχέση που συνδέει τα δύο μεγέθη είναι: $c = \lambda\nu$, όπου c είναι η

σταθερά που εκφράζει την ταχύτητα του φωτός, επομένως μπορούμε να ξαναγράψουμε την εξίσωση του Planck στη μορφή: $E = hc / \lambda$.

1.2.1. Κατανομή ακτινοβολούμενης ενέργειας

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα εκτείνεται σε μία ευρεία περιοχή ακτινοβολούμενων ενεργειών ή κυματικών συχνοτήτων από τα μεγαλύτερα μήκη κύματος (περιλαμβάνοντας τα μικροκύματα και τα ραδιοκύματα) έως τα μικρότερα μήκη κύματος (περιλαμβάνοντας τις ακτίνες γάμα και X). Το τμήμα του φάσματος που μπορεί να ανιχνευθεί από το ανθρώπινο μάτι είναι αρκετά μικρό, καλύπτει μόλις την περιοχή 0,4 έως 0,7μm και αποκαλείται ορατή περιοχή. Το λευκό φως περιέχει μια σύνθεση όλων των μηκών κύματος στην ορατή περιοχή. Πρώτος ο Isaac Newton το 1666 απέδειξε με τη βοήθεια ενός πειράματος ότι το ορατό φως είναι μια συνεχής ακολουθία μηκών κύματος που αναπαριστούν τα διαφορετικά χρώματα που μπορεί να δει το ανθρώπινο μάτι, από το κόκκινο ως το μοβ. Συγκεκριμένα, πέρασε λευκό φως μέσα από ένα γυάλινο πρίσμα και παρατήρησε την παρακάτω εικόνα.

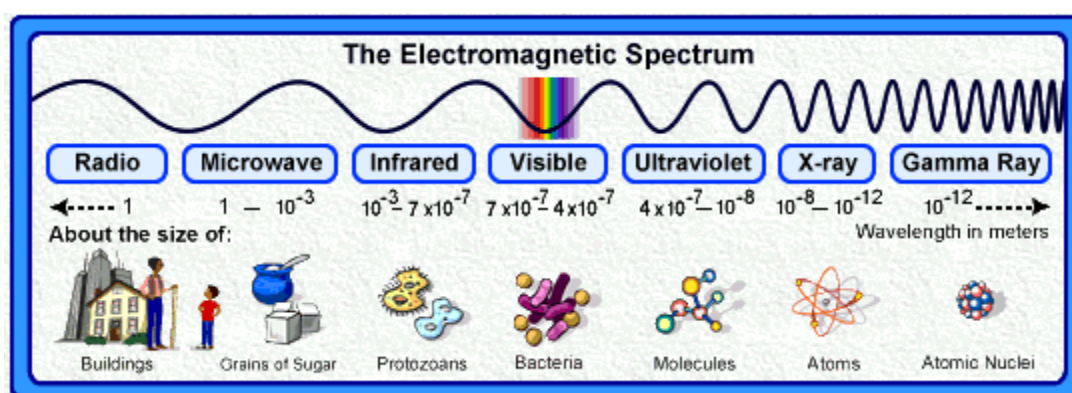


Σχήμα 1.4: Ανάλυση λευκού φωτός μέσα από πρίσμα

Το αποτέλεσμα του πειράματος αυτού, βασίζεται στην αρχή ότι καθώς η ακτινοβολία διέρχεται από ένα μέσο σε κάποιο άλλο, αλλάζει κατεύθυνση διάδοσης σύμφωνα με έναν παράγοντα ο οποίος ονομάζεται συντελεστής διάθλασης. Ο παράγοντας αυτός εξαρτάται από το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας έτσι ώστε η γωνία κλίσης της ακτίνας να ποικίλει συστηματικά από το κόκκινο – μεγαλύτερο μήκος κύματος, μικρότερη συχνότητα – μέχρι το μοβ – μικρότερο μήκος κύματος, μεγαλύτερη συχνότητα. Η διαδικασία με την οποία επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός του λευκού φωτός στις χρωματικές συνιστώσες του, ονομάζεται διασπορά.

Η κατανομή της αλληλουχίας όλων των ακτινοβολούμενων ενεργειών μπορεί να απεικονιστεί τόσο συναρτήσει των μηκών κύματος όσο και της συχνότητας σε ένα διάγραμμα, το οποίο είναι γνωστό ως ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Χρησιμοποιώντας φασματοσκόπια και άλλα τηλεπισκοπικά όργανα στην πάροδο του χρόνου, οι επιστήμονες μπόρεσαν να διαιρέσουν το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα σε περιοχές ή ζώνες στις οποίες έδωσαν περιγραφικά ονόματα.

Το ακριβές εύρος μηκών κύματος όλων των ζωνών του φάσματος καθώς και τα φυσικά μεγέθη των μηκών κύματος στις διάφορες περιοχές φαίνονται παραστατικά στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 1.5: Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

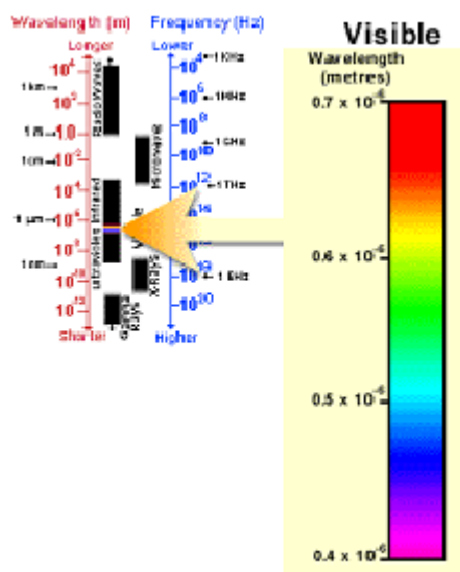
Υπάρχουν ορισμένες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος οι οποίες είναι πολύ χρήσιμες στην τηλεπισκόπηση.

Σε πολλές εφαρμογές χρησιμοποιείται η υπεριώδης περιοχή του φάσματος, η οποία περιλαμβάνει τα μικρότερα μήκη κύματος τα οποία αποδεικνύονται χρήσιμα για τις τηλεπισκοπικές μετρήσεις. Ορισμένα υλικά στην επιφάνεια της γης, όπως πετρώματα και ορυκτά, παρουσιάζουν την τάση να φθορίζουν ή να εκπέμπουν ορατό φως υπό την επίδραση υπεριώδους ακτινοβολίας.

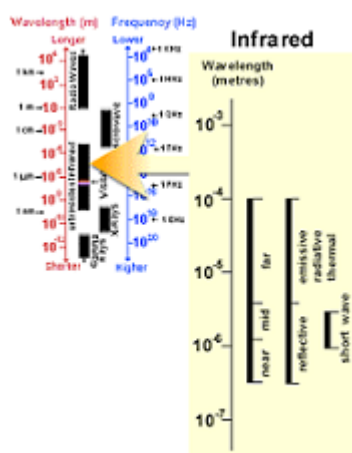
Το επόμενο τμήμα του φάσματος που παρουσιάζει ενδιαφέρον, είναι εκείνο που είναι ορατό από τον άνθρωπο και αποτελεί την ορατή περιοχή. Η ορατή περιοχή είναι ιδιαίτερα μικρή συγκρινόμενη με το υπόλοιπο τμήμα του φάσματος, καλύπτει μόλις το εύρος 0,4 έως 0,7 μm . Το μεγαλύτερο ορατό μήκος κύματος είναι στην περιοχή του κόκκινου, ενώ το μικρότερο στην περιοχή του μοβ (violet). Οι περιοχές των μηκών

κύματος τις οποίες αντιλαμβανόμαστε ως χρώματα στην ορατή περιοχή του φάσματος, είναι οι ακόλουθες:

- **Μοβ:** 0.4 - 0.446μm
- **Μπλε:** 0.446 - 0.500μm
- **Πράσινο:** 0.500 - 0.578μm
- **Κίτρινο:** 0.578 - 0.592μm
- **Πορτοκαλί:** 0.592 - 0.620 μm
- **Κόκκινο:** 0.620 - 0.7 μm



Σχήμα 1.6: Ορατή περιοχή φάσματος



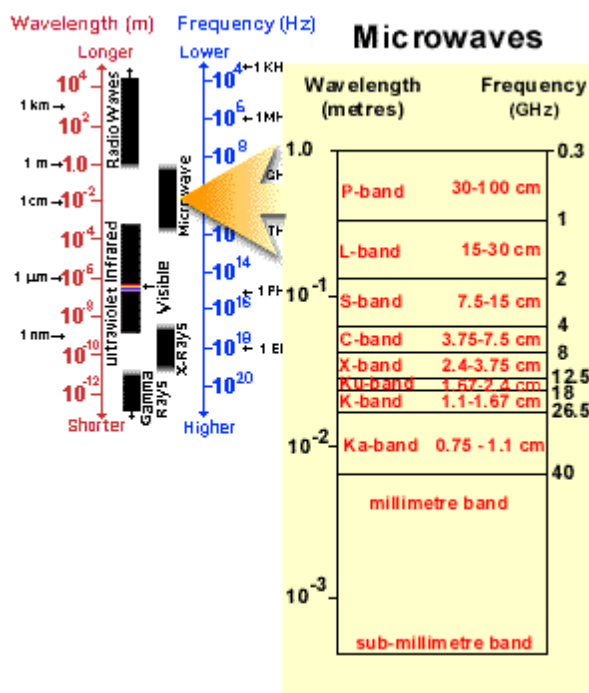
Σχήμα 1.7: Περιοχή υπέρυθρου

Ακολουθεί η περιοχή του υπέρυθρου, η οποία καλύπτει τη ζώνη από 0,7μm έως 100μm. Η περιοχή αυτή μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τις αντίστοιχες ιδιότητες ακτινοβολίας, την ανακλώμενη υπέρυθρη (reflected IR) και την εκπεμπόμενη ή θερμική υπέρυθρη περιοχή (emitted/thermal IR).

Η ακτινοβολία στην ανακλώμενη υπέρυθρη περιοχή χρησιμοποιείται στις τηλεπισκοπικές μετρήσεις, όπως και η ακτινοβολία στην ορατή περιοχή και καλύπτει τη ζώνη μεταξύ 0,7μm και 3,0μm.

Η θερμική υπέρυθρη περιοχή είναι αρκετά διαφορετική από το ορατό και το ανακλώμενο υπέρυθρο τμήμα, καθώς η ενέργεια στην περιοχή αυτή είναι κύρια η ακτινοβολία η οποία εκπέμπεται από τη γήινη επιφάνεια σε μορφή θερμότητας. Η θερμική IR περιοχή εκτείνεται από τα 3,0μm μέχρι τα 100μm.

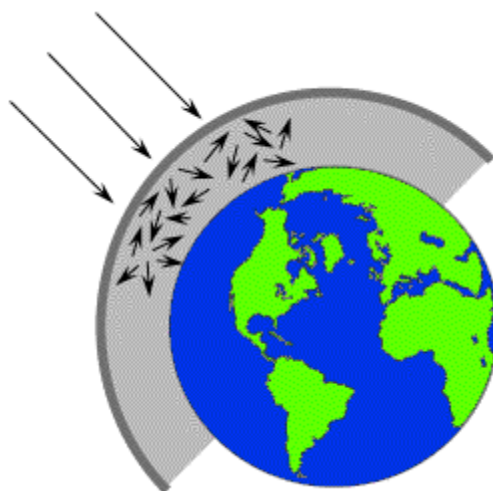
Τέλος, η περιοχή που πρόσφατα προκάλεσε το ενδιαφέρον για την τηλεπισκόπηση είναι η μικροκυματική περιοχή από 1mm έως 1m, η οποία απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα. Αυτή η ζώνη καλύπτει τα μεγαλύτερα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται για τέτοιου είδους μετρήσεις. Τα μικρότερα μήκη κύματος έχουν ιδιότητες παραπλήσιες με αυτές της θερμικής υπέρυθρης περιοχής, ενώ τα μεγαλύτερα πλησιάζουν στα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται για ραδιοφωνικές μεταδόσεις.



Σχήμα 1.8: Μικροκυματική περιοχή

1.2.2. Διάδοση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μέσα από την ατμόσφαιρα

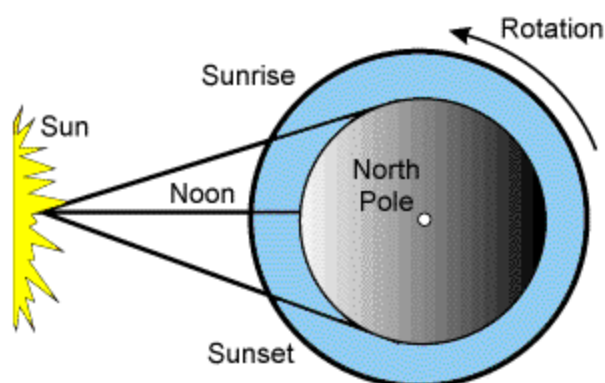
Προτού φτάσει στη γήινη επιφάνεια η ακτινοβολία που θα χρησιμοποιηθεί για τις τηλεπισκοπικές μετρήσεις, θα διασχίσει κάποια απόσταση μέσα από την ατμόσφαιρα της γης. Τα μόρια και τα αέρια στην ατμόσφαιρα μπορούν να επηρεάσουν το εισερχόμενο φως και την ακτινοβολία. Οι επιδράσεις αυτές οφείλονται στους μηχανισμούς της σκέδασης και της απορρόφησης.



Σχήμα 1.9: Φαινόμενο σκέδασης

Η σκέδαση λαμβάνει χώρα όταν ορισμένα σωματίδια ή μεγάλα μόρια αερίων που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα αλληλεπιδρούν με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και προκαλούν αλλαγή της κατεύθυνσης διάδοσής της. Το ποσοστό της σκέδασης που λαμβάνει χώρα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, η πληθώρα των σωματιδίων ή αερίων καθώς και η απόσταση που διανύει η ακτινοβολία μέσα από την ατμόσφαιρα. Υπάρχουν 3 τύποι σκέδασης που μπορούν να πραγματοποιηθούν.

Η σκέδαση Rayleigh λαμβάνει χώρα όταν τα σωματίδια είναι πολύ μικρά συγκρινόμενα με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Τέτοια σωματίδια μπορεί να είναι μικροί κόκκοι σκόνης ή μόρια οξυγόνου ή αζώτου. Η σκέδαση Rayleigh προκαλεί σκέδαση των μικρότερων μηκών κύματος σε πολύ μεγαλύτερο ποσοστό σε σχέση με τα μεγαλύτερα μήκη κύματος και αποτελεί τον κυρίαρχο μηχανισμό σκέδασης στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Συγκεκριμένα το γεγονός ότι ο ουρανός εμφανίζεται μπλε κατά τη διάρκεια της ημέρας οφείλεται στο φαινόμενο αυτό. Καθώς το ηλιακό φως διέρχεται μέσα από την ατμόσφαιρα, τα μικρότερα μήκη κύματος του ορατού φάσματος (περιοχή του μπλε) σκεδάζονται περισσότερο από άλλα μακρύτερα μήκη κύματος στην ορατή περιοχή. Κατά την ανατολή και τη δύση του ηλίου το φως διανύει περισσότερη απόσταση μέσα από την ατμόσφαιρα από ότι το μεσημέρι με αποτέλεσμα το φαινόμενο της σκέδασης να έχει ολοκληρωθεί κατά το μεγαλύτερο ποσοστό και έτσι να μπορεί να διεισδύσει στην ατμόσφαιρα μεγαλύτερο ποσοστό από τα μακρύτερα μήκη κύματος.



Σχήμα 1.10: Σκέδαση Rayleigh

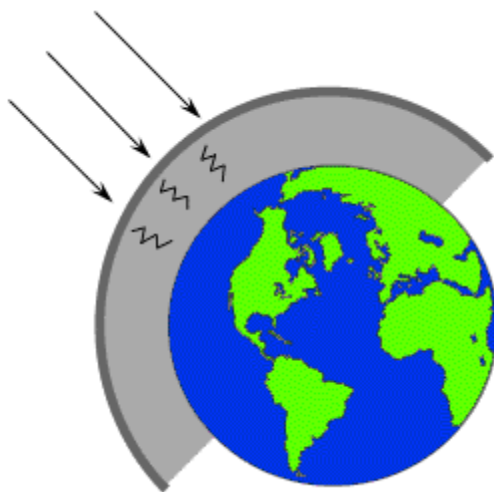
Η σκέδαση Mie λαμβάνει χώρα όταν τα σωματίδια έχουν περίπου το ίδιο μέγεθος με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Η σκόνη, η γύρη, ο καπνός και οι υδρατμοί αποτελούν συχνές αιτίες εμφάνισης του μηχανισμού Mie, ο οποίος κυρίως επηρεάζει μεγαλύτερα μήκη κύματος από αυτά που επηρεάζει ο μηχανισμός Rayleigh, ενώ λαμβάνει χώρα ιδιαίτερα στα χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας όπου τα μεγαλύτερα σωματίδια βρίσκονται σε μεγαλύτερη αφθονία και κυριαρχεί όταν επικρατούν συνθήκες νέφωσης.

Ο τρίτος μηχανισμός σκέδασης ονομάζεται μη επιλεκτική σκέδαση (nonselective scattering). Αυτός λαμβάνει χώρα όταν τα σωματίδια είναι πολύ μεγαλύτερα από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Σταγόνες νερού καθώς και μεγάλα σωματίδια σκόνης μπορούν να προκαλέσουν την εμφάνιση αυτού του φαινομένου. Ο συγκεκριμένος μηχανισμός σκέδασης λαμβάνει την ονομασία του από το γεγονός ότι όλα τα μήκη κύματος σκεδάζονται εξίσου. Η μη επιλεκτική σκέδαση αποτελεί την αιτία για την εμφάνιση της ομίχλης και των σύννεφων σε άσπρη απόχρωση, αφού τόσο το μπλε, το πράσινο όσο και το κόκκινο σκεδάζονται όλα ακριβώς κατά το ίδιο ποσοστό (μπλε+πράσινο+κόκκινο φως=άσπρο φως).



Σχήμα 1.11: Επιλεκτική σκέδαση

Η απορρόφηση είναι ένας ακόμη μηχανισμός που λαμβάνει χώρα κατά την αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την ατμόσφαιρα. Σε αντίθεση με τη σκέδαση, το συγκεκριμένο φαινόμενο προκαλεί απορρόφηση της ενέργειας από τα σωματίδια σε διαφορετικά μήκη κύματος. Το όζον, το διοξείδιο του άνθρακα και οι υδρατμοί είναι τα 3 κύρια ατμοσφαιρικά συστατικά που απορροφούν την ακτινοβολούμενη ενέργεια.

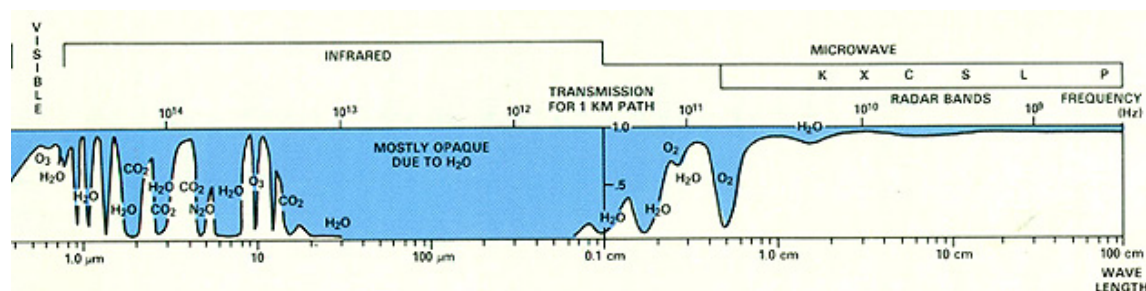


Σχήμα 1.12: Ατμοσφαιρική απορρόφηση

Το όζον χρησιμεύει για την απορρόφηση της επιβλαβούς υπεριώδους ακτινοβολίας από τον ήλιο. Χωρίς αυτό το προστατευτικό στρώμα στην ατμόσφαιρα, το δέρμα μας θα κινδύνευε από εγκαύματα κατά την έκθεσή του στον ήλιο. Το διοξείδιο του άνθρακα, στο οποίο αναφερόμαστε πολλές φορές με την ονομασία αέριο θερμοκηπίου, παρουσιάζει ισχυρή απορρόφηση της ακτινοβολίας στη μακρά υπέρυθρη περιοχή του φάσματος, ενώ οι υδρατμοί στην ατμόσφαιρα απορροφούν ένα σημαντικό μέρος της ακτινοβολίας ανάμεσα στη μακρά υπέρυθρη και εγγύς μικροκυματική περιοχή (μεταξύ 22μm και 1m).

Ακριβώς επειδή τα παραπάνω αέρια απορροφούν την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια σε συγκεκριμένες περιοχές του φάσματος επηρεάζουν τις περιοχές που θα χρησιμοποιηθούν για τηλεπισκοπικές μετρήσεις από τους αισθητήρες. Οι περιοχές οι οποίες δεν επηρεάζονται σημαντικά από φαινόμενα ατμοσφαιρικής απορρόφησης και επομένως καθίστανται χρήσιμες στους τηλεπισκοπικούς αισθητήρες, ονομάζονται ατμοσφαιρικά παράθυρα.

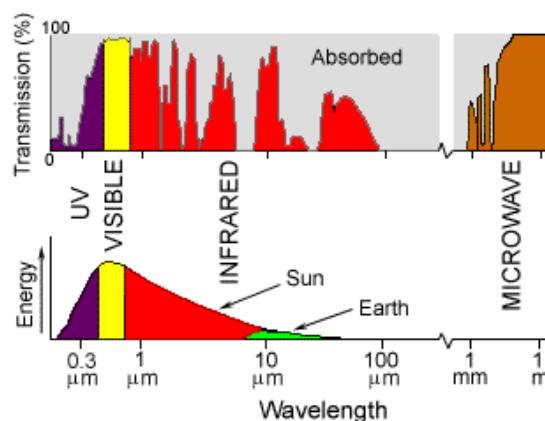
Στο επόμενο διάγραμμα έχει σχεδιαστεί με τη μορφή καμπυλών, η διάδοση (και η απορρόφηση) των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μέσα από την ατμόσφαιρα της γης για τις διάφορες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.



Σχήμα 1.13: Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

Οι μπλε ζώνες δεικνύουν ελάχιστο πέρασμα εισερχόμενης ή εξερχόμενης ακτινοβολίας ενώ οι άσπρες ζώνες δεικνύουν ατμοσφαιρικά παράθυρα στα οποία η ακτινοβολία δεν αλληλεπιδρά ιδιαίτερα με τα μόρια του αέρα και έτσι δεν έχουμε σημαντικό βαθμό απορρόφησης. Συγκρίνοντας τα χαρακτηριστικά των δύο κυρίαρχων πηγών ενέργειας/ακτινοβολίας, του ήλιου και της γης, με τα ατμοσφαιρικά παράθυρα που προκύπτουν από το διάγραμμα, μπορούμε να καθορίσουμε εκείνα τα μήκη κύματος, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν πιο αποτελεσματικά από τα όργανα τηλεπισκόπησης.

Το ορατό τμήμα του φάσματος, αντιστοιχεί τόσο σε ατμοσφαιρικό παράθυρο όσο και στο μέγιστο ενεργειακό επίπεδο του ήλιου. Ακόμη, η θερμική ενέργεια η οποία εκπέμπεται από τη γήινη επιφάνεια αντιστοιχεί σε ένα παράθυρο στα 10μm περίπου, στη θερμική υπέρυθρη περιοχή του φάσματος, ενώ το μεγάλο ατμοσφαιρικό παράθυρο που διακρίνεται στο παραπάνω διάγραμμα μετά τα 1mm σχετίζεται με τη μικροκυματική περιοχή του φάσματος.

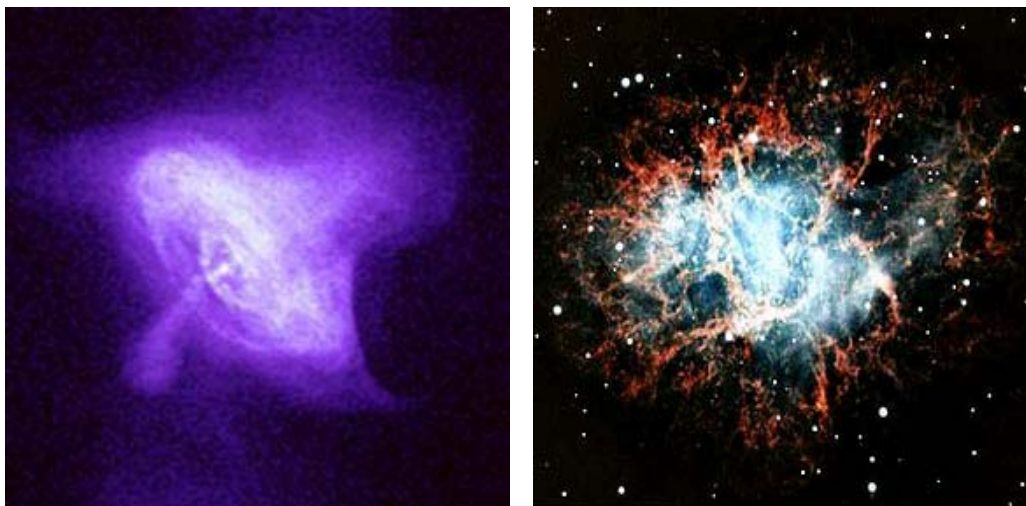


Σχήμα 1.14: Ατμοσφαιρικά παράθυρα

Οι περισσότεροι τηλεπισκοπικοί αισθητήρες στον αέρα ή σε διαστημικές πλατφόρμες λειτουργούν σε ένα ή περισσότερα από τα παραπάνω παράθυρα, λαμβάνοντας μετρήσεις με ανιχνευτές οι οποίοι είναι συντονισμένοι (ρυθμισμένοι) σε συγκεκριμένα μήκη κύματος που περνούν μέσα από την ατμόσφαιρα. Παραδοσιακά, οι αισθητήρες παρακολούθησης της γης χρησιμοποιούν την ανακλώμενη ενέργεια στην ορατή και στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος και την εκπεμπόμενη ενέργεια στη θερμική υπέρυθρη και μικροκυματική περιοχή, για τη συλλογή της ακτινοβολίας η οποία μπορεί να αναλυθεί και να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή εικόνων των οποίων οι διαφορές αντικατοπτρίζουν τις διαφορετικές εντάσεις των φωτονίων οι οποίες σχετίζονται με την περιοχή των μηκών κύματος που συλλαμβάνονται από τον αισθητήρα. Ακριβώς αυτή η συλλογή των διαφορετικών, συνεχόμενων ή μη περιοχών μηκών κύματος αποτελεί τη βασική αρχή των πολυφασματικών μεθόδων απεικόνισης.

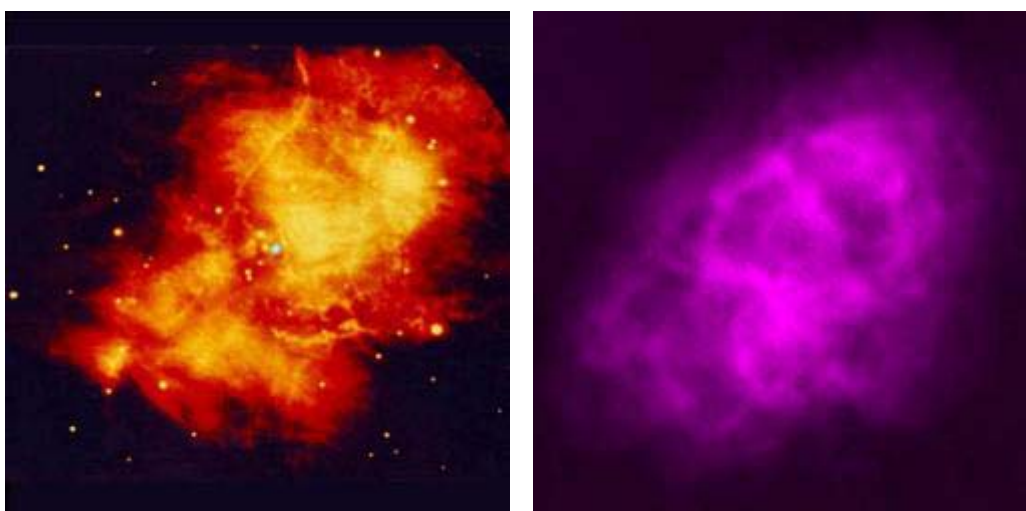
Εικόνες που προέρχονται από επεξεργασία σημάτων διαφορετικών συχνοτήτων και εντάσεων παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στους τόνους του γκρι αν πρόκειται για ασπρόμαυρες εκδοχές τους ή στα χρώματα αν πρόκειται για έγχρωμες εικόνες. Έτσι, η απεικονιστική αναπαράσταση διαφόρων αντικειμένων-στόχων σε διαφορετικές φασματικές περιοχές, με τη χρήση διαφορετικών αισθητήρων "συντονισμένων" έτσι ώστε να δέχονται και να επεξεργάζονται κυματικές συχνότητες που χαρακτηρίζουν συγκεκριμένες περιοχές του φάσματος, θα παρουσιάζει σημαντικές διαφορές στην ένταση και την απόχρωση ή στις διαβαθμίσεις της κλίμακας του γκρι.

Εμφανείς είναι οι διαφορές αυτές στις παρακάτω εικόνες που απεικονίζουν ένα γαλαξιακό νεφέλωμα, όπως αυτό έχει παρατηρηθεί μέσω τηλεσκοπίου, σε διαφορετικές περιοχές του φάσματος. Η εικόνα αριστερά δείχνει το νεφέλωμα στην υψηλής συχνότητας περιοχή των ακτίνων-X, ενώ η εικόνα δεξιά δείχνει το νεφέλωμα στην ορατή περιοχή.



Σχήμα 1.15: Γαλαξιακό νεφέλωμα (ακτίνες X, ορατή περιοχή)

Η κάτω αριστερά εικόνα παράχθηκε στην υπέρυθρη περιοχή και η κάτω δεξιά είναι μια τηλεπισκοπική εικόνα στην περιοχή των ραδιοκυμάτων.

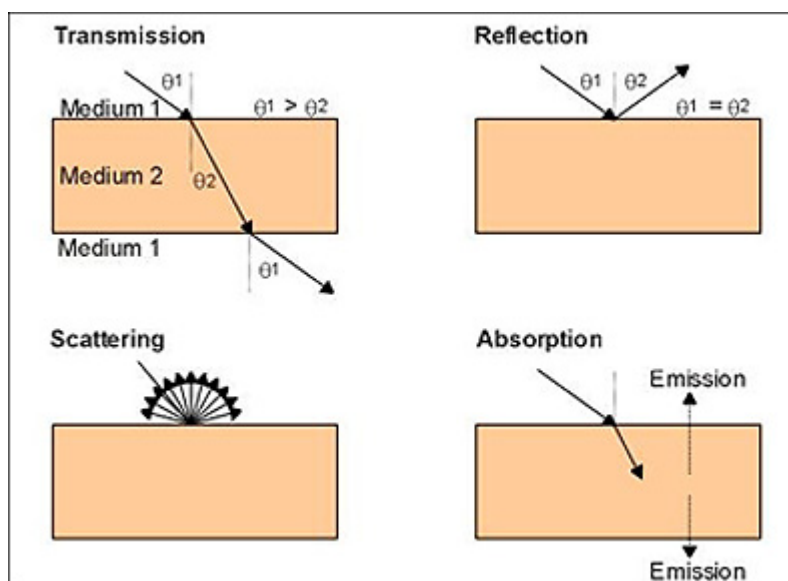


Σχήμα 1.16: Γαλαξιακό νεφέλωμα (υπέρυθρη, ραδιοκύματα)

1.2.3. Διάδοση, απορρόφηση, ανάκλαση

Το μέρος της ακτινοβολίας που δεν σκεδάζεται ή δεν απορροφάται από την ατμόσφαιρα φτάνει στη γήινη επιφάνεια και αλληλεπιδρά με αυτή. Η ολική προσπίπτουσα ενέργεια θα αλληλεπιδράσει με την επιφάνεια με έναν ή περισσότερους από τους παρακάτω μηχανισμούς και τα ποσοστά αλληλεπίδρασης για καθέναν από αυτούς εξαρτώνται τόσο από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας όσο και από τις ιδιότητες του υλικού.

Κάθε ακτίνα φωτονίων από κάποια πηγή στο μέσον 1 η οποία προσπίπτει σε κάποιο αντικείμενο ή στόχο στο μέσον 2 θα υποστεί μία ή περισσότερες από τις αντιδράσεις που συνοψίζονται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 1.17: Αλληλεπιδράσεις με το στόχο

Κάποια αντικείμενα παρουσιάζουν την ικανότητα να μεταδίδουν το φως χωρίς σημαντική εξασθένηση. Άλλα αντικείμενα προκαλούν απορρόφηση της προσπίπτουσας ενέργειας και κατά ένα μέρος εκπομπή της σε μεγαλύτερα μήκη κύματος ή ανάκλαση του φωτός με την ίδια γωνία με τη γωνία πρόσπτωσης.

Η πρωταρχική πηγή ενέργειας η οποία φωτίζει τα φυσικά αντικείμενα είναι ο ήλιος. Η ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στη γη σε μήκη κύματος που καθορίζονται από τη φωτοσφαιρική θερμοκρασία του ήλιου, η οποία φτάνει μέχρι τους 5.600°C . Καθώς οι ηλιακές ακτίνες φτάνουν στη γη, η ατμόσφαιρα απορροφά ή οπισθοσκεδάζει ένα μέρος ενώ μεταδίδει το υπόλοιπο.

Προσπίπτοντας πάνω σε γήινους, θαλάσσιους ή ατμοσφαιρικούς στόχους, όπως αέρα, σύννεφα, υγρασία, η εισερχόμενη ακτινοβολία κατανέμεται σε 3 μορφές αλληλεπίδρασης με το στόχο:

- ο Διάδοση (τ) – ένα ποσοστό της ακτινοβολίας διεισδύει σε κάποιες επιφάνειες υλικών, όπως το νερό και αν το υλικό είναι διαφανές και λεπτό σε μία διάσταση, συνήθως διέρχεται μέσα από αυτό με κάποια μικρή εξασθένηση.

- ο Απορρόφηση (α) – κάποιο ποσοστό της ακτινοβολίας απορροφάται μέσω μοριακών ή ηλεκτρονιακών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στο μέσον και κάποιο ποσοστό κατόπιν επανεκπέμπεται, συνήθως σε μεγαλύτερα μήκη κύματος, ενώ κάποιο άλλο παραμένει στο υλικό και το θερμαίνει.
- ο Ανάκλαση (ρ) – κάποιο ποσοστό ανακλάται από την προσπίπτουσα επιφάνεια και διαθλάται μακριά από το στόχο σε διαφορετικές γωνίες, οι οποίες εξαρτώνται από την τραχύτητα της επιφάνειας και τη γωνία πρόσπτωσης των ακτινών.

Οι τρεις παραπάνω παράμετροι εκφράζονται ως αδιάστατοι αριθμοί, μεταξύ 0 και 1, ενώ πολύ συχνά αναφέρονται ως ποσοστά επί του συνόλου της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Σύμφωνα με το Νόμο Διατήρησης της Ενέργειας, ισχύει: $\tau + \alpha + \rho = 1$.

Μία τέταρτη περίπτωση αναφάνεται, όταν η εκπεμπόμενη ακτινοβολία προκύπτει από την εσωτερική διέγερση των ατόμων του υλικού, η οποία συνήθως σχετίζεται με τη θερμική κατάστασή του και αποτελεί τη θερμική διαδικασία.

Υπάρχουν δύο τύποι ανακλαστικής επιφάνειας που αλληλεπιδρούν με την προσπίπτουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία: η λεία (κατοπτρική) και η τραχεία επιφάνεια. Οι δύο αυτοί όροι καθορίζονται γεωμετρικά και όχι φυσικά. Για παράδειγμα μια επιφάνεια μπορεί να φαίνεται λεία με τη φυσική έννοια, αλλά σε επίπεδο κατανομής των μηκών κύματος του φωτός να παρουσιάζονται πολλές ανωμαλίες κατά μήκος της επιφάνειας. Η ακτινοβολία η οποία προσκρούει σε μια τραχεία επιφάνεια, τείνει να ανακλαστεί σε πολλές κατευθύνσεις (διάθλαση).

Το κριτήριο που χρησιμοποιείται προκειμένου να προσδιοριστεί η τραχύτητα μιας επιφάνειας σε σχέση με την προσπίπτουσα σε αυτό ακτινοβολία είναι το γνωστό κριτήριο Rayleigh. Ορίζεται αρχικά ο βαθμός ανωμαλιών της επιφάνειας h (σε Å), ως: $h \leq \lambda / 8 \cos \theta$, όπου λ (σε Å) είναι το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και θ είναι η γωνία πρόσπτωσης μετρούμενη από το κάθετο επίπεδο στην επιφάνεια. Αν το μήκος κύματος λ είναι μικρότερο από το βαθμό ανωμαλιών h , η επιφάνεια δρα ως τραχεία, ενώ αν το λ είναι μεγαλύτερο από το h η επιφάνεια είναι λεία (ομαλή). Μια λεία επιφάνεια ανακλά την ακτινοβολία σύμφωνα με το Νόμο του Snell ο οποίος αναφέρει ότι η γωνία πρόσπτωσης ισούται με τη γωνία ανάκλασης.

Γενικά οι φυσικές επιφάνειες είναι σχεδόν πάντα τραχείες και απέχουν σημαντικά από λείες κυρίως στα μικρότερα μήκη κύματος, ενώ παραμένουν αρκετά τραχείες και στη μικροκυματική περιοχή.

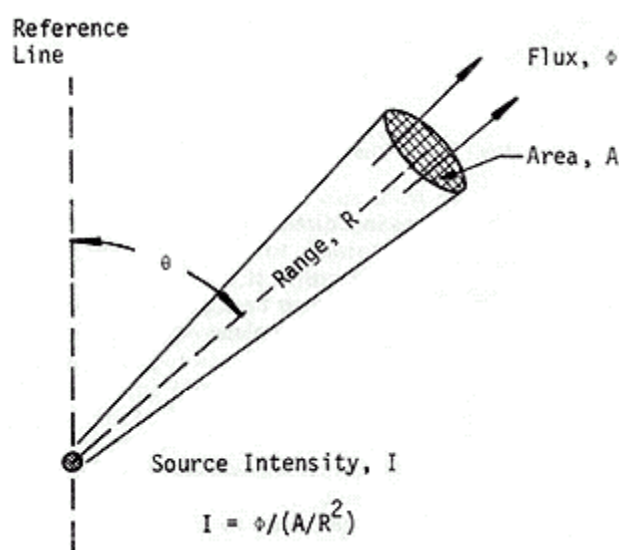
1.2.4. Ραδιομετρικά μεγέθη

Η ορολογία και κάποιες βασικές αρχές και μεγέθη που χρησιμοποιούνται στην Τηλεπισκόπηση – Ραδιομετρία παρατίθενται αμέσως παρακάτω. Πρόκειται για την ακτινοβολούμενη ενέργεια, τη ροή ακτινοβολίας, την πυκνότητα ροής ακτινοβολίας, την ένταση ακτινοβολίας για σημειακή και μη σημειακή πηγή.

Η ακτινοβολούμενη ενέργεια (Radiant energy Q), η οποία μεταφέρεται από φωτόνια, πηγάζει από μια πηγή η οποία βρίσκεται σε διεγερμένη κατάσταση. Το ρεύμα φωτονίων κατευθύνεται κατά μήκος των ακτίνων σαν ροή (ϕ), η οποία (Radiant flux ϕ) ορίζεται ως η ακτινοβολούμενη ενέργεια ανά μονάδα χρόνου ή ως ο ρυθμός ροής της ακτινοβολούμενης ενέργειας (dQ/dt) και μετράται σε Joule/sec ή Watt ($1 \text{ J/sec} = 1 \text{ Watt}$). Ανάλογα με τις συνθήκες, η προερχόμενη ενέργεια από μια σημειακή πηγή μπορεί να περιορίζεται σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση (σχηματίζοντας μια ακτίνα) ή να διαχέεται προς όλες τις κατευθύνσεις.

Πυκνότητα ροής ακτινοβολίας (Radiant flux density, σε Watt/m^2) είναι απλά η ροή ακτινοβολίας σε ένα σημείο μιας επιφάνειας ανά μονάδα επιφάνειας. Όταν αυτή αναφέρεται σε ροή που προσπίπτει επί επιφανείας, ονομάζεται φωτισμός επιφανείας E (Irradiance), ενώ όταν αναφέρεται σε ροή που εκπέμπεται-εξέρχεται από επιφάνεια, ονομάζεται ακτινοβολούμενη πυκνότητα ροής M (Emittance – Exitance).

Με τον όρο ένταση ακτινοβολίας I (Radiant intensity, σε Watt/sterad) σημειακής πηγής σε μια ορισμένη κατεύθυνση, εννοούμε την ακτινοβολούμενη ροή ανά μονάδα στερεάς γωνίας ω που εξέρχεται από την πηγή στη συγκεκριμένη κατεύθυνση.

Σχήμα 1.18: Ένταση ακτινοβολίας I

Έτσι, για μια επιφάνεια σε απόσταση R από τη σημειακή πηγή, η ένταση ακτινοβολίας I είναι η ροή Φ που διέρχεται μέσω του κώνου της στερεάς γωνίας ω και εξέρχεται από την κυκλική επιφάνεια A σε αυτήν την απόσταση.

Αναφερόμενοι σε μη σημειακή πηγή ακτινοβολίας, η ένταση ακτινοβολίας L (radiance) ορίζεται ως η ακτινοβολούμενη ροή ανά μονάδα στερεάς γωνίας που εξέρχεται από τη μη σημειακή πηγή σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση ανά μονάδα επιφανείας της πηγής, όταν αυτή προβληθεί στην εν λόγω κατεύθυνση. Η ένταση ακτινοβολίας L συνδέεται με την ένταση I μέσω της σχέσης : $L = I / \cos\theta$. Το μέγεθος που μετράται στην πραγματικότητα από τους περισσότερους τηλεπισκοπικούς αισθητήρες είναι η ένταση ακτινοβολίας η οποία εξέρχεται από εκτεταμένες (μη σημειακές) πηγές σε διαφορετικά μήκη κύματος.

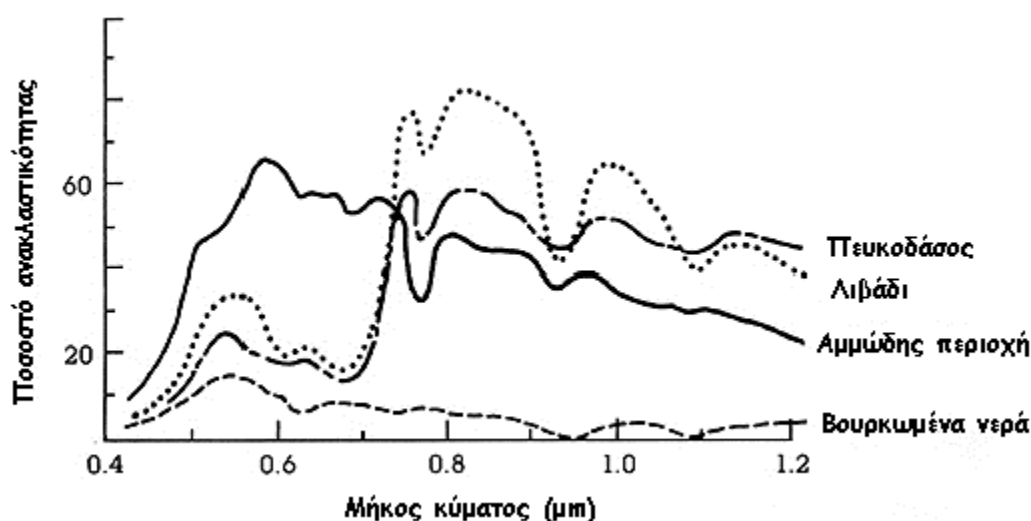
Όλες οι παραπάνω ραδιομετρικές ποσότητες Q , Φ , I , E , L και M μπορούν να χρησιμοποιηθούν για όλο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Οι περισσότερες κυματικές ακολουθίες είναι πολυχρωματικές, με την έννοια ότι αποτελούνται από πολυάριθμες ημιτονοειδείς κυματικές συνιστώσες διαφορετικών συχνοτήτων. Το σύνολο των ποικίλων αυτών συχνοτήτων αποτελεί ένα σύνθετο κύμα. Κάθε τέτοιο σύνθετο κύμα μπορεί να αναλυθεί στις κυματικές συνιστώσες του με χρήση της Ανάλυσης Fourier, με την οποία εξάγεται μια σειρά αρμονικών ημιτονοειδών κυμάτων καθένα με χαρακτηριστική συχνότητα, πλάτος και φάση. Επιτυγχάνεται με τον τρόπο αυτό, η

“ανάπτυξη” ενός σήματος στο χώρο της συχνότητας και προκύπτουν έτσι φασματικά ραδιομετρικά μεγέθη. Για παράδειγμα μπορούμε να ορίσουμε τη φασματική ακτινοβολούμενη ενέργεια ως την ποσότητα της ακτινοβολούμενης ενέργειας ανά μονάδα εύρους μηκών κύματος στο συγκεκριμένο μήκος κύματος λ , δηλαδή $Q_\lambda = dQ/d\lambda$.

1.2.5. Φασματικές υπογραφές

Η ψηφιακή υπογραφή αποτελεί μια διαφορετική ονομασία για το γράφημα των μεταβολών της ανακλώμενης ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας ως συνάρτηση των μηκών κύματος. Η ιδέα της ψηφιακής υπογραφής παρέχει τη δυνατότητα αναγνώρισης και διαχωρισμού των διαφορετικών αντικειμένων και υλικών χρησιμοποιώντας τα πολυφασματικά δεδομένα που λαμβάνονται από τους τηλεπισκοπικούς ανιχνευτές.

Για κάθε δοσμένο υλικό, η ποσότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που αυτό ανακλά, απορροφά ή μεταδίδει, ποικίλει ανάλογα με την περιοχή μήκους κύματος. Η σημαντική αυτή ιδιότητα της ύλης καθιστά δυνατή την αναγνώριση των διαφορετικών υλικών, ειδών και κατηγοριών και το διαχωρισμό τους μέσω των φασματικών υπογραφών τους (φασματικές καμπύλες), όπως μπορεί να παρατηρηθεί στο επόμενο σχήμα.

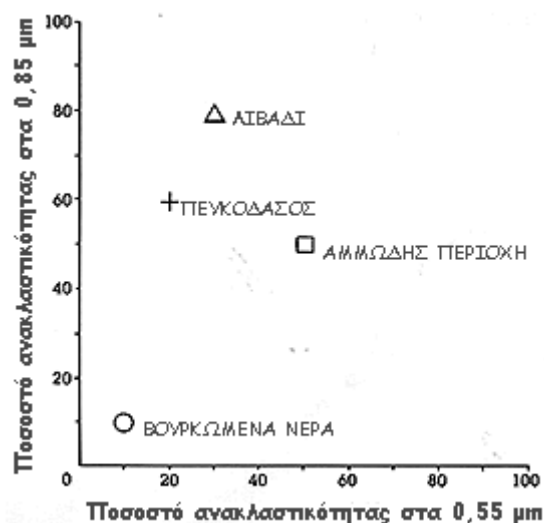


Σχήμα 1.19: Φασματικές υπογραφές

Έτσι, σε ορισμένα μήκη κύματος η αμμώδης περιοχή ανακλά περισσότερη ενέργεια από αυτή που ανακλάται από ένα λιβάδι με έντονη πράσινη βλάστηση, ενώ

σε άλλα μήκη κύματος απορροφά περισσότερη (ανακλά λιγότερη). Η βασική ιδέα των ψηφιακών υπογραφών στηρίζεται στις διαφορές που παρουσιάζουν τα διαφορετικά υλικά στην ανακλαστική τους ιδιότητα. Χρησιμοποιώντας τα διαφορετικά ποσοστά ανακλαστικότητας, μπορούμε να διακρίνουμε τις επιφάνειες των 4 υλικών που αναφέρονται στο σχήμα (πευκοδάσος, λιβάδι, αμμώδης περιοχή, βουρκωμένα νερά).

Στο διπλανό σχήμα έχουν απεικονιστεί 4 σημεία που παριστάνουν τα ποσοστά ανακλαστικότητας των αντίστοιχων επιφανειών που χρησιμοποιήθηκαν παραπάνω, σε δύο διαφορετικές περιοχές μηκών κύματος. Χρησιμοποιώντας περισσότερα μήκη κύματος προκύπτουν γραφικές παραστάσεις σε πολυδιάστατο χώρο που επιδεικνύουν ακόμη περισσότερο παραστατικά το διαχωρισμό ανάμεσα στα υλικά. Αυτή η βελτιωμένη δυνατότητα διαχωρισμού των υλικών χρησιμοποιώντας πολλές περιοχές μηκών κύματος αποτελεί τη βάση λειτουργίας των πολυφασματικών τηλεπισκοπικών ανιχνευτών.



1.3. Βιβλιογραφία 1^{ου} Κεφαλαίου

1. Canada Centre for Remote Sensing

<http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/tutorials/fundam>

2. Electromagnetic Spectrum

<http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/>

3. Remote Sensing Glossary

http://www.casde.unl.edu/vn/glossary/earth_i.html

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Εφαρμογές περιβαλλοντικής παρακολούθησης και εκτίμησης καταστροφών

2.1. Παγκόσμιες αλλαγές στο σύστημα της γης

Κατά την εξέλιξη της ιστορίας, το ανθρώπινο γένος κατάφερε να προσαρμοστεί στη φυσική μεταβλητότητα του γήινου συστήματος και του κλίματός του. Η μεταβλητότητα και οι αλλαγές αποτελούν τη φυσική πραγματικότητα για το σύστημα της γης και προκαλούνται από δυνάμεις όπως η μεταβλητότητα στην ενεργειακή απόδοση του ήλιου καθώς και οι ηφαιστειακές εκρήξεις οι οποίες σκορπούν σκόνη και αέρια στην ατμόσφαιρα που σκεδάζουν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Μέχρι πολύ πρόσφατα στην ιστορία της γης, οι άνθρωποι και οι δραστηριότητές τους δεν είχαν αναχθεί σε σημαντική δύναμη στη δυναμική του γήινου συστήματος, όμως σήμερα η ανθρωπότητα έχει αρχίσει να πλησιάζει, ακόμα και να ξεπερνά τις δυνάμεις της φύσης που είναι υπεύθυνες για τις διαδικασίες που προκαλούν αλλαγές στην ισορροπία του γήινου συστήματος.

Κατά τη διάρκεια των δύο περασμένων αιώνων, τόσο ο πληθυσμός της γης όσο και η οικονομική ανάπτυξη και η υλική ευημερία αυξήθηκαν με πολύ γρήγορους ρυθμούς. Οι παράγοντες αυτοί συνοδεύτηκαν με σημαντική αύξηση της κατανάλωσης των φυσικών πόρων, η οποία ήταν έκδηλη στη γεωργία και στην παραγωγή τροφίμων, στη βιομηχανική ανάπτυξη, στην παραγωγή ενέργειας καθώς

και στην αστικοποίηση. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες είναι σήμερα τόσο έντονες και πολυεπίπεδες με καθοριστικές συνέπειες, οι οποίες επηρεάζουν τη γη σε παγκόσμιο επίπεδο με σύνθετους, αλληλεπιδραστικούς μηχανισμούς και με συνεχώς αυξανόμενους ρυθμούς. Στη σύγχρονη πραγματικότητα οι άνθρωποι έχουν την ικανότητα να μεταβάλλουν το γήινο σύστημα με τέτοιους τρόπους οι οποίοι απειλούν τις διαδικασίες και τους μηχανισμούς από τους οποίους εξαρτάται η ανθρώπινη ύπαρξη.

Η ταχύτητα των αλλαγών αυτών είναι πολύ μεγαλύτερη από την ταχύτητα με την οποία πραγματοποιούνται αντίστοιχες αλλαγές υπό την επίδραση των φυσικών δυναμικών του συστήματος της γης. Ενδεικτικά μπορούμε να αναφέρουμε τα ακόλουθα γεγονότα:

- Μέσα σε λίγες γενιές το ανθρώπινο γένος κατάφερε να καταναλώσει και να εξαντλήσει αποθέματα φυσικών καυσίμων, τα οποία είχαν παραχθεί κατά τη διάρκεια αρκετών εκατοντάδων εκατομμυρίων χρόνων.
- Σχεδόν η μισή χερσαία επιφάνεια της γης έχει υποστεί ολοκληρωτική μεταμόρφωση από την ανθρώπινη δραστηριότητα με σημαντικές επιπτώσεις στη βιοποικιλομορφία, στην τροφική αλυσίδα, στη δομή του εδάφους και στη βιολογία, καθώς και στο κλίμα
- Περισσότερες από τις μισές προσβάσιμες φυσικές πηγές νερού έχουν χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο είτε άμεσα είτε έμμεσα με αποτέλεσμα τα φυσικά υπόγεια αποθέματα νερού να εξαντλούνται με γρήγορους ρυθμούς σε πολλές περιοχές.
- Οι συγκεντρώσεις ορισμένων σημαντικών για τις κλιματολογικές συνθήκες αερίων θερμοκηπίου όπως και του διοξειδίου του άνθρακα και του μεθανίου έχουν αυξηθεί σε ανησυχητικό βαθμό στην ατμόσφαιρα.
- Τα θαλάσσια και παράκτια οικοσυστήματα έχουν μεταβληθεί δραματικά ενώ το 50% των υδροβιότοπων έχει συρρικνωθεί στο μισό.
- Οι ρυθμοί εξαφάνισης έχουν αυξηθεί απότομα στα θαλάσσια και χερσαία οικοσυστήματα σε όλο τον πλανήτη.

Σήμερα ο πλανήτης μας κατοικείται από περίπου 6 δισεκατομμύρια ανθρώπους, οι οποίοι όλοι έχουν τις βασικές ανάγκες και απαιτήσεις για νερό, τροφή, στέγη, υγιεινή διαβίωση και εργασία. Οι τρόποι με τους οποίους αποκτώνται τα παραπάνω

αγαθά για την ικανοποίηση όλου του πληθυσμού αποτελούν κρίσιμους καθοριστικούς παράγοντες για τις περιβαλλοντικές συνέπειες σε όλα τα επίπεδα. Στο σύγχρονο αναπτυγμένο κόσμο η ευημερία, ο πλούτος, η αφθονία και κυρίως η απαίτηση για κατανάλωση αγαθών για διασκέδαση, συγκοινωνίες, επικοινωνία καθώς και η ευρεία κλίμακα ζητούμενων προϊόντων και υπηρεσιών, δημιουργούν τεράστιες απαιτήσεις σε παγκόσμια αποθέματα. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι κατά τη διάρκεια των ετών 1970 και 1997 η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε κατά 84% και η κατανάλωση άλλων φυσικών πρώτων υλών και πόρων αυξήθηκε εξίσου δραματικά.

2.1.1. Αντιμέτωποι με τις συνέπειες

Σήμερα υπάρχουν πλέον σοβαρές ενδείξεις ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες επηρεάζουν δραματικά το περιβάλλον της γης σε παγκόσμιο επίπεδο. Συγκεκριμένα, ενώ οι επιρροές των δραστηριοτήτων αυτών ήταν αρχικά εμφανείς μόνο σε τοπικό επίπεδο για μεγάλο χρονικό διάστημα, τώρα παρατηρούνται πλέον σε παγκόσμιο επίπεδο με το πρώτο σημάδι να εντοπίζεται στις αρχές της δεκαετίας του 1970 όπου σχετικές έρευνες αποκάλυψαν την τάση καταστροφής του προστατευτικού στρώματος όζοντος της γήινης ατμόσφαιρας εξαιτίας της έκλυσης χημικών αερίων. Πολλές είναι και οι μελέτες που αφορούν στις παγκόσμιες κλιματολογικές συνθήκες και των οποίων τα αποτελέσματα έχουν θέσει σε επιφυλακή τους επιστήμονες καθώς δεικνύουν τάση ραγδαίας αλλαγής του κλίματος σε παγκόσμιο επίπεδο λόγω μεταβολών στη σύνθεση της ατμόσφαιρας της γης. Περιληπτικά, οι κύριες επιδράσεις της ανθρώπινης δραστηριότητας στο κλίμα μας είναι οι ακόλουθες:

- Το μέσο επίπεδο θερμοκρασίας στην επιφάνεια των θαλασσών αλλά και της στεριάς έχει αυξηθεί κατά 0,6°C κατά τον 20^ο αιώνα.
- Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι το έτος 1990 ήταν παγκοσμίως το πιο ζεστό των τελευταίων 1000 χρόνων.
- Έχουν αλλάξει τα μοντέλα ατμοσφαιρικής κατακρήμνισης.
- Έχουν επίσης αυξηθεί η έκταση, η ένταση και η συχνότητα των εκδηλώσεων του φαινομένου El Niño.
- Από τη βιομηχανική εποχή οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν μεταβάλλει τη σύνθεση της ατμόσφαιρας, η οποία παρουσιάζει υψηλές συγκεντρώσεις αερίων θερμοκηπίου κυρίως λόγω της καύσης των φυσικών καυσίμων (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) και των μεταβολών στους τρόπους

εκμετάλλευσης της γης: από το 1750, οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα έχουν αυξηθεί κατά 31%, του μεθανίου κατά 151% και του οξειδίου του αζώτου κατά 17%. Σχετικές μελέτες υποδεικνύουν ότι οι σημερινές συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι πρωτοφανείς συγκρινόμενες με εκείνες των τελευταίων 420.000 χρόνων.

Τα διαθέσιμα επιστημονικά δεδομένα δεικνύουν ότι το σύστημα της γης έχει μετακινηθεί αρκετά από τη φυσική μεταβλητότητά του καθώς και ότι η φύση των αλλαγών οι οποίες λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα σε ολόκληρο το παγκόσμιο περιβάλλον, η έκτασή τους και οι ρυθμοί τους είναι πρωτοφανείς σε όλη την ανθρώπινη ιστορία και ίσως και στην ιστορία του πλανήτη.

2.1.2. Προβλέψεις για το μέλλον

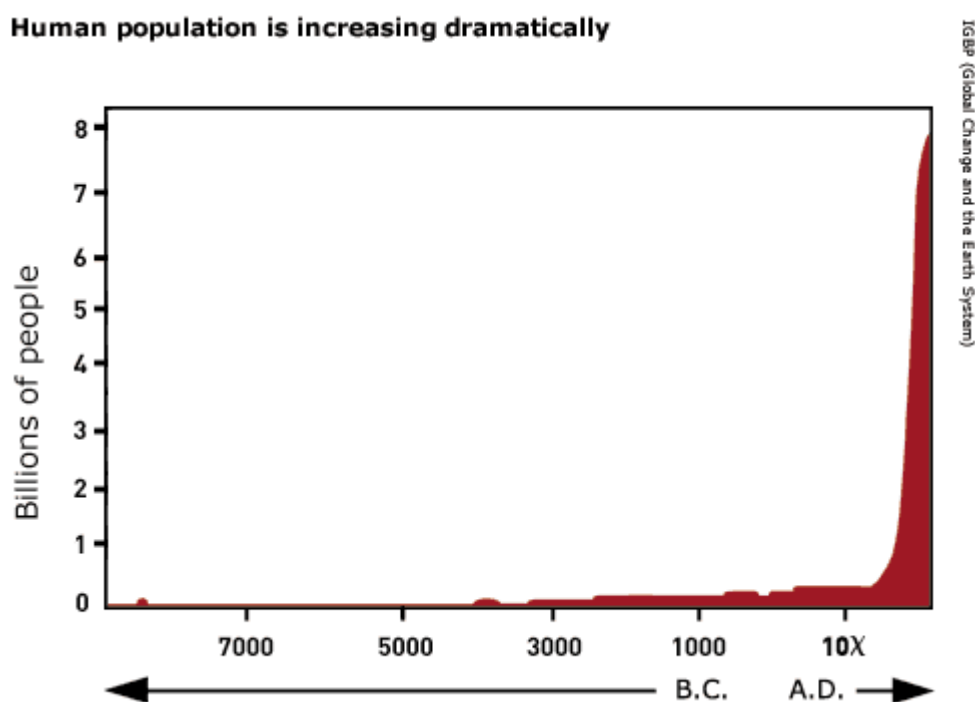
Το 1988 ιδρύθηκε η ενδοκυβερνητική επιτροπή για θέματα κλιματολογικών αλλαγών IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) για να φέρει σε επαφή επιστήμονες από όλο τον κόσμο με σκοπό τη διεξαγωγή αυστηρών ερευνών που σχετίζονται με τους παράγοντες εκείνους που επιδρούν στο κλίμα, με τις δυσμενείς επιπτώσεις τους σε αυτό καθώς και με την εκτίμηση επικίνδυνων φαινομένων που σταδιακά θα απειλήσουν την υγεία και τη ζωή των κατοίκων του πλανήτη.

Οι προβλέψεις και οι εκτιμήσεις που παρουσιάστηκαν από την κυβερνητική αυτή επιτροπή κατά το τρίτο επιστημονικό συνέδριό τους, ήταν οι παρακάτω:

- Η εκπομπή αερίων θερμοκηπίου λόγω καύσης φυσικών καυσίμων είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα αποτελέσει την κυρίαρχη αιτία στην τάση συγκέντρωσης των αερίων αυτών στην ατμόσφαιρα.
- Υποθέτοντας ότι οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου θα εξακολουθήσουν να αυξάνονται, αναμένεται ότι το παγκόσμιο επίπεδο επιφανειακής θερμοκρασίας θα αυξηθεί μεταξύ 1,4°C και 5,8°C.
- Αυτή η παγκόσμια αύξηση του επιπέδου θερμοκρασίας προβλέπεται να δημιουργήσει σημαντικές επιπτώσεις στο μοντέλο ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων και να προκαλέσει ακραία καιρικά φαινόμενα.
- Το μέσο παγκόσμιο επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας αναμένεται να ανέβει μεταξύ 9cm και 88cm στον επόμενο αιώνα: δεκάδες εκατομμυρίων

ανθρώπων θα εκτεθούν σε κίνδυνο από την ανύψωση του επιπέδου της θάλασσας.

Οι παραπάνω επιταχυνόμενες αλλαγές στο γήινο περιβάλλον συμβαδίζουν με την αύξηση του πληθυσμού, τα αυξημένα επίπεδα κατανάλωσης των φυσικών πόρων από τις ανθρώπινες κοινωνίες καθώς και τις μεταβολές στην τεχνολογία και τους κοινωνικοπολιτικούς οργανισμούς. Πιθανότατα, μια από τις σημαντικότερες συνιστώσες των παγκόσμιων μεταβολών στις επόμενες 3 ή 4 δεκαετίες θα είναι οι μεταβολές στην εκμετάλλευση της γης, η οποία θα παρουσιάσει σημαντική αύξηση λόγω των αναγκών σίτισης του πληθυσμού, ο οποίος αναμένεται να αυξηθεί περίπου κατά ένα δισεκατομμύριο κατοίκους κάθε δεκαετία για τις επόμενες τρεις δεκαετίες τουλάχιστον.



Σχήμα 2.1: Δραματική αύξηση του πληθυσμού της γης

Προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι απαιτήσεις για τροφή, θα πρέπει να αυξηθεί η παραγωγή της σοδειάς κατά περίπου 2% κάθε χρόνο για όλη την προαναφερθείσα περίοδο. Παρά τις τεχνολογικές προόδους η απαιτούμενη αύξηση της παραγωγής των προϊόντων θα οδηγήσει σε εντατικοποίηση της γεωργικής καλλιέργειας σε περιοχές που ήδη αποδίδουν σοδειά και σε μετατροπή δασικών εκτάσεων και βοσκότοπων σε καλλιεργήσιμες περιοχές. Έτσι, θα αρχίσουν να χρησιμοποιούνται ακόμη και άγονες περιοχές ή περιοχές που δεν είναι κατάλληλες

για καλλιέργεια, προκειμένου να ικανοποιηθούν οι αυξανόμενες απαιτήσεις, με αποτέλεσμα τη διάβρωση του εδάφους, την αλόγιστη χρήση νερού και την περαιτέρω υποβάθμιση του γήινου εδάφους.

2.1.3. Διεθνής απόκριση για την υποστήριξη του πλανήτη

Το ενδιαφέρον και η επιθυμία για πληροφόρηση του ευρύτερου κοινωνικού συνόλου για το περιβάλλον του, άρχισε να εντοπίζεται κυρίως στις δεκαετίες 1960 και 1970, κατά τις οποίες γεννήθηκε η ανησυχία για τη μόλυνση του νερού και του αέρα, για την εκτεταμένη χρήση φυτοφαρμάκων και εντομοκτόνων και για καταστροφές του οικοσυστήματος, όπως αυτή που προήλθε από την εκροή πετρελαίου στον ωκεανό από κάποιο δεξαμενόπλοιο. Πολλές κυβερνήσεις κατά τη δεκαετία 1970, δημιούργησαν υπουργεία περιβάλλοντος και επιτροπές με στόχο την περιβαλλοντική προστασία, ανοίγοντας δρόμο για καινούριες προοπτικές στη μελέτη και παρακολούθηση των περιβαλλοντικών θεμάτων και αναπτύσσοντας απαιτήσεις για έγκυρη πληροφόρηση. Ακόμη εισήγαγαν καινούρια νομοθεσία και περιβαλλοντικούς κανονισμούς, ώστε να υποχρεώσουν τη βιομηχανία και τους διάφορους τομείς παραγωγής να συμμορφωθούν στα νέα δεδομένα.

Πολλά από τα περιβαλλοντικά ζητήματα είναι από τη φύση τους παγκόσμια και απαιτούν λύσεις σε παγκόσμιο επίπεδο πέρα από τις εντολές και τις εξουσιοδοτήσεις των μεμονωμένων κυβερνήσεων. Αποτέλεσμα της διαφαινόμενης προοπτικής ότι οι παγκόσμιες κλιματολογικές συνθήκες θα μπορούσαν να μεταβληθούν υπό την ανθρώπινη επίδραση, ήταν η ανάπτυξη μιας παγκόσμιας συνεργαζόμενης αντίδρασης, η οποία περιλαμβάνει:

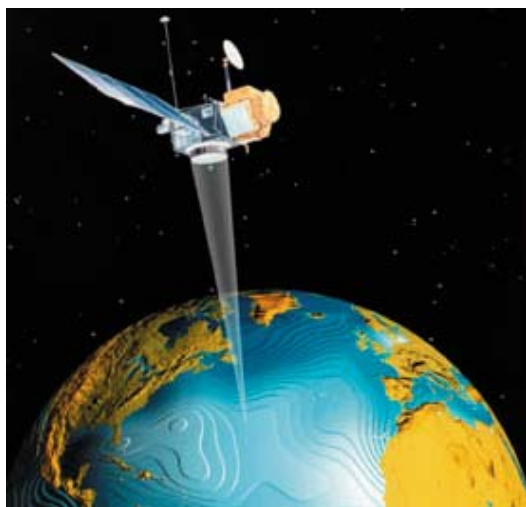
- Λήψη αποφάσεων σε διεθνές επίπεδο και πολιτική μέτρων: οι κυβερνήσεις και οι εθνικές και τοπικές επιτροπές επιδιώκουν αυξημένες πολιτικές και νομικές υποχρεώσεις προκειμένου να στρέψουν το παγκόσμιο ενδιαφέρον στη διάσωση του περιβαλλοντικού συστήματος.
- Συνεργασία στην επιστημονική έρευνα και εκτίμηση: μεταξύ άλλων περιλαμβάνονται η ίδρυση της ενδοκυβερνητικής επιτροπής για θέματα κλιματολογικών αλλαγών IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) το 1988 από τον παγκόσμιο μετεωρολογικό οργανισμό WMO (World

Meteorological Organization) και το περιβαλλοντικό πρόγραμμα των ηνωμένων εθνών UNEP (UN Environment Programme).

- Συνεισφορά πληροφοριών: η φύση των θεμάτων που σχετίζονται με τις αλλαγές στο σύστημα της γης δημιουργεί την ανάγκη για συλλογή παγκόσμιων δεδομένων και στοιχείων σε κρίσιμους πλανητικούς ενδείκτες, που παρέχουν την απαραίτητη πληροφορία ώστε οι κυβερνήσεις να λάβουν τις καταλληλότερες αποφάσεις. Εκτιμώντας ότι καμία χώρα μόνη της δεν μπορεί να ικανοποιήσει όλες τις απαραίτητες απαιτήσεις παρακολούθησης για τον έλεγχο του συστήματος της γης, οι κυβερνήσεις λαμβάνουν μέτρα για να εναρμονίσουν και να ενοποιήσουν τα δίκτυα παρακολούθησης και τα συστήματα δορυφορικής παρατήρησης ώστε να μπορέσουν να διαχειριστούν κοινά προβλήματα παγκόσμιου ενδιαφέροντος.

2.2. Η σημασία της περιβαλλοντικής παρακολούθησης

2.2.1. Ανάγκη παρατήρησης της γης



Οι αναμενόμενες παγκόσμιες μεταβολές στο σύστημα της γης και οι σχετιζόμενες επιδράσεις στον ανθρώπινο πολιτισμό καθιστούν την πληροφόρηση σχετικά με το περιβάλλον μας, ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική και υποστηρικτική μελλοντική διαχείριση του πλανήτη, τόσο μακροπρόθεσμα όσο και βραχυπρόθεσμα.

Σε ό,τι αφορά το μακροχρόνιο διάστημα, θα πρέπει να συλλεχθεί υψηλής ποιότητας πληροφορία για πολλά χρόνια, στην οποία θα στηριχθούν οι κρίσιμες κλιματολογικές μελέτες, ώστε να παρακολουθηθεί και να χαρακτηριστεί το κλίμα στην τρέχουσα περίοδο, να ανιχνευθούν οι κλιματολογικές μεταβολές, να καθοριστεί ο ρυθμός των αλλαγών αυτών, να προσδιοριστούν οι αιτίες, να αναγνωριστούν εκείνες οι μεταβολές που οφείλονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα, να επιβεβαιωθούν τα κλιματολογικά μοντέλα, να ενισχυθεί η πρόβλεψη των μελλοντικών φαινομένων, να εκτιμηθούν και να ποσοτικοποιηθούν οι επιδράσεις των

κλιματολογικών αλλαγών στις ανθρώπινες δραστηριότητες και στα συστήματα της φύσης.

Βραχυπρόθεσμα, η καλύτερη πληροφόρηση σχετικά με τις καθημερινές δραστηριότητες που συντηρούν την ανθρώπινη ύπαρξη, θα αποτελέσει μια ζωτική συνιστώσα της παγκόσμιας στρατηγικής για την προσαρμογή σε ένα κόσμο με έναν ταχέως αυξανόμενο πληθυσμό, με συνεχή τάση εξάντλησης των φυσικών πηγών και ο οποίος θα βιώσει τις πιθανές συνέπειες από τις κλιματολογικές μεταβολές. Οι χώρες και οι βιομηχανίες τους αναμένεται να μοχθήσουν για την καλύτερη αποτελεσματικότητα και το διεθνή ανταγωνισμό στη γεωργική παραγωγή, στην εκμετάλλευση του νερού και της γης, στον έλεγχο των ατμοσφαιρικών εκπομπών, στην εξερεύνηση και διαχείριση φυσικών πηγών και πόρων και στην πρόβλεψη και οχύρωση ενάντια στα ακραία καιρικά φαινόμενα και τις φυσικές καταστροφές.

Όλες οι παραπάνω πληροφορίες απαιτούνται σε όλα τα επίπεδα, τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο. Αναμένεται ότι θα χρησιμοποιηθούν από ενδοκυβερνητικές επιτροπές για λήψη αποφάσεων και από τις παγκόσμιες κυβερνήσεις για την προστασία της ανθρώπινης ύπαρξης και την υποστήριξη του γήινου συστήματος. Η πληροφόρηση αυτή, συνδέεται με αρκετούς κρίσιμους δείκτες, όπως δημογραφικούς, οικονομικούς και περιβαλλοντικούς.

2.2.2. Εφαρμογές περιβαλλοντικής παρακολούθησης και εκτίμησης καταστροφών

Τα κυριότερα θέματα μελέτης των προγραμμάτων περιβαλλοντικής παρακολούθησης αφορούν σε κρίσιμα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα τόσο στην ατμόσφαιρα, όσο και στη θάλασσα και στο έδαφος και τα οποία επηρεάζουν την ανθρώπινη ζωή και δραστηριότητα. Τα πιο ενδιαφέροντα και πιο σημαντικά από αυτά, κυρίως λόγω των επιδράσεών τους στην ανθρώπινη κοινωνία και λόγω των αναμενόμενων μελλοντικών συνεπειών τους, είναι τα ακόλουθα:

- Εκπομπή αερίων θερμοκηπίου.
- Αποθέματα νερού.
- Παρακολούθηση ωκεανών.
- Παρακολούθηση όζοντος.

- Παρατήρηση και διαχείριση φυσικών καταστροφών.

2.2.2.1. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

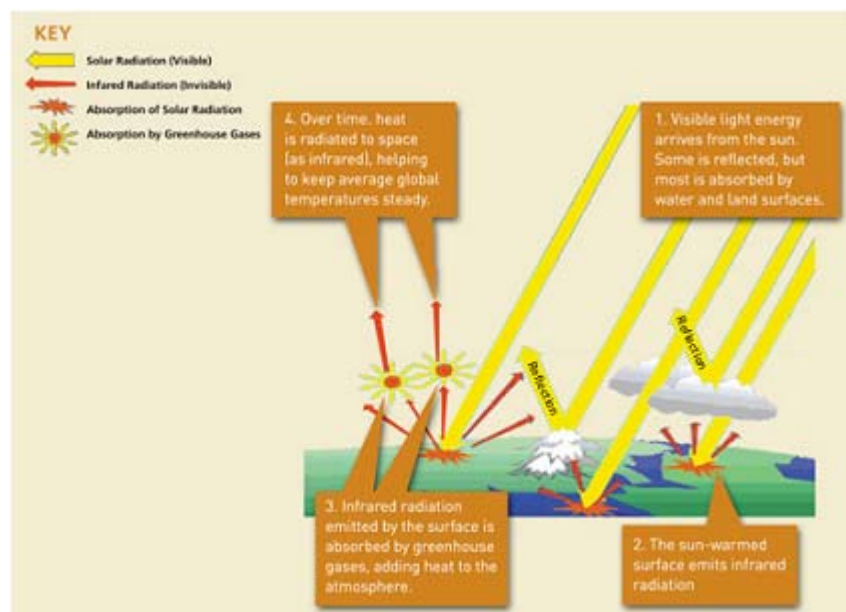
Ορισμένα αέρια θερμοκηπίου βρίσκονται φυσικά στην ατμόσφαιρα, ενώ άλλα παρουσιάζονται ως επακόλουθο των ανθρώπινων ενεργειών. Στα φυσικά ευρισκόμενα αέρια στην ατμόσφαιρα περιλαμβάνονται οι υδρατμοί, το μεθάνιο, το διοξείδιο του άνθρακα, το οξείδιο του αζώτου και το όζον. Εντούτοις, ορισμένες ανθρώπινες δραστηριότητες, αυξάνουν τα επίπεδα των παραπάνω αερίων. Συγκεκριμένα:

- Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) απελευθερώνεται στον αέρα όταν στερεά απόβλητα, φυσικά καύσιμα, όπως έλαια, φυσικό αέριο, βενζίνη και άνθρακας, ξύλο καθώς και άλλα παράγωγά του, καίγονται.
- Το μεθάνιο (CH_4) εκπέμπεται κατά τα στάδια της παραγωγής και μεταφοράς του άνθρακα, του φυσικού αερίου και των ελαίων. Εκπομπές μεθανίου προκαλούνται επίσης κατά την αποσύνθεση των οργανικών αποβλήτων που συλλέγονται στους κατάλληλους δημοτικούς χώρους ή που δημιουργούνται κατά την εκτροφή αγροτικών ζώων.
- Το οξείδιο του αζώτου (N_2O) εκπέμπεται κατά τη διάρκεια γεωργικών και βιομηχανικών δραστηριοτήτων, όπως επίσης και κατά την ανάφλεξη στερεών αποβλήτων και φυσικών καυσίμων.

Ορισμένα πολύ δραστικά αέρια θερμοκηπίου που δε βρίσκονται στην ατμόσφαιρα υπό φυσιολογικές συνθήκες, είναι ο υδροφθοροάνθρακας (hydrofluorocarbons HFCs), ο υπερφθοροάνθρακας (perfluorocarbons PFCs) και το εξαφθοριούχο θείο (sulfur hexafluoride SF_6), τα οποία παράγονται κατά τη διάρκεια ποικίλων βιομηχανικών διεργασιών.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι μια φυσική διαδικασία που βοηθά στη θέρμανση της γήινης επιφάνειας και της ατμόσφαιρας. Οφείλεται στο γεγονός ότι ορισμένα ατμοσφαιρικά αέρια, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, οι υδρατμοί και το μεθάνιο, έχουν την ικανότητα να μεταβάλουν την ενεργειακή ισορροπία στον πλανήτη απορροφώντας ακτινοβολία σε μεγάλα μήκη κύματος από την επιφάνεια της γης. Χωρίς την επίδραση του φαινομένου αυτού, πιθανότατα δε θα υπήρχε ζωή στον

πλανήτη, αφού η μέση θερμοκρασία του πλανήτη θα ήταν -18°C , σε αντίθεση με την παρούσα μέση θερμοκρασία των 15°C .



Σχήμα 2.2: Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Καθώς η ενέργεια από τον ήλιο περνά μέσα από την ατμόσφαιρα, λαμβάνουν χώρα οι διαδικασίες που φαίνονται στο παραπάνω σχήμα. Ένα μέρος της ενέργειας (26% παγκοσμίως) ανακλάται πίσω στο διάστημα από τα σύννεφα και τα σωματίδια. Περίπου το 19% της προσπίπτουσας ενέργειας απορροφάται από τα σύννεφα, από τα αέρια όπως το όζον και από σωματίδια στην ατμόσφαιρα. Από το υπόλοιπο 55% της ηλιακής ενέργειας που διέρχεται μέσα από τη γήινη ατμόσφαιρα, το 4% ανακλάται από την επιφάνεια πίσω στο διάστημα, ενώ το 51% φτάνει στην επιφάνεια και απορροφάται από αυτήν. Αυτή η ενέργεια χρησιμεύει σε μια σειρά διαδικασιών, στις οποίες περιλαμβάνονται η θέρμανση της επιφάνειας του εδάφους, η τήξη των πάγων και του χιονιού και η εξάτμιση του νερού καθώς και η φωτοσύνθεση των φυτών.

Η θέρμανση του εδάφους από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπει την επιφάνεια της γης σε έναν ακτινοβολητή ενέργειας στην περιοχή του υπέρυθρου. Η εκπεμπόμενη ενέργεια κατευθύνεται κυρίως προς το διάστημα, εντούτοις ένα μικρό ποσοστό αυτής, φτάνει σ' αυτό. Η πλειοψηφία της εκπεμπόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας, απορροφάται από ορισμένα ατμοσφαιρικά αέρια, γνωστά ως αέρια θερμοκηπίου. Η απορρόφηση της ενέργειας αυτής, προκαλεί επιπρόσθετη θερμική ενέργεια στο γήινο ατμοσφαιρικό σύστημα. Τώρα, τα

θερμότερα, πλέον, μόρια των ατμοσφαιρικών αερίων θερμοκηπίου αρχίζουν να ακτινοβολούν ενέργεια προς όλες τις κατευθύνσεις. Περισσότερο από το 90% της εκπεμπόμενης αυτής ενέργειας κατευθύνεται πίσω στην επιφάνεια της γης, όπου απορροφάται ξανά. Η θέρμανση του εδάφους προκαλεί για ακόμα μια φορά την εκπομπή ακτινοβολίας, επαναλαμβάνοντας τον παραπάνω κύκλο, ξανά και ξανά, μέχρις ότου να μην υπάρχει πλέον διαθέσιμη ακτινοβολία για απορρόφηση.

Η ποσότητα της θερμικής ενέργειας που προστίθεται στην ατμόσφαιρα μέσω του φαινομένου του θερμοκηπίου, καθορίζεται από τη συγκέντρωση των αερίων θερμοκηπίου. Οι συγκεντρώσεις των σημαντικότερων και δραστικότερων από τα αέρια αυτά, άρχισαν να αυξάνονται από την περίοδο της βιομηχανικής επανάστασης (γύρω στα 1700). Οι επιστήμονες προβλέπουν ότι το αποτέλεσμα των αυξημένων αυτών συγκεντρώσεων, θα είναι η εντατικοποίηση του φαινομένου του θερμοκηπίου και η μετατροπή του κλίματος της γης σε θερμότερο. Επίσης, υπολογίζουν ότι η μέση παγκόσμια θερμοκρασία της γης έχει ήδη αυξηθεί κατά 0,3 έως 0,6°C, από τις αρχές του αιώνα, ενώ προβλέπουν ότι μέχρι τα μέσα του επόμενου αιώνα, η θερμοκρασία θα έχει επίσης αυξηθεί κατά 1 έως 3°C, σε σχέση με τα σημερινά επίπεδα. Τέλος, αναμένουν σημαντικές επιπτώσεις στην ανύψωση του επιπέδου της θάλασσας, στην ατμοσφαιρική κατακρήμνιση και στην εκδήλωση ακραίων καιρικών φαινομένων, με προφανή αντίκτυπο σε μια ευρεία κλίμακα οικολογικών λειτουργιών και ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

2.2.2.1.1. Μια παγκόσμια ευθύνη

Στις 9 Μαΐου του 1992 πραγματοποιήθηκε το διαρθρωτικό συνέδριο των Ηνωμένων Εθνών σχετικά με τις κλιματολογικές μεταβολές, UNFCCC (UN Framework Convention on Climate Change), το οποίο αποτελεί μέχρι σήμερα το σημαντικότερο παγκόσμιο νομικό πλαίσιο για διεθνή δράση σχετικά με τις μεταβολές του κλίματος. Μέχρι τις αρχές του 2002, 186 χώρες καθώς και η Ευρωπαϊκή Κοινότητα έγιναν μέλη του συνεδρίου αυτού.

Ο κυριότερος στόχος του συνεδρίου είναι η επίτευξη σταθεροποίησης της συγκέντρωσης των αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα σε εκείνο το επίπεδο το οποίο θα αποτρέψει επικίνδυνες επιδράσεις στο κλιματολογικό σύστημα. Το 1997,

στα πλαίσια του συνεδρίου αυτού υιοθετήθηκε ένα πρωτόκολλο (Kyoto Protocol), το οποίο υποβάλλει τις βιομηχανοποιημένες χώρες σε πορεία μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, με νομικά κατοχυρωμένες δεσμεύσεις. Η απαραίτητη μείωση στην εκπομπή αερίων θερμοκηπίου, απαιτεί αλλαγές στους τρόπους παραγωγής ενέργειας, στην παροχή μεταφοράς μέσω των ποικίλων μεταφορικών μέσων καθώς και στον τρόπο εκμετάλλευσης και χρησιμοποίησης της γης, οι οποίοι όλοι αποτελούν τους πιο θεμελιώδεις τομείς για τη μελλοντική οικονομική ανάπτυξη των χωρών. Εντούτοις, η ανησυχητική πραγματικότητα δεν αφήνει περιθώρια για περισσότερη καθυστέρηση και αδιαφορία, αφού σύμφωνα με τις πιο έγκυρες διαθέσιμες επιστημονικές μελέτες, οι ανθρώπινες δραστηριότητες επηρεάζουν ήδη το κλίμα του πλανήτη, ενώ η εκπομπή αερίων θερμοκηπίου αποτελεί την πρωταρχική αιτία των κλιματολογικών μεταβολών.

2.2.2.1.2. Τηλεπισκοπικοί αισθητήρες για την παρακολούθηση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, την κυρίαρχη επίδραση στην τάση συγκέντρωσης των αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα αποτελεί η εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα κατά την καύση των φυσικών καυσίμων. Έτσι, η κατανόηση και η παρακολούθηση του παγκόσμιου κύκλου του άνθρακα αποτελεί επιτακτική ανάγκη για τις επερχόμενες δεκαετίες, τόσο παγκοσμίως όσο και ξεχωριστά για κάθε χώρα. Ο παγκόσμιος κύκλος του άνθρακα συνδέει τα τρία κυρίαρχα συστατικά του γήινου συστήματος: την ατμόσφαιρα, τους ωκεανούς και τη γη. Σε καθεμία από τις παραπάνω περιοχές, υπάρχουν αποθηκευμένες μεγάλες πηγές (δεξαμενές) άνθρακα σε άμεσα ανταλλάξιμες μορφές. Για πολλούς αιώνες, πριν τη βιομηχανική επανάσταση, οι διάφορες πηγές του άνθρακα βρίσκονταν σε ισορροπία, όμως μετά την ανάπτυξη της γεωργίας και της βιομηχανίας έλαβαν χώρα σημαντικές αλλαγές, οι οποίες επιτάχυναν την μεταφορά των μορφών του άνθρακα από τις γεωλογικές (φυσικά καύσιμα) και τις χερσαίες δεξαμενές στην ατμόσφαιρα. Εξαιτίας της συνεκτικότητας μεταξύ των δεξαμενών, οι αυξημένες ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις του άνθρακα επηρεάζουν τις δεξαμενές στους ωκεανούς και στο έδαφος.

Η χρήση τηλεπισκοπικών αισθητήρων μπορεί να παρέχει μια παγκόσμια, συνοπτική όψη των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα ως μέρος της αλυσίδας του άνθρακα. Οι κυριότερες εφαρμογές των αισθητήρων αυτών, είναι:

- Παγκόσμια χαρτογράφηση της χρησιμοποίησης της γης, των αλλαγών στην επιφάνεια της γης και των χαρακτηριστικών βλάστησης που είναι σημαντικά για τις συνολικές διαδικασίες του άνθρακα. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται αισθητήρες, όπως AATSR, AVHRR, ETM+ και MODIS.
- Παρακολούθηση χαρακτηριστικών εποχιακής καλλιέργειας και παραγωγής σε παγκόσμιο επίπεδο, με χρήση του αισθητήρα AVHRR.
- Ανίχνευση φωτιάς και χαρτογράφηση καμένων περιοχών: σε πολλές περιοχές του κόσμου, οι φωτιές αποτελούν την κυρίαρχη διαταραχή στη βλάστηση και οδηγούν σε σημαντικές μεταβολές στην εκπομπή του άνθρακα από τα οικοσυστήματα. Για την ανίχνευση και τη χαρτογράφηση εκτεταμένων φωτιών σε δάση και λιβάδια, χρησιμοποιούνται θερμικοί και οπτικοί αισθητήρες, ενώ και οι αισθητήρες ραντάρ έχουν αρχίσει να αποδεικνύονται χρήσιμοι για τους σκοπούς αυτούς.

Η μεγαλύτερη πρόκληση για την παρακολούθηση της αλυσίδας του άνθρακα τηλεπισκοπικά, είναι η ανάπτυξη κατάλληλων οργάνων και αισθητήρων για τη μέτρηση της συνολικής συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα με πλήρη κάλυψη.

2.2.2.2. Αποθέματα νερού

2.2.2.2.1. Μία βασική ανάγκη

Από όλη την ποσότητα του νερού που υπάρχει σήμερα στον πλανήτη μας, μόνο το 2,5% είναι πόσιμο και μόνο το 0,007% αυτού είναι άμεσα διαθέσιμο στους ανθρώπους μέσω ποταμών, λιμνών και άλλων φυσικών ή τεχνητών δεξαμενών. Το πόσιμο νερό αποτελεί έναν καθοριστικό και ευαίσθητο πόρο, απαραίτητο για τη διατήρηση της ζωής, για την ανάπτυξη και για το περιβάλλον, ενώ η διαχείριση του πόρου αυτού αναμένεται να αποτελέσει μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που θα χρειαστεί να αντιμετωπίσει η ανθρωπότητα κατά τη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα.

Παρά τις σημαντικές βελτιώσεις που πραγματοποιήθηκαν τις προηγούμενες δεκαετίες, περισσότεροι από ένα δισεκατομμύριο άνθρωποι στερούνται πρόσβασης

σε ασφαλές-πόσιμο νερό, ενώ σχεδόν δύο δισεκατομμύρια άνθρωποι στερούνται ασφαλών εγκαταστάσεων υγιεινής. Σύμφωνα με σχετικές μελέτες και εκτιμήσεις, περίπου 10.000 άνθρωποι πεθαίνουν κάθε μέρα από ασθένειες που προκαλούνται από το νερό ή από έλλειψη νερού, όπως επίσης και από ασθένειες που οφείλονται στις μη ασφαλείς εγκαταστάσεις υγιεινής. Οι επιπτώσεις των ανεπαρκών ποσοτήτων νερού και υπηρεσιών υγιεινής, βαραίνουν κυρίως τους πιο φτωχούς λαούς αυτού του πλανήτη.

