



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (DATA COMMUNICATION) ΚΑΙ ΦΩΝΗΣ (VOICE COMMUNICATION) ΣΕ ΠΤΑΜΕΝΑ ΜΕΣΑ (ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΑ-ΑΕΡΟΠΛΑΝΑ)



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Δημητρίου Θ. Παπαζαχαρία

Επιβλέπων : Παναγιώτης Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (DATA COMMUNICATION) ΚΑΙ
ΦΩΝΗΣ (VOICE COMMUNICATION) ΣΕ ΠΤΑΜΕΝΑ ΜΕΣΑ
(ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΑ-ΑΕΡΟΠΛΑΝΑ)**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Δημητρίου Θ. Παπαζαχαρία

Επιβλέπων : Παναγιώτης Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή την 2^η Νοεμβρίου 2015.

.....

Παναγιώτης Κωττής

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Χρήστος Καψάλης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Γεώργιος Φικιώρης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2015

.....

Δημήτριος Θ. Παπαζαχαρίας

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Δημήτριος Θ. Παπαζαχαρίας, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All Rights Reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό θα πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με τις επικοινωνίες δεδομένων και φωνής σε ιπτάμενα μέσα. Στόχος της είναι η μελέτη των επικοινωνιών μεταξύ αεροσκαφών (αεροπλάνων/ελικοπτέρων) και των αεροδρομίων, του δικτύου των επίγειων σταθμών και των δορυφόρων. Αναλύονται οι παράγοντες που επηρεάζουν τις επικοινωνίες των αεροσκαφών, τα προβλήματα και οι προδιαγραφές των αεροπορικών επικοινωνιών. Επίσης, γίνεται εκτενής αναφορά στις επικοινωνίες των στρατιωτικών ιπτάμενων μέσων και τέλος εξάγονται συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω βελτίωση των αεροπορικών επικοινωνιών.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Επικοινωνίες φωνής σε πολιτικά αεροσκάφη, επικοινωνίες δεδομένων σε πολιτικά αεροσκάφη, δορυφορικές επικοινωνίες πολιτικών αεροσκαφών, προβλήματα στις επικοινωνίες αεροσκαφών, προδιαγραφές επικοινωνιών δεδομένων, προδιαγραφές επικοινωνιών φωνής, επικοινωνίες φωνής σε στρατιωτικά αεροσκάφη, επικοινωνίες δεδομένων σε στρατιωτικά αεροσκάφη, δορυφορικές επικοινωνίες στρατιωτικών αεροσκαφών.

ABSTRACT

This thesis deals with data and voice aviation communications. Its objective is the study of communications between aircraft (airplanes / helicopters) and airports, the network of ground stations and satellites. It analyzes the factors affecting aircraft communications, problems and requirements of air communications. Also, there is extensive reference to communications of military aircrafts and finally draws conclusions and recommendations for further improvement of air communications.

KEY WORDS

Voice communications on civil aircraft, data communications on civil aircraft, civil aircraft satellite communications, problems to aircraft communications, data communications standards, voice communication standards, voice communications on military aircraft, data communications on military aircraft, military aircraft satellite communications.

Η παρούσα εργασία αφιερώνεται στην μνήμη της μητέρας μου Βασιλικής.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Παναγιώτη Κωττή για την συνεχή υποστήριξη και βοήθεια, για τις πολύτιμες υποδείξεις του καθώς και την άριστη συνεργασία μας, στον προϊστάμενο της Διεύθυνσης Διαχείρισης Συστημάτων και Υποδομών Αεροναυτιλίας της ΥΠΑ, στον Τμηματάρχη του Τμήματος Διαχείρισης και Εποπτείας Συστημάτων Επικοινωνιών και Ραδιοδικτύων Αεροναυτιλίας της ΥΠΑ και στους συναδέλφους μου για την παροχή υλικού και πληροφοριών σχετικά με το αντικείμενο της εργασίας, στον Πνευματικό μου, στην Ηγουμένη της Ι.Μ.Τ.Π Σοκής και στην αδερφή μου για την εν γένει υποστήριξη τους προκειμένου να περατώσω την εν λόγω εργασία και εκπαίδευσή μου στην ΕΜΠ /ΣΗΜΜΥ .

Αθήνα, Νοέμβριος 2015

Δημήτριος Θ. Παπαζαχαρίας

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ	13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Διατύπωση του προβλήματος	15
1.2 Πρόσφατες εξελίξεις	16
1.3 Συνοπτική παρουσίαση θεμάτων που αφορούν στις επικοινωνίες δεδομένων και φωνής	16

ΜΕΡΟΣ Α

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ

2.1 Εισαγωγή	18
2.2 Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών ITU (International Telecommunication Union):	
Μια παγκόσμια ρυθμιστική αρχή σε τηλεπικοινωνιακά ζητήματα	19
2.3 Επικοινωνίες πολιτικού αεροσκάφους με το αεροδρόμιο	20
2.3.1 Επικοινωνίες φωνής σε πολιτικά αεροσκάφη	21
2.3.1.1 VHF Επικοινωνίες	21
2.3.1.2 HF Επικοινωνίες	22
2.3.2 Επικοινωνίες δεδομένων σε πολιτικά αεροσκάφη	22
2.3.2.1 Το σύστημα ACARS	23
2.3.2.2 Η ζεύξη CPDLC	24
2.3.2.3 Η τεχνική αυτόματης επιτήρησης ADS-B	25
2.3.2.4 Η ζεύξη Mode S	26
2.3.3 Δορυφορικές επικοινωνίες SATCOM (satellite communication)	27
2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν τις επικοινωνίες	28
2.4.1 Εύρος ζώνης συχνοτήτων	28
2.4.2 Χαρακτηριστικά ατράκτου του αεροσκάφους και ιδιαιτερότητες της πτήσης	29