Σήμερα οι άνθρωποι εκμεταλλεύονται περισσότερο από το μισό διαθέσιμο νερό στον πλανήτη και η ποσότητα αυτή αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά στις επερχόμενες δεκαετίες. Μια αξιόλογη ποσότητα του νερού, της τάξης του 70% που αντλείται στις παρούσες συνθήκες, από όλες τις φυσικές πηγές, χρησιμοποιείται για τις ανάγκες της γεωργίας. Με την αναμενόμενη αύξηση του πληθυσμού κατά 65% (3,7 δισεκατομμύρια) μέχρι το 2050, η αυξημένη ποσότητα τροφής που θα απαιτηθεί για τη σίτιση των μελλοντικών γενεών, θα ασκήσει τεράστια πίεση στα διαθέσιμα αποθέματα πόσιμου νερού. Σύμφωνα με πρόσφατες παγκόσμιες εκτιμήσεις, περίπου το 70% του μελλοντικού παγκόσμιου πληθυσμού θα αντιμετωπίσει προβλήματα έλλειψης νερού και το 16% θα έχει ανεπαρκείς ποσότητες νερού για την κάλυψη της φυσικής ανάγκης του για τροφή μέχρι το 2050. Επιπλέον, η μελλοντική διαχείριση των αποθεμάτων και των πηγών καθαρού νερού θα παρουσιάσει περιπλοκές, καθώς οι κλιματολογικές μεταβολές έχουν δημιουργήσει αβεβαιότητα σχετικά με τα μοντέλα βροχοπτώσεων, ενώ οι σχετικές παρατηρήσεις υποδεικνύουν ότι στο μέλλον η ανθρωπότητα θα αντιμετωπίσει σε αυξημένη συχνότητα και ένταση, ακραία φαινόμενα κατακρημνίσεων και ανομβρίας.

Ο συνδυασμός της αυξημένης ανεπάρκειας στα παγκόσμια αποθέματα νερού και της επίσης αυξημένης αβεβαιότητας σχετικά με την εξέλιξη της αλυσίδας του νερού στη γη, έχουν καταστήσει επείγουσα την ανάγκη βελτίωσης των προβλέψεων των βροχοπτώσεων και των αποθεμάτων νερού.

70% of the future world population will face water shortages by 2050



2.2.2.2. Παρατηρώντας και κατανοώντας τον κύκλο του νερού

Το νερό υπάρχει παντού στη γη και είναι η μοναδική γνωστή ουσία που μπορεί να υπάρξει φυσικά σε αέρια, υγρή και στερεά μορφή, ανάλογα με τις σχετικές αέριες θερμοκρασίες και τις πιέσεις που ασκούνται στη γήινη επιφάνεια. Συνολικά, η περιεκτικότητα της γης σε νερό είναι περίπου 1,39 δισεκατομμύρια κυβικά χιλιόμετρα και ο μέγιστος όγκος αυτού, περίπου το 96,5% αποτελεί τους παγκόσμιους ωκεανούς. Περίπου το 1,7% βρίσκεται με τη μορφή πολικών πάγων, παγετών και μόνιμου χιονιού, ενώ το υπόλοιπο 1,7% βρίσκεται με τη μορφή υπόγειων νερών, λιμνών, ποταμών, χειμάρρων και στο έδαφος. Τέλος, το ένα εκατοστό του παγκόσμιου νερού βρίσκεται στη γήινη επιφάνεια με τη μορφή υδρατμών.

Ακριβώς επειδή το νερό συνεχώς εξατμίζεται, υγροποιείται και συμπυκνώνεται, με την εξάτμιση σε παγκόσμιο επίπεδο να εξισώνεται με την παγκόσμια κατακρήμνιση, η ολική ποσότητα των υδρατμών στην ατμόσφαιρα παραμένει σχεδόν σταθερή στην πάροδο του χρόνου. Αυτή η κίνηση του νερού σε μια συνεχόμενη κυκλοφορία από τους ωκεανούς, στην ατμόσφαιρα, στη γη και πίσω ξανά στους ωκεανούς αποτελεί τον παγκόσμιο κύκλο του νερού, ο οποίος βρίσκεται στην καρδιά

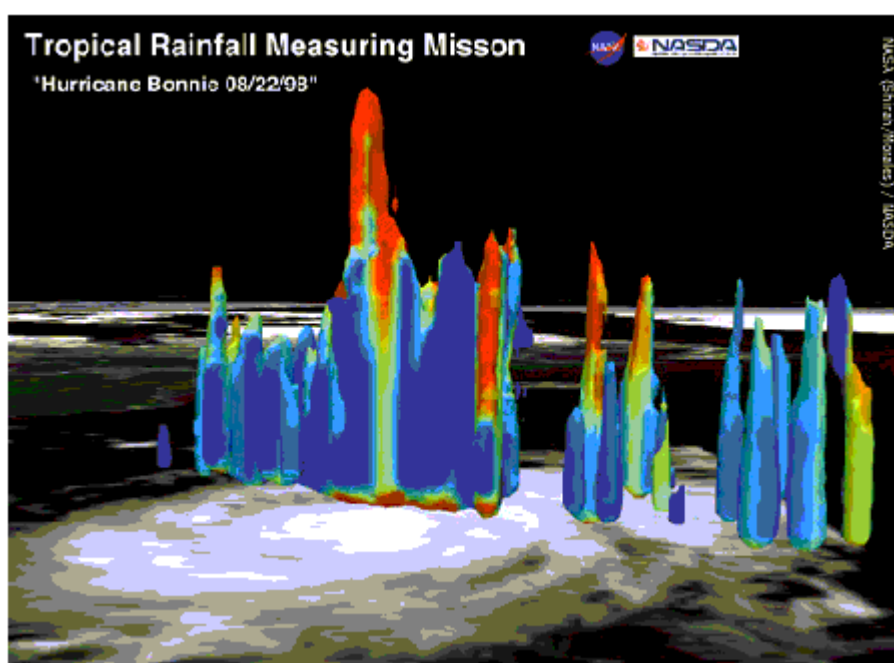
του κλιματολογικού συστήματος της γης επηρεάζοντας κάθε φυσική, χημική και οικολογική συνιστώσα του. Οι κλιματολογικές μεταβολές μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τις συγκεντρώσεις των υδρατμών στην ατμόσφαιρα, τη συγκέντρωση των σύννεφων καθώς και τα μοντέλα κατακρήμνισης, με αποτέλεσμα να δημιουργείται αβεβαιότητα σχετικά με τη μελλοντική εξέλιξη του κύκλου του νερού.



2.2.2.2.3. Ο ρόλος των τηλεπισκοπικών συστημάτων

Τα τηλεπισκοπικά συστήματα, όπως οι δορυφόροι περιβαλλοντικής παρακολούθησης παίζουν σημαντικό ρόλο στην παροχή πληροφοριών για μελέτη και παρατήρηση της εξέλιξης του κύκλου του νερού. Πληροφορίες σχετικά με τις ατμοσφαιρικές θερμοκρασίες και τη συγκέντρωση των υδρατμών μπορούν να παραχθούν από μετεωρολογικούς δορυφόρους με πολικές τροχιές. Επίσης, μετρήσεις σχετικές με τις θερμοκρασίες των θαλάσσιων επιφανειών μπορούν να διεξαχθούν με χρήση των παραπάνω δορυφόρων, καθώς και των Ευρωπαϊκών δορυφόρων ERS και των αποστολών του δορυφόρου Envisat. Μετρήσεις των ανέμων που πνέουν στους ωκεανούς μπορούν να πραγματοποιηθούν με τις προαναφερθείσες αποστολές, όπως επίσης και με το δορυφόρο Quicksat της NASA, ο οποίος λαμβάνει παντός καιρού, υψηλής ανάλυσης μετρήσεις των ανέμων κοντά στην επιφάνεια, για το 90% των παγκόσμιων ωκεανών σε καθημερινή βάση.

Η κατακρήμνιση είναι αναμφισβήτητα ένας καίριος ρυθμιστικός παράγοντας για την εξέλιξη του κύκλου του νερού, αλλά δεδομένης της υψηλής χρονικής αλλά και χωρικής μεταβλητότητάς του, αποτελεί μια ιδιαίτερα δύσκολη παράμετρο για να μετρηθεί. Μέχρι πρόσφατα, οι ορατές και υπέρυθρες εικόνες που λαμβάνονταν από τους γεωστατικούς μετεωρολογικούς δορυφόρους παρείχαν την καλύτερη δυνατή πηγή πληροφόρησης από δορυφόρους, με έμμεσες αλλά συχνές εκτιμήσεις της βροχόπτωσης, οι οποίες προέκυπταν από μετρήσεις των θερμοκρασιών στην κορυφή των σύννεφων. Ο ερχομός της αποστολής μέτρησης των τροπικών βροχοπτώσεων TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) της NASA το 1997, αποτέλεσε μια εντυπωσιακή καινοτομία για την παροχή τρισδιάστατης πληροφορίας για τη δομή και τα χαρακτηριστικά των βροχοπτώσεων.



Σχήμα 2.3: Τρισδιάστατη πληροφορία βροχόπτωσης

2.2.2.3. Παρακολούθηση ωκεανών

2.2.2.3.1. Ο πλανήτης των ωκεανών

Η γη, θα μπορούσε να ονομαστεί ο πλανήτης των ωκεανών, αφού το 70% της επιφάνειάς της καλύπτεται από ωκεανούς. Οι ωκεανοί παίζουν έναν κρίσιμο ρόλο στον καθορισμό του παγκόσμιου κλίματος και είναι άρρηκτα συνδεδεμένοι με την ατμόσφαιρα κατά την εξέλιξη των φυσικών διακυμάνσεων του κλιματολογικού συστήματός μας:

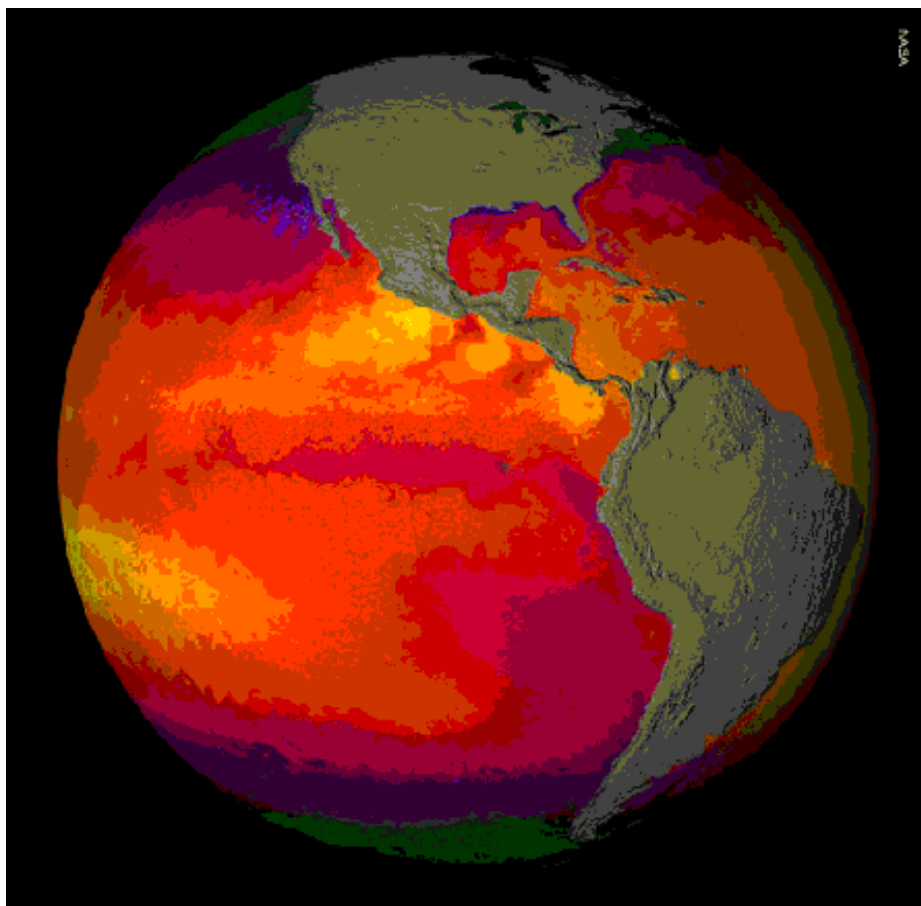
- Ο ωκεανός αποτελεί τη μηχανή θέρμανσης του πλανήτη. Η παγκόσμια κυκλοφορία των ωκεανών μαζί με την ατμόσφαιρα συγκροτούν το μηχανισμό εκείνο με τον οποίο η ηλιακή ενέργεια που φτάνει στις τροπικές χώρες ανακατανέμεται σε ολόκληρο τον πλανήτη.
- Η κατάσταση του ωκεανού επηρεάζει το κλίμα και τον κύκλο του νερού και κατά συνέπεια επηρεάζει τη γεωργία, το νερό και τα αποθέματα νερού.
- Ο ωκεανός επίσης επηρεάζει την ένταση των τροπικών κυκλώνων και των τυφώνων, φαινομένων που μπορούν να προκαλέσουν εκτενείς οικονομικές ζημιές στις πληγείσες περιοχές, ενώ δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις που χάνονται ανθρώπινες ζωές κατά τη διάρκεια τέτοιων ακραίων φαινομένων.
- Το φαινόμενο El Niño του Ειρηνικού Ωκεανού επηρεάζει τα φυσικά καιρικά μοντέλα σε πολλές περιοχές και μπορεί να προκαλέσει έντονες οικονομικές συνέπειες.
- Ο ωκεανός, μέσω της ανταλλαγής στην ατμόσφαιρα, παίζει σημαντικό ρόλο στον παγκόσμιο κύκλο του άνθρακα και με τον τρόπο αυτό είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με τις διαδικασίες που επιφέρουν τις παγκόσμιες αλλαγές.

2.2.2.3.2. Διαδικασίες και φαινόμενα που χρήζουν παρατήρησης

Στα επερχόμενα χρόνια, η ανάγκη για κατανόηση και πρόβλεψη των φαινομένων και των διαδικασιών που σχετίζονται με τους ωκεανούς καθώς και των αιτιών τους θα αυξηθεί σημαντικά, αφού θα απαιτηθούν αποτελεσματικοί χειρισμοί και λήψεις αποφάσεων προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν δυσχερείς και προβληματικές καταστάσεις. Οι επιστήμονες θα χρειαστούν μια μεγάλη ποικιλία πληροφοριών, ώστε με εξομοίωση σε αριθμητικά μοντέλα, να παρέχουν αναλύσεις για μια μεγάλη ποικιλία φαινομένων και διαδικασιών που επηρεάζουν το κλίμα:

- Η κατανόηση των δυναμικών της κυκλοφορίας του ωκεανού θα απαιτήσει συστηματικές μετρήσεις των ρευμάτων των ωκεανών τουλάχιστον εβδομαδιαία.
- Οι παγκόσμιες, ακριβείς και μακροχρόνιες μετρήσεις της θερμοκρασίας των ωκεανών, είναι μεγάλης σημασίας για μελέτες σχετικές με την ενεργειακή ισορροπία του πλανήτη, για την κατανόηση των μηχανισμών με τους οποίους οι ωκεανοί μεταβάλλουν το κλίμα και τον καιρό και για την πρόβλεψη των ενδεικτών του φαινομένου El Niño.

- Το μέσο επίπεδο των ωκεανών πρέπει να παρακολουθείται για πολλές επερχόμενες δεκαετίες για τη χρησιμοποίησή του σε κλιματολογικά μοντέλα-τα οποία υποδεικνύουν μια μελλοντική αύξηση στο επίπεδο των ωκεανών εξαιτίας των παγκόσμιων αλλαγών- και για το σχεδιασμό μέτρων που θα μειώσουν τις καταστροφικές συνέπειες σε χώρες που βρίσκονται σε πολύ χαμηλά υψόμετρα.
- Περισσότερο ακριβείς πληροφορίες απαιτούνται σχετικά με την τοποθεσία, την έκταση και το πάχος των παγωμένων θαλάσσιων περιοχών για την ανίχνευση των αλλαγών στις πολικές περιοχές οι οποίες σχετίζονται άμεσα με το παγκόσμιο κλίμα.
- Μία ακολουθία βιολογικών, χημικών και φυσικών παραμέτρων πρέπει να παρακολουθηθεί για την κατανόηση, την πρόβλεψη και τη διαχείριση των πιθανών επιδράσεων των κλιματολογικών μεταβολών στην ποσότητα, στην ποικιλία και στην παραγωγικότητα του θαλάσσιου πληθυσμού και κυρίως της αλιείας.



Σχήμα 2.4: Καταγραφή θερμοκρασίας θαλάσσιων επιφανειών από δορυφόρο για την παροχή κρίσιμων ενδεικτών των παγκόσμιων μεταβολών.

Η συνεχής μετανάστευση ανθρώπων προς παράκτιες κοινότητες, η αυξημένη ποσότητα αγαθών που παράγονται στη θάλασσα, η εκμετάλλευση των ορυκτών και των αποθεμάτων ορυκτελαίων που βρίσκονται σε πολύ βαθιά νερά, η δημιουργία εγκαταστάσεων στα ανοιχτά των θαλασσών, η ανύψωση του επιπέδου της επιφάνειας των θαλασσών απειλώντας με καταστροφή τα παράκτια συστήματα προστασίας, η αυξανόμενη μόλυνση των θαλάσσιων νερών λόγω της εκτεταμένης χρήσης των αζωτούχων λιπασμάτων, η εθνική ασφάλεια καθώς και η ανάγκη να διατηρηθεί και να προστατευτεί η αλιεία, πιέζουν για αυξημένη προσοχή και παρακολούθηση των ανοιχτών ωκεανών και των θαλάσσιων περιοχών κατά τη διάρκεια του επόμενου αιώνα. Η ελαχιστοποίηση της απώλειας ζωής και περιουσίας και η αποφυγή της περιβαλλοντικής υποβάθμισης και των καταστροφών απαιτούν σημαντικές βελτιώσεις στην πληροφόρηση σχετικά με τους ωκεανούς, η οποία είναι κρίσιμης σημασίας για τους ειδικούς που λαμβάνουν αποφάσεις για τη διαχείριση θεμάτων κοινού ενδιαφέροντος, όπως:

- Η συχνότητα των τυφώνων και των τεράστιων κυμάτων που υψώνονται στις έντονες καταιγίδες.
- Η μόλυνση (π.χ. νιτρικά άλατα, πετρέλαιο και βιομηχανικά χημικά από το έδαφος τα οποία επηρεάζουν την ποιότητα του νερού και τη δημόσια υγεία).
- Εκροή πετρελαίων και άλλα ναυτικά ατυχήματα.
- Εναπόθεση αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων και των ραδιενεργών αποβλήτων.
- Μείωση της ευχαρίστησης και της φυσικής ομορφιάς λόγω της παραθαλάσσιας ανάπτυξης και της αστικοποίησης.
- Παράκτια διάβρωση και εξαφάνιση του θαλάσσιου οικοσυστήματος.
- Αύξηση τοξικής φυκώδους βλάστησης.
- Εξάντληση αποθεμάτων ψαριών και υποβιβασμός της βιοποικιλότητας στον ωκεανό.
- Ασφάλεια των φορτηγών πλοίων, των επιβατηγών πλοίων, των επιβατών και των χειριστών σκαφών στα ανοιχτά των θαλασσών.

Η αναγνώριση της αυξημένης ανάγκης για έγκυρες και περιεκτικές πληροφορίες σχετικές με το θαλάσσιο περιβάλλον, οδήγησε το 1990 στο σχηματισμό του Συστήματος παρακολούθησης των παγκόσμιων ωκεανών GOOS (Global Ocean Observing System). Πρόκειται για ένα διαρκές παγκόσμιο σύστημα για

παρακολούθηση, μοντελοποίηση και ανάλυση των θαλάσσιων και των ωκεάνιων μεταβλητών.

2.2.2.3.3. Η σπουδαιότητα των συστημάτων περιβαλλοντικής παρακολούθησης

Η τηλεπισκόπηση μέσω δορυφορικών συστημάτων έχει επιφέρει επανάσταση στην παρακολούθηση των ωκεανών από πολλές σκοπιές, παρέχοντας συνοπτικές εικόνες και όψεις πολλών κρίσιμων παραμέτρων. Ορισμένα από τα σημαντικότερα επιτεύγματά τους και τις πιο ενδιαφέρουσες εφαρμογές τους, είναι:

- Η παροχή στοιχείων σχετικά με τις θερμοκρασίες στην επιφάνεια των θαλασσών για μεγάλα χρονικά διαστήματα, με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια, για κλιματολογικές μελέτες-η ίδια πληροφορία χρησιμοποιείται επίσης, σε καθημερινή βάση για τη συμβολή στη διαχείριση των επιχειρήσεων αλιείας.
- Τα υψομετρικά στοιχεία που παρέχονται από τους δορυφόρους αποτελούν τη μοναδική πηγή πληροφορίας η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση μεταβολών ευρείας κλίμακας στην κυκλοφορία των ωκεανών (όπως εκείνων που οφείλονται στην εκδήλωση του φαινομένου El Niño) και στο μέσο επίπεδο της επιφάνειάς τους. Σε τοπικό επίπεδο, οι τοπογραφικές πληροφορίες των δορυφόρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με έρευνα από το έδαφος, για τη βελτίωση του προσανατολισμού και της διάταξης των σωληνώσεων που διέρχονται μέσα από τη θάλασσα.
- Ανίχνευση ανέμων που πνέουν κοντά στην επιφάνεια των θαλασσών: σήμερα, οι δορυφόροι λαμβάνουν παντός καιρού, υψηλής ανάλυσης μετρήσεις των ανέμων κοντά στην επιφάνεια των παγκόσμιων ωκεανών. Η συγκεκριμένη πληροφορία χρησιμοποιείται για τη βελτίωση των μοντέλων μετεωρολογικής πρόβλεψης, για κλιματολογικές εφαρμογές, ενώ είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για βραχυπρόθεσμες μετεωρολογικές προειδοποιήσεις και για παροχή κατευθυντικών γραμμών στα πλοία.
- Βιολογία ωκεανών: Κάθε 48 ώρες και για κάθε τετραγωνικό χιλιόμετρο ωκεανού κάτω από καθαρό ουρανό λαμβάνονται έγχρωμες ωκεάνιες εικόνες από δορυφόρους, οι οποίες παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις

συγκεντρώσεις των διαφόρων τύπων και τις ποσότητες του θαλάσσιου φυτοπλαγκτόν.

2.2.2.4. Παρακολούθηση του όζοντος

2.2.2.4.1. Το στρώμα του όζοντος

Το όζον (O_3) είναι πολύ σπάνιο στην ατμόσφαιρά μας, συγκεκριμένα κατά μέσο όρο, υπάρχουν 3 μόρια όζοντος ανά 10 εκατομμύρια μόρια αέρα. Αν και αντιπροσωπεύει ένα ελάχιστο τμήμα στην ατμόσφαιρα, το όζον είναι κρίσιμης σημασίας για τη ζωή στον πλανήτη.

Κοντά στη γη, στην τροπόσφαιρα (πρόκειται για το ατμοσφαιρικό στρώμα πάνω από την επιφάνεια της γης, μέχρι ύψος 10km) το όζον είναι ένα επιβλαβές μολυσματικό συστατικό, το οποίο προκαλεί βλάβη στους ιστούς των πνευμόνων και στα φυτά. Το μεγαλύτερο ποσοστό του όζοντος (90%) βρίσκεται στη στρατόσφαιρα (ένα ατμοσφαιρικό στρώμα μεταξύ 10 και 40km από την επιφάνεια της γης), όπου δρα ως ασπίδα-ισχυρότερη σε μέσο ύψος 25km-για την προστασία της επιφάνειας της γης από την επικίνδυνη υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου (UV-B), φιλτράροντας την υψηλής ενέργειας ακτινοβολία κάτω από τα 0,29μm και επιτρέποντας μόνο σε ένα μικρό ποσοστό της να φτάσει στην επιφάνεια της γης. Το όζον σε αυτή την περιοχή είναι γνωστό ως στρώμα του όζοντος. Στις συνέπειες που προκαλούνται από την καταστροφή αυτού του προστατευτικού στρώματος και κατά συνέπεια από την αύξηση της ακτινοβολίας UV-B που φτάνει στη γη, περιλαμβάνονται κίνδυνοι βλάβης των ματιών, καρκίνος του δέρματος και δυσμενείς επιπτώσεις στη θαλάσσια ζωή και βλάστηση.

Κατά τη διάρκεια των δεκαετιών 1970 και 1980, οι επιστήμονες άρχισαν πρώτα να υπονιάζονται και στη συνέχεια να ανιχνεύουν μια σταθερή λέπτυνση του στρώματος του όζοντος, συνοδευόμενη από αυξήσεις στην ποσότητα της ακτινοβολίας UV-B που έφτανε στη γήινη επιφάνεια. Το επιστημονικό ενδιαφέρον μετατράπηκε σε παγκόσμια ανησυχία όταν το 1985, η Βρετανική Ομάδα παρακολούθησης της Ανταρκτικής ανακοίνωσε την ανίχνευση της πρώτης τρύπας του όζοντος στην περιοχή της Ανταρκτικής- δηλαδή, μια απότομη μείωση των συγκεντρώσεων του στρατοσφαιρικού όζοντος στο μεγαλύτερο τμήμα πάνω από την

Ανταρκτική, για αρκετούς μήνες. Μεταγενέστερες μελέτες χρησιμοποιώντας δορυφορική πληροφορία κατέγραψαν μείωση των επιπέδων του όζοντος πάνω από την Ανταρκτική, η οποία χειροτερεύει κάθε χρόνο.

Σήμερα, είναι γνωστό ότι το στρώμα του όζοντος πάνω από την Ανταρκτική είναι λεπτότερο κατά 40 έως 55% συγκρινόμενο με την περίοδο πριν από το 1980, ενώ η ανεπάρκειά του φτάνει σε ποσοστό 70% για ορισμένες σύντομες χρονικές περιόδους, ενώ σε ορισμένα ύψη η καταστροφή του όζοντος είναι ολοκληρωτική. Το Σεπτέμβριο του 1998, η τρύπα του όζοντος στη Ανταρκτική έφτασε σε ένα μέγεθος ρεκόρ της τάξης των 25 εκατομμυρίων τετραγωνικών χιλιομέτρων ή 2,5 φορές το μέγεθος της Ευρώπης.

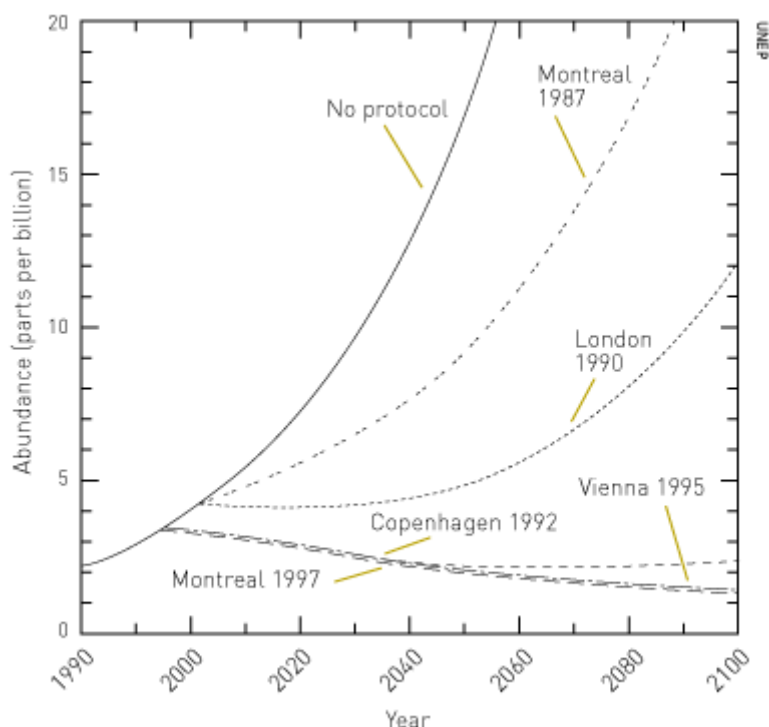
Στις 30 Νοεμβρίου του 1999, ο δορυφόρος ERS-2 του Ευρωπαϊκού Διαστημικού Γραφείου ESA ανίχνευσε και κατέγραψε αφύσικα χαμηλά επίπεδα όζοντος πάνω από τη βορειοδυτική Ευρώπη. Πάνω από το Ηνωμένο Βασίλειο, το Βέλγιο, τις Κάτω Χώρες και τη Σκανδιναβία, τα επίπεδα όζοντος βρέθηκαν τόσο χαμηλά όσο εκείνα που συνήθως μετρούνται στην Ανταρκτική. Ξεχωριστές μετρήσεις σημείου προς σημείο που έγιναν από το έδαφος στις Κάτω Χώρες, επιβεβαίωσαν ότι οι τοπικές τιμές του όζοντος ήταν περίπου στα 2/3 του φυσιολογικού επιπέδου για τη συγκεκριμένη περίοδο του χρόνου. Οι μικρές τρύπες στο στρώμα του όζοντος, οι οποίες παρουσιάστηκαν πάνω από την Ευρώπη, προκαλούν ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον, όχι μόνο εξαιτίας των ιδιαίτερα χαμηλών επιπέδων που ανευρέθησαν, αλλά και εξαιτίας του γεγονότος ότι οι τρύπες αυτές εντοπίστηκαν από κάποιους ευρωπαϊκούς δορυφόρους οι οποίοι παρακολουθούσαν ολόκληρη την υδρόγειο.

Επιστήμονες σε όλο τον κόσμο, προσπαθούν να εντοπίσουν τις ακριβείς αιτίες, στις οποίες οφείλεται η λέπτυνση και οι τρύπες στο στρώμα του όζοντος. Γνωρίζουν ότι αυτά τα φαινόμενα συνήθως σχετίζονται με τις ασυνήθιστα χαμηλές θερμοκρασίες στο χαμηλότερο τμήμα της στρατόσφαιρας και με την παρουσία πολικών στρατοσφαιρικών σύννεφων, τα οποία περιέχουν καταλύτες που επιταχύνουν τις χημικές αντιδράσεις οι οποίες καταστρέφουν το όζον. Οι επιστημονικές ενδείξεις, οι οποίες έχουν συσσωρευτεί εδώ και αρκετές δεκαετίες από τη διεθνή κοινότητα έρευνας, έχουν δείξει ότι τα χημικά που κατασκευάζονται από

τον άνθρωπο είναι υπεύθυνα για την παρατηρούμενη μείωση του στρώματος του όζοντος. Αυτές οι ουσίες, όπως ο χλωροφθοροάνθρακας (CFCs), περιέχουν ποικίλους συνδυασμούς των χημικών στοιχείων χλώριο, φθόριο, βρώμιο, άνθρακας και υδρογόνο. Ουσίες, όπως ο χλωροφθοροάνθρακας, υπήρξαν ιδιαίτερα δημοφιλείς για τη χρήση τους ως ψυκτικά, διαλυτικά, αποστειρωτικά και προωθητικά αερολυμάτων, μεταξύ άλλων εφαρμογών. Όταν απελευθερώνονται στα χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας, μέσω της χρήσης κάποιου σπρέι αεροζόλ, διαχέονται προς τα πάνω στην περιοχή της στρατόσφαιρας και προκαλούν τέτοιου είδους αντιδράσεις που οδηγούν σε καταστροφή των μορίων του όζοντος.

Αντιμέτωποι με τη μεγάλη πιθανότητα ότι ο χλωροφθοροάνθρακας και παρόμοια συστατικά μπορούν να προκαλέσουν σημαντική μείωση του όζοντος, ειδικές αρχές από ολόκληρο τον κόσμο υπέγραψαν το Πρωτόκολλο συνθήκης του Μόντρεαλ, το 1987, σύμφωνα με το οποίο θα έπρεπε να περιοριστεί η παραγωγή και η χρησιμοποίηση των συστατικών αυτών. Μέχρι το 1992, η αυξανόμενη επιστημονική απόδειξη για την απώλεια του όζοντος παρακίνησε τους διπλωματικούς υπαλλήλους στην ενίσχυση του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ. Η αναθεωρημένη συνθήκη καλούσε για την ολοκληρωτική παύση της παραγωγής του CFCs, στις αναπτυγμένες χώρες μέχρι το 1996. Το αποτέλεσμα ήταν η μείωση των συγκεντρώσεων του συστατικού σε όλο τον πλανήτη και η μείωση της παραγωγής του κατά το 95% στις αναπτυγμένες χώρες.

Οι πιο πρόσφατες έρευνες υποδεικνύουν ότι το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ αποδίδει. Το πλήθος των συστατικών εκείνων που καταστρέφουν το στρώμα του όζοντος και τα οποία βρίσκονται στο χαμηλότερο τμήμα της ατμόσφαιρας, έλαβε τη μέγιστη τιμή του το 1994, ενώ σήμερα έχει αρχίσει να παρουσιάζει μείωση. Τελικά, το στρώμα του όζοντος αναμένεται να ανακτήσει το επιθυμητό φυσιολογικό επίπεδό του μέσα στα επόμενα 50 χρόνια.



Σχήμα 2.5: Επίδραση των διεθνών συμφωνιών στην αφθονία εκείνων των συστατικών, όπως χλώριο και βρώμιο, που καταστρέφουν το στρώμα του όζοντος.

2.2.2.4.2. Η σπουδαιότητα των συστημάτων παρακολούθησης της γης

Μέχρι το 1920, το όζον μπορούσε να μετρηθεί μόνο με επίγεια όργανα. Σύμφωνα με τις μεθόδους αυτές, οι επιστήμονες τοποθετούσαν όργανα σε διάφορες τοποθεσίες στη γη για να μετρήσουν τη ποσότητα της υπεριώδους ακτινοβολίας που περνούσε μέσα από την ατμόσφαιρα σε κάθε θέση. Από τις μετρήσεις αυτές υπολόγιζαν τη συγκέντρωση του όζοντος στην ατμόσφαιρα, στα σημεία πάνω από τις αντίστοιχες θέσεις. Τα στοιχεία αυτά, αν και είναι εξαιρετικά πολύτιμα για τη γνώση σχετικά με το όζον, δεν παρέχουν μια επαρκή εικόνα των παγκόσμιων συγκεντρώσεων του όζοντος.

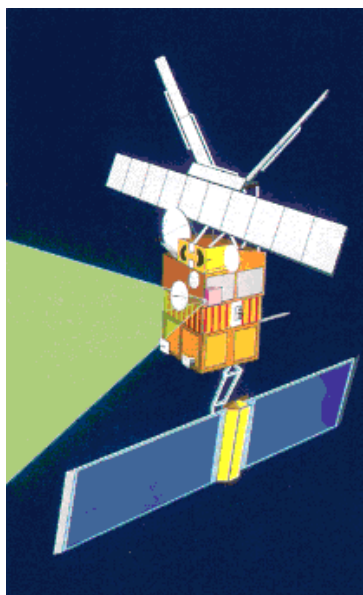
Η ποσότητα και η κατανομή των μορίων του όζοντος στην ατμόσφαιρα, ποικίλουν σημαντικά στα διάφορα σημεία του πλανήτη και έτσι παρατηρώντας τις αυξομειώσεις του όζοντος πάνω από ένα συγκεκριμένο σημείο, οι επιστήμονες δεν μπορούσαν να εκτιμήσουν εάν μια τοπική μεταβολή σήμαινε μια αλλαγή στα παγκόσμια επίπεδα του όζοντος ή απλά μια διακύμανση στη συγκέντρωση των μορίων του όζοντος μόνο πάνω από το συγκεκριμένο σημείο. Οι δορυφόροι παρέχουν στους επιστήμονες τη δυνατότητα να ξεπεράσουν το παραπάνω πρόβλημα, ακριβώς

επειδή παρέχουν μια εικόνα για αυτό που συμβαίνει καθημερινά πάνω από ολόκληρο τον πλανήτη.

Οι δορυφορικές παρακολουθήσεις του ατμοσφαιρικού όζοντος χρονολογούνται από τα τέλη του 1970, όπου τέθηκαν σε τροχιά δορυφόροι με ωφέλιμα φορτία, το φασματόμετρο χαρτογράφησης του ολικού όζοντος TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) καθώς και το όργανο μέτρησης της ηλιακής οπισθοσκεδαζόμενης υπεριώδους ακτινοβολίας SBUV (Solar Backscatter Ultraviolet). Αργότερα, οι μετρήσεις αυτές ενισχύθηκαν και συμπληρώθηκαν από μετρήσεις με χρήση άλλων αμερικανικών και ευρωπαϊκών δορυφόρων καθώς και αποστολών από τη Ρωσία και την Ιαπωνία.

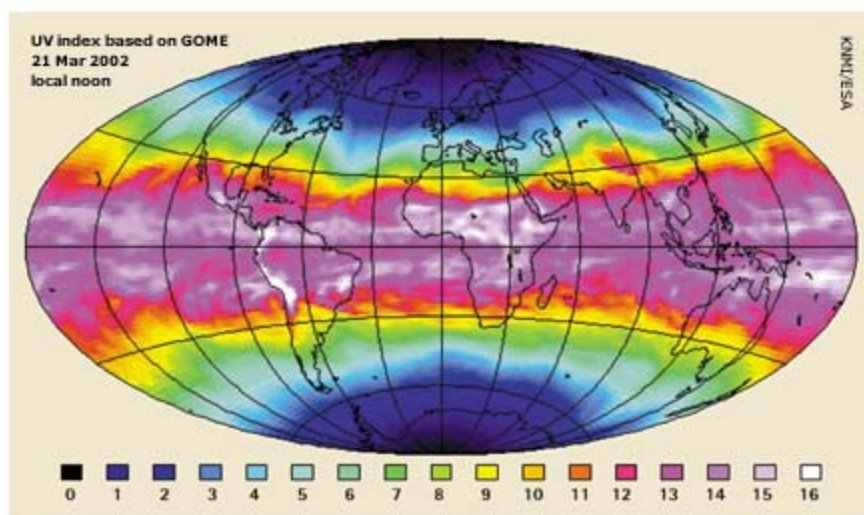
Από το 1995, η Ευρώπη έχει εξοπλιστεί με ένα ειδικό όργανο παρακολούθησης του όζοντος το επονομαζόμενο Global Ozone Monitoring Experiment (GOME) και το οποίο χρησιμοποιήθηκε στον δορυφόρο ERS-2, ο οποίος απογειώθηκε στις 21 Απριλίου του ίδιου χρόνου υπό την επίβλεψη και καθοδήγηση του Ευρωπαϊκού Διαστημικού Γραφείου ESA. Το Ευρωπαϊκό Διαστημικό Γραφείο ESA χρησιμοποιεί 4 επίγειους σταθμούς για την προς τα κάτω μετάδοση της συλλεχθείσας πληροφορίας. Αυτοί βρίσκονται στις περιοχές: Kiruna της Σουηδίας, Gatineau και Prince Albert του Καναδά και Maspalomas της Ισπανίας.

Ομάδες ειδικών επιστημόνων της Ευρώπης χρησιμοποιούν το συγκεκριμένο όργανο για την κατασκευή καθημερινών χαρτών του επιπέδου του όζοντος σε ολόκληρη τη γη και τους οποίους καθιστούν προσβάσιμους στο κοινό μέσω του παγκόσμιου ιστού. Αν και το συγκεκριμένο όργανο σχεδιάστηκε για να ανιχνεύσει την παρουσία του ολικού όζοντος στην ατμόσφαιρα, η συσκευή είναι ικανή να χαρτογραφήσει την αφθονία μιας μεγάλης ποικιλίας άλλων αερίων.



Σχήμα 2.6: Μια άποψη του οργάνου GOME στο δορυφόρο ERS-2, με τη ματιά ενός καλλιτέχνη

Στην πραγματικότητα το GOME είναι ένα φασματόμετρο κάτι το οποίο σημαίνει ότι μετρά το ηλιακό φως, το οποίο ανακλάται πίσω στο διάστημα, από τα διάφορα μόρια στην ατμόσφαιρα και από τη γήινη επιφάνεια. Το όργανο αυτό, μετράει επίσης απευθείας το ηλιακό φάσμα. Η αναλογία μεταξύ του μετρούμενου ανακλωμένου ηλιακού φωτός και του ηλιακού σήματος είναι ένα μέτρο της ανακλαστικής ικανότητας της γήινης ατμόσφαιρας και της γήινης επιφάνειας. Το GOME μετράει το φάσμα σε μία ευρεία περιοχή μηκών κύματος, από το υπεριώδες (UV:240nm), το ορατό μέχρι και το υπέρυθρο στα 790nm, σε υψηλή ανάλυση της τάξης των 0,2 έως 0,4nm.



Σχήμα 2.7: Οι προβλέψεις για τους δείκτες της υπεριώδους ακτινοβολίας, όπως αυτές μπορούν να εξαχθούν από δεδομένα δορυφόρων, αποτελούν ένα ολόενα και πιο σύνηθες στοιχείο των καθημερινών μετεωρολογικών προβλέψεων.

Με την ποικιλία των μηκών κύματος που μπορούν να ανιχνευθούν από το φασματόμετρο αυτό, το GOME μπορεί να ανιχνεύσει και να μετρήσει τα επίπεδα του όζοντος, του διοξειδίου του αζώτου, του διοξειδίου του θείου, της φορμαλδεΐδης, των βρωμιούχων και χλωριούχων ενώσεων και τους υδρατμούς και να παράγει την εικόνα της σύνθετης χημικής σύστασης της ατμόσφαιρας σε παγκόσμιο επίπεδο.

Επιστήμονες σε όλο τον κόσμο χρησιμοποιούν το GOME για την απόκτηση πληροφοριών σε διαφόρων ειδών εργασίες. Πολλές από αυτές σχετίζονται με την ανίχνευση όλων εκείνων των πηγών που προκαλούν τη φυσική ατμοσφαιρική μόλυνση αλλά και εκείνη που οφείλεται σε ανθρώπινες παρεμβάσεις. Τα παρακάτω έχουν μετρηθεί με τη βοήθεια του GOME:

- Διοξείδιο του αζώτου από την καύση δασών, αγροτικών περιοχών ή από άλλες βιομηχανικές δραστηριότητες.
- Διοξείδιο του θείου το οποίο ελευθερώνεται από ηφαίστεια καθώς και από την καύση του άνθρακα σε περιοχές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Φορμαλδεΐδη, η οποία ελευθερώνεται από καύση δασών και από βιογενετική δραστηριότητα.

2.2.3. Εκτίμηση και διαχείριση φυσικών καταστροφών

Κατά μέσο όρο κάθε χρόνο, οι φυσικές καταστροφές που λαμβάνουν χώρα σε ολόκληρο τον πλανήτη, αφήνουν πίσω τους 4 εκατομμύρια ανθρώπους άστεγους, τραυματίζουν άλλους 900.000 ανθρώπους, ενώ σκοτώνουν 128.000 ανθρώπους. Αυτές οι καταστροφές προκαλούν επίσης, απώλεια και ζημιές σε ιδιοκτησίες και περιουσίες που ανέρχονται σε πολλά εκατομμύρια δολάρια. Ενδεικτικά αναφέρεται, ότι μόνο κατά τα έτη 1991 και 1992 η απώλεια και καταστροφή περιουσίας άγγιξαν τα 100 εκατομμύρια δολάρια. Ένα και μοναδικό γεγονός, ο τυφώνας Andrew προκάλεσε οικονομική καταστροφή της τάξης των 25 εκατομμυρίων δολαρίων, στο νοτιότερο τμήμα των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής το έτος 1992. Έχει υπολογιστεί, ότι κατά το ίδιο χρονικό διάστημα, η παγκόσμια οικονομία έχασε περισσότερα χρήματα (US\$62 εκατομμύρια) από φυσικές καταστροφές στις λιγότερο αναπτυγμένες χώρες, από αυτά που διέθεσε για αναπτυξιακή υποστήριξη (US\$60 εκατομμύρια).



Οι φυσικοί ή από τον άνθρωπο προκαλούμενοι κίνδυνοι που οδηγούν σ' αυτές τις καταστροφές οι οποίες συνοδεύονται με αυξημένη πιθανότητα απώλειας ανθρώπινης ζωής και διακινδύνευση της ευημερίας τους, περιλαμβάνουν: πλημμύρες, τυφώνες και τροπικούς κυκλώνες, σεισμούς, ηφαιστειακές εκρήξεις, ξηρασία, κατολισθήσεις, δημιουργία πετρελαιοκηλίδων στους ωκεανούς και καταστρεπτικές φωτιές.

Μια ευρεία ποικιλία στον αριθμό και στην ένταση τέτοιων φυσικών καταστροφών είναι φυσιολογική και αναμενόμενη, όμως τα γεγονότα των τελευταίων δεκαετιών υποδεικνύουν ότι μπορεί να υπάρχει μια αυξητική τάση προκαλούμενη από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Πολλοί επιστήμονες πιστεύουν ότι η πρόσφατη αύξηση των φυσικών καταστροφών που σχετίζονται με καιρικά φαινόμενα αποτελεί προϊόν της αύξησης της θερμότητας του πλανήτη. Το 1990 τριπλασιάστηκαν οι τεράστιες φυσικές καταστροφές σε σχέση με το 1960, ενώ το κόστος των φυσικών καταστροφών την ίδια χρονική περίοδο ήταν 9 φορές μεγαλύτερο. Η αιτία για την αυξητική τάση στην απώλεια ανθρώπινης ζωής και ευημερίας είναι προφανής κάτω από τέτοιες συνθήκες. Το 90% των θυμάτων από αυτές τις καταστροφές παγκοσμίως, ζουν σε αναπτυσσόμενες χώρες, όπου η ανέχεια και η πίεση του ολοένα αυξανόμενου πληθυσμού εξαναγκάζουν όλο και μεγαλύτερους αριθμούς φτωχών ανθρώπων να ζουν σε ευπαθείς περιοχές, όπως σε περιοχές που παρουσιάζουν τάση να πλημμυρίζουν, σε ηφαιστειακές ή σεισμογενείς περιοχές και σε μη σταθερές πλαγιές λόφων.

2.2.3.1. Πληροφορία για τη διαχείριση των καταστροφών

Οι φυσικές καταστροφές δύσκολα μπορούν να προβλεφθούν, αλλά οι κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις τους μπορούν να μειωθούν μέσω αποτελεσματικών προγραμμάτων διαχείρισης των καταστροφών. Η διαχείριση των καταστροφών περιλαμβάνει μια σειρά δραστηριοτήτων και ενεργειών που βασίζονται στη συλλογή και επεξεργασία αξιόπιστης πληροφορίας:

- Επίγνωση των κινδύνων και πρόληψη: περιλαμβάνονται ενέργειες που στοχεύουν στην αποφυγή ή στη μείωση των καταστροφών, μέσω εκτίμησης των χαρακτηριστικών τους, όπως η πιθανότητα εμφάνισής τους, η σφοδρότητα και η τοποθεσία, καθώς επίσης και ο κίνδυνος για τη ζωή και την περιουσία που μπορεί να προκληθεί από τέτοιες καταστροφές.
- Ετοιμότητα και πρόβλεψη: περιλαμβάνονται ενέργειες που αντανakλούν την ετοιμότητα του κοινού απέναντι στις πιθανές καταστροφές, καθώς και πρόβλεψη των πιθανών κινδύνων και προειδοποίηση του κοινού.
- Άμεση αντίδραση, αποκατάσταση και ανασυγκρότηση: ενέργειες που πραγματοποιούνται ακριβώς πριν και μετά την εκδήλωση των φαινομένων για τη μείωση των επιπτώσεων, υπολογισμό της έκτασης και της σοβαρότητας των απωλειών, ανακούφιση των πληγέντων με προσφορά ιατρικής βοήθειας,

φαγητού και άλλων μέσων διατήρησης της ζωής, λήψη διορθωτικών μέτρων και μέτρων ανακατασκευής και ανασυγκρότησης.

2.2.3.2. Ο ρόλος των δορυφόρων παρακολούθησης της γης

Ολοένα και περισσότερο, πληροφορία προερχόμενη από δορυφορικά συστήματα παρακολούθησης της γης χρησιμοποιείται για την ενίσχυση των μετρήσεων που απαιτούνται στις διάφορες φάσεις εξέλιξης των φυσικών επικίνδυνων φαινομένων, όπως και στα προγράμματα διαχείρισης των φυσικών καταστροφών.

Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι που αποτελούν και τις πλέον γνωστές αποστολές δορυφόρων περιβαλλοντικής παρακολούθησης, χρησιμοποιούνται για περισσότερο από 40 χρόνια για την υποστήριξη της πρόβλεψης των έντονων και ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως των τροπικών κυκλώνων, των επικίνδυνων καταιγίδων και τυφώνων καθώς και των ορμητικών πλημμύρων. Σήμερα, πολλές χώρες λειτουργούν μετεωρολογικούς δορυφόρους, οι οποίοι παρέχουν πληροφορίες και παράγουν εικόνες μηχανικά, πολλές φορές την ημέρα για μεγαλύτερη κάλυψη. Οι εικόνες που λαμβάνονται από γεωστατικούς δορυφόρους μπορούν να παρακολουθήσουν την πορεία εξέλιξης των τροπικών κυκλώνων, τη γεωγραφική έκτασή τους, την ένταση των καταιγίδων και των ατμοσφαιρικών ανέμων, με αποτέλεσμα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη των αντίστοιχων φαινομένων. Στη βελτίωση των προβλέψεων αυτών, οδήγησε και η χρήση εξελιγμένων οργάνων, όπως ραντάρ που καταγράφουν την ένταση του οπισθοσκεδαζόμενου σήματος (scatterometer) και τα οποία μπορούν να μετρήσουν την ένταση των ανέμων που πνέουν κοντά στην επιφάνεια των θαλασσών καθώς και μικροκυματικών οργάνων που μετρούν την υγρασία και την ένταση βροχόπτωσης.

2.2.3.3. Τα κυριότερα επικίνδυνα φυσικά φαινόμενα

2.2.3.3.1. Πλημμύρες

Κάθε χρόνο έντονες βροχοπτώσεις επιδρούν σημαντικά στη γη, προκαλώντας αξιοσημείωτες καταστροφές σε πόλεις, σε δρόμους, σε γεωργικές καλλιέργειες και ακόμη χειρότερα αρκετές φορές καταγράφονται απώλειες σε ανθρώπινες ζωές. Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα και ζητούμενα σε τέτοιες επικίνδυνες και επείγουσες καταστάσεις είναι η απόκτηση μιας συνολικής εικόνας του φαινομένου,

ώστε να αντιληφθούμε την πραγματική έκταση των πλημμυρισμένων περιοχών και να προβλέψουμε τις πιθανές εξελίξεις. Η παρακολούθηση από αέρα είναι συνήθως αδύνατη λόγω των απαγορευτικών καιρικών συνθηκών και αν το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα εκτεταμένο, η διαδικασία θα ήταν πολύ χρονοβόρα και δαπανηρή. Πολλά αστικά κέντρα στον κόσμο βρίσκονται σε πεδιάδες ή κοιλάδες που συγκεντρώνουν με μεγάλους ρυθμούς τα νερά των έντονων βροχοπτώσεων με αποτέλεσμα να υπόκεινται σε καταστροφικές πλημμύρες, έτσι η άμεση αναγνώριση και απόκριση σε πλημμυρισμένες περιοχές να καθίστανται απαραίτητα για την αποφυγή της μετατροπής ενός περιβαλλοντικού φαινομένου σε μια τεράστια φυσική και ανθρώπινη καταστροφή.

Μετά την υποχώρηση και τη σίγαση των έντονων βροχοπτώσεων και των πλημμύρων οι κρατικές αρχές, οι ασφαλιστικές εταιρείες και λοιποί φορείς χρειάζονται μια πιο ακριβή εκτίμηση των κατεστραμμένων περιοχών, τόσο για την αποτίμηση των ζημιών όσο και για την κάλυψη και προστασία που θα χρειαστεί να παρέχουν στους πολίτες από τους ενδεχόμενους φυσικούς κινδύνους. Έτσι, καθίσταται απαραίτητη η χάραξη λεπτομερειακών χαρτών που περιλαμβάνουν τις επικίνδυνες και προσβληθείσες περιοχές τόσο για εκτίμηση των ενδεχόμενων επικίνδυνων σημείων όσο και ως δεδομένο εισόδου σε υδρολογικά μοντέλα τα οποία χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό και τη ρύθμιση της πορείας των δημιουργούμενων χειμάρρων.

Οι δορυφόροι ERS-1 και ERS-2 του Ευρωπαϊκού Διαστημικού Γραφείου (ESA) χρησιμοποιούν ένα όργανο παρακολούθησης το επονομαζόμενο SAR – Synthetic Aperture Radar, το οποίο μπορεί να συλλέγει δεδομένα και πληροφορίες ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών. Πρόκειται για μια εξαιρετική δυνατότητα ανίχνευσης των καταστροφικών χειμερινών πλημμύρων που συμβαίνουν κάθε χρόνο στην Ευρώπη και σε περιόδους κατά τις οποίες ο καιρός είναι συνεχώς συννεφιασμένος και βροχερός.

Για την καλύτερη ανίχνευση, αναγνώριση και αναπαράσταση των πλημμυρισμένων περιοχών, συνήθως χρησιμοποιείται μια πολυχρονική τεχνική. Η συγκεκριμένη τεχνική χρησιμοποιεί άσπρες και μαύρες εικόνες από το ραντάρ, οι οποίες καλύπτουν την ίδια περιοχή, αλλά σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και

ημερομηνίες και οι οποίες στη συνέχεια οδηγούνται στα τρία διαφορετικά κανάλια μιας έγχρωμης εικόνας και συγκεκριμένα στο μπλε, στο κόκκινο και στο πράσινο. Η προκύπτουσα πολυχρονική εικόνα αποκαλύπτει καθαρά τις αλλαγές στην επιφάνεια της γης από την παρουσία χρώματος στην εικόνα. Η απόχρωση του χρώματος δείχνει την ημερομηνία που συνέβη η αλλαγή, ενώ η ένταση του χρώματος δείχνει το βαθμό της αλλαγής. Αρκετές από τις τεχνικές, αυτές, απαιτούν τη χρήση μιας εικόνας αναφοράς από κάποιο αρχείο, η οποία δείχνει τη φυσιολογική κατάσταση. Το συγκεκριμένο ραντάρ συνθετικού ανοίγματος SAR, δε χρησιμοποιείται μόνο για την χαρτογράφηση και ανίχνευση πλημμυρισμένων περιοχών αλλά και για ένα άλλο ιδιαίτερα σημαντικό και ενδιαφέρον περιβαλλοντικό φαινόμενο, το σεισμό.

2.2.3.3.2. Καταστροφικοί σεισμοί

Πάνω από 50.000 ή και περισσότεροι σεισμοί λαμβάνουν χώρα κάθε χρόνο σε διάφορες περιοχές της γης και από τους οποίους τουλάχιστον 1000 έχουν μέγεθος πάνω από 5 βαθμούς στην κλίμακα Richter. Τέτοιοι σεισμοί προκαλούν σημαντικές απώλειες ανθρώπινης ζωής καθώς επίσης και ανυπολόγιστες καταστροφές σε ανθρώπινους οικισμούς. Παρακολουθώντας περιοχές ιδιαίτερα επιρρεπείς σε σεισμούς μέσω του SAR και μετρώντας ακόμα και τις πιο μικρές και λεπτές αλλαγές στην επιφάνεια της γης, οι οποίες πολλές φορές είναι προάγγελοι σεισμών, μπορούμε να βοηθήσουμε στην πρόβλεψη των σεισμών καθώς επίσης στη διαχείριση και εκτίμηση των συγγενών κινδύνων.

Εκτός από τις παραπάνω εφαρμογές το ραντάρ συνθετικού ανοίγματος, το οποίο όπως έχει ήδη ειπωθεί είναι ένα όργανο παρακολούθησης και μέτρησης που μπορεί να καταγράψει και να ανιχνεύσει πληροφορία σε όλες τις περιβαλλοντικές και φωτεινές συνθήκες, είναι ένα εξαιρετικό όργανο για την ανίχνευση πετρελαίου σε υγρές επιφάνειες.

2.2.3.3.3. Πετρελαιοκηλίδες

Κάθε χρόνο πλοία και βιομηχανίες καταστρέφουν το ευαίσθητο παράκτιο οικοσύστημα σε πολλές περιοχές του κόσμου, διοχετεύοντας πετρέλαιο ή άλλα παράγωγά του εξίσου επικίνδυνα και μολυσματικά, σε ποτάμια και θαλάσσιες περιοχές. Το παράκτιο περιβάλλον, επίσης, μολύνεται από διάφορα ορυκτά έλαια τα

οποία κυρίως προέρχονται από ατυχήματα μεγάλων πετρελαιοφόρων δεξαμενόπλοιων, οπότε μεγάλες ποσότητες πετρελαίου χύνονται στη θάλασσα, από παράνομη εκφόρτωση πετρελαίου από πλοία που ταξιδεύουν στους ωκεανούς καθώς επίσης και από φυσική διαρροή τέτοιων ορυκτών ελαίων.

Μετά από ένα ατύχημα ενός δεξαμενόπλοιου, το σημαντικότερο πρόβλημα είναι η απόκτηση μιας συνολικής εικόνας του φαινομένου, καθώς επίσης και της συνολικής έκτασης της μολυσμένης περιοχής και αν είναι δυνατόν η πρόβλεψη σχετικά με την κατεύθυνση κατά την οποία θα επεκταθεί η διαρροή και κατά συνέπεια η μόλυνση. Τόσο για την περίπτωση φυσικών καταστροφών όσο και για τις καταστροφές που προκαλεί ο ίδιος ο άνθρωπος στο φυσικό του περιβάλλον, είναι απαραίτητο να τεθεί σε λειτουργία ένα τακτικό πρόγραμμα παρακολούθησης. Οι παρακολουθήσεις μεγάλων περιοχών, όπως η Μεσόγειος, από αέρα, για τον έλεγχο της παρουσίας πετρελαίου περιορίζονται στις ώρες της ημέρας με έντονο φως και σε ημέρες και περιόδους με ήπιες καιρικές συνθήκες. Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος παρακολούθησης των μεγάλων θαλάσσιων περιοχών παρέχεται από εικόνες από δορυφόρους και οι οποίες προέρχονται από συλλογές δεδομένων και πληροφοριών που καταγράφονται από το ραντάρ παντός καιρού SAR. Συγκεκριμένα, τα σημεία στα οποία υπάρχει διαρροή πετρελαίου απεικονίζονται στις εικόνες που λαμβάνει το ραντάρ ως σκούρα "μπαλώματα".

Το συγκεκριμένο όργανο παρακολούθησης των παραπάνω περιβαλλοντικών φαινομένων, αποτελεί μέρος του ωφέλιμου φορτίου στους δορυφόρους ERS-1 και ERS-2, του ευρωπαϊκού διαστημικού γραφείου ESA (European Space Agency), στον Ιαπωνικό δορυφόρο JERS-1 και στον δορυφόρο Radarsat του Καναδά. Στο μέλλον, περισσότεροι δορυφόροι όπως ο Envisat του ESA, θα χρησιμοποιούν το συγκεκριμένο σύστημα περιβαλλοντικής παρακολούθησης.

2.2.3.3.4. Κυκλώνες

Οι τροπικοί κυκλώνες αντλούν την ενέργειά τους, πρωταρχικά, από την εξάτμιση της θάλασσας υπό την παρουσία υψηλών ανέμων και χαμηλής πίεσης στην επιφάνεια και από τη συσχετιζόμενη συμπύκνωση σύννεφων που ανταλλάσσουν θερμότητα και τα οποία συγκεντρώνονται στο κέντρο των σχηματιζόμενων

κυκλώνων. Κάθε χρόνο τροπικοί κυκλώνες προκαλούν σημαντικές καταστροφές σε ένα μεγάλο αριθμό πόλεων. Οι πλημμύρες που δημιουργούνται από την έντονη βροχή, οι δυνατοί άνεμοι και οι άσχημες συνθήκες που επικρατούν στη θάλασσα προκαλούν τεράστιες ανθρώπινες και υλικές απώλειες.

Παρατηρήσεις σχετικές με τους δυνατούς ανέμους που επικρατούν πάνω από ωκεανούς συνήθως γίνονται από μεγάλα εμπορικά πλοία που ταξιδεύουν στις περιοχές αυτές. Όμως οι αναφορές των πλοίων για τέτοιου είδους σημαντικά και επικίνδυνα καιρικά φαινόμενα είναι σποραδικές και επομένως ανεπαρκείς, ιδίως για βαριές θύελλες και καταιγίδες. Επιπρόσθετα, η χωρική ανάλυση των μετρήσεων που λαμβάνονται από τα κέντρα πρόγνωσης καιρικών φαινομένων είναι στις περισσότερες περιπτώσεις ανεπαρκής και ακατάλληλη για τον ακριβή εντοπισμό της θέσης και των υπολοίπων λεπτομερειών ενός κυκλώνα.

Εικόνες από δορυφόρους στην ορατή και υπεριώδη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, μπορούν να βοηθήσουν στον εντοπισμό των καταιγίδων, αλλά δεν μπορούν να αποκαλύψουν την ένταση στην επιφάνεια της θάλασσας. Μόνο ένας ενεργός μικροκυματικός αισθητήρας, ο αποκαλούμενος Scatterometer μπορεί να υπολογίσει τόσο την ταχύτητα όσο και την κατεύθυνση του ανέμου κάτω από μια τεράστια ποικιλία καιρικών συνθηκών με μεγάλη χωρική ανάλυση. Ο αισθητήρας αυτός, λειτουργεί ανιχνεύοντας τις μεταβολές του ανακλωμένου σήματος που φθάνει στο ραντάρ από την επιφάνεια της θάλασσας και οι οποίες οφείλονται στη διαταραχή της θάλασσας από τους μικρούς ή μεγαλύτερους κυματισμούς λόγω των ανέμων που πνέουν κοντά στην επιφάνειά της. Κάθε κεραία του αισθητήρα παρέχει μία μέτρηση της τραχύτητας της επιφάνειας της θάλασσας από μια συγκεκριμένη οπτική γωνία και αυτή η μέτρηση σχετίζεται με την ταχύτητα και την κατεύθυνση των ανέμων που δρουν στην περιοχή. Σε γενικές γραμμές, οι μετρήσεις της έντασης της επιφάνειας της θάλασσας από κάθε κεραία, συνδυάζονται σε ένα δεδομένο που παρέχει με μεγάλη ακρίβεια την ταχύτητα και την κατεύθυνση των ανέμων για μια περιοχή περίπου 500km. Αναφορικά με τη χρονική ανάλυση του συστήματος, ο δορυφόρος μπορεί να λαμβάνει μια καινούρια εικόνα από έναν τροπικό κυκλώνα κάθε 24 – 48 ώρες.

2.2.3.3.5. Ηφαίστεια

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα, τόσο η σύγχρονη όσο και η παλαιότερη, αποτελούν αντικείμενο συνεχών ερευνών και μελέτης προς την κατεύθυνση της εύρεσης βελτιωμένων τεχνικών και αποτελεσματικών σχεδιασμών στο έδαφος, οι οποίες θα μειώνουν τους πιθανούς κινδύνους. Τα κράτη σε όλο τον κόσμο χρειάζονται πολλές φορές πληροφορίες, όχι μόνο για την παρακολούθηση των ηφαιστειακών εκρήξεων αλλά και για τη δυνατότητα χαρτογράφησης των επικίνδυνων περιοχών και για τη δυνατότητα παραγωγής προγνωστικών διαγραμμάτων ώστε να προφυλάσσονται οι γειτονικές περιοχές.

Προς την κατεύθυνση αυτή, έχει χρησιμοποιηθεί πληροφορία από αισθητήρες για την αναγνώριση διαφοροποιήσεων στα πετρώματα του εδάφους, αλλαγών στη βλάστηση, υψομετρικών μεταβολών μετά από ηφαιστειακές εκρήξεις, αλλά και επέκτασης και ανάπτυξης αστικών περιοχών σε επικίνδυνες τοποθεσίες. Επιπρόσθετα, δορυφόροι μπορούν να συλλέξουν κατάλληλη πληροφορία, καθώς μπορούν να παρατηρήσουν τεράστιες ηφαιστειακές περιοχές και έτσι να κατασκευάσουν χάρτες καλύπτοντας μεγάλες επιφάνειες της τάξης των 180x180km, όπως ο Landsat 5 ο οποίος με χρήση του αισθητήρα TM (Thematic Mapper) και με ένα μόνο πέρασμα από μια τέτοια περιοχή μπορεί να κατασκευάσει ένα χάρτη με κλίμακα 1:100000. Υψηλότερη ανάλυση μπορεί να επιτευχθεί ανακτώντας πληροφορίες από άλλους δορυφόρους, όπως οι KVR, SPOT, IRS και μελετώντας αυτές σε συνδυασμό με τις πληροφορίες που συλλέγονται από τα κατάλληλα όργανα του Landsat ή άλλων πολυφασματικών πηγών.

Η μελέτη των ηφαιστειακών περιοχών γίνεται συνήθως μέσω οπτικής πληροφορίας, έτσι ώστε ο ίδιος στόχος στη γη να μπορεί να εξεταστεί από διαφορετικές φασματικές ζώνες, οι οποίες κυρίως βρίσκονται στην ορατή έως υπέρυθη περιοχή. Οι αποστολές δορυφόρων όπως οι ERS που χρησιμοποιούν διαφόρων ειδών αισθητήρες με ραντάρ έχουν σημαντική συνεισφορά στις περιπτώσεις κατά τις οποίες είναι απαραίτητη η ανίχνευση υψομετρικής διαφοράς ή όταν οι ηφαιστειακές εκρήξεις προκαλούν άλλα συγγενή φαινόμενα, όπως η ροή λάβας, οι ρωγμές στο έδαφος, οι σεισμοί, οι πλημμύρες κ.λ.π.

2.2.3.3.6. Καταστρεπτικές φωτιές

Κάθε χρόνο εκατομμύρια τόνοι δασών, πεδιάδων και αγροτικών περιοχών καταστρέφονται σε ολόκληρη τη γη, πολλά ζώα και είδη φυτών εξαφανίζονται εξαιτίας πυρκαγιών και αποψιλώσεων για τα οποία υπεύθυνη είναι κυρίως η ίδια η ανθρώπινη δραστηριότητα. Η ραγδαία μείωση των δασών που έχει επέλθει σε ολόκληρη τη γη, τις τελευταίες δεκαετίες, έχει επιφέρει αξιοσημείωτες συνέπειες στο ευαίσθητο γήινο οικοσύστημα.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 20 χρόνων οι φωτιές σε μεγάλες δασικές εκτάσεις έχουν αυξηθεί σημαντικά, ιδιαίτερα στις χώρες της Μεσογείου, προκαλώντας σημαντικότερες απώλειες σε περιουσίες, αλλά κυριότερα σε ανθρώπινες ζωές. Οι συγκεκριμένες χώρες είναι ιδιαίτερα επιρρεπείς στην ανάπτυξη και επέκταση της φωτιάς εξαιτίας της χαμηλής, μεσογειακής θαμνώδους βλάστησης αλλά και των αραιών καλοκαιρινών βροχοπτώσεων.

Οι φυσικές αιτίες που πυροδοτούν τις φωτιές, κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες, είναι η αυθόρμητη ανάφλεξη της χαμηλής βλάστησης, η οποία συνήθως αναπτύσσεται μετά από μακρές περιόδους ξηρασίας και η οποία αποτελεί μια ιδιαίτερα επικίνδυνη συσσώρευση εύφλεκτης ύλης λόγω των ιδιαίτερα υψηλών θερμοκρασιών, ενώ η κατάσταση δυσχεραίνεται ακόμη περισσότερο από τους πολλαπλούς εμπρησμούς που προκαλούν ασυνείδητοι πολίτες σε μεγάλες δασώδεις περιοχές. Η πρόληψη καθώς και η έγκαιρη ειδοποίηση αποτελούν τα μοναδικά μέσα για τη μείωση του τεράστιου κόστους που επιφέρουν οι καταστροφικές φωτιές.

Χρησιμοποιώντας πληροφορίες από δορυφόρους που εκτελούν τροχιές γύρω από τη γη, είναι δυνατό να αποκτηθεί γρήγορα μια γενική εικόνα της κατάστασης πάνω από μεγάλες εδαφικές περιοχές, να αναγνωριστούν περιοχές υψηλής επικινδυνότητας, να ανιχνευθούν φωτιές ώστε να αντιμετωπιστούν και αφού τεθούν υπό έλεγχο να εκτιμηθούν με ακρίβεια οι κατεστραμμένες περιοχές, χαρτογραφώντας τα όρια και την έκτασή τους.

Για το σκοπό αυτό διαφορετικοί δορυφόροι έχουν ήδη αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμοι. Ένα καλό εργαλείο παρακολούθησης αποτελεί το εξελιγμένο ραδιόμετρο πολύ υψηλής ανάλυσης AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί στο δορυφόρο NOAA TIROS. Ο δορυφόρος αυτός,

διατηρεί μια κυκλική πολική ηλιακά συγχρονισμένη τροχιά σε ύψος της τάξης των 525 μιλίων και έχει μία κλίση γύρω στις 98° . Παρέχει πληροφορία δύο φορές το πρωί και δύο φορές το απόγευμα, ενώ κάθε παραγόμενη εικόνα καλύπτει μια περιοχή $3000 \times 6000 \text{ km}$. Χρησιμοποιώντας περισσότερες από χίλιες εικόνες, που ελήφθησαν από το συγκεκριμένο δορυφόρο, έχει αναπτυχθεί ένας ημιαυτόματος αλγόριθμος για την ανίχνευση φωτιάς και καπνού, ο οποίος βασίζεται στην ευαισθησία του τρίτου καναλιού του AVHRR στα $3,7 \mu\text{m}$, στις πολύ υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια των πυρκαγιών (400-1000K).

Ένας άλλος πολύ χρήσιμος δορυφόρος, αναφορικά με την ανίχνευση φωτιάς, είναι ο Landsat 5, ο οποίος διαθέτει ένα όργανο, τον αποκαλούμενο θεματικό χαρτογράφο TM (Thematic Mapper), το οποίο μπορεί να παρέχει ιδιαίτερα εντυπωσιακές έγχρωμες εικόνες καλύπτοντας γήινη επιφάνεια $180 \times 180 \text{ km}$, με ανάλυση 30 m , μέσω των οποίων είναι δυνατό να ανιχνευθούν και να διακριθούν περιοχές ήδη κατεστραμμένες από φωτιά καθώς και ενεργές φωτιές.

Πρόσφατα, γεωεπιστήμονες που εργάζονται στο κέντρο διαστημικών πτήσεων της NASA απέδειξαν, ότι το απεικονιστικό φασματοραδιόμετρο μέτριας ανάλυσης MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer), το οποίο προγραμματίστηκε να απογειωθεί το Δεκέμβριο του 1999 ως μέρος του ωφέλιμου φορτίου του Δορυφορικού συστήματος περιβαλλοντικής παρακολούθησης της NASA Terra, θα παρουσιάζει εξαιρετικές ικανότητες ανίχνευσης μεγάλων φωτιών οπουδήποτε στην επιφάνεια του πλανήτη. Σε δύο πρόσφατα επιστημονικά περιοδικά, οι επιστήμονες ανακοίνωσαν ότι το MODIS θα παρέχει μετρήσεις της έντασης της φωτιάς και έτσι θα επιτρέπει την ανίχνευση ενεργής φωτιάς, την ακριβή εκτίμηση των ρυθμών ανάφλεξης καθώς και τις ποσότητες των εκπεμπόμενων προϊόντων, όπως είναι ο καπνός, τα αέρια θερμοκηπίου και τα μόρια αερολυμάτων, τα οποία όλα αποτελούν παράγωγα της φωτιάς.

2.3. Βιβλιογραφία 2^{ου} Κεφαλαίου

1. About Earth Observation

http://www.esa.int/export/esaSA/GGGIMV7RVDC_earth_0.html

2. Planet under pressure

<http://www.igbp.kva.se/cgi-bin/php/frameset.php>

3. World News and Prophetic Trends

<http://www3.telus.net/thegoodnews/report-5.html>

4. Earthnet home Volcanoes

<http://earth.esa.int/ew/volcanoes/>

5. Earthnet home Earthquakes

<http://earth.esa.int/ew/earthquakes>

6. Earthnet home Oil Slicks

<http://earth.esa.int/ew/earthquakes>

7. Earthnet home Flooding

<http://earth.esa.int/ew/floods>

8. Earthnet home Cyclones

<http://earth.esa.int/ew/cyclones>

9. Earthnet home Fires

<http://earth.esa.int/cgi-bin/ew/fires>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Τεχνολογία τηλεπισκοπικών αισθητήρων

3.1. Γενικά

Η τηλεπισκόπηση της γήινης επιφάνειας και ατμόσφαιρας, αποτελεί μια σχετικά νέα επιστήμη η οποία ως κύριο σκοπό έχει την απόκτηση πληροφοριών που αφορούν το φυσικό περιβάλλον, με χρήση συσκευών που δε βρίσκονται σε άμεση φυσική επαφή με τα παρατηρούμενα αντικείμενα. Οι συσκευές αυτές, οι οποίες είναι απαραίτητες για την ανίχνευση και τη μέτρηση της ακτινοβολίας και επομένως για τη συλλογή και την επεξεργασία της απαραίτητης πληροφορίας, ονομάζονται τηλεπισκοπικοί αισθητήρες και πραγματοποιούν μετρήσεις έμμεσα, είτε με ενεργό είτε με παθητικό τρόπο. Καθημερινά παραδείγματα τέτοιων τηλεπισκοπικών οργάνων είναι τα μάτια μας και οι κάμερες. Οι τηλεπισκοπικοί αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στα δορυφορικά συστήματα λειτουργούν όπως και τα μάτια μας, με κάποιες σημαντικές διαφορές. Τα μάτια μας μπορούν να συλλέγουν εικόνες μόνο στην ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, σε αντίθεση με τους αισθητήρες οι οποίοι μπορούν να συλλέγουν πληροφορίες από ολόκληρο το φάσμα. Διαφορετικοί αισθητήρες συλλέγουν εικόνες σε συγκεκριμένες περιοχές του φάσματος, οι οποίες ονομάζονται κανάλια. Ανάλογα με την επιθυμητή πληροφορία χρησιμοποιούνται αντίστοιχα κανάλια.

Προκειμένου οι τηλεπισκοπικοί αισθητήρες να μπορέσουν να συλλέξουν και να καταγράψουν την ανακλώμενη ή την εκπεμπόμενη ενέργεια από έναν στόχο ή από

μια επιφάνεια, θα πρέπει να βρίσκονται σταθερά τοποθετημένοι σε μια πλατφόρμα απομακρυσμένη από το στόχο ή την επιφάνεια που βρίσκεται υπό παρατήρηση. Οι πλατφόρμες για τους τηλεπισκοπικούς αισθητήρες μπορούν να είναι τοποθετημένες στο έδαφος, σε ένα αεροσκάφος ή “μπαλόνι” ή σε κάποια άλλη πλατφόρμα μέσα στη γήινη ατμόσφαιρα, όπως σε κάποιο ύψος στη στρατόσφαιρα ή σε ένα διαστημόπλοιο ή δορυφόρο έξω από την ατμόσφαιρα της γης.

Οι αισθητήρες που βρίσκονται σε κάποια πλατφόρμα που είναι τοποθετημένη στο έδαφος, συνήθως χρησιμοποιούνται για την καταγραφή λεπτομερούς πληροφορίας σχετικά με την επιφάνεια η οποία στη συνέχεια συνδυάζεται και συγκρίνεται με τη συλλεγόμενη πληροφορία από τα αεροσκάφη και από τους δορυφορικούς αισθητήρες. Σε ορισμένες περιπτώσεις αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται για την καλύτερη διάκριση και αναγνώριση του στόχου ο οποίος ανιχνεύεται από τους υπόλοιπους αισθητήρες με σκοπό την καλύτερη δυνατή κατανόηση της πληροφορίας που λαμβάνεται από τις χρησιμοποιούμενες απεικονιστικές μεθόδους των οργάνων αυτών. Τέτοιοι αισθητήρες μπορεί να είναι τοποθετημένοι σε ανυψωτικούς γερανούς, σε ψηλά κτήρια, σε ικριώματα κ.λ.π.



Οι εναέριας πλατφόρμες είναι κυρίως αεροσκάφη με σταθερά πτερύγια, ενώ ορισμένες φορές για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται και ελικόπτερα. Τα αεροσκάφη χρησιμοποιούνται συνήθως για τη συλλογή λεπτομερών πληροφοριών και διευκολύνουν τη συλλογή στοιχείων και δεδομένων σχεδόν πάνω από οποιοδήποτε τμήμα της γήινης επιφάνειας.



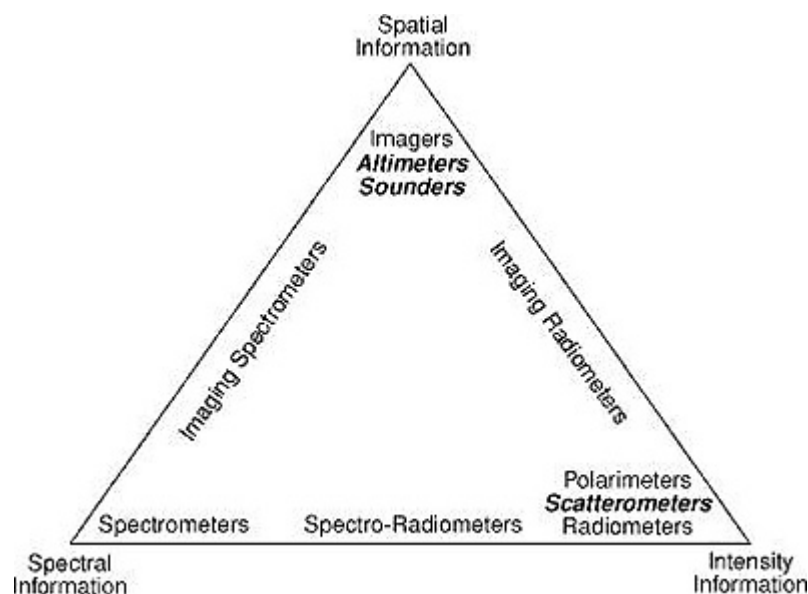
Στο διάστημα, η τηλεπισκόπηση μερικές φορές διεξάγεται μέσω διαστημοπλοίων, αλλά συνηθέστερα για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται δορυφόροι.

Οι τροχιές που διατηρούν οι δορυφόροι αυτοί, επιτρέπουν επαναληπτικά περάσματα πάνω από την επιφάνεια της γης σε συνεχή βάση. Συνήθως, το κόστος αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα ο οποίος καθορίζει την τελική επιλογή της πλατφόρμας που θα χρησιμοποιηθεί για την τηλεπισκόπηση της γης.

3.2. Κυριότερα χαρακτηριστικά και είδη τηλεπισκοπικών αισθητήρων

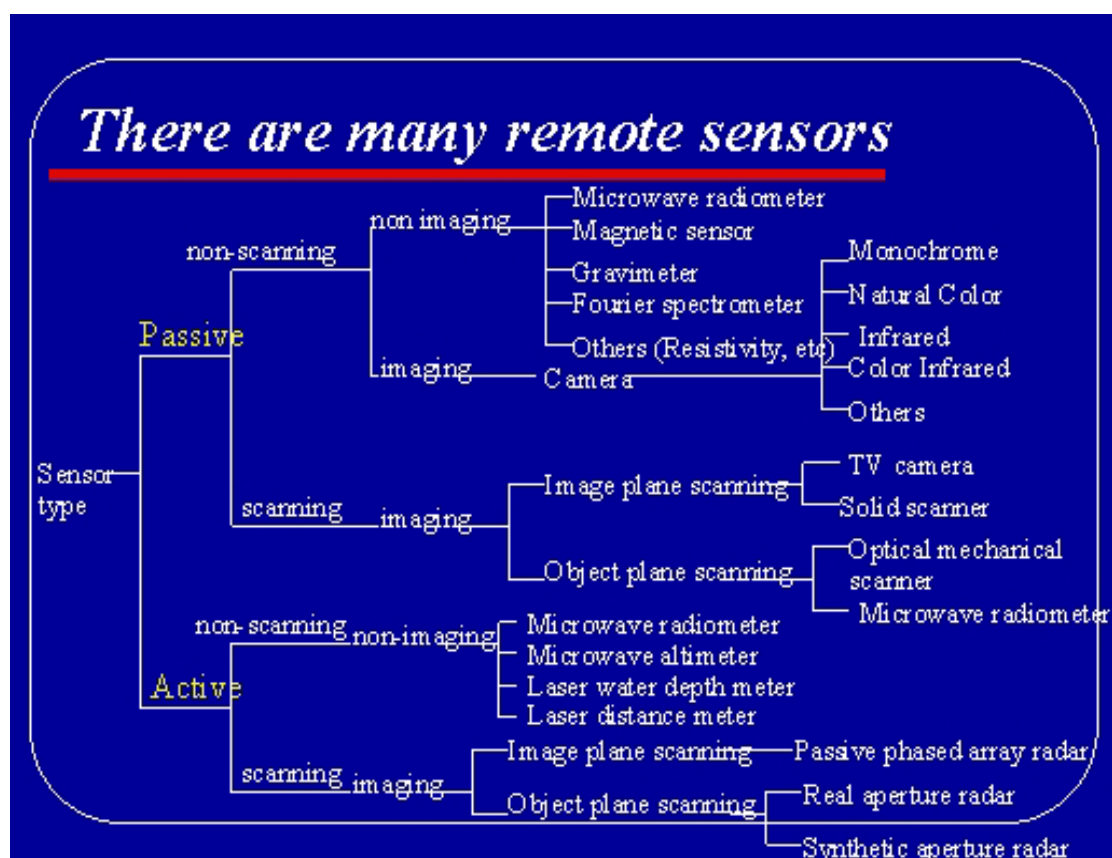
Τα περισσότερα όργανα τηλεπισκόπησης έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να μετρούν φωτόνια. Η βασική αρχή στην οποία στηρίζεται η λειτουργία τους, επικεντρώνεται στη διαδικασία που λαμβάνει χώρα σε ένα κρίσιμο λειτουργικό στοιχείο τους, τον ανιχνευτή (detector). Πρόκειται για το λεγόμενο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Σύμφωνα με αυτό, όταν μια δέσμη φωτονίων προσπίπτει πάνω σε μια αρνητικά φορτισμένη πλάκα ειδικά κατασκευασμένη από ένα κατάλληλο φωτοευαίσθητο υλικό, τότε λαμβάνει χώρα εκπομπή αρνητικά φορτισμένων σωματιδίων (ηλεκτρονίων). Η ροή των ηλεκτρονίων αυτών μπορεί να συλλεγεί και να μετρηθεί ως ηλεκτρικό σήμα. Το πλάτος του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος (αριθμός φωτοηλεκτρονίων ανά μονάδα χρόνου) είναι ευθέως ανάλογο προς την ένταση του προσπίπτοντος φωτός. Έτσι, οι μεταβολές στο παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση των μεταβολών των φωτονίων που προσπίπτουν στην πλάκα, στη συγκεκριμένη περίπτωση τον ανιχνευτή, κατά τη διάρκεια ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος. Η κινητική ενέργεια που αποκτούν τα εκπεμπόμενα φωτοηλεκτρόνια ποικίλει ανάλογα με τη συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Διαφορετικά υλικά εκπέμπουν ηλεκτρόνια σε διαφορετικές περιοχές μηκών κύματος με κάθε υλικό να παρουσιάζει ένα κατώφλι πέρα από το οποίο το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο αρχίζει να επιδρά και ένα δεύτερο πάνω από το οποίο το φαινόμενο σταματά να υφίσταται.

Προκειμένου να διαχωριστεί η λειτουργική επεξεργασία των διαφόρων κατηγοριών αισθητήρων, έχει σχεδιαστεί ένα τριγωνικό διάγραμμα στο οποίο τα γωνιακά μέλη καθορίζονται βάσει της πρωταρχικής μετρούμενης παραμέτρου: φασματική, χωρική, ένταση.



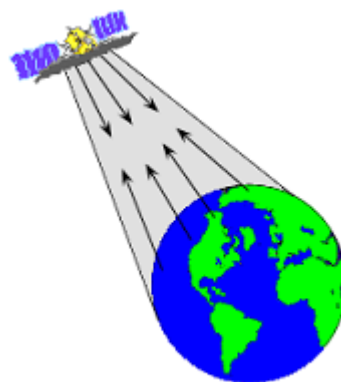
Σχήμα 3.1: Λειτουργική επεξεργασία των αισθητήρων

Στη συνέχεια, ακολουθεί ένα διάγραμμα που συγκεντρώνει τους διαφορετικούς τύπους αισθητήρων. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε από αυτό, οι δύο κύριες κατηγορίες αισθητήρων είναι οι παθητικοί και οι ενεργοί αισθητήρες.



Σχήμα 3.2: Κατηγορίες αισθητήρων

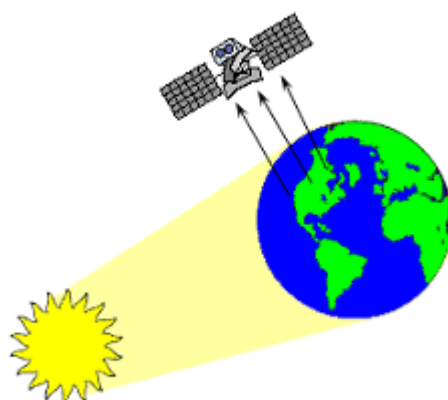
Οι ενεργοί αισθητήρες, αποτελούν οι ίδιοι την πηγή ακτινοβολίας του στόχου που πρόκειται να ανιχνευτεί. Συγκεκριμένα, εκπέμπουν ακτινοβολία η οποία κατευθύνεται απευθείας στον στόχο του ενδιαφέροντός μας. Η ακτινοβολία που ανακλάται από το στόχο αυτό, ανιχνεύεται και μετράται από τον αισθητήρα. Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα των ενεργών αισθητήρων περιλαμβάνεται και η ικανότητά τους



Σχήμα 3.3: Λειτουργία ενεργών αισθητήρων

να λαμβάνουν μετρήσεις οποτεδήποτε, ανεξάρτητα από την ώρα της ημέρας ή από την εποχή. Τέτοιοι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρατήρηση σε εκείνες τις περιοχές μηκών κύματος στις οποίες δεν υπάρχει επαρκής ηλιακή ακτινοβολία, όπως στα μικροκύματα ή για τον καλύτερο έλεγχο του τρόπου με τον οποίο ακτινοβολείται κάποιος στόχος. Εντούτοις, τα ενεργά συστήματα απαιτούν την παραγωγή μιας αρκετά υψηλής ποσότητας ενέργειας για την επαρκή ακτινοβολήση των στόχων. Ως παραδείγματα ενεργών αισθητήρων θα μπορούσαμε να αναφέρουμε τα ραντάρ απεικόνισης, όπως το ραντάρ συνθετικού ανοίγματος SAR το οποίο χρησιμοποιεί παλμούς μικρής διάρκειας για την παρατήρηση της επιφάνειας της γης, τα μετεωρολογικά ραντάρ, τους μετρητές υψομέτρου και τις ηχοβολιστικές συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούν ανακλώμενα ηχητικά κύματα.

Τα τηλεπισκοπικά συστήματα που μετρούν την ενέργεια η οποία είναι φυσικά διαθέσιμη, ονομάζονται παθητικοί αισθητήρες. Όπως έχει ήδη αναφερθεί ο ήλιος αποτελεί μια πρωταρχική πηγή ενέργειας ή ακτινοβολίας, η οποία είναι κατάλληλη για τις απαιτούμενες μετρήσεις στην τηλεπισκόπηση. Η ηλιακή ενέργεια είτε ανακλάται, όπως συμβαίνει στην ορατή περιοχή των μηκών κύματος, είτε απορροφάται και κατόπιν επανεκπέμπεται, όπως συμβαίνει στη θερμική υπέρυθη περιοχή. Έτσι, οι συγκεκριμένοι αισθητήρες παρατηρούν την ακτινοβολία που εκπέμπεται από τα ίδια τα παρατηρούμενα αντικείμενα, όπως τη θερμική ακτινοβολία στη μικροκυματική ή θερμική υπέρυθη περιοχή του φάσματος ή την ανακλώμενη



Σχήμα 3.4: Λειτουργία παθητικών αισθητήρων

ηλιακή ακτινοβολία από το παρατηρούμενο αντικείμενο στην περίπτωση παρατήρησης στην ορατή περιοχή του φάσματος.

Οι παθητικοί αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση της ενέργειας, μόνο όταν είναι διαθέσιμη η ενέργεια που ακτινοβολείται με φυσικό τρόπο. Έτσι, η ανάκλαση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να λάβει χώρα μόνο κατά τη διάρκεια που ο ήλιος φωτίζει τη γη. Δεν μπορεί να ανιχνευτεί καμία ανακλώμενη ενέργεια η οποία να διατίθεται από τον ήλιο κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η ενέργεια, όμως, η οποία εκπέμπεται φυσικά, όπως στη θερμική υπέρυθρη περιοχή, μπορεί να ανιχνευτεί μέρα ή νύχτα, αρκεί η ποσότητα της λαμβανόμενης ενέργειας να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να μπορεί να ανιχνευτεί. Ως παραδείγματα θα μπορούσαν να αναφερθούν τα ραδιόμετρα, τα φασματομέτρα και τα βαρύμετρα.

Οι αισθητήρες μπορεί να είναι απεικονιστικοί (imaging) ή μη απεικονιστικοί (non imaging). Στους αισθητήρες που ανήκουν στην πρώτη κατηγορία, τα εκπεμπόμενα ηλεκτρόνια χρησιμοποιούνται για τη διέγερση ή τον ιονισμό ενός υλικού όπως ο άργυρος πάνω σε μια μεμβράνη (film) ή για την τροφοδοσία μιας συσκευής παραγωγής εικόνων όπως μιας τηλεόρασης ή μιας οθόνης υπολογιστή ή μιας καθοδικής λυχνίας ή ενός παλμογράφου ή μιας μπαταρίας ηλεκτρονικών ανιχνευτών, με τελικό αποτέλεσμα μια εικόνα ή μια απεικόνιση raster. Οι μη απεικονιστικοί αισθητήρες μετρούν την ακτινοβολία που λαμβάνεται από όλα τα σημεία του υπό παρατήρηση αντικειμένου, συνυπολογίζουν όλη την μετρούμενη πληροφορία και αναφέρουν το αποτέλεσμα ως ισχύ του καταγραφόμενου ηλεκτρικού σήματος ή ως κάποιο άλλο ποσοτικό χαρακτηριστικό ή ιδιότητα όπως η ανακλαστικότητα.

Συνεχίζοντας την επεξήγηση κάποιων από τις ονομασίες που περιλαμβάνονται στο προηγούμενο σχήμα, αναφερόμαστε στον όρο ραδιόμετρο. Πρόκειται για μια γενική ονομασία που χρησιμοποιείται για κάθε όργανο που μετράει ποσοτικά τη λαμβανόμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε κάποιες ζώνες του φάσματος. Όταν η ακτινοβολία είναι φως στην ορατή περιοχή, ο όρος ραδιόμετρο μπορεί να αντικατασταθεί από τον όρο φωτόμετρο. Αν ο αισθητήρας περιλαμβάνει ένα πρίσμα ή ένα φράγμα περίθλασης που μπορεί να διαχωρίσει την ακτινοβολία που εκτείνεται σε ένα μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, σε διακριτά μήκη κύματος και έτσι

να καθορίσει τα μήκη κύματος των διαφόρων ακτινοβολιών ή να μετρήσει την ακτινοβολούμενη ένταση, ονομάζεται φασματομέτρο. Ο όρος φασματοραδιόμετρο υπονοεί ότι η σκεδαζόμενη ακτινοβολία διαχωρίζεται σε φασματικές ζώνες και όχι σε διακριτά μήκη κύματος. Πρόκειται δηλαδή, για ένα όργανο που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της κατανομής της ακτινοβολούμενης ενέργειας σε ένα φάσμα συνδυάζοντας τις λειτουργίες του φασματομέτρου με αυτές του ραδιομέτρου.

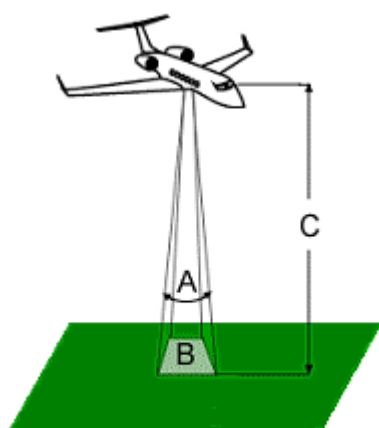
Οι αισθητήρες που μπορούν να μετρήσουν ακαριαία την ακτινοβολία που προέρχεται από ολόκληρη την περιοχή ενδιαφέροντος, ονομάζονται συστήματα πλαισίωσης (framing systems). Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα μάτια μας καθώς και οι φωτογραφικές μηχανές. Το μέγεθος της παρατηρούμενης περιοχής το οποίο πλαισιώνεται από τον αισθητήρα, καθορίζεται από τις οπές και τα οπτικά μέρη του συστήματος τα οποία καθορίζουν και το αποκαλούμενο πεδίο παρατήρησης FOV (Field Of View). Αν η περιοχή ενδιαφέροντος ανιχνεύεται σημείο προς σημείο κατά μήκος διαδοχικών γραμμών κατά τη διάρκεια ενός καθορισμένου χρονικού διαστήματος, τότε ο συγκεκριμένος τρόπος μέτρησης προσδιορίζει τα ανιχνευτικά συστήματα (scanning systems).

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό που ταξινομεί τους αισθητήρες σε δύο επιπλέον κατηγορίες, σχετίζεται με το αν ο αισθητήρας λειτουργεί σε ανιχνευτική ή σε μη ανιχνευτική λειτουργία (scanning/non-scanning mode). Ο όρος ανιχνευτική λειτουργία προϋποθέτει κίνηση μεταξύ των διαφόρων σημείων μιας περιοχής κατά τη διάρκεια ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος, ενώ ο όρος μη ανιχνευτική λειτουργία προϋποθέτει ότι είτε ο αισθητήρας θα κρατείται σταθερός πάνω από την περιοχή ενδιαφέροντος είτε ο στόχος ενδιαφέροντος θα παραμένει σταθερός καθώς βρίσκεται υπό παρατήρηση κατά τη διάρκεια ενός σύντομου χρονικού διαστήματος. Μια κάμερα που κρατείται σταθερή στο χέρι είναι μια μη ανιχνευτική συσκευή που συλλαμβάνει το φως σχεδόν ακαριαία όταν το διάφραγμα είναι ανοιχτό. Όταν όμως η κάμερα ή ο στόχος κινείται, τότε πραγματοποιείται μια ανιχνευτική λειτουργία.

3.2.1. Χωρική ανάλυση, μέγεθος pixel και κλίμακα

Για τα περισσότερα τηλεπισκοπικά όργανα, η απόσταση ανάμεσα στον παρατηρούμενο στόχο και στην πλατφόρμα του αισθητήρα παίζει έναν πολύ

σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της λεπτομέρειας της συλλεγόμενης πληροφορίας και στην ολική περιοχή που μπορεί να παρατηρηθεί και να απεικονιστεί από τον αισθητήρα. Αισθητήρες οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε πλατφόρμες πολύ μακριά από το στόχο τους, τυπικά μπορούν να παρατηρήσουν μια ευρύτερη περιοχή, αλλά δεν μπορούν να παρέχουν μεγάλη λεπτομέρεια. Αυτό μπορεί να γίνει κατανοητό αν συγκρίνουμε αυτό που βλέπει στη γη ένας αστροναύτης ο οποίος βρίσκεται πάνω σε ένα διαστημόπλοιο, με αυτό που μπορούμε να δούμε εμείς ως επιβάτες ενός αεροπλάνου. Ο αστροναύτης θα μπορούσε να δει μια ολόκληρη χώρα με μια ματιά, αλλά δε θα μπορούσε να ξεχωρίσει τα διαφορετικά σπίτια. Από την άλλη μεριά, πετώντας πάνω από μία πόλη ή μια χώρα, μέσα σε ένα αεροσκάφος, θα μπορούσαμε να δούμε τα ξεχωριστά σπίτια και αυτοκίνητα, αλλά η συνολικά παρατηρούμενη περιοχή θα ήταν πολύ μικρότερη συγκρινόμενη με αυτή που παρατηρεί ο αστροναύτης.



Σχήμα 3.5: Στιγμιαίο πεδίο παρατήρησης

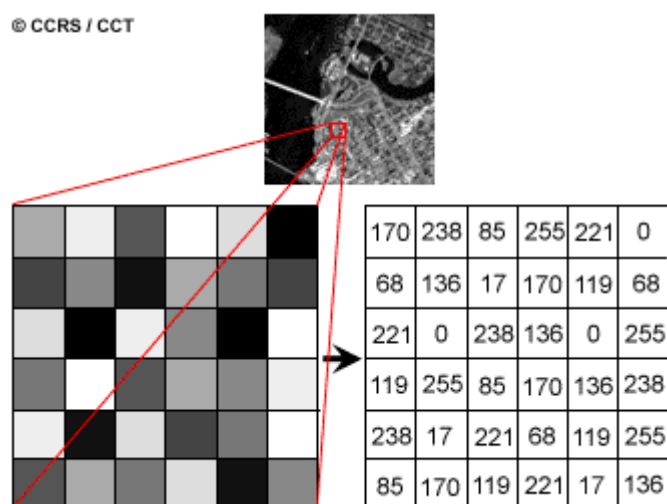
Η ευδιάκριτη λεπτομέρεια σε μια εικόνα εξαρτάται από τη χωρική ανάλυση του αισθητήρα και σχετίζεται με το μέγεθος του μικρότερου δυνατού αντικειμένου που μπορεί να ανιχνευτεί. Η χωρική ανάλυση των παθητικών αισθητήρων εξαρτάται κυρίως από το στιγμιαίο πεδίο παρατήρησής τους IFOV (Instantaneous Field Of View). Το στιγμιαίο πεδίο παρατήρησης αναφέρεται στη στερεά γωνία που περικλείεται μέσα στον κώνο ορατότητας του αισθητήρα (A) και καθορίζει την περιοχή της επιφάνειας της γης (B) η οποία μπορεί να παρατηρηθεί από ένα δοσμένο ύψος σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Το μέγεθος της παρατηρούμενης περιοχής καθορίζεται πολλαπλασιάζοντας το στιγμιαίο πεδίο παρατήρησης IFOV με την απόσταση από το έδαφος στον αισθητήρα (C). Αυτή η περιοχή στο έδαφος καλείται κυψέλη ή κελί ανάλυσης (resolution cell) και καθορίζει τη μέγιστη χωρική ανάλυση ενός αισθητήρα. Γενικά, προκειμένου να μπορεί να ανιχνευτεί ένα ομογενές αντικείμενο, το μέγεθός του θα πρέπει να ισούται ή να είναι μεγαλύτερο από το κελί ανάλυσης. Αν το συγκεκριμένο στοιχείο/αντικείμενο είναι μικρότερο, τότε πιθανότατα δε θα είναι ανιχνεύσιμο,

καθώς θα καταγραφεί η μέση φωτεινότητα όλων των αντικειμένων στο συγκεκριμένο κελί ανάλυσης. Εντούτοις, μικρότερα αντικείμενα ορισμένες φορές είναι ανιχνεύσιμα, εάν η φωτεινότητά τους κυριαρχεί σε ένα συγκεκριμένο κελί ανάλυσης.

Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια μπορεί να ανιχνευτεί είτε με φωτογραφικό είτε με ηλεκτρονικό τρόπο. Η φωτογραφική μέθοδος χρησιμοποιεί χημικές αντιδράσεις στην επιφάνεια ενός φωτοευαίσθητου φιλμ προκειμένου να ανιχνευτούν και να καταγραφούν οι ενεργειακές μεταβολές. Είναι πολύ σημαντικό να διαχωρίσουμε τις έννοιες φωτογραφία και εικόνα στην επιστήμη της τηλεπισκόπησης. Μια εικόνα αναφέρεται σε μια οποιαδήποτε απεικονιστική αναπαράσταση, ανεξάρτητα από τα μήκη κύματος ή από τις τηλεπισκοπικές συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να ανιχνευτεί και να καταγραφεί η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια.

Μια φωτογραφία αναφέρεται ειδικά σε εικόνες, οι οποίες ανιχνεύτηκαν και καταγράφηκαν πάνω σε φωτογραφικό φιλμ. Οι φωτογραφίες συνήθως καταγράφονται σε μήκη κύματος στην περιοχή των 0,3mm έως 0,9mm, δηλαδή στην ορατή έως ανακλώμενη υπέρυθη περιοχή. Βασιζόμενοι στους παραπάνω ορισμούς, μπορούμε να πούμε ότι όλες οι φωτογραφίες είναι εικόνες, αλλά δεν είναι όλες οι εικόνες φωτογραφίες. Έτσι, γενικότερα χρησιμοποιούμε στην τηλεπισκόπηση τον όρο εικόνα, εκτός αν αναφερόμαστε σε αναπαράσταση που καταγράφηκε με φωτογραφική μέθοδο.



Σχήμα 3.6: Ψηφιοποίηση λαμβανόμενης εικόνας

Μια φωτογραφία μπορεί να αναπαρασταθεί και να απεικονιστεί με μια ψηφιακή μορφή, υποδιαιρώντας την εικόνα σε μικρές ισομεγέθεις και του ίδιου σχήματος περιοχές, οι οποίες αποτελούν τα στοιχεία της εικόνας ή τα pixel της εικόνας και τα οποία αναπαριστούν τη φωτεινότητα κάθε περιοχής μέσω μιας αριθμητικής τιμής ή ενός ψηφιακού αριθμού

Αυτή ακριβώς η διαδικασία έχει ακολουθηθεί για τη φωτογραφία του παραπάνω σχήματος και έχει προκύψει μια ψηφιακή εικόνα της αρχικής φωτογραφίας. Η φωτογραφία σαρώθηκε λεπτομερώς και υποδιαιρέθηκε σε pixel, σε καθένα από τα οποία ανατέθηκε ένας ψηφιακός αριθμός, ο οποίος αναπαριστά την αντίστοιχη φωτεινότητα. Ο υπολογιστής αναπαριστά κάθε ψηφιακή τιμή ως διαφορετικό επίπεδο φωτεινότητας.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, οι περισσότερες τηλεπισκοπικές εικόνες αποτελούνται από μία μήτρα με τα στοιχεία ή τα pixel της εικόνας, τα οποία αποτελούν τις μικρότερες μονάδες της. Τα pixel είναι συνήθως τετράγωνα και αναπαριστούν μια συγκεκριμένη περιοχή πάνω στην εικόνα. Είναι σημαντικός ο διαχωρισμός μεταξύ του μεγέθους του pixel και της χωρικής ανάλυσης, καθώς δεν είναι ταυτόσημες έννοιες. Αν ένας αισθητήρας έχει χωρική ανάλυση της τάξης των 20m και μια εικόνα από τον αισθητήρα αυτό απεικονίζεται σε πλήρη ανάλυση, κάθε pixel αναπαριστά μια περιοχή επιφανείας 20m x20m στο έδαφος. Στην περίπτωση αυτή, το μέγεθος του pixel και η ανάλυση είναι τα ίδια. Εντούτοις, είναι πιθανό να απεικονιστεί μια εικόνα με μέγεθος pixel διαφορετικό από το μέγεθος της ανάλυσης.



Εικόνες στις οποίες μόνο μεγάλα αντικείμενα είναι ορατά, έχουν χαμηλή ανάλυση. Σε εικόνες με εξαιρετική ή υψηλή ανάλυση, ακόμη και μικρά αντικείμενα

μπορούν να ανιχνευτούν και να αναγνωριστούν. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για την εξυπηρέτηση στρατιωτικών σκοπών, σχεδιάζονται έτσι ώστε να παρατηρούν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη λεπτομέρεια και επομένως έχουν εξαιρετική ανάλυση. Οι δορυφόροι με εμπορικές εφαρμογές παρέχουν απεικόνιση με ανάλυση που ποικίλει από λίγα μέτρα μέχρι αρκετά χιλιόμετρα. Συμπερασματικά, μπορούμε να αναφέρουμε ότι όσο πιο υψηλή είναι η ανάλυση τόσο μικρότερη είναι η ολική περιοχή που μπορεί να παρατηρηθεί, ενώ αναφορικά με το στιγμιαίο πεδίο παρατήρησης IFOV, όσο μικρότερο είναι το μέγεθος αυτό, τόσο υψηλότερη είναι η ανάλυση.

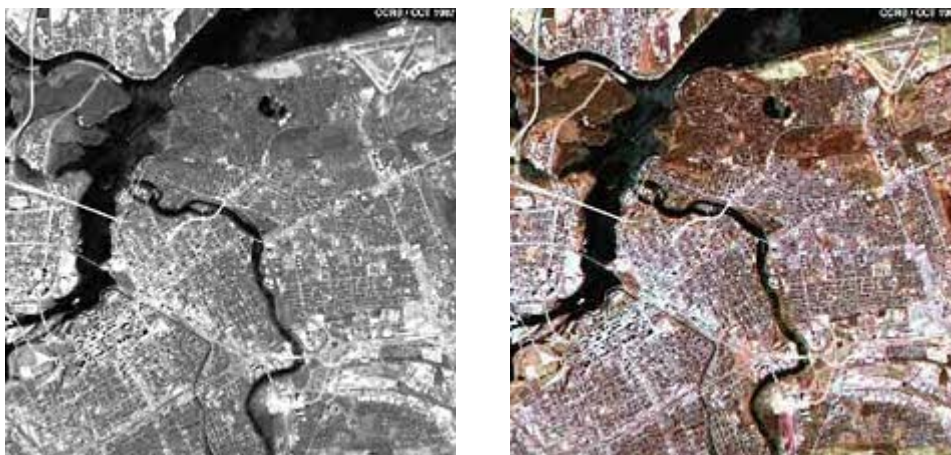
Ο λόγος της απόστασης σε μια εικόνα ή σε ένα χάρτη προς την πραγματική απόσταση στο έδαφος, αναφέρεται ως κλίμακα. Αν σε μια εικόνα η κλίμακα είναι 1:100.000, τότε ένα αντικείμενο με μήκος 1cm στην εικόνα, στην πραγματικότητα θα έχει μήκος 100.000cm ή 1km στο έδαφος. Χάρτες ή εικόνες με μικρούς λόγους "χάρτης προς έδαφος" χαρακτηρίζονται ως μικρής κλίμακας, ενώ εκείνοι με μεγαλύτερους λόγους χαρακτηρίζονται ως μεγάλης κλίμακας.

3.2.2. Φασματική ανάλυση

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναφερθήκαμε στη φασματική απόκριση και στις φασματικές καμπύλες που αναπαριστούν τα ποσοστά ανακλαστικότητας των διαφόρων υλικών ή στόχων συναρτήσει των ποικίλων μηκών κύματος ή τις αποκαλούμενες φασματικές υπογραφές. Διαφορετικές κατηγορίες στοιχείων και λεπτομέρειες σε μια εικόνα, συχνά, μπορούν να διαχωριστούν συγκρίνοντας τις φασματικές αποκρίσεις τους σε διακριτές ζώνες μηκών κύματος. Ευρείες κατηγορίες, όπως το νερό και η βλάστηση, μπορούν συνήθως να διαχωριστούν χρησιμοποιώντας ευρείες ζώνες μηκών κύματος, όπως την ορατή και την εγγύς υπέρυθρη. Άλλες περισσότερο εξειδικευμένες κατηγορίες, όπως οι διαφορετικοί τύποι των πετρωμάτων, μπορεί να μην είναι ιδιαίτερα διαχωρίσιμες και αναγνωρίσιμες σε αυτές τις ευρείες περιοχές μηκών κύματος, αλλά απαιτούν σύγκριση σε πολύ μικρότερα/λεπτότερα διαστήματα μεταξύ των μηκών κύματος προκειμένου να διαχωριστούν. Έτσι, στην προκειμένη περίπτωση θα απαιτούνταν ένας αισθητήρας με πολύ υψηλή φασματική ανάλυση. Η φασματική ανάλυση περιγράφει την ικανότητα του αισθητήρα να προσδιορίζει πολύ λεπτές αποστάσεις μεταξύ των μηκών κύματος.

Όσο πιο υψηλή είναι η φασματική ανάλυση, τόσο πιο στενό είναι το διάστημα μεταξύ των μηκών κύματος σε ένα συγκεκριμένο κανάλι ή ζώνη.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο περιγράψαμε την ορατή περιοχή του φάσματος και την έννοια των χρωμάτων. Μπορούμε να αντιληφθούμε τα χρώματα, επειδή τα μάτια μας μπορούν να ανιχνεύσουν ολόκληρη την ορατή περιοχή των μηκών κύματος, ενώ στη συνέχεια ο εγκέφαλός μας, επεξεργάζεται την πληροφορία σε ξεχωριστά μήκη κύματος. Οι άνθρωποι δεν μπορούν να παρατηρήσουν πολύ μικρές αποστάσεις μεταξύ των μηκών κύματος ή μεταξύ των χρωμάτων, πολλοί αισθητήρες, όμως μπορούν. Η πληροφορία από μια στενή περιοχή μηκών κύματος συλλέγεται και αποθηκεύεται σε ένα κανάλι, το οποίο πολλές φορές αποκαλείται και με τον όρο ζώνη. Μπορούμε να συνδυάσουμε και να απεικονίσουμε την πληροφορία των καναλιών ψηφιακά, χρησιμοποιώντας τα τρία βασικά χρώματα : το μπλε, το πράσινο και το κόκκινο. Η πληροφορία και τα δεδομένα από κάθε κανάλι αναπαρίστανται ως ένα από τα 3 βασικά χρώματα και ανάλογα με την αντίστοιχη φωτεινότητα του κάθε pixel σε κάθε κανάλι, τα βασικά χρώματα συνδυάζονται με διαφορετικές αναλογίες ώστε τελικά να αναπαρασταθούν διαφορετικά χρώματα.

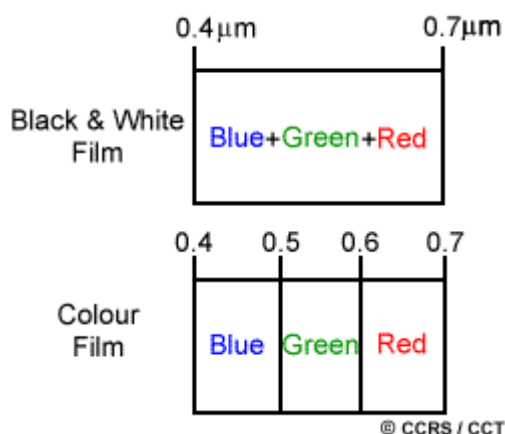


Όταν χρησιμοποιούμε αυτή τη μέθοδο για να απεικονίσουμε ένα συγκεκριμένο κανάλι ή μια περιοχή μηκών κύματος, στην πραγματικότητα απεικονίζουμε αυτό το κανάλι μέσω όλων των τριών βασικών χρωμάτων. Ακριβώς επειδή το επίπεδο φωτεινότητας για κάθε pixel είναι το ίδιο για κάθε βασικό χρώμα, αυτά συνδυάζονται για να σχηματίσουν μια ασπρόμαυρη εικόνα, δεικνύοντας διαφορετικούς τόνους του γκρι από το μαύρο μέχρι και το άσπρο. Όταν απεικονίζουμε περισσότερα από ένα κανάλια, καθένα ως ένα διαφορετικό βασικό χρώμα, τότε τα επίπεδα φωτεινότητας

μπορεί να είναι διαφορετικά για κάθε συνδυασμό καναλιού-βασικού χρώματος και έτσι συνδυαζόμενα σχηματίζουν μια έγχρωμη εικόνα.

Στα ασπρόμαυρα φιλμ καταγράφονται μήκη κύματος τα οποία εκτείνονται σε ολόκληρο το ορατό τμήμα του φάσματος ή στο μεγαλύτερο μέρος αυτού. Έτσι, η φασματική τους ανάλυση είναι μάλλον χονδροειδής, καθώς τα ποικίλα μήκη κύματος του ορατού φάσματος δε διαχωρίζονται ξεχωριστά με αποτέλεσμα να καταγράφεται η συνολική ανακλαστικότητα από ολόκληρη την ορατή περιοχή.

Τα έγχρωμα φιλμ είναι επίσης ευαίσθητα στην ανακλώμενη ενέργεια στην ορατή περιοχή, αλλά διακρίνονται από υψηλότερη φασματική ανάλυση, καθώς είναι ξεχωριστά ευαίσθητα στην ανακλώμενη ενέργεια στην μπλε, στην πράσινη και στην κόκκινη περιοχή του φάσματος. Έτσι, στα έγχρωμα φιλμ μπορούν να αναπαρασταθούν αντικείμενα διαφορετικών χρωμάτων, ανάλογα με την ανακλαστική τους ικανότητα σε καθεμία από αυτές τις τρεις διακριτές περιοχές μηκών κύματος.



Σχήμα 3.7: Φασματική ανάλυση ασπρόμαυρων/έγχρωμων φιλμ

Πολλά τηλεπισκοπικά συστήματα μπορούν να ανιχνεύσουν και να καταγράψουν την ενέργεια σε αρκετές διακριτές περιοχές μηκών κύματος με ποικίλες φασματικές αναλύσεις. Πρόκειται για τους αποκαλούμενους πολυφασματικούς αισθητήρες (multi-spectral sensors). Οι εξελιγμένοι πολυφασματικοί αισθητήρες ονομάζονται υπερφασματικοί αισθητήρες (hyperspectral sensors) και μπορούν να ανιχνεύσουν εκατοντάδες πολύ στενές φασματικές ζώνες μέσα στην ορατή, την εγγύς υπέρυθρη και τη μέση υπέρυθρη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η πολύ υψηλή φασματική ανάλυση των αισθητήρων αυτών διευκολύνει τη λεπτομερή

διάκριση μεταξύ των διαφορετικών στόχων αφού βασίζεται στις διαφορετικές φασματικές αποκρίσεις τους σε καθεμία από τις πολύ στενές φασματικές ζώνες.

3.2.3. Ραδιομετρική ανάλυση

Ενώ η διάταξη των pixel περιγράφει τη χωρική διάρθρωση σε μια εικόνα, τα ραδιομετρικά χαρακτηριστικά περιγράφουν το πραγματικό περιεχόμενο πληροφορίας της εικόνας. Κάθε φορά που μια εικόνα λαμβάνεται από έναν αισθητήρα, η ευαισθησία του στο πλάτος της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας καθορίζει τη ραδιομετρική ανάλυσή της. Η ραδιομετρική ανάλυση ενός απεικονιστικού συστήματος περιγράφει την ικανότητά του να ξεχωρίζει πολύ λεπτές διαφορές στην ενέργεια. Όσο υψηλότερη είναι η ραδιομετρική ανάλυση ενός αισθητήρα τόσο περισσότερο ευαίσθητος είναι στον καθορισμό των μικρών διαφορών στην ανακλώμενη ή στην εκπεμπόμενη λαμβανόμενη ενέργεια.



Σχήμα 3.8: Ραδιομετρική ανάλυση διαφορετικών αισθητήρων

Τα απεικονιζόμενα δεδομένα αναπαρίστανται από θετικούς ψηφιακούς αριθμούς, οι οποίοι μπορεί να περιέχονται στο σύνολο από το 0 μέχρι έναν αριθμό μικρότερο κατά ένα από μια επιλεγμένη δύναμη του 2. Αυτό το σύνολο ανταποκρίνεται στον αριθμό των δυαδικών ψηφίων bit που χρησιμοποιούνται για την κωδικοποίηση των αριθμών σε δυαδική μορφή. Ο μέγιστος αριθμός των διαθέσιμων επιπέδων φωτεινότητας εξαρτάται από τον αριθμό των δυαδικών ψηφίων που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση της καταγραφόμενης ενέργειας. Έτσι, αν ο αισθητήρας χρησιμοποιεί 8 bits για την καταγραφή της πληροφορίας, θα υπάρχουν $2^8=256$ διαθέσιμες ψηφιακές τιμές, οι οποίες θα ανήκουν στο σύνολο των αριθμών

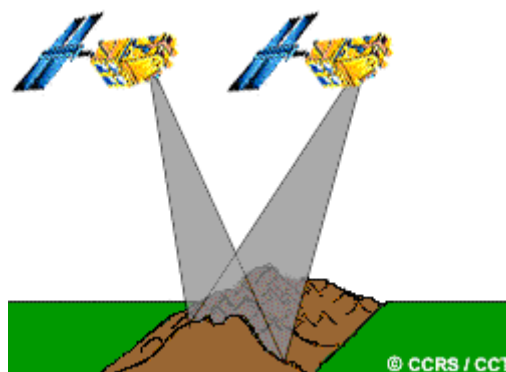
από 0 έως 255. Αν ο αισθητήρας χρησιμοποιεί μόνο 4 bits τότε θα υπάρχουν μόνο $2^4=16$ διαθέσιμες ψηφιακές τιμές, από το σύνολο 0 έως 15. Έτσι, η ραδιομετρική ανάλυση θα είναι σημαντικά μικρότερη.

Η πληροφορία σε μορφή εικόνας συνηθέστερα απεικονίζεται με μια ποικιλία των τόνων του γκρι, με το μαύρο να αναπαρίσταται από την ψηφιακή τιμή 0 και το άσπρο να αναπαρίσταται από τη μέγιστη τιμή, ανάλογα με τον αριθμό των bits που θα χρησιμοποιηθούν για την κωδικοποίηση της πληροφορίας. Συγκρίνοντας μια εικόνα των 2-bit με μια των 8-bit, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι υπάρχει σημαντική διαφορά στο επίπεδο των ευδιάκριτων λεπτομερειών, η οποία σχετίζεται με τις ραδιομετρικές αναλύσεις στις δύο εικόνες.

3.2.4. Χρονική ανάλυση

Εκτός από τη χωρική, τη φασματική και τη ραδιομετρική ανάλυση, η έννοια της χρονικής ανάλυσης είναι σημαντική σε ένα τηλεπισκοπικό σύστημα. Η χρονική ανάλυση σχετίζεται με την έννοια της επαναληπτικής περιόδου, δηλαδή με το μήκος του χρόνου που απαιτείται προκειμένου ο δορυφόρος να συμπληρώσει έναν ολόκληρο κύκλο τροχιάς. Η επαναληπτική περίοδος για έναν δορυφόρο είναι συνήθως μερικές ημέρες, έτσι, η απόλυτη χρονική ανάλυση ενός τηλεπισκοπικού συστήματος, προκειμένου να απεικονίσει την ίδια ακριβώς περιοχή με την ίδια οπτική γωνία για δεύτερη φορά ισούται με την περίοδο αυτή. Εντούτοις, εξαιτίας του βαθμού επικάλυψης που λαμβάνει χώρα στα απεικονιστικά μονοπάτια των γειτονικών τροχιών για τους περισσότερους δορυφόρους και της αύξησης στην επικάλυψη αυτή με την αύξηση του γεωγραφικού πλάτους, ορισμένες περιοχές της γης παρουσιάζουν την τάση να απεικονίζονται περισσότερο συχνά από τις υπόλοιπες.

Επιπλέον, ορισμένα δορυφορικά συστήματα έχουν την ικανότητα να κατευθύνουν τους αισθητήρες τους να απεικονίζουν την ίδια περιοχή μεταξύ περασμάτων διαφορετικών δορυφόρων, τα οποία απέχουν μεταξύ τους περιόδους της τάξης των 1 έως 5 ημερών. Έτσι, η



πραγματική χρονική ανάλυση ενός αισθητήρα εξαρτάται από μια μεγάλη ποικιλία παραγόντων συμπεριλαμβανομένων των ικανοτήτων των δορυφόρων και των αισθητήρων τους, της επικάλυψης των ανιχνευόμενων μονοπατιών και του γεωγραφικού πλάτους.

Η ικανότητα συλλογής εικόνων από την ίδια περιοχή της επιφάνειας της γης σε διαφορετικές χρονικές περιόδους αποτελεί ένα πολύ σημαντικό στοιχείο για την εφαρμογή και τη χρησιμοποίηση των τηλεπισκοπικών δεδομένων. Τα φασματικά χαρακτηριστικά ορισμένων αντικειμένων ή υλικών μπορεί να αλλάξουν με την πάροδο του χρόνου και οι μεταβολές αυτές μπορούν να ανιχνευτούν συλλέγοντας και συγκρίνοντας πολυχρονικές απεικονίσεις (multi-temporal imagery). Για παράδειγμα κατά τη διάρκεια των περιόδων γεωργικής καλλιέργειας, τα περισσότερα είδη βλάστησης βρίσκονται σε μια συνεχή κατάσταση μεταβολών και η ικανότητα να ανιχνεύσουμε αυτές τις λεπτές μεταβολές χρησιμοποιώντας τηλεπισκοπικές μετρήσεις εξαρτάται από το πότε και πόσο συχνά συλλέγουμε εικόνες.

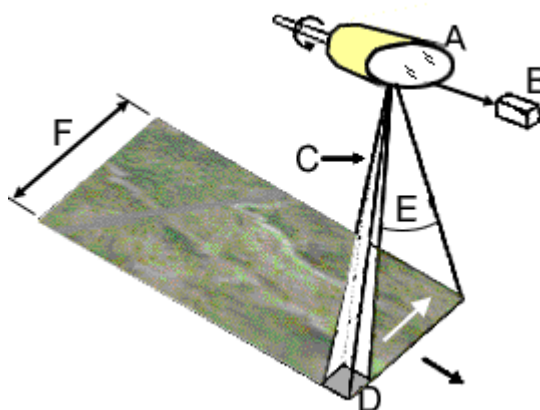
Ανιχνεύοντας και απεικονίζοντας τις περιοχές ενδιαφέροντος σε συνεχή βάση και σε διαφορετικές χρονικές περιόδους είμαστε σε θέση να παρακολουθήσουμε τις μεταβολές που λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια της γης, είτε αυτές προκαλούνται από φυσικές αιτίες είτε ως αποτέλεσμα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Ο παράγοντας της χρονικής κάλυψης των περιοχών ενδιαφέροντος στην τηλεπισκόπηση, είναι σημαντικός στις περιπτώσεις κατά τις οποίες:

- Έντονη και διαρκής νέφωση προκαλεί χαμηλή ορατότητα της επιφάνειας της γης (κυρίως στις τροπικές περιοχές).
- Μικρής διάρκειας φαινόμενα, όπως πλημμύρες, πετρελαιοκηλίδες κ.λ.π. χρήζουν ανίχνευσης και παρακολούθησης.
- Πολυχρονικές συγκρίσεις απαιτούνται, όταν για παράδειγμα απαιτείται η παρακολούθηση της εξέλιξης κάποιας ασθένειας σε κάποια είδη βλάστησης από τον ένα χρόνο στον επόμενο.
- Η μεταβαλλόμενη εμφάνιση κάποιου χαρακτηριστικού κατά την πάροδο του χρόνου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το διαχωρισμό μεταξύ παραπλήσιων χαρακτηριστικών (σιτάρι/καλαμπόκι).

3.2.5. Πολυφασματική ανίχνευση

Πολλοί ηλεκτρονικοί τηλεπισκοπικοί αισθητήρες λαμβάνουν την επιθυμητή πληροφορία χρησιμοποιώντας ανιχνευτικά συστήματα (scanning systems), τα οποία προϋποθέτουν αισθητήρες με ένα στενό στιγμιαίο πεδίο παρατήρησης IFOV που σαρώνει το έδαφος ώστε να παράγουν δισδιάστατες εικόνες της επιφάνειας της γης. Τα ανιχνευτικά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο στα αεροσκάφη όσο και στις δορυφορικές πλατφόρμες και στηρίζονται ουσιαστικά στις βασικές αρχές. Ένα ανιχνευτικό σύστημα που χρησιμοποιείται για συλλογή πληροφορίας σε μια ποικιλία διαφορετικών ζωνών μηκών κύματος, ονομάζεται πολυφασματική συσκευή σάρωσης MSS (multispectral scanner) και αποτελεί το πλέον συνηθισμένο ανιχνευτικό σύστημα. Υπάρχουν δύο βασικές λειτουργίες ή μέθοδοι ανίχνευσης που χρησιμοποιούνται για την απόκτηση πολυφασματικής απεικονιστικής πληροφορίας: ανίχνευση εγκάρσια ως προς την τροχιά (across-track scanning) και ανίχνευση κατά μήκος της τροχιάς (along-track scanning).

Οι αισθητήρες που πραγματοποιούν ανίχνευση εγκάρσια ως προς την τροχιά του αεροσκάφους ή του δορυφόρου σαρώνουν τη γη με μια ακολουθία γραμμών. Οι γραμμές αυτές είναι προσανατολισμένες κάθετα ως προς την κατεύθυνση της κίνησης της πλατφόρμας του αισθητήρα, δηλαδή τέμνουν κάθετα το μονοπάτι ανίχνευσης. Κάθε γραμμή σαρώνεται από τη μία πλευρά του αισθητήρα μέχρι την άλλη μέσω ενός περιστρεφόμενου κατόπτρου (A). Καθώς η πλατφόρμα κινείται προς τα εμπρός πάνω από τη γη, διαδοχικές σαρώσεις παράγουν μια δισδιάστατη εικόνα της επιφάνειας της γης.



Σχήμα 3.9: Πολυφασματική ανίχνευση εγκάρσια ως προς την τροχιά

Η εισερχόμενη ανακλώμενη ή εκπεμπόμενη ακτινοβολία διαχωρίζεται σε αρκετές ξεχωριστές φασματικές συνιστώσες, οι οποίες ανιχνεύονται ανεξάρτητα η μία από την άλλη. Η υπεριώδης, η ορατή, η εγγύς υπέρυθρη και η θερμική ακτινοβολία αναλύονται στις αντίστοιχες τους ζώνες μηκών κύματος. Μια αλληλουχία εσωτερικών ανιχνευτών (B), από τους οποίους ο καθένας είναι ευαίσθητος σε μια συγκεκριμένη περιοχή μηκών κύματος, ανιχνεύει και μετράει την ενέργεια για κάθε φασματική ζώνη και στη συνέχεια το παραγόμενο ηλεκτρικό σήμα μετατρέπεται σε ψηφιακά δεδομένα που καταγράφονται για μετέπειτα υπολογιστική επεξεργασία.

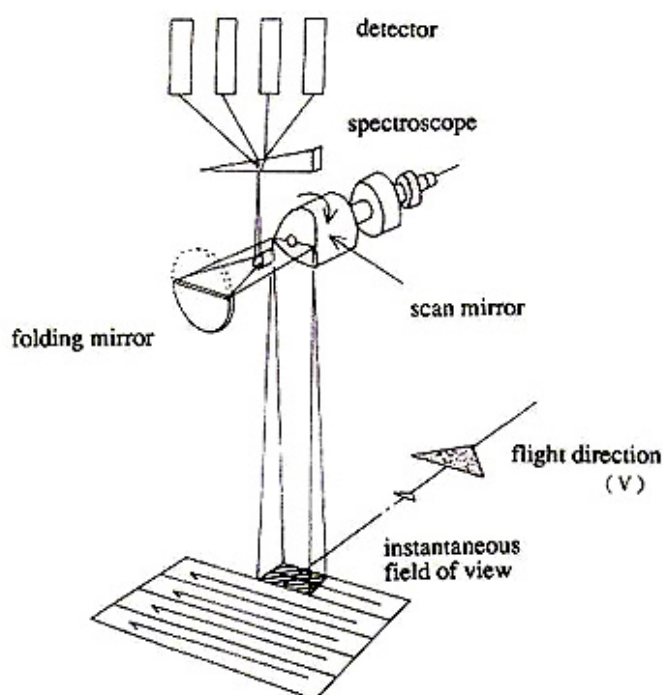
Το στιγμιαίο πεδίο παρατήρησης IFOV (C) του αισθητήρα και το ύψος στο οποίο βρίσκεται η πλατφόρμα καθορίζουν το κελί ανάλυσης του εδάφους (ground resolution cell) που ανιχνεύεται (D) και επομένως τη χωρική ανάλυση. Το γωνιακό πεδίο παρατήρησης (angular field of view) διαμορφώνεται από την κυκλική κίνηση σάρωσης του κατόπτρου, μετράται σε μοίρες, χρησιμοποιείται για την καταγραφή της ανιχνευόμενης γραμμής και καθορίζει το πλάτος του ανιχνευόμενου μονοπατιού (F). Οι αισθητήρες που βρίσκονται σε εναέριες πλατφόρμες τυπικά σαρώνουν μεγάλες γωνίες (μεταξύ 90^0 και 120^0), ενώ οι δορυφόροι λόγω του μεγαλύτερου ύψους τους χρειάζεται να σαρώνουν αρκετά μικρότερες γωνίες (10^0 - 20^0) ώστε να καλύψουν ευρείες περιοχές. Εξαιτίας του γεγονότος ότι η απόσταση από τον αισθητήρα στο στόχο αυξάνει κοντά στις δύο άκρες του ανιχνευόμενου μονοπατιού, τα κελιά ανάλυσης του εδάφους γίνονται μεγαλύτερα στις αντίστοιχες περιοχές, με αποτέλεσμα να εισάγονται γεωμετρικές παραμορφώσεις στις παραγόμενες εικόνες. Επιπλέον, το διάστημα του χρόνου (dwell time) κατά το οποίο το στιγμιαίο πεδίο παρατήρησης αντιστοιχίζεται σε ένα συγκεκριμένο κελί ανάλυσης στο έδαφος, κατά τη διαδικασία ανίχνευσης του περιστρεφόμενου κατόπτρου, είναι γενικά αρκετά μικρό και έτσι επηρεάζει τη χωρική, φασματική και ραδιομετρική ανάλυση με τις οποίες έχει σχεδιαστεί ο χρησιμοποιούμενος αισθητήρας.

Όπως ήδη αναφέρθηκε στη λειτουργία ανίχνευσης εγκάρσια ως προς την τροχιά χρησιμοποιείται ένα περιστρεφόμενο ή ταλαντούμενο κάτοπτρο για τη σάρωση της περιοχής ενδιαφέροντος κατά μήκος μιας γραμμής (μήκους μερικών χιλιομέτρων ή μιλίων και πολύ μικρού πλάτους μερικών μέτρων) που διασχίζει κάθετα το ανιχνευόμενο μονοπάτι ή συνηθέστερα για τη σάρωση κατά μήκος μιας ακολουθίας

στενών γειτονικών γραμμών. Τα απαραίτητα τμήματα ενός τέτοιου αισθητήρα είναι:

- ένα τηλεσκόπιο για τη συλλογή του εισερχόμενου φωτός το οποίο καθορίζει τις διαστάσεις της παρατηρούμενης περιοχής σε κάθε χρονική στιγμή,
- κατάλληλα οπτικά συστήματα (όπως φακοί) που κατευθύνουν την πορεία του φωτός,
- ένα κάτοπτρο (στους εναέριους αισθητήρες το κάτοπτρο μπορεί να περιστρέφεται πλήρως, ενώ στους δορυφορικούς αισθητήρες συνήθως ταλαντώνεται γύρω από μικρές γωνίες),
- μια συσκευή που διαχωρίζει την εισερχόμενη ακτινοβολία σε φασματικές ζώνες (φασματοσκόπιο, φράγμα φασματικής περίθλασης, φίλτρα ζωνών),
- ένα όργανο για την κατεύθυνση του σκεδαζόμενου φωτός σε μια συστοιχία ανιχνευτών,
- ένα ηλεκτρικό όργανο που ανιχνεύει το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο σε κάθε ανιχνευτή και που κατόπιν επαναρυθμίζεται σε μια αρχική κατάσταση ώστε να λάβει το επόμενο "πακέτο" εισερχόμενου φωτός, με αποτέλεσμα να παράγεται ένα σήμα που αντικατοπτρίζει τις μεταβολές στις τιμές φωτός που λαμβάνονται από το έδαφος ή από το στόχο και
- ένα καταγραφικό τμήμα το οποίο είτε διαβάζει το σήμα ως αναλογικό είτε το μετατρέπει σε ψηφιακούς αριθμούς.

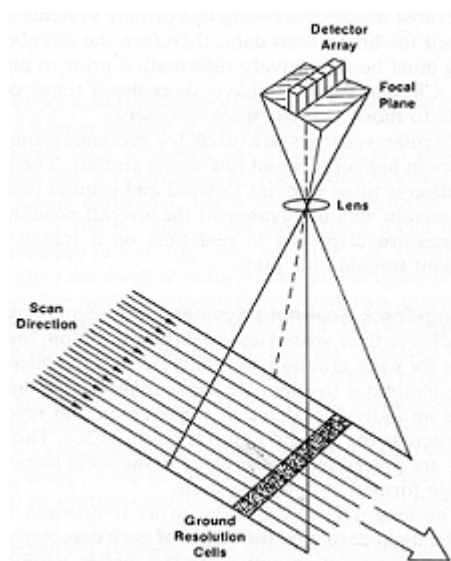
Τέλος, ένας αισθητήρας μπορεί να περιλαμβάνει έναν επιπλέον τμήμα το οποίο αποτελεί μια μετακινούμενη σχισμή, η οποία καθώς περιστρέφεται επιτρέπει διαδοχικά στο σήμα να περάσει προς τους ανιχνευτές ή διακόπτει την πορεία του προς αυτούς και έτσι το επανακατευθύνει σε έναν ανιχνευτή για βαθμονόμηση της απόκρισης του οργάνου.



Σχήμα 3.10: Τμήματα αισθητήρα ανίχνευσης εγκάρσιας ως προς την τροχιά

Οι αισθητήρες που πραγματοποιούν ανίχνευση κατά μήκος της τροχιάς χρησιμοποιούν επίσης την κίνηση προς τα εμπρός της πλατφόρμας στην οποία είναι τοποθετημένοι για την καταγραφή συνεχόμενων ανιχνευτικών γραμμών και για την παραγωγή δισδιάστατων εικόνων κάθετα ως προς την κατεύθυνση τροχιάς του δορυφόρου. Εντούτοις, σε αντίθεση με τα όργανα ανίχνευσης εγκάρσια ως προς την τροχιά που χρησιμοποιούν ένα ανιχνευτικό κάτοπτρο που σαρώνει και παρατηρεί σε διαφορετικές γωνίες, οι συγκεκριμένοι αισθητήρες χρησιμοποιούν μια ακολουθία μικρών ευαίσθητων ανιχνευτών, οι οποίοι στοιβάζονται ο ένας δίπλα στον άλλο και όλοι μαζί βρίσκονται πάνω στο εστιακό επίπεδο της εικόνας. Κάθε ξεχωριστός ανιχνευτής μετράει την ενέργεια ενός συγκεκριμένου κελιού ανάλυσης εδάφους και έτσι, το μέγεθος καθώς και το στιγμιαίο πεδίο παρατήρησης IFOV του αισθητήρα καθορίζουν τη χωρική ανάλυση του συστήματος. Για τη μέτρηση της ενέργειας σε κάθε φασματική ζώνη ή κανάλι απαιτείται μια ξεχωριστή γραμμική ακολουθία ανιχνευτών. Για κάθε ανιχνευόμενη γραμμή η ενέργεια που ανιχνεύεται από κάθε ανιχνευτή κάθε γραμμικής ακολουθίας δειγματοληπτείται ηλεκτρονικά και καταγράφεται σε ψηφιακή μορφή.

Οι ανιχνευτές που χρησιμοποιούνται στους συγκεκριμένους αισθητήρες έχουν μικροσκοπικές διαστάσεις και μπορεί να υπάρχουν μέχρι μερικές χιλιάδες σε κάθε όργανο. Κάθε τέτοιος ανιχνευτής είναι μια συσκευή CCD (charge coupled device). Με τη χρήση τέτοιων συσκευών, τα pixel τα οποία τελικά θα δημιουργήσουν ολόκληρη την εικόνα αντιστοιχούν σε αυτούς τους ξεχωριστούς ανιχνευτές που αποτελούν τη γραμμική ακολουθία. Καθώς η πλατφόρμα προωθείται κατά μήκος της τροχιάς, σε κάθε δοσμένη χρονική στιγμή λαμβάνεται ταυτόχρονα ακτινοβολία στους αισθητήρες από κάθε κελί εδάφους κατά μήκος της ανιχνευτικής γραμμής και η συλλογή των φωτονίων από κάθε κελί προσπίπτει στην κατάλληλη γεωμετρική σχέση ως προς τη θέση του στο έδαφος σε κάθε ξεχωριστό αισθητήρα στη γραμμική ακολουθία που αντιστοιχεί στη συγκεκριμένη θέση. Το σήμα απομακρύνεται από κάθε αισθητήρα διαδοχικά σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα (χιλιοστά του δευτερολέπτου), οι ανιχνευτές αρχικοποιούνται και κατόπιν εκτίθενται σε νέα ακτινοβολία από την επόμενη γραμμή στο έδαφος που γίνεται προσβάσιμη από την προς τα εμπρός κίνηση της πλατφόρμας.



Σχήμα 3.11: Ανίχνευση κατά μήκος της τροχιάς

Οι ανιχνευτές κατά μήκος της τροχιάς παρουσιάζουν ορισμένα βασικά πλεονεκτήματα έναντι των ανιχνευτών εγκάρσια ως προς την τροχιά. Η ακολουθία των ανιχνευτών συνδυαζόμενη με την προς τα εμπρός κίνηση της πλατφόρμας επιτρέπει σε κάθε ανιχνευτή να παρατηρήσει και να μετρήσει την ενέργεια από κάθε κελί ανάλυσης του εδάφους για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Αυτό επιτρέπει ανίχνευση μεγαλύτερης ποσότητας ενέργειας και βελτιώνει τη ραδιομετρική ανάλυση. Η αυξημένη χρονική περίοδος κατά την οποία μετράται η λαμβανόμενη ενέργεια προωθεί τη δημιουργία μικρότερων στιγμιαίων πεδίων παρατήρησης και στενότερων φασματικών περιοχών για κάθε ανιχνευτή. Έτσι, μπορεί να επιτευχθεί καλύτερη φασματική και χωρική ανάλυση χωρίς να επηρεάζεται αρνητικά η ραδιομετρική ανάλυση. Επειδή οι χρησιμοποιούμενοι ανιχνευτές είναι συνήθως στερεής κατασκευής μικροηλεκτρονικές συσκευές είναι γενικά μικρότεροι σε διαστάσεις, ελαφρύτεροι, απαιτούν λιγότερη ενέργεια, είναι περισσότερο αξιόπιστοι και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής επειδή δεν περιλαμβάνουν κινούμενα μέρη. Από την άλλη μεριά, η βαθμονόμηση και η αρχικοποίηση χιλιάδων αισθητήρων που απαιτείται για την επίτευξη ομοιόμορφης ευαισθησίας σε όλο το μήκος της ακολουθίας είναι απαραίτητη και περίπλοκη.

Τα ανιχνευτικά συστήματα οποιαδήποτε από τις παραπάνω δύο λειτουργίες και αν χρησιμοποιούν παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των φωτογραφικών μεθόδων. Το φασματικό πεδίο των φωτογραφικών συστημάτων περιορίζεται στην

ορατή και στην εγγύς υπέρυθρη περιοχή ενώ τα πολυφασματικά ανιχνευτικά συστήματα επεκτείνουν το πεδίο αυτό ώστε να περιλαμβάνει και τη θερμική υπέρυθρη περιοχή. Επίσης είναι ικανά να παρέχουν πολύ μεγαλύτερη φασματική ανάλυση από ότι τα φωτογραφικά συστήματα.

Τα πολυφασματικά φωτογραφικά συστήματα χρησιμοποιούν συστήματα ξεχωριστών φακών για την απόκτηση της κάθε φασματικής ζώνης. Το γεγονός αυτό μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στην εξασφάλιση της συγκρισιμότητας των διαφορετικών φασματικών ζωνών τόσο χωρικά όσο και ραδιομερικά αλλά και με την εγγραφή των πολλαπλών εικόνων. Τα πολυφασματικά ανιχνευτικά συστήματα αποκτούν πληροφορία για όλες τις φασματικές περιοχές ταυτόχρονα μέσω των ίδιων οπτικών συστημάτων προκειμένου να ανταπεξέλθουν στα παραπάνω προβλήματα.

Τα φωτογραφικά συστήματα καταγράφουν την ανιχνευόμενη ενέργεια μέσω μιας φωτοχημικής διαδικασίας που καθιστά δύσκολη και μη σταθερή τη μέτρηση. Από την άλλη μεριά τα πολυφασματικά ανιχνευόμενα δεδομένα καταγράφονται με ηλεκτρονικό τρόπο, επομένως καθίσταται πιο εύκολος ο προσδιορισμός της ακριβούς ποσότητας της μετρούμενης ενέργειας και επιπλέον η καταγραφή μπορεί να γίνει με ένα μεγάλο εύρος τιμών σε ψηφιακή μορφή. Τα φωτογραφικά συστήματα απαιτούν μια συνεχή παροχή film και επεξεργασία στο έδαφος με τη συλλογή των φωτογραφιών. Η ψηφιακή καταγραφή των πολυφασματικών ανιχνευτικών συστημάτων διευκολύνει τη μετάδοση της πληροφορίας στους σταθμούς λήψης στο έδαφος και την άμεση επεξεργασία της σε κάποιο κατάλληλο υπολογιστικό περιβάλλον.

3.2.6. Υπερφασματική τηλεπισκόπηση

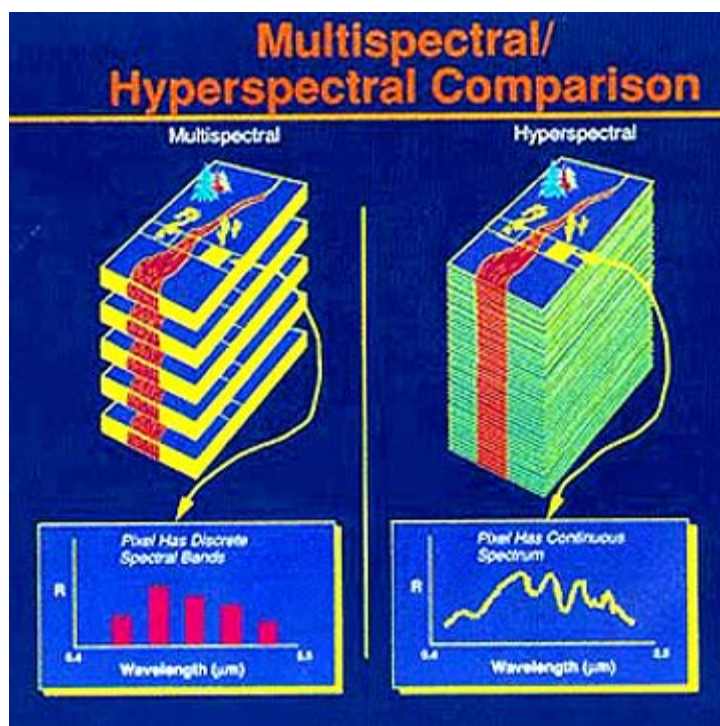
Τα πολυφασματικά όργανα, όπως ειπώθηκε παραπάνω, πραγματοποιούν μετρήσεις, παρατηρώντας τη γη σε μερικές στρατηγικές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Οι περιοχές αυτές ή τα αντίστοιχα χρησιμοποιούμενα φασματικά κανάλια δεν είναι συνεχόμενα και παραλείπουν ολόκληρα τμήματα μηκών κύματος. Η χωρική ανάλυση (μέγεθος pixel) μπορεί να είναι αρκετά καλή για τα όργανα αυτά και υπολογίζεται γύρω στα 30m. Η αυξημένη χωρική ανάλυση επιτρέπει τη διάκριση των διαφορετικών υλικών που απεικονίζονται με αυτού του είδους την

τεχνική. Ωστόσο, ενώ τα πολυφασματικά όργανα μπορούν να διαχωρίσουν τα διαφορετικά υλικά, προκειμένου να προβούμε σε αναγνώριση των υλικών απαιτείται υπερφασματική απεικόνιση.

Η υπερφασματική τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη με την οποία μπορούμε να αποκτήσουμε ψηφιακές εικόνες των γήινων στόχων σε πολύ στενά συνεχή φασματικά κανάλια. Οι υπερφασματικοί αισθητήρες ή τα απεικονιστικά φασματομέτρα, όπως αλλιώς ονομάζονται, πραγματοποιούν μετρήσεις σχετικές με τους στόχους του ενδιαφέροντός μας και παρέχουν ολοκληρωμένες φασματικές υπογραφές, χωρίς να παραλείπουν σημαντικά τμήματα μηκών κύματος. Τέτοια όργανα έχουν γίνει ιδιαίτερα δημοφιλή στις εφαρμογές της τηλεπισκόπησης και αποτελούν μέρη των ωφέλιμων φορτίων τόσο δορυφορικών όσο και εναέριων πλατφορμών.

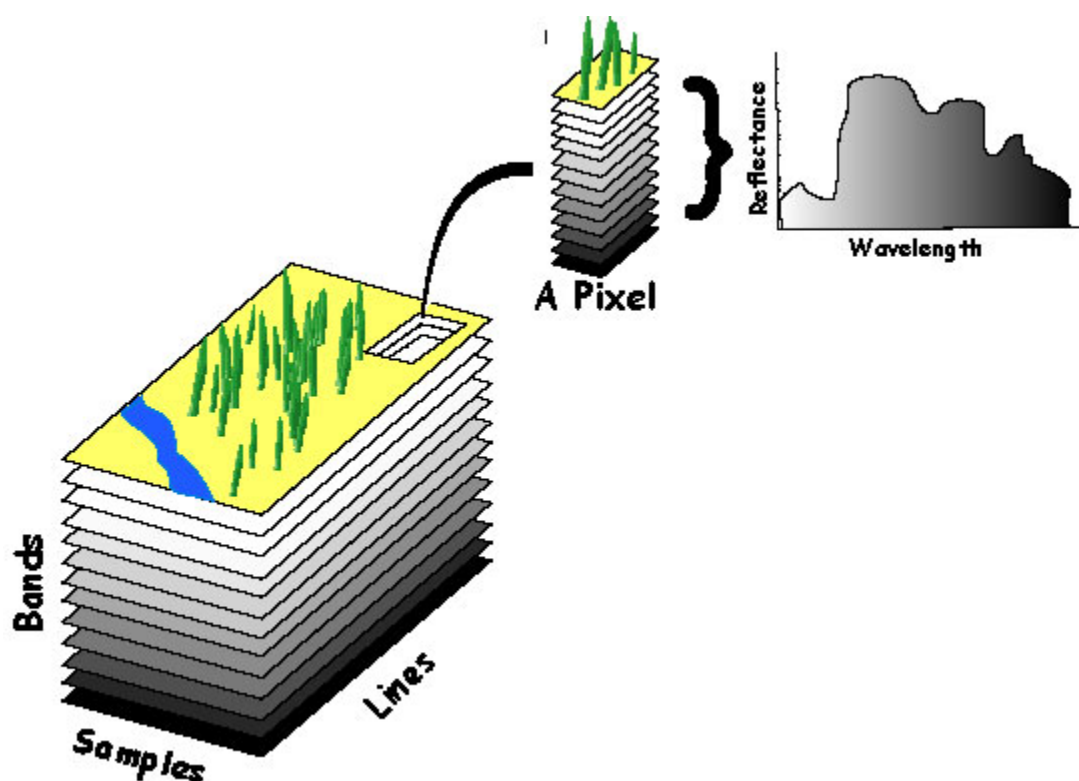
Αν και οι περισσότεροι υπερφασματικοί αισθητήρες μετρούν εκατοντάδες ζώνες μηκών κύματος και οι περισσότεροι πολυφασματικοί αισθητήρες μετρούν μόνο λίγες, αυτό που τελικά καθορίζει αν ένας αισθητήρας είναι πολυφασματικός ή υπερφασματικός δεν είναι ο αριθμός των μετρούμενων φασματικών ζωνών, αλλά η στενότητα και η συνεχής φύση των μετρήσεων. Για παράδειγμα ένας αισθητήρας που μετράει μόνο 20 ζώνες θα μπορούσε να θεωρηθεί υπερφασματικός, αν οι ζώνες ήταν συνεχείς και πλάτους 10nm, ενώ θα χαρακτηριζόταν πολυφασματικός αν οι μετρούμενες ζώνες ήταν πλάτους 100nm και χωρίζονταν από μη μετρούμενες περιοχές μηκών κύματος.

Το πλεονέκτημα των υπερφασματικών αισθητήρων είναι ότι μπορούμε όχι μόνο να αναγνωρίσουμε τι ακριβώς είναι κάποιο αντικείμενο αλλά και το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο. Η ανακλαστικότητα αποτελεί το ποσοστό του προσπίπτοντος φωτός που ανακλάται από το στόχο. Ένα ανακλαστικό φάσμα δείχνει την ανακλαστικότητα ενός υλικού, όπως αυτό μετράται σε ένα εύρος μηκών κύματος. Τόσο η πολυφασματική όσο και η υπερφασματική απεικόνιση παρέχουν ανακλαστικά φάσματα για κάθε pixel σε κάθε εικόνα. Η μοριακή δομή των υλικών οδηγεί σε μοντέλα ανακλαστικότητας και απορρόφησης σε εκείνη την έκταση μηκών κύματος που μπορεί μοναδικά να προσδιορίσει το υλικό. Έτσι, κοιτώντας στο φάσμα του κάθε pixel μπορούμε συνήθως να αναγνωρίσουμε τα υλικά που υπάρχουν μέσα σε καθένα από αυτά.



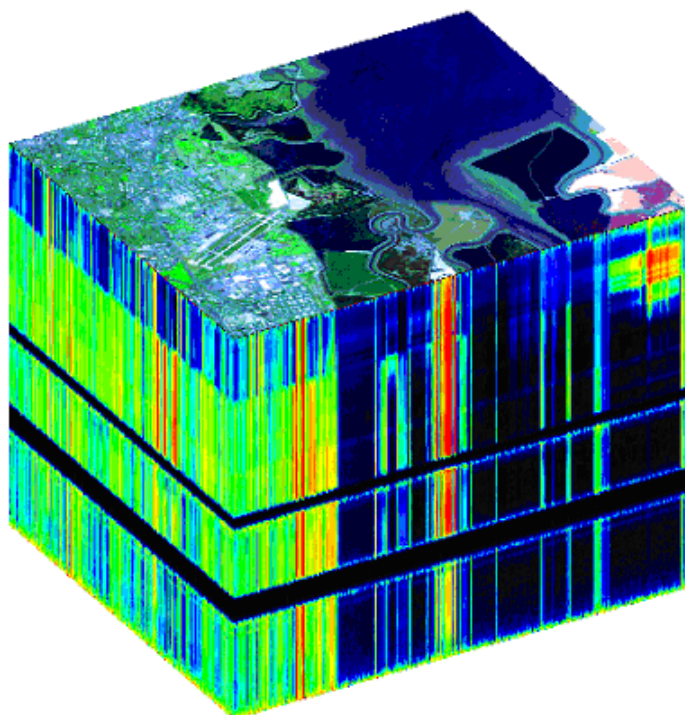
Σχήμα 3.12: Σύγκριση πολυφασματικής/υπερφασματικής ανίχνευσης

Καθώς τα χαρακτηριστικά ανακλαστικότητας και η ικανότητα εκπομπής ενός αντικειμένου ποικίλουν σημαντικά ανάλογα με το μήκος κύματος αλλά και με τη σύσταση του αντικειμένου, η απόκτηση ενός φάσματος ανακλωμένων και εκπεμπόμενων φωτονίων μπορεί να παρέχει πληροφορία σχετική με τα συστατικά στοιχεία του αντικειμένου. Επειδή όμως τα φασματικά κανάλια στην περίπτωση των υπερφασματικών οργάνων, είναι ιδιαίτερα στενά, προκειμένου να αποκτήσουμε υψηλό λόγο σήματος προς παρεμβολή, θα πρέπει να αυξηθεί ο χρόνος που παραμένει το στιγμιαίο πεδίο παρατήρησης πάνω από κάθε κελί ανάλυσης του εδάφους (dwell time). Το σημαντικότερο αρνητικό αποτέλεσμα που προκαλείται από τη μείωση του εύρους των συχνοτικών ζωνών είναι η μείωση της χωρικής ανάλυσης. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό, έχουν αναπτυχθεί αλγόριθμοι που συγχωνεύουν την υπερφασματική πληροφορία με υψηλής ανάλυσης πολυφασματικές ή πανχρωματικές εικόνες. Το αποτέλεσμα είναι ένας κύβος από εικόνες ο οποίος είναι κατασκευασμένος από τρισδιάστατα στοιχεία όγκου voxel. Παρακάτω εικονίζεται τέτοιος κύβος, ο οποίος έχει κατασκευαστεί με την τεχνική της υπερφασματικής απεικόνισης.



Σχήμα 3.13: Κύβος με τη τεχνική της υπερφασματικής απεικόνισης

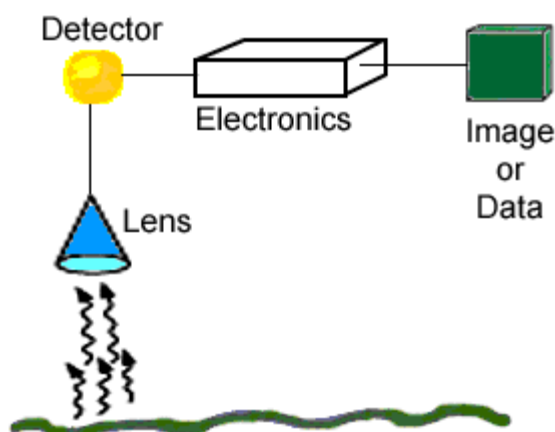
Μπορούμε να σκεφτούμε μια πολυφασματική εικόνα ως μια μοναδική εικόνα (αναφορικά με τις χωρικές διαστάσεις της) η οποία έχει ληφθεί σε αρκετές διαφορετικές φασματικές ζώνες ή μήκη κύματος. Στοιβάζοντας τις δισδιάστατες εικόνες ανάλογα με το μήκος κύματος, λαμβάνουμε έναν κύβο με δύο χωρικές διαστάσεις και μια τρίτη φασματική διάσταση. Κάθε στοιχείο της εικόνας παρουσιάζει μια μοναδική φασματική υπογραφή η οποία καθορίζεται από τον τρόπο με τον οποίο τα αντικείμενα που περιέχονται σε αυτό, ανακλούν, απορροφούν και εκπέμπουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Εξαιτίας αυτής της ιδιότητας το φάσμα σε κάθε περιοχή της εικόνας μπορεί να παρέχει επαρκείς πληροφορίες για τα αντικείμενα που περιλαμβάνονται στη συγκεκριμένη περιοχή και για τις χημικές ιδιότητές τους.



Σχήμα 3.14: Δομή κύβου από εικόνες που έχουν παραχθεί με χρήση του υπερφασματικού αισθητήρα AVIRIS

3.2.7. Θερμική απεικόνιση

Πολλά πολυφασματικά συστήματα ανιχνεύουν την ακτινοβολία τόσο στη θερμική υπέρυθη περιοχή όσο και στην ορατή και στην ανακλώμενη υπέρυθη περιοχή του φάσματος. Εντούτοις, η τηλεπισκόπηση της ενέργειας που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης στη θερμική υπέρυθη περιοχή ($3\mu\text{m}$ έως $15\mu\text{m}$) είναι διαφορετική από την ανίχνευση της ανακλώμενης ενέργειας. Οι θερμικοί αισθητήρες χρησιμοποιούν φωτογραφικούς ανιχνευτές ευαίσθητους στην απευθείας επαφή των φωτονίων στην επιφάνειά τους, προκειμένου να ανιχνεύσουν την εκπεμπόμενη θερμική ακτινοβολία. Οι ανιχνευτές αυτοί ψύχονται σε θερμοκρασίες κοντά στο απόλυτο μηδέν προκειμένου να περιορίσουν τις δικές τους θερμικές εκπομπές. Οι θερμικοί αισθητήρες μετρούν κυρίως τη θερμοκρασία επιφάνειας καθώς και τις θερμικές ιδιότητες των στόχων.



Σχήμα 3.15: Θερμικός αισθητήρας

Τα θερμικά όργανα είναι ανιχνευτές εγκάρσια ως προς την τροχιά, οι οποίοι ανιχνεύουν την εκπεμπόμενη ενέργεια μόνο στη θερμική περιοχή του φάσματος. Οι θερμικοί αισθητήρες περιλαμβάνουν μία ή περισσότερες αναφορές στην εσωτερική θερμοκρασία για σύγκριση με την ανιχνευόμενη ακτινοβολία. Η πληροφορία συνήθως καταγράφεται πάνω σε φιλμ ή σε μαγνητική ταινία, ενώ η θερμοκρασιακή ανάλυση των συγκεκριμένων οργάνων μπορεί να φτάσει τους $0,1^{\circ}\text{C}$. Για την ανάλυση, μια εικόνα σχετικών ακτινοβολούμενων θερμοκρασιών (θερμόγραμμα) αναπαρίσταται με τη μορφή επιπέδων του γκρι, με τις θερμότερες θερμοκρασίες να αναπαρίστανται με πιο ανοιχτούς τόνους και τις ψυχρότερες με σκούρους τόνους. Για τις περισσότερες εφαρμογές επαρκούν εικόνες που αναπαριστούν τις σχετικές θερμοκρασιακές διαφορές στις αντίστοιχες χωρικές θέσεις τους. Απόλυτες θερμοκρασιακές μετρήσεις μπορούν να υπολογιστούν αλλά απαιτούν ακριβείς ρυθμίσεις (βαθμονόμηση, αρχικοποίηση), μέτρηση των αναφορών θερμοκρασίας και λεπτομερή γνώση των θερμικών ιδιοτήτων του στόχου, των γεωμετρικών παραμορφώσεων και των ραδιομετρικών επιδράσεων.

Εξαιτίας των μεγάλων μηκών κύματος της θερμικής ακτινοβολίας (σε σύγκριση με τη ορατή ακτινοβολία) τα φαινόμενα ατμοσφαιρικής σκέδασης είναι ελάχιστα. Εντούτοις, η απορρόφηση από τα ατμοσφαιρικά αέρια συνήθως περιορίζει τη θερμική ανίχνευση σε δύο συγκεκριμένες περιοχές - 3 έως $5\mu\text{m}$ και 8 έως $14\mu\text{m}$. Εξαιτίας του γεγονότος ότι η ενέργεια μειώνεται καθώς αυξάνεται το μήκος κύματος, οι θερμικοί αισθητήρες συνήθως έχουν μεγάλα στιγμιαία επίπεδα παρατήρησης προκειμένου να διασφαλίσουν ότι στον ανιχνευτή φτάνει επαρκής ποσότητα ενέργειας ώστε να

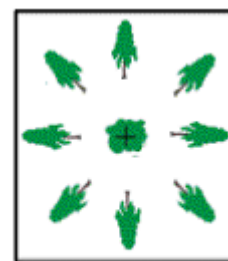
πραγματοποιήσει μια αξιόπιστη μέτρηση. Έτσι, η χωρική ανάλυση των θερμικών αισθητήρων είναι γενικά χαμηλή, αναφορικά με τη χωρική ανάλυση που μπορεί να επιτευχθεί στην ορατή και στην ανακλώμενη υπέρυθη περιοχή. Η θερμική απεικόνιση μπορεί να πραγματοποιηθεί μέρα ή νύχτα, ακριβώς επειδή μετράται η εκπεμπόμενη και όχι η ανακλώμενη ακτινοβολία και χρησιμοποιείται για μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών, όπως για διαχείριση φυσικών καταστροφών (χαρτογράφηση δασικών πυρκαγιών) και παρακολούθηση απώλειας της θερμότητας.

3.2.8. Γεωμετρικές παραμορφώσεις στην απεικόνιση

Οποιαδήποτε τηλεπισκοπική εικόνα, ανεξάρτητα από τον τρόπο με τον οποίο έχει παραχθεί, θα παρουσιάζει ποικίλες γεωμετρικές παραμορφώσεις. Πρόκειται για ένα πρόβλημα που ενυπάρχει στην τηλεπισκόπηση και που προκύπτει κατά την προσπάθειά μας να αναπαραστήσουμε με ακρίβεια την τρισδιάστατη επιφάνεια της γης με τη μορφή δισδιάστατης εικόνας. Όλες οι τηλεπισκοπικές εικόνες υποβάλλονται σε κάποια μορφή γεωμετρικής παραμόρφωσης ανάλογα με τον τρόπο απόκτησής τους. Τα σφάλματα αυτά μπορεί να οφείλονται σε μια μεγάλη ποικιλία παραμέτρων στους οποίους περιλαμβάνονται και τα ακόλουθα :

- η προοπτική των οπτικών συστημάτων του αισθητήρα,
- η κίνηση του συστήματος ανίχνευσης,
- η κίνηση και η αστάθεια της πλατφόρμας,
- το ύψος, η τροχιά και η ταχύτητα της πλατφόρμας,
- το ανάγλυφο του εδάφους,
- η καμπυλότητα και η περιστροφή της γης.

Τα συστήματα πλαισίωσης (framing systems), όπως οι κάμερες που χρησιμοποιούνται για εναέρια φωτογράφιση, παρέχουν ένα ακαριαίο στιγμιότυπο κάποιας όψης της γης ακριβώς από κάτω. Η βασική γεωμετρική παραμόρφωση στις κάθετες εναέριες φωτογραφίες οφείλεται στη διαφορετική εντύπωση που δημιουργεί η τρισδιάστατη όψη του κάθε αντικειμένου. Αντικείμενα που βρίσκονται ακριβώς κάτω από το φακό της φωτογραφικής μηχανής ή της κάμερας (στο ναδίρ) έχουν ορατό μόνο το επάνω τμήμα της επιφάνειάς τους,



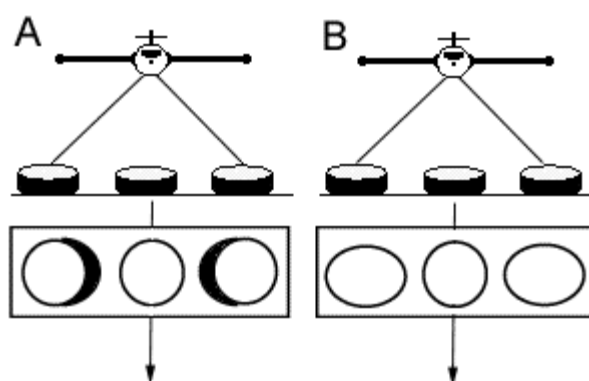
Σχήμα 3.16: Γεωμετρικές παραμορφώσεις

ενώ όλα τα υπόλοιπα αντικείμενα εμφανίζονται να αποκλίνουν από το κέντρο της φωτογραφίας με αποτέλεσμα να είναι ορατές από το φακό τόσο η επάνω όσο και κάποιες από τις πλαϊνές επιφάνειές τους. Αν τα αντικείμενα είναι ψηλά ή βρίσκονται αρκετά μακριά από το κέντρο της φωτογραφίας η παραμόρφωση και τα σφάλματα που σχετίζονται με τον προσδιορισμό της θέσης του αντικειμένου ως προς το έδαφος είναι ακόμη μεγαλύτερα.

Σε ό,τι αφορά τις απεικονίσεις που λαμβάνονται από ανιχνευτές κατά μήκος της τροχιάς, οι γεωμετρικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των ανιχνευόμενων γραμμών οφείλονται στις τυχαίες μεταβολές στο ύψος της πλατφόρμας και στη στάση της κατά μήκος της κατεύθυνσης της τροχιάς.

Οι εικόνες που λαμβάνονται με τη μέθοδο της ανίχνευσης εγκάρσια ως προς την τροχιά παρουσιάζουν δύο ειδών γεωμετρικές παραμορφώσεις. Το ένα είδος παραμόρφωσης (Α) σχετίζεται με τη διαφορετική εντύπωση που προκαλούν τα τρισδιάστατα αντικείμενα, όπως στην περίπτωση των εναέριων φωτογραφιών, αλλά μόνο ως προς μία κατεύθυνση, παράλληλη ως προς την κατεύθυνση της ανίχνευσης. Ακριβώς κάτω από τον αισθητήρα, στο ναδίρ, δεν υπάρχει κάποια παραμόρφωση. Όμως, καθώς ο αισθητήρας ανιχνεύει κάθετα ως προς το ανιχνευόμενο μονοπάτι, τόσο η κορυφή όσο και οι πλαϊνές όψεις των αντικειμένων απεικονίζονται και εμφανίζονται να αποκλίνουν από το σημείο ναδίρ σε κάθε γραμμή ανίχνευσης.

Μια ακόμη παραμόρφωση (Β) που παρατηρείται οφείλεται στην περιστροφή του ανιχνευτικού οπτικού συστήματος. Καθώς ο αισθητήρας σαρώνει την περιοχή σε κάθε γραμμή ανίχνευσης, η απόσταση μεταξύ του αισθητήρα και του εδάφους αυξάνεται όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο του ανιχνευόμενου μονοπατιού και γίνεται μέγιστη στις δύο άκρες αυτού. Παρά το γεγονός ότι το ανιχνευτικό κάτοπτρο περιστρέφεται με μια σταθερή ταχύτητα, το στιγμιαίο πεδίο παρατήρησης του αισθητήρα μετακινείται γρηγορότερα (αναφορικά με το έδαφος) και ανιχνεύει μεγαλύτερη περιοχή καθώς κινείται πλησιέστερα προς τις άκρες. Το φαινόμενο αυτό οδηγεί στη συμπίεση των στοιχείων της εικόνας σε σημεία μακριά από το σημείο ναδίρ του αισθητήρα και συχνά αποκαλείται εφαπτομενικά κλιμακούμενη παραμόρφωση (tangential scale distortion).



Σχήμα 3.17: Γεωμετρικές παραμορφώσεις

Όλες οι εικόνες είναι ευαίσθητες σε γεωμετρικές παραμορφώσεις οι οποίες οφείλονται σε μεταβολές στην ευστάθεια των πλατφορμών και στις οποίες περιλαμβάνονται αλλαγές στην ταχύτητά τους, στο ύψος και στη στάση τους (γωνιακός προσανατολισμός αναφορικά με το έδαφος) κατά τη διάρκεια της συλλογής πληροφοριών. Οι επιδράσεις των παραπάνω μεταβολών είναι περισσότερο έντονες όταν χρησιμοποιούνται αεροσκάφη ως πλατφόρμες, ενώ με τη χρήση δορυφορικών πλατφορμών εξασθενούν σε μεγάλο βαθμό, καθώς οι τροχιές τους είναι σχετικά σταθερές ιδίως αναφορικά με τη απόστασή τους από τη γη.

Οι πηγές γεωμετρικών παραμορφώσεων και σφαλμάτων προσδιορισμού της θέσης των στόχων ποικίλουν από περίπτωση σε περίπτωση και γενικά μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι σύμφυτες με την τεχνική απεικόνισης μέσω τηλεπισκόπησης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, υπάρχει η δυνατότητα διόρθωσης ή τουλάχιστον μείωσης των σφαλμάτων τα οποία όμως θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να ληφθούν υπόψη προτού γίνουν μετρήσεις ή εξαχθούν περαιτέρω πληροφορίες.

3.3. Αισθητήρες, όργανα και τεχνολογία που χρησιμοποιείται σήμερα

Σήμερα, στις πολυάριθμες εναέριες και διαστημικές αποστολές χρησιμοποιείται μια μεγάλη ποικιλία τηλεπισκοπικών οργάνων και αισθητήρων, τόσο ενεργών όσο και παθητικών, που χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνολογίες μετρήσεων και τεχνικές, οι οποίες εκμεταλλεύονται μια μεγάλη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Υπό την εποπτεία διαφόρων διεθνών υπηρεσιών έχουν σχεδιαστεί και τεθεί σε λειτουργία περισσότεροι από 150 δορυφόροι με αποστολές περιβαλλοντικής

παρακολούθησης για τα επόμενα 15 χρόνια. Οι δορυφόροι αυτοί κουβαλούν περισσότερα από 300 διαφορετικά όργανα τηλεπισκόπησης. Κάποια από τα όργανα αυτά που χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα με κύριο σκοπό την περιβαλλοντική παρακολούθηση περιγράφονται αμέσως παρακάτω. Ακριβώς, λόγω της σπουδαιότητας του ρόλου της περιβαλλοντικής παρακολούθησης για το μέλλον της ανθρωπότητας, έχουν σχεδιαστεί πολλοί αισθητήρες, καθένας από τους οποίους είναι αφοσιωμένος σε διαφορετικά πεδία κλιματολογικών και περιβαλλοντολογικών ερευνών.

3.3.1. Ραντάρ συνθετικού ανοίγματος SAR (Synthetic Aperture Radar)

Το ραντάρ συνθετικού ανοίγματος SAR είναι ένα ενεργό μικροκυματικό όργανο τηλεπισκοπικής παρακολούθησης ποικίλων περιβαλλοντικών φαινομένων που παράγει υψηλής ανάλυσης εικόνες της επιφάνειας της γης σε όλες τις καιρικές συνθήκες και μέχρι σήμερα έχει αποτελέσει μέρος του ωφέλιμου φορτίου των δορυφόρων ERS-1 και ERS-2, του ευρωπαϊκού διαστημικού γραφείου ESA, του Ιαπωνικού δορυφόρου JERS-1 και του δορυφόρου Radarsat του Καναδά. Στο μέλλον, περισσότεροι δορυφόροι όπως ο Envisat του ESA, θα χρησιμοποιούν το συγκεκριμένο σύστημα περιβαλλοντικής παρακολούθησης.

Σημαντικές και ποικίλες εφαρμογές, όπως περιβαλλοντική παρακολούθηση, χαρτογράφηση περιοχών της γης που παρουσιάζουν ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον καθώς επίσης και διάφορα στρατιωτικά συστήματα απαιτούν απεικόνιση μεγάλων περιοχών με εξαιρετικά υψηλή ανάλυση. Πολλές φορές οι εικόνες, αυτές, χρειάζεται να ληφθούν σε άσχημες καιρικές συνθήκες ή ακόμη κατά τη διάρκεια της νύχτας, επομένως το συγκεκριμένο ραντάρ καθίσταται ιδιαίτερα χρήσιμο για τις περιπτώσεις αυτές, αφού μπορεί να συλλέγει δεδομένα και πληροφορίες τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και της νύχτας (τα ραντάρ παρέχουν τη δική τους πηγή ενέργειας), ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν. Τα συστήματα SAR εκμεταλλεύονται τα χαρακτηριστικά μεγάλης ακτίνας διάδοσης των σημάτων ραντάρ και την ικανότητα επεξεργασίας σύνθετης πληροφορίας που μπορούν να τους παρέχουν τα σύγχρονα ψηφιακά ηλεκτρονικά συστήματα, ώστε με τη σειρά τους να παράγουν ιδιαίτερα υψηλής ανάλυσης εικόνες.

Η τεχνολογία του ραντάρ συνθετικού ανοίγματος παρέχει στους γεωλόγους πληροφορία σχετικά με τη δομή του εδάφους για εξερεύνηση ορυκτών, στους περιβαλλοντολόγους πληροφορία για διαρροές διαφόρων επικίνδυνων ελαίων σε θαλάσσιες περιοχές, στους κυβερνήτες πλοίων πληροφορίες σχετικές με την κατάσταση της θάλασσας και χάρτες που επιδεικνύουν επικίνδυνες βραχώδεις περιοχές ή την ύπαρξη παγόβουνων και σε στρατιωτικές επιχειρήσεις αναγνωριστικές πληροφορίες κρίσιμων στόχων. Υπάρχουν πολλές άλλες πιθανές εφαρμογές οι οποίες διευρύνονται με το πέρασμα του χρόνου καθώς η μείωση του κόστους των ηλεκτρονικών συστημάτων έχει ήδη ξεκινήσει να ανάγει την τεχνολογία SAR σε οικονομικότερη για χρήσεις μικρότερης κλίμακας.

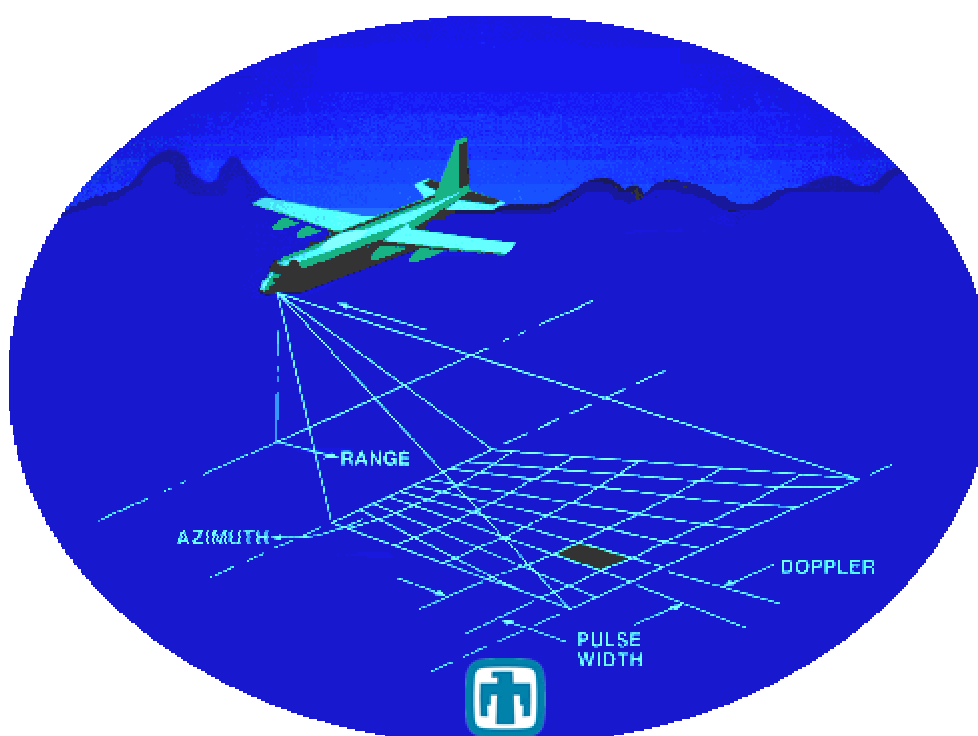
Το ραντάρ συνθετικού ανοίγματος SAR του ERS-1 λειτουργεί στη ζώνη C της μικροκυματικής περιοχής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, ενώ ο αντίστοιχος αισθητήρας του JERS-1 λειτουργεί στη ζώνη L. Γενικά το ραντάρ συνθετικής οπής μπορεί να χρησιμοποιεί συχνότητες της τάξης από 1 έως 10GHz, ώστε να μπορεί να ανιχνεύει στόχους μέσα από σύννεφα, καπνούς, καταιγίδες και ομίχλη και παράγει πληροφορία διαφορετική από εκείνη των οπτικών ραντάρ που λειτουργούν στην ορατή και υπεριώδη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Το σύστημα SAR παράγει απεικονίσεις σε κατεύθυνση κάθετη προς την ταχύτητα του αεροσκάφους (ή δορυφόρου) στο οποίο είναι τοποθετημένο. Οι παραγόμενες εικόνες είναι δύο διαστάσεων. Η μία διάσταση στην εικόνα ονομάζεται ακτίνα ή εγκάρσιο ίχνος και αποτελεί μέτρο της ορατής απόστασης από το ραντάρ στον εκάστοτε στόχο. Η μέτρηση της ακτίνας (ή του εγκάρσιου ίχνους) και η ανάλυση, επιτυγχάνονται στο σύστημα SAR με τον ίδιο τρόπο που γίνεται και στα περισσότερα από τα υπόλοιπα ραντάρ. Η ακτίνα καθορίζεται από την ακριβή μέτρηση του χρόνου που μεσολαβεί από την εκπομπή του παλμού μέχρι τη λήψη της ηχούς από το στόχο και στην απλούστερη τεχνολογία SAR, η ανάλυση της ακτίνας καθορίζεται από το εύρος του εκπεμπόμενου παλμού, για παράδειγμα, στενοί παλμοί οδηγούν σε εξαιρετική ανάλυση ακτίνας.

Τα συστήματα SAR εκπέμπουν περισσότερους από 1000 παλμούς το δευτερόλεπτο και επομένως για μία ταχύτητα πτήσης 7km/sec, κάθε παλμός απέχει από τον επόμενο κατά 4 έως 10 μέτρα. Το σήμα (ηχώ) που επιστρέφει από το έδαφος

στο ραντάρ καθορίζεται κυρίως από τα φυσικά χαρακτηριστικά των στοιχείων της εκάστοτε επιφάνειας, όπως η τραχύτητα του εδάφους, η γεωμετρική δομή, ο προσανατολισμός, από τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά, όπως η διηλεκτρική σταθερά, ο δείκτης υγρασίας, η αγωγιμότητα και από τη συχνότητα του ραντάρ του αισθητήρα.

Η άλλη διάσταση στην παραγόμενη εικόνα από το ραντάρ συνθετικής οπής ονομάζεται αζιμούθιο ή διάμηκες ίχνος και είναι κάθετο στη διεύθυνση της ακτίνας. Αυτό που διαφοροποιεί την τεχνολογία του SAR από τα υπόλοιπα ραντάρ είναι η ικανότητά του να παράγει το αζιμούθιο της εικόνας με εξαιρετικά υψηλή ανάλυση. Προκειμένου να αποκτήσουμε αυτή την υψηλή ανάλυση στο αζιμούθιο, απαιτείται μια κεραία μεγάλων φυσικών διαστάσεων, ώστε να συγκεντρώνει τόσο την εκπεμπόμενη όσο και τη ληφθείσα ενέργεια σε μια πολύ λεπτή ακτίνα. Η λεπτότητα αυτής της ακτίνας καθορίζει την ανάλυση στο αζιμούθιο. Παρόμοια, οπτικά συστήματα, όπως τα τηλεσκόπια, απαιτούν μεγάλες οπές – κάτοπτρα ή φακούς ανάλογα σε μέγεθος προς την κεραία του ραντάρ – για να επιτύχουν υψηλή ανάλυση εικόνας.