2.4.3 Συμπεριφορά αεροσκάφους κατά την πτήση	29
2.4.4 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά της ατράκτου του αεροσκάφους	30
2.4.5 Διαδρομή πτήσης	30
2.4.6 Καιρικές συνθήκες	31
2.4.7 Μηχανισμοί περίθλασης/σκίασης	31
2.5 Επικοινωνίες στο εσωτερικό του αεροσκάφους	31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.1 Εισαγωγή	34
3.2 Προβλήματα στις επικοινωνίες αεροσκαφών	34
3.2.1 Διακοπή της επικοινωνίας	34
3.2.1.1 Τεχνικά προβλήματα επικοινωνίας	35
3.2.1.2 Παρεμβολές ραδιοσυχνοτήτων	36
3.2.1.3 Ταυτόχρονη μετάδοση μηνυμάτων	37
3.2.1.4 Διαταραχές στις συνομιλίες λόγω παρόμοιων διακριτικών κλήσης	39
3.3 Συνέπειες προβληματικών επικοινωνιών	39
3.4 Αντιμετώπιση επικίνδυνων καταστάσεων λόγω προβληματικών επικοινωνιών	40
3.5 Το παγκόσμιο αεροπορικό δίκτυο επικοινωνιών	41
3.6 Υλοποίηση VHF ψηφιακής ζεύξης μεταξύ αεροσκάφους και αεροδρομίου	43
3.6.1 Πρωτόκολλο φυσικού στρώματος και υπηρεσίες	44
3.6.1.1 Φυσικό στρώμα	44
3.6.1.2 Σχήμα διαμόρφωσης	44
3.6.1.3 Κωδικοποίηση διαύλου	45
3.6.1.4 Πρωτόκολλο φυσικού στρώματος στη Mode 2	45
3.6.1.4.1 Ψηφία κρυπτογράφησης	47
3.6.1.4.2 Ευαισθησία συστήματος λήψης	47
3.6.1.5 Πρωτόκολλο φυσικού στρώματος στη Mode 3	47
3.6.1.5.1 Δεδομένα συστήματος και το μήνυμα ελέγχου	48
3.6.2 Πρωτόκολλα στρώματος ζεύξης και υπηρεσίες	48
3.7 VDL Mode 4	49

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΦΩΝΗΣ

4.1 Εισαγωγή	51
4.2 Χαρακτηριστικά VHF συστήματος για επικοινωνίες αεροσκάφους με αεροδρόμιο	51
4.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά VHF συστήματος στο σταθμό του αεροσκάφους και στο αεροδρόμιο	51
4.3.1 Λειτουργίες εκπομπής και λήψης για το σταθμό αεροδρομίου	51
4.3.2 Λειτουργίες εκπομπής και λήψης στο αεροσκάφος	52
4.4 Σύστημα επικοινωνιών HF απλής πλευρικής ζώνης (SSB)	52
4.5 Πομπός εντοπισμού έκτακτης ανάγκης ELT (Emergency locator transmitter) για έρευνα-διάσωση	53

ΜΕΡΟΣ Β

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΩΝ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ

5.1 Εισαγωγή	55
5.2 Επικοινωνίες στρατιωτικού αεροσκάφους με αεροδρόμιο	55
5.2.1 Επικοινωνίες φωνής σε στρατιωτικά αεροσκάφη	55
5.2.2 Διάδοση RF σημάτων	57
5.2.3 Υψηλές συχνότητες HF (High-frequency)	58
5.2.4 Πολύ υψηλές συχνότητες VHF (Very-High-frequency)	59
5.3 Επικοινωνίες δεδομένων σε στρατιωτικά αεροσκάφη	61
5.3.1 Επικοινωνίες δεδομένων στη ζώνη HF	61
5.3.2 Η ζεύξη Link 4A	62
5.3.3 Η ζεύξη Link 11	63
5.3.4 Η ζεύξη Link 14	63
5.3.5 Η ζεύξη Link 16	63
5.3.6 Ελαφρύ αεροπορικό σύστημα ζεύξης δεδομένων πολλαπλών σκοπών [Light Airborne Multi-Purpose System (LAMPS) Data Link]	65
5.3.7 Τεχνική (FREQUENCY HOPPING) HAVE QUICK II	65
5.3.8 Σύγκριση των ζεύξεων δεδομένων	66
5.4 Δορυφορικές επικοινωνίες SATCOM (Satellite communications)	66

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΣΥΠΜΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 Συμπεράσματα 69

6.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα/μελέτη 70

Παράρτημα «Α» 71

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 79

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ

A/Φ	Αεροσκάφος	FIS	Flight Information Service
E/Π	Ελικόπτερο	FTP	File Transfer Protocol
AAC	Aeronautical Administrative Communications or Airline Administrative Control	GATM	Global Air Transport Management
ACARS	Aircraft Communications, Addressing and Reporting System	GEO	Geostationary Orbit Satellite
ACAS	Airborne Collision Avoidance System	GF	Galois Field
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance Broadcast	GFSK	Gaussian Frequency Shift Keying
ADS-C	Automatic Dependent Surveillance Contract	GSM	Global System for Mobile Communications
AIDC	ATS Interfacility Data Communication	HF	High-frequency
AIRPROX	Aircraft Proximity	HFDL	High frequency Digital Link
AOC	Aeronautical Operational Control Communications)	ICAO	International Civil Aviation Organization
APW	Minimum Safe Altitude Warning	IFF	Identification Friend or Foe
ARINC	Aeronautical Radio Incorporated	ILS	Instrument Landing System
ATC	Air Traffic Control	INMARSAT	International Maritime Satellite Organization
ATCO	Air Traffic Control Officer	IP	Internet Protocol
ATM	Air Traffic Management	IPS	Internet Protocol Suite
ATN	Aeronautical Telecommunication Network	ISDN	Integrated Services Digital Network
ATSC	Air Traffic Services Communications	ISO	International Organization for Standardization
ATSMHS	ATS Message Handling Services Applications	ITU	International Telecommunication Union
BER	Bit Error Ratio	LAMPS	Light Airborne Multi-Purpose System
CNI	Communications Navigation Identification	LEO	Low Earth Orbit Satellite
COMLOSS	Loss of Communication	LOS	Line of Sight
CPDLC	Controller Pilot Data Link Communications	LSB	Least significant bit
CSMA	Carrier Sense Multiple Access	MAC	Media Access Control
DLE	Data Link Entities	MEO	Medium Earth Orbit Satellite
DLS	Data Link Service	MPEG	Moving Picture Experts Group
ELT	Emergency Locator Transmitter	MPSK	Multiple Phase Shift Keying
EUTELSAT	European Telecommunications Satellite Organization	MSAW	Minimum Safe Altitude Warning
FEC	Forward Error Correction	MSB	Most significant bit

NATO	North Atlantic Treaty Organization	SOP	Standard Operating Procedures
NOTAM	Notice to Airmen	SPI	Special Position Indicator
NPG	Network Participation Groups	SSB	Single Sideband
OSI	Open Systems Interconnection	SSR	Secondary Surveillance Radar
PLOC	Prolonged loss of communication	TACAN	Tactical Air Navigation System
PN	Pseudo Noise	TADIL	Tactical Digital Information Link
PPLI	Precise Participant Location and Identification	TCAS	Traffic Collision and Avoidance System
RFU	Radio Frequency Unit	TCP	Transport Control Protocol
RLS	Reliable Link Service Protocol	TDMA	Time Division Multiple Access
RPY	Roll-Pitch-Yaw	TMA	Traffic Management Advisor
RS	Reed-Solomon	UAV	Unmanned aerial vehicle
RTF	Ready to Fly	UHF	Ultrahigh frequency
SARSAT	Search and Rescue Satellite-Aided Tracking	UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
SATCOM	Satellite Communication	USiT	Undetected Simultaneous Transmissions
Satellite Data Unit	Satellite Data Unit	VDL	Very High frequency Digital Link
SiT	Simultaneous radio transmissions	VHF	Very-High-frequency
SITA	Societe Internationale de Telecommunications Aeronautiques	WLAN	Wireless Local Area Network

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Διατύπωση του προβλήματος

Οι επικοινωνίες δεδομένων και φωνής αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα στη σύγχρονη αεροπορία. Για να μπορέσει μία αεροπορική εταιρεία ή ένας κρατικός φορέας να χρησιμοποιήσει αυτού του είδους τις επικοινωνίες αεροσκαφών με βάση τις επιθυμητές προδιαγραφές, πρέπει να γνωρίζει τα βασικά χαρακτηριστικά και τις παραμέτρους που χαρακτηρίζουν τις επικοινωνίες αυτές, όπως είναι η απαιτούμενη τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία, το εύρος ζώνης συχνοτήτων, τα φαινόμενα διάδοσης και οι παρεμβολές που υπεισέρχονται στις αεροπορικές επικοινωνίες.

Οι πληροφορίες που απαιτούνται για τις βασικές παραμέτρους των αεροπορικών επικοινωνιών δεδομένων και φωνής αφορούν συνήθως στην περίπτωση που αυτές υλοποιούνται σε συνθήκες ελεύθερου χώρου. Όμως, τις περισσότερες φορές κυριαρχούν τα ιδιάζοντα ηλεκτρομαγνητικά περιβάλλοντα, όπως η θάλασσα και τα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας, όπου ο διάυλος επηρεάζεται σημαντικά από τις δυναμικά μεταβαλλόμενες συνθήκες διάδοσης. Οι ιδιάζουσες αυτές συνθήκες λειτουργίας των συστημάτων επικοινωνίας των αεροσκαφών έχουν ως αποτέλεσμα την τροποποίηση των βασικών παραμέτρων των επικοινωνιών δεδομένων και φωνής στο επιχειρησιακό περιβάλλον.

Η συστηματική διερεύνηση των αεροπορικών επικοινωνιών δεδομένων και φωνής στο επιχειρησιακό περιβάλλον κρίνεται επιτακτική τόσο στο στάδιο ανάπτυξης και υλοποίησης όσο και στα στάδια της πιστοποίησης και της εκάστοτε απαιτούμενης ανανέωσης με στόχο να πληρούνται οι επιθυμητές προδιαγραφές λειτουργίας των συστημάτων επικοινωνίας. Η έρευνα αυτή όταν γίνεται στα στάδια της ανάπτυξης και υλοποίησης ή του εκσυγχρονισμού οδηγεί στην επιλογή των κατάλληλων συστημάτων επικοινωνίας που βελτιώνουν την ασφαλή και αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων και φωνής. Στόχοι του αεροπορικού δικτύου επικοινωνιών είναι ο προσδιορισμός και η εξασφάλιση των καταλλήλων φασματικών ζωνών, η επιλογή καταλλήλων σχημάτων διαμόρφωσης και η εμπιστευτικότητα και ασφάλεια των αεροπορικών επικοινωνιών προκειμένου να διασφαλιστεί η ακεραιότητα των πτήσεων.

1.2 Πρόσφατες εξελίξεις

Η εξέλιξη και βελτίωση των αεροπορικών επικοινωνιών δεδομένων και φωνής στο επιχειρησιακό τους περιβάλλον αποτελεί, λόγω της ιδιαίτερης σημασίας τους, μία πρόκληση για την τεχνολογία. Σχετικές μελέτες πραγματοποιούνται σε πολλές διευθύνσεις μελετών αεροπορικών εταιρειών και εταιρειών κατασκευής αεροσκαφών. Στόχος είναι η περαιτέρω βελτίωση και ανάπτυξη των διαθέσιμων αεροπορικών συστημάτων επικοινωνίας προκειμένου να καταστούν αποδοτικότερα με ταυτόχρονη μείωση του κόστους υλοποίησής τους. Παράλληλα, γίνονται προσπάθειες για την ένταξη νέων τεχνολογιών στον τομέα των αεροπορικών επικοινωνιών που προσφέρουν βέλτιστη αξιοποίηση του κατά περίπτωση διαθέσιμου εύρους.

1.3 Συνοπτική παρουσίαση θεμάτων που αφορούν στις επικοινωνίες δεδομένων και φωνής

Οι επικοινωνίες δεδομένων και φωνής, επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ του πληρώματος του αεροσκάφους και του προσωπικού εδάφους ή του συνεργαζόμενου δορυφορικού συστήματος, με σκοπό την ανταλλαγή πληροφοριών. Κάθε τέτοια επικοινωνία χρησιμοποιεί αλυσίδα τεχνολογιών και μέσων, που εγκαθίσταται μεταξύ των διαφόρων τηλεπικοινωνιακών κόμβων μέσω του αεροπορικού δικτύου επικοινωνιών. Πολλά από τα χαρακτηριστικά της επικοινωνίας πρέπει να είναι διαχειρίσιμα από διαφορετικές οντότητες, που μεσολαβούν κατά μήκος της ζεύξης των επικοινωνούντων κόμβων. Η διαχείριση αυτή αφορά τόσο τα στατικά χαρακτηριστικά, που λαμβάνονται υπόψη και αντιμετωπίζονται εξαρχής, όσο και τα δυναμικά χαρακτηριστικά, που λαμβάνονται υπόψη κατά προσαρμοστικό τρόπο.