Σχήμα 3.18: Ανιχνευτική λειτουργία συνθετικού ανοίγματος SAR

Στην τεχνολογία SAR χρησιμοποιείται πολύ χαμηλότερη συχνότητα από τα οπτικά συστήματα, έτσι ακόμα και ραντάρ συνθετικού ανοίγματος με μέτρια ανάλυση

απαιτούν κεραίες με φυσικές διαστάσεις μεγαλύτερες από αυτές που μπορούν να μεταφερθούν σε πλατφόρμες στον αέρα. Πρόκειται για κεραίες με μήκη της τάξης κάποιων εκατοντάδων μέτρων. Εντούτοις τα ραντάρ που βρίσκονται τοποθετημένα σε αεροσκάφη ή δορυφόρους μπορούν να συλλέγουν πληροφορία, καθόλη τη διάρκεια που τα σκάφη αυτά διανύουν στον αέρα αντίστοιχη απόσταση, προς το απαιτούμενο φυσικό μήκος της κεραίας και στη συνέχεια να επεξεργάζονται την πληροφορία, αυτή, σαν να προερχόταν από μια πραγματική κεραία μεγάλων φυσικών διαστάσεων. Η απόσταση που διανύει το αεροσκάφος στον αέρα ώστε να συμπληρώσει το πραγματικά απαιτούμενο φυσικό μέγεθος της κεραίας, ονομάζεται συνθετικό άνοιγμα (οπή). Αποτέλεσμα του μεγάλου αυτού συνθετικού ανοίγματος είναι ένα συνθετικό στενό εύρος ακτίνας το οποίο με τη σειρά του οδηγεί σε καλύτερη ανάλυση από αυτή που επιτυγχάνεται με τη χρήση μιας μικρότερου φυσικού μεγέθους κεραίας.

Η επίτευξη καλής ανάλυσης στο αζιμούθιο μπορεί να περιγραφεί και από τη σκοπιά του φαινομένου Doppler. Η θέση ενός στόχου κατά μήκος της τροχιάς πτήσης καθορίζει τη συχνότητα Doppler από την ηχώ του. Στόχοι που βρίσκονται μπροστά από το αεροσκάφος παράγουν θετική ολίσθηση Doppler, ενώ στόχοι που βρίσκονται πίσω από το αεροσκάφος παράγουν αρνητική ολίσθηση Doppler. Καθώς το αεροσκάφος διανύει την απόσταση "συνθετικού ανοίγματος", η ηχώ από τους διάφορους στόχους αναλύεται σε έναν αριθμό συχνοτήτων Doppler. Η ολίσθηση Doppler κάθε στόχου καθορίζει το αζιμούθιο της θέσης του.

Τα προηγούμενα δίνουν μια ιδέα για την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του συγκεκριμένου ραντάρ, όμως η τεχνολογία του SAR δεν είναι τόσο απλή όσο περιγράφηκε. Συγκεκριμένα, η εκπομπή παλμών στενού εύρους για την επίτευξη πολύ υψηλής ανάλυσης δεν είναι ιδιαίτερα πρακτική. Στην πράξη εκπέμπονται μεγαλύτεροι παλμοί με διαμόρφωση ευρείας ζώνης, με αποτέλεσμα να περιπλέκεται η επεξεργασία της ακτίνας του στόχου, αλλά να μειώνονται οι απαιτήσεις ισχύος του εκπομπού. Επιπρόσθετα, για απαιτήσεις πολύ υψηλής ανάλυσης, η ακτίνα και το αζιμούθιο θα πρέπει να λαμβάνονται ως ζεύγος αλληλοεξαρτώμενων δεδομένων κατά την επεξεργασία της εικόνας, κάτι το οποίο περιπλέκει αρκετά την υπολογιστική διαδικασία του συστήματος.

Όλες οι εικόνες που παράγονται από το SAR έχουν ψευδή χρώματα, καθώς δεν ορίζεται η έννοια των πραγματικών χρωμάτων στην περιοχή της αόρατης μικροκυματικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το ραντάρ. Οι περισσότερες εικόνες SAR είναι μονόχρωμες, ωστόσο πολλές φορές λαμβάνονται από την ίδια περιοχή της επιφάνειας της γης πολλαπλές εικόνες σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, οι οποίες υπερτίθενται η μία πάνω στην άλλη με αποτέλεσμα να δημιουργούνται πολυχρονικές εικόνες ψευδών χρωμάτων. Το χρώμα σε αυτές τις φωτογραφίες υποδηλώνει τις μεταβολές που λαμβάνουν χώρα στη συγκεκριμένη περιοχή, οι οποίες μπορεί να οφείλονται σε μια ποικιλία παραγόντων, όπως η υγρασία ή ο άνεμος ή η ανάπτυξη της βλάστησης στο έδαφος και οι συνθήκες που επικρατούν στη θάλασσα.



Σχήμα 3.19: Εικόνα μέσω του αισθητήρα SAR

Η παραπάνω εικόνα έχει ληφθεί με χρήση του αισθητήρα SAR ως μέρος του ωφέλιμου φορτίου του δορυφόρου ERS-2 του διαστημικού γραφείου ESA, με σκοπό να ερευνηθούν οι επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών που έλαβαν χώρα στην ανατολική περιοχή Kilmantan Borneo την περίοδο 1997-1998. Τα οπτικά δορυφορικά συστήματα παρουσίασαν ιδιαίτερα περιορισμένες δυνατότητες λόγω της παρουσίας του καπνού και της ομιχλώδους κατάστασης στην περιοχή, επομένως εμφανίστηκαν ανεπαρκή για το σκοπό της έρευνας, ενώ αντίθετα στο ραντάρ συνθετικού ανοίγματος SAR δεν παρουσιάστηκε κανένα εμπόδιο. Στην παραπάνω εικόνα, οι καμένες περιοχές εμφανίζονται με διαφορετικές εντάσεις του κίτρινου και του πορτοκαλί, οι οποίες σχετίζονται με το διαφορετικό βαθμό καταστροφής της βλάστησης. Η μη καμένη βλάστηση εμφανίζεται με μπλε χρώμα.

3.3.1.1. Εφαρμογές SAR

Οι εφαρμογές του συστήματος SAR αυξάνονται σχεδόν καθημερινά, καθώς καινούριες τεχνολογίες και καινοτόμες ιδέες αναπτύσσονται ολοένα και περισσότερο. Όπως έχει ήδη τονιστεί το SAR είναι ιδιαίτερα δημοφιλές εξαιτίας του γεγονότος ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την ίδια αποτελεσματικότητα μέρα και νύχτα και σε άσχημες καιρικές συνθήκες, αλλά επιπλέον μπορεί να απεικονίσει μια διαφορετική όψη ενός στόχου, χρησιμοποιώντας πολύ μικρότερες ηλεκτρομαγνητικές συχνότητες από τους υπόλοιπους οπτικούς αισθητήρες.

Το SAR μπορεί να ικανοποιήσει πολλές από τις απαιτήσεις του στρατού που αφορούν την αναγνώριση και παρακολούθηση στόχων, μπορεί να παρέχει τη δυνατότητα για αυτόνομη πλοήγηση και καθοδήγηση σε όλες τις καιρικές συνθήκες, επίσης μπορεί να διεισδύσει σε διάφορα υλικά τα οποία είναι οπτικά αδιαφανή και επομένως μη ορατά από άλλες οπτικές τεχνικές, έτσι μπορεί να απεικονίσει στόχους οι οποίοι βρίσκονται ανάμεσα σε φυλλώματα, σε θάμνους ή ακόμα και κάτω από το έδαφος.

Τέλος, το SAR, όπως ήδη έχει αναφερθεί χρησιμοποιείται για μια μεγάλη ποικιλία περιβαλλοντικών εφαρμογών, όπως η παρακολούθηση διαφόρων καιρικών φαινομένων – ρυθμός βροχόπτωσης, χιονόπτωσης κ.λ.π. – εντοπισμός πετρελαιοκηλίδων σε ωκεανούς, ανίχνευση και παρακολούθηση καμένων δασικών εκτάσεων καθώς και αλλαγών στην επιφάνεια του εδάφους.

3.3.2. GOME (*Global Ozone Monitoring Experiment*)

Η ονομασία του οργάνου GOME αποδίδεται ως Παγκόσμιο Πείραμα Παρακολούθησης του Όζοντος. Πρόκειται για ένα παθητικό τηλεπισκοπικό όργανο που αποτελεί μέρος του ωφέλιμου φορτίου του δορυφόρου ERS-2, ο οποίος εκτοξεύτηκε από το Ευρωπαϊκό Διαστημικό Γραφείο ESA στις 21 Απριλίου του 1995. Η τροχιά του δορυφόρου ERS-2 παρέχει πλήρη κάλυψη της γης, κάθε 3 ημέρες. Η υπηρεσία ESA χρησιμοποιεί 4 επίγειους σταθμούς για την προς τα κάτω μετάδοση της λαμβανόμενης πληροφορίας, από τους οποίους ένας βρίσκεται στη Σουηδία, δύο στον Καναδά και ο τέταρτος στην Ισπανία.

Το όργανο GOME είναι ένα φασματόμετρο που μετρά το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται πίσω στο διάστημα από τα μόρια της ατμόσφαιρας και από τη γήινη επιφάνεια. Το όργανο αυτό μετρά επίσης το ηλιακό φάσμα απευθείας. Η αναλογία μεταξύ του φάσματος της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας και του ηλιακού σήματος αποτελεί ένα μέτρο της ανακλαστικής ιδιότητας της γήινης ατμόσφαιρας και επιφάνειας. Το GOME μετράει το φάσμα σε μια ευρεία περιοχή μηκών κύματος, από την υπεριώδη (UV 240nm), την ορατή και μέχρι την εγγύς υπέρυθρη περιοχή (near IR 790nm), με υψηλή ανάλυση (0,2-0,4nm). Το καταγραφόμενο φάσμα χρησιμοποιείται για την παραγωγή μιας λεπτομερούς εικόνας στην οποία είναι εμφανείς οι περιεκτικότητες του όζοντος, του διοξειδίου του αζώτου, των υδρατμών, των διμερών του οξυγόνου, του οξειδίου του βρωμίου και άλλων ανιχνευόμενων αερίων στην ατμόσφαιρα.

Σε γενικές γραμμές, η κύρια λειτουργία του οργάνου GOME είναι η συλλογή του φωτός που φτάνει από την ηλιακά φωτισμένη ατμόσφαιρα και η αποσύνθεσή του στα φασματικά του συστατικά. Προκειμένου να παραχθεί τόσο μια καλή φασματική ανάλυση της τάξης των 0,2-0,4nm, όσο και μια φασματική κάλυψη της τάξης των 240–790nm, η αποσύνθεση του φωτός πραγματοποιείται σε δύο βήματα: πρώτα μέσω ενός πρίσματος χαλαζία, μέσα από το οποίο το διερχόμενο φως χωρίζεται (αναλύεται) σε τέσσερα διαφορετικά κανάλια. Καθένα από τα κανάλια κατέχει ένα φράγμα για το δεύτερο επίπεδο σκέδασης του φωτός και έναν σειριακό ανιχνευτή πυριτίου των 1024 pixel.

3.3.2.1. Λειτουργικά τμήματα του οργάνου

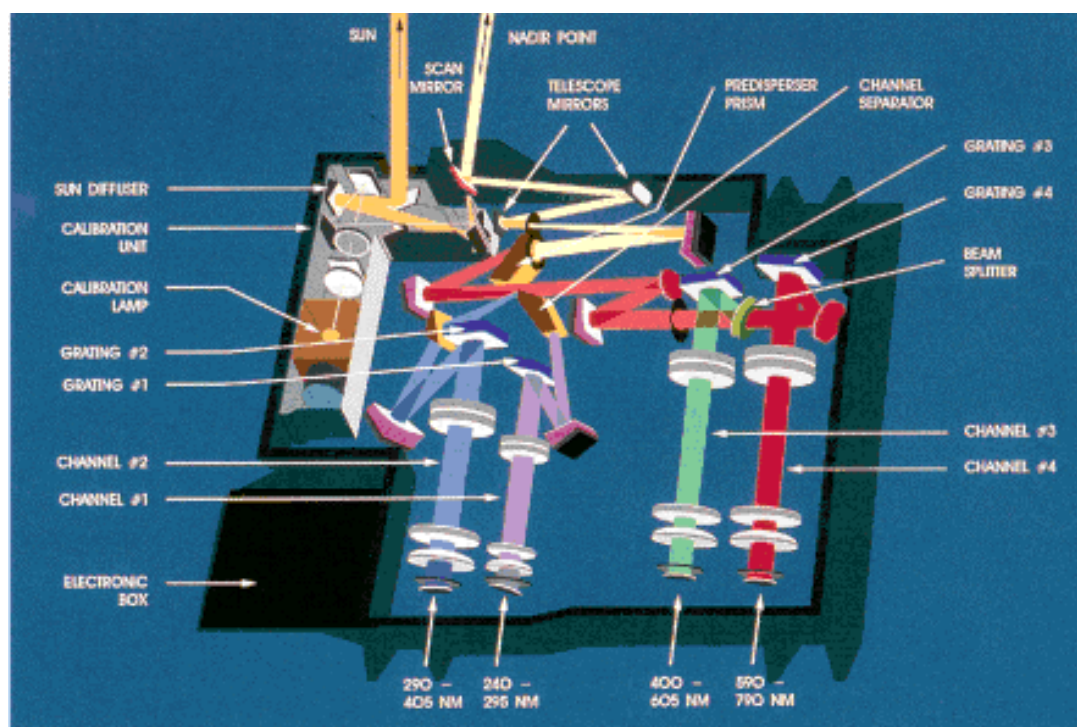
Ολόκληρο το όργανο μπορεί να διασπαστεί στα παρακάτω λειτουργικά τμήματα:

- Το φασματόμετρο
- Τα τέσσερα εστιακά επίπεδα συγκέντρωσης (FPA's)
- Τη μονάδα βαθμονόμησης
- Τη μονάδα ανίχνευσης με το μηχανισμό ανίχνευσης και τη συγκεντρωτική ηλεκτρονική μονάδα ανίχνευσης
- Τη συσκευή μέτρησης πόλωσης (PMD)
- Τη μονάδα επεξεργασίας ψηφιακής πληροφορίας (DDHU)

- Τον εξοπλισμό θερμικού ελέγχου.
- Τη δομή οπτικής έδρας

3.3.2.1.1. Οπτικά στοιχεία φασματομέτρου

Το σχηματικό διάγραμμα των οπτικών του φασματομέτρου εικονίζεται αμέσως παρακάτω.



Σχήμα 3.20: Οπτικά μέρη του φασματομέτρου GOME

Το φως που ανακλάται από το κάτοπτρο του ανιχνευτή συγκεντρώνεται μέσω ενός αναμορφικού τηλεσκοπίου, τέτοιου ώστε το σχήμα της εστίας να ταιριάζει με τη σχισμή εισόδου του φασματομέτρου, με διαστάσεις 10nmx100nm. Μετά από τη σχισμή εισόδου, το φως ευθυγραμμίζεται μέσω ενός παραβολικού κατόπτρου. Τότε προσπίπτει στο πρίσμα σκέδασης χαλαζία, παράγοντας μια ακτίνα μετρίως διασκορπισμένων μηκών κύματος.

Ένα επόμενο πρίσμα δρα για το χωρισμό στα τέσσερα διαφορετικά κανάλια. Η επάνω κορυφή του πρίσματος φτάνει στο μήκος κύματος της διασκορπισμένης ακτίνας, αφήνοντας να διέλθουν τα μεγαλύτερα μήκη κύματος, ανακλώντας τα μήκη κύματος από 290 έως 405nm στο κανάλι 2 μέσω ενός διηλεκτρικού ανακλώντος στρώματος και τέλος, οδηγώντας εσωτερικά μέσα από το πρίσμα τα μήκη κύματος

της περιοχής από 240 έως 295nm στο κανάλι 1. Τα μήκη κύματος από 405 έως 790nm που έμειναν ανεπηρέαστα από την παραπάνω διαδικασία, χωρίζονται από ένα διχρωικό διαχωριστή ακτίνων στα κανάλια 3 (400-605nm) και 4 (590-790nm).

Κάθε ξεχωριστό κανάλι περιλαμβάνει ένα παραβολικό κάτοπτρο (στο οποίο δεν περιλαμβάνεται το οπτικό του κέντρο - off-axis), ένα ολογραφικό φράγμα και έναν αντικειμενικό σωλήνα αντίστοιχα, τα οποία τελικά, συγκεντρώνουν το φως στους ανιχνευτές που περιλαμβάνονται στα αντίστοιχα εστιακά επίπεδα συγκέντρωσης (Focal Plane Assemblies – FPA's).

Τα πιο κρίσιμα οπτικά στοιχεία στην παραπάνω ακολουθία είναι τα φράγματα διάθλασης, τα οποία θα πρέπει να παρέχουν υψηλή απόδοση αμέσως μετά το πρώτο επίπεδο διάθλασης και όσο το δυνατόν μικρότερα επίπεδα θαμπάδας και σκίασης. Ορισμένα σημαντικά φασματικά στοιχεία του οπτικού συστήματος αναγράφονται στον επόμενο πίνακα.

Φασματική ζώνη	Εύρος μηκών κύματος	Φράγμα περίθλασης (σχ/mm)	Ανάλυση pixel (nm)	Φασματική ανάλυση (nm)
1A	240-268	3600	0,11	0,22
1B	268-295			
2A	290-312	2400	0,12	0,42
2B	312-405			
3	400-605	1200	0,2	0,4
4	590-790	1200	0,2	0,4

3.3.2.1.2. Εστιακά επίπεδα συγκέντρωσης (FPA's)

Καθένα από τα τέσσερα εστιακά επίπεδα συγκέντρωσης είναι κατασκευασμένο από τιτάνιο και έχει ένα σφραγισμένο παράθυρο από χαλαζία στην πλευρά με την οποία στηρίζεται στον αντίστοιχο αντικειμενικό σωλήνα. Το πίσω μέρος του εστιακού επιπέδου συγκέντρωσης είναι ένας δίσκος από τιτάνιο εφοδιασμένος με στεγανοποιημένο και ηλεκτρικά απομονωμένο κενό χώρο για τις ηλεκτρικές

συνδέσεις με τον ανιχνευτή. Πρόκειται για το σειριακό ανιχνευτή διόδου τυχαίας προσπέλασης και με 1024 pixels, ο οποίος ονομάζεται Reticon RL 1024 SR, στον οποίο κάθε pixel έχει διάσταση 25mm κατά τη διεύθυνση διάθλασης και 2,5mm κατά τη διεύθυνση της σχισμής. Στο όργανο GOME, οι ανιχνευτές των καναλιών 1 και 2 είναι χωρισμένοι σε ζώνες, στις οποίες οι χρόνοι ολοκλήρωσης (integration times) μπορεί να ποικίλουν.

Οι ανιχνευτές είναι κολλημένοι σε ψήκτρες Peltier δύο σταδίων, οι οποίοι μειώνουν τη θερμοκρασία στους -40°C , ώστε να διατηρήσουν το ρεύμα των φωτοδίοδων σε αρκετά χαμηλά επίπεδα. Η ζεστή πλευρά των παραπάνω ψηκτρών είναι κολλημένη σε μία χάλκινη πλάκα, η οποία φτάνει μέχρι το πίσω μέρος των επιπέδων συγκέντρωσης. Έξω από τα επίπεδα συγκέντρωσης, αυτή η χάλκινη πλάκα συνδέεται μέσω εύκαμπτων συνδέσεων και θερμαινόμενων σωληνώσεων με τον κύριο ακτινοβολητή. Οι άκρες των ψηκτρών και των ανιχνευτών βρίσκονται σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από τους $1,6^{\circ}\text{C}$ έως τους $9,5^{\circ}\text{C}$.

Κατά τη διάρκεια επίγειων επιχειρήσεων, τα εστιακά επίπεδα συγκέντρωσης μπορεί είτε να έχουν εκκενωθεί είτε να περιέχουν άνυδρο άζωτο (dry nitrogen) ώστε να αποφευχθεί η υγρασία στους ανιχνευτές. Επιπρόσθετα, η πολικότητα των στοιχείων Peltier (ψήκτρες) μπορεί να αλλάξει προκειμένου να θερμανθούν οι ανιχνευτές στους $+80^{\circ}$ και έτσι να αποφευχθούν οι πιθανές μολύνσεις.

Στον αέρα, κατά την πτήση, τα εστιακά επίπεδα συγκέντρωσης συνδέονται σε κενό χώρο μέσω μιας εύθραυστης μεμβράνης η οποία έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να ανοίγει κατά τη διαδικασία της απογείωσης.

Τέλος, οι αντικειμενικοί σωλήνες μπροστά από κάθε εστιακό επίπεδο είναι εξοπλισμένοι με φωτοδιόδους, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στις επίγειες επιχειρήσεις και κατά τη διάρκεια που το σύστημα βρίσκεται στον αέρα, για ανίχνευση pixel κατεστραμμένων από επιδρομή βαρέων ιόντων ή σκιασμένων από διάφορα σωματίδια.

3.3.2.1.3. Μονάδα βαθμονόμησης

Στη μονάδα αυτή, υπάρχει μια κοίλη καθοδική λάμπα πυριτίου-χρωμίου-νέου (Pt-Cr-Ne) μέσω της οποίας μπορεί να υπολογιστεί η περιοχή μήκους κύματος στα pixel του ανιχνευτή σε σχέση με την τροχιακή θερμοκρασία. Η λυχνία αυτή, παρέχει σε όλες τις περιοχές μηκών κύματος ένα ικανοποιητικό αριθμό λεπτών γραμμών. Η συγκεκριμένη λάμπα παρέχει περισσότερες από 1000 ώρες λειτουργίας και έχει μια κατανάλωση περίπου 5W, ενώ χρησιμοποιεί δική της πηγή τροφοδοσίας.

Για τη ραδιομετρική ρύθμιση χρησιμοποιείται ο ήλιος. Στη συγκεκριμένη μονάδα υπάρχει ένας παραβολικός δίσκος μέσω του οποίου διαχέεται το ηλιακό φως, το οποίο δεν μπορεί να παρατηρηθεί απευθείας από το κάτοπτρο του ανιχνευτή, λόγω της γεωμετρίας της τροχιάς αλλά και του ίδιου του ανιχνευτή. Επιπλέον η απευθείας παρατήρηση του ηλιακού φωτός θα μπορούσε να οδηγήσει λόγω της υψηλής έντασής του σε κορεσμό του ανιχνευτή.

Από προηγούμενες εμπειρίες της NASA έγινε φανερό ότι ο δίσκος στον οποίο διαχέεται το φως υπόκειται σε υποβιβασμό σε περιόδους μεγάλης έκθεσης. Έτσι, πρέπει να ληφθούν κάποια μέτρα προφύλαξης, όπως :

- ❖ Τοποθέτηση πλέγματος μπροστά από το δίσκο, ώστε να εξασθενεί το επίπεδο εισερχομένου φωτός και να προστατεύεται με τον τρόπο αυτό, αρκετά ο δίσκος.
- ❖ Ύπαρξη μηχανισμού θύρας, η οποία ανοίγει μόνο κατά τη διάρκεια της ραδιομετρικής ρύθμισης και προστατεύει το δίσκο διάχυσης του φωτός στις υπόλοιπες φάσεις.
- ❖ Παρέχοντας τη δυνατότητα να παρατηρήσουμε τη λυχνία ρύθμισης μέσω του δίσκου διάχυσης, ώστε να μπορέσουμε να ανιχνεύσουμε έναν πιθανό υποβιβασμό τουλάχιστον σε εκείνα τα μήκη κύματος τα οποία παράγονται από τη λυχνία.

3.3.2.1.4. Μονάδα ανίχνευσης

Η μονάδα ανίχνευσης αποτελείται από το μηχανισμό ανίχνευσης και από τη συγκεντρωτική ηλεκτρονική μονάδα ανίχνευσης.

Ο μηχανισμός ανίχνευσης είναι τοποθετημένος πάνω σε μια οπτική έδρα, της οποίας ο άξονας περιστροφής είναι απόλυτα ευθυγραμμισμένος με τον άξονα της κατεύθυνσης της πτήσης του δορυφόρου. Στον άξονα βρίσκεται στερεωμένο ένα κάτοπτρο, το οποίο μπορεί να θερμαίνεται από την εξωτερική πλευρά ώστε να απωθούνται πιθανά μολυσματικά στοιχεία. Ο ανιχνευτής ενεργοποιείται μέσω ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος. Η θέση ανιχνεύεται από έναν αναλυτή. Το περιστρεφόμενο τμήμα του αναλυτή αυτού, το θερμαινόμενο κάτοπτρο και ο θερμοκρασιακός αισθητήρας συνδέονται στο σταθερό τμήμα μέσω μιας εύκαμπτης κυκλωματικής σύνδεσης. Η γωνιακή ακτίνα του ανιχνευτή περιορίζεται σε σχέση με την κατεύθυνση των 0^0 (Nadir direction) στο εύρος από $-63,8^0$ έως $+192,2^0$.

Ο αναλυτής λειτουργεί στα 2,4kHz, που παράγονται από μια γεννήτρια παλμών ρολογιού. Τα σήματα από τον αναλυτή μετατρέπονται σε ψηφιακά των 16 bit, μετατρέπονται σε σειριακά από παράλληλα και στη συνέχεια οδηγούνται σε ένα μικροεπεξεργαστή με λογισμικό ανατροφοδότησης βρόχου με PID χαρακτηριστικά. Το σήμα εξόδου μετατρέπεται από ψηφιακό σε αναλογικό, φιλτράρεται και οδηγείται σε έναν ελεγκτή ο οποίος παρέχει το ρεύμα στον κινητήρα. Το ψηφιακό σήμα μεταδίδεται 16 φορές κάθε 1,5sec στη μονάδα επεξεργασίας ψηφιακής πληροφορίας (DDHU) ώστε να συνυπολογιστεί στην τηλεμετρική πληροφορία. Η δυναμική ακρίβεια θέσης είναι $0,063^0$ στη χειρότερη περίπτωση.

3.3.2.1.5. Συσκευή μέτρησης πόλωσης

Το εισερχόμενο φως από την ατμόσφαιρα μπορεί μερικώς να πολωθεί. Εξαιτίας του γεγονότος ότι η απόκριση του οργάνου στις δύο ορθογώνιες γραμμικές πολώσεις δεν είναι η ίδια, αναφαίνεται η ανάγκη να παρακολουθούμε και να ανιχνεύουμε την πόλωση του εισερχομένου φωτός.

Στο πρίσμα ανάλυσης του φωτός στις φασματικές του συνιστώσες, το φως ανακλάται εσωτερικά στην περιοχή της γωνίας Brewster. Ένα ποσοστό 5%, το οποίο είναι πολωμένο ορθά στο επίπεδο πρόσπτωσης διαφεύγει προς την επιφάνεια αυτή. Το φως συλλέγεται από ένα παραβολικό κάτοπτρο, ανακλάται έξω από το επίπεδο της οπτικής έδρας και στη συνέχεια ανιχνεύεται από μια ειδικά κατασκευασμένη για το σκοπό αυτό σειριακή φωτοδίοδο.

Η συγκεκριμένη σειριακή φωτοδίοδος (array detector) είναι ευαίσθητη σε τρεις ξεχωριστές περιοχές του φάσματος: στην υπεριώδη, στην ορατή και στην ερυθρή, με αντίστοιχα εύρη ανίχνευσης όπως φαίνονται στον επόμενο πίνακα. Η συσκευή δεν ελέγχεται θερμοκρασιακά, επομένως υπόκειται σε ρεύματα. Προκειμένου να διατηρήσουμε τη μεταβολή των θερμοκρασιών στο ελάχιστο, ακολουθεί αμέσως μετά την πρώτη φωτοδίοδο μια δεύτερη με την ίδια γεωμετρία και η οποία δεν εκτίθεται στο φως.

Φασματικό κανάλι	Εύρος μηκών κύματος (nm)	Εύρος ανίχνευσης (nm)
1 (UV)	292-402	1,58
2 (ορατό)	402-597	0,913
3 (κόκκινο)	597-790	0,357

3.3.2.1.6. Μονάδα επεξεργασίας ψηφιακής πληροφορίας

Η λειτουργία της συγκεκριμένης μονάδας συνοψίζεται σε γενικές γραμμές στα ακόλουθα. Αρχικά μετατρέπει και κατανέμει την αρχική ισχύ στα απαραίτητα επίπεδα ισχύος για κάθε ένα από τα διαφορετικά ενεργά συστήματα του GOME και ενεργοποιεί τις απαιτούμενες μετατροπές των διαφόρων τμημάτων του οργάνου. Παράγει το φωτισμό και τα σήματα που είναι απαραίτητα για την ανάγνωση των ενδείξεων του ανιχνευτή. Λαμβάνει τα προενισχυμένα και φιλτραρισμένα αναλογικά σήματα από τους ανιχνευτές και τα μετατρέπει σε ψηφιακά με ανάλυση των 16 bit καθώς επίσης λαμβάνει και μετατρέπει όλη την εσωτερική και βοηθητική πληροφορία, όπως τις τιμές τάσεων, ρευμάτων, θερμοκρασιών, σήματα πόλωσης, θέση ανίχνευσης σε ψηφιακές τιμές. Τέλος, παρέχει τον κλειστό βρόχο ανατροφοδότησης στις ψήκτρες Peltier στα 4 εστιακά επίπεδα συγκέντρωσης.

3.3.2.1.7. Εξοπλισμός θερμικού ελέγχου

Η πιο κρίσιμη λειτουργία του θερμικού ελέγχου είναι η ανίχνευση θερμοκρασίας, η οποία παρέχεται από τα στοιχεία Peltier σε καθένα από τα τέσσερα εστιακά επίπεδα συγκέντρωσης. Οι ζεστές πλευρές των στοιχείων Peltier συνδέονται,

μέσω χάλκινων ράβδων και ευέλικτων συνδέσεων με ένα ζευγάρι παράλληλων θερμαινόμενων σωλήνων που τερματίζονται στον αρχικό ακτινοβολητή.

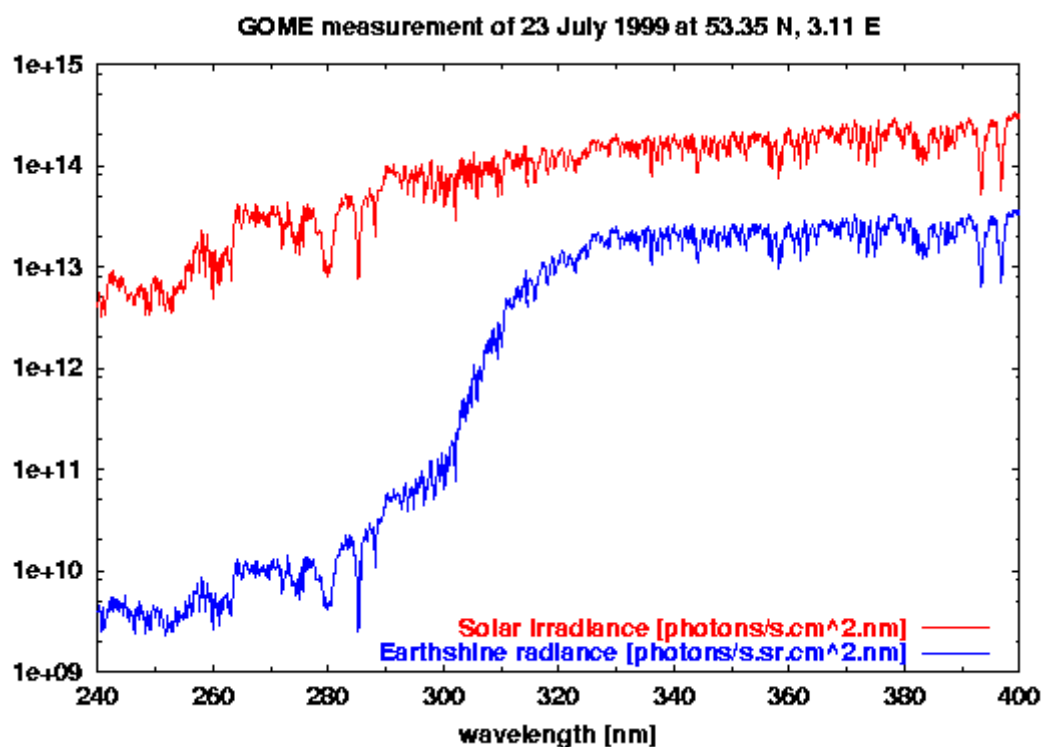
Η μονάδα επεξεργασίας ψηφιακής πληροφορίας καθώς και το συγκεντρωτικό ηλεκτρονικό σύστημα κατόπτρου ανίχνευσης διαθέτουν ανακλώσες επιφάνειες για το δικό τους θερμικό έλεγχο.

3.3.2.1.8. Δομή οπτικής έδρας

Όλα τα οπτικά στοιχεία, οι μηχανισμοί, ο ηλεκτρονικός και θερμικός εξοπλισμός, βρίσκονται τοποθετημένα πάνω στην οπτική έδρα, η οποία είναι σχεδόν ορθογωνικού σχήματος με σταθερά προσαρμοσμένα στηρίγματα στο κάτω μέρος. Η οπτική αυτή έδρα μεταφέρεται πάνω σε τέσσερα πόδια, ένα από τα οποία είναι στρογγυλό σε εγκάρσια τομή και μάλλον άκαμπτο. Τα άλλα τρία έχουν (αιχμηρό) σχήμα λεπίδας με την εύκαμπτη πλευρά προς την κατεύθυνση του σταθερού ποδιού. Αυτή η διάταξη αποτρέπει τη μηχανική παραμόρφωση της οπτικής ευθυγράμμισης λόγω της θερμικής διαστολής της οπτικής έδρας.

3.3.2.2. Εφαρμογή οργάνου GOME: Ανίχνευση επιπέδου όζοντος και άλλων αερίων

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιεί το όργανο GOME, μπορεί να εξαχθεί σημαντική πληροφορία σχετικά με το όζον και με άλλα ανιχνεύσιμα αέρια στοιχεία στην ατμόσφαιρα. Ένα παράδειγμα της υπεριώδους περιοχής στο μετρούμενο φάσμα, απεικονίζεται αμέσως παρακάτω.



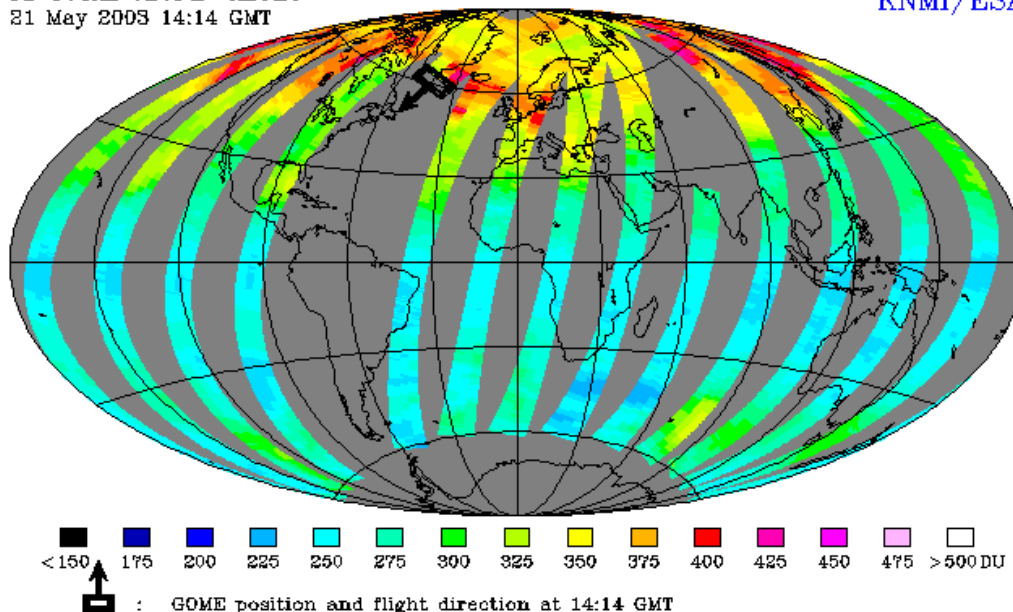
Σχήμα 3.21: Μετρήσεις GOME

Η πληροφορία που λαμβάνεται από το συγκεκριμένο όργανο, αρχικά, υφίσταται κάποιες διορθώσεις ώστε να αποφευχθούν σφάλματα που έχουν εισαχθεί από τα διάφορα όργανα μέτρησης και επιπλέον συμπληρώνεται με κάποια απαραίτητα στοιχεία, όπως γεωγραφικά, χαρακτηριστικά διαγραφόμενης τροχιάς, γωνία παρατήρησης του ήλιου, κ.λ.π. Από αυτό το ραδιομετρικά διορθωμένο γεωτοποθετημένο φάσμα, μπορεί να ανακτηθεί χρήσιμη πληροφορία αντίστοιχη προς την εκάστοτε εξεταζόμενη περιοχή μηκών κύματος του προκύπτοντος φάσματος.

Έτσι, τα φασματικά χαρακτηριστικά στην περιοχή των 330nm χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση της ονομαζόμενης “στήλης του όζοντος”, πρόκειται για την ολική συγκέντρωση όζοντος, μεταξύ της γήινης επιφάνειας και του ανώτερου στρώματος της ατμόσφαιρας, σε μια στήλη αέρα. Το παραπάνω σχέδιο απεικονίζει τις στήλες του όζοντος που αντιστοιχούν στην ημερομηνία και ώρα που έγινε η παρατήρηση μέσω του GOME και οι οποίες παρουσιάζονται στην πάνω αριστερή γωνία. Οι στήλες αυτές είναι διαθέσιμες σχεδόν σε πραγματικό χρόνο και συγκεκριμένα σε διάστημα τριών ωρών από την παρατήρηση του οργάνου.

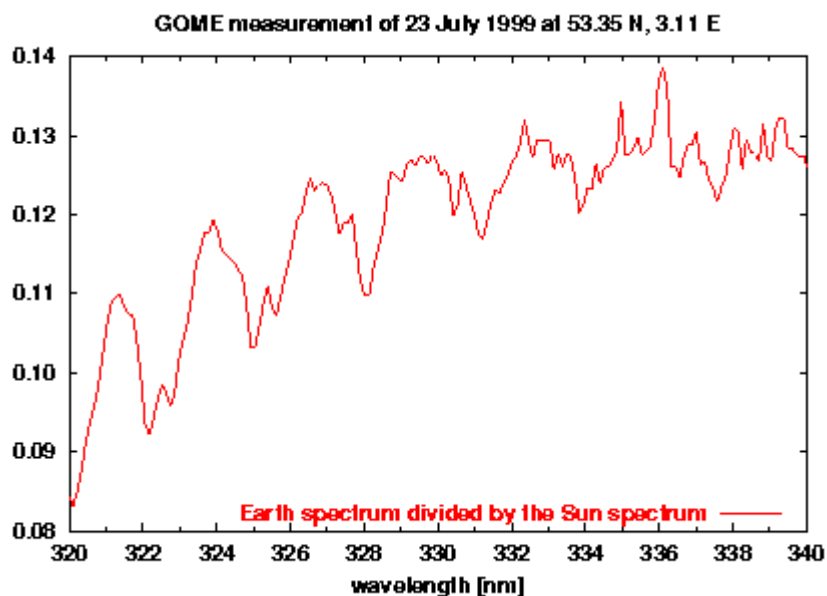
FD TOTAL OZONE VALUES
21 May 2003 14:14 GMT

KNMI/ESA



Σχήμα 3.22: Στήλες όζοντος

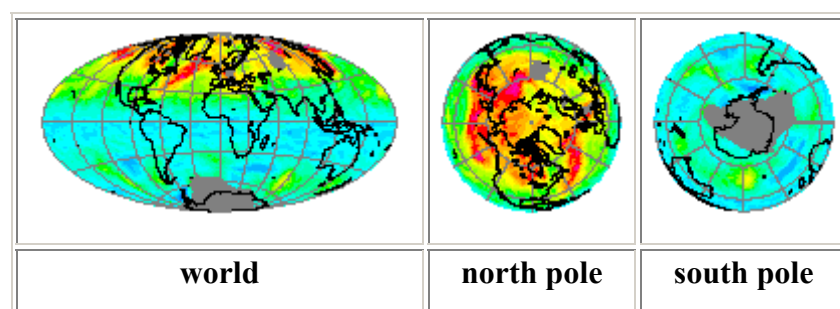
Η ανάκτηση της επιθυμητής πληροφορίας (στήλης όζοντος) από το μετρούμενο φάσμα γίνεται μέσω μιας μεθόδου που ονομάζεται Φασματοσκοπία Διαφορικής Οπτικής Απορρόφησης DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy), η οποία χρησιμοποιεί την αναλογία μεταξύ του ανακλώμενου φάσματος από τη γη και του ηλιακού φάσματος και η οποία αντιπροσωπεύει την ανακλαστική ικανότητα της γης. Στο επόμενο σχήμα έχει σχεδιαστεί η αναλογία αυτή για την περιοχή των 330nm.



Σχήμα 3.23: Μετρήσεις GOME

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά απορρόφησης, το βάθος και το πλάτος, όπως αυτά αναγνωρίζονται στη σχεδιασμένη ανακλαστική ικανότητα της γης αποτελούν ένα μέτρο της ποσότητας του όζοντος μέσα στην ατμόσφαιρα κατά μήκος του φωτεινού μονοπατιού. Αυτή η τιμή στη συνέχεια μετατρέπεται στο χάρτη ολικού όζοντος σε μία κατακόρυφη στήλη αέρα πάνω από το αντίστοιχο γήινο pixel που μετράται από το GOME. Το τελευταίο βήμα είναι μια αρκετά περίπλοκη διαδικασία η οποία αφορά στην απόκτηση πληροφορίας που σχετίζεται με όλες εκείνες τις παραμέτρους που επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά απορρόφησης, όπως είναι η ακριβής κατεύθυνση παρατήρησης του GOME, η θέση του ήλιου στον ουρανό, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας και πληροφορίες σχετικές με τα σύννεφα κατά την κατεύθυνση παρατήρησης του οργάνου.

Πληροφορία σχετικά με την κατακόρυφη κατανομή του όζοντος μπορεί να ανακτηθεί από πληροφορία στην περιοχή των 260 έως 350nm. Οι προκύπτουσες στήλες του όζοντος συνδυάζονται μέσω μιας τεχνικής που αποκαλείται αφομοίωση πληροφορίας, με την οποία μοντελοποιείται η κίνηση και μεταφορά του όζοντος στα διάφορα σημεία της ατμόσφαιρας καθώς και οι διάφορες χημικές αντιδράσεις που εμπλέκουν το όζον. Ο συνδυασμός παρατηρήσεων και αποτελεσμάτων του παραπάνω μοντέλου οδηγεί στους παγκόσμιους χάρτες κατανομής όζοντος.



Σχήμα 3.24: Παγκόσμιος χάρτης κατανομής επίπεδων όζοντος, από το αρχείο της 22 Μαΐου 2003

Το όζον απορροφά υπεριώδη ακτινοβολία και η ποσότητα των επικίνδυνων ακτίνων UV που φθάνουν στη γήινη επιφάνεια συνδέεται άμεσα με τη στήλη όζοντος που αναφέρθηκε προηγουμένως. Βάσει αυτών των χαρτών κατανομής του όζοντος μπορεί να υπολογιστεί η υπεριώδης ακτινοβολία που φθάνει στη γη, υπό συνθήκες καθαρού ουρανού.

Η παρακολούθηση και ανίχνευση της συγκέντρωσης και κατανομής του όζοντος σε παγκόσμιο επίπεδο, που επιτυγχάνεται μέσω του GOME, είναι ιδιαίτερα σημαντική για την παρακολούθηση της εξέλιξης του στρώματος του όζοντος, για τον υπολογισμό της ποσότητας των επικίνδυνων ακτίνων UV, για την παροχή δελτίων πρόβλεψης τόσο για το όζον όσο και για την υπεριώδη ακτινοβολία και για τη βελτίωση των μετεωρολογικών προβλέψεων. Επιπλέον, οι παραγόμενες πληροφορίες έχουν αποδειχθεί πολύ χρήσιμες σε κλιματολογικές έρευνες, καθώς οι μεταβολές στη συγκέντρωση και κατανομή του όζοντος, του διοξειδίου του αζώτου και άλλων αερίων αντανakλούν πιθανές συνέπειες στην ανθρώπινη δραστηριότητα στη γήινη επιφάνεια και ατμόσφαιρα.

Ο δορυφόρος ERS-2, στον οποίο αρχικά χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας GOME, διατηρεί μια ηλιακά συγχρονισμένη πολική τροχιά κλίσης 98° και ύψους 780km. Έτσι η περίοδος τροχιάς υπολογίζεται σε 100 περίπου λεπτά, η ταχύτητα του προβαλλόμενου σημείου από το δορυφόρο στο έδαφος στα 7km/sec, ενώ διαγράφονται 14 ολόκληρες περιστροφές κάθε ημέρα. Ο δορυφόρος διασχίζει τον ισημερινό σε τοπική ώρα 10,30h από τη φωτεινή πλευρά της γης και με προσανατολισμό από Βορρά προς Νότο.

Σε ό,τι αφορά τον αισθητήρα GOME, το συνολικό πλάτος του μονοπατιού που μπορεί να παρατηρηθεί είναι της τάξης των 960km, το οποίο διαιρείται σε τρία γήινα pixels, το ανατολικό, το δυτικό και το κεντρικό ως προς παρατηρητή που κοιτάει ακριβώς κάτω προς το ίχνος της τροχιάς του δορυφόρου. Τα προηγούμενα φαίνονται παραστατικά στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 3.25: Περιοχή σάρωσης του αισθητήρα GOME

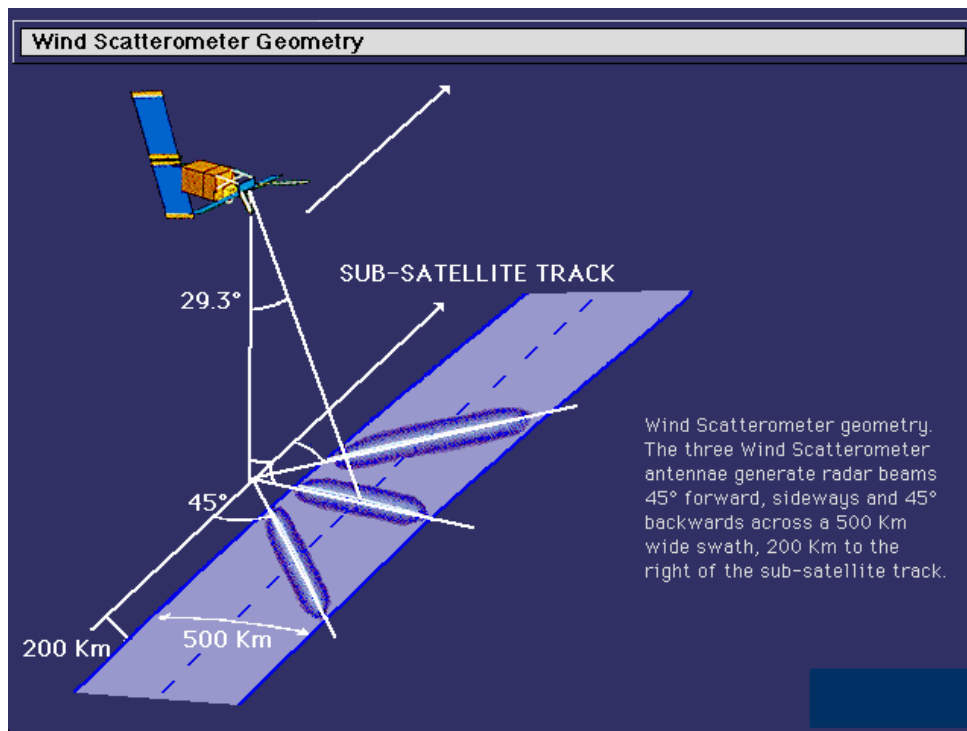
Ο ανιχνευτής μετράει 40km στη διεύθυνση της τροχιάς. Το πλάτος της ανιχνευόμενης περιοχής και τα χαρακτηριστικά της τροχιάς καθορίζουν την περίοδο γήινης κάλυψης του GOME στις τρεις ημέρες, έτσι παρέχεται η δυνατότητα να παρακολουθήσουμε την εξέλιξη διαφόρων φαινομένων μικρής διάρκειας που παίζουν σημαντικό ρόλο στη γήινη ατμόσφαιρα και τα οποία οδηγούν σε σημαντικά συμπεράσματα τις κλιματολογικές έρευνες.

3.3.3. *Wind Scatterometer*

Ο συγκεκριμένος αισθητήρας λειτουργεί καταγράφοντας τη μεταβολή του σήματος που φτάνει στο ραντάρ μετά την ανάκλασή του από τη θαλάσσια επιφάνεια και η οποία οφείλεται στη μικρή ή μεγαλύτερη αναταραχή της θάλασσας λόγω των ανέμων που πνέουν στη συγκεκριμένη περιοχή. Το οπισθοσκεδαζόμενο σήμα του ραντάρ το οποίο επιστρέφει στο δορυφόρο επηρεάζεται από τους κυματισμούς της θάλασσας και καθώς η ενέργεια των κυματισμών αυξάνεται με την ταχύτητα του ανέμου, το οπισθοσκεδαζόμενο σήμα της αυξάνεται με την ταχύτητα του ανέμου.

Ο αισθητήρας αυτός, εκπέμπει τρεις ακτίνες ραντάρ, οι οποίες παράγονται από ισάριθμες κεραίες και οι οποίες έχουν κατεύθυνση 45^0 μπροστά η πρώτη, στο πλάι

(90°) η δεύτερη και 45° πίσω η Τρίτη σε σχέση με την κατεύθυνση της τροχιάς του δορυφόρου. Αυτές οι τρεις ακτίνες, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, φωτίζουν συνεχώς μια περιοχή πλάτους 500km, καθώς ο δορυφόρος μετακινείται κατά μήκος της τροχιάς του.



Σχήμα 3.26: Ανιχνευτική γεωμετρία του Wind Scatterometer

Κατά συνέπεια τρεις μετρήσεις οπισθοσκεδασόμενων σημάτων λαμβάνονται από κάθε σημείο του παραπάνω πλέγματος από διαφορετικές γωνίες παρατήρησης και διακρίνονται από μια σύντομη χρονική καθυστέρηση. Αυτές οι τριάδες μετρήσεων τροφοδοτούν ένα μαθηματικό μοντέλο το οποίο υπολογίζει την ταχύτητα και την κατεύθυνση των ανέμων που δρουν στη συγκεκριμένη θαλάσσια περιοχή.

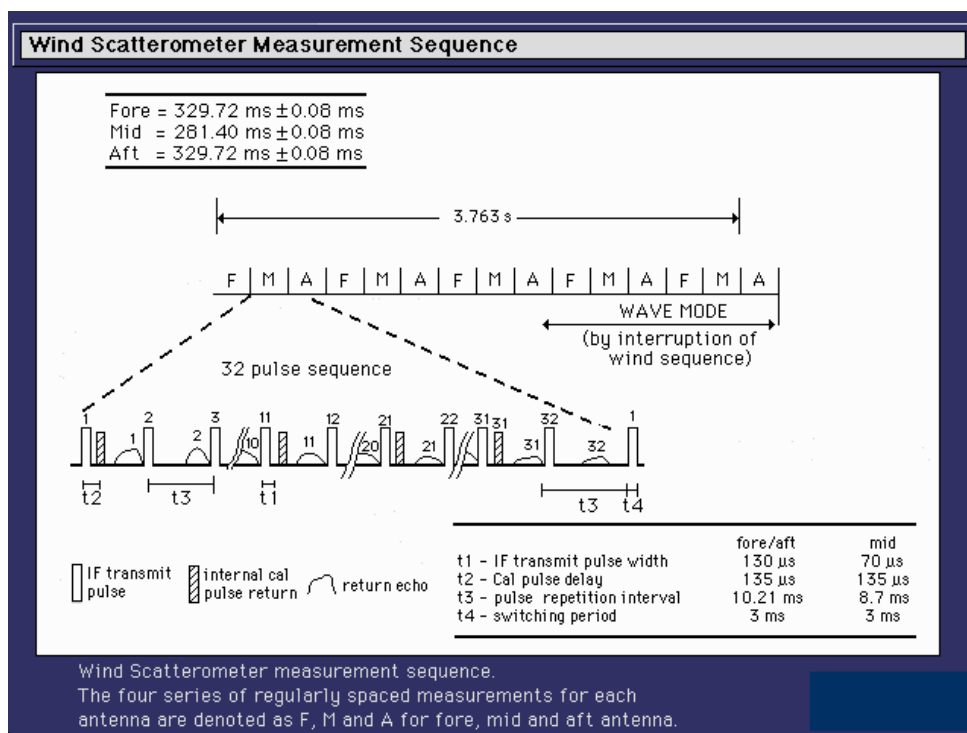
Τα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά του Wind Scatterometer ταξινομούνται στον ακόλουθο πίνακα.

Χωρική ανάλυση	≥ 45 km (διάμηκες και εγκάρσιο ίχνος)
Ραδιομετρική ανάλυση (4 m/sec)	$\leq 8.5\%$ (μεσαία ακτίνα) $\leq 9.7\%$ (ακτίνες μπροστά και πίσω)
Ραδιομετρική ανάλυση (24 m/sec)	$\leq 6.5\%$ (μεσαία ακτίνα)

	$\leq 7.0\%$ (ακτίνες μπροστά και πίσω)
Ραδιομετρική σταθερότητα	CMIS: ≤ 0.57 dB IIS: ≤ 0.46 dB
Εγκάρσια πόλωση	≥ 15 dB
Πλάτος φωτιζόμενης περιοχής	≥ 500 km
Απόκλιση από το ίχνος της τροχιάς	200 km στα δεξιά του ίχνους του δορυφόρου
Ακρίβεια	± 5 km (along and across track)
Εύρος κατεύθυνσης ανέμου/ακρίβεια	0 - 360deg. / ± 20 deg.
Εύρος ταχύτητας ανέμου/ακρίβεια	4 m/s - 24 m/s / 2 m/s ή 10 %

Ένας εκπεμπόμενος παλμός παράγεται από το ηλεκτρονικό σύστημα του αισθητήρα και ενισχύεται από τη μονάδα ενδιάμεσης συχνότητας του ραντάρ, στη συνέχεια μετατρέπεται σε RF σήμα στη μονάδα εκπομπής/μετατροπής και ενισχύεται μέσω ενός ενισχυτή ισχύος. Το σήμα εκπομπής οδηγείται στην κατάλληλη κεραία μέσω του συγκεντρωτικού κυκλοφορητή, ο οποίος στη συγκεκριμένη φάση βρίσκεται υπό τον έλεγχο του ηλεκτρονικού συστήματος του αισθητήρα.

Το λαμβανόμενο σήμα υφίσταται μια κάτω μετατροπή συχνότητας, ενισχύεται από τη μονάδα IF του ραντάρ και οδηγείται στο ηλεκτρονικό σύστημα του Scatterometer. Μια ακολουθία μετρήσεων των 3,763 δευτερολέπτων, καλύπτει μια περιοχή της τάξης των 25km κατά μήκος του ίχνους του δορυφόρου με ύψος πτήσης του δορυφόρου στα 785km και επαναλαμβάνεται στη φάση αυτή, χωρίς καμία διακοπή. Αυτή η ακολουθία μετρήσεων περιλαμβάνει τέσσερις ομάδες μετρήσεων, σε τακτικά διαστήματα, για κάθε μία από τις τρεις διαφορετικά προσανατολισμένες ακτίνες του ραντάρ. Σε κάθε ακολουθία αντιστοιχούν 32 παλμοί μετρήσεων για κάθε ακτίνα. Οι μετρήσεις θορύβου και η εσωτερική ρύθμιση εκτελούνται τακτικά στο διάστημα μεταξύ του εκπεμπόμενου παλμού και της λήψης του επιστρεφόμενου ανακλώμενου σήματος (ηχώ).



Σχήμα 3.27: Ακολουθία μετρήσεων του Wind Scatterometer

Για τη μεσαία ακτίνα, το επιστρεφόμενο ανακλώμενο σήμα φιλτράρεται και δειγματοληπτείται στην περιοχή I και Q, ενώ για την μπροστά και πίσω ακτίνα δεδομένου ότι η ολίσθηση Doppler είναι σημαντική πάνω από την περιοχή κάλυψης (20 KHz κοντά στην περιοχή κάλυψης έως 140 KHz μακρύτερα από αυτήν), εφαρμόζεται στο λαμβανόμενο σήμα ένας προγραμματιζόμενος νόμος αντιστάθμισης του φαινομένου Doppler πριν από το φιλτράρισμα και τη σύνθετη δειγματοληψία.

Ήδη από το 1991, οπότε και εκτοξεύτηκε ο δορυφόρος ERS-1, πολλοί διεθνείς μετεωρολογικοί και ωκεανογραφικοί οργανισμοί λαμβάνουν πληροφορίες σχετικές με τους ανέμους από τον αισθητήρα Scatterometer, αλλά και μετρήσεις σχετικές με τα ύψη των κυμάτων από το υψομετρικό ραντάρ του δορυφόρου με σκοπό να βελτιώσουν τις τοπικές αλλά και παγκόσμιες μετεωρολογικές και ωκεανογραφικές προβλέψεις.

3.3.4. Εξελεγμένο ραδιόμετρο πολύ υψηλής ανάλυσης AVHRR

Ο αισθητήρας AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) συλλέγει πληροφορία σε παγκόσμιο επίπεδο και σε καθημερινή βάση για μια ευρεία ποικιλία

περιβαλλοντικών, ωκεανογραφικών και ατμοσφαιρικών εφαρμογών. Κάποιες από τις πιο σημαντικές και εξειδικευμένες εφαρμογές του είναι η ανίχνευση πυρκαγιών, η ανάλυση και πρόβλεψη καιρικών φαινομένων, η κλιματολογική έρευνα, η μελέτη και ανάλυση της βλάστησης, οι μετρήσεις της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας, καθώς και η μελέτη των ωκεανών.

Το εξελιγμένο ραδιόμετρο πολύ υψηλής ανάλυσης, είναι ένας ανιχνευτής ευρείας ζώνης, με 4 ή 5 κανάλια ανάλογα με το συγκεκριμένο μοντέλο, ο οποίος μπορεί να ανιχνεύει την εκπεμπόμενη ακτινοβολία στην ορατή, την εγγύς υπέρυθρη και τη θερμική υπέρυθρη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Αποτελεί μέρος του ωφέλιμου φορτίου στους περιβαλλοντικούς δορυφόρους NOAA, ενώ ο πρώτος δορυφόρος NOAA στον οποίο χρησιμοποιήθηκε το όργανο αυτό, ήταν ο TIROS-N, ο οποίος απογειώθηκε το 1978.



Σχήμα 3.28: Δορυφόρος TIROS-N

Οι δορυφόροι που χρησιμοποιούν το όργανο ανίχνευσης AVHRR, έχουν μια κυκλική, πολική, ηλιακά συγχρονισμένη τροχιά σε ύψος περίπου 840km και με κλίση από $98,7^\circ$ έως $98,9^\circ$. Οι δορυφόροι NOAA που χρησιμοποιούν τον αισθητήρα αυτό, εκτελούν πτήσεις τουλάχιστον ανά ζεύγη σε συμπληρωματικές τροχιές, με τον ένα να διασχίζει τον ισημερινό σε τοπική ώρα 07:30 και 19:30 και το δεύτερο σε αντίστοιχες ώρες 02:30 και 14:30, έτσι ώστε να παρέχονται πλήρεις, συνεχείς και συμπληρωματικές πληροφορίες. Με την πτήση δύο δορυφόρων ταυτόχρονα κάθε χρονική στιγμή, με καθέναν να εκτελεί ημερήσια μια πλήρη περιστροφή με δύο περάσματα από τον ισημερινό, η κάλυψη είναι δυνατή για κάθε σημείο του ισημερινού, ενώ τα περάσματα των δορυφόρων διπλασιάζονται για σημεία σε χαμηλότερα ύψη.

Ο αισθητήρας AVHRR είναι ένα παθητικό πολυφασματικό ραδιόμετρο, καθώς αποτελείται από μια σειρά μικρών ανιχνευτών οι οποίοι συλλέγουν-μετρούν την ποσότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανακλάται ή εκπέμπεται από τη γήινη επιφάνεια σε διαφορετικές φασματικές ζώνες. Πρόκειται, δηλαδή, για μια συσκευή απεικόνισης η οποία διαθέτει 4 ή 5 κανάλια ανάλογα με το αντίστοιχο μοντέλο, από τα οποία ένα κανάλι ανήκει στην ορατή περιοχή (0,55-0,69 μm), ένα δεύτερο κανάλι στην εγγύς υπέρυθρη περιοχή (0,72-1,0 μm), ένα τρίτο στην μέση υπέρυθρη περιοχή (3,55-3,93 μm) και ένα τέταρτο στη μακρά υπέρυθρη περιοχή (10,5-11,5), αν πρόκειται για το μοντέλο AVHRR1. Αν πρόκειται για το μοντέλο AVHRR2 αυτό είναι πανομοιότυπο με το προηγούμενο, με μόνη διαφορά ένα επιπλέον κανάλι (πέμπτο) στη μακρά υπέρυθρη περιοχή και συγκεκριμένα στη ζώνη 11,5-12,5 μm . Το πέμπτο αυτό κανάλι προσφέρει βελτιωμένες διορθώσεις αναφορικά με την επίδραση των ατμοσφαιρικών παρεμβολών στη θαλάσσια και γήινη θερμοκρασία.

Σχετικά με την επιρροή της ατμόσφαιρας στα φασματικά δεδομένα, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η ατμόσφαιρα επηρεάζει τη φασματική κατανομή που παρατηρεί ο αισθητήρας, εμποδίζοντας ή εισάγοντας διαφορετικές ζώνες στο λαμβανόμενο φάσμα, με αποτέλεσμα να παράγονται ανακρίβειες στη διαδικασία ταξινόμησης των ζωνών της εικόνας. Συνηθέστερα, παρατηρείται κάποια θαμπάδα και μείωση της αντίθεσης στη λαμβανόμενη εικόνα, ενώ στις χειρότερες περιπτώσεις βαριά σύννεφα μπορούν να εμποδίσουν ολοκληρωτικά την παρατήρηση μιας περιοχής από το τηλεπισκοπικό σύστημα.

Επιστρέφοντας στο πολυφασματικό ραδιόμετρο AVHRR, όλα τα κανάλια βρίσκονται σε περιοχές του φάσματος στις οποίες η ατμόσφαιρα είναι σχετικά διαφανής, με αποτέλεσμα τα περισσότερα από τα σήματα που λαμβάνονται από τον αισθητήρα (πίνακας 1) να προέρχονται είτε από τον ωκεανό είτε από το έδαφος, ανάλογα με το αντίστοιχο ίχνος του δορυφόρου, είτε από την κορυφή των σύννεφων.

Η φασματική κατανομή στα κανάλια του αισθητήρα, φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Φασματικό κανάλι	Εύρος μηκών κύματος(μm)	Μετρούμενο σήμα	Πρωταρχική χρήση
1	0,55-0,69	Ακτινοβολούμενη ηλιακή ενέργεια	Κατανομή σύννεφων κατά τη διάρκεια της ημέρας/χαρτογράφηση επιφάνειας
2	0,72-1,0	Ακτινοβολούμενη ηλιακή ενέργεια	Έκταση πάγου, περιγραφή θαλάσσιας επιφάνειας
3	3,55-3,93	Ακτινοβολούμενη ηλιακή ενέργεια + θερμική εκπομπή	Ανίχνευση υψηλών θερμοκρασιών/διάκριση χιονιού –πάγου
4	10,5-11,5	Θερμική εκπομπή	Θερμοκρασία θαλάσσιας και γήινης επιφάνειας/κατανομή σύννεφων και τη νύχτα
5	11,5-12,5	Θερμική εκπομπή	Θερμοκρασία επιφανειών/ κατανομή συννέφων/διορθώσεις ατμοσφαιρικών παρεμβολών

Τα κανάλια 1 και 2 σχεδιάζονται και ρυθμίζονται πριν από την απογείωση του αεροσκάφους, ώστε να παρέχουν απευθείας γραμμική μετατροπή της μετρούμενης ανακλαστικότητας σε 10-bit ψηφιακούς αριθμούς. Επιπρόσθετα τα θερμικά κανάλια ρυθμίζονται τόσο κατά τη διάρκεια της απογείωσης όσο και κατά η διάρκεια της πτήσης ώστε να παρέχουν απευθείας γραμμική μετατροπή των ψηφιακών αριθμών σε θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου, ενώ ψύχονται σε θερμοκρασία 105K μέσω ενός παθητικού ψήκτη δύο βαθμίδων για αύξηση της ευαισθησίας τους. Καθώς τα κανάλια στη θερμική υπέρυθη περιοχή χρησιμοποιούνται κυρίως για την ανίχνευση θερμοκρασιών στη γήινη ή θαλάσσια επιφάνεια, τα εύρη θερμοκρασιών που μπορούν

να μετρηθούν σε κάθε κανάλι, είναι -25° έως $+49^{\circ}$ για το κανάλι 3, -100° έως $+57^{\circ}$ για το κανάλι 4 και -105° έως $+50^{\circ}$ για το πέμπτο κανάλι.

Το πεδίο παρατήρησης για κάθε κανάλι καθορίζεται σε $1,3\text{mrad}$ ($\pm 0,1$), το οποίο οδηγεί σε χωρική ανάλυση της τάξης των $1,1\text{km}$ στο έδαφος και σε σημεία που ακολουθούν το ίχνος του αεροσκάφους. Οι ανιχνευτές των καναλιών είναι περιστρεφόμενα επίπεδα κάτοπτρα με ρυθμό ανίχνευσης 360 δείγματα το λεπτό. Η αναλογική πληροφορία που συλλέγεται από τους ανιχνευτές αυτούς, ψηφιοποιείται πάνω στο αεροσκάφος με ρυθμό 39.936 δείγματα ανά δευτερόλεπτο και ανά κανάλι. Κάθε βήμα δειγματοληψίας αντιστοιχεί σε γωνία περιστροφής του ανιχνευτή της τάξης των $0,95\text{mrad}$. Με το συγκεκριμένο ρυθμό ανίχνευσης, λαμβάνονται 1,362 δείγματα ανά πεδίο παρατήρησης. Τελικά, για κάθε κανάλι και για κάθε φορά ανίχνευσης ολόκληρης της γης, λαμβάνονται 2.048 δείγματα, τα οποία αντιστοιχούν σε συνολική γωνία παρατήρησης $55,4^{\circ}$ από τον ανιχνευτή και πλάτος ανιχνευόμενου μονοπατιού 2.399km .

Το όργανο AVHRR αποτελείται από πέντε βασικά τμήματα : το τμήμα ανίχνευσης, το ηλεκτρονικό σύστημα, το τμήμα ψύξης μέσω ακτινοβολήσης, το οπτικό τμήμα και τη βάση στήριξης και τοποθέτησης όλων των προηγούμενων τμημάτων.

Το τμήμα ανίχνευσης περιλαμβάνει ένα επίπεδο κάτοπτρο από βηρύλλιο, ως συλλέκτη και έναν κινητήρα για την περιστροφή του κατόπτρου. Ο κινητήρας, λειτουργεί συνήθως στα 4,5 watt και περιστρέφει το κάτοπτρο με ρυθμό 360 στροφών ανά λεπτό.

Το τμήμα ψύξης χρησιμοποιείται για την ψύξη των ανιχνευτών στη θερμική υπέρυθη περιοχή, με δύο στάδια ακτινοβολήσης, για την αύξηση της ευαισθησίας τους.

Το οπτικό σύστημα του οργάνου αποτελείται από ένα τηλεσκόπιο διαχωρισμού των ακτίνων-ανιχνευτή, ανοίγματος $20,3\text{cm}$, το οποίο συμπληρώνεται από μια δευτερεύουσα οπτική αλληλουχία (διαχωριστές ακτίνων, πολυεπίπεδα φίλτρα παρεμβολής) για το διαχωρισμό της ακτίνας εξόδου του τηλεσκοπίου, στις 4 ή 5 διακεκριμένες φασματικές ζώνες.

Η βάση στήριξης, είναι μια κοινή δομή για την ασφάλεια όλων των τμημάτων του οργάνου. Σε αυτήν, υπάρχουν κατάλληλα στηρίγματα και ενώσεις για την επίτευξη ευθυγράμμισης μεταξύ του ανιχνευτή και του οπτικού τμήματος καθώς επίσης μεταξύ του οπτικού συστήματος και του τμήματος ψύξης. Το ολικό βάρος του οργάνου ανέρχεται στα 33kg περίπου.

Η πληροφορία που παρέχεται από το παθητικό ραδιόμετρο AVHRR μπορεί να αποκτηθεί σε τρεις διαφορετικές μορφές:

- ο Υψηλής ανάλυσης εικόνα προς εκπομπή HRPT (High Resolution Picture Transmission)
- ο Τοπική κάλυψη LAC (Local Area Coverage)
- ο Παγκόσμια κάλυψη GAC (Global Area Coverage)

Η πληροφορία που αποκτάται στη μορφή HRPT είναι πληροφορία εικόνας πολύ υψηλής ανάλυσης, η οποία εκπέμπεται σε έναν επίγειο σταθμό τη στιγμή που συλλέγεται. Η ανάλυση του εδάφους σε μια εικόνα HRPT είναι περίπου 1,1km, ακριβώς κάτω από την τροχιά του αεροσκάφους ύψους 833km.

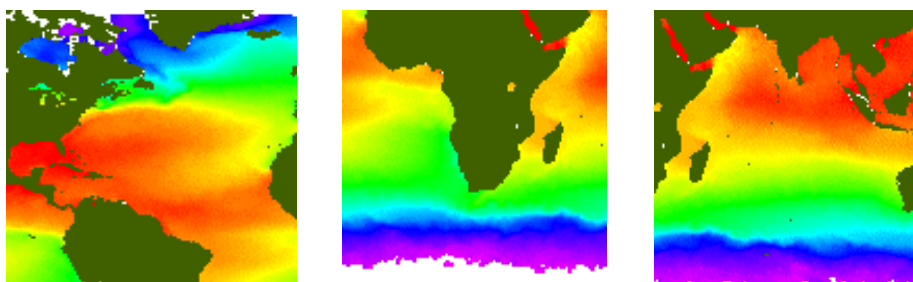
Η πληροφορία στη μορφή LAC είναι επίσης υψηλής ανάλυσης, αλλά στην περίπτωση αυτή, η πληροφορία συλλέγεται, καταγράφεται σε μια ταινία πάνω στο αεροσκάφος και εκπέμπεται αργότερα όταν αυτό περάσει πάνω από έναν επίγειο σταθμό. Η ανάλυση και εδώ είναι 1,1km, που σημαίνει ότι κάθε pixel στην παραγόμενη εικόνα αναπαριστά μια περιοχή στο έδαφος επιφάνειας 1kmx1km.

Η πληροφορία GAC προέρχεται από μια δειγματοληψία στην οποία έχει συνυπολογιστεί ολόκληρη η πληροφορία που λαμβάνεται από τον αισθητήρα AVHRR. Εδώ η ανάλυση είναι χαμηλότερη της τάξης των 4km.

Ο σκοπός του συγκεκριμένου αισθητήρα είναι να παρέχει μέσω μετρήσεων της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από τον ίδιο το στόχο, πληροφορίες για την ανίχνευση των σύννεφων, των ορίων ύδατος και γης, της έκτασης των χιονισμένων περιοχών, της έναρξης τήξης των πάγων και μετακίνησης παγόβουνων, την ημερήσια αλλά και βραδινή κατανομή των σύννεφων, τις θερμοκρασίες των ακτινοβολούντων σωμάτων

και επιφανειών καθώς και τη θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας, οι οποίες σχετίζονται άμεσα με παγκόσμια κλιματολογικά φαινόμενα. Επιπλέον η συλλεγόμενη πληροφορία από τον αισθητήρα AVHRR μπορεί να χρησιμεύσει για τη μελέτη και παρακολούθηση των συνθηκών βλάστησης σε οικοσυστήματα, συμπεριλαμβανομένων των δασών, των εύφορων πεδιάδων, αλλά και επίπεδων άδενδρων αρκτικών περιοχών στη Ευρώπη, την Ασία και τη Β.Αμερική (τούνδρα), καθώς και για άλλες εφαρμογές που αφορούν στην εκτίμηση γεωργικών καλλιεργειών, στη χαρτογράφηση ευρέων και πολλές φορές απροσπέλαστων περιοχών και στην εκτίμηση των καλυμμένων από πάγο περιοχών.

Ως δείγμα της απεικονιστικής ικανότητας του συγκεκριμένου αισθητήρα, κατόπιν επεξεργασίας της λαμβανόμενης πληροφορίας μέσω τηλεπισκόπησης, παραθέτουμε τις επόμενες εικόνες, στις οποίες αναπαρίσταται η κατανομή θερμοκρασιών στον Ατλαντικό Ωκεανό, σε περιοχή γύρω από την Αφρική και στον Ινδικό Ωκεανό, αντίστοιχα. Οι λευκές περιοχές, στο κάτω μέρος των εικόνων, αποτελούν τμήματα της Ανταρκτικής.



Σχήμα 3.29: Κατανομή θερμοκρασιών από τον AVHRR

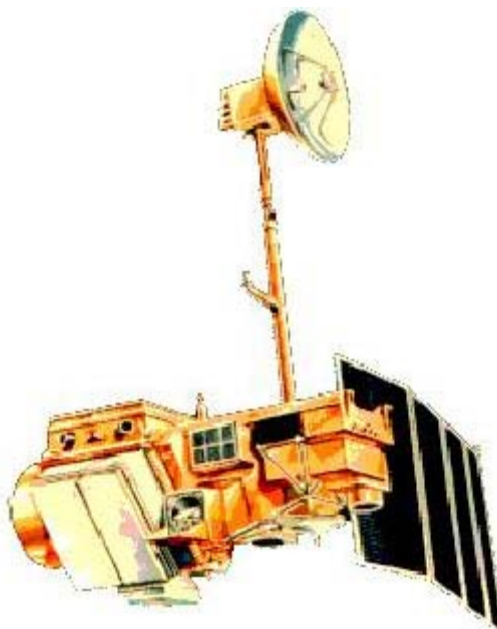
Η αμέσως επόμενη εικόνα, αποτελεί ένα ακόμη δείγμα της απεικονιστικής ικανότητας του πολυφασματικού ραδιομέτρου AVHRR. Η συγκεκριμένη εικόνα χρησιμοποιείται για μια διαφορετική εφαρμογή και συγκεκριμένα, για την αναπαράσταση μιας περιοχής καλυμμένης από χιόνι στη Β.Ιταλία.



Σχήμα 3.30: Δείγμα απεικονιστικής ικανότητας του αισθητήρα AVHRR

3.3.5. Θεματικός χαρτογράφος TM (*Thematic Mapper*)

Ο θεματικός χαρτογράφος TM είναι ένας πολυφασματικός απεικονιστικός αισθητήρας, ο οποίος προστέθηκε στο ωφέλιμο φορτίο των περιβαλλοντικών δορυφόρων Landsat 4 (1982), 5 (1984) και 6 (ο συγκεκριμένος δορυφόρος δεν κατάφερε να τεθεί σε τροχιά, έτσι δεν επέστρεψε ποτέ πληροφορία). Ο πρώτος δορυφόρος στον οποίο χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας αυτός, ήταν ο Landsat 4, ο οποίος απεικονίζεται αμέσως παρακάτω.



Σχήμα 3.31: Δορυφόρος Landsat 4

Οι δορυφόροι Landsat δεύτερης γενιάς (Landsat 4 και 5) έχουν κυκλικές, πολικές, ηλιακά συγχρονισμένες τροχιές σε ύψος 705km, σε αντίθεση με τους δορυφόρους της προηγούμενης γενιάς (Landsat 1, 2 και 3), οι οποίοι βρίσκονταν σε

ύψος 900km. Αυτή η αλλαγή σχεδιάστηκε προκειμένου να βελτιωθεί η ανάλυση των χρησιμοποιούμενων αισθητήρων. Εξαιτίας της μείωσης του ύψους της τροχιάς, ο δορυφόρος συμπληρώνει μια πλήρη περιστροφή σε 99 λεπτά, έναντι των 103 λεπτών που απαιτούνταν πιο πριν και εκτελεί 14,5 περιστροφές γύρω από τη γη, την ημέρα. Το επίπεδο τροχιάς του δορυφόρου σχηματίζει γωνία κλίσης $98,2^\circ$ ως προς το επίπεδο του ισημερινού. Οι δορυφόροι Landsat μπορούν να συλλέγουν πληροφορία από οποιοδήποτε σημείο κατά μήκος της τροχιάς τους, παράγοντας πολύ μεγάλη επιφάνεια κάλυψης. Στη συνέχεια, η συλλεγόμενη πληροφορία μεταδίδεται σε εγχώριους ή ξένους επίγειους σταθμούς, όπου καταγράφεται σε δίσκους, σε σειριακές ταινίες ή σε άλλους οπτικούς οδηγούς.

Ο θεματικός χαρτογράφος TM είναι ένα ανιχνευτικό ραδιόμετρο με επτά φασματικά κανάλια. Τα εύρη των καναλιών αυτών έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η ικανότητα του αισθητήρα να διακρίνει τα ποικίλα χαρακτηριστικά των διαφόρων στοιχείων στη γήινη επιφάνεια και ιδιαίτερα τους διαφορετικούς τύπους βλάστησης. Η κατανομή των επτά αυτών καναλιών στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, φαίνεται παραστατικά στον πίνακα που ακολουθεί. Η υψηλή ανάλυση των 30m για τα 6 από τα 7 κανάλια επιτυγχάνεται με γωνία παρατήρησης (IFOV) 0,043mrad, ενώ για το θερμικό κανάλι (6) η αντίστοιχη γωνία παρατήρησης είναι 0,172mrad, που αποδίδει χαμηλότερη ανάλυση της τάξης των 120m.

Καθεμιά από τις παρακάτω φασματικές ζώνες χρησιμοποιείται, για μια διαφορετική εφαρμογή, από αναγνώριση γεωλογικής πληροφορίας έως σκιαγράφηση υγρών σωμάτων, είναι όμως όλες χρήσιμες για ανίχνευση φυτικών χαρακτηριστικών (βλάστησης). Συγκεκριμένα το κανάλι 1, έχει σχεδιαστεί για διείδυση μέσα από υγρές επιφάνειες και έτσι καθίσταται χρήσιμο για χαρτογράφηση θαλάσσιων περιοχών. Επίσης παρουσιάζεται χρήσιμο για διάκριση διαφόρων τύπων βλάστησης και γεωργικών καλλιεργειών καθώς και χαρτογράφηση δασικών περιοχών. Το κανάλι 2 έχει σχεδιαστεί για τη μέτρηση της ανακλώμενης ενέργειας στην πράσινη περιοχή του φάσματος, από τη χλωρίδα της αντίστοιχης περιοχής, για διάκριση των διαφόρων τύπων βλάστησης, αλλά και εκτίμηση της ποιότητας αυτής. Το κανάλι 3 είναι σχεδιασμένο για την μέτρηση της ακτινοβολίας στην περιοχή απορρόφησης της χλωροφύλλης, επίσης για διάκριση της ποικιλίας των φυτών και των γεωργικών καλλιεργειών. Το κανάλι 4 είναι επίσης χρήσιμο για τη διάκριση της βλάστησης, για

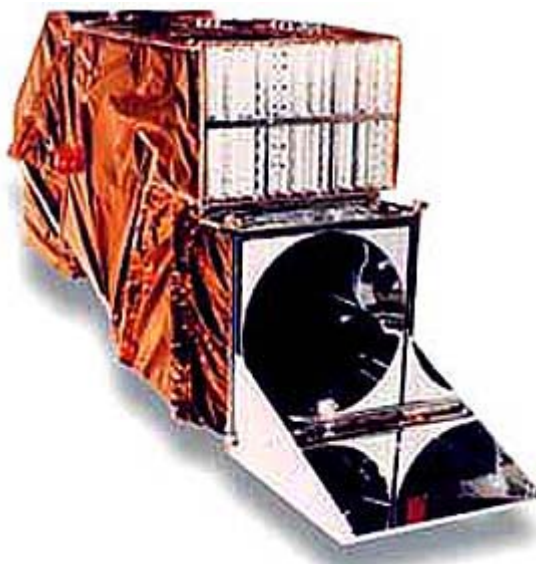
τη σκιαγράφηση των υγρών επιφανειών και για τη διάκριση της υγρασίας του εδάφους. Το κανάλι 5 είναι ενδεικτικό της περιεκτικότητας των φυτών και του εδάφους σε υγρασία καθώς και απαραίτητο για τη διάκριση των χιονιών από τα σύννεφα. Το κανάλι 6 είναι χρήσιμο για την ανάλυση της πυκνότητας της βλάστησης, τη μέτρηση της κατανομής υγρασίας στο έδαφος και για εφαρμογές χαρτογράφησης θερμοκρασιακών κατανομών. Τέλος, το κανάλι 7 αποδεικνύεται χρήσιμο για τη διάκριση μεταξύ των ορυκτών στοιχείων και των πετρωμάτων και μπορεί επίσης να ανιχνεύσει το περιεχόμενο υγρασίας στους φυτικούς οργανισμούς.

Κανάλι	Εύρος μηκών κύματος (μm)	Φασματική απόκριση	Ανάλυση(m)
1	0.45 - 0.52	Μπλε-πράσινο	30
2	0.52 - 0.60	Πράσινο	30
3	0.63 - 0.69	Κόκκινο	30
4	0.76 - 0.90	Εγγύς υπέρυθρο	30
5	1.55 - 1.75	Μέσο υπέρυθρο	30
6	10.40 - 12.50	Θερμικό υπέρυθρο	120
7	2.08 - 2.35	Μέσο υπέρυθρο	30

Όπως ήδη αναφέρθηκε το εύρος μηκών κύματος κάθε ζώνης έχει επιλεγεί έτσι, ώστε να μεγιστοποιείται η ικανότητα του αισθητήρα να ξεχωρίζει τους διαφορετικούς τύπους των ειδών βλάστησης, καθώς και το ύψος της χλωρίδας της κάθε περιοχής και την ποιότητά της. Ως παράδειγμα αναφέρουμε τη χλωροφύλλη, η οποία αποτελεί την πρωταρχική χρωστική ουσία στους φυτικούς οργανισμούς. Σε μήκη κύματος στην περιοχή των 0,45 και 0,67 μm (μπλε και κόκκινη), η χλωροφύλλη απορροφά σχεδόν όλη την ενέργεια που προσπίπτει σε αυτήν, με αποτέλεσμα η ανακλώμενη ενέργεια που ανιχνεύεται από τον αισθητήρα, στα συγκεκριμένα μήκη κύματος, να αποτελεί μόνο το 5% της ολικής προσπίπτουσας ενέργειας. Στην πράσινη περιοχή του φάσματος όμως, τα τμήματα των φυτών με τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε

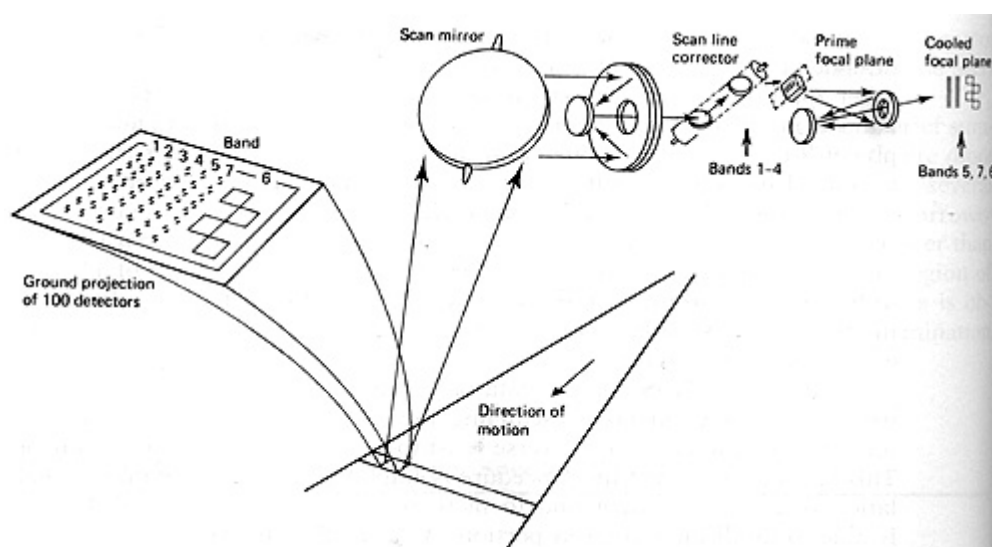
χλωροφύλλη, όπως τα φύλλα, ανακλούν μεγαλύτερο ποσοστό της προσπίπτουσας ενέργειας και συγκεκριμένα το 15% αυτής. Για το λόγο αυτό, το κανάλι 2 του TM λαμβάνει περισσότερη ενέργεια από τους φυτικούς οργανισμούς, από αυτή των καναλιών 1 και 3. Στην εγγύς υπέρυθρη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (0,7-1,3 μm), οι υγιείς φυτικοί οργανισμοί έχουν ακόμη μεγαλύτερη ανακλαστική ιδιότητα. Σε αυτή τη ζώνη τα υγιή φυλλώματα ανακλούν ενέργεια σε ποσοστό 45 έως και 50%, η οποία οφείλεται περισσότερο στην εσωτερική δομή των φυτών και λιγότερο στην περιεκτικότητά τους σε χλωροφύλλη. Η εσωτερική αυτή δομή των φυτών διαφέρει σημαντικά ανάμεσα στα ποικίλα είδη και έτσι η μέτρηση της ανακλαστικότητας, στη συγκεκριμένη ζώνη, συχνά επιτρέπει την αναγνώριση και διάκριση μεταξύ των διαφορετικών ειδών, ακόμα και εκείνων που στην ορατή περιοχή είναι αδιάκριτα.

Παρακάτω απεικονίζεται ο αισθητήρας TM στο έδαφος πριν την τοποθέτησή του στο αεροσκάφος. Συνολικά το όργανο TM ζυγίζει 258kg. Εξωτερικά περιβάλλεται από χρυσό περίβλημα για την προστασία των εσωτερικών διατάξεών του.



Σχήμα 3.32: Αισθητήρας TM

Στο σχέδιο που ακολουθεί φαίνονται κάποια από τα στοιχεία του αισθητήρα τα οποία σχετίζονται με την ανιχνευτική και οπτική ακολουθία.



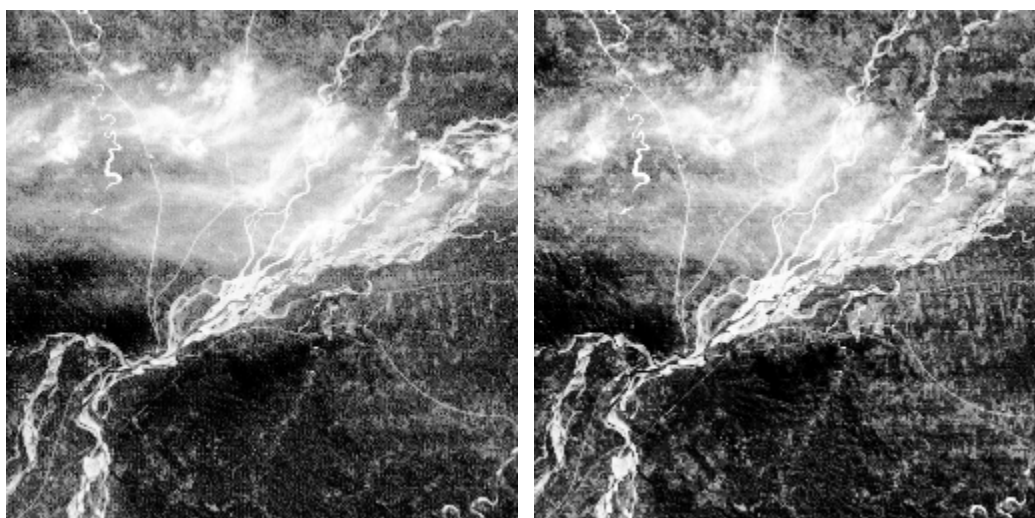
Σχήμα 3.33: Βασικά μέρη οπτικής/ανιχνευτικής λειτουργίας TM

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα που παρέχει ο αισθητήρας TM είναι η ικανότητά του να συλλέγει πληροφορία και κατά τις δύο κατευθύνσεις του μονοπατιού που σαρώνει ο ανιχνευτής κατά μήκος της τροχιάς του αεροσκάφους. Έτσι, καθώς ο αισθητήρας συλλέγει πληροφορία για το ίδιο μονοπάτι, τόσο από ανατολικά προς δυτικά όσο και από δυτικά προς ανατολικά, αυξάνεται ο χρόνος κατά τον οποίο κάθε τμήμα της διαδρομής βρίσκεται κάτω από τους ανιχνευτές του οργάνου. Το ραδιόμετρο TM χρησιμοποιεί 16 αισθητήρες για κάθε κανάλι, εκτός από το θερμικό κανάλι για το οποίο χρησιμοποιεί μόνο 4 ανιχνευτές. Οι συνολικά 100 ανιχνευτές του οργάνου είναι τοποθετημένοι σε δύο εστιακά επίπεδα συγκέντρωσης. Οι 64 ανιχνευτές των καναλιών 1 έως 4 βρίσκονται στο πρώτο εστιακό επίπεδο συγκέντρωσης, πρόκειται για ανιχνευτές κατασκευασμένους από πυρίτιο. Οι υπόλοιποι 36 ανιχνευτές των καναλιών 5 έως 7, βρίσκονται στο δεύτερο εστιακό επίπεδο συγκέντρωσης, στο οποίο υπάρχει ένα παθητικό ψυκτικό σύστημα ακτινοβολήσης ώστε να αυξάνεται η ευαισθησία τους. Για τα κανάλια 5 και 7 χρησιμοποιούνται ανιχνευτές αντιμονιούχου ινδίου, ενώ για το κανάλι 6 ο ανιχνευτής είναι κατασκευασμένος από υδράργυρο κάδμιο και τελλούριο (HgCdTe).