Η εργασία είναι χωρισμένη σε δύο μέρη. Το πρώτο μέρος αφορά τις επικοινωνίες των πολιτικών αεροσκαφών και το δεύτερο μέρος τις επικοινωνίες των στρατιωτικών αεροσκαφών. Στο Κεφ.2 περιγράφεται ο ρόλος της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union) η οποία σε συνεργασία με τον παγκόσμιο οργανισμό ICAO (International Civil Aviation Organization) καθορίζει τις τεχνικές προδιαγραφές των υπηρεσιών και τις διεθνείς πρακτικές για επικοινωνίες των αεροσκαφών. Ακολουθεί η ανάλυση των επικοινωνιών φωνής του πολιτικού αεροσκάφους με το αεροδρόμιο και ο τρόπος υλοποίησής τους. Στη συνέχεια αναλύονται οι επικοινωνίες δεδομένων και η υλοποίηση των δορυφορικών επικοινωνιών σε πολιτικά αεροσκάφη. Παράλληλα παρουσιάζονται οι παράγοντες που

επηρεάζουν τα συστήματα αεροπορικών επικοινωνιών. Λόγω της ιδιαίτερης κατασκευής των αεροσκαφών και της ταχύτητας πτήσης, οι επικοινωνίες επηρεάζονται σημαντικά από παρεμβολές που οφείλονται στις συνθήκες που επικρατούν στο διάυλο. Η αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών αλλά και οι ανάγκες σε εύρος ζώνης συχνοτήτων οδήγησαν στην περαιτέρω ανάπτυξη και βελτίωση του δικτύου αεροπορικών επικοινωνιών.

Το Κεφ.3 εξετάζει τα τεχνικά προβλήματα που υπάρχουν και τα μέτρα για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών καθώς και τις προδιαγραφές που αφορούν στις επικοινωνίες δεδομένων που διακινούνται μέσω του δικτύου ATN (Aeronautical telecommunication network) το οποίο καθιστά δυνατή την ανταλλαγή ψηφιακών δεδομένων μεταξύ δικτύων εδάφους και αέρος-εδάφους με στόχο την ασφάλεια της αεροναυτιλίας. Με τη χρήση του κατάλληλου σχήματος ψηφιακής διαμόρφωσης του σήματος εξασφαλίζεται η απαιτούμενη επίδοση των συστημάτων επικοινωνίας στα αεροσκάφη.

Το Κεφ.4 διαπραγματεύεται τις προδιαγραφές που πρέπει να πληρούν τα αεροπορικά συστήματα επικοινωνιών φωνής. Ειδικότερα, γίνεται αναφορά στα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχουν τα απαιτούμενα συστήματα επικοινωνίας καθώς επίσης και στην ανάγκη για αντιμετώπιση έκτακτων αναγκών. Το Κεφ.5 είναι αποκλειστικά αφιερωμένο στις επικοινωνίες στρατιωτικών ιπτάμενων μέσων και στις ιδιαιτερότητες που χαρακτηρίζουν τη φύση των επικοινωνιών αυτών. Τέλος στο Κεφ.6 εξάγονται συμπεράσματα για τις επικοινωνίες δεδομένων και φωνής στα αεροσκάφη και γίνονται προτάσεις για περαιτέρω βελτίωση αυτών.

ΜΕΡΟΣ Α

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ

2.1 Εισαγωγή

Στις επικοινωνίες αεροσκαφών οι παρεμβολές και ο θόρυβος οφείλονται συνήθως, στις συνθήκες που επικρατούν στο διάυλο. Το αεροσκάφος και ο επίγειος σταθμός ή ο δορυφόρος διαμορφώνουν ένα ταχέως, μεταβαλλόμενο τηλεπικοινωνιακό περιβάλλον. Επειδή ο πομποδέκτης του αεροσκάφους βρίσκεται πάντα σε κίνηση λόγω της πτήσης, η ποιότητα της επικοινωνίας επηρεάζεται και από διαλείψεις. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον, οι απαιτήσεις σε εύρος ζώνης για τα διάφορα είδη διαμόρφωσης που χρησιμοποιούνται είναι καθοριστικές και εξαρτώνται από την ισχύ εκπομπής και το μήκος της επικοινωνιακής ζεύξης.

Στην περίπτωση των αεροσκαφών που πετούν σε μεγάλο πλήθος στον ίδιο εναέριο χώρο-και επικοινωνούν μεταξύ τους ορισμένα από αυτά χρησιμοποιώντας διαύλους της ίδιας συχνότητας ενώ άλλα χρησιμοποιώντας διαύλους με παραπλήσιες συχνότητες-, προκύπτει ένα τηλεπικοινωνιακό περιβάλλον, όπου ο κύριος παράγοντας που καθορίζει την ποιότητα της επικοινωνίας είναι οι παρεμβολές. Η κατανομή της μέσης ηλεκτρομαγνητικής ισχύος σε συγκεκριμένο χώρο (π.χ. αεροδρόμιο) αποτελεί βασική απαίτηση για αξιόπιστη επικοινωνία. Επειδή μία ραδιοζεύξη που υλοποιείται μεταξύ του αεροσκάφους και του σταθμού του αεροδρομίου μεταβάλλεται δραστικά καθώς το αεροσκάφος κινείται, δεν ενδιαφέρει μόνο η ισχύς εκπομπής του πομπού του αεροσκάφους και αντίστοιχα η ισχύς λήψης στο σταθμό του αεροδρομίου αλλά και η στατιστική συμπεριφορά της, ειδικότερα, μάλιστα, στις περιπτώσεις όπου η κατανομή των διαλείψεων εξαρτάται από το εύρος ζώνης του μεταδιδόμενου σήματος.

Η ποιότητα του σήματος πρέπει να εξασφαλίζει την αποτελεσματική επικοινωνία σε απαιτητικές συνθήκες πτήσης όπως συμβαίνει με τις απότομες κινήσεις μαχητικών αεροσκαφών και ελικοπτέρων σε περιβάλλον που προκαλεί σκεδάσεις. Είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει επαρκής γνώση του διαύλου μεταξύ αεροσκάφους και αεροδρομίου, ώστε να μπορεί ένας ειδικός να χρησιμοποιεί σχήματα διαμόρφωσης και

κωδικοποίησης που καθιστούν αξιόπιστη την επικοινωνία ή να χρησιμοποιεί κεραίες για τους επίγειους σταθμούς κατά τρόπο που να μειώνονται οι επιδράσεις του θορύβου και των παρεμβολών.