Σε κάθε στιγμιαίο πεδίο παρατήρησης (IFOV) κάθε ένας από τους 16 ανιχνευτές του κάθε καναλιού παρατηρεί ένα ελαφρά διαφορετικό τμήμα του εδάφους, το οποίο θα αναπαρασταθεί σε pixel στην εικόνα, ανάλογα με το μετρούμενο ποσοστό ακτινοβολίας. Η ακτινοβολία που συλλέγεται σε κάθε κανάλι

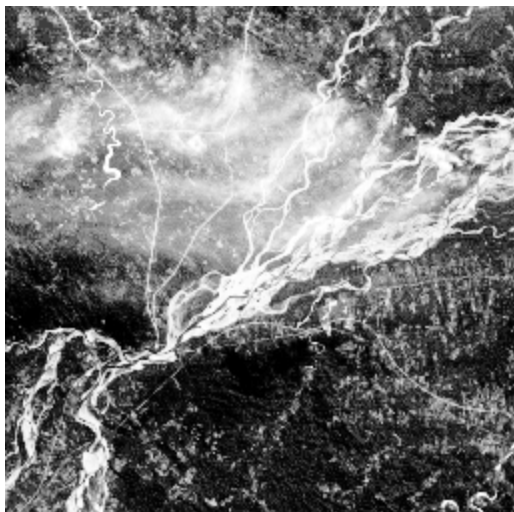
διαβιβάζεται μέσω ενός διορθωτή ευθυγράμμισης της ανιχνευόμενης ακτίνας, ώστε να αντισταθμιστούν οι επιδράσεις από την προς τα εμπρός κίνηση του αεροσκάφους. Η ακτινοβολία που ανακλάται από το κάτοπτρο κατευθύνεται σε ένα τηλεσκόπιο-ανιχνευτή με διάμετρο ανοίγματος 40,6cm, όπου η συλλεχθείσα ροή ακτινοβολίας περνά μέσα από τις διάφορες περιοχές φάσματος και δημιουργεί μια ηλεκτρική έξοδο. Στη συνέχεια πάνω στο αεροσκάφος λαμβάνει χώρα η μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό με χρήση 8 δυαδικών ψηφίων.

Ακολουθούν εικόνες που έχουν προκύψει από συλλογή πληροφορίας μέσω του πολυφασματικού ραδιομέτρου TM, από την περιοχή του Αμαζονίου τον Αύγουστο του 1989. Εδώ φαίνεται ιδιαίτερα παραστατικά πώς διαφοροποιείται η συλλεγόμενη πληροφορία, ανάλογα με τη φασματική ζώνη, για την ίδια περιοχή παρατήρησης.



Κανάλι 1

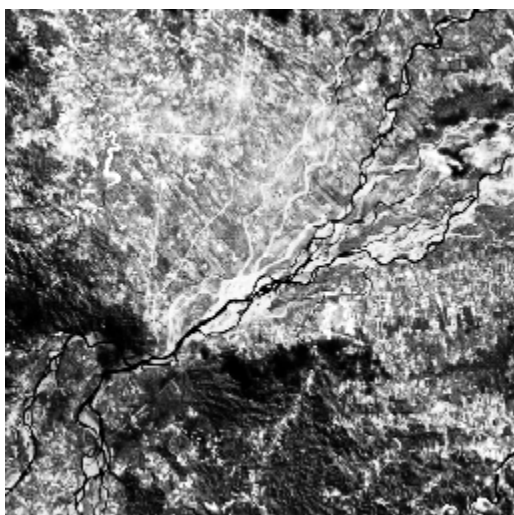
Κανάλι 2



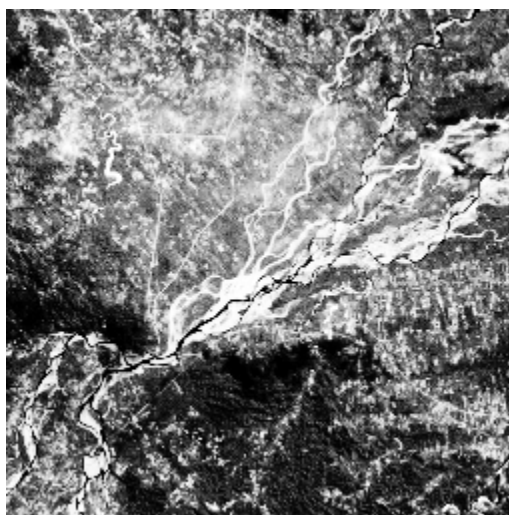
Κανάλι 3



Κανάλι 4



Κανάλι 5



Κανάλι 7

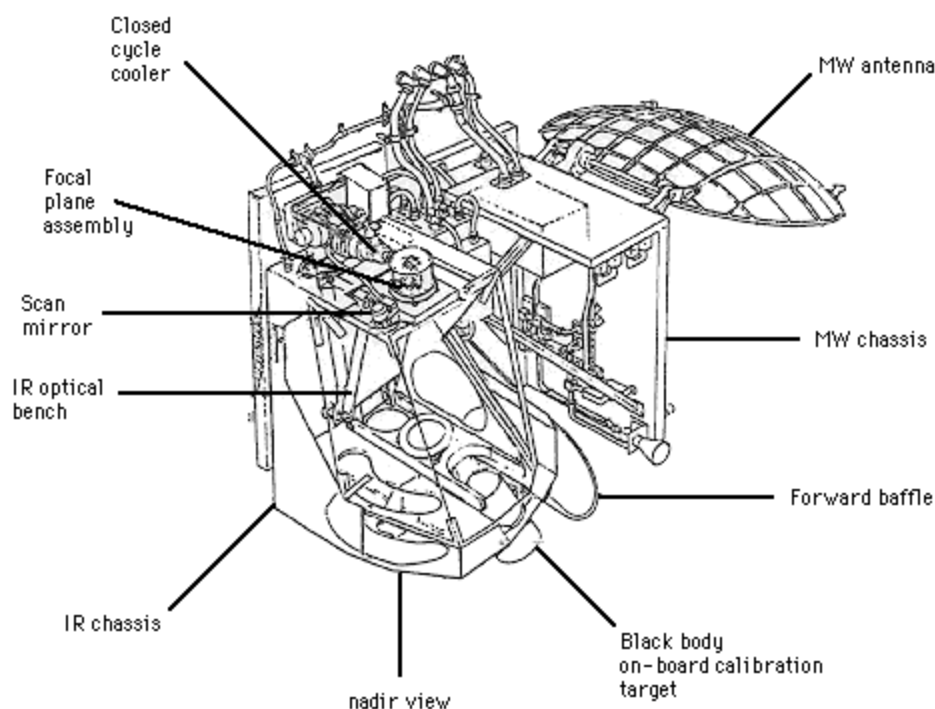
Για την περίπτωση ανάλυσης της βλάστησης, σε μια συγκεκριμένη ευρεία περιοχή, συνήθως δημιουργείται μια σύνθετη εικόνα, αναθέτοντας τα χρώματα κόκκινο, μπλε και πράσινο σε τρία διαφορετικά κανάλια και στη συνέχεια προβάλλεται η κάθε εικόνα πάνω στην άλλη.

3.3.6. Ραδιόμετρο ανίχνευσης κατά μήκος της τροχιάς ATSR

Ο αισθητήρας ATSR (Along Track Scanning Radiometer) είναι ένα ραδιόμετρο ανίχνευσης κατά μήκος της τροχιάς, όπως αποκαλείται, το οποίο αποτελεί μέρος των ωφέλιμων φορτίων των δορυφόρων ERS-1 και ERS-2, οι οποίοι εκτοξεύτηκαν αντίστοιχα τα έτη 1991 και 1995. Οι δορυφόροι αυτοί, τέθηκαν σε σχεδόν πολικές τροχιές, μέσου ύψους 780km και αποτέλεσαν τις μεγαλύτερες και πιο καλά εξοπλισμένες, από άποψη ωφέλιμου φορτίου-παθητικών και ενεργών αισθητήρων περιβαλλοντικής παρακολούθησης- διαστημικές πλατφόρμες που κατασκευάστηκαν μέχρι τότε στην Ευρώπη.

Η πιο ενδιαφέρουσα καινοτομία του συγκεκριμένου οργάνου είναι η εφαρμογή της τεχνικής ανίχνευσης κατά μήκος της τροχιάς. Η τεχνική αυτή λειτουργεί με διπλή απεικόνιση της ίδιας περιοχής του εδάφους, τόσο μέσω ενός σχεδόν κατακόρυφου "ατμοσφαιρικού" μονοπατιού, όσο και ενός επικλινούς μονοπατιού κατά μήκος της τροχιάς και μπροστά από το αεροσκάφος. Η όψη από το επικλινές μονοπάτι διανύει μεγαλύτερη διαδρομή μέσα από την ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα η προκύπτουσα εικόνα να επηρεάζεται περισσότερο από την ατμόσφαιρα, από ότι η κάθετη όψη.

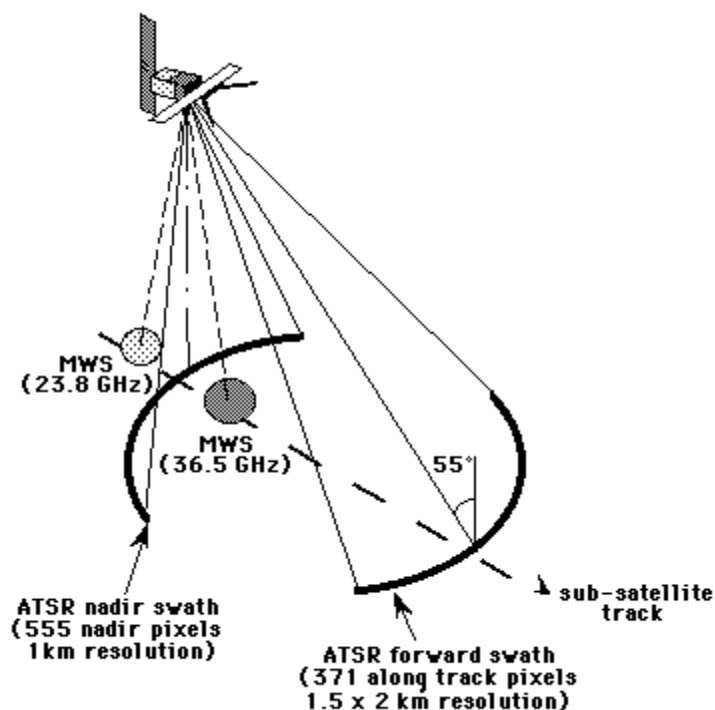
Το όργανο ATSR αποτελείται από δύο όργανα, ένα υπέρυθρο ραδιόμετρο IRR (Infra-red Radiometer) και μια μικροκυματική ηχοβολιστική συσκευή MWS (Microwave Sounder) για τη μέτρηση της συνολικής περιεκτικότητας της ατμόσφαιρας σε νερό (ατμός και υγρό).



Σχήμα 3.34: Τα βασικά λειτουργικά μέρη του ραδιομέτρου ATSR

Αρχικά, ο αισθητήρας ATSR παρατηρεί τη γήινη επιφάνεια κατά μήκος της κατεύθυνσης τροχιάς του δορυφόρου με μια γωνία πρόσπτωσης 55^0 , καθώς ο δορυφόρος μετακινείται προς την περιοχή αυτή. Στη συνέχεια και μετά από 150sec περίπου, ο ATSR παρατηρεί την ίδια περιοχή για δεύτερη φορά, αλλά με μια γωνία σχεδόν κάθετη ως προς την τροχιά του δορυφόρου. Υποθέτοντας ότι η ατμόσφαιρα παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια των 150sec που απαιτούνται προκειμένου να μετακινηθεί ο δορυφόρος μεταξύ των δύο σημείων, αυτή η διπλής όψης ανιχνευτική τεχνική μπορεί να χρησιμεύσει για τη διόρθωση των ατμοσφαιρικών σφαλμάτων. Με συνδυασμό της πληροφορίας από τις δύο διαφορετικές όψεις του ίδιου σημείου, μετράται με ακρίβεια η ατμοσφαιρική επίδραση στις ραδιομετρικές μετρήσεις με σκοπό την αντιστάθμισή της και τη βελτίωση της παραγόμενης εικόνας.

Στο επόμενο σχήμα, φαίνεται παραστατικά η γεωμετρία της ανιχνευτικής πορείας του ATSR.



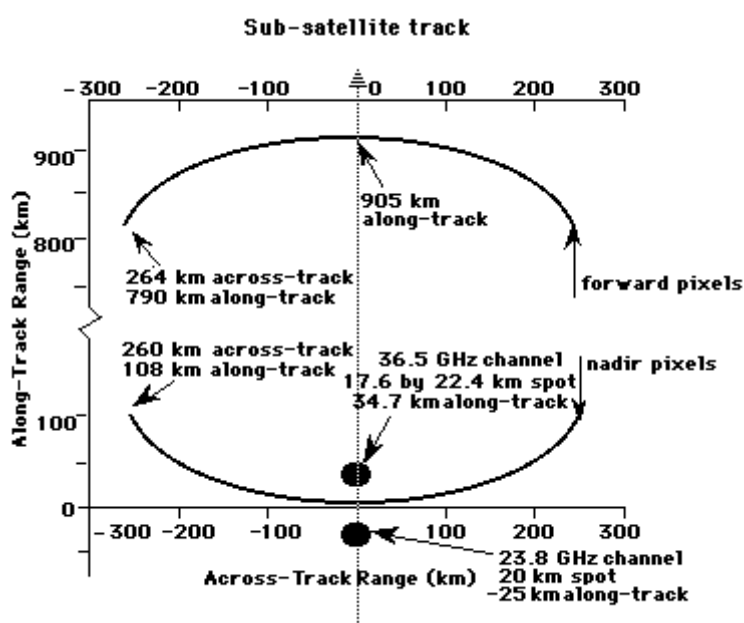
Σχήμα 3.35: Ανιχνευτική πορεία του αισθητήρα ATSR

Το απεικονιστικό ραδιόμετρο IRR μετράει την εκπεμπόμενη ακτινοβολία από τη γήινη επιφάνεια και μέσα από την ατμόσφαιρα με 4 κανάλια στην υπέρυθρη περιοχή στα 1,6 μ m, 3,7 μ m, 10,8 μ m και 12,0 μ m και χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των θερμοκρασιών στις θαλάσσιες επιφάνειες SST (Sea Surface Temperatures) και στην κορυφή των σύννεφων. Το IRR παρατηρεί την επιφάνεια από δύο γωνίες, μία κοντά στο ναδίρ (0^0) και μια κοντά στις 55^0 . Η μικροκυματική συσκευή MWS είναι ένα παθητικό ραδιόμετρο 2 καναλιών που λαμβάνει πληροφορία μπροστά και πίσω από το προβαλλόμενο σημείο του αεροσκάφους στο έδαφος (ναδίρ), με απόσταση μεταξύ των δύο σημείων της τάξης των 60km. Το MWS συνδέεται λειτουργικά με το IRR και οι λαμβανόμενες πληροφορίες συνδυάζονται με την πληροφορία του ραδιομέτρου IRR προτού αποσταλούν στον επίγειο σταθμό.

Η συλλογή της εκπεμπόμενης ενέργειας από τις παρατηρούμενες περιοχές, οι οποίες σχηματίζουν τα ονομαζόμενα ανιχνευόμενα μονοπάτια (scanning swaths) πραγματοποιείται μέσω ενός ανιχνευτικού κατόπτρου, με άξονα περιστροφής σε κλίση $23,45^0$ ως προς την κατακόρυφο. Για το λόγο αυτό, το πεδίο παρατήρησης από

τους ανιχνευτές του οργάνου μέσω του κατόπτρου συλλογής προκύπτει σε ελλειπτική μορφή στην επιφάνεια του εδάφους, όπως φαίνεται και στο προηγούμενο σχήμα. Όμως υπάρχουν τμήματα στην ανιχνευτική πορεία τα οποία δεν προσφέρουν χρήσιμη πληροφορία ή χρησιμοποιούνται για μετρήσεις ισοστάθμισης των διαφόρων παρεμβολών, έτσι το συνολικό πλάτος του ανιχνευόμενου μονοπατιού είναι 500km, ενώ οι δύο διαφορετικές όψεις απέχουν κατά 900km κατά μήκος της κατεύθυνσης παρατήρησης. Το pixel της εικόνας που προκύπτει από την παρατήρηση στις 0° παριστάνει επιφάνεια εδάφους 1x1km, ενώ το pixel για την εικόνα στις 55° από την κατακόρυφο παριστάνει μεγαλύτερη επιφάνεια 1,5x2km. Κάθε pixel περιλαμβάνει πληροφορία από τρία κανάλια, αφού κάθε φορά μόνο 3 από τα 4 κανάλια λειτουργούν ταυτόχρονα.

Η μικροκυματική ηχοβολιστική συσκευή MWS χρησιμοποιεί μια μη συμμετρικά τροφοδοτούμενη παραβολική κεραία διαμέτρου 60cm για την παρατήρηση της γης κοντά στο σημείο ναδίν του δορυφόρου σε συχνότητες 23,8 και 36,5GHz. Τα ίχνη των καναλιών του MWS, δεν παρακολουθούν ακριβώς το ίδιο σημείο αφού το ένα παρατηρεί την περιοχή ελαφρά μπροστά από το σημείο ναδίν ως προς το αεροσκάφος, ενώ το δεύτερο κανάλι παρατηρεί ελαφρά πίσω από το σημείο ναδίν. Τα ίχνη των καναλιών για την μπροστινή όψη είναι 22,4x17,6km, ενώ για την προς τα πίσω όψη είναι 21,2x21,2km, με απόσταση μεταξύ τους 60km.



Σχήμα 3.36: Γεωμετρία ανίχνευσης του οργάνου ATSR

Η πληροφορία που μπορεί να αποκτηθεί τηλεπισκοπικά μέσω του αισθητήρα ATSR επιτρέπει, μεταξύ άλλων, την ανίχνευση εκτεταμένων και επικίνδυνων πυρκαγιών σε παγκόσμιο επίπεδο και σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Άλλες εφαρμογές του οργάνου είναι η μέτρηση θερμοκρασιών θαλάσσιων επιφανειών με απόλυτη ακρίβεια καλύτερη των 0,5K, με χωρική ανάλυση 50km και με συνθήκες νέφωσης πάνω από 80%, η παροχή εικόνων κατανομής θαλάσσιων θερμοκρασιών με ακρίβεια 0,1K, με χωρική ανάλυση 1km και πλάτος ανιχνευόμενου μονοπατιού 500km καθώς και η μέτρηση της κατανομής ατμών και υγρασίας στην ατμόσφαιρα με σκοπό να προσδιοριστεί το πιο προβληματικό μονοπάτι ανίχνευσης για τα σήματα που λαμβάνονται από το υψομετρικό ραντάρ, το οποίο αποτελεί έναν ακόμα αισθητήρα των δορυφόρων ERS-1 και -2.

Ο διάδοχος του αρχικού οργάνου ATSR-1, είναι ο αισθητήρας ATSR-2, ο οποίος αποτελεί μέρος του ωφέλιμου φορτίου του δορυφόρου ERS-2 και στον οποίο το υπέρυθρο ραδιόμετρο IRR έχει αναβαθμιστεί με την πρόσθεση 3 επιπλέον καναλιών στις ορατές περιοχές των 0,55μm, 0,67μm και 0,87μm για τηλεπισκοπική παρακολούθηση της βλάστησης. Στον αισθητήρα ATSR-2 η μικροκυματική ηχοβολιστική συσκευή MWS είναι πανομοιότυπη με εκείνη που περιελάμβανε ο αρχικός αισθητήρας, απλά παρέχεται από διαφορετικό βιομηχανικό κατασκευαστή.

3.3.7. Υψομετρικό ραντάρ (Radar Altimeter)

Το υψομετρικό ραντάρ είναι ένα από τα όργανα που βρίσκονται εγκατεστημένα στους 2 ευρωπαϊκούς τηλεπισκοπικούς δορυφόρους ERS-1 και ERS-2, που εκτοξεύτηκαν από το Ευρωπαϊκό Διαστημικό Γραφείο ESA (European Space Agency) στις 17 Ιουλίου του 1991 και στις 20 Απριλίου του 1995, αντίστοιχα. Οι δορυφόροι ERS-1 και ERS-2, λειτουργούν σε ηλιακά συγχρονισμένη τροχιά και σχεδιάστηκαν ως διαστημικές πλατφόρμες κατάλληλες να μετρήσουν σημαντικές παραμέτρους της γήινης ατμόσφαιρας και επιφάνειας με υψηλό βαθμό ακρίβειας και σε παγκόσμια κλίμακα.

Το υψομετρικό ραντάρ είναι ένας ενεργός μικροκυματικός αισθητήρας που λειτουργεί στη συχνότητα των 13,8 GHz (Ku ζώνη) σχεδιασμένος να πραγματοποιεί

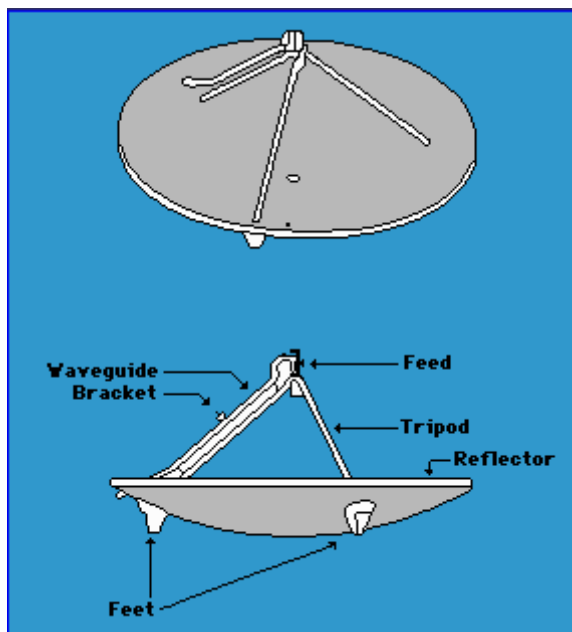
ακριβείς μετρήσεις της ηχούς από την επιφάνεια των ωκεανών και των παγωμένων περιοχών. Μπορεί να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τα εξής:

- Το ύψος μεγάλων κυμάτων.
- Την ταχύτητα των ανέμων που πνέουν κοντά στην επιφάνεια θαλασσών.
- Την ανύψωση του επιπέδου της θάλασσας, που σχετίζεται με τα ωκεάνια ρεύματα, το γεωειδές της επιφάνειας και την παλίρροια.
- Ποικίλες παραμέτρους πάνω από παγωμένους ωκεανούς και λεπτά στρώματα πάγου.

Το υψομετρικό ραντάρ λειτουργεί χρονομετρώντας την καθυστέρηση διπλού δρόμου για έναν παλμό μικρής διάρκειας στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων (RF), ο οποίος μεταδίδεται προς τα κάτω, κάθετα ως προς την κατεύθυνση τροχιάς της δορυφορικής πλατφόρμας. Το επιθυμητό επίπεδο της ακρίβειας στην κλίμακα των μετρήσεων (μεγαλύτερη από 10cm) απαιτεί έναν παλμό διάρκειας λίγων nsec, επομένως προκειμένου να μειωθούν οι απαιτήσεις της RF ισχύος, χρησιμοποιείται μία τεχνική συμπίεσης των παλμών (chirp). Ορισμένα από τα χαρακτηριστικά του οργάνου σημειώνονται στον επόμενο πίνακα.

Συχνότητα:	13.8 GHz
Εύρος ζώνης:	330 MHz (ocean mode); 82.5 MHz (ice mode)
Άνοιγμα ακτίνας:	1.3° στα 3 dB
Ίχνος:	μέχρι 20 km (ανάλογα με την κατάσταση της θάλασσας)
Βάρος:	96 kg
Διάμετρος κεραίας:	1.2 m
Διάρκεια παλμού:	20 ms chirp
RF ισχύς μετάδοσης:	50 W
Συχνότητα επανάληψης παλμού:	1020 Hz

Στην επόμενη εικόνα έχει σχεδιαστεί η μορφή της κεραίας του υψομετρικού ραντάρ.



Σχήμα 3.37: Η κεραία του υψομετρικού ραντάρ

Ο συγκεκριμένος αισθητήρας χρησιμοποιεί 3 λειτουργίες:

- Λειτουργία λήψης, κατά τη διάρκεια της οποίας το ραντάρ βρίσκει κατά προσέγγιση την απόσταση μέχρι την επιφάνεια και στη συνέχεια μεταπίπτει σε μία από τις ακόλουθες ανιχνευτικές λειτουργίες.
- Ανιχνευτική λειτουργία ωκεανών (ocean tracking mode).
- Ανιχνευτική λειτουργία πάγων (ice tracking mode) κατά την οποία χρησιμοποιείται μια αυξημένη δυναμική κλίμακα, η οποία επιτυγχάνεται μειώνοντας το εύρος ζώνης του παλμού στα 82,5MHz, που οδηγεί σε χαμηλότερη ανάλυση.

Στη λειτουργία των ωκεανών, το υψομετρικό ραντάρ θα χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του ύψους των κυμάτων, την ταχύτητα των ανέμων και την ανύψωση της επιφάνειας της θάλασσας, που αποτελούν απαραίτητες πληροφορίες για τη μελέτη των ωκεάνιων ρευμάτων, της παλίρροιας και του παγκόσμιου γεωειδούς. Στη λειτουργία των πάγων ο αισθητήρας λειτουργεί με χαμηλότερη ανάλυση για τον καθορισμό της τοπογραφίας της επιφάνειας των παγωμένων στρωμάτων καθώς και των ορίων θάλασσας/πάγου.

Οι μετρήσεις ύψους παρέχονται από τη χρονική καθυστέρηση μεταξύ της εκπομπής και της λήψης του παλμού, μετά τη διόρθωση από ατμοσφαιρικές και άλλες επιδράσεις. Το ύψος των έντονων κυμάτων λαμβάνεται από την κλίση της ηχούς της επιστρεφόμενης κυματομορφής. Η ταχύτητα των ανέμων πάνω από θαλάσσιες επιφάνειες και η θέση των συνόρων θάλασσας/πάγων εξάγεται από το επίπεδο ισχύος του επιστρεφόμενου σήματος.

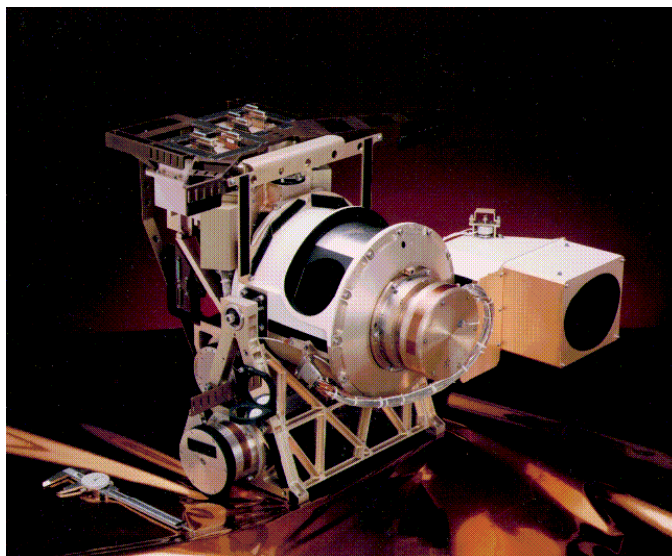
3.3.8. SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field of view Sensor)

Η αποστολή του τηλεπισκοπικού οργάνου SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field of view Sensor) αποτελεί μέρος της αποστολής MTPE (Mission to Planet Earth) της NASA, η οποία σχεδιάστηκε με σκοπό την παρατήρηση του πλανήτη μας από το διάστημα και την καλύτερη κατανόηση του συστήματός της και της εξέλιξής της. Ο αισθητήρας SeaWiFS ακολούθησε την αποστολή του τηλεπισκοπικού οργάνου ανίχνευσης της παράκτιας ζώνης CZCS (Coastal Zone Colour Scanner), το οποίο αποτελεί τον πρώτο αισθητήρα που προοριζόταν ειδικά για την παρακολούθηση των ωκεανών της γης και των υγρών σωμάτων και που ολοκλήρωσε τη λειτουργία του τον Ιούνιο του 1989.

Ο αισθητήρας SeaWiFS αποτελεί μέρος του ωφέλιμου φορτίου του δορυφόρου SeaStar της εταιρείας τροχιακής επιστήμης OSC (Orbital Science Corporation) που τέθηκε σε τροχιά την 1 Αυγούστου του 1997. Πρόκειται για έναν οπτικό αισθητήρα με ευαισθησία στο χρώμα (colour sensitive) που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση των χρωματικών μεταβολών των ωκεανών της γης. Ο σκοπός του είναι η συνεχής παροχή στοιχείων σχετικά με τις βιο-οπτικές ιδιότητες των ωκεανών (εκείνες τις ιδιότητες των οργανισμών που μπορούν ουσιαστικά να καταγραφούν). Παρακάτω φαίνεται μια όψη του αισθητήρα.

Ο αισθητήρας έχει τη δυνατότητα παρατήρησης και ανίχνευσης της ακτινοβολίας σε 8 διαφορετικές ζώνες, οι οποίες εκτείνονται από την ορατή μέχρι την εγγύς υπέρυθρη περιοχή του φάσματος. Αποτελείται από μια μονάδα οπτικών συστημάτων για παρακολούθηση και από μια μονάδα ηλεκτρονικών συστημάτων για επεξεργασία της συλλεγόμενης πληροφορίας, αποθήκευση και μετάδοση. Το δυναμικό εύρος του αισθητήρα επεκτάθηκε ώστε να μην κορεστεί (θαμπωθεί) υπό

την επίδραση υψηλών συγκεντρώσεων ανακλώμενης ακτινοβολίας, όπως από τα σύννεφα ή από τους μεγάλους όγκους πάγου.



Σχήμα 3.38: Αισθητήρας SeaWiFS

Ο αισθητήρας SeaWiFS χρησιμοποιεί μια πολυκαναλική τεχνική επεξεργασίας TDI (time-delay and integration) σε καθεμία από τις 8 φασματικές ζώνες προκειμένου να επιτύχει τον απαιτούμενο σηματοθορυβικό λόγο SNR. Αυτή η ικανότητα επιτρέπει μια μικρότερη οπή συλλογής του φωτός για τον αισθητήρα με αποτέλεσμα τη δυνατότητα κατασκευής ενός μικρότερου και ελαφρύτερου οργάνου. Ολόκληρος ο αισθητήρας μπορεί να λάβει κλίσεις -20° , 0° ή $+20^\circ$ προκειμένου να αποφύγει την ηλιακή λάμψη που ανακλάται από τους ωκεανούς. Το συνολικό βάρος του οργάνου ανέρχεται στα 50,8kg. Ο τηλεπισκοπικός αισθητήρας SeaWiFS μπορεί να παράγει περισσότερη πληροφορία σχετικά με την επιφάνεια των ωκεανών σε 2 λεπτά από αυτή που θα μπορούσε να παράγει ένα πλοίο σε διάστημα 10 χρόνων.

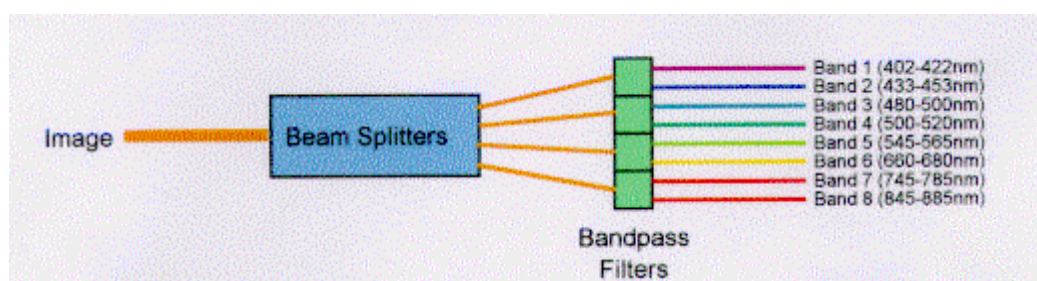
Πώς λειτουργεί ο αισθητήρας SeaWiFS

Ο SeaWiFS είναι ένας παθητικός οπτικός αισθητήρας που ανιχνεύει μόνο εκείνη την ακτινοβολία που ανακλάται από τη γήινη επιφάνεια πίσω στο διάστημα. Ο αισθητήρας έχει την ικανότητα να συλλαμβάνει και να επεξεργάζεται εικόνες ως εξής:

- Αρχικά, η εισερχόμενη ακτινοβολία συλλέγεται από ένα περιστρεφόμενο τηλεσκόπιο και κατόπιν ανακλάται πάνω σε ένα κάτοπτρο το οποίο

περιστρέφεται με τη μισή ταχύτητα. Τα δύο αυτά συστήματα είναι συγχρονισμένα κατά φάση ώστε να ελαχιστοποιείται η πόλωση στη σχεδιαζόμενη εικόνα. (Το τηλεσκόπιο εκτελεί 6 περιστροφές το δευτερόλεπτο σαρώνοντας ένα μονοπάτι στη γη με κατεύθυνση εγκάρσια ως προς την τροχιά.)

- Η ανακλώμενη εικόνα οδηγείται σε ένα διαχωριστή ακτίνων, ο οποίος χωρίζει την ακτινοβολία σε 4 περιοχές μηκών κύματος-σε κάθε τέτοια περιοχή περιέχονται 2 από τις 8 φασματικές ζώνες του οργάνου.
- Στη συνέχεια, η ακτινοβολία από τις 4 παραπάνω περιοχές μηκών κύματος οδηγείται μέσω δύο ξεχωριστών φασματικών ζωνοπερατών φίλτρων και τελικά χωρίζεται στις 8 απαραίτητες φασματικές ζώνες του SeaWiFS.

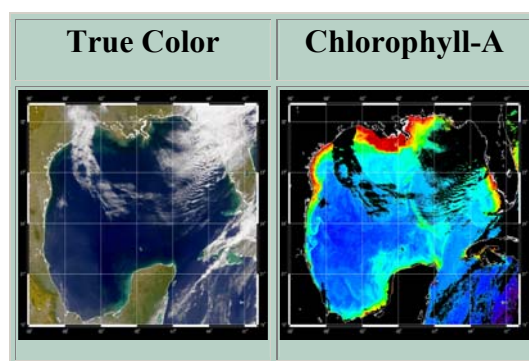


- Τα ανιχνευόμενα σήματα οδηγούνται σε προενισχυτές και κατόπιν στην ηλεκτρονική μονάδα για ψηφιοποίηση και TDI επεξεργασία.
- Στην ηλεκτρονική μονάδα τα σήματα ενισχύονται και φιλτράρονται και πάλι, ώστε να περιοριστεί ο θόρυβος. Το φιλτραρισμένο σήμα ψηφιοποιείται μέσω ενός 12-bit αναλογικού-ψηφιακού μετατροπέα.
- Μετά την ψηφιοποίηση, οδηγείται σε έναν επεξεργαστή για την TDI λειτουργία, η οποία λαμβάνει χώρα σε πραγματικό χρόνο καθώς καταγράφονται οι εικόνες.
- Τέλος, τα επεξεργασμένα σήματα προστίθενται, διαιρούνται δια 4 και στρογγυλοποιούνται σε 10-bit αριθμούς για αποθήκευση. Οι 10-bit αριθμοί στέλνονται σε ένα σύστημα πληροφοριών πάνω στο δορυφόρο με ρυθμό 1.885 Mbps. Επίγειοι σταθμοί μετάδοσης εικόνων υψηλής ανάλυσης HRPT (High Resolution Picture Transmission), λαμβάνουν τα δεδομένα καθώς ο δορυφόρος SeaStar περνά πάνω από αυτούς.

3.3.8.1. Εφαρμογές του αισθητήρα SeaWiFS

Η κύρια εφαρμογή του αισθητήρα είναι η ανίχνευση των μεταβολών στο χρώμα των ωκεανών. Συγκεκριμένα, οι χρωματικές μεταβολές αποτελούν ένδειξη της περιεκτικότητας του φυτοπλαγκτού, των αιωρούμενων ιζημάτων και της παρουσίας των διαλυμένων οργανικών ουσιών. Το φυτοπλαγκτόν αποτελείται από μονοκύτταρους φυτικούς ωκεάνιους οργανισμούς που περιέχουν χλωροφύλλη για φωτοσύνθεση. Το πράσινο χρώμα της χλωροφύλλης είναι ευδιάκριτο από τα μπλε νερά των ωκεανών, επομένως ο SeaWiFS μπορεί να ανιχνεύσει τις συγκεντρώσεις του φυτοπλαγκτού στον ωκεανό. Ακριβώς επειδή το φυτοπλαγκτόν αποτελεί συχνά τον κύριο ενδείκτη περιβαλλοντικών μεταβολών, η παρακολούθηση της συγκέντρωσής του μπορεί να παρουσιαστεί ιδιαίτερα χρήσιμη για πολλές εφαρμογές. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών, είναι:

- Παροχή πληροφοριών σχετικά με τους παγκόσμιους κύκλους του άνθρακα, του οξυγόνου και του αζώτου μέσα και έξω από τους ωκεανούς.
- Ενίσχυση των ερευνητών στην προσπάθειά τους να καθορίσουν τη συνεισφορά του φυτοπλαγκτού στη μείωση των παγκοσμίων συγκεντρώσεων του CO₂.
- Επίδειξη περιοχών με έντονη παρουσία μολυσματικών στοιχείων.
- Παροχή πληροφοριών σχετικά με επιβλαβή και επικίνδυνα βακτήρια.
- Παροχή πληροφοριών σχετικά με τις ακριβείς τοποθεσίες των πληθυσμών των ψαριών για τις εμπορικές αλιευτικές δραστηριότητες.
- Παροχή στοιχείων σχετικά με τα ωκεάνια ρεύματα για τη βιομηχανία των πλοίων.



Σχήμα 3.39: Εικόνες από την περιοχή του Κόλπου του Μεξικού, μέσω του SeaWiFS

Οι παραπάνω εικόνες έχουν καταγραφεί από τον αισθητήρα SeaWiFS την ίδια χρονική στιγμή και απεικονίζουν την περιοχή του Κόλπου του Μεξικού. Η δεξιά

εικόνα δείχνει τον κόλπο όπως ακριβώς φαίνεται από το διάστημα, ενώ η εικόνα αριστερά έχει ψευδή χρώματα και έχει παραχθεί από τα φασματικά δεδομένα που καταγράφηκαν από τον αισθητήρα. Διαφορετικές συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης-Α μπορούν να διακριθούν στην εικόνα με χρώματα από το κόκκινο (υψηλή συγκέντρωση) έως το ιώδες (χαμηλή συγκέντρωση). Η παρουσία σύννεφων στην εικόνα με τα πραγματικά χρώματα, έχει προκαλέσει την εμφάνιση σκούρων περιοχών στη δεξιά εικόνα, κάτι που δείχνει χαρακτηριστικά την ανικανότητα του αισθητήρα SeaWiFS να ανιχνεύσει την εισερχόμενη ακτινοβολία σε περιοχές πάνω από τις οποίες επικρατεί έντονη νέφωση και γενικά άσχημες καιρικές συνθήκες, κάτι που ήταν αναμενόμενο αφού πρόκειται για ένα οπτικό φασματόμετρο.

3.3.9. GLAS (Geoscience Laser Altimeter System)

Το Γεωεπιστημονικό Σύστημα Υψομετρικού Λείζερ GLAS αποτελεί ένα αναπόσπαστο κομμάτι της επιχείρησης της NASA σχετικά με την επιστήμη της γης ESE (Earth Science Enterprise). Ο τηλεπισκοπικός αισθητήρας GLAS έχει σχεδιαστεί για να μετράει την τοπογραφία των στρωμάτων πάγου και τις σχετιζόμενες χρονικές μεταβολές, όπως επίσης τις ιδιότητες της ατμόσφαιρας και του νέφους, και να παρέχει πληροφορίες σχετικά με το ύψος και το πάχος των στρωμάτων του νέφους που είναι απαραίτητα για την ακριβή βραχυπρόθεσμη κλιματολογική και καιρική πρόβλεψη. Επιπρόσθετα, η λειτουργία του οργάνου GLAS πάνω από στεριά και θάλασσα θα παρέχει τοπογραφικά δεδομένα κατά μήκος της τροχιάς. Ο αισθητήρας GLAS αποτελεί μέρος του ωφέλιμου φορτίου του δορυφόρου ICESat (Ice, Cloud and land Elevation Satellite), ο οποίος εκτοξεύτηκε στις 13 Ιουνίου του 2003 από την αεροδυναμική βάση στην Καλιφόρνια.

Ουσιαστικά ο συγκεκριμένος αισθητήρας θα μετράει την απόσταση ανάμεσα στο δορυφόρο και την επιφάνεια της γης και στα παρεμβαλλόμενα σύννεφα και μόρια υγρών ή στερεών που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα. Αυτό θα επιτυγχάνεται με την ακριβή μέτρηση του χρόνου που απαιτείται προκειμένου ένας σύντομος παλμός φωτός laser να ταξιδέψει μέχρι το ανακλαστικό αντικείμενο και να επιστρέψει πίσω στο δορυφόρο. Αν και πολλοί τοπογράφοι και γεώμετρα χρησιμοποιούν μεθόδους laser, η πρόκληση για τον ICESat είναι να πραγματοποιήσει τις παραπάνω μετρήσεις 40 φορές το δευτερόλεπτο, ενώ η πλατφόρμα θα κινείται με ταχύτητα 26.000km την

ώρα. Οι παλμοί laser θα σχηματίζουν ίχνη με διάμετρο 70m στην επιφάνεια και με χωρική απόσταση 170m μεταξύ τους κατά μήκος της τροχιάς του δορυφόρου.

Επιπρόσθετα, ο δορυφόρος ICESat θα βρίσκεται σε απόσταση 600km από την επιφάνεια της γης και οι ακριβείς θέσεις τόσο του δορυφόρου στο διάστημα όσο και της ακτίνας laser στην εκάστοτε επιφάνεια θα πρέπει να προσδιορίζονται την ίδια χρονική στιγμή.

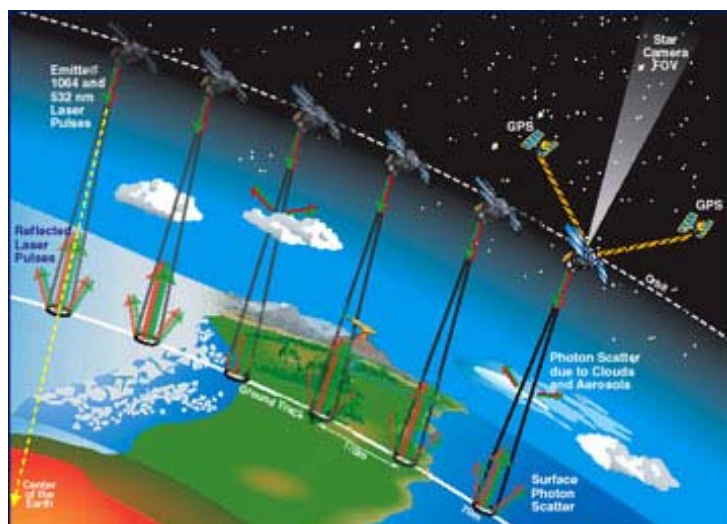
Ο αισθητήρας GLAS περιλαμβάνει ένα σύστημα laser για τη μέτρηση αποστάσεων, έναν δέκτη GPS (Global Positioning System) και ένα σύστημα ανίχνευσης των αστερισμών για καθορισμό της στάσης του. Το συνολικό βάρος του είναι 300kg. Το laser θα εκπέμπει σύντομους παλμούς (4nsec) υπέρυθρου φωτός (1064nm μήκος κύματος) και ορατού πράσινου φωτός (532nm). Το όργανο GLAS θα μετράει ακριβώς το χρόνο που απαιτείται



Σχήμα 3.40: Αισθητήρας Glas στο δορυφόρο IceSat

προκειμένου τα φωτόνια του laser να περάσουν μέσα από την ατμόσφαιρα, να ανακλαστούν από τη γήινη επιφάνεια ή από σύννεφα ή μόρια (aerosols) που θα συναντήσουν στο δρόμο τους, να επιστρέψουν μέσα από την ατμόσφαιρα, να συλλεχθούν από το τηλεσκόπιο του οργάνου και να ανιχνευτούν από τους ανιχνευτές φωτονίων.

Το χρονικό αυτό διάστημα μπορεί να μετατραπεί σε απόσταση πολλαπλασιάζοντας με την ταχύτητα του φωτός και έτσι η απόσταση από το δορυφόρο στην ανακλαστική επιφάνεια μπορεί να ληφθεί ως το μισό της ολικής απόστασης από και προς το δορυφόρο. Όταν πυροδοτείται κάθε παλμός, ο ICESat θα συλλέγει στοιχεία προκειμένου να υπολογίσει την ακριβή θέση του στο διάστημα, χρησιμοποιώντας δέκτες GPS. Η γωνία στην οποία στοχεύει η ακτίνα laser αναφορικά με τους αστερισμούς και το κέντρο της γης θα μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια με μία κάμερα ανίχνευσης των αστερισμών. Η απόσταση μέχρι το ίχνος της ακτίνας laser στην επιφάνεια, η θέση του δορυφόρου στο διάστημα και η κατεύθυνση της ακτίνας laser, συνδυάζονται προκειμένου να υπολογιστούν τα υψόμετρα και οι θέσεις όλων των σημείων μέτρησης πάνω στη γη.



Σχήμα 3.41: Αναπαράσταση του οργάνου GLAS καθώς πραγματοποιεί μετρήσεις, ενώ ο δορυφόρος ICESat εκτελεί τροχιές γύρω από τη γη.

3.4. Βιβλιογραφία 3^{ου} Κεφαλαίου

1. **Sensor Technology**
http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2_5a.html
2. **Advanced Very-High Resolution Radiometer (AVHRR)**
<http://www.tec.army.mil/tio.avhrr.html>
3. **Advanced Very-High Resolution Radiometer (AVHRR): Overview**
<http://www.ngdc.noaa.gov/seg/globsys/avhrr.stml>
4. **Advanced Very-High Resolution Radiometer (AVHRR) Sensor Characteristics**
http://edcdaac.usgs.gov/1KM/avhrr_sensor.html
5. **AVHRR – Advanced Very-High Resolution radiometer**
<http://www.sat.dundee.ac.uk/avhrr.html>
6. **Landsat’s Thematic Mapper (TM)**
<http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro>
7. **ESA – Satellite Applications**
http://www.esa.int/export/esaSA/GGGSIXT20GC_earth_2.html
8. **Description of the ATSR instrument**
<http://earth.esa.int/cgi-bin/>
9. **ATSR (IRR and MWR) Design**
<http://earth.esa.int/cgi-bin/ERS1>
10. **ATSR-2: The evolution in Its Design from ERS-1 to ERS-2**
<http://esapub.esrin.esa.it/bulletin/bullet83/atrs83.html>
11. **GOME design**
<http://earth.esa.int/ee04.108>
12. **Synthetic Aperture Radar Sensors**
<http://www.ciesin.org/TG/RS/sarsens.html>
13. **Scatterometer design**
http://earth.esa.int/cgi-bin/scat_design
14. **Altimeter Design**
<http://earth.esa.int/cgi-bin/ERS1>
15. **GLAS Instrument Description**
http://www.csr.utexas.edu/glas/Instrument_Description/
16. **The GLAS Instrument**

<http://nsidc.org/daac/icasat/instrument.html>

17. SEAWIFS Project

<http://Seawifs.gsfc.nasa.gov/SEAWIFS.html>

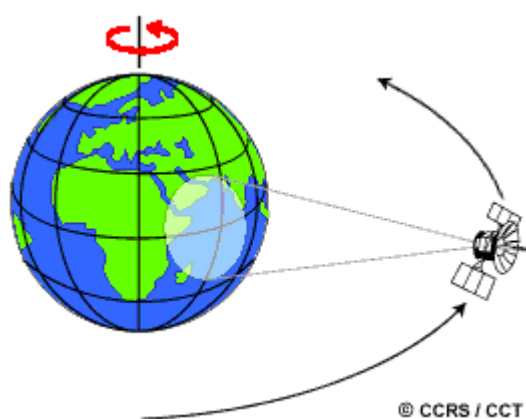
18. SeaWiFS

<http://www.ae.utexas.edu/courses/ase389/midterm/courtney/seawifs.html#desc>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Δορυφόροι περιβαλλοντικής παρακολούθησης

4.1. Χαρακτηριστικά δορυφόρων περιβαλλοντικής παρακολούθησης: τροχιές και ανιχνευόμενα μονοπάτια.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο, είδαμε ότι οι τηλεπισκοπικοί αισθητήρες μπορούν να τοποθετηθούν σε μια ποικιλία πλατφορμών, ώστε να παρατηρούν και να απεικονίζουν τους στόχους του ενδιαφέροντός μας. Αν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίγειες ή και εναέριες πλατφόρμες, σήμερα το μεγαλύτερο μέρος της περιβαλλοντικής παρακολούθησης και της τηλεπισκοπικής απεικόνισης επιτυγχάνεται με χρήση δορυφόρων. Οι δορυφόροι διαθέτουν ορισμένα μοναδικά χαρακτηριστικά που τους καθιστούν ιδιαίτερα χρήσιμους για την τηλεπισκόπηση της γήινης επιφάνειας.

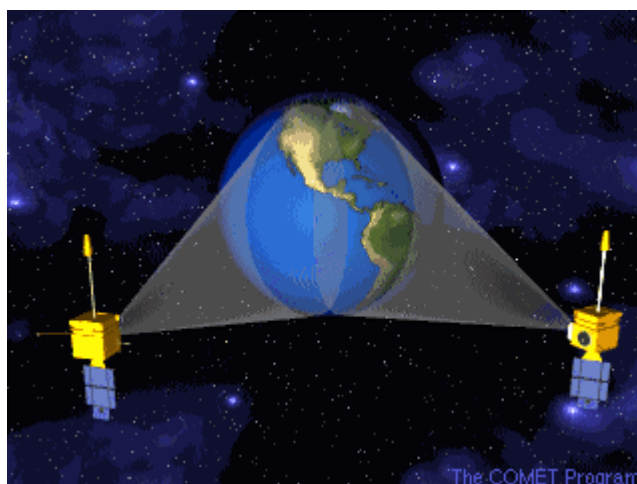


Το μονοπάτι που ακολουθεί ο δορυφόρος αναφέρεται ως τροχιά. Οι τροχιές των δορυφόρων συνδυάζονται με τις ικανότητες και με τον τρόπο και το σκοπό λειτουργίας των αισθητήρων που κουβαλούν. Η επιλογή της τροχιάς μπορεί να ποικίλει σημαντικά ως προς το ύψος τους πάνω από την επιφάνεια της γης, τον προσανατολισμό τους και την περιστροφή τους σε σχέση με τη γη.

4.1.1. Δορυφόροι γεωστατικής τροχιάς

Οι δορυφόροι που βρίσκονται σε πολύ μεγάλη ύψη και οι οποίοι παρατηρούν το ίδιο τμήμα της επιφάνειας της γης σε όλες τις χρονικές στιγμές διατηρούν γεωστατικές τροχιές. Αυτοί οι γεωστατικοί δορυφόροι, οι οποίοι βρίσκονται σε ύψος 36.000km περίπου, περιστρέφονται γύρω από τη γη με κατεύθυνση από δυτικά προς ανατολικά, ακριβώς πάνω από τον ισημερινό και με τέτοια ταχύτητα ώστε να ταιριάζει η περιστροφή τους με την περιστροφή της γης, επομένως φαίνονται στατικοί σε σχέση με την επιφάνεια της γης. Τα χαρακτηριστικά μιας τέτοιας τροχιάς επιτρέπουν στους γεωστατικούς δορυφόρους να παρατηρούν και να συλλέγουν πληροφορία συνεχώς, πάνω από συγκεκριμένες περιοχές. Οι μετεωρολογικοί και οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι διανύουν τέτοιες τροχιές. Εξαιτίας του μεγάλου ύψους τους, ορισμένοι γεωστατικοί μετεωρολογικοί δορυφόροι μπορούν να παρακολουθούν τα καιρικά φαινόμενα και τα χαρακτηριστικά των νεφώσεων καλύπτοντας ένα ολόκληρο ημισφαίριο της γης.

Η Αμερική διαθέτει δύο γεωστατικούς δορυφόρους, οι οποίοι ονομάζονται Περιβαλλοντικοί Δορυφόροι με Γεωστατική Λειτουργία GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites). Οι περιοχές κάλυψής τους φαίνονται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 4.1: Γεωστατικοί δορυφόροι

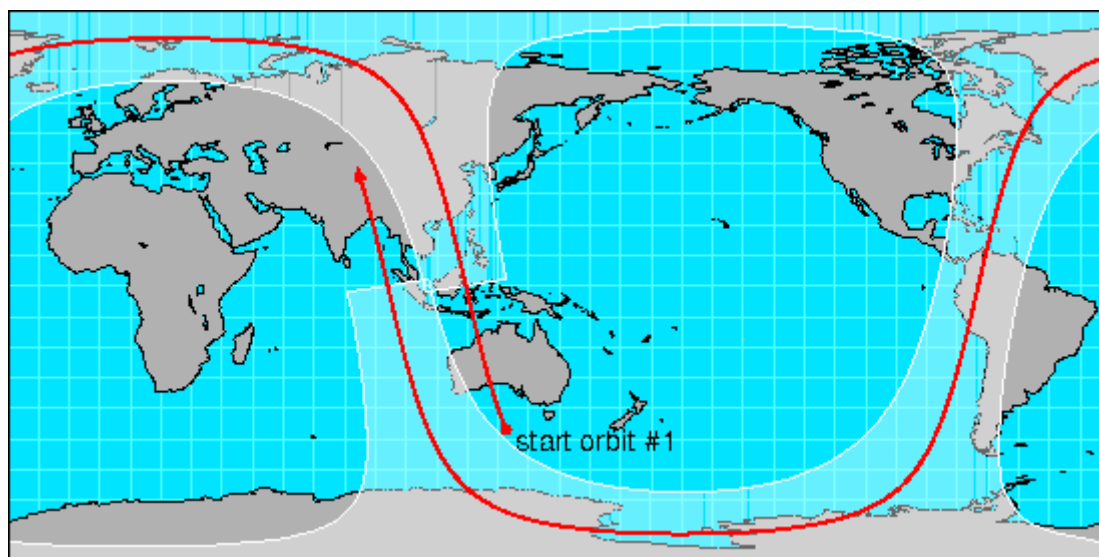
4.1.2. Δορυφόροι πολικής τροχιάς

Πολλές τηλεπισκοπικές πλατφόρμες σχεδιάζονται να ακολουθούν μια τροχιά (βόρεια-νότια) η οποία σε συνδυασμό με την περιστροφή της γης (δυτικά-ανατολικά), τους επιτρέπει να καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειάς της κατά τη διάρκεια μιας ορισμένης χρονικής περιόδου. Πρόκειται για τις ονομαζόμενες σχεδόν πολικές τροχιές (near-polar orbits). Οι δορυφόροι που διανύουν τέτοιου είδους τροχιές, περιστρέφονται γύρω από τη γη σε διαμήκη διεύθυνση περνώντας πάνω από τους πόλους, διατηρώντας τροχιακή κλίση περίπου 90^0 ως προς το επίπεδο του ισημερινού σε ύψος που κυμαίνεται από 700 έως 1700km.

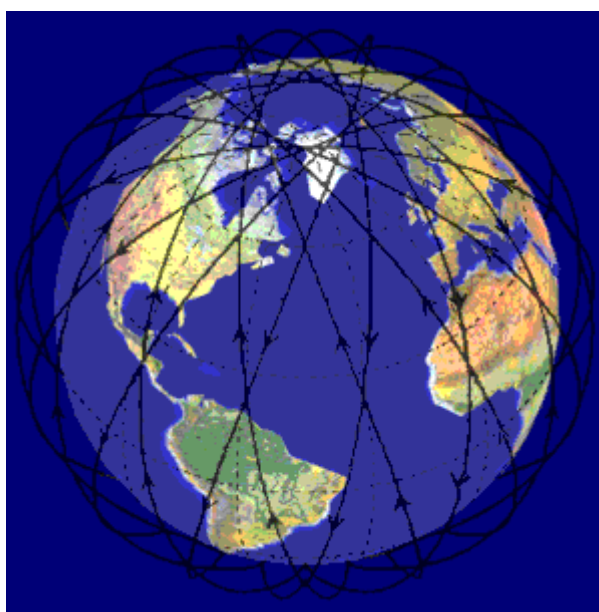


Σχήμα 4.2: Διαμήκης διάσχιση δορυφόρου πολικής τροχιάς

Εξαιτίας της περιστροφής της γης, χρησιμοποιώντας πλατφόρμες με πολικές ή σχεδόν πολικές τροχιές μπορούμε να συνδυάσουμε τα πλεονεκτήματα του χαμηλού ύψους τροχιάς και της παγκόσμιας κάλυψης. Το ίχνος στο έδαφος ενός τέτοιου δορυφόρου μετακινείται δυτικά μετά από κάθε τροχιακή περίοδο, λόγω της περιστροφής της γης. Η μετακίνηση αυτή του γεωγραφικού πλάτους αποτελεί συνάρτηση της τροχιακής περιόδου, η οποία για τροχιές χαμηλού ύψους είναι συνήθως μικρότερη από 2 ώρες.



Σχήμα 4.3: Χάρτης του ανιχνευόμενου μονοπατιού στο έδαφος κατά τη διάρκεια μιας πλήρους περιστροφής ενός δορυφόρου πολικής τροχιάς POES (Polar Orbiting Environmental Satellite)



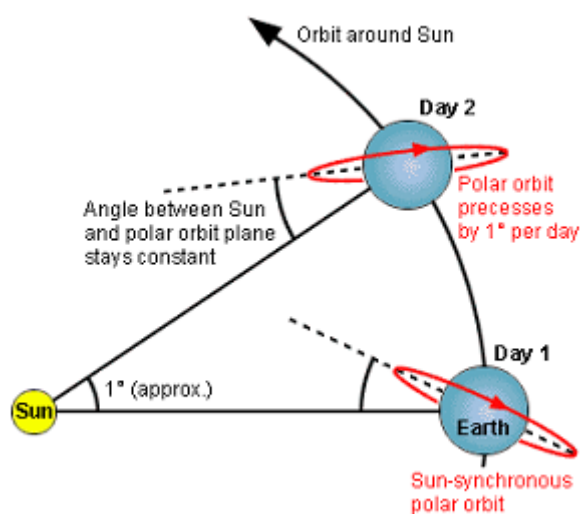
Σχήμα 4.4: Η τροχιά ενός σχεδόν πολικού δορυφόρου όπως μπορεί να παρατηρηθεί από ένα σημείο που περιστρέφεται με τη γη.

Βασιζόμενοι στο ανιχνευόμενο μονοπάτι του δορυφόρου, είναι δυνατό να ρυθμίσουμε την περίοδο τροχιάς (μεταβάλλοντας το τροχιακό ύψος) και κατά συνέπεια τη διαμήκη μετακίνηση του σημείου ανίχνευσης με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίσουμε την παρατήρηση οποιουδήποτε σημείου της γης μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Οι περισσότεροι σχεδόν πολικοί μετεωρολογικοί

δορυφόροι εξασφαλίζουν πλήρη παγκόσμια κάλυψη της γης μέσα σε μία ημέρα, σαρώνοντας ένα μονοπάτι ανίχνευσης της τάξης των 3300km.

4.1.2.1. Ηλιακά συγχρονισμένοι δορυφόροι πολικής τροχιάς

Πολλές φορές δορυφόροι πολικής τροχιάς ακολουθούν τροχιές, οι οποίες μπορεί να είναι επίσης ηλιακά συγχρονισμένες (sun-synchronous), με την έννοια ότι καλύπτουν κάθε περιοχή του κόσμου σε μια σταθερή τοπική ώρα της ημέρας, η οποία ονομάζεται τοπική ηλιακή ώρα. Σε κάθε δοσμένο γεωγραφικό πλάτος, η θέση του ηλίου στον ουρανό καθώς ο δορυφόρος περνάει από πάνω θα είναι η ίδια την ίδια εποχή. Το γεγονός αυτό εξασφαλίζει συνεχείς και αμετάβλητες συνθήκες φωτισμού, όταν λαμβάνονται εικόνες σε μια συγκεκριμένη εποχή κατά τη διάρκεια διαδοχικών χρόνων ή σε μια συγκεκριμένη περιοχή κατά τη διάρκεια μιας σειράς ημερών. Αυτός ο παράγοντας είναι πολύ σημαντικός για την ανίχνευση και παρακολούθηση αλλαγών μεταξύ των συλλεγόμενων εικόνων ή για τη συναρμολόγηση γειτονικών εικόνων μεταξύ τους, αφού δεν απαιτούνται διορθώσεις εξαιτίας διαφορετικών συνθηκών φωτισμού.



Σχήμα 4.5: Ηλιακά συγχρονισμένη τροχιά

Η συγκεκριμένη τροχιά σχεδιάζεται έτσι ώστε να διασφαλίζεται ότι η γωνία μεταξύ του τροχιακού επιπέδου και του ηλίου παραμένει σταθερή, οδηγώντας έτσι σε αμετάβλητες συνθήκες φωτισμού. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με μια προσεκτική επιλογή των παραμέτρων της τροχιάς ώστε να παραχθεί μια προπόρευση της τροχιάς ίση προς τη φαινομενική κίνηση του ήλιου ως προς τη γήινη τροχιά, για παράδειγμα

περίπου 1° ανατολικά κάθε ημέρα. Το τροχιακό επίπεδο του δορυφόρου πρέπει να αποκλίνει από την ακριβή πολική τροχιά από βορρά προς νότο. Με μια κλίση των $98,7^\circ$ ως προς το επίπεδο του ισημερινού, η ασύμμετρη βαρυτική έλξη της γης, προκαλεί την προπόρευση της τροχιάς κατά το απαιτούμενο ποσό. Το σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ότι σε κάθε μισό της διανυόμενης τροχιάς, ο δορυφόρος διασχίζει μια συγκεκριμένη γραμμή γεωγραφικού πλάτους την ίδια πάντα ηλιακή ώρα.

Η ηλιακά συγχρονισμένη τροχιά είναι εφικτή λόγω του γεγονότος ότι το σχήμα της γης δεν είναι απόλυτα σφαιρικό, έτσι οι τροχιές των δορυφόρων μπορούν να επηρεαστούν από την ασύμμετρη βαρυτική έλξη. Μια τροχιά η οποία είναι πολική θα επηρεαστεί από τη διόγκωση που παρουσιάζει η επιφάνεια της γης στην περιοχή κοντά στον ισημερινό. Η ασυμμετρία αυτή ενεργεί έτσι ώστε να περιστρέφει σταδιακά το επίπεδο της τροχιάς γύρω από τον άξονα της γης. Όταν η κλίση επιλεγεί κατάλληλα (περίπου 8° από την πολική τροχιά) η κίνηση του δορυφόρου ταιριάζει απόλυτα με την κίνηση του ήλιου στον ουρανό. Συνήθως, οι ηλιακά συγχρονισμένες τροχιές είναι τροχιές μεσαίου ή χαμηλού ύψους (700-1000km από την επιφάνεια της γης).

4.1.2.1.1. Πλεονεκτήματα της ηλιακά συγχρονισμένης τροχιάς

Το χαμηλό ύψος μιας ηλιακά συγχρονισμένης τροχιάς επιτρέπει καλή χωρική ανάλυση. Επιπλέον διευκολύνει τις ενεργές μετρήσεις με χρήση οργάνων ραντάρ ή lidar. Η κυκλική τροχιά οδηγεί σε σταθερή ταχύτητα του δορυφόρου, η οποία είναι πολύ σημαντική για την απόκτηση σταθερής ανάλυσης ανίχνευσης κατά μήκος του ανιχνευόμενου μονοπατιού στο έδαφος. Η σχεδόν πολική τροχιά επιτρέπει παγκόσμια κάλυψη για την παρατήρηση ολόκληρης της γης. Ύψη τροχιάς που κυμαίνονται από 700 έως 900km, επιτρέπουν τόσο τη σάρωση ενός αρκετά μεγάλου μονοπατιού, προσφέροντας καθημερινή παγκόσμια κάλυψη όσο και μια καλή χωρική ανάλυση. Σε αρκετές από τις αποστολές περιβαλλοντικής παρακολούθησης χρησιμοποιούνται ηλιακά συγχρονισμένοι δορυφόροι με χαμηλές σχεδόν πολικές τροχιές, όπως οι μετεωρολογικοί δορυφόροι NOAA καθώς και οι δορυφόροι Landsat, SPOT και ERS.

Ο ηλιακός συγχρονισμός παρέχει χρονικά σταθερές συνθήκες φωτισμού για τις παρατηρούμενες επιφάνειες, ενώ μια πολύ ενδιαφέρουσα ιδιότητα είναι η σχεδόν σταθερή αναλογία της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στο δορυφόρο σε κάθε τροχιά, με την οποία επιτυγχάνεται σχεδόν σταθερή τροφοδοσία ηλιακής ενέργειας για τη δορυφορική πλατφόρμα.

4.1.2.1.2. Περιορισμοί για την ηλιακά συγχρονισμένη τροχιά

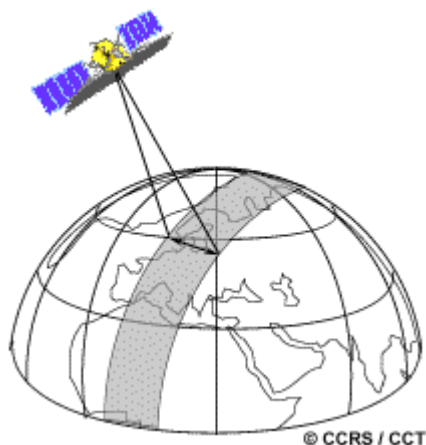
Με τη χρήση ενός μόνο ηλιακά συγχρονισμένου δορυφόρου δεν είναι εφικτή η συνεχής χρονική παρακολούθηση. Ο δορυφόρος περνά από τις πολικές περιοχές σε κάθε τροχιακή περίοδο, αλλά σαρώνει τις περιοχές του ισημερινού σε πολύ πιο αραιά διαστήματα. Η δυσκολία αυτή θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί με τη χρήση μιας ομάδας τέτοιων δορυφόρων, όμως προς το παρόν το ενδεχόμενο αυτό είναι πιθανό μόνο για τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές και όχι για περιβαλλοντική παρακολούθηση.

Στον επόμενο πίνακα συνοψίζονται ορισμένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τόσο των γεωστατικών όσο και των πολικών τροχιών.

Γεωστατική τροχιά Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα	Πολική τροχιά Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα
<i>Οι πολικές περιοχές δεν μπορούν να παρατηρηθούν.</i>	Παγκόσμια κάλυψη
Ο δορυφόρος είναι μόνιμα ορατός από όλα τα σημεία της γης. Επιτυγχάνεται δειγματοληψία τόσο συχνά όσο επιτρέπει η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία, έτσι καθίσταται δυνατή η παρακολούθηση ραγδαία εξελισσόμενων φαινομένων.	<i>Δεν είναι εφικτή η συνεχής παρακολούθηση. Κάθε σημείο πάνω στην επιφάνεια της γης σαρώνεται στην καλύτερη περίπτωση μία φορά σε κάθε τροχιά (περίπου κάθε 100 λεπτά) για τις πολικές περιοχές και στη χειρότερη περίπτωση δύο φορές την ημέρα για την περιοχή κοντά στον ισημερινό.</i>
<i>Χαμηλή χωρική ανάλυση. Η τροχιά μεγάλου ύψους επιτρέπει στην</i>	Καλή χωρική ανάλυση, λόγω του χαμηλού ύψους της διανυόμενης

καλύτερη περίπτωση ανάλυση 1km, με την παρούσα τεχνολογία.	τροχιάς.
Μετρήσεις στην ορατή περιοχή του φάσματος είναι εφικτές μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας, με γρήγορες μεταβολές των συνθηκών φωτισμού.	Αμετάβλητες συνθήκες φωτισμού για τις παρατηρούμενες επιφάνειες, με μόνο κάποιες εποχιακές μεταβολές.
Χαμηλή τροφοδοσία ισχύος κατά τις περιόδους εκλείψεων κατά το φθινόπωρο και την άνοιξη.	Αμετάβλητη και συνεχής τροφοδοσία ηλιακής ενέργειας, λόγω του ηλιακού συγχρονισμού.
Μόνο ένας επίγειος σταθμός απαιτείται για τη δορυφορική παρακολούθηση.	Η συνεχής δορυφορική παρακολούθηση απαιτεί αρκετούς επίγειους σταθμούς.

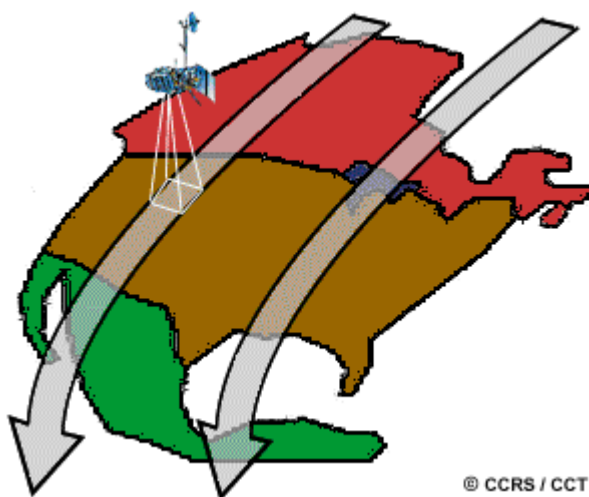
4.2. Ανιχνεύόμενα μονοπάτια



Καθώς ο δορυφόρος περιστρέφεται γύρω από τη γη, ο αισθητήρας “βλέπει” ένα συγκεκριμένο τμήμα της γήινης επιφάνειας. Η περιοχή που σαρώνεται και απεικονίζεται πάνω στην επιφάνεια της γης, αναφέρεται ως ανιχνευόμενο μονοπάτι. Τα απεικονιζόμενα μονοπάτια για τους αισθητήρες που βρίσκονται τοποθετημένοι σε δορυφορικές πλατφόρμες γενικά ποικίλουν σε πλάτος και μπορεί να κυμαίνονται από μερικές δεκάδες έως μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα.

Καθώς ο δορυφόρος περιστρέφεται γύρω από τη γη και με κατεύθυνση από πόλο σε πόλο, η θέση του και επομένως και το ίχνος του στην επιφάνεια της γης δε θα μεταβαλλόταν, εάν η γη δεν περιστρεφόταν κάτω από αυτόν. Ακριβώς όμως λόγω της περιστροφής της γης δυτικά προς ανατολικά, φαίνεται από ένα παρατηρητή στη γη ότι ο δορυφόρος μετακινείται δυτικά. Αυτή η φαινομενική κίνηση του δορυφόρου επιτρέπει την κάλυψη μιας καινούριας περιοχής σε κάθε διαδοχικό πέρασμα. Η

διανυόμενη τροχιά από το δορυφόρο σε συνδυασμό με την περιστροφή της γης, οδηγούν σε πλήρη κάλυψη της επιφάνειας της γης μετά τη συμπλήρωση ενός πλήρους κύκλου τροχιών.

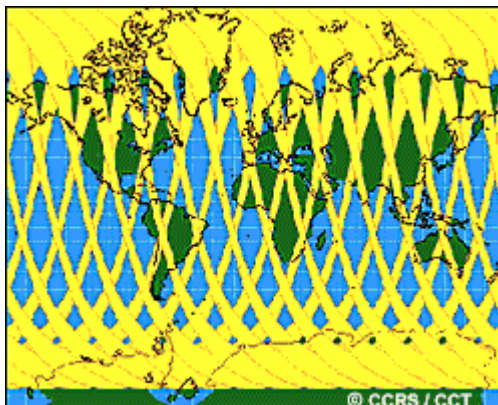


Σχήμα 4.6: Διαδοχικές σαρώσεις δορυφόρου

Εάν ξεκινήσουμε από ένα τυχαίο σημείο σάρωσης στην τροχιά ενός δορυφόρου, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ένας κύκλος τροχιάς θα συμπληρωθεί όταν ο δορυφόρος ξανασαρώσει το ίδιο μονοπάτι, περνώντας πάνω από το ίδιο αρχικό σημείο στην επιφάνεια της γης, ακριβώς κάτω από το δορυφόρο (σημείο ναδύρ) για δεύτερη φορά. Το ακριβές διάστημα που απαιτείται για τη συμπλήρωση ενός πλήρους κύκλου τροχιάς ποικίλει ανάλογα με το δορυφόρο. Το χρονικό αυτό διάστημα δεν ταυτίζεται με την περίοδο επαναπροσέγγισης κάποιας περιοχής (revisit period).

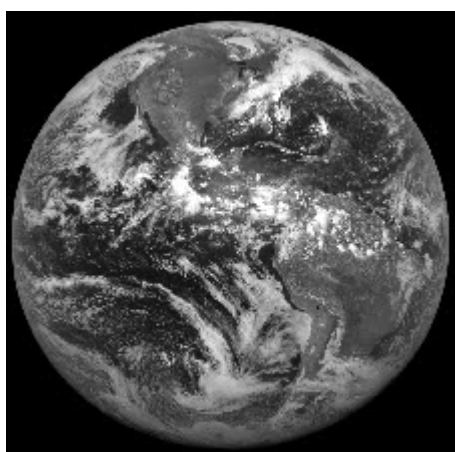
Υπάρχουν δορυφορικοί αισθητήρες οι οποίοι μπορούν να κατευθύνουν το πεδίο παρατήρησής τους έτσι ώστε να παρατηρούν μια περιοχή που βρίσκεται εκτός του σημείου ναδύρ του δορυφόρου, δηλαδή λίγο πριν και λίγο μετά το πέρασμα της τροχιάς πάνω από το στόχο. Στην περίπτωση αυτή, ο χρόνος επαναπροσέγγισης είναι μικρότερος από το χρόνο συμπλήρωσης ενός πλήρους κύκλου τροχιάς. Ο χρόνος επαναπροσέγγισης αποτελεί ένα πολύ σημαντικό παράγοντα για ένα μεγάλο αριθμό εφαρμογών παρακολούθησης και ιδιαίτερα όταν απαιτείται συχνή λήψη εικόνων, όπως για παράδειγμα κατά την εξάπλωση μιας πετρελαιοκηλίδας στον ωκεανό ή για την παρακολούθηση της εξέλιξης και της έκτασης μιας καταστροφικής πλημμύρας. Στις σχεδόν πολικές τροχιές, όπως έχει ήδη ειπωθεί, περιοχές σε ψηλά γεωγραφικά πλάτη θα απεικονίζονται πιο συχνά λόγω της επικάλυψης των γειτονικών μονοπατιών

καθώς τα τροχιακά μονοπάτια είναι πλησιέστερα μεταξύ τους κοντά στις πολικές περιοχές.



Σχήμα 4.7: Συχνότερη επικάλυψη πολικών περιοχών από δορυφόρους πολικής τροχιάς

4.3. Δορυφόροι παρακολούθησης καιρικών φαινομένων



Η παρακολούθηση των καιρικών φαινομένων και η πρόβλεψή τους, αποτέλεσε μία από τις πρώτες πολιτικές εφαρμογές της δορυφορικής τηλεπισκόπησης με τη χρήση του πρώτου μετεωρολογικού δορυφόρου, του ονομαζόμενου TIROS-1 (Television and Infrared Observation Satellite – 1), ο οποίος εκτοξεύτηκε το 1960 από τις Ηνωμένες Πολιτείες. Η εκτόξευση του TIROS I (Television and InfraRed Observation Satellite) την 1^η Απριλίου του 1960, σήμανε την απαρχή μιας καινούριας τεχνολογικής περιόδου στην οποία ήταν πλέον δυνατή η παρακολούθηση των καιρικών συνθηκών και φαινομένων σε οποιοδήποτε σημείο της γης σε συνεχή βάση, από το διάστημα.

Αρκετοί άλλοι μετεωρολογικοί δορυφόροι εκτοξεύτηκαν κατά τη διάρκεια των επόμενων 5 χρόνων, σε σχεδόν πολικές τροχιές, παρέχοντας επαναλαμβανόμενη κάλυψη των παγκόσμιων καιρικών φαινομένων. Το 1966, η NASA (the U.S. National Aeronautics and Space Administration) έθεσε σε τροχιά το γεωστατικό δορυφόρο τεχνολογικών εφαρμογών ATS-1 (Applications Technology Satellite) ο οποίος παρείχε ημισφαιρικές εικόνες από την επιφάνεια της γης και παρακολούθηση της

νέφωσης κάθε μισή ώρα. Για πρώτη φορά, η ανάπτυξη και η κίνηση των καιρικών συστημάτων μπορούσε να παρατηρηθεί μηχανικά.

Σήμερα, αρκετές χώρες λειτουργούν μετεωρολογικούς δορυφόρους για την παρακολούθηση των καιρικών συνθηκών σε ολόκληρο τον κόσμο. Σε γενικές γραμμές, οι δορυφόροι αυτοί, χρησιμοποιούν αισθητήρες οι οποίοι παρέχουν χαμηλή χωρική ανάλυση, συγκρινόμενοι με συστήματα που χρησιμοποιούνται για την παρατήρηση του εδάφους, ενώ παρέχουν κάλυψη ευρέων περιοχών. Οι χρονικές αναλύσεις τους είναι συνήθως αρκετά υψηλές, παρέχοντας συχνές παρατηρήσεις της γήινης επιφάνειας, της ατμοσφαιρικής υγρασίας και της νέφωσης, με αποτέλεσμα να επιτρέπουν τη σχεδόν συνεχή παρακολούθηση των παγκόσμιων καιρικών συνθηκών και επομένως τη δυνατότητα πρόβλεψης. Ορισμένοι από τους περισσότερο αντιπροσωπευτικούς δορυφόρους που χρησιμοποιούνται για μετεωρολογικές εφαρμογές, περιγράφονται στη συνέχεια.

4.3.1. GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite)

Οι γεωστατικοί περιβαλλοντικοί δορυφόροι GOES αποτελούν την εξελιγμένη γενιά των δορυφόρων τεχνολογικών εφαρμογών ATS που αναφέρθηκαν παραπάνω. Σχεδιάστηκαν από τη NASA για την Εθνική Ωκεάνια και Ατμοσφαιρική Επιτροπή NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) ώστε να παρέχουν στην Εθνική Υπηρεσία Καιρού των Ηνωμένων Πολιτειών, συχνή, μικρής κλίμακας απεικόνιση της γήινης επιφάνειας και των συνθηκών νέφωσης. Οι δορυφόροι της σειράς GOES χρησιμοποιήθηκαν ευρέως από τους μετεωρολόγους για την παρακολούθηση των καιρικών φαινομένων και για την πρόβλεψη αυτών, για περισσότερα από 20 χρόνια. Οι δορυφόροι αυτοί αποτελούν μέρος ενός παγκόσμιου δικτύου περιβαλλοντικών δορυφόρων στα πλαίσια του οποίου είναι τοποθετημένοι διαδοχικά σε διαστήματα με γεωγραφικό μήκος 70° γύρω από τη γη, ώστε να παρέχουν σχεδόν παγκόσμια κάλυψη.

Πρόκειται για δύο δορυφόρους GOES οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε γεωστατικές τροχιές σε ύψος 3.600km πάνω από τον ισημερινό και από τους οποίους ο καθένας παρατηρεί περίπου το ένα τρίτο της γης. Ο πρώτος είναι τοποθετημένος σε γεωγραφικό μήκος 75° δυτικά και σαρώνει τη Βόρεια και Νότια Αμερική και το

μεγαλύτερο τμήμα του Ατλαντικού Ωκεανού. Ο δεύτερος είναι τοποθετημένος σε γεωγραφικό μήκος 135° δυτικά και σαρώνει τη Βόρεια Αμερική και τον Ειρηνικό Ωκεανό. Μαζί καλύπτουν την περιοχή με γεωγραφικό μήκος από 20° δυτικά έως 165° ανατολικά. Η παρακάτω εικόνα έχει ληφθεί από δορυφόρο GOES ο οποίος καλύπτει ένα τμήμα στα νοτιοανατολικά των Ηνωμένων Πολιτειών καθώς και τις γειτονικές ωκεάνιες περιοχές στις οποίες πολύ συχνά δημιουργούνται και εξελίσσονται ισχυρές θύελλες και καταιγίδες. Σε αυτήν απεικονίζεται ο τυφώνας Fran καθώς πλησιάζει το νοτιοανατολικό τμήμα των Ηνωμένων Πολιτειών και τις Μπαχάμες, το Σεπτέμβριο του 1996.



Σχήμα 4.8: Εικόνα του δορυφόρου GOES (τυφώνας Fran)

Μέχρι σήμερα έχουν χρησιμοποιηθεί δύο γενιές δορυφόρων GOES, στις οποίες καθένας από αυτούς πραγματοποιεί μετρήσεις της εκπεμπόμενης και της ανακλώμενης ακτινοβολίας, από τις οποίες μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την ατμοσφαιρική θερμοκρασία, τους ανέμους, την υγρασία και τη νέφωση. Η πρώτη γενιά δορυφόρων περιελάμβανε τους GOES-1 (εκτόξευση 1975) έως GOES-7 (εκτόξευση 1992). Λόγω του σχεδιασμού τους, αυτοί οι δορυφόροι είχαν την ικανότητα να παρατηρούν τη γη και να παρέχουν απεικονίσεις μόνο σε αραιά χρονικά διαστήματα.

Η δεύτερη γενιά δορυφόρων ξεκίνησε με τον GOES-8 (εκτόξευση 1994) και παρουσιάζει πολυάριθμες τεχνολογικές βελτιώσεις σε σχέση με την πρώτη σειρά. Οι δορυφόροι GOES δεύτερης γενιάς, παρέχουν σχεδόν συνεχή παρακολούθηση της γης επιτρέποντας πιο συχνή απεικόνιση-περίπου κάθε 15 λεπτά. Αυτή η σημαντική αύξηση στη χρονική ανάλυση συνδυάστηκε με βελτιώσεις στη χωρική και

ραδιομετρική ανάλυση των αισθητήρων με αποτέλεσμα να παρέχεται έγκαιρη πληροφορία και βελτιωμένη ποιότητα στοιχείων για την πρόβλεψη των μετεωρολογικών συνθηκών.

Ο δορυφόρος GOES-8 και οι άλλοι δορυφόροι δεύτερης γενιάς έχουν ξεχωριστά απεικονιστικά και ηχοβολιστικά όργανα. Το απεικονιστικό όργανο έχει 5 κανάλια για την ανίχνευση της ορατής και της υπέρυθρης ανακλώμενης και εκπεμπόμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Η δυνατότητα ανίχνευσης στην υπέρυθρη περιοχή επιτρέπει τη συλλογή εικόνων τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και κατά τη διάρκεια της νύχτας. Ο κατάλληλος προσανατολισμός του αισθητήρα και η δυνατότητα επιλογής ανίχνευσης επιτρέπουν την απεικόνιση ενός ολόκληρου ημισφαιρίου ή επιλεγμένων περιοχών με απεικονίσεις μικρότερης κλίμακας. Η δυνατότητα αυτή διευκολύνει τους μετεωρολόγους στην παρακολούθηση συγκεκριμένων σημείων όπου εκδηλώνονται επικίνδυνα καιρικά φαινόμενα και επομένως στη βελτιωμένη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη. Τα στοιχεία που λαμβάνονται από τον συγκεκριμένο απεικονιστή-αισθητήρα (imager) έχουν ραδιομετρική ανάλυση 10-bit και μπορούν να μεταδοθούν απευθείας σε τοπικά τερματικά χρηστών στην επιφάνεια της γης.

Η ηχοβολιστική συσκευή (sounder) περιλαμβάνει 19 κανάλια και μετράει την εκπεμπόμενη ακτινοβολία σε 18 θερμικά υπέρυθρα κανάλια και την ανακλώμενη ακτινοβολία σε ένα ορατό κανάλι. Τα στοιχεία που λαμβάνονται έχουν χωρική ανάλυση 8km και ραδιομετρική ανάλυση 13-bit. Η πληροφορία που λαμβάνεται από την ηχοβολιστική συσκευή χρησιμοποιείται για υπολογισμό θερμοκρασιών στην επιφάνεια και στην κορυφή των σύννεφων, του περιεχομένου υγρασίας στα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας και για ανάλυση της κατανομής του όζοντος.

4.3.2. Δορυφόροι NOAA

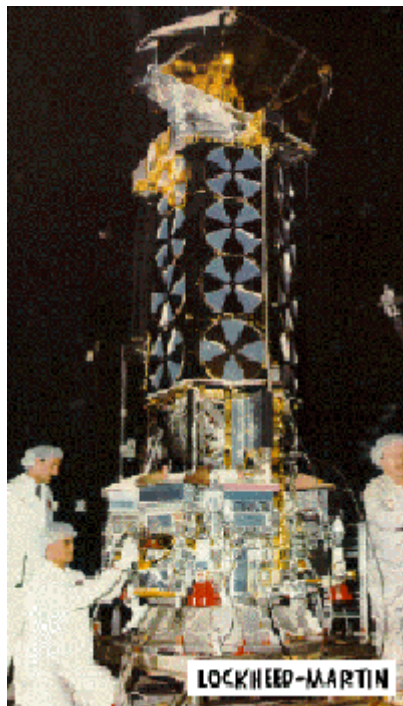
Η Επιτροπή NOAA είναι υπεύθυνη για μια άλλη σειρά δορυφόρων, οι οποίοι είναι επίσης χρήσιμοι για μετεωρολογικούς σκοπούς μεταξύ άλλων εφαρμογών. Από το 1978, η NASA κατασκεύασε δορυφόρους περιβαλλοντικής παρακολούθησης με πολικές τροχιές για την Εθνική Ωκεάνια και Ατμοσφαιρική Επιτροπή NOAA, οι οποίοι κουβαλούν όργανα για την παρακολούθηση της γης και παρέχουν παγκόσμια

στοιχεία για τις απαιτήσεις της NOAA, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες μετεωρολογικές προβλέψεις.

Τα διαστημικά αυτά σκάφη παρακολουθούν ολόκληρη τη γη, παρέχοντας ατμοσφαιρικές μετρήσεις της θερμοκρασίας, της υγρασίας, του όζοντος όπως και εικόνες των νεφών, καθώς ανιχνεύουν τα μετεωρολογικά μοντέλα που επηρεάζουν τις παγκόσμιες καιρικές συνθήκες και το κλίμα. Οι δορυφόροι αυτοί, στέλνουν εκατομμύρια μετρήσεις από όλο τον πλανήτη στο σταθμό συλλογής στοιχείων και κέντρο επεξεργασίας αυτών της NOAA, προσθέτοντας πολύτιμες πληροφορίες στα υπάρχοντα μοντέλα καιρικών προβλέψεων και ιδιαίτερα για τις ωκεάνιες περιοχές για τις οποίες δεν μπορούν να συλλεχθούν επαρκή στοιχεία από τους συμβατικούς επίγειους σταθμούς.

Οι δορυφόροι αυτοί διατηρούν ηλιακά συγχρονισμένες, σχεδόν πολικές τροχιές σε ύψη 830-870km πάνω από την επιφάνεια της γης και αποτελούν μέρος της εξελιγμένης σειράς δορυφόρων TIROS. Παρέχουν πληροφορία συμπληρωματική ως προς αυτή των γεωστατικών μετεωρολογικών δορυφόρων, όπως είναι οι GOES. Έτσι, ενώ οι δορυφόροι GOES παρέχουν βραχυπρόθεσμα στοιχεία από την περιοχή των Ηνωμένων Πολιτειών και τη Χαβάη στους επιστήμονες της NOAA που ασχολούνται με τις μετεωρολογικές προβλέψεις, τα διαστημικά σκάφη πολικής τροχιάς παρέχουν πλήρη παγκόσμια στοιχεία τόσο για βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα μοντέλα προβλέψεων καθώς και για μοντελοποίηση κλιματολογικών φαινομένων. Συνήθως, οι μετεωρολογικοί δορυφόροι της NOAA χρησιμοποιούνται δύο-δύο, καθένας παρέχει παγκόσμια κάλυψη και λειτουργούν έτσι ώστε να συνεργάζονται μεταξύ τους, προκειμένου να εξασφαλίσουν ότι η συλλεγόμενη πληροφορία από οποιαδήποτε περιοχή δεν είναι παλαιότερη των 6 ωρών. Ο ένας δορυφόρος περνάει από τον ισημερινό νωρίς το πρωί με κατεύθυνση βόρεια προς νότια σε ύψος 833km, ενώ ο άλλος περνάει από τον ισημερινό το απόγευμα σε ύψος 870km.

Οι εξελιγμένοι δορυφόροι TIROS-N αποτελούν την πιο πρόσφατη γενιά δορυφόρων της NOAA που χρησιμοποιούνται για την παροχή μετρήσεων της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και υγρασίας, της επιφανειακής θερμοκρασίας, της νέφωσης καθώς και των ροών φωτονίων και ηλεκτρονίων στο διάστημα. Στο ωφέλιμο φορτίο των δορυφόρων αυτών περιλαμβάνονται το εξελιγμένο ραδιόμετρο πολύ υψηλής ανάλυσης AVHRR, το οποίο χρησιμοποιείται τόσο για μετεωρολογικούς σκοπούς όσο και για μικρής κλίμακας περιβαλλοντική παρακολούθηση καθώς και ο ανιχνευτής του διαστημικού περιβάλλοντος, που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των ηλιακών φωτονίων, των θετικών ιόντων, της πυκνότητας ηλεκτρονιακής ροής και του ενεργειακού φάσματος στο διάστημα.



4.3.3. DMSP δορυφόροι

Οι Ηνωμένες Πολιτείες έχουν θέσει σε λειτουργία μία ακόμη σειρά δορυφόρων, τους DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) οι οποίοι επίσης χρησιμοποιούνται για παρακολούθηση καιρικών φαινομένων. Κάθε δορυφόρος DMSP διατηρεί μια ηλιακά συγχρονισμένη σχεδόν πολική τροχιά με περίοδο 101 λεπτών και σε ύψος 830km πάνω από την επιφάνεια της γης. Συμπληρώνοντας 14 πλήρεις τροχιές κάθε μέρα οι συγκεκριμένοι δορυφόροι παρέχουν μια παγκόσμια κάλυψη της γης, τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και κατά τις νυχτερινές ώρες.

Ο βασικός αισθητήρας των δορυφόρων αυτών είναι ένα ταλαντούμενο ανιχνευτικό ραδιόμετρο, το ονομαζόμενο OLS (Operational Linescan System), το οποίο παρέχει παγκόσμια κάλυψη με πλάτος ανιχνευόμενου μονοπατιού 3000km και χωρική ανάλυση 2,7km. Χρησιμοποιεί δύο σχετικά μεγάλου εύρους φασματικά κανάλια: ένα στην ορατή και εγγύς υπέρυθρη περιοχή (0,4 έως 1,1μm) και ένα στη θερμική υπέρυθρη περιοχή (10,0 έως 13,4μm). Ένα από τα πιο ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά του αισθητήρα αυτού, είναι η ικανότητά του να λαμβάνει απεικονίσεις κατά τις νυχτερινές ώρες στην ορατή περιοχή υπό συνθήκες πολύ

χαμηλού φωτισμού. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ενός φωτοπολλαπλασιαστικού σωλήνα ώστε να ενισχυθεί το λαμβανόμενο σήμα στο ορατό κανάλι. Ο σκοπός της ενίσχυσης αυτής είναι η παρατήρηση των σύννεφων, όπως αυτά φωτίζονται από το σεληνόφως.



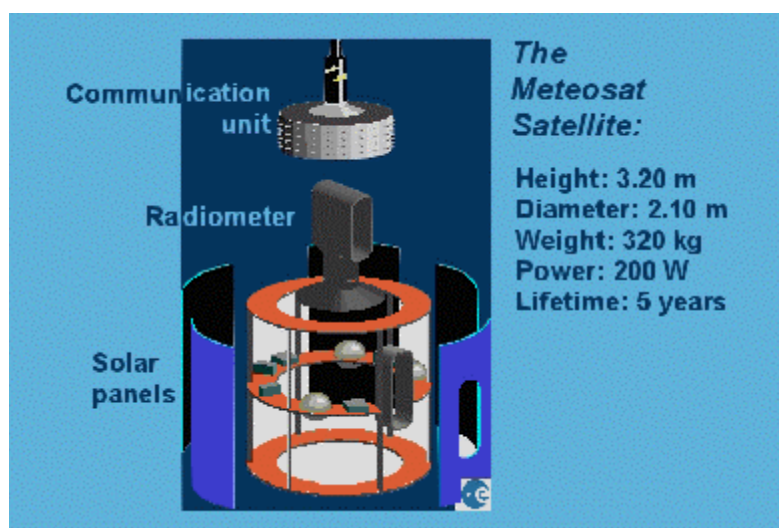
Σχήμα 4.9: Δορυφόρος DMSP

4.3.4. Άλλοι μετεωρολογικοί δορυφόροι

Υπάρχουν αρκετοί ακόμη μετεωρολογικοί δορυφόροι σήμερα σε τροχιά, οι οποίοι έχουν εκτοξευθεί και τεθεί σε λειτουργία από άλλες χώρες ή ομάδες χωρών. Έτσι, οι Ευρωπαίοι βλέποντας την επιτυχία των Αμερικανικών μετεωρολογικών δορυφόρων, ξεκίνησαν το δικό τους πρόγραμμα τη δεκαετία 1970, με τους μετεωρολογικούς δορυφόρους Meteosat. Οι δορυφόροι Meteosat, σήμερα, λειτουργούν υπό την ευθύνη του οργανισμού Eumetsat, ο οποίος αποτελείται από 16 Ευρωπαϊκά κράτη.

Πρόκειται για δορυφόρους που διατηρούν γεωστατικές τροχιές σε ύψη περίπου 36.000km, καθένας από αυτούς μπορεί να παρατηρήσει το 45% της γήινης επιφάνειας και μπορεί να παρέχει απεικονίσεις στην ορατή και υπέρυθρη περιοχή. Το κύριο ωφέλιμο φορτίο του Meteosat είναι το ραδιόμετρο, ένα όργανο το οποίο είναι ευαίσθητο στη ορατή και τη θερμική ακτινοβολία των διαφορετικών φασματικών ζωνών. Το ραδιόμετρο σαρώνει τη γήινη επιφάνεια σε γραμμές. Κάθε τέτοια γραμμή αποτελείται από μια ομάδα pixel. Για κάθε pixel, το ραδιόμετρο μετράει την ακτινοβολούμενη ενέργεια των διαφορετικών φασματικών ζωνών, οπότε η μέτρηση αυτή κωδικοποιείται και μεταδίδεται στον επίγειο σταθμό. Μετά τη λήψη των δεδομένων από τον επίγειο σταθμό και την επεξεργασία τους, η απεικονιστική πληροφορία αναμεταδίδεται από τον Meteosat και μπορεί να ληφθεί από ειδικούς

σταθμούς χρηστών. Πολλοί μετεωρολόγοι βασίζουν τις μελέτες και τις προβλέψεις τους σε αυτή τη σχεδόν πραγματικού χρόνου λήψη των λαμβανομένων εικόνων από το δορυφόρο Meteosat.



Σχήμα 4.10: Δορυφόρος Meteosat

Οι γεωστατικοί μετεωρολογικοί δορυφόροι GSM (Geostationary Meteorological Satellite) σχεδιάστηκαν προκειμένου να συνεισφέρουν στη βελτίωση των Ιαπωνικών μετεωρολογικών υπηρεσιών και στην ανάπτυξη της τεχνολογίας των μετεωρολογικών δορυφόρων. Ο πρώτος δορυφόρος GSM εκτοξεύτηκε στις 14 Ιουλίου του 1977, η πρώτη εικόνα της γης ελήφθη στις 8 Σεπτεμβρίου του 1977 και τελικά ο δορυφόρος GSM τέθηκε σε λειτουργία στις 4 Νοεμβρίου του ίδιου έτους, λαμβάνοντας μέρος στο παγκόσμιο πρόγραμμα παρακολούθησης του καιρού WWW (World Weather Watch). Οι δορυφόροι της ίδιας σειράς που ακολούθησαν ήταν οι GSM-2, 3, 4 και 5, οι οποίοι συνέχισαν στην ίδια αποστολή παρακολούθησης των μετεωρολογικών φαινομένων. Οι δορυφόροι αυτοί, διατηρούν γεωστατικές τροχιές σε γεωγραφικό μήκος 140° ανατολικά.



Σχήμα 4.11: Γεωστατικός δορυφόρος GSM

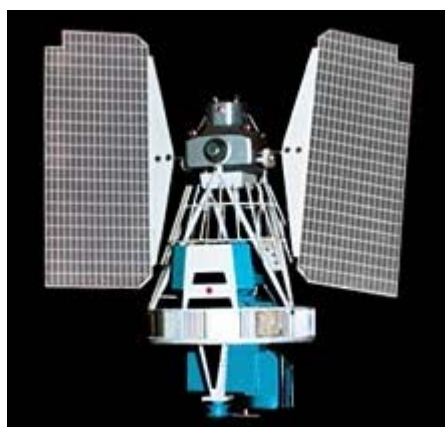
Οι δορυφόροι GSM χρησιμοποιούν ένα είδος παθητικού οπτικού αισθητήρα τον VISSR (Visible and Infrared Spin Scan Radiometer) ο οποίος περιλαμβάνει ένα ανιχνευτικό κάτοπτρο, ανακλαστήρες, οπτικούς φακούς καθώς και ορατούς και υπέρυθρους ανιχνευτές, οι οποίοι μετατρέπουν την ένταση του ανιχνευόμενου φωτός σε ηλεκτρικό σήμα. Ο αισθητήρας VISSR του GMS-5 έχει 4 φασματικές ζώνες, μία στην ορατή περιοχή (0,55-0,9 μm) και 3 στην υπέρυθρη περιοχή (10.5-11.5 μm , 11.5-12.5 μm , and 6.5-7.0 μm) και μπορεί να παρατηρήσει τις συνθήκες που επικρατούν στη γήινη επιφάνεια, την κατανομή των σύννεφων, όπως και μετεωρολογικά φαινόμενα και παράμετροι (τυφώνες, κίνηση αερίων μαζών, θερμοκρασία στη επιφάνεια της θάλασσας κ.λ.π.).

4.4. Δορυφόροι παρακολούθησης του εδάφους

4.4.1. Landsat

Αν και πολλά από τα μετεωρολογικά δορυφορικά συστήματα, όπως αυτά που μελετήσαμε παραπάνω, χρησιμοποιούνται και για την παρατήρηση της γήινης επιφάνειας, δεν μπορούν να παρέχουν βέλτιστη και λεπτομερή χαρτογράφηση και απεικόνιση της γήινης επιφάνειας του εδάφους. Ο πρώτος δορυφόρος που σχεδιάστηκε ειδικά για την παρατήρηση της γήινης επιφάνειας ήταν ο Landsat-1, ο οποίος εκτοξεύτηκε από τη NASA το 1972. Ο δορυφόρος Landsat σχεδιάστηκε για

τις ανάγκες ενός πειράματος που θα εξέταζε την ικανότητα συλλογής πολυφασματικών στοιχείων από παρατηρήσεις της γης από μια μη επανδρωμένη δορυφορική πλατφόρμα. Από την εποχή εκείνη, αυτό το ιδιαίτερα επιτυχημένο πρόγραμμα έχει συλλέξει πληθώρα στοιχείων σε παγκόσμιο επίπεδο μέσω αρκετών τέτοιων δορυφορικών πλατφορμών. Το πρόγραμμα Landsat αρχικά ήταν υπό την ευθύνη της NASA, ενώ αργότερα το 1983 άρχισε να ελέγχεται και να καθοδηγείται από τη NOAA. Από το έτος 1985, το πρόγραμμα εμπορευματοποιήθηκε, παρέχοντας πληροφορίες σε πολίτες και σε χρήστες αντίστοιχων εφαρμογών.



Σχήμα 4.12: Δορυφόρος Landsat

Η επιτυχία του Landsat οφείλεται σε αρκετούς παράγοντες, ανάμεσα στους οποίους περιλαμβάνονται: ο συνδυασμός αισθητήρων με φασματικές ζώνες κατάλληλες για την παρακολούθηση της γης, παροχή της απαραίτητης χωρικής ανάλυσης και ικανοποιητική κάλυψη ανιχνευόμενης περιοχής τόσο σε ό,τι αφορά το πλάτος ανιχνευόμενου μονοπατιού όσο και την περίοδο επαναπροσέγγισης. Η μεγάλη διάρκεια ζωής του προγράμματος αυτού έχει αποδώσει ένα ιδιαίτερα ογκώδες αρχείο στοιχείων σχετικών με τον πλανήτη μας, το οποίο διευκολύνει την ιστορική καταγραφή των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα σε αυτόν, την μακροχρόνια παρατήρηση και την έρευνα.

Οι δορυφόροι Landsat τοποθετούνται σε σχεδόν πολικές ηλιακά συγχρονισμένες τροχιές. Οι πρώτοι 3 δορυφόροι (Landsat 1-3) βρίσκονται σε ύψος 900km περίπου και έχουν περιόδους επαναπροσέγγισης 18 ημερών, ενώ οι πιο σύγχρονοι δορυφόροι της ίδιας σειράς, βρίσκονται σε ύψος 700km και έχουν περίοδο

επαναπροσέγγισης 16 ημερών. Όλοι οι δορυφόροι Landsat διασχίζουν τον ισημερινό κατά τις πρωινές ώρες, ώστε να βελτιστοποιούν τις συνθήκες φωτισμού.

Ο πρώτος δορυφόρος Landsat 1 μετέφερε μια τηλεοπτική κάμερα και έναν πειραματικό αισθητήρα, τον ονομαζόμενο πολυφασματικό ανιχνευτή MSS (Multispectral scanner). Η χρησιμότητα του αισθητήρα αυτού αναγνωρίστηκε τόσο γρήγορα και αποδείχτηκε τόσο πολύτιμος που αποτέλεσε μέρος των ωφέλιμων φορτίων και των επόμενων 4 δορυφόρων Landsat που τέθηκαν αργότερα σε τροχιά. Ο δορυφόρος Landsat 4 κουβαλούσε έναν καινούριο αισθητήρα, το θεματικό χαρτογράφο TM (Thematic Mapper) και εγκαινίασε μια δεύτερη γενιά τηλεπισκοπικών δορυφόρων, όταν εκτοξεύτηκε στις 16 Ιουλίου του 1982. Ο θεματικός χαρτογράφος ήταν σημαντικά βελτιωμένος συγκρινόμενος με τον αρχικό αισθητήρα, παρέχοντας μεγαλύτερη ανάλυση στην ορατή και εγγύς υπέρυθρη περιοχή (30m έναντι 80m), 3 επιπλέον φασματικά κανάλια (συνολικά 7 κανάλια έναντι 4 καναλιών) και αύξηση στον αριθμό των ανιχνευτών ανά φασματική ζώνη. Ένας δεύτερος θεματικός χαρτογράφος χρησιμοποιήθηκε στον Landsat 5, ο οποίος σήμερα παραμένει σε λειτουργία. Ο δορυφόρος 6 δεν κατάφερε να τεθεί σε τροχιά μετά την εκτόξευσή του.

Ο Landsat 7 εκτοξεύτηκε το 1999 και είναι εφοδιασμένος με τον Επαυξημένο θεματικό χαρτογράφο ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), ο οποίος παρέχει τη μοναδική ικανότητα να παρακολουθεί εποχιακά τις διαδικασίες μικρής κλίμακας που λαμβάνουν χώρα σε παγκόσμιο επίπεδο, όπως τον ετήσιο κύκλο ανάπτυξης της βλάστησης, την εκχέρσωση, τη γεωργική εκμετάλλευση της γης, τη διάβρωση καθώς και άλλες μορφές υποβιβασμού του εδάφους, τη συσσώρευση πάγων, την τήξη των πάγων και τη συσχετιζόμενη αναπλήρωση των αποθεμάτων πόσιμου νερού καθώς και την αστικοποίηση.

Για περισσότερα από 25 χρόνια η αποστολή των δορυφόρων Landsat παρείχε λεπτομερείς παρατηρήσεις σχετικά με την επιφάνεια του πλανήτη μας. Εκτιμήσεις σχετικές με τη γεωργία και με την παράκτια ζώνη, καταγραφή δασικών πυρκαγιών, γεωλογικές παρακολουθήσεις, εκτιμήσεις αποθεμάτων νερού και πολλές ακόμη εφαρμογές έχουν πραγματοποιηθεί με χρήση πληροφορίας από τους Landsat, ώστε να

ικανοποιηθούν οι ανάγκες της οικονομίας, των κυβερνήσεων, της επιστήμης και της εκπαίδευσης.

4.4.2. SPOT (Système Pour l'Observation de la Terre)



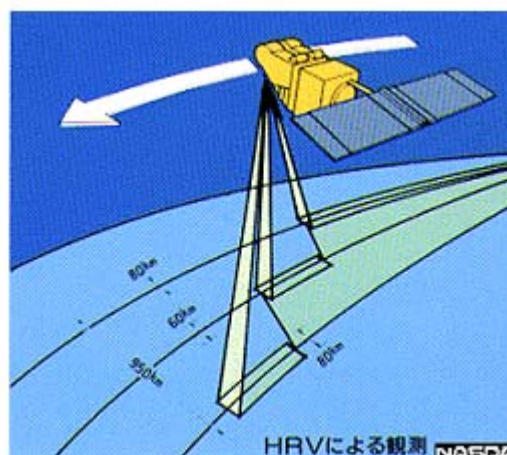
Σχήμα 4.13: Δορυφόρος SPOT

Το σύστημα για την παρατήρηση της γης SPOT αποτελείται από μια σειρά απεικονιστικών δορυφόρων για την παρατήρηση της γης που σχεδιάστηκε από το εθνικό κέντρο χωρικών μελετών της Γαλλίας, με την υποστήριξη της Σουηδίας και του Βελγίου. Ο δορυφόρος SPOT-1 εκτοξεύτηκε το 1986, ενώ κάθε 3 ή 4 χρόνια ακολουθούσαν τα μεταγενέστερα μοντέλα. Όλοι οι δορυφόροι SPOT διατηρούν ηλιακά συγχρονισμένες σχεδόν πολικές τροχιές σε ύψη 830km περίπου πάνω από τη γη, με αποτέλεσμα η τροχιά να επαναλαμβάνεται κάθε 26 ημέρες, ενώ διασχίζουν τον ισημερινό στις 10:30 π.μ. περίπου, σε τοπική ηλιακή ώρα. Ο δορυφόρος SPOT σχεδιάστηκε για να γίνει ένας εμπορικός προμηθευτής πληροφοριών που λαμβάνονται μέσω τηλεπισκοπικής παρακολούθησης της γης και ήταν ο πρώτος δορυφόρος που χρησιμοποίησε την τεχνική της ανίχνευσης κατά μήκος της τροχιάς.

Καθένας από τους δορυφόρους SPOT έχει δύο όμοια υψηλής ανάλυσης ορατά απεικονιστικά συστήματα HRV (High Resolution Visible), τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν είτε ανεξάρτητα είτε ταυτόχρονα. Κάθε τέτοιο όργανο μπορεί να ανιχνεύει είτε σε λειτουργία ενός πανχρωματικού καναλιού υψηλής ανάλυσης είτε σε λειτουργία 3 πολυφασματικών καναλιών μέτριας ανάλυσης. Κάθε HRV αισθητήρας ανίχνευσης κατά μήκος της τροχιάς αποτελείται από 4 γραμμικές σειρές ανιχνευτών. Το πλάτος του ανιχνευόμενου μονοπατιού και για τις 2 λειτουργίες είναι 60km στο σημείο ναδύρ του διαστημικού σκάφους. Στον επόμενο πίνακα απεικονίζονται τα φασματικά χαρακτηριστικά των δύο διαφορετικών λειτουργιών.

Φασματικά εύρη των 2 λειτουργιών του HRV	
Λειτουργία/Κανάλια	Εύρος μηκών κύματος (nm)
Πανχρωματική (PLA) :	0,51-0,73 (μπλε-πράσινο-κόκκινο)
Πολυφασματική (MLA) :	
Κανάλι 1:	0,50-0,59 (πράσινο)
Κανάλι 2:	0,61-0,68 (κόκκινο)
Κανάλι 3:	0,79-0,89 (εγγύς υπέρυθρο)

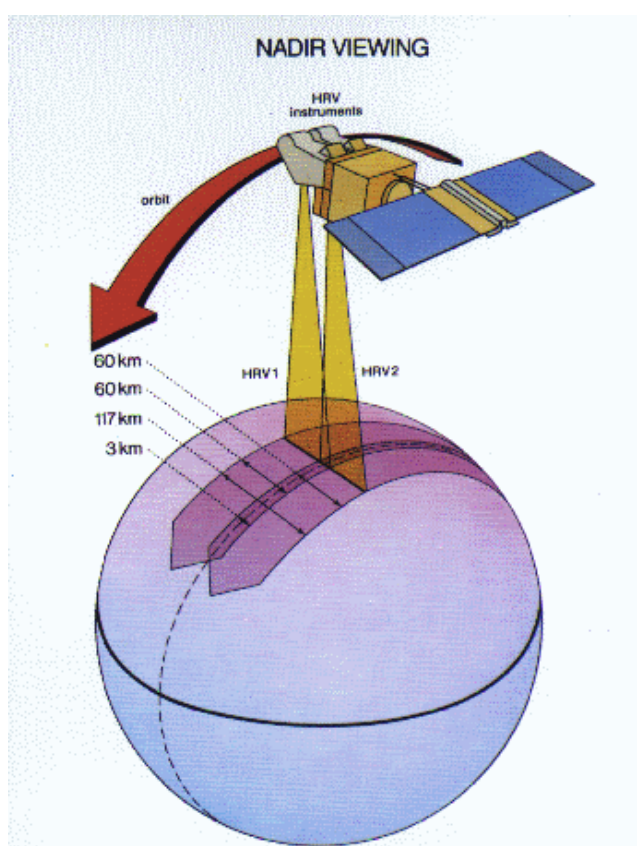
Η γωνία ανίχνευσης των αισθητήρων μπορεί να ρυθμιστεί ώστε αυτοί να μπορούν να ανιχνεύουν και στις δύο πλευρές δεξιά και αριστερά από το κάθετο ίχνος του δορυφόρου (σημείο ναδίρ), επιτρέποντας με τον τρόπο αυτό ανίχνευση εκτός του σημείου ναδίρ και τελικά αύξηση της ικανότητας επαναπροσέγγισης των στόχων. Η ικανότητα αυτή να "στοχεύουν" οι αισθητήρες σε γωνία μέχρι και 27° από το σημείο ναδίρ, επιτρέπει στο δορυφόρο SPOT να παρακολουθεί τη γη μέσω ενός μονοπατιού 950km και να επαναπροσεγγίζει οποιαδήποτε τοποθεσία αρκετές φορές μέσα σε μία εβδομάδα.



Σχήμα 4.14: Ανιχνευτική πορεία του HRV

Καθώς οι αισθητήρες στοχεύουν σε σημεία πέρα από το ναδίρ, το πλάτος του ανιχνευόμενου μονοπατιού ποικίλει από 60 έως 80km. Με τον τρόπο αυτό όχι μόνο αυξάνεται η ικανότητα του συγκεκριμένου δορυφόρου να παρακολουθήσει ειδικά σημεία στο έδαφος της γης και η πιθανότητα να ληφθούν σκηνές από την επιφάνεια της γης χωρίς την παρεμβολή σύννεφων, αλλά επιπλέον η πλάγια παρατήρηση παρέχει τη δυνατότητα απόκτησης εικόνων για στερεοσκοπική κάλυψη. Παρακολουθώντας την ίδια περιοχή από δύο διαφορετικές γωνίες, η προκύπτουσα απεικόνιση μπορεί να αναλυθεί ως ένα τρισδιάστατο μοντέλο, πρόκειται για μια τεχνική τεράστιας αξίας για την ερμηνεία του εδάφους, τη χαρτογράφηση και τις οπτικές αναπαραστάσεις των εδαφικών χαρακτηριστικών.

Αυτή η ικανότητα πλάγιας παρατήρησης (oblique viewing) αυξάνει τη συχνότητα επαναπροσέγγισης των περιοχών του ισημερινού σε 3 ημέρες (7 φορές κατά τη διάρκεια των 6 ημερών που διαρκεί η τροχιακή περίοδος). Σημαδεύοντας και τους δύο αισθητήρες HRV ώστε να καλύπτουν γειτονικά μονοπάτια στο έδαφος και σε κάθετη κατεύθυνση από το δορυφόρο, στο σημείο ναδύρ, μπορεί να απεικονιστεί ένα μονοπάτι πλάτους 117km, αφού δημιουργείται μια αλληλοεπικάλυψη μεταξύ των δύο ανιχνευόμενων μονοπατιών. Σε αυτή την κατάσταση λειτουργίας, μπορεί να συλλεχθεί τόσο πανχρωματική όσο και πολυφασματική πληροφορία, όχι όμως ταυτοχρόνως.



Σχήμα 4.15: Αλληλοεπικάλυψη μεταξύ των δύο ανιχνευόμενων μονοπατιών

Οι δορυφόροι SPOT παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων δορυφορικών τηλεπισκοπικών συστημάτων, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται η υψηλή χωρική ανάλυση, 10m για την πανχρωματική λειτουργία και 20m για την πολυφασματική λειτουργία, καθώς και οι αισθητήρες με την ικανότητα παρατήρησης εκτός του σημείου ναδύρ στο έδαφος. Η πολυφασματική πληροφορία 3 καναλιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναπαράσταση εικόνων ψευδών χρωμάτων και η

πανχρωματική ζώνη μπορεί επιπλέον να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να αυξήσει τη χωρική λεπτομέρεια της πολυφασματικής πληροφορίας. Οι πιθανές εφαρμογές της πληροφορίας που λαμβάνεται από τους δορυφόρους SPOT είναι πολυάριθμες. Εφαρμογές που απαιτούν συχνή παρακολούθηση, όπως στη γεωργία και στη δασοκομία, μπορούν να εξυπηρετηθούν από τους αισθητήρες τους. Επιπλέον, η απόκτηση στερεοσκοπικής απεικόνισης από τους SPOT παίζει σημαντικό ρόλο στις εφαρμογές χαρτογράφησης και στην απόκτηση τοπογραφικών πληροφοριών από τη δορυφορική τηλεπισκόπηση.

4.4.3. IRS (Indian Remote Sensing)

Η Ινδία προκειμένου να υποστηρίξει την εθνική οικονομία της σε πεδία που σχετίζονται με τη δασοκομία, την οικολογία, τη γεωλογία, τη γεωργία, την αλιεία, την εύρεση αποθεμάτων πόσιμου νερού και τη διαχείριση των παράκτιων περιοχών ξεκίνησε στη δεκαετία του 1980 το σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός γηγενούς προγράμματος δορυφορικής τηλεπισκόπησης IRS (Indian Remote Sensing Satellite). Πληροφορία από τους δορυφόρους IRS λαμβάνεται και διαδίδεται από αρκετές χώρες σε ολόκληρο τον κόσμο.

Ο πρώτος εμπορικός δορυφόρος περιβαλλοντικής παρακολούθησης που αναπτύχθηκε από τον οργανισμό διαστημικής έρευνας της Ινδίας ήταν ο IRS-1A, ο οποίος εκτοξεύτηκε επιτυχώς το Μάρτιο του 1988. Κατόπιν ακολούθησαν οι δορυφόροι IRS-1B τον Αύγουστο του 1991, IRS-1C που εκτοξεύτηκε το 1995 και ο δορυφόρος IRS-1D το 1997. Οι πρώτοι 2 δορυφόροι της σειράς IRS, είχαν τοποθετηθεί σε πολικές ηλιακά συγχρονισμένες τροχιές μέσου ύψους 905km και με κλίση 99° ως προς το επίπεδο του ισημερινού και κουβαλούσαν μια τριάδα τηλεπισκοπικών οργάνων LISS (Linear Imaging Self-Scanning), τα οποία λειτουργούσαν σε 4 φασματικές ζώνες: $0.45\text{-}0.52\mu\text{m}$, $0.52\text{-}0.59\mu\text{m}$, $0.62\text{-}0.68\mu\text{m}$ και $0.77\text{-}0.86\mu\text{m}$. Ο αισθητήρας LISS-I (38,5kg) απεικονίζει ένα μονοπάτι 148km με ανάλυση 72,5m, ενώ οι LISS-IIA και LISS-IIB (80,5kg) ανιχνεύουν στενότερα μονοπάτια πλάτους 74km αλλά όταν ευθυγραμμιστούν παρέχουν ένα σύνθετο μονοπάτι πλάτους 145km με επικάλυψη 3km και ανάλυση 36,25m.

Οι δορυφόροι IRS-1C και IRS-1D αποτελούν τη δεύτερη γενιά δορυφόρων της σειράς αυτής, λειτουργούν μέχρι σήμερα και έχουν τοποθετηθεί σε πολικές ηλιακά συγχρονισμένες τροχιές ύψους 817 και 780km, κλίσεων $98,69^\circ$ και $90,53^\circ$ αντίστοιχα, ενώ ο χρόνος τροχιάς και των δύο είναι 101 λεπτά. Οι αισθητήρες που αποτελούν το ωφέλιμο φορτίο των δορυφόρων αυτών είναι μια κάμερα PAN η οποία παρέχει πανχρωματική απεικόνιση πολύ υψηλής ανάλυσης 5,8km με πλάτος μονοπατιού 70km, μία κάμερα LISS-III με φασματικές ζώνες στην περιοχή του πράσινου, του κόκκινου, του εγγύς υπέρυθρου με 23m ανάλυση και του μέσου υπέρυθρου με μέτρια ανάλυση 70m - το πλάτος του ανιχνευόμενου μονοπατιού για τον αισθητήρα αυτό είναι 145km. Τέλος, στους IRS-1C και IRS-1D περιλαμβάνεται και ο αισθητήρας χαμηλής ανάλυσης (190m) WiFS 2 καναλιών (0.62-0.68 και 0.77-0.86 μm).

Η ιδιαίτερα υψηλή ανάλυση που λαμβάνεται στην πανχρωματική απεικόνιση που παρέχουν οι δύο δορυφόροι IRS δεύτερης γενιάς είναι ιδανική για διαχείριση καταστροφών, για αστικό σχεδιασμό καθώς και για χαρτογράφηση. Επιπρόσθετα, ο πανχρωματικός αισθητήρας μπορεί να κατευθυνθεί έτσι ώστε να στοχεύει μέχρι και 26° εγκάρσια ως προς το μήκος του ανιχνευόμενου μονοπατιού, επιτρέποντας την ανίχνευση και σε σημεία εκτός του σημείου ναδίρ του διαστημικού σκάφους και τελικά τη στερεοσκοπική απεικόνιση, την αύξηση των ικανοτήτων επαναπροσέγγισης και τη δυνατότητα χαρτογράφησης. Οι 4 πολυφασματικές ζώνες του LISS-III είναι παρόμοιες με τις ζώνες 1 έως 4 του αισθητήρα TM και είναι άριστες για αναγνώριση των διαφόρων τύπων βλάστησης, τη χαρτογράφηση περιοχών του εδάφους και τη διαχείριση φυσικών φαινομένων. Γενικά, οι δορυφόροι IRS είναι κατάλληλοι για πολλές άλλες εφαρμογές που απαιτούν το μοναδικό συνδυασμό της απεικόνισης υψηλής ή μέτριας ανάλυσης, της μεγάλης συχνότητας επαναπροσέγγισης (κάθε 5 ημέρες) και της ευρείας περιοχής κάλυψης.

4.4.4. JERS-1 (Japanese Earth Resources Satellite)

Ο Ιαπωνικός δορυφόρος JERS-1 (Japanese Earth Resources Satellite) είναι ένας δορυφόρος περιβαλλοντικής παρακολούθησης που σκοπό έχει να σαρώνει την παγκόσμια επιφάνεια της γης και να παρακολουθεί την εκμετάλλευση και αξιοποίηση των φυσικών πηγών και αποθεμάτων για λόγους εθνικής εποπτείας και έρευνας

σχετικά με τη γεωργία, τη δασοκομία, την αλιεία, την προστασία του περιβάλλοντος, την προστασία από καταστροφές και την παρακολούθηση της παράκτιας ζώνης.

Ο δορυφόρος JERS-1 εκτοξεύτηκε στις 11 Φεβρουαρίου του 1992 από την Εθνική Υπηρεσία Διαστημικής Ανάπτυξης της Ιαπωνίας NASDA (National Space Development Agency) και τέθηκε σε ηλιακά συγχρονισμένη υπο-παλινδρομική τροχιά (sub-recurrent orbit) σε ύψος 568km με κλίση 98° ως προς το επίπεδο του ισημερινού, με



Σχήμα 4.16: Δορυφόρος JERS-1

περίοδο τροχιάς 96 λεπτών και περίοδο παλινδρόμησης 44 ημερών. Η υπο-παλινδρομική τροχιά έχει την έννοια ότι μετά από κάποιο ορισμένο αριθμό ημερών, ο δορυφόρος επαναλαμβάνει την αρχική του τροχιά. Η τροχιά αυτή επιτρέπει στο δορυφόρο να παρατηρεί την ίδια περιοχή σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η ακρίβεια στις μετρήσεις ο δορυφόρος JERS-1 εξοπλίστηκε με το ραντάρ συνθετικής οπής SAR (Synthetic Aperture Radar), το οποίο είναι ένας ενεργός τηλεπισκοπικός αισθητήρας που εκπέμπει μικροκύματα και παρατηρεί τα χαρακτηριστικά, την ανομοιομορφία, την κλίση στην επιφάνεια της γης, παρέχοντας υψηλή ανάλυση, χωρίς να επηρεάζεται η απόδοσή του από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες ή την ώρα της ημέρας. Μέρος του ωφέλιμου φορτίου του δορυφόρου JERS-1 αποτελεί και ο οπτικός αισθητήρας OPS (optical sensor) ο οποίος μετράει την ανακλώμενη ακτινοβολία από την επιφάνεια της γης στις περιοχές του ορατού και του υπέρυθρου. Ο οπτικός αισθητήρας OPS μπορεί να ανιχνεύει την προσπίπτουσα ακτινοβολία σε 7 φασματικές ζώνες από την ορατή περιοχή μέχρι την υπέρυθρη, παρέχει πλάτος ανιχνευόμενου μονοπατιού 75km και επιτρέπει τη στερεοσκοπική παρατήρηση μέσω πρόσθιας παρατήρησης $15,3^\circ$ από το σημείο ναδύρ του διαστημικού σκάφους. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για την αναγνώριση των διαφόρων τύπων πετρωμάτων και ορυκτών.

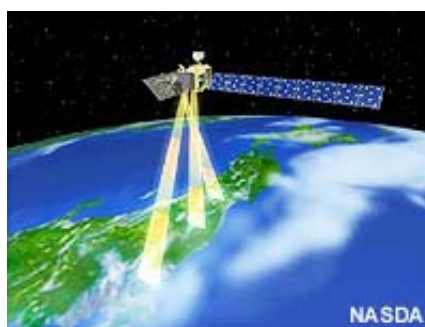
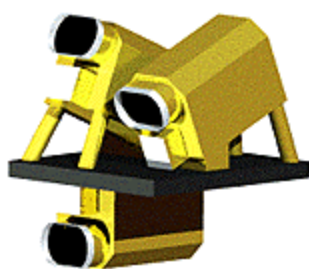
Η αποστολή του JERS-1 είχε αρχικά σχεδιαστεί να διαρκέσει 2 χρόνια, όμως τελικά κατάφερε να συλλέγει χρήσιμα δεδομένα σχετικά με τους φυσικούς πόρους, τις φυσικές πηγές και το περιβάλλον για εφτά χρόνια περίπου. Λεπτομερείς εικόνες

από το δορυφόρο επέτρεψαν την εποπτεία των φυσικών πόρων και αποθεμάτων, την παρακολούθηση της κατάστασης της θάλασσας και την απόκτηση άλλων πληροφοριών χρήσιμων για τη βελτίωση της ζωής στον πλανήτη μας. Ορισμένα αντιπροσωπευτικά παραδείγματα των αποτελεσμάτων ερευνών που έγιναν με χρήση των συλλεγόμενων στοιχείων από το JERS-1 είναι η ανακάλυψη φυσικών αποθεμάτων πετρελαίου στην κοιλάδα Turpan της Κίνας, η αποκάλυψη των πραγματικών διαστάσεων της αποδάσωσης του τροπικού δάσους του Αμαζονίου καθώς και της υποβάθμισης και αλλοίωσης του ανώτερου τμήματος του φλοιού της γης, λόγω της δραστηριότητας του ηφαιστείου Iwateyama.

4.4.5. ALOS (Advanced Land Observing Satellite)

Ο εξελεγμένος δορυφόρος παρακολούθησης της επιφάνειας της γης ALOS (Advanced Land Observing Satellite) είναι ο δορυφόρος που έχει σχεδιαστεί να ακολουθήσει τον ιαπωνικό δορυφόρο JERS-1 και ο οποίος θα χρησιμοποιεί εξελεγμένη τεχνολογία για την παρακολούθηση του εδάφους. Ο δορυφόρος ALOS θα χρησιμοποιείται για χαρτογράφηση, για τοπική παρακολούθηση κρίσιμων περιοχών, για ανίχνευση και παρακολούθηση φυσικών καταστροφών, για προστασία του περιβάλλοντος και για εποπτεία των φυσικών πόρων.

Ο συγκεκριμένος δορυφόρος θα χρησιμοποιεί 3 τηλεπισκοπικά όργανα. Ένα από αυτά είναι το ονομαζόμενο Πανχρωματικό Τηλεπισκοπικό Όργανο για Στερεοσκοπική Απεικόνιση PRISM (Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping) για ψηφιακή απεικόνιση. Πρόκειται για ένα πανχρωματικό ραδιόμετρο με 2,5m χωρική ανάλυση, το οποίο έχει 3 οπτικά συστήματα για παρατήρηση στο σημείο ναδίρ, μπροστά από αυτό και πίσω από αυτό. Παρακάτω απεικονίζεται η δυνατότητα ανίχνευσης του PRISM.



Σχήμα 4.17: Αισθητήρας PRISM-Δυνατότητα ανίχνευσης του αισθητήρα

Ο επόμενος αισθητήρας που έχει εγκατασταθεί στο δορυφόρο ALOS, είναι το εξελιγμένο ραδιόμετρο AVNIR-2 (Advanced Visible and Near Infrared Radiometer) που χρησιμοποιείται για ακριβή και λεπτομερή παρατήρηση της επιφάνειας του εδάφους και των παράκτιων ζωνών. Πρόκειται για ένα ραδιόμετρο που ανιχνεύει τη ακτινοβολία στις περιοχές του ορατού και του υπέρυθρου, χρησιμοποιεί 4 φασματικά κανάλια και παρέχει χάρτες της επιφάνειας του εδάφους με δυνατότητα αναγνώρισης των διαφόρων τύπων βλάστησης για παρακολούθηση του τοπικού περιβάλλοντος. Το συγκεκριμένο όργανο διαθέτει και δυνατότητα στόχευσης και σε σημεία μακριά από το ναδίρ, εγκάρσια ως προς την τροχιά σε γωνίες $\pm 44^\circ$ από το κατακόρυφο ίχνος του δορυφόρου. Ο τρίτος αισθητήρας που συμπληρώνει το ωφέλιμο φορτίου του δορυφόρου είναι ένα ραντάρ συνθετικής οπής, το ονομαζόμενο PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar), το οποίο είναι ένας ενεργός μικροκυματικός αισθητήρας και παρέχει τη δυνατότητα παρακολούθησης του εδάφους κατά τη διάρκεια ολόκληρης της ημέρας και σε όλες τις καιρικές συνθήκες.

Ο δορυφόρος ALOS αναμένεται να εκτοξευθεί το καλοκαίρι του 2004 και να τεθεί σε ηλιακά συγχρονισμένη υπο-παλινδρομική τροχιά ύψους 700km περίπου, κλίσης 98° ως προς τον ισημερινό με περίοδο τροχιάς 99 λεπτών και περίοδο παλινδρόμησης 45 ημερών.

4.5. Δορυφόροι παρακολούθησης των θαλασσών

Οι ωκεανοί στον πλανήτη μας καλύπτουν περισσότερο από τα δύο τρίτα της επιφάνειας της γης και παίζουν σημαντικό ρόλο στο παγκόσμιο κλιματολογικό σύστημα. Επιπλέον, σε αυτούς υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία ζωντανών οργανισμών και φυσικών πηγών που είναι ευαίσθητα σε μολύνσεις και άλλων ειδών κινδύνους που κυρίως προκαλούνται από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι και οι δορυφόροι παρατήρησης της επιφάνειας της γης που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρατήρηση των ωκεανών του πλανήτη μας, αλλά υπάρχουν και άλλα δορυφορικά συστήματα που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για το σκοπό αυτό. Οι δορυφόροι αυτοί, παίζουν σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια αλλά και τοπικής κλίμακας παρακολούθηση της μόλυνσης των ωκεανών και βοηθούν τους επιστήμονες στην κατανόηση της επίδρασης των ωκεανών στο παγκόσμιο κλιματολογικό σύστημα.

4.5.1. *Nimbus-7*

Ο δορυφόρος Nimbus-7 εκτοξεύτηκε στις 24 Οκτωβρίου του 1978 από τη NASA και τοποθετήθηκε σε σχεδόν κυκλική ηλιακά συγχρονισμένη πολική τροχιά ύψους 955km με περίοδο πλήρους τροχιάς 104,16 λεπτών. Οι τοπικοί χρόνοι διάσχισης του ισημερινού Ο δορυφόρος αυτός σκοπό είχε να διεξάγει μια ποικιλία πειραμάτων σχετικά με τη μόλυνση τόσο των θαλασσών όσο και της ατμόσφαιρας, εκτελώντας μετρήσεις και παρατηρώντας φαινόμενα, όπως:

- Το χρώμα των ωκεανών, τη θερμοκρασία, τις συνθήκες των πάγων ιδίως στις παράκτιες ζώνες με επαρκή χωρική και φασματική ανάλυση ώστε να γίνει δυνατή η πραγματοποίηση εφαρμογών όπως ανίχνευση μολυσματικών στοιχείων στα ανώτερα επίπεδα των ωκεανών, αναγνώριση της φύσης των υλικών που επιπλέουν στην επιφάνειά τους, εφαρμογή των παρατηρήσεων στη χαρτογράφηση των βιολογικά παραγομένων περιοχών, στην αλληλεπίδραση μεταξύ των εκροών των ποταμών και των νερών των ανοιχτών ωκεανών και στη βελτίωση του υπολογισμού της πορείας των πλοίων.
- Τις οριακές συνθήκες μεταξύ επιφάνειας και αέρα, όπως την υγρασία του εδάφους, την έκταση των χιονών και των πάγων, τη θερμοκρασία στην επιφάνεια των θαλασσών, την ένταση των κυματισμών τους καθώς και το συντελεστή ανακλαστικότητά τους ή την ατμοσφαιρική κατακρήμνιση με αποτέλεσμα να βελτιώνονται οι μακροπρόθεσμες μετεωρολογικές προβλέψεις με την υποστήριξη και του παγκόσμιου προγράμματος ατμοσφαιρικής έρευνας.
- Τις μεταβολές στη ροή ακτινοβολίας μεγάλων μηκών κύματος έξω από την ατμόσφαιρα καθώς και τα αέρια συστατικά της ατμόσφαιρας προκειμένου να διευκολυνθεί η επίδραση των μεταβολών αυτών στο παγκόσμιο κλιματολογικό σύστημα της γης.

Το διαστημικό σκάφος Nimbus-7 περιελάμβανε 8 ξεχωριστά υποσυστήματα και πειράματα για την παρακολούθηση διαφορετικών όψεων της γης και του περιβάλλοντός της. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνεται το τηλεπισκοπικό όργανο ανίχνευσης της παράκτιας ζώνης CZCS (Coastal Zone Colour Scanner), το οποίο αποτελεί τον πρώτο αισθητήρα που προοριζόταν ειδικά για την παρακολούθηση των

ωκεανών της γης και των υγρών σωμάτων. Ο πρωταρχικός σκοπός του συγκεκριμένου αισθητήρα ήταν να παρατηρεί το χρώμα των ωκεανών και τη θερμοκρασία, ιδιαίτερα στις παράκτιες ζώνες, με κατάλληλη χωρική και φασματική ανάλυση για την ανίχνευση μολυσματικών στοιχείων στην επιφάνεια και στα ανώτερα στρώματα των θαλασσών. Ο αισθητήρας CZCS χρησιμοποιούσε 6 φασματικές ζώνες στην ορατή, στην εγγύς υπέρυθρη και στα θερμικά τμήματα του φάσματος, σε κάθε μία από τις οποίες η συλλογή της πληροφορίας γινόταν με χωρική ανάλυση 825m στο ναδίρ με συνολικό πλάτος ανιχνευόμενου μονοπατιού 1566km. Στον επόμενο πίνακα σημειώνονται τα φασματικά εύρη των ζωνών καθώς και η βασική παράμετρος που μετράται σε καθεμία από αυτές.

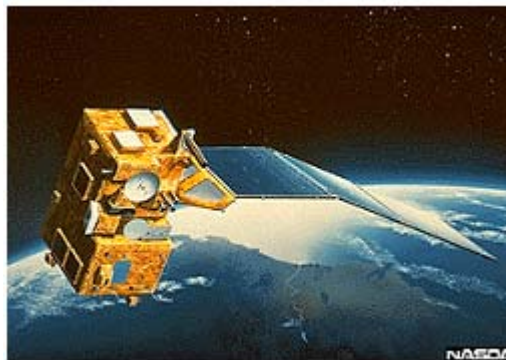
Κανάλι	Εύρος μηκών κύματος (μm)	Μετρούμενος παράγοντας
1	0,43-0,45	Απορρόφηση χλωροφύλλης
2	0,51-0,53	Απορρόφηση χλωροφύλλης
3	0,54-0,56	Gelbstoff (κίτρινη ουσία)
4	0,66-0,68	Συγκέντρωση χλωροφύλλης
5	0,70-0,80	Τύποι βλάστησης
6	10,5-12,50	Θερμοκρασία επιφάνειας

Τα εύρη των 4 πρώτων καναλιών είναι ιδιαίτερα στενά. Σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να επιτρέπουν τη λεπτομερή και ακριβή διάκριση των διαφορών στην ανακλαστικότητα του νερού λόγω των συγκεντρώσεων στο φυτοπλαγκτόν και άλλων ουσιών που αιωρούνται στο νερό. Ο αισθητήρας CZCS τέθηκε εκτός λειτουργίας το 1986.

4.5.2. MOS (Marine Observation Satellite-1)

Ο δορυφόρος παρακολούθησης των θαλασσών MOS-1 (Marine Observation Satellite-1) είναι ο πρώτος δορυφόρος της Ιαπωνίας που σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε εφαρμόζοντας εγχώρια τεχνολογία για να αποτελέσει μέρος του παγκόσμιου συστήματος δορυφορικής παρακολούθησης της γης με σκοπό τη συνεισφορά του στην αποτελεσματική χρησιμοποίηση των γήινων πόρων και στην προστασία του περιβάλλοντος. Ο δορυφόρος MOS-1 εκτοξεύτηκε στις 17

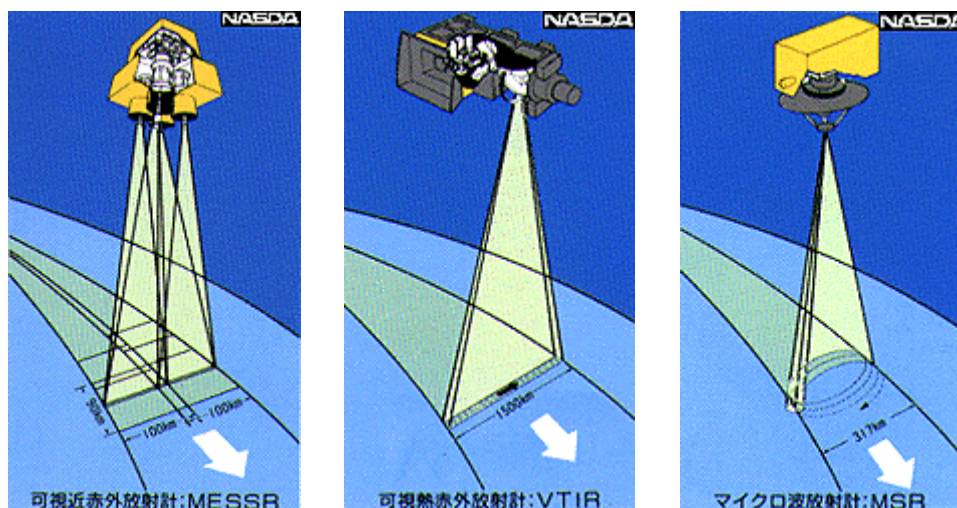
Φεβρουαρίου το 1987 και ακολουθήθηκε από το δορυφόρο MOS-1b, ο οποίος εκτοξεύτηκε στις 7 Φεβρουαρίου 1990. Και οι δύο δορυφόροι τέθηκαν σε ηλιακά συγχρονισμένες υπο-παλινδρομικές τροχιές σε ύψος 909km και με κλίση 99° περίπου ως προς το επίπεδο του ισημερινού. Η περίοδος της τροχιάς ήταν 103 λεπτά ενώ η περίοδος παλινδρόμησης ήταν 17 ημέρες.



Σχήμα 4.18: Δορυφόρος MOS-1

Καθένας από τους δορυφόρους αυτούς κουβαλάει 3 διαφορετικούς αισθητήρες: ένα πολυφασματικό ηλεκτρονικό ραδιόμετρο 4 καναλιών MESSR (Multispectral Electronic Self-Scanning Radiometer), ένα ραδιόμετρο 4 καναλιών VTIR (Visible and Thermal Infrared Radiometer) και ένα μικροκυματικό ανιχνευτικό ραδιόμετρο 2 καναλιών MSR (Microwave Scanning Radiometer).

Ο αισθητήρας MESSR ανιχνεύει την ηλιακή ακτινοβολία που ανακλάται από τη γήινη επιφάνεια. Είναι εξοπλισμένος με δύο συστήματα κάμερας τα οποία ευθυγραμμίζονται και ανιχνεύουν παράλληλα με την κατεύθυνση της τροχιάς του διαστημικού σκάφους. Παρέχει χωρική ανάλυση 50m, ενώ το πλάτος του ανιχνευόμενου μονοπατιού είναι 100km ή 200km περίπου όταν χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα και τα δύο συστήματα. Ο αισθητήρας VTIR χρησιμοποιώντας ένα περιστρεφόμενο ανιχνευτικό κάτοπτρο, σαρώνει μηχανικά την περιοχή του εδάφους από δεξιά προς αριστερά με μια γωνιά δεξιά ως προς την κατεύθυνση της τροχιάς του δορυφόρου. Παρέχει ανάλυση 900m στην ορατή περιοχή και 2700m στην περιοχή του υπέρυθρου, ενώ το πλάτος του ανιχνευόμενου μονοπατιού πλησιάζει τα 1500km περίπου. Τέλος, ο MSR σαρώνει την επιφάνεια της γης κατά μήκος του μονοπατιού της τροχιάς με μια περιστροφική παραβολική κεραία, με πλάτος ανιχνευόμενου μονοπατιού 320km περίπου.



Σχήμα 4.19: Ανιχνευτικές λειτουργίες των αισθητήρων MESSR, VTIR και MSR

4.5.3. SeaStar

Ο δορυφόρος SeaStar εκτοξεύτηκε τον Αύγουστο του 1997 από την Εταιρεία Τροχιακών Επιστημών OSC (Orbital Sciences Corp.) και τέθηκε σε ηλιακά συγχρονισμένη τροχιά ύψους 705km. Ο συγκεκριμένος δορυφόρος κουβαλάει μόνο ένα τηλεπισκοπικό σύστημα παρακολούθησης της γης, τον αισθητήρα SeaWiFS (Sea-viewing Wide-Field-of-view Sensor) το διάδοχο του ανιχνευτή παράκτιας ζώνης CZCS (Coastal Zone Color Scanner) που αποτέλεσε μέρος του ωφέλιμου φορτίου του δορυφόρου Nimbus-7 κατά τη διάρκεια των ετών 1978-1986.



Σχήμα 4.20: Δορυφόρος SeaStar

Ο αισθητήρας SeaWiFS χρησιμοποιεί 8 φασματικές ζώνες με πολύ στενά εύρη μηκών κύματος, κατάλληλα κατασκευασμένες για ιδιαίτερα ακριβή και λεπτομερή ανίχνευση και παρακολούθηση ποικίλων ωκεανογραφικών φαινομένων, όπως οι διαδικασίες στο φυτοπλαγκτόν, οι επιδράσεις των ωκεανών στα κλιματολογικά

φαινόμενα καθώς και ο κύκλος του άνθρακα, του θείου και του αζώτου. Για κάθε φασματική ζώνη είναι εφικτοί δύο συνδυασμοί χωρικής ανάλυσης και πλάτους ανιχνευόμενου μονοπατιού. Έτσι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η λειτουργία υψηλής ανάλυσης 1,1km στο σημείο ναδίρ του δορυφόρου με πλάτος μονοπατιού 2800km και η λειτουργία χαμηλότερης ανάλυσης 4,5km στο ναδίρ με πλάτος μονοπατιού 1500km.

4.6. Δορυφόροι παρακολούθησης του εδάφους, των ωκεανών και της ατμόσφαιρας

4.6.1. ADEOS (*Advanced Earth Observing Satellite*)

Ο σκοπός της αποστολής ADEOS είναι η απόκτηση στοιχείων σχετικά με τις παγκόσμιες περιβαλλοντολογικές μεταβολές όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η μείωση του στρώματος του όζοντος, η αποδάσωση των τροπικών δασών καθώς και οι ασυνήθιστες κλιματολογικές συνθήκες ώστε να



Σχήμα 4.21: Δορυφόρος ADEOS

συνεισφέρει στη διεθνή παγκόσμια περιβαλλοντική παρακολούθηση και στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για πιο σύγχρονες πλατφόρμες και αισθητήρες που θα παρέχουν βελτιωμένες προοπτικές παρακολούθησης και εκτίμησης καταστροφικών φαινομένων.

Ο δορυφόρος ADEOS εκτοξεύτηκε στις 17 Αυγούστου το 1996 και τέθηκε σε ηλιακά συγχρονισμένη υπο-παλινδρομική τροχιά ύψους 830km περίπου. Πρόκειται για ένα μεγάλο διαστημικό σκάφος μάζας περίπου 3.500kg, που μπορεί να λειτουργήσει αυτόματα και αυτόνομα και να υποστηρίξει ένα μεγάλο αριθμό τηλεπισκοπικών οργάνων με διαφορετικές αποστολές.

Ο δορυφόρος ADEOS προκείμενου να εκτελεί συνεχείς, πλήρεις και λεπτομερείς μετρήσεις όλων εκείνων των φαινομένων που σχετίζονται τόσο με το έδαφος όσο και με τη θάλασσα και την ατμόσφαιρα περιλαμβάνει τα παρακάτω τηλεπισκοπικά συστήματα: το εξελιγμένο ραδιόμετρο AVNIR (Advanced Visible

Near Infrared Radiometer), τον ανιχνευτή χρώματος και θερμοκρασίας των ωκεανών OCTS (Ocean Color and Temperature Scanner), τα οποία έχουν αναπτυχθεί από τη NASDA. Επιπρόσθετα περιλαμβάνει τον αισθητήρα NSCAT, μια συσκευή που μετράει τη σκεδαζόμενη ακτινοβολία και το φασματόμετρο TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) και τα δύο κατασκευασμένα από τη NASA, το όργανο μέτρησης της πόλωσης και της κατευθυντικότητας της ακτινοβολίας που ανακλάται από τη γη POLDER (Polarization and Directionality of the Earth's Reflectances) κατασκευασμένο από το εθνικό κέντρο χωρικών ερευνών της Γαλλίας (CNES), έναν αισθητήρα για τη μέτρησης του φαινομένου του θερμοκηπίου IMG (Interferometric Monitor for Greenhouse Gases), ένα βελτιωμένο φασματόμετρο για τη μέτρηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας στα ανώτερα τμήματα της ατμόσφαιρας ILAS (Improved Limb Atmospheric Spectrometer) καθώς και έναν οπισθοανακλαστήρα για τη μέτρηση της απορρόφησης στη διαδρομή μεταξύ της γης και του δορυφόρου.

4.6.2. ADEOS-II

Ο εξελεγμένος δορυφόρος περιβαλλοντικής παρακολούθησης ADEOS-II, αποτελεί το διάδοχο του δορυφόρου ADEOS και θα διαδραματίσει έναν ενεργό ρόλο στην έρευνα σχετικά με τις παγκόσμιες κλιματολογικές μεταβολές, αξιοποιώντας την



παρατήρηση των διαφόρων φαινομένων έτσι ώστε να κατανοήσουμε πλήρως τους μηχανισμούς των κλιματολογικών μεταβολών που λαμβάνουν χώρα σε παγκόσμιο επίπεδο μεταξύ των οποίων και την παγκόσμια τάση αύξησης των μέσων θερμοκρασιών.

Ο δορυφόρος ADEOS-II εκτοξεύτηκε στις 14 Δεκεμβρίου του 2002 και τοποθετήθηκε σε ηλιακά συγχρονισμένη υπο-παλινδρομική τροχιά σε ύψος 802,9km με κλίση 98,62°, με περίοδο τροχιάς 101 λεπτά και περίοδο παλινδρόμησης 4 ημερών. Το συνολικό βάρος του είναι 3.700kg, ενώ το συνολικό βάρος των

τηλεπισκοπικών οργάνων που αποτελούν το ωφέλιμο φορτίο του υπολογίζεται γύρω στα 1300kg.

Ο δορυφόρος αυτός είναι εξοπλισμένος με δύο σημαντικούς αισθητήρες, το εξελιγμένο μικροκυματικής ανίχνευσης ραδιόμετρο AMSR (Advanced Microwave Scanning Radiometer), το οποίο μπορεί να μετρήσει ποικίλα στοιχεία σχετικά με τα υγρά σώματα, τόσο την ημέρα όσο και τη νύχτα και τον παγκόσμιο απεικονιστή GLI (Global Imager), ο οποίος μπορεί να παρατηρεί μεγαλύτερους στόχους όπως τους ωκεανούς, το έδαφος ή τα σύννεφα, με υψηλή ακρίβεια. Επιπρόσθετα, στο ωφέλιμο φορτίο του αισθητήρα περιλαμβάνεται το εξελιγμένο φασματόμετρο μέτρησης της υπέρυθρης ακτινοβολίας στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας ILAS-II (Improved Limb Atmospheric Spectrometer-II), το όργανο μέτρησης της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας SeaWinds της NASA, το όργανο μέτρησης της πόλωσης και της κατευθυντικότητας της ενέργειας που ανακλάται από την επιφάνεια της γης POLDER (Polarization and Direction of the Earth Reflectance) και τέλος το σύστημα συλλογής πληροφοριών DCS (Data Collection System). Ο δορυφόρος ADEOS-II αναμένεται να συνεισφέρει σε έρευνες σχετικά με την ατμοσφαιρική και ωκεάνια κυκλοφορία, την κυκλοφορία της ενέργειας, τον κύκλο του άνθρακα μέσω παρατήρησης των βιολογικών συστημάτων, των μηχανισμών των παγκόσμιων περιβαλλοντολογικών και κλιματολογικών μεταβολών.

4.6.3. ERS-1 (European Remote Sensing Satellite No.1)

Ο τηλεπισκοπικός δορυφόρος ERS-1 του Ευρωπαϊκού Διαστημικού Γραφείου ESA (European Space Agency) εκτοξεύτηκε στις 17 Ιουλίου του 1991 και τέθηκε σε ηλιακά συγχρονισμένη σχεδόν κυκλική πολική τροχιά σε ύψος 780km περίπου, με κλίση 98,5° και με τροχιακή περίοδο 100,5 λεπτών. Πρόκειται για ένα δορυφόρο περιβαλλοντικής παρακολούθησης που παρέχει παγκόσμιες και συνεχείς ανιχνεύσεις του γήινου περιβάλλοντος χρησιμοποιώντας τεχνικές που επιτρέπουν την απεικόνιση ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών. Χρησιμοποιήθηκε κυρίως για την παρατήρηση των ωκεανών, των ανέμων που πνέουν στην επιφάνειά τους, της ωκεάνιας κυκλοφορίας καθώς και της εκμετάλλευσης και διαχείρισης ευρέων περιοχών στο έδαφος μέσω ενός ραντάρ υψηλής ανάλυσης. Επίσης παρέχει βελτιωμένες παρατηρήσεις και μετρήσεις της μόλυνσης του περιβάλλοντος.

Το συνολικό βάρος του είναι 2157,4kg, 888,2kg είναι το συνολικό βάρος του ωφέλιμου φορτίου του δορυφόρου, ενώ τα υπόλοιπα 1257,2kg προέρχονται από το βάρος της πλατφόρμας.

Ο δορυφόρος ERS-1 είναι εξοπλισμένος με τους παρακάτω τηλεπισκοπικούς αισθητήρες: ένα ενεργό μικροκυματικό σύστημα οργάνων AMI (Active Microwave Instrumentation) που συνδυάζει τις λειτουργίες ενός ραντάρ συνθετικής οπής SAR (Synthetic Aperture Radar) και ενός οργάνου μέτρησης της μεταβολής της ανακλαστικότητας της θάλασσας λόγω των ανέμων που πνέουν στην επιφάνειά της WNS (Wind Scatterometer). Το σύστημα οργάνων AMI μετράει τα πεδία των ανέμων και το φάσμα των κυμάτων πάνω από τους ανοιχτούς ωκεανούς και καταγράφει εικόνες παντός καιρού, υψηλής ανάλυσης πάνω από τους ωκεανούς, τους πολικούς πάγους, τις παράκτιες ζώνες και το έδαφος. Ένα ακόμη όργανο που χρησιμοποιείται στον ERS-1 είναι ένα υψομετρικό ραντάρ RA (Radar Altimeter) το οποίο μετράει το ύψος των μεγάλων κυμάτων καθώς και την ταχύτητα των ανέμων στην επιφάνεια των θαλασσών και άλλες παραμέτρους πάνω από παγωμένους ωκεανούς. Το πειραματικό ραδιόμετρο ανίχνευσης κατά μήκος της τροχιάς ATSR (Along Track Scanning Radiometer) είναι επίσης εγκατεστημένο στο συγκεκριμένο δορυφόρο και παρέχει ακριβείς και αξιόπιστες μετρήσεις των θερμοκρασιών στην επιφάνεια της θάλασσας και στην κορυφή των σύννεφων. Συνεχίζοντας την ανάλυση του ωφέλιμου φορτίου του ERS-1, αναφέρουμε το παθητικό μικροκυματικό ραδιόμετρο 2 καναλιών MWS (Microwave Sounder), το πειραματικό όργανο PRARE (Precise Range and Range-rate Equipment) και τέλος, τον ανακλαστήρα LR (Laser Retroreflector) που χρησιμοποιείται για τον ακριβή καθορισμό της τροχιάς και των πληροφοριών βαθμονόμησης.

4.6.4. Aqua

Ο δορυφόρος Aqua αναπτύχθηκε από τη NASA προκειμένου να εξερευνήσει το μηχανισμό των συστημάτων του γήινου περιβάλλοντος, όπως της ατμόσφαιρας, της νέφωσης, των πάγων, του νερού και της βλάστησης. Η ανάπτυξη και η λειτουργία του δορυφόρου Aqua αποτελεί μέρος ενός παγκόσμιου προγράμματος περιβαλλοντικής παρακολούθησης.

Ο δορυφόρος Aqua κουβαλάει 5 αισθητήρες: το εξελιγμένο ραδιόμετρο μικροκυματικής ανίχνευσης AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer) που αναπτύχθηκε από τη NASDA, το όργανο μέτρησης της ατμοσφαιρικής υγρασίας που αναπτύχθηκε από τη Βραζιλία HSB (Humidity Sounder for Brazil), τον αισθητήρα AIRS (Atmospheric Infrared Sounder) της NASA που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και υγρασίας, της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του εδάφους και της θάλασσας καθώς και του νέφους, τη μονάδα AMSU (Advanced Microwave Sounding Unit), το σύστημα μέτρησης της ακτινοβολούμενης ροής ενέργειας CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System) και τέλος το απεικονιστικό φασματοραδιόμετρο μέτριας ανάλυσης MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του νέφους, της ακτινοβολούμενης ροής ενέργειας, των μεταβολών της βλάστησης, των συγκεντρώσεων των αερίων συστατικών της ατμόσφαιρας, τη θερμοκρασία στην επιφάνεια του εδάφους και των θαλασσών, το χρώμα των ωκεανών, την ατμοσφαιρική θερμοκρασία και υγρασία καθώς και την έκταση των παγωμένων περιοχών.

Ο δορυφόρος Aqua της NASA εκτοξεύτηκε στις 4 Μαΐου του 2002 και τέθηκε σε ηλιακά συγχρονισμένη πολική τροχιά σε ύψος 705km και σε κλίση $98,2^\circ$ ως προς το επίπεδο του ισημερινού. Η περίοδος της τροχιάς του είναι 100 λεπτά, ενώ το βάρος του είναι 2,934kg.

4.7. Βιβλιογραφία 4^ο Κεφαλαίου

1. **Earth Observation Satellites: Current**
<http://www.ersc.wisc.edu/resources/EOSC.html>
2. **Marine Observation Satellites/Sensors**
http://www.sbg.ac.at/geo/adrisi/ccrs_tutorial
3. **Weather Satellites/Sensors**
http://www.sbg.ac.at/geo.idrisi/ccrs_tutorial
4. **Land Observation Satellites/Sensors**
http://www.sbg.ac.at/geo.idrisi/ccrs_tutorial
5. **RADARSAT**
<http://dweb.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/db/glossary/>
6. **Earth Observation Satellite**
http://www.eoc.nasda.go.jp/guide/satellite/sat_menu_e.html
7. **Defense Meteorological Satellite Program**
<http://dmisp.ngdc.noaa.gov>
8. **Catalogue of Satellite Missions**
<http://www.eohandbook.com/ceos/part3c.html>
9. **Gray Space Meteorological Satellites**
<http://www.au.af.mil/au/database/projects/ay1997/acsc/97-0563/graysat/wx.html>
10. **SPOT SYSTEM**
<http://www.spot.com/home/system/welcome.html>
11. **NOAA Home page**
<http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/index.html>
12. **Terra project**
<http://eos-am.gsfc.nasa.gov/>
13. **Applications of METEOSAT**
<http://www.liv.ac.uk/~mark/open1.htm#Types>
14. **Meteorological Satellite Center**
<http://mscweb.kishoo.go.jp/index.html>
15. **LANDSAT**
<http://coes.cnes.fr8100/cdrom-00b2/ceos1/satellite/lamdsat7/landsat7.html>
16. **IRS (Indian Remote Sensing Satellite)**

<http://www.fas.org/spp/guide/india/earth/irs.htm>

17. ALOS Satellite

<http://eorc.nasda.go.jp/ALOS/cd-alos/>

18. JERS-1 – Japan and Earth Observation Systems

<http://www.fas.org/spp/guide/japan/earth/jers1.htm>

19. NIMBUS-7 Spacecraft Source Guide

http://podaac.jpl.nasa.gov:2031/SOURCE_DOCS/nimbus7.html

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Στρατοσφαιρικές πλατφόρμες

5.1. Η ιδέα για τις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες HAPs

Η ανάγκη να επιλύσουμε τα παγκόσμια προβλήματα του περιβάλλοντος τα οποία απειλούν την ανθρώπινη ύπαρξη στον πλανήτη και τα οποία σχετίζονται με τη σταδιακή καταστροφή του στρώματος του όζοντος, την τάση αύξησης των μέσων θερμοκρασιών παγκοσμίως, τη μόλυνση της ατμόσφαιρας και των ωκεανών καθώς και να παρατηρήσουμε τις φυσικές καταστροφές και τις επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στους φυσικούς πόρους και στα κλιματολογικά φαινόμενα, έλκει σήμερα την προσοχή και το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών και επιστημόνων. Για την προώθηση των αντίστοιχων ερευνών έχουν σχεδιαστεί και χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα με επιτυχία, πολλοί δορυφόροι περιβαλλοντικής παρακολούθησης οι οποίοι μπορούν σε λίγα εικοσιτετράωρα να σαρώσουν ολόκληρη την επιφάνεια της γης, ενώ άλλα μέσα όπως ραδιοβολίδες, επίγεια συστήματα και πλοία έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για την παρατήρηση της γης, σε περιορισμένο όμως και τοπικό επίπεδο. Προκειμένου να συμπληρώσουμε και να βελτιώσουμε τις δυνατότητες που μας παρέχονται από τα υπάρχοντα δορυφορικά και επίγεια συστήματα, είναι απαραίτητο να ενθαρρύνουμε την ανάπτυξη πρωτοποριακών τεχνολογιών που θα ανοίξουν το δρόμο προς την κατεύθυνση επίλυσης των παραπάνω θεμάτων.



Προκειμένου να ανταποκριθούν στις ανάγκες αυτές των κοινωνιών, η Αμερική, η Ιαπωνία καθώς και ορισμένα ευρωπαϊκά κράτη μελέτησαν τη δυνατότητα ανάπτυξης στρατοσφαιρικών πλατφορμών HAPs (High Altitude Platforms) και αφοσιώθηκαν στις προσπάθειες πραγματοποίησης των πλατφορμών αυτών μέσω ερευνών και πειραματικών επιχειρήσεων για την ανάπτυξη μιας καινούριας αεροδιαστημικής τεχνολογίας. Η στρατοσφαιρική πλατφόρμα είναι ένα μη επανδρωμένο όχημα το οποίο διατηρείται στο στρατοσφαιρικό ύψος των 20km περίπου πάνω από την επιφάνεια του εδάφους και αναμένεται να αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμο στις μελλοντικές τηλεπικοινωνίες και υπηρεσίες ευρείας ζώνης καθώς και στις εφαρμογές περιβαλλοντικής παρακολούθησης και ανίχνευσης καταστροφών. Είναι εξοπλισμένο ανάλογα με την εφαρμογή με ωφέλιμο φορτίο επικοινωνιών ή με αισθητήρες περιβαλλοντικής παρακολούθησης.

Τις τελευταίες δεκαετίες όλες οι προσπάθειες των ερευνητών κατευθύνθηκαν προς την πορεία ανάπτυξης ενός ικανού σχεδίου πλατφόρμας για τα στρατοσφαιρικά αερονautικά οχήματα. Οι ιδέες που επικράτησαν ήταν δύο: τα οχήματα σε μορφή αερόστατου (balloons) και τα αεροσκάφη.

Τα πρώτα είναι μη επανδρωμένα ενώ τα δεύτερα έχουν σχεδιαστεί τόσο για επανδρωμένη όσο και για μη επανδρωμένη λειτουργία. Τα αερόπλοια (balloons) αναμένεται να παραμένουν στο ύψος τους για αρκετούς μήνες ή και κάποια χρόνια.

Ο δεύτερος τύπος στρατοσφαιρικής πλατφόρμας είναι ένα αεροσκάφος που θα κάνει κύκλους σε ύψος 20km περίπου. Μια ακόμη ιδέα ήταν η ανάπτυξη αερόστατων

που θα ήταν δεμένα με σκοινί από το έδαφος, η οποία φάνηκε να μην έχει πρακτική εφαρμογή λόγω του μεγάλου μήκους του σκοινιού που θα απαιτούνταν και της πιθανής παρεμβολής στην κίνηση των υπολοίπων αεροσκαφών στον αέρα.

Παρακάτω απεικονίζονται οι μορφές τόσο του στρατοσφαιρικού αερόπλοιου (αριστερά) όσο και του στρατοσφαιρικού αεροσκάφους (δεξιά).



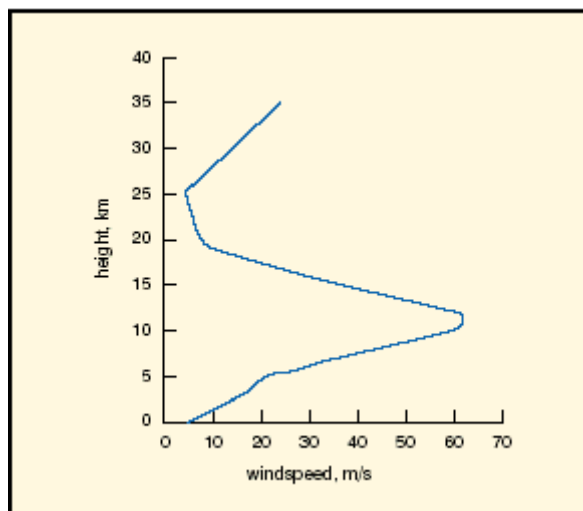
Σχήμα 5.1: Μορφές στρατοσφαιρικών πλατφορμών

Ανεξάρτητα από τη μορφή της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας ως αερόστατο ή ως αεροσκάφος, η κυριότερη πρόκληση που αντιμετωπίζουν οι επιστήμονες είναι η δημιουργία ενός HAP που θα έχει την ικανότητα να διατηρείται στη θέση του στο ύψος λειτουργίας παρά την επίδραση των ανέμων. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε το ύψος των 17 έως 22 km περίπου ως ύψος λειτουργίας μιας τέτοιας πλατφόρμας, επειδή στις περισσότερες περιοχές του κόσμου το διάστημα των υψομετρικών αυτών αποστάσεων αντιπροσωπεύει ένα στρώμα ήπιων ανέμων, αναταράξεων και στροβιλισμών.

Στο επόμενο σχήμα έχει σχεδιαστεί η ταχύτητα των αερίων ρευμάτων και ανέμων που επικρατούν στα διάφορα ύψη μέσα στην ατμόσφαιρα. Αν και οι άνεμοι μπορεί να διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή,

συνήθως λαμβάνεται υπόψη για τον υπολογισμό των ανέμων η παρακάτω μορφή διαγράμματος.

Τα ύψη στην περιοχή των 17 έως 22km περίπου, στα οποία αναμένεται να τοποθετηθούν οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες, είναι αρκετά πάνω από τα ύψη που χρησιμοποιούνται από την υπόλοιπη εμπορική εναέρια κυκλοφορία, επομένως με τη συγκεκριμένη επιλογή ξεπερνάται και αυτός ο περιορισμός.



Σχήμα 5.2: Ταχύτητα ανέμων της στρατόσφαιρας σε συνάρτηση με το ύψος

Με δεδομένο το ύψος λειτουργίας h μιας τέτοιας πλατφόρμας, η διάμετρος του ίχνους της, στο έδαφος ακριβώς κάτω από την περιοχή λειτουργίας της, μπορεί να υπολογιστεί με χρήση του επόμενου μαθηματικού τύπου:

$$d = 2R \cdot \left(\arccos\left(\frac{R}{R+h} \cdot \cos(\gamma)\right) - \gamma \right), \text{ όπου}$$

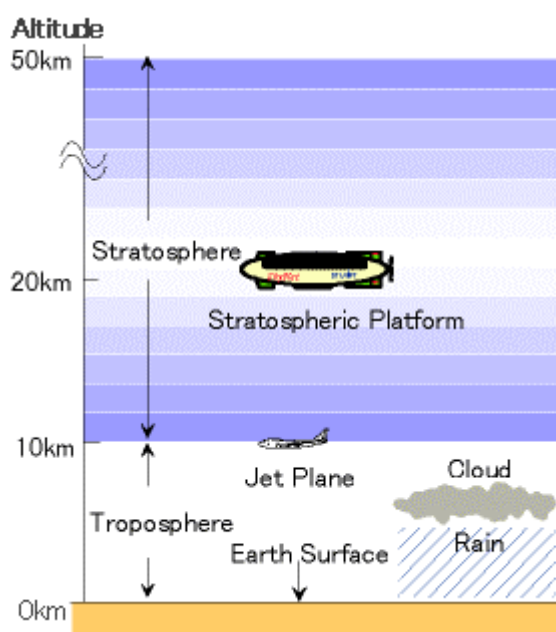
R είναι η ακτίνα της γης (6.378 km), γ είναι η ελάχιστη γωνία ανύψωσης και h το ύψος λειτουργίας της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας.

Από την παραπάνω εξίσωση προκύπτει ελάχιστη γωνία ανύψωσης $\gamma = 15^\circ$ για διάμετρο ίχνους $d = 152$ km και ελάχιστη γωνία ανύψωσης $\gamma = 0^\circ$ για διάμετρο ίχνους $d = 1.033$ km (και στις δύο περιπτώσεις το ύψος της πλατφόρμας έχει ληφθεί $h = 21$ km).

5.2. Εισαγωγή στη νέα σχεδιαζόμενη τεχνολογία των HAPs

Τα πρόσφατα τεχνολογικά επιτεύγματα στην αεροναυτική έχουν επιδείξει τη δυνατότητα δημιουργίας μη επανδρωμένων ηλιακά τροφοδοτούμενων αερόπλοιων ή αεροσκαφών μεγάλης αντοχής, ειδικά προσαρμοσμένων για λειτουργία σε ύψη που κυμαίνονται από 15-30km στη στρατόσφαιρα και τα οποία ονομάστηκαν πλατφόρμες σε μεγάλο ύψος HAPs (High Altitude Platforms). Ένας άλλος όρος που χρησιμοποιείται για την περιγραφή σκαφών με παρατεταμένη λειτουργία στον αέρα μέχρι και λίγα χρόνια, είναι οι πλατφόρμες μεγάλου ύψους και μακράς αντοχής HALE (High Altitude Long Endurance).

Οι πλατφόρμες αυτές θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για πολλές από τις εφαρμογές για τις οποίες ήδη έχουν χρησιμοποιηθεί δορυφορικά συστήματα για το λόγο ότι παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των συστημάτων αυτών, όπως ότι είναι χαμηλότερο το κόστος τους, ότι προσαρμόζονται πιο εύκολα στις συνθήκες λειτουργίας τους και ότι βρίσκονται σε χαμηλότερη απόσταση από το έδαφος. Επιπρόσθετα, η πιθανότητα επέμβασης στη διαδρομή της πτήσης, μετατρέπει τις πλατφόρμες μεγάλου ύψους σε ένα είδος τεχνητών δορυφόρων πολύ χαμηλής τροχιάς, σχεδόν στατικών πάνω από την περιοχή που θα προσφέρουν τις υπηρεσίες τους. Θα μπορούν να κινηθούν ανάλογα με τις απαιτήσεις προκειμένου να εξυπηρετήσουν διαφορετικές περιοχές καθώς και να κατεβαίνουν από το ύψος λειτουργίας τους και να προσγειώνονται για συντήρηση, επισκευή και αναβάθμιση του ωφέλιμου φορτίου τους, ώστε να μειώνεται ο κίνδυνος αχρήστευσης των χρησιμοποιούμενων τεχνολογικών μέσων όπως πολλές φορές συμβαίνει με τους παραδοσιακούς δορυφόρους.



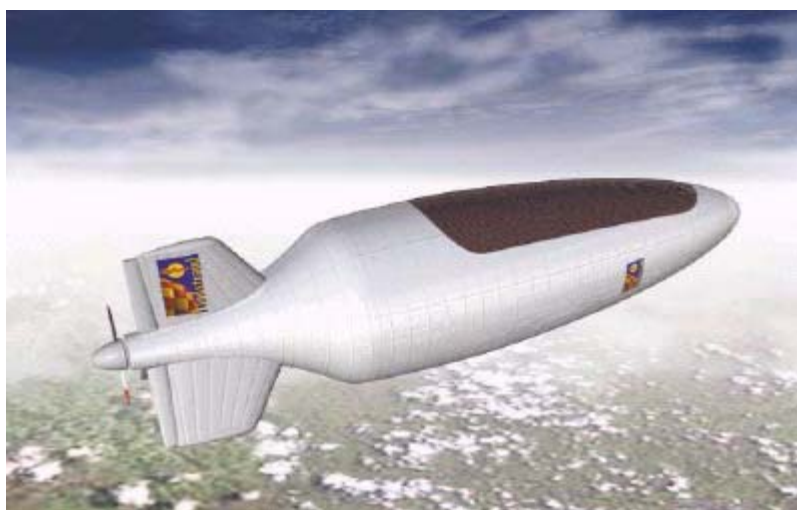
Τα παραπάνω χαρακτηριστικά μετατρέπουν τις στρατοσφαιρικές αυτές πλατφόρμες σε ιδιαίτερα ελκυστικές για μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών, μεταξύ των οποίων είναι η παροχή τηλεπικοινωνιών, η οποία αναφέρεται ως η πλέον υποσχόμενη για τα τεράστια οικονομικά και εμπορικά οφέλη που πρόκειται να

προσφέρει. Άλλες ενδιαφέρουσες εφαρμογές που αφορούν στη μελέτη μας είναι η τηλεπισκόπηση, η ανίχνευση της μόλυνσης, η συνεχής μέτρηση του επιπέδου του όζοντος, η παροχή μετεωρολογικών μετρήσεων, η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο σεισμικών ή παραθαλάσσιων περιοχών και γεωργικών εκτάσεων καθώς και η υποστήριξη των αγροτικών καλλιεργειών και της γεωργίας.

5.2.1. HAPs σε μορφή αερόπλοιων (airship HAPs)

Τα σχέδια που έχουν προταθεί και επικρατήσει για την ανάπτυξη αερόπλοιων σε στρατοσφαιρικά ύψη, επιδεικνύουν πολύ μεγάλα οχήματα μήκους 100m ή και μεγαλύτερου με περίβλημα ημι-δύσκαμπτο ή εύκαμπτο στο εσωτερικό των οποίων περιέχεται αέριο ήλιο. Για τη διατήρηση της θέσης των οχημάτων αυτών χρησιμοποιούνται ηλεκτρικοί κινητήρες και έλικες ώστε το αερόπλοιο να πετάει αντίθετα ως προς τους ανέμους που πνέουν στην περιοχή.

Απαραίτητη για την προώθηση του αερόπλοιου και για τη διατήρηση της θέσης του όπως και για το ωφέλιμο φορτίο του και για τις εκάστοτε εφαρμογές είναι η κινητήρια ισχύς, η οποία παρέχεται από ελαφριές ηλιακές κυψέλες σε μορφή μεγάλων εύκαμπτων στρωμάτων που μπορεί να ζυγίζουν αρκετά λιγότερο από 400g/m^2 και οι οποίες καλύπτουν της επάνω επιφάνειες του οχήματος. Επιπρόσθετα, κατά τη διάρκεια της ημέρας ενέργεια αποθηκεύεται στα επαναφορτιζόμενα ηλεκτρικά στοιχεία των κυψελών, τα οποία κατά τη διάρκεια της νύχτας αποδίδουν στο όχημα τα απαιτούμενα επίπεδα ενέργειας. Στο επόμενο σχήμα απεικονίζεται μια στρατοσφαιρική πλατφόρμα σε μορφή αερόπλοιου.



Σχήμα 5.3: Στρατοσφαιρική πλατφόρμα σε μορφή αερόπλοιου

Η ολική μακροχρόνια ενεργειακή ισορροπία της στρατοσφαιρικής πλατφόρμας αναμένεται να αποτελέσει μια κρίσιμη παράμετρο για τη λειτουργία της, ενώ η μέγιστη επιτεύξιμη διάρκεια της αποστολής της αναμένεται να καθοριστεί από παράγοντες όπως η λειτουργία, η απόδοση και η διάρκεια ζωής των κυψελών συσσώρευσης ενέργειας. Εντούτοις, το πιθανό πρόβλημα των κυψελών θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί και να μετριαστεί καθώς είναι αρκετά εύκολο σε αντίθεση με τα δορυφορικά συστήματα να γειωθούν οι πλατφόρμες και να επισκευαστούν ή ακόμη και να αντικατασταθούν οι κυψέλες και άλλα τμήματα που ενδεχομένως να απαιτούν επισκευή ή αναβάθμιση.

Μία από τις μεγαλύτερες μελέτες γύρω από τις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες HAPs, αποτελεί το Ιαπωνικό πρόγραμμα SkyNet. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα που χρηματοδοτείται από την Ιαπωνική κυβέρνηση, διευθύνεται και καθοδηγείται από το εργαστήριο τηλεπικοινωνιακών ερευνών Yokosuga και αποσκοπεί στην παραγωγή ενός ενιαίου δικτύου 15 συνολικά αερόπλοιων που θα εξυπηρετούν το μεγαλύτερο μέρος της Ιαπωνίας, παρέχοντας τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες ευρείας ζώνης στη ζώνη των 28GHz, αναμετάδοση και τηλεπισκόπηση.

Μια σειρά στρατοσφαιρικών αερόπλοιων αναπτύσσεται από την ομάδα προηγμένης τεχνολογίας του Bedford σε συνεργασία με την εταιρεία SkyStation International των Ηνωμένων Πολιτειών, οι οποίοι πρότειναν την ανάπτυξη ενός αερόπλοιου μήκους 150m το οποίο θα μπορεί να υποστηρίξει ωφέλιμο φορτίο της τάξης των 800kg περίπου. Στρατοσφαιρικά αερόπλοια HAPs προτείνονται επίσης και από την εταιρεία Lindstrand Balloons.

5.2.2. HAPs σε μορφή αεροσκαφών (aeroplane HAPs)

Μια ακόμη μορφή στρατοσφαιρικών πλατφορμών είναι ένα ηλιακά τροφοδοτούμενο μη επανδρωμένο σκάφος, το οποίο πρέπει να πετάει υπερνικάει τους επικρατούντες ανέμους ή να ακολουθεί ένα στενό κυκλικό μονοπάτι. Και στην περίπτωση αυτή, το κρίσιμότερο σημείο στο σχεδιασμό του αεροσκάφους αποτελεί η ενεργειακή ισορροπία του, δηλαδή η ικανότητά του να αποθηκεύει την επαρκή ποσότητα ενέργειας για τη διατήρηση της θέσης του κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η τεχνολογία των στρατοσφαιρικών πλατφορμών έχει αναπτυχθεί ιδιαίτερα στις

Ηνωμένες Πολιτείες, όπου σχεδιάστηκε η πλατφόρμα Helios με άνοιγμα πτερυγίων 75m, ενώ οι αποστολές των στρατοσφαιρικών αεροσκαφών Pathfinder και Centurion έχουν ήδη δοκιμαστεί πειραματικά επιτυγχάνοντας πτήσεις σε ύψος 25km. Τα παραπάνω προγράμματα τα οποία χρηματοδοτούνται από τη NASA, στόχο έχουν τη λειτουργία μακράς διάρκειας για την πραγματοποίηση τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών καθώς και εφαρμογών τηλεπισκόπησης και περιβαλλοντικής παρακολούθησης.

Η πλατφόρμα Helios, η ονομαζόμενη Heliplat (HELIOs PLATform) είναι μια μη επανδρωμένη ηλιακά τροφοδοτούμενη πλατφόρμα, η οποία μπορεί να δεχθεί ωφέλιμο φορτίο περίπου 100kg και να προσφέρει διαθέσιμη ισχύ μερικών εκατοντάδων watt. Αναπτύσσεται υπό την αιγίδα του πολυτεχνείου του Τορίνο στην Ιταλία, ως μέρος του προγράμματος Helinet που τροφοδοτείται από την ευρωπαϊκή επιτροπή. Το πρόγραμμα Helinet μελετάει την αεροναυτική τεχνολογία που θα πρέπει να εφαρμοστεί στο σχεδιασμό της πλατφόρμας προκειμένου να μπορέσει να εξυπηρετήσει εφαρμογές, όπως υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών ευρείας ζώνης, περιβαλλοντική παρακολούθηση και εντοπισμό οχημάτων για τη ναυσιπλοΐα.



Σχήμα 5.4: Πλατφόρμα Heliplat

Το στρατοσφαιρικό αεροσκάφος που βρίσκεται πιο κοντά στη διάθεσή του στην αγορά των τηλεπικοινωνιών είναι ένα επανδρωμένο όχημα με χειριστές που λειτουργούν το αεροσκάφος σε βάρδιες των 8 ωρών και το οποίο προτάθηκε και σχεδιάστηκε από την εταιρεία Angel Technology των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Η συγκεκριμένη πλατφόρμα που ονομάστηκε Proteus θα χρησιμοποιηθεί

ως μέρος του προγράμματος HALO (High Altitude Long Operation) για την παροχή υπηρεσιών τηλεπικοινωνιών ευρείας ζώνης πάνω από μια περιοχή μεγαλύτερη των 40km σε διάμετρο και θα λειτουργεί σε ύψη 16 έως 18km.

Σχήμα 5.5: Πλατφόρμα Proteus



Το αεροσκάφος θα διατηρεί μια σχεδόν-στατική θέση εκτελώντας κυκλικές πτήσεις με μια τυπική διάμετρο της τάξης των 13km ή και μικρότερη. Για το ωφέλιμο φορτίο επικοινωνιών του αεροσκάφους χρησιμοποιείται μια μικρή πλατφόρμα κάτω από την άτρακτο στην οποία μπορούν να τοποθετηθούν μέχρι και 125 μικροκυματικές ακτίνες.

Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα UAV (Unmanned Aerial Vehicle) ανήκουν σε μια ακόμη κατηγορία στρατοσφαιρικών πλατφορμών που σχεδιάστηκαν και δοκιμάζονται από τη NASA ως μέρος του προγράμματος αεροσκαφών για περιβαλλοντικές έρευνες και τεχνολογίας αισθητήρων ERAST (Environmental Research Aircraft and Sensor Technology). Πρόκειται για πλατφόρμες σε μεγάλα ύψη που ελέγχονται από το έδαφος, είναι ηλιακά τροφοδοτούμενες και μπορούν να παραμένουν στο ύψος λειτουργίας τους για αρκετούς μήνες κάθε φορά. Τα αεροσκάφη αυτά παρουσιάζουν την προοπτική επέκτασης των τηλεπικοινωνιών και της τηλεπισκόπησης και στις πλέον απομονωμένες περιοχές του κόσμου. Πρόκειται να κουβαλούν τηλεπισκοπικούς αισθητήρες με σκοπό να εκτελούν μετρήσεις και να παρακολουθούν τις φυσικές όψεις του πλανήτη μας προκειμένου να μπορέσουμε να κατανοήσουμε το περιβάλλον μας και να προβλέψουμε τις φυσικές καταστροφές.

Συγκεκριμένα, τα εναέρια μη επανδρωμένα οχήματα UAV αναμένεται να αποδειχθούν κατάλληλα για μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών:

- Ανίχνευση αντικειμένων στο έδαφος, στη θάλασσα και στον αέρα

- Αποστολές ελέγχου της εναέριας κυκλοφορίας σε δυσπρόσιτες περιοχές, στην περίπτωση φυσικών καταστροφών και έκτακτων περιστάσεων
- Αποστολές ελέγχου ναυτιλιακής κίνησης, οι οποίες θα περιλαμβάνουν την ανίχνευση πλοίων, την αποτροπή επικίνδυνων καταστάσεων στα λιμάνια, την παρακολούθηση των παράκτιων περιοχών και τον έλεγχο της αλιείας
- Εναέρια φωτογράφιση και παρακολούθηση της γήινης επιφάνειας
- Περιβαλλοντικός έλεγχος και συλλογή στοιχείων από σεισμογενείς περιοχές
- Παροχή πληροφοριών για τις γεωργικές καλλιέργειες και γεωλογική παρακολούθηση
- Παρακολούθηση παγωμένων περιοχών, κινήσεων των παγόβουνων σε αυτές καθώς και παρατήρηση των συνθηκών που επικρατούν στις θαλάσσιες περιοχές
- Ανάπτυξη τοπικών τηλεπικοινωνιακών δικτύων

Προκειμένου οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες να αντιμετωπίσουν τις παραπάνω αποστολές θα πρέπει να εξοπλιστούν με διαφορετικά συστήματα ωφέλιμων φορτίων, μεταξύ των οποίων θα πρέπει να περιλαμβάνονται αισθητήρες ραντάρ, οπτικά και άλλα τηλεπισκοπικά όργανα.

5.3. HALE (High Altitude Long Endurance Stratospheric Airships)

Το Ευρωπαϊκό Διαστημικό Γραφείο ESA σε συνδυασμό με την αεροδιαστημική εταιρεία της Γερμανίας DaimlerChrysler, την εταιρεία Lindstrand Balloons του Ηνωμένου Βασιλείου και το τεχνικό πανεπιστήμιο Delft στην Ολλανδία, ολοκλήρωσαν τους πρώτους υπολογισμούς και μελέτες σχετικά με την ιδέα των αεροστατικών σκαφών HALE, τα οποία θα τοποθετούνται σε ύψος 20km περίπου στη στρατόσφαιρα- σε μια περιοχή που δεν εκτελούν πτήσεις ούτε τα συμβατικά αεροπλάνα ούτε οι παραδοσιακοί δορυφόροι- και η διάρκεια λειτουργίας τους θα ποικίλει από μερικούς μήνες μέχρι λίγα χρόνια.

Οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες HALE είναι μεγάλα τροφοδοτούμενα αερόπλοια που περικλείουν αέριο ήλιο, έχουν αεροδυναμικό σχήμα περίπου 220m σε μήκος και 55m σε διάμετρο και μπορούν να κουβαλούν ωφέλιμο φορτίο 1000 περίπου κιλών. Οι πλατφόρμες αυτές δεν απαιτούν μια άκαμπτη ολική εσωτερική

κατασκευή, αλλά μοντέρνα εύκαμπτα υλικά για το περίβλημα που δεν επηρεάζονται από τις ισχυρές ακτίνες υπεριώδους ακτινοβολίας που υπάρχουν στο στρατοσφαιρικό περιβάλλον και που μπορούν να συγκρατήσουν το αέριο ήλιο στο εσωτερικό του, αφού ο σχεδιασμός τους βασίζεται στη διατήρηση μιας σταθερής ατμοσφαιρικής πίεσης στο εσωτερικό τους προκειμένου να παρέχεται η απαραίτητη δυσκαμψία και σκληρότητα στο σώμα του αεροσκάφους. Μόνο τοπικά κάποιες δύσκαμπτες ενισχύσεις είναι απαραίτητες για τη μηχανή και για τη σύνδεση και προσαρμογή του ωφέλιμου φορτίου.



Σχήμα 5.6: Μορφή πλατφόρμας HALE

Οι πλατφόρμες HALE είναι εξοπλισμένες με μια μηχανή για ευκινησία και για να διατηρούν σταθερή τη θέση τους έναντι των στρατοσφαιρικών ανέμων. Το ύψος των 20km είναι ικανό για την παροχή τοπικής κάλυψης περιοχών με έκταση διαμέτρου 100km ενώ επιπλέον παρέχει το πλεονέκτημα των μειωμένων στρατοσφαιρικών ανέμων. Για τη συλλογή ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας προκειμένου να τροφοδοτηθεί η ηλεκτρική μηχανή υψηλής απόδοσης που χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση ενός μεγάλου έλικα, περιλαμβάνονται ηλιακές κυψέλες που καλύπτουν το εξωτερικό περίβλημα του σκάφους. Ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας χρησιμοποιείται για την προώθηση και λειτουργία του σκάφους κατά τη διάρκεια των νυχτερινών ωρών.

Οι σύγχρονες μελέτες υποδεικνύουν ότι η τεχνολογία HALE μπορεί να παρέχει τη δυνατότητα σημαντικής υποστήριξης σε πολλές κρίσιμες υπηρεσίες όπως είναι η τηλεπισκόπηση και περιβαλλοντική παρακολούθηση, η έρευνα, ανίχνευση, διάσωση και διαχείριση καταστροφών καθώς και η παροχή επικοινωνιών τόσο σε μόνιμα όσο και σε προσωρινά δίκτυα που καθίστανται απαραίτητα κατόπιν επικίνδυνων καταστάσεων και έκτακτων αναγκών. Τα πιθανά οφέλη από τη χρήση της τεχνολογίας HALE στη διαχείριση έκτακτων περιστατικών αναμένεται να περιλάβουν μεταξύ άλλων τη διάσωση της ανθρώπινης ύπαρξης από την ανησυχία, την απελπισία, τον πόνο και τον κίνδυνο.

5.4. Κατανομή συχνοτήτων για τις υπηρεσίες που παρέχονται από τα HAPs

Το παγκόσμιο συνέδριο για τις ασύρματες τηλεπικοινωνίες WRC-97(World Radio Conference) υπέδειξε στην απόφαση 122 (Resolution 122) ένα ζεύγος φασματικών ζωνών εύρους 300MHz γύρω από τη συχνότητα των 47GHz για τις σταθερές υπηρεσίες των στρατοσφαιρικών πλατφορμών και συγκεκριμένα για την προς τα κάτω ζεύξη εκχωρήθηκε το εύρος συχνοτήτων: 47,2 – 47,5 GHz, ενώ για την προς τα άνω ζεύξη εκχωρήθηκε το εύρος: 47,9 – 48,2 GHz. Λόγω της υψηλής εξασθένησης του σήματος εξαιτίας των έντονων βροχοπτώσεων σε ορισμένες περιοχές, το παγκόσμιο συνέδριο WRC-2000 πρότεινε τη μελέτη ανάθεσης μιας επιπρόσθετης ζώνης συχνοτήτων για τα HAPs στην περιοχή των 18 έως 32 GHz για την περιοχή της Ασίας, εστιάζοντας κυρίως, αλλά όχι αποκλειστικά, στις ζώνες 27,5 – 28,35 GHz και 31,0 – 31,3 GHz. Θα πρέπει να τονιστεί ότι οι σταθερές υπηρεσίες βρίσκονται υπό την εθνική ευθύνη των κρατών και ότι η λειτουργία τέτοιων πλατφορμών απαιτεί τη λήψη έγκρισης και την εξουσιοδότηση από τις αντίστοιχες τοπικές αρχές αεροπλοΐας.

5.5. Τεχνικά προβλήματα της τεχνολογίας των στρατοσφαιρικών πλατφορμών

Η ιδέα των στρατοσφαιρικών πλατφορμών, αν και αναγνωρίστηκε ως μια κρίσιμη μελλοντική τεχνολογία που θα άνοιγε το δρόμο για βελτιωμένες εφαρμογές, όπως παροχή κινητών και σταθερών τηλεπικοινωνιών, περιβαλλοντική παρακολούθηση, τηλεσκοπική, αναζήτηση και (fixed) διάσωση σε καταστάσεις εκτάκτων περιστατικών, παραμένει ακόμη μέχρι σήμερα σε πειραματικό στάδιο.

Υπάρχουν, ακόμη, κρίσιμες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι επιστήμονες στην πορεία κατασκευής της καταλληλότερης πλατφόρμας που θα πληρεί τις βασικές αρχές της προτεινόμενης τεχνολογίας και που θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για όλες τις παραπάνω εφαρμογές. Τα κυριότερα τεχνικά προβλήματα που πρέπει να ξεπεραστούν είναι:

▪ Όλα τα υλικά πρέπει να είναι ελαφριά, να αντέχουν στην ακτινοβολία που κυριαρχεί στο ύψος λειτουργίας τους και να μην αντιμετωπίζουν διαρροή αερίου ηλίου που φέρουν στο εσωτερικό τους τα στρατοσφαιρικά αερόπλοια.

▪ Οι μηχανές πρέπει να είναι αρκετά δυνατές, ώστε να διατηρούν τις πλατφόρμες στατικές ενάντια στην επίδραση των στρατοσφαιρικών ανέμων.

▪ Η τροφοδότηση είναι ουσιώδες θέμα. Η ηλιακή ενέργεια είναι μια πιθανή λύση. Ιδίως, τα αερόπλοια «προσφέρουν» πολύ χώρο για την ανάπτυξη ηλιακών κυψελών. Για αποστολές μεγάλης διάρκειας μόνο ένα μέρος της συλλεγόμενης ηλιακής ακτινοβολίας πρέπει να διατίθεται για τις προωστικές δυνάμεις. Το υπόλοιπο μέρος, πρέπει να χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση των ηλεκτρικών στοιχείων ενεργειακής αποθήκευσης για τη λειτουργία της πλατφόρμας κατά τις βραδινές ώρες.

▪ Επαρκής ποσότητα ενέργειας πρέπει να παράγεται και να αποθηκεύεται όχι μόνο για την προώθηση αλλά και για τον τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό καθώς και τους αισθητήρες που θα αποτελούν το ωφέλιμο φορτίο της πλατφόρμας.

5.6. Εναλλακτικές μορφές τροφοδότησης των στρατοσφαιρικών πλατφορμών

Όλες οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες, τόσο τα αερόπλοια όσο και τα αεροσκάφη απαιτούν κάποια ποσότητα ενέργειας, για να απογειωθούν, να διατηρήσουν στατική τη θέση τους ή να πετούν σε μικρές κυκλικές τροχιές, να κατεβαίνουν από το ύψος λειτουργίας και να προσγειώνονται για αναβάθμιση, επιδιόρθωση ή αντικατάσταση. Η ενέργεια αυτή, θα μπορούσε να προσφερθεί στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες με τους παρακάτω τρόπους:

- «συλλαμβάνοντας» την ηλιακή ενέργεια
- κουβαλώντας αποθέματα καυσίμων
- αποστέλλοντας ενέργεια από τη γη με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

5.6.1. Ηλιακά τροφοδοτούμενες πλατφόρμες

Ο ήλιος αποτελεί την πλέον φυσική πηγή ενέργειας για τις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες που βρίσκονται τοποθετημένες πάνω από τα σύννεφα. Η απόδοση των φωτοβολταϊκών κυψελών έχει βελτιωθεί σημαντικά, μετατρέποντας την ηλιακή ενέργεια σε μια ιδιαίτερα «ελκυστική» και αποτελεσματική λύση για την τροφοδοσία των στρατοσφαιρικών πλατφορμών. Καθώς οι ημιστατικές πλατφόρμες ακολουθούν τον ίδιο κύκλο ημέρας-νύχτας που ακολουθεί κάθε σημείο στη γη, οι ηλιακές κυψέλες μπορούν να παράγουν ενέργεια μόνο 12 ώρες ανά ημέρα. Επομένως, η ενέργεια που αντλείται από την ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της ημέρας πρέπει να αποθηκεύεται (τουλάχιστον κατά ένα μέρος) για χρήση κατά τη διάρκεια της νύχτας ώστε να εξασφαλιστεί η συνεχής λειτουργία της πλατφόρμας. Τα επαναφορτιζόμενα ηλεκτρικά στοιχεία που χρησιμοποιούν νερό ως καύσιμο αναμένεται να χρησιμοποιηθούν για το σκοπό αυτό. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, το νερό αποσυντίθεται σε υδρογόνο και οξυγόνο κατά την ηλεκτρολυτική διαδικασία το βράδυ, οι χημικές αντιδράσεις ακολουθούν αντίστροφη πορεία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και νερού, χωρίς πιθανότητα πρόκλησης μόλυνσης. Η αεροδυναμική πλατφόρμα Helios αποτελεί αντιπροσωπευτικό παράδειγμα ηλιακά τροφοδοτούμενης στρατοσφαιρικής πλατφόρμας.

5.6.2. Μηχανές ανάφλεξης

Ένας αριθμός στρατοσφαιρικών αεροδυναμικών πλατφορμών που κουβαλούν αποθέματα καυσίμων έχουν αναπτυχθεί για στρατιωτικούς σκοπούς. Το 1986, ένα πειραματικό αεροπλάνο (Rutan Voyager) άντεξε 216 ώρες πτήσης χωρίς διακοπή. Ένα πιο πρόσφατο στρατοσφαιρικό αερόπλοιο, το ονομαζόμενο Proteus είναι ικανό να κουβαλήσει 1000kg ωφέλιμο φορτίο σε ύψος 20km και να κυκλοφορήσει για 14 ώρες περίπου. Για απεριόριστη αντοχή λειτουργίας, το όχημα θα πρέπει κατά προτίμηση να είναι μη επανδρωμένο. Τέτοια οχήματα υπάρχουν ήδη, όπως τα RPV (Remotely Piloted Vehicles) και UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι τα αέρια που φεύγουν από τις μηχανές διαταράσσουν τη χημική/θερμοδυναμική ισορροπία της στρατόσφαιρας και επιπρόσθετα, οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις των πλατφορμών αυτών στο κλίμα και στη ζωή του πλανήτη είναι άγνωστες.

5.6.3. Μικροκυματικά-τροφοδοτούμενες πλατφόρμες

Η αντοχή λειτουργίας των μικροκυματικά –τροφοδοτούμενων πλατφορμών μπορεί να είναι απεριόριστη. Επιπλέον, τέτοιες πλατφόρμες δεν παράγουν μολυσματικά αέρια. Για τους λόγους αυτούς, η πιθανή χρήση μικροκυματικών ακτίνων για τη τροφοδότηση των στρατοσφαιρικών πλατφορμών έχει μελετηθεί από πολύ νωρίς. Η πρώτη δημόσια επίδειξη ενός μικροκυματικά –τροφοδοτούμενου HAP έλαβε χώρα στον Καναδά το 1987. Ήταν ένα μη επανδρωμένο αεροσκάφος, ασύρματα ελεγχόμενο (radio controlled) με άνοιγμα πτερυγίων 4.5m που τροφοδοτήθηκε από μικροκυματική ακτίνα στα 2.45Ghz από επίγεια κεραία. Τα μικροκυματικά λαμβάνονταν από έναν συλλέκτη πίσω από τα πτερύγια του αεροσκάφους. Ο συλλέκτης αποτελούνταν από έναν αριθμό ανορθωτικών κεραιών (rectifier antennas) που μετέτρεπαν τα μικροκύματα σε συνεχές ρεύμα που τροφοδοτούσε την πλατφόρμα, το σύστημα ελέγχου και τις δύο προωθητικές μηχανές. Αργότερα, εξετάστηκε και η ακτίνα laser ως μέσο τροφοδότησης. Πάντως, τα μικροκυματικά ή μέσω ακτίνας laser τροφοδοτούμενα HAPs εμπλέκουν κινδύνους ακτινοβολίας και δεν θεωρούνται 100% ασφαλή και «φιλικά» προς το περιβάλλον.

5.7. Βιβλιογραφία 5^{ου} Κεφαλαίου

1. **Introduction to High Altitude Platforms**
http://www.bath.ac.uk/elec-eng/pages/research/rsrsold/high_altitude_platforms.html
2. **HALE**
<http://www.estec.esa.nl/halewww/www/ha.e.html>
3. **High Altitude Airship**
<http://www.lockheedmartin.com/akron/protech/aeroweb/aerostat/haa.html>
4. **Candidate GDIN Pilot Project Stratospheric Satellites**
<http://www.gdin.org/projects.html>
5. **Development of Stratospheric Platform**
<http://www2.crl.go.jp/mt/b181/research/spf/index-e.html>
6. **Radiocommunication Study Group 9**
[R-REC-F.1569-0-200205-P!!PDF-E.pdf](#)
7. **HELINET**
<http://www.helinet.polito.it/surveillance.asp>
8. **HALE HIGH ALTITUDE LONG ENDURANCE**
<http://www.estec.esa.nl/halewww/>
9. **Stratospheric Balloon Platform Experimentation Projects**
http://grandbassin.net/documents/eng_doc_main.html
10. **Frequently Asked Questions**
<http://www.lvcn.com/walden/faqs.html>
11. **What are HAPs?**
<http://www.skylarc.com/haps.html>
12. **Technical Feasibility of SPF Airships for Telecommunications and Earth Observation in the 21st Century**
<http://www.nal.go.jp/newsletter/001.html>
13. **T.C.Tozer, D.Grace: “High – altitude platforms for wireless communications”, IEEE Commun. Mag., June 2001**
14. **D.Grace, T.C.Tozer, N.E.Daly, “Communications from High Altitude Platforms – A European Perspective”.**
15. **Mobile telecommunications via stratosphere**
<http://www.intercomms.net/content/struzak1.php>

16. [HAPS-OFCM.pdf](#)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Μελέτη υπαρξιμότητας των στρατοσφαιρικών πλατφορμών για εφαρμογή τηλεπισκόπησης, περιβαλλοντική παρακολούθηση και διαχείριση φυσικών καταστροφών & έκτακτων περιστατικών

6.1. Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες, οι τεχνολογίες που σχετίζονται με την τηλεπισκόπηση, την περιβαλλοντική παρακολούθηση και τη διαχείριση των καταστροφών και έκτακτων περιστατικών έχουν αναπτυχθεί σχεδόν ανεξάρτητα η μία από την άλλη, όμως τα επιστημονικά αυτά πεδία παρουσιάζουν εκπληκτικές δυνατότητες αλληλοσυμπλήρωσης. Προκειμένου να αντιμετωπιστούν έκτακτα και επικίνδυνα περιστατικά απαιτείται άμεση, γρήγορη και αποτελεσματική αντίδραση, όπως επίσης χρήσιμη προειδοποιητική πληροφορία πριν από επικείμενες καταστροφές. Υπάρχουν ακόμη κενά και αρκετές προκλήσεις που καλούνται να

αντιμετωπίσουν κατά την εφαρμογή τους τα σύγχρονα δορυφορικά τηλεπισκοπικά συστήματα σε ένα γενικότερο επιχειρησιακό πλαίσιο για τη διαχείριση των επικίνδυνων καταστάσεων και την ετοιμότητα των κοινωνιών, προκειμένου να ελαχιστοποιούνται οι ζημιές και οι καταστροφικές επιπτώσεις των απρόσμενων περιστατικών.

Η ανάπτυξη και η χρήση της επόμενης γενιάς τηλεπισκοπικών πλατφορμών, των αποκαλούμενων **στρατοσφαιρικών πλατφορμών HAPs ή HALE** που αναμένεται να αφοσιωθούν με τις καλύτερες προοπτικές στις ανάγκες των κοινωνιών για την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών φαινομένων και την αντιμετώπιση των εκτάκτων περιστατικών, προκαλούν το ενδιαφέρον της σύγχρονης επιστημονικής κοινότητας και απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή και συστηματική μελέτη.

Στο 6^ο αυτό κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας παρουσιάζουμε **πρώτον** τα αποτελέσματα των έως τώρα μελετών για το κατά πόσο είναι εφικτή η χρήση των στρατοσφαιρικών πλατφορμών για εφαρμογές τηλεπισκόπισης, περιβαλλοντικής παρακολούθησης και διαχείρισης φυσικών καταστροφών & εκτάκτων περιστατικών, και **δεύτερον** τις προτάσεις και τα συμπεράσματα της διπλωματικής αυτής εργασίας για τις εφαρμογές και τους κατάλληλους αισθητήρες που θα μπορούσαν να λειτουργήσουν μελλοντικά οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες.

Η εργασία αυτή **καταλήγει** στο γεγονός ότι η καινούρια ιδέα της τεχνολογίας των στρατοσφαιρικών πλατφορμών που έχει προταθεί ως μια εναλλακτική λύση, θα μπορούσε να συμπληρώσει τις προοπτικές και δυνατότητες που παρέχονται από τα υπάρχοντα δορυφορικά τηλεπισκοπικά συστήματα καθώς και να ξεπεράσει τους περιορισμούς που αντιμετωπίζουν τα συστήματα αυτά. Πρόκειται για πλατφόρμες χαμηλού κόστους, με δυνατότητα εύκολης μετακίνησης, με δυνατότητα προσγείωσης και προσωρινής διακοπής της λειτουργίας τους όταν απαιτείται επιδιόρθωση ή αναβάθμιση των λειτουργικών τμημάτων της, με δυνατότητα εύκολης ανάπτυξης ενός τέτοιου συστήματος σε δύσκολα προσβάσιμες περιοχές στις οποίες παρουσιάζεται ένα έκτακτο περιστατικό και επιπρόσθετα με την ικανότητα παρακολούθησης υψηλής ανάλυσης τόσο χωρικής όσο και χρονικής. Οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν τα ήδη διαθέσιμα τηλεπισκοπικά όργανα που χρησιμοποιούνται στις δορυφορικές αποστολές

περιβαλλοντικής παρακολούθησης και να παρέχουν βελτιωμένες ικανότητες λόγω των χαρακτηριστικών των στρατοσφαιρικών πλατφορμών, όπως το χαμηλό ύψος τους σε σχέση με τους δορυφόρους και η στατική ή ημιστατική συμπεριφορά τους που εξασφαλίζει πολυχρονικές σαρώσεις της γήινης επιφάνειας. Τέλος, οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες που έχουν τη δυνατότητα παροχής τηλεπικοινωνιών και προς τις δύο κατευθύνσεις θα μπορούν να μεταδίδουν τα συλλεγόμενα δεδομένα σε σχεδόν πραγματικό χρόνο είτε μέσω του δικού τους ωφέλιμου φορτίου είτε μέσω δορυφορικών τηλεπισκοπικών συστημάτων.

6.2. Υπάρχουσες στρατοσφαιρικές πλατφόρμες για τηλεπισκόπηση, περιβαλλοντική παρακολούθηση και διαχείριση φυσικών καταστροφών

Οι σύγχρονες μελέτες υποδεικνύουν ότι η τεχνολογία των στρατοσφαιρικών πλατφορμών παρουσιάζει την προοπτική παροχής πολύτιμης υποστήριξης σε μια ποικιλία κρίσιμων υπηρεσιών, ανάμεσα στις οποίες περιλαμβάνονται η τηλεπισκόπηση και παρακολούθηση περιβαλλοντικών φαινομένων, η αναζήτηση, η διάσωση και οι επικοινωνίες που απαιτούνται για την αποτελεσματική αντιμετώπιση και διαχείριση των φυσικών καταστροφών και των επικίνδυνων καταστάσεων που δημιουργούνται ως αποτελέσματα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Στον τομέα της τηλεπισκόπησης και της περιβαλλοντικής παρακολούθησης, οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες θα μπορέσουν να πραγματοποιήσουν υψηλής ανάλυσης και συνέχειας παρακολούθηση/επιτήρηση των επικίνδυνων φαινομένων, που δεν μπορούν να επιτευχθούν από ξεχωριστούς δορυφόρους ή μικρές ομάδες δορυφόρων ή των οποίων η παροχή θα ήταν εξαιρετικά δαπανηρή με τη χρήση αερομεταφερόμενων συστημάτων.

Οι βασικές τηλεπισκοπικές απαιτήσεις για τις εφαρμογές διαχείρισης εκτάκτων περιστατικών είναι η γρήγορη αντίδραση σε απρόσμενα γεγονότα (χρόνος αντίδρασης), η υψηλή συχνότητα παρατήρησης (χρονική ανάλυση) και η καλή χωρική ανάλυση. Επιπλέον, το κόστος των παρεχόμενων υπηρεσιών επιτήρησης και η ικανότητα του χρησιμοποιούμενου συστήματος να εγγυηθεί τη διαθεσιμότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας στις προκύπτουσες ανάγκες αποτελούν πολύ σημαντικά ζητήματα.

6.2.1. Στρατοσφαιρικοί δορυφόροι (Stratospheric Satellites)

Η Παγκόσμια Αεροδιαστημική Εταιρεία GAC (Global Aerospace Corporation) συνέλαβε και μελετά μια καινούρια επαναστατική ιδέα που περιλαμβάνει την ανάπτυξη ενός παγκόσμιου δικτύου από μερικές εκατοντάδες χαμηλού κόστους αυτόνομα στρατοσφαιρικά δορυφορικά συστήματα, που θα μπορούν να πραγματοποιήσουν με επιτυχία αποστολές, όπως έγκαιρη παροχή πληροφορίας σχετικά με καταστροφές ώστε να ληφθούν γρήγορες αποφάσεις, παρακολουθώντας την επιφάνεια της γης σε παγκόσμιο επίπεδο και ανιχνεύοντας και παρατηρώντας τους ποικίλους περιβαλλοντικούς κινδύνους. Τα στρατοσφαιρικά δορυφορικά αυτά συστήματα που ονομάστηκαν στρατοσφαιρικοί δορυφόροι StratoSatTM, είναι μη επανδρωμένες πλατφόρμες σε μορφή αερόστατου (μπαλονιού) που πλέουν στους στρατοσφαιρικούς ανέμους και συλλέγουν πληροφορίες. Για τους σκοπούς της περιβαλλοντικής παρακολούθησης χρησιμοποιούν ένα σύστημα ελέγχου της τροχιάς τους.

6.2.1.1. Περιγραφή πλατφόρμας

Μία πλατφόρμα StratoSatTM αποτελείται από ένα μικρό ($\sim 70.000\text{m}^3$) υπερπιεσμένο (superpressure) στρατοσφαιρικό αερόστατο, μία λέμβο η οποία περιλαμβάνει όλα τα συστήματα που σχετίζονται με τη λειτουργία, την απαιτούμενη ισχύ, την ασφάλεια πτήσης της πλατφόρμας, τα επιστημονικά συστήματα και όργανα για την τηλεπισκόπηση της γήινης επιφάνειας καθώς και τα συστήματα που απαιτούνται για τις τηλεπικοινωνίες και τέλος, ένα σύστημα ελέγχου της τροχιάς πτήσης TCS (Trajectory Control System).



Σχήμα 6.1: Στρατοσφαιρικός δορυφόρος

Ο σχεδιασμός του αερόστατου έχει βασιστεί στην τεχνολογία κατασκευής των αερόστατων πολύ μεγάλης διάρκειας λειτουργίας ULDB (Ultra Long Duration Balloon) της NASA. Το αερόστατο ULDB της NASA είναι ένα υπερπιεσμένο αερόστατο με πολυαιθυλένιο που μπορεί να μεταφέρει ωφέλιμο φορτίο μέχρι 2.045kg και τοποθετείται σε ύψος 34km. Η πλατφόρμα StratoSatTM χρησιμοποιεί μια μικρότερη έκδοση της εξελιγμένης τεχνολογίας του αερόστατου της NASA και έτσι μπορεί να μεταφέρει μικρότερο ωφέλιμο φορτίο της τάξης των 250kg περίπου, ενώ αναμένεται να διατηρεί ένα σταθερό ύψος λειτουργίας στα 35km. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η μορφή ενός αερόστατου ULDB της NASA.

Η κατασκευή της λέμβου βασίζεται σε έναν ελαφρύ μηχανικό σχεδιασμό και σε έναν μικρής ισχύος ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Η ισχύς που απαιτείται για τα συστήματα της λέμβου (περίπου 2kW) παρέχεται από μια σειρά ηλιακών κυψελών, ενώ μια ηλεκτρική συστοιχία ή ένα υποσύστημα επαναφορτιζόμενων ηλεκτρικών στοιχείων υδρογόνου χρησιμοποιείται για την παροχή ενέργειας κατά τη διάρκεια των νυχτερινών πτήσεων.

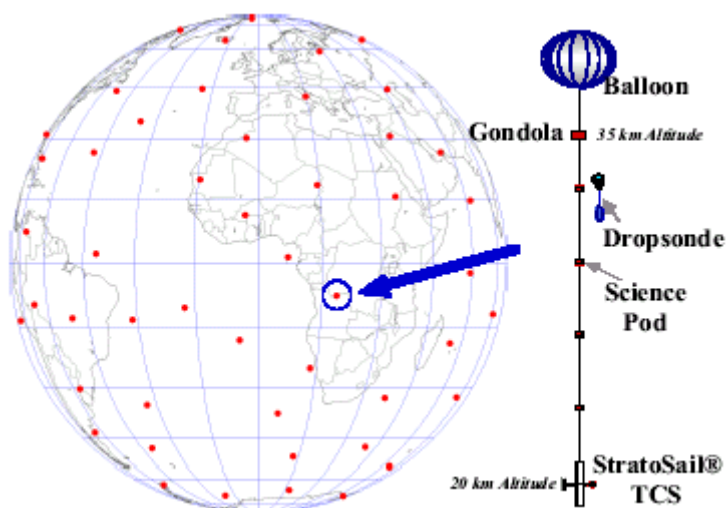
Προκειμένου να ελέγχεται και να καθοδηγείται η κατεύθυνση πτήσης των στρατοσφαιρικών αυτών δορυφόρων για τους σκοπούς της τηλεπισκόπησης, χρησιμοποιείται ένα σύστημα ελέγχου της τροχιάς το οποίο βασίζεται στο σύστημα StratoSail® TCS της παγκόσμιας αεροδιαστημικής εταιρείας. Το σύστημα StratoSail® TCS αιωρείται πάνω σε ένα σχοινί 15km κάτω από το ύψος του αερόστατου. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα πτερύγιο το οποίο κρέμεται στο τελευταίο σημείο της όλης κατασκευής, ώστε οι στρατοσφαιρικοί άνεμοι που δρουν στο ύψος

των 20km περίπου όπου βρίσκεται, να προκαλούν μια οριζόντια δύναμη, η οποία ωθεί το αερόστατο σε κατεύθυνση διάσχισης των αερίων ρευμάτων, μεταβάλλοντας σημαντικά την τροχιά του. Η λειτουργία αυτή επιτρέπει στο αερόστατο να ελιχθεί προς τις περιοχές ενδιαφέροντος για συλλογή στοιχείων σχετικά με ατμοσφαιρικά, κλιματολογικά και άλλα περιβαλλοντικά φαινόμενα.



Σχήμα 6.2: Σύστημα ελέγχου της τροχιάς

Στο επόμενο σχήμα απεικονίζεται η σχηματική αναπαράσταση μιας στρατοσφαιρικής πλατφόρμας StratoSatTM και ένα δίκτυο από 100 τέτοια συστήματα καταναμημένα ομοιόμορφα γύρω από τη γη.



Σχήμα 6.3: Δίκτυο ομοιόμορφα καταναμημένων στρατοσφαιρικών δορυφόρων γύρω από τη γη

6.2.1.2. Ικανότητες και χαρακτηριστικά

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά και οι σημαντικότερες ικανότητες που διαθέτουν

οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες StratoSatTM λόγω των οποίων αναμένεται να αποδειχθούν ιδιαίτερα χρήσιμες για την τηλεπισκοπική παρακολούθηση του περιβάλλοντος και της επιφάνειας της γης, είναι:

- **Συλλογή στοιχείων και απεικόνιση με υψηλή χωρική ανάλυση**- παρασυρόμενες στο ύψος των 35km, οι πλατφόρμες StratoSatTM θα παρέχουν απεικόνιση, τηλεπισκοπικές και απευθείας μετρήσεις υψηλότερης ανάλυσης και ποιότητας από αυτά που επιτυγχάνονται από ένα δορυφόρο.

- **Χαμηλό κόστος**-λόγω της εξέλιξης της ηλεκτρονικής, των τηλεπικοινωνιών και της τεχνολογίας αερόπλοιων και αεροσκαφών, το κόστος για κάθε μία από τις πλατφόρμες αυτές αναμένεται να φτάσει σε εκείνο το επίπεδο που θα καθιστούσε εφικτή την ανάπτυξη εκατοντάδων πλατφορμών για παγκόσμια κάλυψη και που θα αντιστοιχεί μόνο σε ένα ποσοστό του κόστους που απαιτείται για την απογείωση ενός δορυφόρου

- **Μεγάλη διάρκεια**-οι πλατφόρμες StratoSatTM αναμένεται να βρίσκονται σε λειτουργία για 3 έως 10 χρόνια μετά την απογείωσή τους στα "όρια του διαστήματος", στα 35km. Για τη διατήρησή τους σε λειτουργία μέχρι και 3 χρόνια δεν απαιτούνται καύσιμα, αφού η απαιτούμενη ισχύς για τη λειτουργία των συστημάτων του ωφέλιμου φορτίου θα παρέχεται από ηλιακές κυψέλες.

- **Έλεγχος τροχιάς**-ένα πρωτοποριακό σύστημα ελέγχου της τροχιάς προωθεί την πλατφόρμα πάνω από την περιοχή ενδιαφέροντος.

6.2.1.3. Λειτουργία στρατοσφαιρικών δορυφόρων (StratoSat)

Η στρατοσφαιρική πλατφόρμα StratoSatTM ανεβαίνει στο ύψος των 35km, αναπτύσσει το σύστημα ελέγχου της τροχιάς StratoSail® TCS και στη συνέχεια προωθείται παρασυρόμενη από τα περιβαλλοντικά στρατοσφαιρικά ρεύματα, προσαρμόζοντας την τροχιά της ανάλογα με το σχεδιάγραμμα παρακολούθησης των περιοχών ενδιαφέροντος. Ο στρατοσφαιρικός δορυφόρος μεταδίδει τη συλλεγόμενη πληροφορία σε έναν επίγειο σταθμό μέσω δορυφορικής τηλεπικοινωνίας ή χρησιμοποιώντας τις δικές του δυνατότητες τηλεπικοινωνιών μέσω του αντίστοιχου φορτίου του. Ένα δίκτυο από στρατοσφαιρικούς δορυφόρους μπορεί να λειτουργήσει και αυτόνομα βασιζόμενο σε ελέγχους "τεχνητής νοημοσύνης", οπότε οι πλατφόρμες StratoSatTM προσαρμόζουν τις θέσεις τους σύμφωνα με έναν αλγόριθμο ο οποίος

βασίζεται σε πληροφορίες διαμόρφωσης του δικτύου, στους επικρατούντες ατμοσφαιρικούς ανέμους και στα παρατηρούμενα αντικείμενα.

Μια στρατοσφαιρική πλατφόρμα StratoSatTM μπορεί να κουβαλήσει ως μέρος του ωφέλιμου φορτίου της μέχρι και 300 ραδιοβολίδες GPS, υποθέτοντας ότι κάθε ραδιοβολίδα ζυγίζει μόλις 0,3kg. Η ραδιοβολίδα (dropsonde) είναι ένα όργανο που χρησιμοποιείται για καταγραφή πληροφορίας σχετικά με τους τυφώνες και τους κυκλώνες. Η ραδιοβολίδα είναι εξοπλισμένη με αλεξίπτωτο, αφήνεται να πέσει από την πλατφόρμα και παρέχει προβλέψεις με στοιχεία όπως η ταχύτητα των ανέμων, η κατεύθυνσή τους, η θερμοκρασία και η πίεση του αέρα, η υγρασία καθώς και το ύψος από το οποίο έγινε η συλλογή των στοιχείων αυτών μέχρι η ραδιοβολίδα να φτάσει στην επιφάνεια του εδάφους. Με χρήση του συστήματος GPS dropsonde που κατασκευάστηκε από το κέντρο ατμοσφαιρικής έρευνας NCAR, βελτιώνεται η ικανότητα απόκτησης πληροφοριών σχετικά με τα ατμοσφαιρικά μοντέλα και την εσωτερική δομή ενός τυφώνα. Η πλατφόρμα μπορεί επίσης να περιλαμβάνει τηλεπισκοπικά ραδιόμετρα, ραντάρ, λίνταρ, κάμερες και άλλους αισθητήρες, όπως και όργανα για μετρήσεις in-situ, δηλαδή με απευθείας επαφή με το παρατηρούμενο αντικείμενο (science pods για απευθείας μετρήσεις στα κατώτερα τμήματα της στρατόσφαιρας).

6.3. Μελέτη για την εύρεση των κατάλληλων αισθητήρων για στρατοσφαιρικές πλατφόρμες τηλεπισκόπησης

6.3.1. Εισαγωγή

Στις αποστολές περιβαλλοντικής παρακολούθησης μέσω τηλεπισκόπησης χρησιμοποιούνται σήμερα, πολλοί διαφορετικοί αισθητήρες, καθένας από τους οποίους χρησιμοποιεί διαφορετική τεχνολογία μετρήσεων, διαφορετικές τεχνικές, ενώ κάποιοι από αυτούς είναι παθητικοί και άλλοι ενεργοί αισθητήρες. Τα σύγχρονα τηλεπισκοπικά όργανα χρησιμοποιούν ένα μεγάλο εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος για την πραγματοποίηση των μετρήσεών τους, με αποτέλεσμα καθένας από αυτούς να χρησιμοποιείται για διαφορετικές εφαρμογές και να παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με ποικίλες γεωφυσικές παραμέτρους και φαινόμενα.

Οι κυριότερες κατηγορίες τηλεπισκοπικών οργάνων που χρησιμοποιούνται

σήμερα με μεγάλη επιτυχία στις δορυφορικές αλλά και κάποιες εναέριες αποστολές περιβαλλοντικής παρακολούθησης καθώς και οι πρωταρχικές εφαρμογές τους απεικονίζονται στον επόμενο πίνακα. Οι αισθητήρες αυτοί θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και ως μέρος του ωφέλιμου φορτίου των αναπτυσσόμενων στρατοσφαιρικών πλατφορμών και εκμεταλλευόμενοι τα πλεονεκτικά χαρακτηριστικά τους να παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες και απεικονίσεις υψηλής χωρικής και χρονικής ανάλυσης, με τελικό στόχο να συμπληρώσουν τις παρεχόμενες δυνατότητες από τους σύγχρονους περιβαλλοντικούς δορυφόρους και τα υπόλοιπα εναέρια συστήματα στην προσπάθεια επαρκούς περιβαλλοντικής παρακολούθησης και διαχείρισης των φυσικών καταστροφών.

Τηλεπισκοπικοί αισθητήρες	Πρωταρχικές εφαρμογές
Απεικονιστικά μικροκυματικά ραντάρ	Υψηλής ανάλυσης εικόνες της γήινης επιφάνειας
Όργανα ατμοσφαιρικής χημείας	Χημική σύσταση της ατμόσφαιρας
Wind Scatterometer	Ταχύτητα ανέμων στην επιφάνεια των ωκεανών
Απεικονιστικά πολυφασματικά ραδιόμετρα	Φασματική απεικόνιση της γήινης επιφάνειας/ατμόσφαιρας
Απεικονιστές υψηλής ανάλυσης	Λεπτομερείς εικόνες της γήινης επιφάνειας
Πολυκατευθυντικά ραδιόμετρα	Σκεδαζόμενη/εκπεμπόμενη ακτινοβολία από την ατμόσφαιρα/επιφάνεια
Υψομετρικά ραντάρ	Τοπογραφικό προφίλ επιφάνειας
Ραδιόμετρα των χρωμάτων των ωκεανών/απεικονιστικά φασματόμετρα	Ορατή/εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία από θαλάσσια νερά
Lidars	Ανάκλαση ακτινοβολίας λέιζερ από την επιφάνεια της γης ή την ατμόσφαιρα.

Εξετάζοντας την τεχνολογία και τις τεχνικές μετρήσεων που χρησιμοποιούνται από καθεμιά από τις παραπάνω κατηγορίες τηλεπισκοπικών αισθητήρων

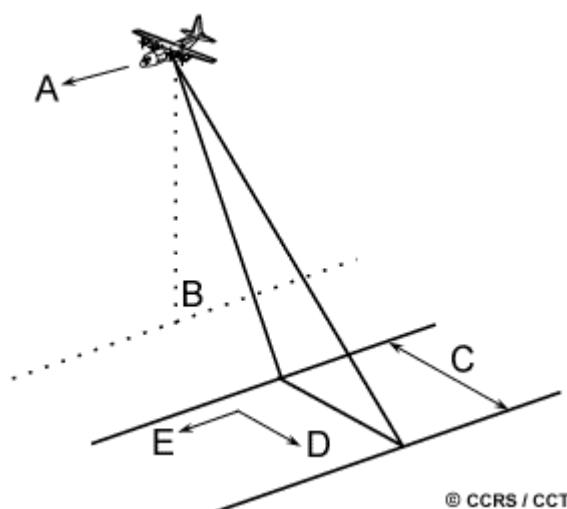
διαπιστώνουμε τη δυνατότητα εφαρμογής καθεμιάς ξεχωριστά στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες που έχουν προταθεί τόσο με τη μορφή στατικών αερόπλοιων όσο και με τη μορφή αεροδυναμικών αεροσκαφών.

6.3.1.1. Απεικονιστικά μικροκυματικά ραντάρ

6.3.1.1.1. Περιγραφή

Τα απεικονιστικά μικροκυματικά ραντάρ εκπέμπουν σε συχνότητες στην περιοχή από 1 – 10GHz περίπου και μετρούν τα οπισθοσκεδαζόμενα σήματα ώστε να παράγουν μικροκυματικές εικόνες της γήινης επιφάνειας σε υψηλή χωρική ανάλυση (5 – 100m) και με πλάτος ανιχνευόμενου μονοπατιού περίπου 100km. Οι παραγόμενες εικόνες έχουν παρόμοια ανάλυση με αυτές που παράγονται από τους οπτικούς απεικονιστές υψηλής ανάλυσης, αλλά επιπλέον τα συγκεκριμένα ραντάρ έχουν την ικανότητα να “βλέπουν” μέσα από σύννεφα, καπνό, ομίχλη, παρέχοντας πληροφορία υπό όλες τις καιρικές συνθήκες τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και κατά τη διάρκεια της νύχτας. Τα μικροκυματικά ραντάρ έχουν επιπρόσθετα την ικανότητα διείσδυσης μέσα από τη βλάστηση ώστε να παρέχουν μετρήσεις σχετικά με την τραχύτητα της γήινης επιφάνειας και στοιχεία σχετικά με τις διηλεκτρικές ιδιότητες της επιφάνειας. Μπορούν ακόμη να χρησιμοποιηθούν για την απόκτηση πληροφορίας σχετικά με την πόλωση και παρά το γεγονός ότι τα μήκη κύματος που χρησιμοποιούν είναι γενικά προκαθορισμένα, ραντάρ που λειτουργούν σε μια ποικιλία μηκών κύματος είναι επίσης διαθέσιμα.

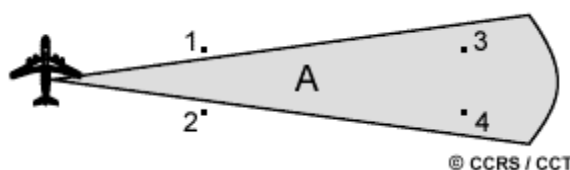
Στη συγκεκριμένη κατηγορία οργάνων που εξετάζουμε ανήκει το ραντάρ συνθετικού ανοίγματος **SAR (Synthetic Aperture Radar)** στο οποίο αναφερθήκαμε στο 3^ο κεφάλαιο. Ο αισθητήρας SAR, όπως έχει ήδη ειπωθεί εκπέμπει μικροκυματικούς παλμούς, οι οποίοι μεταδίδονται πλαγίως σε γωνίες δεξιά ως προς την κατεύθυνση της πλατφόρμας, “φωτίζοντας” ένα μονοπάτι (C) το οποίο είναι μετατοπισμένο ως προς το σημείο ναδίρ (B) του σκάφους. Οι εικόνες που παράγονται από το SAR είναι δύο διαστάσεων.



Σχήμα 6.4: Παραγωγή δισδιάστατων εικόνων μέσω του ραντάρ συνθετικού ανοίγματος SAR

Ως ακτίνα (range) (D) χαρακτηρίζεται η διεύθυνση κάθετα στην κατεύθυνση τροχιάς της πλατφόρμας και αποτελεί τη μία διάσταση της παραγόμενης εικόνας. Η ανάλυση της ακτίνας εξαρτάται από το μήκος του εκπεμπόμενου παλμού (P). Δύο ξεχωριστοί στόχοι στο έδαφος θα διακρίνονται στη διεύθυνση της ακτίνας, μόνο αν η απόστασή τους είναι μεγαλύτερη από το μισό του μήκους του εκπεμπόμενου παλμού. Έτσι, όσο μικρότερο είναι το μήκος του εκπεμπόμενου παλμού τόσο καλύτερη είναι η ανάλυση της παραγόμενης εικόνας στη διεύθυνση της ακτίνας.

Η άλλη διάσταση στην παραγόμενη εικόνα ονομάζεται αζιμούθιο (E) και αναφέρεται σε διεύθυνση παράλληλη ως προς την κατεύθυνση τροχιάς της πλατφόρμας. Η ανάλυση στο αζιμούθιο της εικόνας καθορίζεται από το γωνιακό εύρος της ακτινοβολούμενης μικροκυματικής ακτίνας. Το εύρος της μικροκυματικής δέσμης (A) αποτελεί μέτρο του εύρους του κύριου λοβού στο διάγραμμα ακτινοβολίας της χρησιμοποιούμενης κεραίας. Καθώς η ακτινοβολία από το ραντάρ μεταδίδεται σε μεγαλύτερες αποστάσεις από τον αισθητήρα, η ανάλυση στο αζιμούθιο της εικόνας χειροτερεύει. Στην παρακάτω εικόνα, οι στόχοι 1 και 2 που βρίσκονται σε μικρότερη απόσταση από τον αισθητήρα είναι διαχωρίσιμοι, αλλά δεν είναι διαχωρίσιμοι οι στόχοι 3 και 4.



Σχήμα 6.5: Ανάλυση στο αζιμούθιο της λαμβανόμενης εικόνας του SAR

Το εύρος της δέσμης του ραντάρ είναι αντιστρόφως ανάλογο προς το μέγεθος της κεραίας, το οποίο αναφέρεται και ως άνοιγμα (aperture), κάτι το οποίο σημαίνει ότι κεραία μεγαλύτερου ανοίγματος θα παράγει στενότερη μικροκυματική δέσμη και επομένως υψηλότερη αζιμουθιακή ανάλυση.

Καλύτερη ανάλυση στο αζιμούθιο της παραγόμενης εικόνας μπορεί να επιτευχθεί αυξάνοντας το μέγεθος της χρησιμοποιούμενης κεραίας. Εντούτοις, οι πραγματικές διαστάσεις της κεραίας περιορίζονται από τις διαστάσεις που μπορούν να τοποθετηθούν σε μια εναέρια ή δορυφορική πλατφόρμα. Για εναέρια ραντάρ, οι κεραίες περιορίζονται συνήθως σε άνοιγμα 1 ή 2m, ενώ για ραντάρ σε δορυφόρους οι κεραίες μπορεί να έχουν άνοιγμα 10 έως 15m. Προκειμένου να ξεπεράσουμε τον περιορισμό αυτό, η προς τα εμπρός κίνηση της πλατφόρμας καθώς και ειδική καταγραφή και επεξεργασία της οπισθοσκεδαζόμενης ηχούς χρησιμοποιούνται ώστε να προσομοιώσουμε μια κεραία πολύ μεγάλου μεγέθους και έτσι να επιτύχουμε αύξηση της ανάλυσης στο αζιμούθιο.

6.3.1.1.2. Πρόταση της διπλωματικής – δυνατότητα εφαρμογής στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες

Το ραντάρ συνθετικού ανοίγματος SAR, όπως αναφέρθηκε παραπάνω είναι ένας ανιχνευτικός, απεικονιστικός, ενεργός αισθητήρας, ο οποίος εκμεταλλεύεται την κίνηση της πλατφόρμας στην οποία είναι τοποθετημένο, προκειμένου να επιτύχει ομοιόμορφη υψηλή ανάλυση στο αζιμούθιο της παραγόμενης εικόνας.

Ακριβώς, λόγω της παραπάνω τεχνολογίας του ραντάρ συνθετικού ανοίγματος SAR, συμπεραίνουμε ότι αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κινούμενες (αεροδυναμικές) στρατοσφαιρικές πλατφόρμες, αλλά όχι στις αεροστατικές στρατοσφαιρικές πλατφόρμες. Οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες σε μορφή αεροσκαφών που εκτελούν κυκλικές τροχιές γύρω από την περιοχή παρατήρησης

μπορούν να υποστηρίξουν την τεχνολογία του αισθητήρα αυτού. Επιπρόσθετα, το βάρος του συγκεκριμένου οργάνου που υπολογίζεται στα 50,96kg, δεν είναι απαγορευτικό για την εγκατάστασή του σε μια τέτοια στρατοσφαιρική πλατφόρμα, η οποία μπορεί να δεχθεί ωφέλιμο φορτίο περίπου 1000kg. Αντίθετα, η τεχνολογία των στρατοσφαιρικών αερόπλοιων δεν μπορεί να υποστηρίξει το συγκεκριμένο αισθητήρα, αφού τέτοιου είδους πλατφόρμες έχουν σχεδιαστεί να παραμένουν σχεδόν στάσιμες σε κάποια συγκεκριμένη θέση πάνω από την περιοχή ανίχνευσης, με απόκλιση 1km ως προς την οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση, με αποτέλεσμα να μη διευκολύνουν την ανιχνευτική σάρωση του οργάνου.

Στην περίπτωση των αεροδυναμικών στρατοσφαιρικών αεροσκαφών, όπου ο αισθητήρας SAR μπορεί να εφαρμοστεί, παρέχονται βελτιωμένες δυνατότητες ανίχνευσης και παρακολούθησης φαινομένων, μέσω των λαμβανομένων μετρήσεων από το συγκεκριμένο όργανο, όπως:

- Ανίχνευση καμένων περιοχών στο έδαφος.
- Εξαγωγή μοντέλων εκχέρσωσης.
- Παρακολούθηση χαρακτηριστικών των οικοσυστημάτων των δασών.
- Χαρτογράφηση της χρήσης του εδάφους και παρακολούθηση των γεωργικών καλλιεργειών.
- Ανίχνευση παλιρροιακών πλημμύρων στις παράκτιες περιοχές.
- Διείσδυση μέσα πίσω από φυλλώματα, δέντρα και κάτω από το έδαφος (ανίχνευση ρωγμών στο φλοιό, ορυχείων).
- Ανίχνευση πετρελαιοκηλίδων στους ωκεανούς.

Όλες οι παραπάνω εφαρμογές παρέχονται με υψηλότερη χωρική και χρονική ανάλυση λόγω των χαρακτηριστικών των στρατοσφαιρικών πλατφορμών (χαμηλό ύψος, μικρός διανυόμενος κύκλος πάνω από την περιοχή παρατήρησης).

6.3.1.2. Όργανα ατμοσφαιρικής χημείας

6.3.1.2.1. Περιγραφή

Ο όρος “όργανα ατμοσφαιρικής χημείας” χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια ποικιλία οργάνων που χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνικές και διαφορετικά τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος για να πραγματοποιήσουν μετρήσεις

σχετικά με τη σύσταση της ατμόσφαιρας. Κάθε ατμοσφαιρικό αέριο χαρακτηρίζεται από τα φάσματα εκπομπής και απορρόφησης που περιγράφουν πώς αντιδρούν τα μόρια σε διαφορετικές συχνότητες του φάσματος. Τα συγκεκριμένα τηλεπισκοπικά όργανα εκμεταλλεύονται τις φασματικές αυτές υπογραφές για την παροχή πληροφοριών σχετικά με την ατμοσφαιρική σύσταση, πραγματοποιώντας μετρήσεις σε μια ποικιλία μηκών κύματος, μεταξύ της υπεριώδους και της μικροκυματικής ακτινοβολίας.

Στην κατηγορία αυτή ανήκει το όργανο GOME (Global Ozone Monitoring Experiment), το οποίο περιγράφηκε στο 3^ο κεφάλαιο. Το όργανο GOME είναι ένα παθητικό φασματόμετρο που μετρά το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται πίσω στο διάστημα από τα μόρια της ατμόσφαιρας και από τη γήινη επιφάνεια. Το όργανο αυτό μετρά επίσης το ηλιακό φάσμα απευθείας. Το GOME μετράει το φάσμα σε μια ευρεία περιοχή μηκών κύματος, από την υπεριώδη (UV 240nm), την ορατή και μέχρι την εγγύς υπέρυθρη περιοχή (near IR 790nm), με υψηλή ανάλυση (0,2-0,4nm). Το καταγραφόμενο φάσμα χρησιμοποιείται για την παραγωγή μιας λεπτομερούς εικόνας στην οποία είναι εμφανείς οι περιεκτικότητες του όζοντος, του διοξειδίου του αζώτου, των υδρατμών, των διμερών του οξυγόνου, του οξειδίου του βρωμίου και άλλων ανιχνευόμενων αερίων στην ατμόσφαιρα.

6.3.1.2.2. Πρόταση της διπλωματικής – δυνατότητα εφαρμογής στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες

Κάθε όργανο της συγκεκριμένης κατηγορίας χρησιμοποιεί διαφορετικές τεχνολογίες και τεχνικές μετρήσεων, έτσι δεν μπορούμε να καταλήξουμε σε ένα γενικό συμπέρασμα για τη δυνατότητα εφαρμογής τους σε όλα τα είδη στρατοσφαιρικών πλατφορμών. Αυτό που πρέπει να τονίσουμε, είναι ότι **γενικά τα όργανα που πραγματοποιούν ανιχνευτική λειτουργία μέσω σάρωσης κάποιας περιοχής του εδάφους, προϋποθέτουν κίνηση της πλατφόρμας στην οποία είναι τοποθετημένα, προκειμένου να παραχθούν δισδιάστατες εικόνες. Έτσι, τα όργανα αυτά είναι απαγορευτικά για τα στατικά αεροπλάνα, αφού σε αυτά δεν μπορούν να εφαρμόσουν την τεχνολογία σάρωσης με την οποία έχουν κατασκευαστεί.** Ωστόσο, η τεχνολογία των αεροδυναμικών αεροσκαφών μπορεί να υποστηρίξει την

ανιχνευτική λειτουργία τέτοιων αισθητήρων και έτσι να εκμεταλλευτεί τις λαμβανόμενες μετρήσεις τους.

Ειδικά, στην περίπτωση του οργάνου GOME, καταλήγουμε στα εξής: το όργανο GOME είναι ένα παθητικό φασματόμετρο που προκειμένου να λάβει μετρήσεις και εικόνες σχετικά με την κατανομή των ανιχνευόμενων αερίων στην τροπόσφαιρα και στη στρατόσφαιρα, χρησιμοποιεί ένα ανιχνευόμενο περιστρεφόμενο κάτοπτρο που ανιχνεύει τη λαμβανόμενη ακτινοβολία σε γραμμές κάθετες ως προς την κίνηση της τροχιάς της πλατφόρμας. Καθώς η πλατφόρμα κινείται προς τα εμπρός πάνω από τη γη οι διαδοχικές αυτές ανιχνευόμενες γραμμές δημιουργούν μια δισδιάστατη εικόνα. Πρόκειται λοιπόν, για ένα όργανο ανίχνευσης εγκάρσια ως προς την τροχιά της πλατφόρμας.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, το παθητικό φασματόμετρο GOME δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις αεροστατικές στρατοσφαιρικές πλατφόρμες, ενώ δεν παρουσιάζεται κανένα εμπόδιο στη λειτουργία του πάνω σε μια αεροδυναμική στρατοσφαιρική πλατφόρμα (αεροσκάφος). Επιπλέον, έχει μικρό βάρος της τάξης των 55,3kg, επομένως ούτε ο παράγοντας αυτός είναι περιοριστικός για τη λειτουργία του, μέσω στρατοσφαιρικών πλατφορμών.

Η εφαρμογή του GOME και των λοιπών οργάνων της κατηγορίας του στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες, μπορεί να παρέχει πολύτιμες πληροφορίες:

- Παρακολούθηση και καταγραφή εκπομπών αερίου από εκρήξεις ηφαιστειών.
- Παρακολούθηση εκπομπών αερίων από φωτιές.
- Ανίχνευση χημικής σύστασης της τροπόσφαιρας (το ατμοσφαιρικό στρώμα από την επιφάνεια της γης μέχρι ύψος περίπου 10m) και του κατώτατου τμήματος της στρατόσφαιρας.
- Μέτρηση στρατοσφαιρικών θερμοκρασιών και συγκεντρώσεων των H_2O , O_3 , ClO , BrO , HCl , OH , HO_2 , HNO_3 , HCN , και N_2O , για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη μείωση του στρώματος του όζοντος και τις πιθανές κλιματολογικές μεταβολές.
- Καταγραφή μετρήσεων των επιδράσεων του φαινομένου El Niño.

- Κλιματολογικές και μετεωρολογικές εκτιμήσεις και προβλέψεις.

6.3.1.3. Wind Scatterometer

6.3.1.3.1. Περιγραφή

Οι αισθητήρες αυτοί εκπέμπουν μικροκυματικούς παλμούς ραντάρ και λαμβάνουν την οπισθοσκεδαζόμενη ενέργεια, η ένταση της οποίας εξαρτάται από την τραχύτητα και τις διηλεκτρικές ιδιότητες του συγκεκριμένου ακτινοβολούμενου στόχου. Αρχικά, σχεδιάστηκαν για τη μέτρηση των χαρακτηριστικών των ανέμων που δρουν στην επιφάνεια των ωκεανών, με την ποσότητα του οπισθοσκεδαζόμενου σήματος να εξαρτάται από δύο κυρίως παράγοντες – το μέγεθος των κυματισμών στην επιφάνεια των ωκεανών και τον προσανατολισμό τους σε σχέση με την κατεύθυνση διάδοσης του εκπεμπόμενου παλμού ακτινοβολίας από τον αισθητήρα. Ο πρώτος παράγοντας εξαρτάται από την ταχύτητα των ανέμων στην επιφάνεια των ωκεανών, ενώ ο δεύτερος σχετίζεται με την κατεύθυνση του ανέμου. Έτσι, μετρήσεις από τον αισθητήρα Wind Scatterometer μπορούν να παρέχουν πληροφορία τόσο για την ταχύτητα όσο και την κατεύθυνση των ανέμων.

Κύριος σκοπός του αισθητήρα είναι η παροχή μετρήσεων υψηλής ακρίβειας σε σχέση με τα χαρακτηριστικά των ανέμων και έτσι η παρεχόμενη ανάλυση είναι δευτερεύουσας σημασίας (συνήθως παράγουν χάρτες ανέμων με ανάλυση της τάξης των 25 – 50km). Επειδή λειτουργούν με μικροκυματικές συχνότητες, είναι διαθέσιμοι σε όλες τις καιρικές συνθήκες. Παράδειγμα ενός τέτοιου αισθητήρα έχει περιγραφεί στο 3^ο κεφάλαιο.

6.3.1.3.2. Πρόταση της διπλωματικής – δυνατότητα εφαρμογής στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, οι συγκεκριμένοι αισθητήρες είναι μη απεικονιστικά ραντάρ. Πρόκειται για ενεργές συσκευές που μετρούν το οπισθοσκεδαζόμενο σήμα από το αντίστοιχο ακτινοβολούμενο “κελί” στο έδαφος με ειδικούς σχηματισμούς γωνιών πρόσπτωσης της ακτινοβολίας και σε συγκεκριμένες περιοχές μηκών κύματος. Η μη απεικονιστική λειτουργία τους δεν απαιτεί την κίνηση της πλατφόρμας στην οποία είναι τοποθετημένοι, αφού δεν έχουν σχεδιαστεί να σαρώνουν την περιοχή παρατήρησης σημείο προς σημείο για την εξαγωγή

δισδιάστατων εικόνων. Αυτή η λεπτομέρεια είναι πολύ σημαντική για τη δυνατότητα εφαρμογής των αισθητήρων αυτών στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες. Πράγματι, από τα παραπάνω καταλήγουμε στο συμπέρασμα, ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλες τις μορφές στρατοσφαιρικών πλατφορμών. Μόνος περιοριστικός παράγοντας αναμένεται να είναι το βάρος του, της τάξης των 274,84kg, για τα μικρά κυρίως αερόπλοια που δε θα μπορούν να κουβαλήσουν αυτό το βάρος σε συνδυασμό με το υπόλοιπο απαιτούμενο επικοινωνιακό ωφέλιμο φορτίο.

Η εφαρμογή του Wind Scatterometer στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες αναμένεται να προσφέρει τις παρακάτω πληροφορίες:

- Κατεύθυνση και ταχύτητα ανέμων που πνέουν κοντά στην επιφάνεια των ωκεανών.
- Διερεύνηση κλιματολογικών μοντέλων.
- Εκτίμηση και πρόβλεψη καιρικών φαινομένων, κυκλώνων, κ.λ.π.
- Έκταση παγωμένων θαλάσσιων περιοχών και συγκέντρωση πάγου.

6.3.1.4. Απεικονιστικά πολυφασματικά ραδιόμετρα

6.3.1.4.1. Περιγραφή

Τα πολυφασματικά απεικονιστικά ραδιόμετρα που λειτουργούν στην ορατή και υπέρυθρη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος χρησιμοποιούνται για να απεικονίσουν τη γήινη επιφάνεια και ατμόσφαιρα, παρέχοντας ακριβείς φασματικές πληροφορίες με τυπική χωρική ανάλυση 100m περίπου και με πλάτος ανιχνευόμενου μονοπατιού μερικών εκατοντάδων έως μερικών χιλιάδων χιλιομέτρων (όταν είναι τοποθετημένα σε δορυφορικές πλατφόρμες). Η ανίχνευση συνήθως γίνεται σε πολλαπλά στενά και με ακρίβεια βαθμονομημένα φασματικά κανάλια. Τα όργανα αυτά δεν μπορούν να διεισδύσουν μέσα από σύννεφα ή βροχή και έτσι περιορίζεται η χρήση τους σε παρατηρήσεις υπό ομαλές και ήπιες καιρικές συνθήκες. Πρόσφατες ανακαλύψεις οδηγούν σε βελτιωμένη χωρική ανάλυση, με αποτέλεσμα σε ορισμένες περιπτώσεις να εξισώνεται η απόδοσή τους με εκείνη των απεικονιστών υψηλής ανάλυσης τόσο στη χωρική ανάλυση όσο και στη ραδιομετρική ακρίβεια.

Στην κατηγορία αυτή τηλεπισκοπικών οργάνων ανήκει το εξελιγμένο ραδιόμετρο πολύ υψηλής ανάλυσης AVHRR (Advanced Very High Resolution

Radiometer). Ο αισθητήρας AVHRR, όπως έχει ήδη ειπωθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, συλλέγει πληροφορία για μια ευρεία ποικιλία περιβαλλοντικών, ωκεανογραφικών και ατμοσφαιρικών εφαρμογών.

6.3.1.4.2. Πρόταση της διπλωματικής – δυνατότητα εφαρμογής στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες

Στη συγκεκριμένη κατηγορία αισθητήρων ανήκουν όργανα, όπως το AVHRR, που αποτελούν παθητικές απεικονιστικές συσκευές. Για την παραγωγή των εικόνων χρησιμοποιείται ένα ανιχνευτικό κάτοπτρο το οποίο περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα παράλληλο προς την κατεύθυνση πτήσης της πλατφόρμας. Ειδικότερα, στην περίπτωση του αισθητήρα AVHRR, η σάρωση της επιφάνειας γίνεται με διαδοχικές γραμμές κάθετα ως προς την κατεύθυνση της πλατφόρμας, με αποτέλεσμα η προς τα εμπρός κίνησή της να παράγει δισδιάστατες απεικονίσεις της γήινης επιφάνειας. Και στην περίπτωση αυτή, λοιπόν, οι χρησιμοποιούμενοι τηλεπισκοπικοί αισθητήρες είναι συσκευές που είναι σχεδιασμένες για κινούμενες πλατφόρμες.

Από τα παραπάνω καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα απεικονιστικά πολυφασματικά ραδιόμετρα στην ορατή και υπέρυθρη περιοχή του φάσματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο στις αεροδυναμικές στρατοσφαιρικές πλατφόρμες, αλλά όχι στις αεροστατικές. Οι αεροδυναμικές πλατφόρμες παρέχουν την κίνηση που απαιτεί η τεχνολογία των αισθητήρων αυτών για την παραγωγή των εικόνων τους και μάλιστα με μεγαλύτερη χωρική αλλά και χρονική ανάλυση.

Με χρήση των οργάνων της συγκεκριμένης κατηγορίας και ειδικότερα του AVHRR ως μέρος του ωφέλιμου φορτίου στρατοσφαιρικών πλατφορμών, μπορούν να ληφθούν πληροφορίες, για τις παρακάτω εφαρμογές:

- Ανάλυση και πρόβλεψη καιρικών φαινομένων.
- Κλιματολογική έρευνα.
- Παρακολούθηση και ταξινόμηση των διαφορετικών τύπων βλάστησης.
- Μετρήσεις της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας.
- Ανίχνευση πυρκαγιών.
- Ανίχνευση ενδείξεων ξηρασίας.

6.3.1.5. Απεικονιστές υψηλής ανάλυσης

6.3.1.5.1. Περιγραφή

Οι απεικονιστές υψηλής ανάλυσης παρέχουν λεπτομερείς εικόνες της γήινης επιφάνειας. Γενικά, οι αισθητήρες αυτοί είναι παθητικά όργανα με δυνατότητα ανίχνευσης προς την κατεύθυνση του σημείου ναδίρ της πλατφόρμας (nadir-viewing), με οριζόντια χωρική ανάλυση στο διάστημα 10 έως 100m και με πλάτος ανιχνευόμενου μονοπατιού της τάξης των 100km. Στο άμεσο μέλλον, απεικόνιση πολύ υψηλής ανάλυσης της τάξης του 1 έως 5m, θα είναι διαθέσιμη για μια ποικιλία εμπορικών εφαρμογών. Οι απεικονιστές υψηλής ανάλυσης λειτουργούν στο εύρος μεταξύ της ορατής και της υπέρυθρης περιοχής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και καταγράφουν εικόνες ταυτόχρονα σε διαφορετικά μήκη κύματος μέσα στο παραπάνω εύρος. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται το περιεχόμενο πληροφοριών που μπορούν να εξαχθούν από το σύνολο των καταγραφόμενων εικόνων.

Προκειμένου να μειώνεται η ατμοσφαιρική απορρόφηση και να αυξάνεται η ποιότητα της εικόνας, τα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται κατά την καταγραφή της ανιχνευομένης ακτινοβολίας από το όργανο, επιλέγονται έτσι ώστε να συμπίπτουν με τα ατμοσφαιρικά παράθυρα. Ωστόσο, τα όργανα που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία, δεν έχουν την ικανότητα διείσδυσης μέσα από πυκνά σύννεφα, βροχή ή ομίχλη και έτσι περιορίζονται σε συνθήκες ήπιου κλίματος και σε λειτουργία μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Σε αυτή την κατηγορία τηλεπισκοπικών αισθητήρων ανήκει ο θεματικός χαρτογράφος TM (Thematic Mapper) που εξετάστηκε στο 3^ο κεφάλαιο. Ο θεματικός χαρτογράφος TM είναι ένα ανιχνευτικό ραδιόμετρο με επτά φασματικά κανάλια. Ανήκει στην κατηγορία των ανιχνευτικών απεικονιστικών συσκευών, που εκτελούν σάρωση της γήινης επιφάνειας με την τεχνική της ανίχνευσης εγκάρσια ως προς την κατεύθυνση τροχιάς της πλατφόρμας.

6.3.1.5.2. Πρόταση της διπλωματικής – δυνατότητα εφαρμογής στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες

Λόγω της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας των οργάνων αυτών, όπως του θεματικού χαρτογράφου TM, η χρήση τους περιορίζεται μόνο στην περίπτωση των στρατοσφαιρικών αεροσκαφών που προσφέρουν την απαιτούμενη κίνηση της πλατφόρμας για την ανιχνευτική λειτουργία των οργάνων αυτών. Οι αεροστατικές πλατφόρμες για άλλη μια φορά, δεν μπορούν να υποστηρίξουν την τεχνολογία των τηλεπισκοπικών αισθητήρων.

Η πληροφορία που λαμβάνεται από το θεματικό χαρτογράφο TM καθώς και από τα υπόλοιπα όργανα της κατηγορίας των απεικονιστών υψηλής ανάλυσης, έχει ίσως το ευρύτερο πεδίο εφαρμογών από οποιαδήποτε άλλη κατηγορία τηλεπισκοπικών οργάνων. Ορισμένες από τις εφαρμογές στις οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι λαμβανόμενες εικόνες από το έδαφος και από τη θάλασσα, είναι:

- Χαρτογράφηση και ανίχνευση της έκτασης και της φύσης της βλάστησης στο έδαφος.
- Γεωργία – απογραφή της σοδειάς και πρόβλεψη της παραγωγής.
- Γεωλογική χαρτογράφηση, ανίχνευση ηφαιστειακών εκρήξεων.
- Αστικός σχεδιασμός – τοπογραφική χαρτογράφηση – παρακολούθηση της αστικής ανάπτυξης.
- Ανίχνευση υγρών σωμάτων και πλημμύρων.
- Διάβρωση παράκτιας ζώνης.
- Ανίχνευση φυσικών καταστροφών (φωτιάς, κ.λ.π.) – εκτίμηση των επιπτώσεών τους.

6.3.1.6. Πολυκατευθυντικά ραδιόμετρα

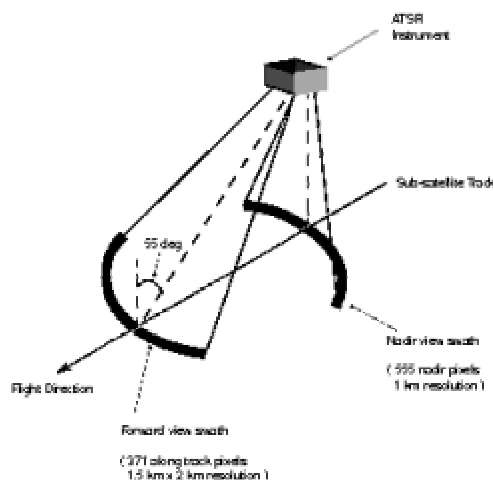
6.3.1.6.1. Πολυκατευθυντικά ραδιόμετρα-Περιγραφή

Τα πολυκατευθυντικά ραδιόμετρα μπορούν να ανιχνεύσουν και να παρατηρήσουν τη διαχεόμενη ή εκπεμπόμενη ακτινοβολία από ένα συγκεκριμένο στοιχείο της γήινης επιφάνειας ή από τα σύννεφα από περισσότερες από μία γωνίες πρόσπτωσης. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να εξαχθεί πληροφορία σχετικά με τις ανισοτροπίες της ακτινοβολίας. Η έμφαση στα συγκεκριμένα όργανα δίνεται κυρίως στη φασματική παρά στη χωρική πληροφορία, με αποτέλεσμα τα ανιχνευτικά κανάλια, τα οποία εκτείνονται συνήθως από την ορατή μέχρι την υπέρυθη περιοχή του φάσματος, να είναι βαθμονομημένα με πολύ μεγάλη ακρίβεια, ενώ η παρεχόμενη

χωρική ανάλυση είναι περίπου της τάξης του 1km. Τα μελλοντικά πολυκατευθυντικά ραδιόμετρα αναμένεται να παρέχουν καλύτερη χωρική αλλά και φασματική ανάλυση και να λαμβάνουν απεικονίσεις από περισσότερες γωνίες από ότι τα υπάρχοντα όργανα.

Στην υπέρυθρη περιοχή, οι ικανότητες παρατηρήσεων από περισσότερες από μία γωνίες χρησιμοποιούνται για την επίτευξη διορθώσεων των λαμβανομένων μετρήσεων από τις επιδράσεις της μεταβαλλόμενης ατμοσφαιρικής απορρόφησης και έτσι να υπολογίζονται με ακρίβεια θερμοκρασιακές τιμές, όπως για παράδειγμα των επιφανειών της θάλασσας και του εδάφους. Τα πολυκατευθυντικά ραδιόμετρα παρέχουν επίσης την ικανότητα μέτρησης της θερμοκρασίας στην κορυφή των σύννεφων καθώς και της περιεκτικότητας των υδρατμών στην ατμόσφαιρα.

Σε αυτή την κατηγορία τηλεπισκοπικών οργάνων ανήκει και το ραδιόμετρο ανίχνευσης κατά μήκος της τροχιάς ATSR (Along Track Scanning Radiometer), το οποίο παρέχει εικόνες της γήινης επιφάνειας χρησιμοποιώντας μια ιδιαίτερα πρωτοποριακή τεχνική. Η μεγαλύτερη καινοτομία του αισθητήρα ATSR είναι η εφαρμογή της τεχνικής ανίχνευσης κατά μήκος της τροχιάς. Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, ο αισθητήρας πραγματοποιεί δύο παρατηρήσεις του ίδιου σημείου στην επιφάνεια της γης μέσα από διαφορετικές περιοχές της ατμόσφαιρας. Η προς τα εμπρός παρατήρηση κατά μήκος της τροχιάς διέρχεται μέσα από ένα μακρύτερο ατμοσφαιρικό μονοπάτι και έτσι επηρεάζεται περισσότερο από την ατμόσφαιρα από ότι η παρατήρηση στο σημείο ναδίρ του δορυφόρου.



Σχήμα 6.6: Παρατήρηση της ίδιας περιοχής ενδιαφέροντος μέσω δύο ατμοσφαιρικών μονοπατιών

Αρχικά, ο αισθητήρας ATSR σαρώνει την επιφάνεια κατά μήκος της κατεύθυνσης τροχιάς με μια γωνία πρόσπτωσης περίπου 55° , καθώς η πλατφόρμα κινείται προς τη συγκεκριμένη θέση. Στη συνέχεια, μετά από 150 δευτερόλεπτα περίπου, ο ATSR καταγράφει μια δεύτερη παρατήρηση της ίδιας θέσης, όταν η πλατφόρμα φτάσει ακριβώς πάνω από το συγκεκριμένο σημείο, με μια γωνία πολύ κοντά στο σημείο ναδίρ (0°).

Συνδυάζοντας την πληροφορία από τις δύο αυτές όψεις του ίδιου σημείου, λαμβάνεται μια απευθείας μέτρηση της επίδρασης της ατμόσφαιρας, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις απαιτούμενες ατμοσφαιρικές διορθώσεις στο σύνολο της καταγραφόμενης πληροφορίας από την επιφάνεια οι οποίες είναι βελτιωμένες από εκείνες που μπορούν να επιτευχθούν από μια μοναδική μέτρηση.

6.3.1.6.2. Πρόταση της διπλωματικής – δυνατότητα εφαρμογής στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες

Λόγω της πρωτότυπης αυτής τεχνικής του αισθητήρα ATSR, η οποία εκμεταλλεύεται την προς τα εμπρός κίνηση της πλατφόρμας για την πραγματοποίηση μετρήσεων των ίδιων σημείων από δύο διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης, είναι φανερό ότι δεν θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στις αεροστατικές στρατοσφαιρικές πλατφόρμες που έχουν τη μορφή αερόπλοιων και που διατηρούν τη θέση τους όσο το δυνατόν σταθερή πάνω από μια συγκεκριμένη περιοχή. Ωστόσο, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στις ημιστατικές πλατφόρμες που διαγράφουν μικρές κυκλικές τροχιές.

Η προοπτική εφαρμογής του αισθητήρα ATSR στα αεροδυναμικά στρατοσφαιρικά αεροσκάφη, δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης φαινομένων, όπως:

- Ανίχνευση καταστρεπτικών πυρκαγιών.
- Παροχή κλιματολογικών και μετεωρολογικών αναλύσεων και προβλέψεων.
- Παρακολούθηση της βλάστησης.
- Ανίχνευση ενδείξεων ξηρασίας.

6.3.1.7. Υψομετρικά ραντάρ

6.3.1.7.1. Περιγραφή

Τα υψομετρικά ραντάρ είναι μη απεικονιστικοί αισθητήρες ραντάρ που χρησιμοποιούν την ικανότητα μέτρησης αποστάσεων (ranging capability) των ραντάρ ώστε να μετρήσουν το τοπογραφικό προφίλ επιφανειών παράλληλων προς την τροχιά της πλατφόρμας (δορυφόρου ή αεροσκάφους). Παρέχουν ακριβείς μετρήσεις του ύψους της πλατφόρμας πάνω από τη θάλασσα και αν είναι κατάλληλα σχεδιασμένοι πάνω από το έδαφος ή παγωμένες επιφάνειες, μετρώντας το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της εκπομπής και της λήψης πολύ στενών ηλεκτρομαγνητικών παλμών.

6.3.1.7.2. Πρόταση της διπλωματικής – δυνατότητα εφαρμογής στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες

Η λαμβανόμενη πληροφορία από τα υψομετρικά ραντάρ, όπως αυτό που περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, έχει χρησιμοποιηθεί μέχρι στιγμής, κυρίως σε μακροπρόθεσμες επιστημονικές μελέτες σχετικά με φαινόμενα μεγάλης κλίμακας, όμως εξετάζεται και η πιθανότητα συνεισφοράς της πληροφορίας αυτής σε ορισμένους τομείς της διαχείρισης εκτάκτων και επικίνδυνων περιστατικών.

Για το λόγο αυτό, τα υψομετρικά ραντάρ θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες, οι οποίες αναμένεται να παίξουν καθοριστικό ρόλο σε τέτοιου είδους εφαρμογές. Πράγματι, η ανιχνευτική τεχνολογία τους δεν απαιτεί την κίνηση της πλατφόρμας για τη σάρωση του εδάφους σημείο προς σημείο. Έτσι, υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησης των αισθητήρων αυτών τόσο στις αεροστατικές όσο και στις αεροδυναμικές στρατοσφαιρικές πλατφόρμες.

Κάποιες από τις εφαρμογές περιβαλλοντικής παρακολούθησης, στις οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τα υψομετρικά ραντάρ, εγκατεστημένα πάνω στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες, είναι:

- Παρακολούθηση συνθηκών στους ωκεανούς.
- Παρακολούθηση των παγωμένων περιοχών και ανίχνευση επικίνδυνων χιονοστιβάδων.

- Μετεωρολογικές και ωκεανογραφικές μελέτες.
- Σεισμικές μελέτες και προβλέψεις.

6.3.1.8. Ραδιόμετρα των χρωμάτων των ωκεανών / απεικονιστικά φασματόμετρα

6.3.1.8.1. Περιγραφή

Τα ραδιόμετρα των χρωμάτων των ωκεανών (ocean colour radiometers) και τα απεικονιστικά φασματόμετρα μετρούν την ακτινοβολία που εξέρχεται από τα νερά των θαλασσών στην ορατή και την εγγύς υπέρυθη περιοχή του φάσματος και συγκεκριμένα στο εύρος 400 - 800nm, όπου το χρώμα χαρακτηρίζεται από τα συστατικά του νερού, το φυτοπλαγκτόν των θαλασσών, τα αιωρούμενα σωματίδια και διαλυμένα στοιχεία στην επιφάνειά τους. Οι διαφορές στην ένταση του φωτός που λαμβάνεται στις διαφορετικές ζώνες παρέχει πληροφορία σχετικά με μια ποικιλία υλικών και ουσιών που βρίσκονται στους ωκεανούς.

Τα συγκεκριμένα όργανα διαθέτουν πολύ στενά φασματικά κανάλια, γύρω στα 10nm σε εύρος για τη μέτρηση εξαιρετικών λεπτομερειών. Η τυπική χωρική ανάλυση των οργάνων αυτών κυμαίνεται συνήθως από 0,3 έως 1km. Τα πιο πρόσφατα ραδιόμετρα έχουν βελτιωμένη χωρική, φασματική και ραδιομετρική ανάλυση.

Σε αυτή την κατηγορία τηλεπισκοπικών αισθητήρων ανήκει ο παθητικός οπτικός αισθητήρας SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field of view Sensor) που αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Ο αισθητήρας SeaWiFS, συλλαμβάνει και επεξεργάζεται εικόνες των χρωμάτων των ωκεανών, ανιχνεύοντας την εισερχόμενη ακτινοβολία με τη βοήθεια ενός περιστρεφόμενου οπτικού τηλεσκοπίου που περιστρέφεται εγκάρσια ως προς την κατεύθυνση τροχιάς της πλατφόρμας, προκειμένου να σαρώσει σημείο προς σημείο την περιοχή ενδιαφέροντος.

6.3.1.8.2. Πρόταση της διπλωματικής – δυνατότητα εφαρμογής στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες

Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα, οι αισθητήρες της κατηγορίας αυτής, όπως ο τηλεπισκοπικός αισθητήρας SeaWiFS, έχουν σχεδιαστεί έτσι, ώστε να απαιτείται σάρωση της περιοχής ενδιαφέροντος σημείο προς σημείο, ώστε να

παράγουν τις επιθυμητές εικόνες. Άμεση συνέπεια της τεχνολογίας αυτής, είναι η προϋπόθεση κινούμενης πλατφόρμας για την εγκατάσταση τέτοιων αισθητήρων. Έτσι, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα, ότι οι αεροστατικές πλατφόρμες δεν ενδείκνυνται για τη χρήση των απεικονιστικών φασματομέτρων και ραδιομέτρων των χρωμάτων των ωκεανών, ενώ οι αεροδυναμικές πλατφόρμες εμφανίζονται για άλλη μια φορά πλεονεκτικότερες αφού και στην περίπτωση αυτή μπορούν να υποστηρίξουν την τεχνολογία των τηλεπισκοπικών αισθητήρων.

Οι στρατοσφαιρικές αεροδυναμικές πλατφόρμες μέσω των συγκεκριμένων αισθητήρων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις παρακάτω εφαρμογές:

- Μέτρηση των τύπων, της ποσότητας και των μεταβολών του θαλάσσιου φυτοπλαγκτού.
- Ωκεανογραφικές και κλιματολογικές έρευνες.
- Εκτίμηση βιολογικής παραγωγικότητας.
- Ανίχνευση μόλυνσης στους ωκεανούς.
- Ανίχνευση των δυναμικών παραμέτρων των θαλασσών (ρεύματα, στροβιλισμοί, κ.λ.π.).

6.3.1.9. Lidars

6.3.1.9.1. Lidars-Περιγραφή

Τα Lidars (Laser Detection And Ranging instruments) μετρούν την ακτινοβολία που επιστρέφεται είτε από τα μόρια στην ατμόσφαιρα είτε από τη γήινη επιφάνεια, όταν αυτά ακτινοβοληθούν από μια πηγή λέιζερ. Σε σύγκριση με τα ραντάρ, τα μικρότερα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται στα όργανα lidar επιτρέπουν περισσότερο λεπτομερειακή παρατήρηση, αλλά δεν μπορούν να διεισδύσουν οπτικά πυκνά στρώματα, όπως πυκνή νέφωση.

Υπάρχουν 4 διαφορετικοί τύποι οργάνων LIDAR:

- Τα lidar οπισθοσκέδασης, στα οποία η ακτίνα λέιζερ που οπισθοσκεδάζεται, ανακλάται ή επανακτινοβολείται από το στόχο δίνει πληροφορία σχετικά με τους συντελεστές σκέδασης και απόσβεσης των διαφορετικών ατμοσφαιρικών στρωμάτων.

- Τα lidar διαφορικής απορρόφησης, που αναλύουν τα επιστρεφόμενα σήματα από ένα ρυθμιζόμενο λέιζερ σε διαφορετικά μήκη κύματος, για τον καθορισμό των πυκνοτήτων συγκεκριμένων ατμοσφαιρικών συστατικών, υδρατμών καθώς και του προφίλ των θερμοκρασιών.
- Τα lidar Doppler, που μετρούν τη μετατόπιση Doppler του οπισθοσκεδαζόμενου φωτός από τα μόρια των αερίων της ατμόσφαιρας που μετακινούνται από τους ανέμους, με τελικό στόχο τον προσδιορισμό της ταχύτητας των ανέμων αυτών.
- Τα υψομετρικά lidar μέτρησης αποστάσεων, που παρέχουν ακριβείς μετρήσεις των αποστάσεων από ένα σημείο αναφοράς μέχρι κάποιες ακριβείς τοποθεσίες στη γήινη επιφάνεια.

Στην τελευταία κατηγορία lidar, ανήκει και ο αισθητήρας GLAS (Geoscience Laser Altimeter System) που περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Ο τηλεπισκοπικός αισθητήρας GLAS έχει σχεδιαστεί για να προσδιορίζει την απόσταση από την πλατφόρμα μέχρι την επιφάνεια της γης ή μέχρι τα παρεμβαλλόμενα σύννεφα και μόρια της ατμόσφαιρας. Αυτό επιτυγχάνεται με την ακριβή μέτρηση του χρόνου που απαιτείται προκειμένου ένας παλμός φωτός λέιζερ μικρής διάρκειας να "ταξιδέψει" μέχρι το ανακλαστικό αντικείμενο και να επιστρέψει στην πλατφόρμα.

6.3.1.9.2. Πρόταση της διπλωματικής – δυνατότητα εφαρμογής στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες

Τα lidar, όπως και το GLAS, δεν απαιτούν την κίνηση της πλατφόρμας στην οποία είναι τοποθετημένα, προκειμένου να εκτελέσουν τις μετρήσεις τους, έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο σε αεροδυναμικές όσο και σε αεροστατικές στρατοσφαιρικές πλατφόρμες. Επομένως και τα δύο αυτά τηλεπισκοπικά συστήματα μπορούν να παρέχουν τις πληροφορίες και τις εφαρμογές που παρέχονται από τα lidar.

Συγκεκριμένα, οι παρεχόμενες πληροφορίες και σχετιζόμενες εφαρμογές από τα lidar, είναι:

- Μέτρηση νέφους και ατμοσφαιρικών ιδιοτήτων.

- Τοπογραφία γήινης επιφάνειας, στρωμάτων πάγου και σχετιζόμενων μεταβολών.
- Κλιματολογικές και μετεωρολογικές προβλέψεις.

Στο σημείο αυτό, πρέπει να σημειωθεί ότι, καθώς τα lidar δεν μπορούν να διεισδύσουν οπτικά μέσα από πυκνά στρώματα, όπως σύννεφα, η ικανότητά τους να υποστηρίξουν τις δραστηριότητες που απαιτούνται κατά τη διάρκεια διαχείρισης των καταστροφών και εκτάκτων περιστατικών δεν μπορεί να συναγωνιστεί την ικανότητα των μικροκυματικών ραντάρ.