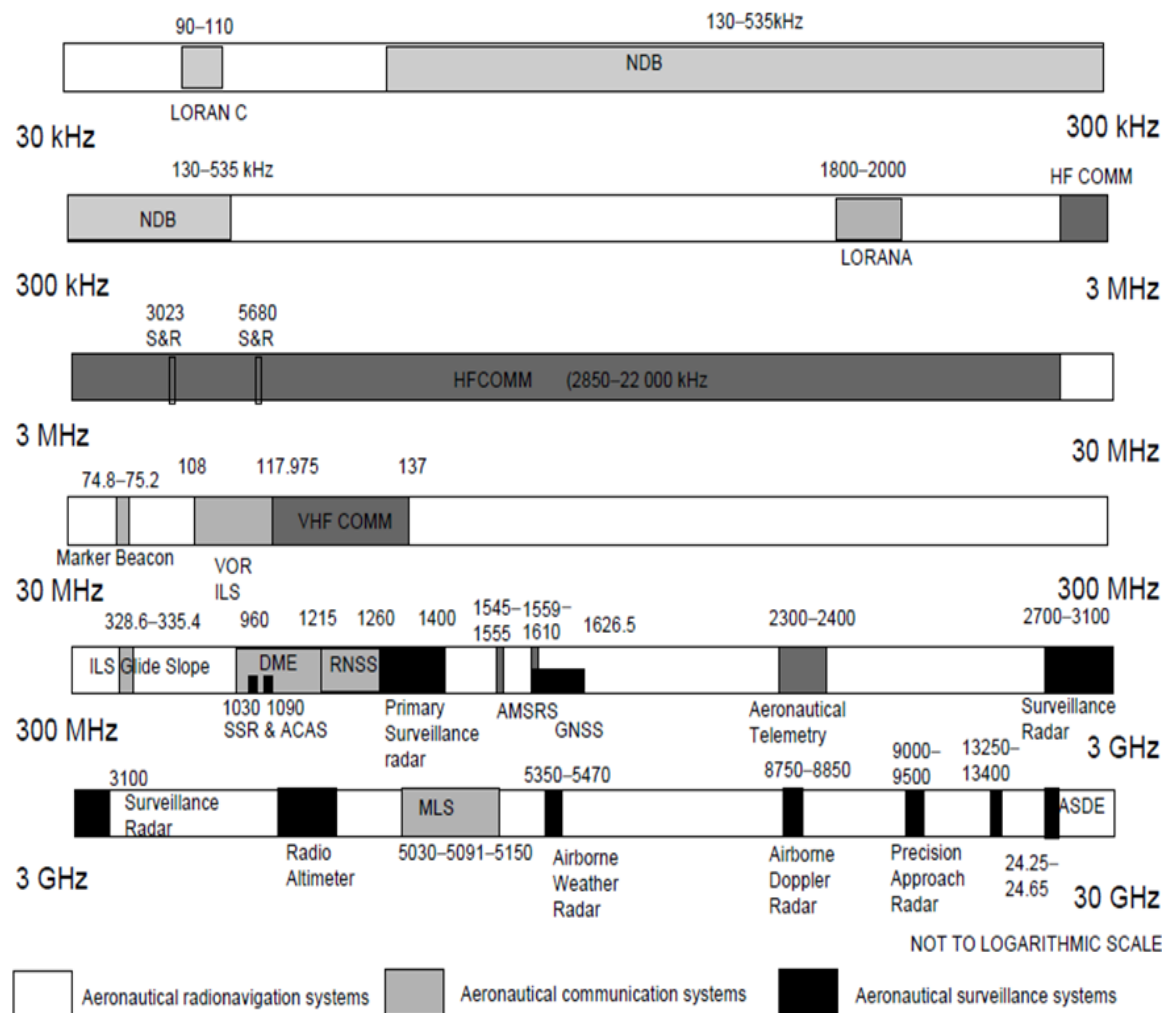
2.2 Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών ITU (International Telecommunication Union): Μια παγκόσμια ρυθμιστική αρχή σε τηλεπικοινωνιακά ζητήματα

Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών είναι ο αρμόδιος οργανισμός για τις τηλεπικοινωνίες και την διακίνηση της πληροφορίας. Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών είναι υπεύθυνη για τη χρήση του φάσματος των ραδιοκυμάτων σε όλες τις χώρες, προωθεί τη συνεργασία μεταξύ των χωρών για την εγκατάσταση δορυφόρων στο διάστημα, εργάζεται για τη βελτίωση των υποδομών για τις τηλεπικοινωνίες στις αναπτυσσόμενες χώρες και δημιουργεί παγκόσμια πρότυπα. Παράλληλα, δραστηριοποιείται σε χώρους των τηλεπικοινωνιών όπως το broadband Internet, ασύρματη τεχνολογία, αεροναυτική και θαλάσσια πλοήγηση, ραδιοαστρονομία, μετεωρολογία μέσω δορυφόρων και πολλά άλλα. Η ITU σε συνεργασία με τον παγκόσμιο οργανισμό ICAO (International Civil Aviation Organization) καθορίζει τις τεχνικές προδιαγραφές των υπηρεσιών και τις διεθνείς πρακτικές για επικοινωνίες των αεροσκαφών.

Οι τρεις τομείς της Ένωσης-Ραδιοεπικοινωνίας (ITU-R), της Τυποποίησης Τηλεπικοινωνιών (ITU-T) και της Ανάπτυξη Τηλεπικοινωνιών (ITU-D) δημιουργούν και διαμορφώνουν τα δίκτυα και τις παρεχόμενες υπηρεσίες. Οι δραστηριότητές τους καλύπτουν όλες τις πτυχές των επικοινωνιών, από τον καθορισμό προτύπων που διασφαλίζουν την ομαλή διαλειτουργικότητα του εξοπλισμού και των συστημάτων σε παγκόσμια βάση, μέχρι την υιοθέτηση διαδικασιών λειτουργίας για το τεράστιο και εξελισσόμενο φάσμα ασύρματων υπηρεσιών και το σχεδιασμό προγραμμάτων για τη βελτίωση της τηλεπικοινωνιακής υποδομής στον αναπτυσσόμενο κόσμο. Το έργο της ITU έχει προσφέρει το αναγκαίο υπόβαθρο που επέτρεψε στις τηλεπικοινωνίες να εξελιχθούν σε μια παγκόσμια βιομηχανία. Η ITU-R καταρτίζει τα τεχνικά χαρακτηριστικά των επίγειων και διαστημικών ασύρματων υπηρεσιών και συστημάτων, και αναπτύσσει διαδικασίες λειτουργίας.

2.3 Επικοινωνίες πολιτικού αεροσκάφους με το αεροδρόμιο

Σήμερα, κάθε αεροπλάνο στον αέρα παρακολουθείται από τους πύργους ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας σε όλο τον κόσμο. Όλα τα αεροσκάφη είναι εξοπλισμένα με αναμεταδότες. Ο αναμεταδότης λειτουργεί ως εργαλείο αναγνώρισης αεροσκάφους και επιτρέπει στους πύργους ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας να αναγνωρίζουν αμέσως την ταυτότητα του αεροσκάφους. Ειδικότερα, ο αναμεταδότης λειτουργεί αναγνωρίζοντας τις συχνότητες λειτουργίας των ραντάρ όταν αυτά αλληλεπιδρούν με το αεροσκάφος. Ο αναμεταδότης ειδοποιείται από το ραντάρ και αποστέλλει ένα ραδιοσήμα στον πύργο ελέγχου, το οποίο προσδιορίζει την ταυτότητα του αεροσκάφους ενώ εξασφαλίζει την αποφυγή συγκρούσεων με άλλα αεροσκάφη και με το έδαφος.



Σχήμα 2.1: Φάσμα αεροπορικών επικοινωνιών

Η επικοινωνία του αεροσκάφους με αεροδρόμιο έχει εξελιχθεί σε σημείο όπου οι πιλότοι δεν χρειάζεται πλέον να είναι στο αεροπλάνο για να πετάξει. Τα αεροπλάνα

αυτά είναι τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα UAVs και χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση με βίντεο και, πρόσφατα, σε επιθέσεις εναντίον στόχων στο έδαφος. Τα αεροσκάφη αυτά αντιπροσωπεύουν την αιχμή της τεχνολογίας επικοινωνιών αέρος-εδάφους. Μπορούν να ελεγχθούν από τους πλοηγούς από απόσταση χιλιάδων μιλίων και να περιηγηθούν με ασφάλεια πάνω από στόχους εδάφους χρησιμοποιώντας ραντάρ με δυνατότητα χαρτογράφησης εδάφους. Ένα UAV είναι σε θέση να μεταδώσει υψηλής ευκρίνειας βίντεο σε στρατιωτικές βάσεις σε όλη την υδρόγειο.

2.3.1 Επικοινωνίες φωνής σε πολιτικά αεροσκάφη

Οι επικοινωνίες φωνής μεταξύ του αεροσκάφους και του αεροδρομίου πραγματοποιούνται χρησιμοποιώντας ζώνες συχνοτήτων για ευρυεκπομπή και λήψη ειδικότερα:

- Υψηλές συχνότητες HF (High-frequency)
- Πολύ υψηλές συχνότητες VHF (Very-High-frequency)
- Δορυφορικές επικοινωνίες SATCOM

Εναλλακτικά, η φωνητική επικοινωνία μπορεί να διεξαχθεί με χρήση SATCOM (satellite communication), συμπεριλαμβανομένου του VOIP μέσω του Διαδικτύου. Μέχρι η επικοινωνία με ζεύξεις δεδομένων να τεθεί σε ευρεία χρήση, ο έλεγχος της εναέριας κυκλοφορίας θα εξακολουθήσει να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις επικοινωνίες φωνής που επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες που περιγράφονται στο Κεφ.2.4. Κάθε διακοπή επικοινωνίας ανάμεσα σε πιλότο και επικεφαλής ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας, ATCO (Air Traffic Control Officer), μπορεί να οδηγήσει σε μια επικίνδυνη κατάσταση σε ελεγχόμενο εναέριο χώρο. Προς το παρόν, υπάρχουν εναλλακτικοί τρόποι επικοινωνίας αλλά είναι ακόμη πολύ περιορισμένη η δυνατότητά τους να καταστήσουν ένα αεροσκάφος αξιόπιστο από πλευράς επικοινωνίας.

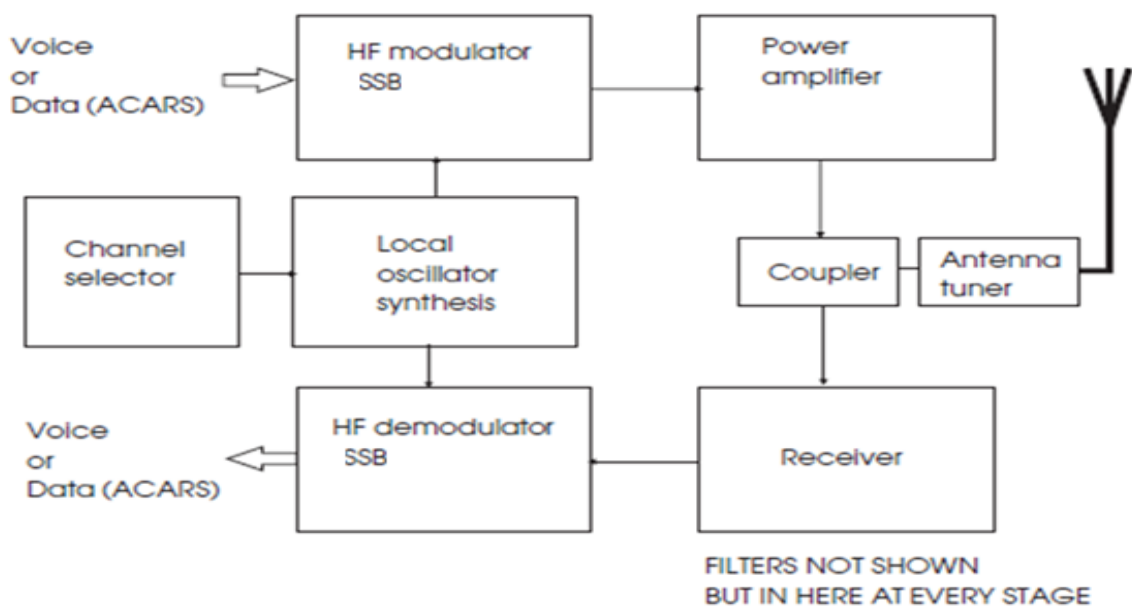
2.3.1.1 VHF Επικοινωνίες

Οι VHF επικοινωνίες αποτελούν το τμήμα των αεροπορικών επικοινωνιών που πραγματοποιείται στη ζώνη συχνοτήτων μεταξύ 118MHz και 137MHz. Πρόσφατα, λόγω της αύξησης της εναέριας κυκλοφορίας και κατά συνέπεια της ζήτησης σε κανάλια VHF, καθιερώθηκε από τον ICAO να γίνεται η διαυλοποίηση σε 8.33kHz αντί σε 25kHz. Με τη διαυλοποίηση αυτή παρέχεται η δυνατότητα, θεωρητικά, για χρήση

2280 καναλιών. Μία διαυλοποίηση σε περισσότερα κανάλια σημαίνει υποβάθμιση της ποιότητας φωνής. Η επιλογή των 8.33kHz έγινε καθώς ήταν το ελάχιστο πρακτικά εύρος ζώνης για να υποστηρίξει την AMDSB διαμόρφωση. Επισημαίνεται ότι η υλοποίηση των 2280 καναλιών πρακτικά είναι δύσκολη λόγω των περιορισμών από την ανάγκη για εξυπηρέτηση υπηρεσιών υψηλής προτεραιότητας.