6.3.1.10. Γενικές παρατηρήσεις

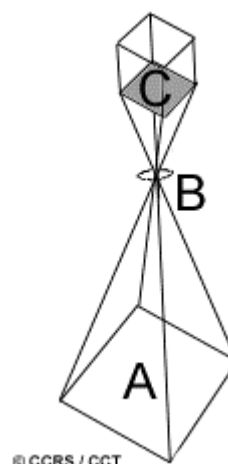
Η προηγούμενη μελέτη της τεχνολογίας των σύγχρονων τηλεπισκοπικών αισθητήρων καθώς και της δυνατότητας εφαρμογής των συστημάτων αυτών στις νέες σχεδιαζόμενες στρατοσφαιρικές πλατφόρμες, οδηγεί στην παρατήρηση ότι το σημαντικότερο κριτήριο που περιορίζει ή επιτρέπει την εφαρμογή των διαφορετικών τεχνολογιών στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες είναι η **κινητικότητα** ή όχι της πλατφόρμας σε συνδυασμό με την **ανιχνευτική τεχνολογία** των αισθητήρων. Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι τηλεπισκοπικοί αισθητήρες μετά το διαχωρισμό τους σε ενεργούς και παθητικούς διακρίνονται και σε **ανιχνευτικά** (scanning) ή **μη ανιχνευτικά** συστήματα ή αλλιώς **συστήματα πλαισίωσης** (non-scanning/framing).

Τα ανιχνευτικά συστήματα σαρώνουν την περιοχή ενδιαφέροντος σημείο προς σημείο κατά μήκος διαδοχικών γραμμών και εκμεταλλεύονται την κίνηση της πλατφόρμας προκειμένου να παράγουν δισδιάστατες απεικονίσεις. Έτσι, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο σε αεροδυναμικές πλατφόρμες.

Από την άλλη μεριά τα μη ανιχνευτικά συστήματα δεν προϋποθέτουν κίνηση πάνω από την ανιχνευόμενη περιοχή προκειμένου να πραγματοποιήσουν τις μετρήσεις τους ή να παράγουν δισδιάστατες εικόνες. Τέτοια συστήματα, όπως είδαμε παραπάνω, είναι τα υψομετρικά ραντάρ, οι αισθητήρες που μετρούν την ταχύτητα και την κατεύθυνση των ανέμων που πνέουν στην επιφάνεια των ωκεανών, τα ονομαζόμενα Wind Scatterometer καθώς και τα lidar. Τέτοια συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στις δύο μορφές στρατοσφαιρικών πλατφορμών.

Τα περισσότερα τηλεπισκοπικά συστήματα εφαρμόζουν ανιχνευτική λειτουργία καθώς είναι σχεδιασμένα για κινούμενες πλατφόρμες. Έτσι, οι κινούμενες στρατοσφαιρικές πλατφόρμες εμφανίζονται πλεονεκτικές έναντι των στατικών καθώς μπορούν να εξοπλιστούν με μεγαλύτερη ποικιλία περιβαλλοντικών αισθητήρων και επομένως να αποδειχθούν χρήσιμες σε μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών.

Στην κατηγορία των μη ανιχνευτικών συστημάτων ή συστημάτων πλαισίωσης ανήκουν και οι φωτογραφικές μηχανές, που άλλωστε αποτελούν και τους απλούστερους και παλαιότερους τηλεπισκοπικούς αισθητήρες. Πρόκειται για αισθητήρες που λαμβάνουν και μετρούν την εισερχόμενη ακτινοβολία από ολόκληρη την περιοχή ενδιαφέροντος (A), όντας ακίνητοι. Τα συστήματα αυτά είναι παθητικοί οπτικοί αισθητήρες που χρησιμοποιούν έναν φακό (B) (ή σύστημα φακών) ώστε να σχηματίσουν μια εικόνα στο εστιακό επίπεδο (C), το επίπεδο στο οποίο η εικόνα καθορίζεται λεπτομερώς.



Τα φωτογραφικά φιλμ είναι ευαίσθητα σε ακτινοβολία από 0,3μm έως 0,9μm, καλύπτοντας περιοχές του υπεριώδους, του ορατού και του εγγύς-υπέρυθρου τμήματος του φάσματος. Τα πανχρωματικά φιλμ είναι ευαίσθητα στην υπεριώδη και ορατή περιοχή του φάσματος και παράγουν ασπρόμαυρες εικόνες. Η περιοχή κάλυψης στο έδαφος από μια φωτογραφική μηχανή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το εστιακό επίπεδο του φακού, το ύψος της πλατφόρμας καθώς και το μέγεθος του φιλμ. Τα φωτογραφικά συστήματα είναι περισσότερο χρήσιμα όταν η χωρική ανάλυση και όχι τόσο η φασματική πληροφορία αποτελούν κρίσιμο παράγοντα στη δεδομένη απεικόνιση. Πολυφασματική απεικόνιση μπορεί να παραχθεί χρησιμοποιώντας συστήματα πολλαπλών φακών για τη συλλογή διαφορετικών φασματικών περιοχών ταυτόχρονα.

Τα φωτογραφικά συστήματα, συμβατικά ή ψηφιακά μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις αεροστατικές πλατφόρμες για παρατήρηση περιβαλλοντικών φαινομένων.

Τέλος, πρέπει να σημειώσουμε ότι και το *αυξημένο βάρος* των αισθητήρων μπορεί να αποτελέσει περιοριστικό παράγοντα για τη χρήση τους σε στρατοσφαιρικές πλατφόρμες και κυρίως στα αερόπλοια που ανάλογα με το μέγεθός τους μπορούν να κουβαλήσουν ωφέλιμο φορτίο της τάξης από 100kg έως 1000kg.

Παρακάτω, παραθέτουμε με τη μορφή πίνακα τη συνοπτική περιγραφή των οργάνων που μελετήθηκαν στο κεφάλαιο αυτό.

Τηλεπισκοπικοί αισθητήρες	Δυνατότητα εφαρμογής στις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες	Εφαρμογές
Απεικονιστικά μικροκυματικά ραντάρ	Υποχρεωτική η κίνηση της πλατφόρμας: ➤ Ναι, στις αεροδυναμικές ➤ Όχι, στις αεροστατικές	➤ Φωτιές ➤ Πλημμύρες ➤ Πετρελαιοκηλίδες
Όργανα ατμοσφαιρικής χημείας	Εκτελεί ανιχνευτική λειτουργία σάρωσης: ➤ Ναι, στις αεροδυναμικές ➤ Όχι, στις αεροστατικές	➤ Μόλυνση της ατμόσφαιρας ➤ Φωτιές ➤ Ηφαίστεια ➤ Κλιματολογικές- μετεωρολογικές προβλέψεις
Wind Scatterometer	Δεν απαιτείται κινούμενη πλατφόρμα: ➤ Ναι, στις αεροδυναμικές ➤ Ναι, στις αεροστατικές	➤ Ακραία καιρικά φαινόμενα ➤ Παρακολούθηση θαλασσών και συγκέντρωση πάγου ➤ Κλιματολογικά μοντέλα

	ανάλογα με το διαθέσιμο βάρος ωφέλιμου φορτίου	
Απεικονιστικά πολυφασματικά ραδιόμετρα	Εκτελεί ανιχνευτική λειτουργία σάρωσης: ➤ Ναι, στις αεροδυναμικές ➤ Όχι, στις αεροστατικές	➤ Φωτιές ➤ Ξηρασία ➤ Βλάστηση ➤ Κλιματολογικές/μετεωρολογικές προβλέψεις
Απεικονιστές υψηλής ανάλυσης	Εκτελεί ανιχνευτική λειτουργία σάρωσης: ➤ Ναι, στις αεροδυναμικές ➤ Όχι, στις αεροστατικές	➤ Φωτιές ➤ Πλημμύρες ➤ Διάβρωση παράκτιας ζώνης
Πολυκατευθυντικά ραδιόμετρα	Εκμεταλλεύεται την προς τα εμπρός κίνηση της πλατφόρμας ➤ Ναι, στις αεροδυναμικές ➤ Όχι, στις αεροστατικές	➤ Φωτιές ➤ Βλάστηση ➤ Ξηρασία
Υψομετρικά ραντάρ	Δεν απαιτείται κινούμενη πλατφόρμα: ➤ Ναι, στις αεροδυναμικές ➤ Ναι, στις αεροστατικές	➤ Μετεωρολογικές/Ωκεανογραφικές μελέτες ➤ Σεισμικές μελέτες και προβλέψεις ➤ Παρακολούθηση συνθηκών στους

		ωκεανούς
Ραδιόμετρα των χρωμάτων των ωκεανών/απεικονιστικά φασματόμετρα	Εκτελεί ανιχνευτική λειτουργία σάρωσης: ➤ Ναι, στις αεροδυναμικές ➤ Όχι, στις αεροστατικές	➤ Ωκεανογραφικές/ Κλιματολογικές έρευνες ➤ Ανίχνευση μόλυνσης στους ωκεανούς ➤ Μελέτη των μεταβολών του θαλάσσιου φυτοπλαγκτού
Lidars	Δεν απαιτείται κινούμενη πλατφόρμα: ➤ Ναι, στις αεροδυναμικές ➤ Ναι, στις αεροστατικές ανάλογα με το διαθέσιμο βάρος ωφέλιμου φορτίου	➤ Μέτρηση νέφους και ατμοσφαιρικών ιδιοτήτων ➤ Τοπογραφία γήινης επιφάνειας ➤ Κλιματολογικές/ Μετεωρολογικές προβλέψεις

6.4. Εφαρμογές στις οποίες θα μπορούσαν να φανούν χρήσιμες οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες (HAPs/HALE)

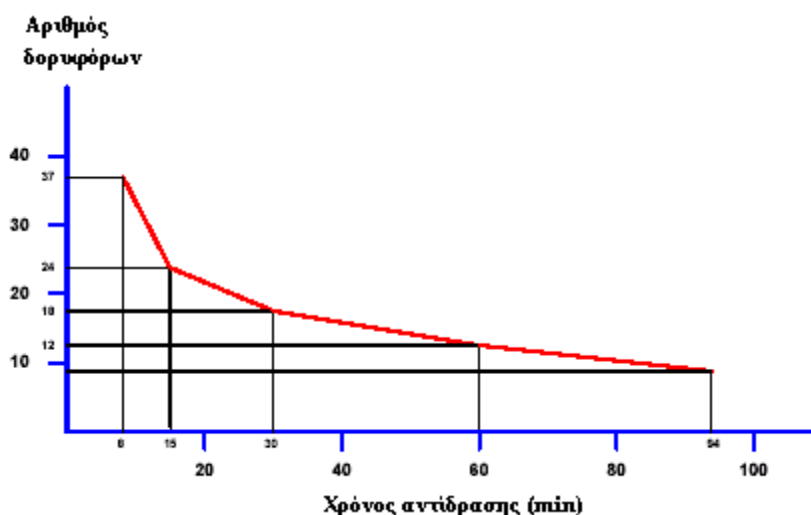
6.4.1. Εισαγωγή

Η τεχνολογία των πλατφορμών μεγάλου ύψους και μακράς αντοχής, υπόσχεται να καλύψει μια πολύ σημαντική θέση στις τηλεπισκοπικές περιβαλλοντικές επιχειρήσεις, παρέχοντας κάλυψη υψηλής χωρικής ανάλυσης με παρακολουθήσεις υψηλής χρονικής ανάλυσης πάνω από περιορισμένες περιοχές που δεν μπορούν να επιτευχθούν από μεμονωμένους δορυφόρους ή από μικρές ομάδες δορυφορικών συστημάτων, ενώ για τους σκοπούς αυτούς θα ήταν υπερβολικά δαπανηρή η μεμονωμένη χρήση των συμβατικών εναέριων πλατφορμών.

Παρά τη συνεχή ανάπτυξη καινούριων δορυφορικών συστημάτων, μερικά εκ των οποίων κουβαλούν όργανα για τη διείδυση μέσα από σύννεφα και άσχημες

καιρικές συνθήκες ώστε να παρέχεται εγγυημένη και αξιόπιστη παρατήρηση, μόνο πολύ μεγάλες και πολύ δαπανηρές ομάδες (constellations) δορυφόρων, με υψηλής ανάλυσης αισθητήρες ο καθένας, θα μπορούσαν να αντιμετωπίσουν ολοκληρωτικά την ανάγκη για εγγυημένη υψηλής ανάλυσης και υψηλής συνέχειας παρακολούθηση εντοπισμένων (τοπικών) περιοχών, όπως ακριβώς απαιτείται για την αποτελεσματικά αντίδραση σε περίπτωση μιας μεγάλης φυσικής καταστροφής.

Στο επόμενο σχήμα έχει σχεδιαστεί ο χρόνος αντίδρασης μιας ομάδας συμμετρικά τοποθετημένων γύρω από τη γη δορυφόρων περιβαλλοντικής παρακολούθησης ως συνάρτηση του απαιτούμενου αριθμού δορυφόρων.



Σχήμα 6.7: Ο χρόνος αντίδρασης μιας συμμετρικής ομάδας τηλεπισκοπικών δορυφόρων

Στην πραγματικότητα, οποιαδήποτε τιμή χρόνου αντίδρασης μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση επαρκώς μεγάλων και ιδιαίτερα δαπανηρών ομάδων δορυφορικών συστημάτων.

Ένα παράδειγμα μιας τέτοιας ομάδας δορυφορικών συστημάτων αποτελεί η ονομαζόμενη **αποστολή Παρακολούθησης των Παράκτιων Ζωνών της Γης CZEW (Coastal Zone Earthwatch mission)** του ευρωπαϊκού διαστημικού γραφείου ESA, που βρίσκεται ακόμη στο στάδιο της μελέτης. Η ιδέα της αποστολής CZEW, περιλαμβάνει τη χρήση του τηλεπισκοπικού αισθητήρα **SAR**, για την εποπτεία και τη διαχείριση των επικίνδυνων περιστατικών. Η προτεινόμενη λύση αναφέρεται στη χρήση 6 μικρών πανομοιότυπων δορυφόρων, με ωφέλιμο φορτίο τα ραντάρ συνθετικής οπής SAR. Οι τροχιακές αναλύσεις δείχνουν ότι ακόμη και με τη χρήση 6

δορυφόρων σε ύψος 510km, **ο χρόνος επαναπροσέγγισης** (χρονική αντίδραση) για τις περισσότερες ακατοίκητες περιοχές στον Καναδά – με γεωγραφικά πλάτη μεταξύ 42° και 55° – υπολογίζεται στις **12 ώρες**.

Όλες αυτές οι ομάδες δορυφορικών συστημάτων, βρίσκονται ακόμη σε πρώιμο στάδιο και το κόστος τους, όταν εφαρμοστούν, αναμένεται να αγγίζει πολλά εκατομμύρια, αν όχι δισεκατομμύρια δολάρια. Πέρα από το τεράστιο αυτό έξοδο, τα μεγάλα αυτά συστήματα μπορεί να μην έχουν τελικά την ικανότητα να παρέχουν ολοκληρωτικά την απαιτούμενη αντίδραση και την απεικονιστική απόδοση που είναι απαραίτητα στις διαδικασίες αντιμετώπισης και διαχείρισης κρίσιμων γεγονότων.

Τα μη επανδρωμένα στρατοσφαιρικά συστήματα μπορούν να αναπτυχθούν πολύ γρήγορα ώστε να διευθετήσουν ταχέως αναπτυσσόμενες επείγουσες καταστάσεις σε απομακρυσμένες γεωγραφικές τοποθεσίες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν κάτω από επικίνδυνες καταστάσεις, όπως ακραία μετεωρολογικά φαινόμενα, περιβαλλοντικές καταστροφές, πυρηνικά ατυχήματα κ.λ.π.

6.4.2. Τηλεπισκόπηση μέσω στρατοσφαιρικών πλατφορμών για τη διαχείριση των φυσικών καταστροφών

Η ικανότητα της τηλεπισκόπησης να υποστηρίξει τη διαχείριση των φυσικών καταστροφών είναι σήμερα ευρέως αποδεκτή από τους περισσότερους οργανισμούς αντιμετώπισης επειγόντων περιστατικών. Τα υπάρχοντα δορυφορικά συστήματα είναι ανίκανα να υποστηρίξουν πλήρως τις ανάγκες άμεσης αντίδρασης και συνέχειας των παρακολουθήσεων που εγείρονται κατά τη διάρκεια των πιο κρίσιμων φάσεων στην αλληλουχία ενεργειών για τη διαχείριση των εκτάκτων περιστατικών. Τα εναέρια τηλεπισκοπικά συστήματα διαθέτουν ικανότητες παροχής τηλεπισκόπησης σε περισσότερο περιορισμένες περιοχές, αλλά με υψηλό κόστος λειτουργίας και υψηλό κίνδυνο για το πλήρωμα. Τέλος, οι αισθητήρες απευθείας μετρήσεων, συνήθως τοποθετημένοι στο έδαφος ή στους ωκεανούς, δεν μπορούν να παρέχουν σημαντική ποσότητα σχετικής πληροφορίας, ιδιαίτερα κατά τις φάσεις της αντίδρασης και της ανάνηψης.

Παρακάτω αναλύονται τα μοναδικά οφέλη που προκύπτουν από τη χρησιμοποίηση της τεχνολογίας των στρατοσφαιρικών πλατφορμών στην υποστήριξη της τηλεπισκόπησης για την παρακολούθηση και διαχείριση των φυσικών εκείνων καταστροφών, που κατά καιρούς έχουν ταλανίσει το ανθρώπινο γένος και πολλές φορές έχουν παίξει καθοριστικό ρόλο στην ιστορία του:

- Πλημμύρες
- Σεισμοί
- Καταιγίδες και κυκλώνες
- Καταστροφικές φωτιές
- Κατολισθήσεις
- Ξηρασία

6.4.2.1. Πλημμύρες

6.4.2.1.1. Περιγραφή φαινομένου

Η πλημμύρα μπορεί να οριστεί ως οποιαδήποτε υψηλή ροή νερού που υψώνεται πάνω από φυσικές ή τεχνητές όχθες σε οποιοδήποτε τμήμα κάποιου ποταμού ή ρεύματος – όταν οι όχθες υπερχειλίζουν, το νερό εξαπλώνεται πάνω στις πεδιάδες και τις επίπεδες γεωγραφικές εκτάσεις και αποτελεί κίνδυνο για την κοινωνία. Όταν ακραία μετεωρολογικά φαινόμενα συμβαίνουν σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό αστικοποίησης, οι πλημμύρες μπορεί να είναι εκτενείς με καταστροφικές συνέπειες και απώλειες ανθρώπινων ζωών.

6.4.2.1.2. Κενά/ελλείψεις και προοπτικές βελτίωσης των τηλεπισκοπικών ικανοτήτων

Κατά τη διάρκεια των φάσεων της προετοιμασίας, αντίδρασης και αποκατάστασης/ανάληψης στην αλληλουχία ενεργειών διαχείρισης των καταστροφών, πολλοί χρήστες της τηλεπισκοπικής πληροφορίας, όπως οι σωστικές ομάδες, οι τοπικές αρχές, οι περιβαλλοντικές και γεωργικές αρχές, τα μέσα μαζικής ενημέρωσης κ.λ.π., απαιτούν στοιχεία για τη χρήση τους στις ενέργειες αντιμετώπισης της κρίσης, επομένως πρέπει να υπάρχει μετάδοση και διάθεσή τους σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Η λήψη και μετάδοση στοιχείων σε πραγματικό χρόνο δεν αποτελεί άμεση απαίτηση για εκείνους που ασχολούνται με την υδρολογική

μοντελοποίηση, τις μελέτες βαθμονόμησης και επικύρωσης καθώς και το σχεδιασμό της άμβλυνσης του φαινομένου των πλημμύρων.

Υπάρχουν κάποια κενά και ελλείψεις στα παρεχόμενα στοιχεία μέσω των σύγχρονων τεχνολογικών τηλεπισκοπικών μέσων με αποτέλεσμα να μην εξαντλείται η προοπτική των εφαρμογών της επιστήμης της τηλεπισκόπησης προς την κατεύθυνση ανακούφισης και ελάφρυνσης του προβλήματος διαχείρισης των πλημμύρων. Η έκθεση της ομάδας διαχείρισης πλημμύρων (**Flood Hazard Team**) της επιτροπής δορυφόρων περιβαλλοντικής παρακολούθησης **CEOS (Committee on Earth Observation Satellites)** κατέληξε στην αναγνώριση ενός αριθμού επιθυμητών βελτιώσεων - παρεχόμενων από νέα τεχνολογικά μέσα - στη συνολική εφαρμογή των δορυφορικών τηλεπισκοπικών τεχνικών για τη διαχείριση των πλημμύρων:

- Αύξηση του χρόνου και της συχνότητας κάλυψης.
- Βελτίωση πρόσβασης στην προσβληθείσα περιοχή και μετάδοσης δεδομένων.
- Αύξηση της ανάλυσης ψηφιακής χαρτογράφησης του εδάφους (DTM)- απαιτείται πολύ τοπική ακριβής πληροφορία, ανάλυσης 1m (μικρές πόλεις, γραμμές διαχωρισμού υδάτων).
- Ανάπτυξη ενός συστήματος ειδικά αφιερωμένου σε υδρολογικά προβλήματα.
- Δυνατότητα πρόσβασης σε πληροφορίες από όλες τις διαθέσιμες πηγές στοιχείων.

6.4.2.1.3. Οι δυνατότητες τηλεπισκόπησης με χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών

Παρά την συνεχή ανάπτυξη καινούριων δορυφορικών συστημάτων, μερικά από τα οποία κουβαλούν όργανα που μπορούν να διεισδύσουν μέσα από πυκνή νέφωση και να παρέχουν εγγυημένη περιβαλλοντική παρακολούθηση, μόνο πολύ μεγάλες και πολύ δαπανηρές ομάδες δορυφόρων, από τους οποίους όλοι θα κουβαλούν αισθητήρες υψηλής ανάλυσης, θα μπορούσαν να ανταποκριθούν πλήρως στις απαιτήσεις παροχής υψηλής ανάλυσης και συνέχειας παρατήρηση και επισκόπηση εντοπισμένων περιοχών. Αυτή η υψηλής απόδοσης παρακολούθηση συγκεκριμένων

εντοπισμένων περιοχών, θα ήταν πολύτιμη κατά τη διάρκεια των φάσεων του κύκλου διαχείρισης των καταστροφικών πλημμύρων, όπου τα προκύπτοντα γεγονότα εξελίσσονται και μεταβάλλονται με σχετικά γρήγορους ρυθμούς, όπως στις φάσεις της ετοιμότητας, της αντίδρασης και της αποκατάστασης. Η ανάπτυξη μιας τέτοιας ομάδας δορυφορικών συστημάτων θεωρείται απίθανο να αναπτυχθεί στο άμεσο προσεχές μέλλον.

Παρακάτω ακολουθούν ορισμένες προτεινόμενες περιοχές εφαρμογών, στις οποίες οι τηλεπισκοπικές παρατηρήσεις από τις μη επανδρωμένες στρατοσφαιρικές πλατφόρμες (HAPs/HALE) θα μπορούσαν να υποστηρίξουν τις προσπάθειες της διαχείρισης των πλημμύρων, παρέχοντας υψηλής ανάλυσης και υψηλής συνέχειας παρακολούθησης στοιχεία με χρονική απόκριση και εξασκούμενο έλεγχο του συστήματος που δεν είναι διαθέσιμα από τα υπάρχοντα ή μελλοντικά σχεδιαζόμενα δορυφορικά συστήματα.

Φάση άμβλυνσης

- Ανανέωση/ενημέρωση των αναλύσεων επικινδυνότητας και σχεδιασμών ετοιμότητας, των διαδικασιών και προγραμμάτων που σχεδιάζονται για τις περιοχές υψηλού κινδύνου, χρησιμοποιώντας τις ικανότητες υψηλής ανάλυσης και υψηλής συνέχειας παρακολούθησεων που παρέχονται από τις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες.
- Έλεγχος και εξακρίβωση της μείωσης επικινδυνότητας και επιβεβαίωση των μετρήσεων ετοιμότητας.
- Βαθμονόμηση και επικύρωση των παρεχόμενων μετρήσεων από δορυφόρους και άλλες πηγές πληροφοριών.
- Ανανέωση/ενημέρωση των χαρτογραφικών, γεωμορφολογικών, υδρολογικών και κλιματολογικών ερευνών για τις πλέον επικίνδυνες περιοχές.
- Χαρτογραφικές αναλύσεις υψηλής ανάλυσης σχετιζόμενων ιστορικών γεγονότων.
- Έρευνες εντοπισμένες στις περιοχές υψηλού κινδύνου σχετικά με την τοπογραφία, τα υδρολογικά δεδομένα, την τραχύτητα της κοίτης

ποταμών, το μέγεθος των κόκκων των ιζημάτων, την κάλυψη του εδάφους, την τραχύτητα του εδάφους.

- Η τοπική πληροφορία μπορεί να συνδυαστεί με άλλες πηγές, όπως πληθυσμό, χρησιμοποίηση της γης, τύπος κτηρίων, υποδομή, κοινωφελείς υπηρεσίες, διαδρόμους και δρόμους διαφυγής/διάσωσης.
- Εκπαίδευση και εξάσκηση για τις λειτουργίες που απαιτούνται κατά τη διάρκεια των φάσεων της προετοιμασίας και της αντίδρασης.

Πιθανοί χρήστες των παραπάνω πληροφοριών είναι οργανισμοί διαχείρισης εκτάκτων περιστατικών, υδρομετεωρολόγοι, εταιρείες με υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις, κρατικές αρχές προστασίας, γεωργικές και περιβαλλοντικές αρχές, σχεδιαστές οδικών δικτύων, σχεδιαστές οικοπέδων και αγροτικών εκτάσεων κ.λ.π.

Φάση προετοιμασίας (αμέσως πριν από την πλημμύρα)

- Ανανέωση/ενημέρωση των αναλύσεων επικινδυνότητας και των σχεδιασμών ετοιμότητας, των διαδικασιών και προγραμμάτων που σχεδιάζονται για τις περιοχές υψηλού κινδύνου, χρησιμοποιώντας τις ικανότητες υψηλής ανάλυσης και υψηλής συνέχειας παρακολουθήσεων που παρέχονται από τις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες.
- Παρατηρήσεις εντοπισμένες στις περιοχές υψηλού κινδύνου χρησιμοποιώντας τις ικανότητες υψηλής ανάλυσης και υψηλής συνέχειας παρατήρησης των HAPs, σχετικές με: τη μετεωρολογία, τις συνθήκες χιονιών και πάγου (περιοχή κάλυψης και βάθος), την υγρασία του εδάφους, τις παλιρροιακές συνθήκες στις παράκτιες περιοχές, το ύψος της στάθμης του νερού, τις υδρολογικές προβλέψεις, την τοπογραφία DTM (Digital Terrain Mapping), την κάλυψη στο έδαφος, την τραχύτητα της επιφάνειας, την τραχύτητα της κοίτης των ποταμών, τον τύπο του εδάφους και τη διαπερατότητα.
- Βαθμονόμηση και επικύρωση των παρεχόμενων μετρήσεων από δορυφόρους και άλλες πηγές πληροφοριών.
- Εκπαίδευση και εξάσκηση για τις λειτουργίες που απαιτούνται κατά τη διάρκεια της φάσης αντίδρασης.

Στους πιθανούς χρήστες των παραπάνω πληροφοριών περιλαμβάνονται οι οργανισμοί διαχείρισης εκτάκτων περιστατικών, οι υδρομετεωρολόγοι, οι τοπικές αρχές, οι αρχές διαχείρισης νερού καθώς και τα μέσα μαζικής ενημέρωσης.

Φάση αντίδρασης (κατά τη διάρκεια του φαινομένου)

- Εκτενής χαρτογράφηση, μέτρηση του ύψους της στάθμης του νερού.
- Εκτίμηση των απαιτούμενων προσπαθειών ανακούφισης και επανόρθωσης.
- Ανίχνευση τοποθεσίας ανθρώπων σε κίνδυνο.
- Αναγνώριση και παρακολούθηση διαδρομών διαφυγής και διάσωσης.
- Καθοδήγηση και προσανατολισμός προσπαθειών διάσωσης και ανακούφισης.
- Εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των προσπαθειών διάσωσης.
- Εκτίμηση των καταστροφών σε κτήρια, περιουσίες, υποδομές, κρατικές κοινωφελείς υπηρεσίες και οδικά δίκτυα.
- Μετεωρολογικές εκτιμήσεις για την ένταση, την κίνηση και την αναμενόμενη διάρκεια της βροχόπτωσης.
- Ανίχνευση και αποτίμηση δευτερογενών καταστροφών, όπως κατολισθήσεις, μόλυνση από απόβλητα, τεχνολογικοί κίνδυνοι.

Στους πιθανούς χρήστες των παραπάνω πληροφοριών περιλαμβάνονται οι οργανισμοί διαχείρισης εκτάκτων περιστατικών, οι υδρομετεωρολόγοι, οι αρχές διαχείρισης νερού, οι τοπικές αρχές καθώς και οι ασφαλιστικές εταιρείες.

Φάση ανάνηψης (μετά την πλημμύρα)

- Εκτίμηση των πιθανοτήτων επανεμφάνισης των απειλών.
- Απολογισμός των καταστροφών (ιδιοκτησίες, υποδομές, περιβάλλον) και επαλήθευση των δελτίων καταστροφών.
- Μετρήσεις συνθηκών στο έδαφος (υγρασία, κ.λ.π.).
- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

- Επαλήθευση των μετρήσεων σχετικά με την αποκατάσταση, την ανακατασκευή, την επανόρθωση και την επισκευή.
- Επικύρωση των μοντέλων πρόβλεψης.
- Συλλογή δεδομένων ως στοιχεία εισόδου σε αναλύσεις επικινδυνότητας και σχεδιασμούς ετοιμότητας, σε ανάλογα προγράμματα και διαδικασίες.
- Συλλογή δεδομένων ως στοιχεία εισόδου σε ιστορικές βάσεις δεδομένων.

Πιθανοί χρήστες των παραπάνω πληροφοριών είναι οργανισμοί διαχείρισης εκτάκτων περιστατικών, υδρομετεωρολόγοι, τοπικές αρχές καθώς και ασφαλιστικές εταιρείες.

6.4.2.2. Σεισμοί

6.4.2.2.1. Περιγραφή φαινομένου

Οι σεισμοί μπορούν να προκαλέσουν τεράστιες καταστροφές σε ένα πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, επομένως είναι απολύτως απαραίτητη η άμεση παροχή βοήθειας στους πληγέντες. Στο επόμενο σχήμα δίνεται ένα παράδειγμα, από τους πρόσφατους σεισμούς στην Καλιφόρνια, για το πώς οι σεισμοί μπορούν να προκαλέσουν τεράστιες καταστροφές στις κατοικίες των πολιτών και στην υποδομή των μεταφορικών μέσων.



Στις μέρες που ακολουθούν μετά το σεισμό, είναι πολύτιμη η λεπτομερής πληροφορία σχετικά με τις ζημιές που πιθανότατα έχουν υποστεί ποικίλες κατασκευές. Καθώς οι μέρες γίνονται εβδομάδες οι επιπρόσθετες πληροφορίες γίνονται όλο και λιγότερο σημαντικές. Ο ρυθμός με τον οποίο η αξία της καινούριας πληροφορίας φθίνει, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό, από τη γεωγραφική έκταση της καταστροφής, από την υποδομή επικοινωνιών και από τη συγκέντρωση του πληθυσμού. Στις αραιοκατοικημένες ορεινές περιοχές, οι πληροφορίες από χωριά που έχουν προσβληθεί από μεγάλους σεισμούς μπορεί να είναι πολύτιμες αρκετές μέρες έως και κάποιες εβδομάδες μετά την εξέλιξη του φαινομένου, καθώς σωστικές ομάδες προσπαθούν να εντοπίσουν ανθρώπους που ενδεχομένως αναζητούν βοήθεια. Επομένως, η απαιτούμενη πληροφορία είναι συνάρτηση τόσο του χρόνου όσο και της γεωγραφικής κατανομής.

6.4.2.2.2. Κενά/ελλείψεις και προοπτικές βελτίωσης των τηλεπισκοπικών ικανοτήτων

Η διαθεσιμότητα μιας επαρκούς χωρικής ανάλυσης της τάξης των 1 ή 2m στη δορυφορική απεικόνιση θα συνεισφέρει σημαντικά στην εκτίμηση του υπολογισμού των καταστροφών που προκαλούν οι σεισμοί και στην αντίδραση και αντιμετώπιση του φαινομένου. Εντούτοις, η συνεισφορά αυτή θα είναι πραγματική μόνο εάν η βελτίωση στη χωρική ανάλυση συνδυαστεί με επαρκή χρονική ανάλυση και ικανότητες απεικόνισης σε συνθήκες παντός καιρού και σε όλες τις ώρες της ημέρας. Σήμερα, διαφαίνεται πολύ μικρή ελπίδα προς την κατεύθυνση μιας αποτελεσματικής πρόβλεψης των σεισμών με τις υπάρχουσες τεχνικές που παρέχονται από τους δορυφόρους.

6.4.2.2.3. Οι δυνατότητες τηλεπισκόπησης με χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών

Η χαμηλή προβλεψιμότητα και η πολύ μικρή διάρκεια των σεισμών, σε συνδυασμό με την ανάγκη παροχής πολύ γρήγορης αντίδρασης και τους περιορισμούς της απόδοσης των υπάρχοντων συστημάτων που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα, τα δορυφορικά τηλεπισκοπικά συστήματα είναι σήμερα πολύ περιορισμένης αξίας κατά τη διάρκεια των φάσεων αντίδρασης και αποκατάστασης. Μόνο πολύ μεγάλες ομάδες δορυφόρων και ιδιαίτερα δαπανηρές με χρήση

αισθητήρων υψηλής ανάλυσης και παντός καιρού θα μπορούσαν ενδεχομένως να ανταποκριθούν στις ανάγκες των φάσεων αντίδρασης και αποκατάστασης.

Στη συνέχεια αναφέρονται ορισμένες προτεινόμενες περιοχές εφαρμογών, στις οποίες οι τηλεπισκοπικές παρατηρήσεις από τις μη επανδρωμένες στρατοσφαιρικές πλατφόρμες (HAPs/HALE) θα μπορούσαν να υποστηρίξουν τις προσπάθειες της διαχείρισης των σεισμών, παρέχοντας υψηλής ανάλυσης και υψηλής συνέχειας παρακολούθησης στοιχεία με χρονική απόκριση και εξασκούμενο έλεγχο του συστήματος που δεν είναι διαθέσιμα από τα υπάρχοντα ή μελλοντικά σχεδιαζόμενα δορυφορικά συστήματα.

Φάση άμβλυνσης

- Ανανέωση/ενημέρωση των αναλύσεων επικινδυνότητας και των σχεδιασμών ετοιμότητας, των διαδικασιών και προγραμμάτων που σχεδιάζονται για τις περιοχές υψηλού κινδύνου, χρησιμοποιώντας τις ικανότητες υψηλής ανάλυσης και υψηλής συνέχειας παρακολουθήσεων που παρέχονται από τις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες.
- Έλεγχος και εξακρίβωση της μείωσης επικινδυνότητας και επιβεβαίωση των μετρήσεων ετοιμότητας.
- Βαθμονόμηση και επικύρωση των παρεχόμενων μετρήσεων από δορυφόρους και άλλες πηγές πληροφοριών.
- Ανανέωση/ενημέρωση των γεωλογικών ερευνών και των μελετών ανίχνευσης μεταβολών για τις πλέον επικίνδυνες περιοχές.
- Χαρτογραφικές αναλύσεις υψηλής ανάλυσης σχετιζόμενων ιστορικών γεγονότων.
- Η τοπική πληροφορία μπορεί να συνδυαστεί και με άλλες πηγές πληροφοριών, όπως με τον πληθυσμό, τη χρήση της γης, τον τύπο των κτηρίων, την υποδομή, τις κρατικές κοινωφελείς υπηρεσίες, τους δρόμους διαφυγής και διάσωσης.
- Εκπαίδευση και εξάσκηση για τις επιχειρήσεις της φάσης αντιμετώπισης της καταστροφής.

Στους πιθανούς χρήστες των πληροφοριών αυτών περιλαμβάνονται οι οργανισμοί διαχείρισης των εκτάκτων περιστατικών, οι αρχές σχεδιασμού των αστικών πόλεων και των οδικών δικτύων καθώς και όσοι ασχολούνται με το σχεδιασμό και τη χρησιμοποίηση της γης.

Φάση προετοιμασίας (ακριβώς πριν από το σεισμό)

Η τεράστια ανακρίβεια των υπαρχόντων μεθόδων σεισμικών προβλέψεων καθώς και οι περιορισμοί στη δημοσίευση των προειδοποιήσεων σχετικά με πιθανούς επικείμενους σεισμούς, περιορίζουν το σκοπό της φάσης προετοιμασίας, όπως αυτός καθορίζεται στην περίπτωση άλλων περιπτώσεων κινδύνου κατά τις οποίες ορισμένα προειδοποιητικά σήματα μπορεί να παρατηρηθούν.

Φάση αντίδρασης (κατά τη διάρκεια και αμέσως μετά το σεισμό)

- Εκτιμήσεις και υπολογισμοί των καταστροφών στη γη, στα κτήρια, στις ιδιοκτησίες, στις υποδομές, στις κοινωφελείς δημόσιες υπηρεσίες και στα οδικά δίκτυα.
- Εκτίμηση των απαιτούμενων προσπαθειών ανακούφισης των πληγέντων.
- Ανίχνευση τοποθεσίας ανθρώπων σε κίνδυνο.
- Αναγνώριση και παρακολούθηση διαδρομών διαφυγής και διάσωσης.
- Καθοδήγηση και προσανατολισμός προσπαθειών διάσωσης και ανακούφισης.
- Εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των προσπαθειών διάσωσης.
- Ανίχνευση και αποτίμηση δευτερογενών καταστροφών, όπως φωτιές, μόλυνση, τεχνολογικοί κίνδυνοι.

Στους πιθανούς χρήστες των παραπάνω πληροφοριών περιλαμβάνονται οι οργανισμοί διαχείρισης εκτάκτων περιστατικών, οι τοπικές αρχές, οι ασφαλιστικές εταιρείες καθώς και τα μέσα μαζικής ενημέρωσης.

Φάση ανάνηψης (μετά το σεισμό)

- Εκτίμηση των πιθανοτήτων επανεμφάνισης των απειλών.
- Απολογισμός των καταστροφών (ιδιοκτησίες, υποδομές, περιβάλλον) και επαλήθευση των δελτίων καταστροφών.
- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Επαλήθευση της αποτελεσματικότητας των μετρήσεων σχετικά με την αποκατάσταση, την ανακατασκευή, την επανόρθωση και την επισκευή.
- Συλλογή δεδομένων ως στοιχεία εισόδου σε αναλύσεις επικινδυνότητας και σχεδιασμούς ετοιμότητας, σε ανάλογα προγράμματα και διαδικασίες.
- Συλλογή δεδομένων ως στοιχεία εισόδου σε ιστορικές βάσεις δεδομένων.

Πιθανοί χρήστες των παραπάνω πληροφοριών είναι οργανισμοί διαχείρισης εκτάκτων περιστατικών, αρχές διαχείρισης του νερού, τοπικές αρχές καθώς και ασφαλιστικές εταιρείες.

6.4.2.3. Σοβαρές καταγιίδες/θύελλες

6.4.2.3.1. Περιγραφή φαινομένου

Οι καταγιίδες που λαμβάνουν χώρα σε ευρεία κλίμακα και σε μεσαία γεωγραφικά πλάτη αποτελούν την κύρια αιτία εμφάνισης χιονοθύελλας, ισχυρών βροχοπτώσεων, παγετού και έντονης χιονόπτωσης το χειμώνα, ενώ μπορούν επιπλέον να προκαλέσουν χαλαζοθύελλα και θυελλώδεις ανεμοστρόβιλους. Κατά τη δεκαετία 1990 σημειώθηκε μια σημαντική αύξηση στο κόστος των καταστροφών που προκλήθηκαν από τέτοια ακραία καιρικά φαινόμενα. Κατά τη διάρκεια των ετών 1989-90, μια ακολουθία έντονων χειμερινών καταγιίδων χτύπησε τη Β.Ευρώπη αφήνοντας πίσω της περισσότερους από 200 νεκρούς και υλικές καταστροφές δισεκατομμυρίων δολαρίων. Τον Ιούλιο του 1996, ένα σύστημα χαμηλών πιέσεων προκάλεσε ισχυρές βροχοπτώσεις στην περιοχή Quebec του Καναδά και οι συνεπακόλουθες αστραπιαίες πλημμύρες σκότωσαν τουλάχιστον 10 ανθρώπους, 16.000 άνθρωποι χρειάστηκε να απομακρυνθούν από τα σπίτια τους ενώ οι υλικές απώλειες άγγιξαν τα 500 εκατομμύρια δολάρια.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται μια τυπική σκηνή ερήμωσης και καταστροφής στους δρόμους της Ottawa κατά τη διάρκεια της μεγάλης χιονοθύελλας του 1998, που επηρέασε σοβαρά τις περιοχές Quebec και ανατολικό Ontario.



6.4.2.3.2. Κενά/ελλείψεις και προοπτικές βελτίωσης των τηλεπισκοπικών ικανοτήτων

Οι μετεωρολογικές παρατηρήσεις και οι παρακολουθήσεις των τοπικών καταιγίδων και των καιρικών φαινομένων μπορούν να συνεχιστούν και κατά τη διάρκεια των φάσεων αντίδρασης και ανάνηψης, παρέχοντας πολύτιμη πληροφορία σχετικά με τις τρέχουσες αλλά και τις προβλεπόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες. Επιπρόσθετα, όπως και στην περίπτωση των άλλων φυσικών καταστροφών, υπάρχει η ανάγκη παροχής καλύτερων τηλεπισκοπικών ικανοτήτων για την υποστήριξη των προσπάθειών ανακούφισης και αποκατάστασης, πέρα από την εκτίμηση των καιρικών συνθηκών. Όπως και στις άλλες μορφές καταστροφών, τα σύγχρονα δορυφορικά συστήματα είναι ανίκανα να ικανοποιήσουν την ανάγκη αυτή. Τα εναέρια συστήματα, ενώ διαθέτουν χρήσιμη τοπική ικανότητα, είναι ιδιαίτερα δαπανηρά για να λειτουργήσουν κατά τις φάσεις της αντίδρασης και της ανάνηψης οι οποίες μπορεί να διαρκέσουν πολλές ημέρες και επιπλέον εμπεριέχουν κίνδυνο για το πλήρωμα ιδιαίτερα σε άσχημες καιρικές συνθήκες.

6.4.2.3.3. Οι δυνατότητες τηλεπισκόπησης με χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών

Παρακάτω ακολουθούν ορισμένες προτεινόμενες περιοχές εφαρμογών, στις οποίες οι τηλεπισκοπικές παρατηρήσεις από τις μη επανδρωμένες στρατοσφαιρικές πλατφόρμες (HAPs/HALE) θα μπορούσαν να υποστηρίξουν τις προσπάθειες της διαχείρισης των καταστροφικών καιρικών φαινομένων, παρέχοντας υψηλής ανάλυσης και υψηλής συνέχειας παρακολούθησης στοιχεία με χρονική απόκριση και εξασκούμενο έλεγχο του συστήματος που δεν είναι διαθέσιμα από τα υπάρχοντα ή μελλοντικά σχεδιαζόμενα δορυφορικά συστήματα.

Φάση άμβλυνσης

- Ανανέωση/ενημέρωση των αναλύσεων επικινδυνότητας και των σχεδιασμών ετοιμότητας, των διαδικασιών και προγραμμάτων που σχεδιάζονται για τις περιοχές υψηλού κινδύνου, χρησιμοποιώντας τις ικανότητες υψηλής ανάλυσης και υψηλής συνέχειας παρακολούθησεων που παρέχονται από τις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες.
- Έλεγχος και εξακρίβωση της μείωσης επικινδυνότητας και επιβεβαίωση των μετρήσεων ετοιμότητας.
- Βαθμονόμηση και επικύρωση των παρεχόμενων μετρήσεων από δορυφόρους και άλλες πηγές πληροφοριών.
- Χαρτογραφικές αναλύσεις υψηλής ανάλυσης σχετιζόμενων ιστορικών γεγονότων.
- Η τοπική πληροφορία μπορεί να συνδυαστεί και με άλλες πηγές πληροφοριών, όπως με τον πληθυσμό, τη χρήση της γης, τον τύπο των κτηρίων, την υποδομή, τις κρατικές κοινωφελείς υπηρεσίες, τους δρόμους διαφυγής και διάσωσης.
- Εκπαίδευση και εξάσκηση για τις επιχειρήσεις της φάσης αντιμετώπισης της καταστροφής.

Φάση προετοιμασίας (ακριβώς πριν την εμφάνιση της καταιγίδας)

- Ανανέωση/ενημέρωση των αναλύσεων επικινδυνότητας και των σχεδιασμών ετοιμότητας, των διαδικασιών και προγραμμάτων που σχεδιάζονται για τις περιοχές υψηλού κινδύνου, χρησιμοποιώντας τις

ικανότητες υψηλής ανάλυσης και υψηλής συνέχειας παρακολουθήσεων που παρέχονται από τις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες.

- Παρατηρήσεις εντοπισμένες στις περιοχές υψηλού κινδύνου χρησιμοποιώντας τις ικανότητες υψηλής ανάλυσης και υψηλής συνέχειας παρατήρησης των HAPs, σχετικές με: τη μετεωρολογία, τις συνθήκες χιονιών και πάγου (περιοχή κάλυψης και βάθος), τις παλλιροιακές συνθήκες στις παράκτιες περιοχές, το ύψος της στάθμης του νερού, τις υδρολογικές προβλέψεις, την τοπογραφία DTM (Digital Terrain Mapping), την κάλυψη στο έδαφος, την τραχύτητα της επιφάνειας.
- Βαθμονόμηση και επικύρωση των παρεχόμενων μετρήσεων από δορυφόρους και άλλες πηγές πληροφοριών.
- Εκπαίδευση και εξάσκηση για τις λειτουργίες που απαιτούνται κατά τη διάρκεια της φάσης αντίδρασης.

Πιθανοί χρήστες των πληροφοριών αυτών είναι οι οργανισμοί διαχείρισης των καταστροφών, οι αρχές διαχείρισης του νερού, οι υδρομετεωρολόγοι, οι τοπικές αρχές και τα μέσα μαζικής ενημέρωσης.

Φάση αντίδρασης (κατά τη διάρκεια και αμέσως μετά την ισχυρή καταιγίδα)

- Εκτιμήσεις και υπολογισμοί των καταστροφών στη γη, στα κτήρια, στις ιδιοκτησίες, στις υποδομές, στις κοινωφελείς δημόσιες υπηρεσίες και στα οδικά δίκτυα.
- Εκτίμηση των απαιτούμενων προσπάθειών ανακούφισης των πληγέντων.
- Ανίχνευση τοποθεσίας ανθρώπων σε κίνδυνο.
- Αναγνώριση και παρακολούθηση διαδρομών διαφυγής και διάσωσης.
- Καθοδήγηση και προσανατολισμός προσπαθειών διάσωσης και ανακούφισης.
- Εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των προσπαθειών διάσωσης.
- Εκτιμήσεις των καταστροφών σε κτήρια, περιουσίες, υποδομή, δημόσιες κοινωφελείς υπηρεσίες και οδικά δίκτυα.

- Ανίχνευση και αποτίμηση δευτερογενών καταστροφών, όπως κατολισθήσεις, μόλυνση, τεχνολογικοί κίνδυνοι.

Στους πιθανούς χρήστες των παραπάνω πληροφοριών περιλαμβάνονται οι οργανισμοί διαχείρισης εκτάκτων περιστατικών, οι τοπικές αρχές, οι ασφαλιστικές εταιρείες καθώς και οι υδρομετεωρολόγοι.

Φάση ανάνηψης (μετά την καταιγίδα)

- Εκτίμηση των πιθανοτήτων επανεμφάνισης των απειλών.
- Απολογισμός των καταστροφών (ιδιοκτησίες, υποδομές, περιβάλλον) και επαλήθευση των δελτίων καταστροφών.
- Συνθήκες εδάφους (υγρασία κ.λ.π.).
- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Επαλήθευση της αποτελεσματικότητας των μετρήσεων σχετικά με την αποκατάσταση, την ανακατασκευή, την επανόρθωση και την επισκευή.
- Συλλογή δεδομένων ως στοιχεία εισόδου σε αναλύσεις επικινδυνότητας και σχεδιασμούς ετοιμότητας, σε ανάλογα προγράμματα και διαδικασίες.
- Συλλογή δεδομένων ως στοιχεία εισόδου σε ιστορικές βάσεις δεδομένων.

Πιθανοί χρήστες των παραπάνω πληροφοριών είναι οργανισμοί διαχείρισης εκτάκτων περιστατικών, αρχές διαχείρισης του νερού, τοπικές αρχές, μετεωρολόγοι, υδρομετεωρολόγοι καθώς και ασφαλιστικές εταιρείες.

6.4.2.4. Καταστρεπτικές φωτιές

6.4.2.4.1. Περιγραφή φαινομένου

Τα φυσικά δάση, οι θαμνότοποι και τα υπόλοιπα οικοσυστήματα εξελίχθηκαν σε ένα σημαντικό παράγοντα οικολογικής μεταβολής. Η ανθρώπινη δραστηριότητα έχει τροποποιήσει σημαντικά την όψη πολλών φυσικών τοπίων και έχει θέσει τους ανθρώπους και τις περιουσίες τους σε άμεσο κίνδυνο από τις καταστρεπτικές φωτιές. Οι φωτιές εξαπλώνονται συνήθως με πολύ γρήγορους ρυθμούς και απειλούν

ανθρώπινες ζωές, οικισμούς καθώς και τους ζωντανούς οργανισμούς που ζουν και αναπτύσσονται μέσα στις δασικές περιοχές. Οι φωτιές μπορούν επίσης να προκαλέσουν ζημιές στην προμήθεια ξυλείας και γενικότερα πολλές άλλες οικονομικές ανατροπές. Τέλος, μπορούν να καταστρέψουν προστατευόμενες περιοχές και να προκαλέσουν αναστάτωση/αταξία στην ατμοσφαιρική χημεία.



Προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι εκτενείς καταστρεπτικές φωτιές, απαιτείται πληροφορία η οποία ποικίλει ανάλογα με το χρήστη στον οποίο απευθύνεται αλλά και τη φάση της φωτιάς. Για το σχεδιασμό της καταστολής και την επιλογή των κρισιμότερων περιοχών για επιτήρηση, είναι σημαντικό να εκτιμηθεί η προοπτική εξέλιξης της φωτιάς στις περισσότερο επιρρεπείς περιοχές. Κατά τη διάρκεια της εξέλιξης της κρίσης, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την ακριβή τοποθεσία της εστίας της φωτιάς (ανίχνευση), πώς ακριβώς αναπτύσσεται και εξαπλώνεται (συμπεριφορά), πώς εξελίσσεται σε συνάρτηση με το χρόνο (παρακολούθηση) και πώς είναι το πιθανότερο να εξελιχθεί στο μέλλον (πρόβλεψη συμπεριφοράς). Μετά την καταστολή του φαινομένου είναι απαραίτητο να εξεταστεί ο τύπος και η έκταση των καταστροφών και να σχεδιαστούν οι ενέργειες ανάνηψης (εκτίμηση, χαρτογράφηση και αποκατάσταση).

6.4.2.4.2. Κενά/ελλείψεις και προοπτικές βελτίωσης των τηλεπισκοπικών ικανοτήτων

Υπάρχουν κάποια κενά και ελλείψεις στα παρεχόμενα στοιχεία μέσω των σύγχρονων τεχνολογικών τηλεπισκοπικών μέσων με αποτέλεσμα να μην εξαντλείται

η προοπτική των εφαρμογών της επιστήμης της τηλεπισκόπησης προς την κατεύθυνση ανακούφισης και ελάφρυνσης του προβλήματος διαχείρισης των πυρκαγιών. Η φασματική, χωρική και χρονική ανάλυση των σύγχρονων δορυφορικών πλατφορμών δεν ικανοποιούν απόλυτα τις ανάγκες ανίχνευσης των φωτιών σε πραγματικό χρόνο και δεν έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές στην υποστήριξη των επιχειρήσεων που πρέπει να πραγματοποιηθούν κατά τη διάρκεια της φάσης αντίδρασης. Η έκθεση της ομάδας διαχείρισης πυρκαγιών της επιτροπής δορυφόρων περιβαλλοντικής παρακολούθησης CEOS (Committee on Earth Observation Satellites) έκανε ορισμένες προτάσεις για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των δορυφορικών τηλεπισκοπικών συστημάτων σχετικά με τη διαχείριση της φωτιάς:

Φάση προετοιμασίας

Ανάπτυξη τεχνολογιών και μεθόδων για την παραγωγή παγκόσμιων, αξιόπιστων, λεπτομερών και ενημερωμένων χαρτών των περιοχών υψηλού κινδύνου.

Φάση αντίδρασης

Υπάρχει η ανάγκη ανάπτυξης ενός δορυφορικού συστήματος τοπικής λειτουργίας για την ανίχνευση της φωτιάς και της παρακολούθησης των πιο επικίνδυνων περιοχών, με ικανότητες χρόνου απόλυτης ανίχνευσης 5 λεπτών, χρόνου επανάληψης 15 λεπτών, χωρικής ανάλυσης 250m και ποσοστού αξιοπιστίας 95%, με μετάδοση της συλλεγόμενης πληροφορίας στους τοπικούς επίγειους σταθμούς σε πραγματικό χρόνο. Επίσης, απαραίτητη είναι η ανάπτυξη και η εφαρμογή ενός παγκόσμιου συστήματος για τη διανομή της συλλεγόμενης πληροφορίας στους χρήστες σε τακτά χρονικά διαστήματα, με χρήση των υπάρχοντων δορυφορικών πλατφορμών.

Φάση ανάνηψης

- Εξασφάλιση της συνεχούς και αδιάκοπης επιτήρησης των σύγχρονων πολιτικών δορυφορικών συστημάτων για τοπική αλλά και παγκόσμια κάλυψη των πυρκαγιών.

- Καθιέρωση μιας περισσότερο περιεκτικής και πλήρους παγκόσμιας κάλυψης των φωτιών για τον υπολογισμό του ποσοστού καταστροφής της βιομάζας.
- Με την προοπτική ότι κανένας μεμονωμένος δορυφόρος δεν μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για τη διαχείριση των πυρκαγιών, συνιστάται η επικύρωση διεθνών συμφωνιών για τη βελτίωση της πρόσβασης όλων των χρηστών στα στοιχεία σχετικά με τις φωτιές.

6.4.2.4.3. Οι δυνατότητες τηλεπισκόπησης με χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών

Τα σύγχρονα τηλεπισκοπικά δορυφορικά συστήματα δεν έχουν τις ικανότητες που απαιτούνται προκειμένου να διευθετηθεί πλήρως το πρόβλημα διαχείρισης της φωτιάς. Ελλείψεις παρουσιάζονται τόσο στην απόδοση των υπαρχόντων συστημάτων (φασματική, χωρική και χρονική ανάλυση) όσο και στην ικανότητα συντονισμού και συγκέντρωσης των προοπτικών των ποικίλων δορυφορικών συστημάτων που μπορούν να συνεισφέρουν στη διαχείριση του προβλήματος με τις φωτιές. Στη συνέχεια αναφέρονται ορισμένες προτεινόμενες περιοχές εφαρμογών, στις οποίες οι τηλεπισκοπικές παρατηρήσεις από τις μη επανδρωμένες στρατοσφαιρικές πλατφόρμες (HAPs/HALE) θα μπορούσαν να υποστηρίξουν τις προσπάθειες της διαχείρισης των πυρκαγιών, παρέχοντας υψηλής ανάλυσης και υψηλής συνέχειας παρακολούθησης στοιχεία με χρονική απόκριση και εξασκούμενο αποδοτικό έλεγχο του συστήματος που δεν είναι διαθέσιμα από τα υπάρχοντα ή μελλοντικά σχεδιαζόμενα δορυφορικά συστήματα.

Φάση άμβλυνσης

- Ανανέωση/ενημέρωση των αναλύσεων επικινδυνότητας και σχεδιασμών ετοιμότητας, των διαδικασιών και προγραμμάτων που σχεδιάζονται για τις περιοχές υψηλού κινδύνου, χρησιμοποιώντας τις ικανότητες υψηλής ανάλυσης και υψηλής συνέχειας παρακολουθήσεων που παρέχονται από τις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες.
- Έλεγχος και εξακρίβωση της μείωσης επικινδυνότητας και επιβεβαίωση των μετρήσεων ετοιμότητας.

- Βαθμονόμηση και επικύρωση των παρεχόμενων μετρήσεων από δορυφόρους και άλλες πηγές πληροφοριών.
- Χαρτογραφικές αναλύσεις υψηλής ανάλυσης σχετιζόμενων ιστορικών γεγονότων.
- Η τοπική πληροφορία μπορεί να συνδυαστεί με άλλες πηγές, όπως πληθυσμός, χρησιμοποίηση της γης, βλάστηση, έδαφος, υποδομή, κοινωφελείς υπηρεσίες, διαδρόμους και δρόμους διαφυγής/διάσωσης.
- Εκπαίδευση και εξάσκηση για τις λειτουργίες που απαιτούνται κατά τη διάρκεια των φάσεων της προετοιμασίας και της αντίδρασης.

Πιθανοί χρήστες των παραπάνω πληροφοριών είναι οργανισμοί διαχείρισης εκτάκτων περιστατικών, δασοκομικές αρχές, αρχές για την προστασία του περιβάλλοντος, τοπικές αρχές, επιχειρήσεις δημόσιας ωφέλειας κ.λ.π.

Φάση προετοιμασίας (ακριβώς πριν το ξέσπασμα της φωτιάς)

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η ξαφνική εμφάνιση μιας φωτιάς είναι γενικά πολύ δύσκολο να προβλεφθεί με ακρίβεια, εντούτοις περιοχές με ιδιαίτερη ευαισθησία σε τέτοια φαινόμενα μπορούν αρκετές φορές να αναγνωριστούν και να εντοπιστούν.

- Ανανέωση/ενημέρωση των αναλύσεων επικινδυνότητας και των σχεδιασμών ετοιμότητας, των διαδικασιών και προγραμμάτων που σχεδιάζονται για τις περιοχές υψηλού κινδύνου, χρησιμοποιώντας τις ικανότητες υψηλής ανάλυσης και υψηλής συνέχειας παρακολουθήσεων που παρέχονται από τις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες.
- Βαθμονόμηση και επικύρωση των παρεχόμενων μετρήσεων από δορυφόρους και άλλες πηγές πληροφοριών.
- Αναγνώριση περιοχών και δρόμων διαφυγής και διάσωσης ή δρόμων πρόσβασης προς τη φωτιά για τις πυροσβεστικές δυνάμεις.
- Εκπαίδευση και εξάσκηση για τις λειτουργίες που απαιτούνται κατά τη διάρκεια της φάσης αντίδρασης.

Στους πιθανούς χρήστες των παραπάνω πληροφοριών περιλαμβάνονται οι οργανισμοί διαχείρισης εκτάκτων περιστατικών, οι δασοκομικές αρχές, οι τοπικές αρχές, οι αρχές προστασίας του περιβάλλοντος, οι επιχειρήσεις δημόσιας ωφέλειας.

Φάση αντίδρασης (κατά τη διάρκεια του φαινομένου)

- Ανίχνευση της ακριβούς περιοχής της φωτιάς, της έκτασής της, της συμπεριφοράς της και της κατεύθυνσης εξάπλωσής της.
- Εκτίμηση των απαιτούμενων προσπαθειών ανακούφισης και επανόρθωσης.
- Ανίχνευση τοποθεσίας ανθρώπων σε κίνδυνο.
- Αναγνώριση και παρακολούθηση διαδρομών διαφυγής και διάσωσης.
- Καθοδήγηση και προσανατολισμός προσπαθειών διάσωσης και ανακούφισης.
- Εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των προσπαθειών διάσωσης.
- Εκτίμηση των καταστροφών σε δασικές εκτάσεις, σε λιβάδια, σε γεωργικές καλλιέργειες, σε οικισμούς, σε περιουσίες, σε υποδομές, σε κρατικές κοινωφελείς υπηρεσίες και οδικά δίκτυα.
- Ανίχνευση και αποτίμηση δευτερογενών καταστροφών, όπως μόλυνση από απόβλητα, τεχνολογικοί κίνδυνοι.

Στους πιθανούς χρήστες των παραπάνω πληροφοριών περιλαμβάνονται οι οργανισμοί διαχείρισης εκτάκτων περιστατικών, οι τοπικές αρχές, οι πυροσβεστικές δυνάμεις, οι ασφαλιστικές εταιρείες καθώς και τα μέσα μαζικής ενημέρωσης.

Φάση ανάνηψης (μετά την πυρκαγιά)

- Εκτίμηση των πιθανοτήτων επανεμφάνισης των απειλών.
- Υπολογισμός των καμένων περιοχών και εκτίμηση των υπολοίπων καταστροφών (αποθέματα ξυλείας, βλάστηση, λιβάδια, κτήρια, περιουσίες, υποδομές, δημόσιες κοινωφελείς υπηρεσίες, οδικά δίκτυα, προστατευόμενες περιοχές) και επαλήθευση των δελτίων καταστροφών.
- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

- Επαλήθευση των μετρήσεων σχετικά με την αποκατάσταση, την ανακατασκευή, την επανόρθωση και την επισκευή.
- Επικύρωση των μοντέλων πρόβλεψης.
- Συλλογή δεδομένων ως στοιχεία εισόδου σε αναλύσεις επικινδυνότητας και σχεδιασμούς ετοιμότητας, σε ανάλογα προγράμματα και διαδικασίες.
- Συλλογή δεδομένων ως στοιχεία εισόδου σε ιστορικές βάσεις δεδομένων.

Πιθανοί χρήστες των παραπάνω πληροφοριών είναι οργανισμοί διαχείρισης εκτάκτων περιστατικών, τοπικές αρχές, αρχές προστασίας των δασών καθώς και ασφαλιστικές εταιρείες.

6.4.2.5. Κατολισθήσεις

6.4.2.5.1. Περιγραφή φαινομένου

Κατολισθήσεις συμβαίνουν σε όλες τις περιοχές του κόσμου όταν μεγάλες μάζες βράχων, κομμάτια γης, χαλάσματα, φερτά υλικά συσσωρευμένα στους πρόποδες βουνών που έχουν δημιουργηθεί από ισχυρές καταιγίδες, σεισμούς, εκρήξεις ηφαιστειών ή κάποιες ανθρώπινες δραστηριότητες κατεβαίνουν προς χαμηλότερα επίπεδα. Συνήθως κατολισθήσεις συμβαίνουν χωρίς καμιά προειδοποίηση καταστρέφοντας κτήρια, σπίτια και καλλιέργειες, δίκτυα ηλεκτρισμού, ύδρευσης, σωληνώσεις αερίου και αποχετεύσεων, οδικά δίκτυα και σιδηροδρομικές γραμμές. Οι κατολισθήσεις που συνέβησαν κατά τις περιόδους τυφώνων τα έτη 1997 και 1998 στην Κ.Αμερική και στην Καραϊβική προκάλεσαν ανυπολόγιστες καταστροφές καθώς και τον τραγικό χαμό χιλιάδων ανθρώπινων ζώων στις ευαίσθητες κοινότητες. Οι κατολισθήσεις που λαμβάνουν χώρα κάθε χρόνο στις Ηνωμένες Πολιτείες υπολογίζεται ότι προκαλούν ετήσιες απώλειες της τάξης των 1,5 δισεκατομμυρίων δολαρίων και τουλάχιστον 25 θανάτους, ενώ άλλες περιοχές στον κόσμο είναι ακόμη περισσότερο επιρρεπείς σε φαινόμενα κατολισθήσεων.



Η μείωση των επιπτώσεων των κατολισθήσεων απαιτεί αξιόπιστες εκτιμήσεις του κινδύνου καθώς και την εφαρμογή προγραμμάτων διαχείρισης του κινδύνου και στρατηγικών που θα περιλαμβάνουν εκστρατείες ενημέρωσης των πολιτών, κανονισμούς σχεδιασμού και ανάπτυξης και κατασκευαστικά πρότυπα. Παρακάτω φαίνεται ένα παράδειγμα μιας εκτεταμένης κατολίσθησης στην περιοχή La Conchita της Καλιφόρνιας την άνοιξη του 1995.

6.4.2.5.2. Κενά/ελλείψεις και προοπτικές βελτίωσης των τηλεπισκοπικών ικανοτήτων

Οι τηλεπισκοπικές εκείνες ικανότητες που θα μπορούσαν να βοηθήσουν στη διαχείριση του καταστροφικού φαινομένου των κατολισθήσεων επικεντρώνονται - όπως και στις περιπτώσεις πολλών άλλων φυσικών καταστροφών - στην παροχή παρακολούθησης υψηλής ανάλυσης σε σχεδόν συνεχή βάση, ώστε να παρακολουθούνται επαρκώς φαινόμενα που εξελίσσονται πολύ γρηγορότερα απ' ότι οι σύγχρονοι δορυφόροι μπορούν να παρατηρήσουν. Ιδιαίτερα χρήσιμη θα μπορούσε

να αποβεί και η βελτιωμένη χωρική ανάλυση της τάξης του 1m ή και λιγότερο για την υποστήριξη των προσπαθειών μετριασμού των επιπτώσεων του φαινομένου, της εκτίμησης της επικινδυνότητας και γενικότερα της διαχείρισης της καταστροφής. Επιπλέον, η βελτιωμένη τοπική και περιφερειακή πρόβλεψη καιρικών φαινομένων θα ήταν χρήσιμη για την πρόγνωση και γενικά την αντιμετώπιση των κατολισθήσεων.

6.4.2.5.3. Οι δυνατότητες τηλεπισκόπησης με χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών

Τα συστήματα στρατοσφαιρικών πλατφορμών υπόσχονται να καλύψουν τις ελλείψεις των σύγχρονων τηλεπισκοπικών συστημάτων σε ό,τι αφορά τις απαιτούμενες ικανότητες παρακολούθησης και επιτήρησης. Παρακάτω ακολουθούν ορισμένες προτεινόμενες περιοχές εφαρμογών, στις οποίες οι τηλεπισκοπικές παρατηρήσεις από τις μη επανδρωμένες στρατοσφαιρικές πλατφόρμες (HAPs/HALE) θα μπορούσαν να υποστηρίξουν τις προσπάθειες της διαχείρισης των καταστροφών στην περίπτωση του φαινομένου των κατολισθήσεων.

Φάση άμβλυνσης

- Ανανέωση/ενημέρωση των αναλύσεων επικινδυνότητας και σχεδιασμών ετοιμότητας, των διαδικασιών και προγραμμάτων που σχεδιάζονται για τις περιοχές υψηλού κινδύνου και βελτίωση της επιστημονικής κατανόησης σχετικά με όλους εκείνους τους παράγοντες που οδηγούν σε επικίνδυνες κατολισθήσεις.
- Έλεγχος και εξακρίβωση της μείωσης επικινδυνότητας και επιβεβαίωση των μετρήσεων ετοιμότητας.
- Βαθμονόμηση και επικύρωση των παρεχόμενων μετρήσεων από δορυφόρους και άλλες πηγές πληροφοριών.
- Ανανέωση/ενημέρωση των χαρτογραφικών, γεωμορφολογικών, υδρολογικών, τοπογραφικών και κλιματολογικών ερευνών για τις πλέον επικίνδυνες περιοχές.
- Έρευνες σχετικά με την ποιότητα του εδάφους, την κάλυψη του εδάφους από χιόνια και πάγους και την τραχύτητά του.

- Η τοπική πληροφορία μπορεί να συνδυαστεί με άλλες πηγές, όπως πληθυσμός, χρησιμοποίηση της γης, τύπος κτηρίων, υποδομή, κοινωνικές υπηρεσίες, διαδρόμους και δρόμους διαφυγής/διάσωσης.
- Εκπαίδευση και εξάσκηση για τις λειτουργίες που απαιτούνται κατά τη διάρκεια των φάσεων της προετοιμασίας και της αντίδρασης.

Πιθανοί χρήστες των παραπάνω πληροφοριών είναι οργανισμοί διαχείρισης εκτάκτων περιστατικών, υπηρεσίες σχεδιασμού και διάθεσης του εδάφους, τοπικές αρχές, περιβαλλοντικές αρχές, σχεδιαστές οδικών δικτύων, σχεδιαστές οικοπέδων και αγροτικών εκτάσεων κ.λ.π.

Φάση προετοιμασίας (αμέσως πριν από την κατολίσθηση)

Λόγω της δυσκολίας που παρουσιάζεται στην πρόβλεψη των κατολισθήσεων και του γρήγορου ρυθμού με τον οποίο εξελίσσονται, δεν φαίνεται να υπάρχει ιδιαίτερο περιεχόμενο για τη φάση της προετοιμασίας στη διαχείριση των καταστροφών. Μόλις καταστεί προφανές ότι κάποιο τέτοιο φαινόμενο πρόκειται να λάβει χώρα ή ήδη εξελίσσεται, οι άνθρωποι πρέπει να στραφούν προς την κατεύθυνση συγκρότησης των απαραίτητων και αποτελεσματικών επιχειρήσεων που ανήκουν στη φάση της αντίδρασης.

Φάση αντίδρασης (κατά τη διάρκεια του φαινομένου και αμέσως μετά)

- Εκτίμηση των απαιτούμενων προσπάθειών ανακούφισης και επανόρθωσης.
- Ανίχνευση τοποθεσίας ανθρώπων σε κίνδυνο.
- Αναγνώριση και παρακολούθηση διαδρομών διαφυγής και διάσωσης.
- Καθοδήγηση και προσανατολισμός προσπαθειών διάσωσης και ανακούφισης.
- Εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των προσπαθειών διάσωσης.
- Εκτίμηση των καταστροφών σε κτήρια, περιουσίες, υποδομές, κρατικές κοινωνικές υπηρεσίες και οδικά δίκτυα.
- Μετεωρολογικές εκτιμήσεις και προβλέψεις.

- Ανίχνευση και αποτίμηση δευτερογενών καταστροφών, όπως περαιτέρω κατολισθήσεις, μόλυνση, τεχνολογικοί κίνδυνοι.

Στους πιθανούς χρήστες των παραπάνω πληροφοριών περιλαμβάνονται οι οργανισμοί διαχείρισης εκτάκτων περιστατικών, οι τοπικές αρχές καθώς και οι ασφαλιστικές εταιρείες.

Φάση ανάνηψης (μετά την κατολίσθηση)

- Εκτίμηση των πιθανοτήτων επανεμφάνισης των απειλών.
- Απολογισμός των καταστροφών (ιδιοκτησίες, υποδομές, περιβάλλον) και επαλήθευση των δελτίων καταστροφών.
- Μετρήσεις συνθηκών στο έδαφος (υγρασία, πάγος, χιόνια κ.λ.π.).
- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Επαλήθευση των μετρήσεων σχετικά με την αποκατάσταση, την ανακατασκευή, την επανόρθωση και την επισκευή.
- Επικύρωση των μοντέλων πρόβλεψης.
- Συλλογή δεδομένων ως στοιχεία εισόδου σε αναλύσεις επικινδυνότητας και σχεδιασμούς ετοιμότητας, σε ανάλογα προγράμματα και διαδικασίες.
- Συλλογή δεδομένων ως στοιχεία εισόδου σε ιστορικές βάσεις δεδομένων.

Πιθανοί χρήστες των παραπάνω πληροφοριών είναι οργανισμοί διαχείρισης εκτάκτων περιστατικών, τοπικές αρχές, σχεδιαστές της γης, υδρολόγοι, υδρομετεωρολόγοι, αρχές διαχείρισης νερού, περιβαλλοντικές αρχές, γεωργικές αρχές, σχεδιαστές οδικών δικτύων καθώς και ασφαλιστικές εταιρείες.

6.4.2.6. Ξηρασία/ανομβρία

6.4.2.6.1. Περιγραφή φαινομένου

Η ανομβρία συνήθως επηρεάζει πολύ μεγάλες περιοχές για περιόδους μηνών ή ακόμη και για χρόνια. Η ανομβρία μπορεί να επιφέρει σημαντικές επιπτώσεις στην παραγωγή τροφής καθώς και στην οικονομική απόδοση μιας περιοχής και επιπλέον

μπορεί να προκαλέσει σοβαρά μακροχρόνια προβλήματα υγείας στους πληθυσμούς των περιοχών που αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της ξηρασίας. Επιπλέον τα μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται προκειμένου να μετριαστεί το πρόβλημα συνήθως απαιτούν πολύ μεγάλο κόστος. Στην τρέχουσα δεκαετία, έχουν παρατηρηθεί σε όλες τις ηπείρους έντονα φαινόμενα ανομβρίας σε μεγάλη κλίμακα, που οδήγησαν σε τεράστιες οικονομικές απώλειες, καταστροφή πολλών οικολογικών πόρων, έλλειψη τροφής και λιμοκτονία εκατομμυρίων ανθρώπων. Η επόμενη εικόνα δείχνει μια άποψη της εκτεταμένης ανομβρίας που ταλαιπώρησε το Μεξικό το έτος 1999.

Η συνολική αντιμετώπιση τέτοιων καταστάσεων ξηρασίας περιλαμβάνει επαρκή πρόβλεψη, επισκόπηση, παρακολούθηση και έγκαιρη ενημέρωση και προειδοποίηση, εκτίμηση των επιπτώσεων και άμεση αντιμετώπιση. Η πληροφορία που απαιτείται από τους οργανισμούς διαχείρισης τέτοιων εκτάκτων περιστατικών, περιλαμβάνει: εκτίμηση της έκτασης της περιοχής που αντιμετωπίζει το πρόβλημα, εκτίμηση της έντασης και της διάρκειας του φαινομένου, έναν σχεδιασμό για άμεση ανακούφιση καθώς και μακροχρόνια διαχείριση για την άμβλυνση της ξηρασίας.



Σχήμα 6.8: Μια όψη μιας εκτεταμένης περίπτωσης ανομβρίας στο Μεξικό κατά το έτος 1999

6.4.2.6.2. Κενά/ελλείψεις και προοπτικές βελτίωσης των τηλεπισκοπικών ικανοτήτων

Βελτιωμένη τηλεπισκοπική ικανότητα απαιτείται για:

- Έγκαιρη ανίχνευση ανομβρίας.
- Παρακολούθηση της δυναμικής της ξηρασίας, σκιαγράφηση της προσβληθείσας περιοχής και της χρονικής διάρκειας.
- Αντιμετώπιση των επιπτώσεων τη ανομβρίας.
- Υποστήριξη της αποκατάστασης από τις αρνητικές επιπτώσεις της ξηρασίας.

6.4.2.6.3. Οι δυνατότητες τηλεπισκόπησης με χρήση στρατοσφαιρικών πλατφορμών

Τα σύγχρονα δορυφορικά τηλεπισκοπικά συστήματα διαθέτουν σημαντικές ικανότητες που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε όλες τις φάσεις της αλληλουχίας ενεργειών για τη διαχείριση του κινδύνου της ξηρασίας. Τα συστήματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά στην παροχή μιας “μεγάλης εικόνας” των γενικών συνθηκών – κλιματολογικών, καιρικών, υγρασίας του εδάφους, συνθήκες σοδιάς, επίπεδα αποθεμάτων νερού – πάνω από μεγάλες περιοχές. Εντούτοις, παραμένει η ανικανοποίητη ανάγκη, να εξετάσουμε από πιο κοντά και πιο στενά τα γεγονότα και τις συνθήκες σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο.

Παρακάτω ακολουθούν ορισμένες προτεινόμενες περιοχές εφαρμογών, στις οποίες οι τηλεπισκοπικές παρατηρήσεις από τις μη επανδρωμένες στρατοσφαιρικές πλατφόρμες (HAPs/HALE) θα μπορούσαν να υποστηρίξουν τις προσπάθειες διαχείρισης της ανομβρίας, παρέχοντας υψηλής ανάλυσης και υψηλής συνέχειας παρακολούθησης στοιχεία με χρονική απόκριση και εξασκούμενο έλεγχο του συστήματος που δεν είναι διαθέσιμα από τα υπάρχοντα ή μελλοντικά σχεδιαζόμενα δορυφορικά συστήματα.

Φάση άμβλυνσης

- Ανανέωση/ενημέρωση των αναλύσεων επικινδυνότητας και σχεδιασμών ετοιμότητας, των διαδικασιών και προγραμμάτων που σχεδιάζονται για

τις περιοχές υψηλού κινδύνου, χρησιμοποιώντας τις ικανότητες υψηλής ανάλυσης και υψηλής συνέχειας παρακολούθησεων που παρέχονται από τις στρατοσφαιρικές πλατφόρμες.

- Έλεγχος και εξακρίβωση της μείωσης επικινδυνότητας και επιβεβαίωση των μετρήσεων ετοιμότητας.
- Βαθμονόμηση και επικύρωση των παρεχόμενων μετρήσεων από δορυφόρους και άλλες πηγές πληροφοριών.
- Χαρτογραφικές αναλύσεις υψηλής ανάλυσης σχετιζόμενων ιστορικών γεγονότων.
- Έρευνες εντοπισμένες στις περιοχές υψηλού κινδύνου σχετικά με την τοπογραφία, τα υδρολογικά δεδομένα, την υγρασία του εδάφους, τις κλιματολογικές συνθήκες, τη μετεωρολογία, την ανάπτυξη της σοδειάς, τα επίπεδα αποθεμάτων νερού, τον τύπο του εδάφους και τη διαπερατότητά του.
- Η τοπική πληροφορία μπορεί να συνδυαστεί με άλλες πηγές, όπως πληθυσμός, χρησιμοποίηση της γης, τύπος κτηρίων, υποδομή, κοινωφελείς υπηρεσίες, διαδρόμους και δρόμους διαφυγής/διάσωσης.
- Εκπαίδευση και εξάσκηση για τις λειτουργίες που απαιτούνται κατά τη διάρκεια των φάσεων της προετοιμασίας και της αντίδρασης.

Πιθανοί χρήστες των παραπάνω πληροφοριών είναι οργανισμοί διαχείρισης εκτάκτων περιστατικών, διεθνείς οργανισμοί, οι υπηρεσίες που διαχειρίζονται τα αποθέματα νερού, οι αγρότες, οι ασφαλιστικές εταιρείες, οι τοπικές αρχές και οι επιτροπές που καθορίζουν τις στρατηγικές.

Φάση προετοιμασίας (πριν την εμφάνιση των επιπτώσεων της ανομβρίας)

- Ανανέωση/ενημέρωση των αναλύσεων επικινδυνότητας και των σχεδιασμών ετοιμότητας, των διαδικασιών και προγραμμάτων που σχεδιάζονται για τις περιοχές υψηλού κινδύνου.
- Παρατηρήσεις εντοπισμένες στις περιοχές υψηλού κινδύνου χρησιμοποιώντας τις ικανότητες υψηλής ανάλυσης και υψηλής συνέχειας παρατήρησης των HAPs, σχετικές με: την τοπογραφία, τα

υδρολογικά δεδομένα, την υγρασία του εδάφους, τις κλιματολογικές συνθήκες, τη μετεωρολογία, την ανάπτυξη της σοδειάς, τα επίπεδα αποθεμάτων νερού, τον τύπο του εδάφους και τη διαπερατότητά του.

- Βαθμονόμηση και επικύρωση των παρεχόμενων μετρήσεων από δορυφόρους και άλλες πηγές πληροφοριών.
- Προπαρασκευαστικές ενέργειες.

Στους πιθανούς χρήστες των παραπάνω πληροφοριών περιλαμβάνονται οι οργανισμοί διαχείρισης εκτάκτων περιστατικών, οι διεθνείς οργανισμοί, οι υπηρεσίες που διαχειρίζονται τα αποθέματα νερού, οι αγρότες, οι ασφαλιστικές εταιρείες, οι ερευνητές, οι τοπικές αρχές και οι επιτροπές που καθορίζουν τις στρατηγικές.

Φάση αντίδρασης (κατά τη διάρκεια του φαινομένου)

- Υπολογισμός υδρολογικών στοιχείων, κλιματολογικών συνθηκών, μετεωρολογίας, ανάπτυξης σοδειάς, επιπέδων αποθέματος νερού.
- Εκτίμηση των απαιτούμενων προσπάθειών ανακούφισης και επανόρθωσης.
- Ανίχνευση τοποθεσίας ανθρώπων σε κίνδυνο.
- Αναγνώριση περιοχών για ανακούφιση.
- Καθοδήγηση και προσανατολισμός προσπαθειών διάσωσης και ανακούφισης.
- Εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των προσπαθειών διάσωσης.
- Ανίχνευση και αποτίμηση δευτερογενών καταστροφών, όπως φωτιές, μόλυνση, τεχνολογικοί κίνδυνοι, ένδειξη επιδημιών, καθίζηση.

Οι παραπάνω πληροφορίες θα μπορούσαν να αποβούν χρήσιμες στους οργανισμούς διαχείρισης εκτάκτων περιστατικών, στους διεθνείς οργανισμούς, στις υπηρεσίες που διαχειρίζονται τα αποθέματα νερού, στους αγρότες, στις ασφαλιστικές εταιρείες, στους ερευνητές, στις τοπικές αρχές και στις επιτροπές που καθορίζουν τις στρατηγικές.

Φάση ανάνηψης (μετά τη μείωση των αιτιών που προκαλούν την ανομβρία)

- Εκτίμηση των πιθανοτήτων επανεμφάνισης των απειλών.
- Υπολογισμός υδρολογικών στοιχείων, κλιματολογικών συνθηκών, μετεωρολογίας, ανάπτυξης σοδιάς, επιπέδων αποθέματος νερού.
- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Επαλήθευση των μετρήσεων σχετικά με την αποκατάσταση, την ανακατασκευή, την επανόρθωση και την επισκευή.
- Επικύρωση των μοντέλων πρόβλεψης.
- Συλλογή δεδομένων ως στοιχεία εισόδου σε αναλύσεις επικινδυνότητας και σχεδιασμούς ετοιμότητας, σε ανάλογα προγράμματα και διαδικασίες.
- Συλλογή δεδομένων ως στοιχεία εισόδου σε ιστορικές βάσεις δεδομένων.

Πιθανοί χρήστες των παραπάνω πληροφοριών είναι όσοι αναφέρθηκαν και στα προηγούμενα.

6.4.3. Οφέλη από τη χρήση της νέας τεχνολογίας των στρατοσφαιρικών πλατφορμών.

Είναι προφανές από την ανάλυση που προηγήθηκε σχετικά με την εφαρμογή των συστημάτων στρατοσφαιρικών πλατφορμών στην τηλεπισκόπηση, περιβαλλοντική παρακολούθηση και διαχείριση των φυσικών καταστροφών, ότι τα συστήματα αυτά θα μπορούσαν να πραγματοποιήσουν υψηλής ανάλυσης και συνεχείς παρατηρήσεις και επισκόπηση των διαφόρων περιβαλλοντικών παραμέτρων και εκτάκτων περιστατικών, που δεν είναι δυνατό να επιτευχθούν με τη χρήση μεμονωμένων δορυφόρων ή με μικρές ομάδες δορυφόρων και που θα ήταν ιδιαίτερα δαπανηρό να παρασχεθούν αντίστοιχες ικανότητες με χρήση μόνο εναέριων συστημάτων.

Τα συστήματα HAPs ή HALE μπορούν να αναπτυχθούν γρήγορα στην περιοχή ενδιαφέροντος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν κάτω από επικίνδυνες συνθήκες, αφού πρόκειται για μη επανδρωμένες πλατφόρμες, σε αντίθεση με τις λοιπές εναέριες πλατφόρμες, μπορούν να υποστηρίξουν επιπρόσθετες πολύτιμες υπηρεσίες στις

διαφορετικές φάσεις στην αλληλουχία ενεργειών για τη διαχείριση των καταστροφών και επειγόντων περιστατικών, που δεν μπορούν να υποστηριχθούν από τα σύγχρονα τηλεπισκοπικά δορυφορικά συστήματα και γενικά προσφέρουν τη δυνατότητα ελέγχου τους σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από τα δορυφορικά συστήματα, τα οποία έχουν μια συγκεκριμένη τροχιά και δεν μπορούν να μετακινηθούν από αυτή ούτε να προσγειωθούν προκειμένου να επισκευαστούν ή να αναβαθμιστούν τα λειτουργικά στοιχεία τους και το ωφέλιμο φορτίο τους. Τέλος, οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες παρέχουν τη μοναδική δυνατότητα συλλογής δεδομένων και μετάδοσής τους στους αντίστοιχους επίγειους σταθμούς σε σχεδόν πραγματικό χρόνο, αφού διατηρούν στατικές τροχιές ή κυκλικές τροχιές μικρής διαμέτρου με αποτέλεσμα να διατηρούν πάντα οπτική επαφή με τους επίγειους σταθμούς.

6.4.4. Συμπεράσματα

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο παρόν κεφάλαιο αλλά και στα προηγούμενα, συμπεραίνουμε ότι σε εκείνες τις περιπτώσεις που απαιτείται ανίχνευση και παρακολούθηση των παγκοσμίων και μακράς διάρκειας και εξελικτικής πορείας μεταβολών των ποικίλων περιβαλλοντικών φαινομένων, η δορυφορική τηλεπισκοπική απεικόνιση καθώς και η παρεχόμενη φασματική πληροφορία είναι απαραίτητες και ιδιαίτερα χρήσιμες για την παροχή επαρκών στοιχείων που θα τροφοδοτήσουν τις περαιτέρω έρευνες και μελέτες. Ωστόσο, για τις τοπικές και συνεχούς και πραγματικού χρόνου τηλεπισκοπικές εφαρμογές, όπως η ανίχνευση και επισκόπηση των καταστροφών και οι αποστολές διαχείρισης επειγόντων περιστατικών, η δορυφορική πληροφορία δεν επαρκεί για τη διεξαγωγή λεπτομερών αναλύσεων. Τέτοιου είδους εφαρμογές απαιτούν σταθερότητα και στασιμότητα πάνω από τις προσβληθείσες περιοχές, ώστε να διεξάγεται συνεχής παρακολούθηση της εξέλιξης των επικίνδυνων φαινομένων, όμως κανένας δορυφόρος δεν μπορεί να διατηρεί τη θέση του σταθερή συνέχεια πάνω από μια συγκεκριμένη περιοχή, εκτός από τους γεωστατικούς. Επιπρόσθετα, για την απόκτηση πληροφορίας σχεδόν πραγματικού χρόνου από μια συγκεκριμένη περιοχή για μεγάλο χρονικό διάστημα, απαιτείται η χρήση πολλαπλών δορυφορικών πλατφορμών, οι οποίοι όσο μικροί και αν είναι, θα ήταν ιδιαίτερο δαπανηρό να εκτοξευτούν και να τοποθετηθούν ως ομάδα με τη μορφή ενός παγκοσμίου δικτύου.

Η καινούρια ιδέα της τεχνολογίας των στρατοσφαιρικών πλατφορμών έχει προταθεί ως μια εναλλακτική λύση που θα μπορούσε να συμπληρώσει τις προοπτικές και δυνατότητες που παρέχονται από τα υπάρχοντα δορυφορικά τηλεπισκοπικά συστήματα καθώς και να ξεπεράσει τους περιορισμούς που αντιμετωπίζουν τα συστήματα αυτά. Πρόκειται για πλατφόρμες χαμηλού κόστους, με δυνατότητα εύκολης μετακίνησης, με δυνατότητα προσγείωσης και προσωρινής διακοπής της λειτουργίας τους όταν απαιτείται επιδιόρθωση ή αναβάθμιση των λειτουργικών τμημάτων της, με δυνατότητα εύκολης ανάπτυξης ενός τέτοιου συστήματος σε δύσκολα προσβάσιμες περιοχές στις οποίες παρουσιάζεται ένα έκτακτο περιστατικό και επιπρόσθετα με την ικανότητα παρακολούθησης υψηλής ανάλυσης τόσο χωρικής όσο και χρονικής.

Οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν τα ήδη διαθέσιμα τηλεπισκοπικά όργανα που χρησιμοποιούνται στις δορυφορικές αποστολές περιβαλλοντικής παρακολούθησης και να παρέχουν βελτιωμένες ικανότητες λόγω των χαρακτηριστικών των στρατοσφαιρικών πλατφορμών, όπως το χαμηλό ύψος τους σε σχέση με τους δορυφόρους και η στατική ή ημιστατική συμπεριφορά τους που εξασφαλίζει πολυχρονικές σαρώσεις της γήινης επιφάνειας. Τέλος, οι στρατοσφαιρικές πλατφόρμες που έχουν τη δυνατότητα παροχής τηλεπικοινωνιών και προς τις δύο κατευθύνσεις μπορούν να μεταδίδουν τα συλλεγόμενα δεδομένα σε σχεδόν πραγματικό χρόνο είτε μέσω του δικού τους ωφέλιμου φορτίου είτε μέσω δορυφορικών τηλεπισκοπικών συστημάτων.

6.5. Βιβλιογραφία 6^{ου} Κεφαλαίου

1. HALE PLATFORMS FOR SURVEILLANCE

http://www.ocipep.gc.ca/research/scie_tech/CI/1999-D002_e.pdf

2. CEOS Earth Observation Handbook

<http://www.eohandbook.com/ceos/>

3. Multispectral Scanning

<http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/tutorials/fundam>

4. Sensor Technology

http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2_5a.html

5. Cameras and Aerial Photography

<http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/edur/>

6. Jun Nogami, Do Minh Phuon, Michiro Kusanagi, “Field Observation using Flying Platforms for Remote Sensing Education”.