2.3.1.2 HF Επικοινωνίες

Η ζώνη HF χρησιμοποιείται για επικοινωνίες μεταξύ των υπηρεσιών εδάφους των διαφόρων αερολιμένων (ground-to-ground) και σε περιπτώσεις προβληματικών επικοινωνιών VHF, μεταξύ αεροσκαφών και αερολιμένων (air-to-ground). Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση της HF ζώνης υψηλής συχνότητας κυρίως επειδή ο εξοπλισμός απαιτεί ενισχυτές υψηλής ισχύος και κατευθυντικές κεραίες. Η ζώνη HF προσφέρεται για εκτεταμένη διάδοση ραδιοκυμάτων με μικρές απώλειες μέσω της ιονόσφαιρας. Αυτό αποδεικνύεται ιδιαίτερα σημαντικό, όταν υπάρχει η δυνατότητα να πραγματοποιούνται μεταδόσεις σε απομακρυσμένα μέρη του κόσμου ή σε περιοχές με κακή κάλυψη VHF.



Σχήμα 2.2: Μπλοκ διάγραμμα υλοποίησης HF επικοινωνιών

2.3.2 Επικοινωνίες δεδομένων σε πολιτικά αεροσκάφη

Για τις επικοινωνίες δεδομένων χρησιμοποιούνται τα εξής:

- Ψηφιακό σύστημα ζεύξης δεδομένων, ACARS (aircraft communications, addressing and reporting system).
- Ζεύξη δεδομένων, CPDLC (controller pilot data link communications).
- Τεχνική αυτόματης επιτήρησης, ADS-B (Automatic Dependent Surveillance Broadcast).
- Ψηφιακή ζεύξη δεδομένων Mode S.
- Ραντάρ επιτήρησης

2.3.2.1 Το σύστημα ACARS

Το ACARS είναι ένα ψηφιακό σύστημα ζεύξης δεδομένων για τη μετάδοση μηνυμάτων μεταξύ αεροσκαφών και αεροδρομίου. Το σύστημα στηρίχθηκε αποκλειστικά στα κανάλια VHF, αλλά πρόσφατα, έχουν προστεθεί σύγχρονα μέσα μετάδοσης δεδομένων ώστε να παρέχεται μεγαλύτερη γεωγραφική κάλυψη. Ωστόσο, υπάρχει μια τάση προς ενοποίηση των συστημάτων του αεροσκάφους με την ζεύξη ACARS. Το αποτέλεσμα αυτής της ενοποίησης θα είναι η ραγδαία αύξηση στη χρήση του ως επιχειρησιακού εργαλείου επικοινωνίας. Ο σύγχρονος εξοπλισμός ACARS περιλαμβάνει τη δυνατότητα για αυτόματη αλλά και χειροκίνητη αποστολή δεδομένων μέσω μηνυμάτων. Τα μηνύματα ACARS μεταδίδονται χρησιμοποιώντας μία από τις τρεις μεθόδους ζεύξης δεδομένων:

- VHF ή VDL (VHF data link), (βλ. Κεφ.3.6)
- SATCOM (satellite communication) που δεν λειτουργεί σε πολικές περιοχές, (βλ. Κεφ.2.3.3)
- HF ή HFDL (HF data link), (βλ. Παρ.«Α», εδάφιο Α)

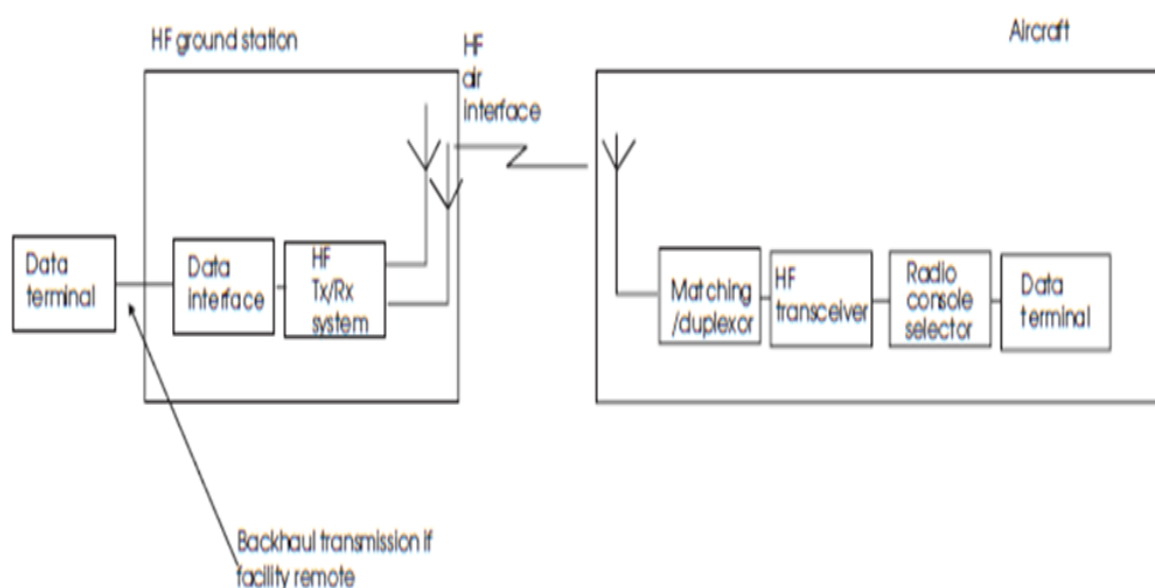
Τα μηνύματα που μεταδίδονται μέσω ACARS αφορούν:

- Τον έλεγχο εναέριας κυκλοφορίας ATC (air traffic control)
- Λειτουργίες ελέγχου των επικοινωνιών AOC (aeronautical operational control)
- Τον διοικητικό έλεγχο των αερογραμμών AAC (airline administrative control)

Τα μηνύματα ATC περιλαμβάνουν αιτήματα των αεροσκαφών για τις πορείες πτήσης και ζητήματα ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας καθώς και τις παρεχόμενες οδηγίες προς τα αεροσκάφη. Το ACARS συχνά χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την ζεύξη δεδομένων D-ATIS (data link-automatic terminal information service) για την παροχή

πληροφοριών που αφορούν αναχωρήσεις και αφίξεις αεροσκαφών. Ωστόσο, ενώ, προς το παρόν, το σύστημα ACARS επιτελεί σημαντικό έργο για επικοινωνίες ATC, δεν θεωρείται σύστημα κατάλληλο για την ευρύτερη χρήση και κάλυψη των αναγκών του ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας.

Τα μηνύματα AOC και AAC χρησιμοποιούνται κυρίως για τις επικοινωνίες του αεροσκάφους με τη βάση συντήρησης και εφοδιασμού. Αυτά τα μηνύματα είναι τυποποιημένα βάσει προτύπων και το περιεχόμενό τους περιλαμβάνει οδηγίες φορτοεκφόρτωσης του αεροσκάφους, πληροφορίες NOTAM (notice to airmen) που σχετίζονται με καιρικές συνθήκες και ξαφνικές απειλές, παρεχόμενες υπηρεσίες και τεχνικές οδηγίες επιδιόρθωσης ορισμένων βλαβών.



Σχήμα 2.3: Μπλοκ διάγραμμα HF ACARS συστήματος

2.3.2.2 Η ζεύξη CPDLC

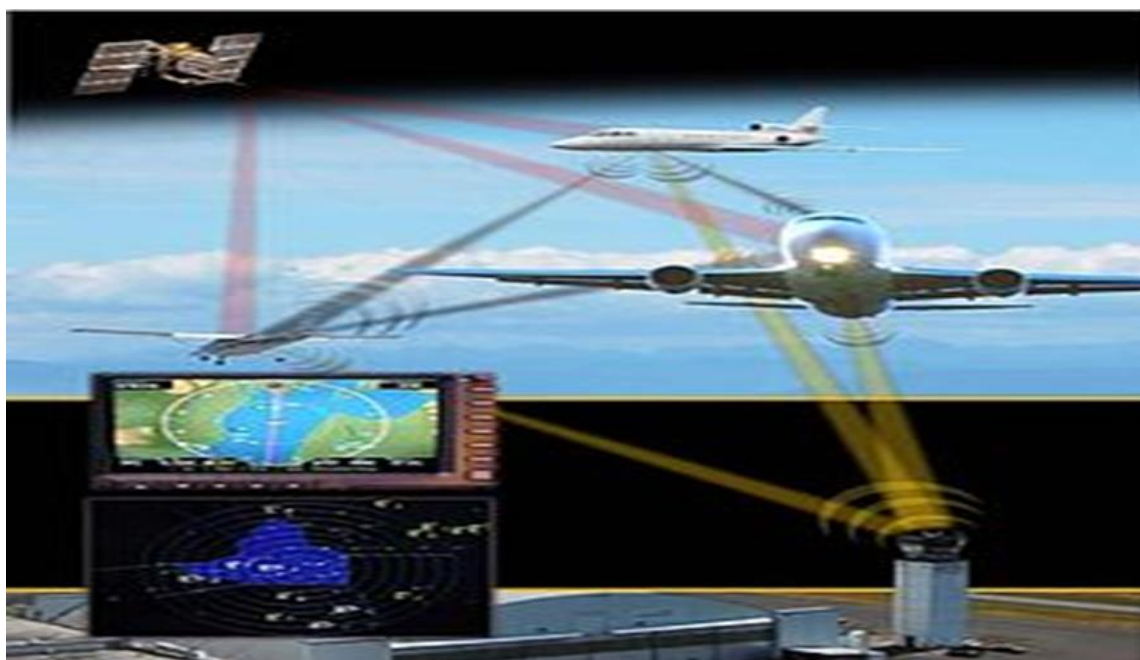
Η ζεύξη δεδομένων CPDLC χρησιμοποιείται για τη μετάδοση δεδομένων από τον πιλότο στον ελεγκτή εναέριας κυκλοφορίας και αντίστροφα. Βρίσκει εφαρμογή μέσω ενός πληροφοριακού συστήματος αμφίδρομης σύνδεσης με το οποίο οι ελεγκτές μπορούν να μεταδώσουν μηνύματα στο αεροσκάφος. Τα μηνύματα εμφανίζονται σε οθόνη στο θάλαμο διακυβέρνησης του αεροσκάφους. Μηνύματα που αποστέλλονται από το αεροσκάφος και αφορούν ATC μπορεί να είναι τυποποιημένα ή ακόμη και ελεύθερο κείμενο. Μηνύματα από τον ελεγκτή προς το αεροσκάφος ακολουθούν αποκλειστικά τυποποιημένη μορφή.

2.3.2.3 Η τεχνική αυτόματης επιτήρησης ADS-B

Η ADS-B αποτελεί τεχνική μετάδοσης των δεδομένων που αφορούν την επιτήρηση και βασίζεται στη δυνατότητα του αεροσκάφους να εκπέμπει την ταυτότητά του, τη θέση του και άλλες πληροφορίες που προέρχονται από τα συστήματά του. Αυτά τα δεδομένα (ADS-B Out) μπορούν να ληφθούν είτε από άλλα αεροσκάφη είτε από το αεροδρόμιο. Η τεχνική ADS-B υλοποιείται αυτόματα όταν απαιτείται και τα δεδομένα όταν μεταδίδονται από το αεροσκάφος δεν μπορούν να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με το πόσοι άλλοι χρήστες λαμβάνουν τα δεδομένα, είτε πρόκειται για άλλα αεροσκάφη είτε για άλλα αεροδρόμια. Η τεχνική ADS-B θεωρείται ως το βασικότερο στοιχείο για το μέλλον του δικτύου διαχείρισης εναέριας κυκλοφορίας ATM (air traffic management).

Τα δεδομένα που μεταδίδονται με την τεχνική ADS-B περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, τα εξής:

- Τη θέση του αεροσκάφους (γεωγραφικό πλάτος/γεωγραφικό μήκος).
- Το υψόμετρο του αεροσκάφους.
- Δείκτες γενικής κατάστασης του αεροσκάφους.
- Μοναδική 24 ψηφίων διεύθυνση του αεροσκάφους
- Τον προσδιορισμό του αεροσκάφους
- Κατάσταση έκτακτης ανάγκης
- Ειδική ένδειξη θέσης SPI (special position indicator) όταν επιλεγεί από τον πιλότο.



Σχήμα 2.4: Επιχειρησιακή χρήση της τεχνικής ADS-B

2.3.2.4 Η ζεύξη Mode S

Η ψηφιακή ζεύξη δεδομένων Mode S είναι υψηλής χωρητικότητας και επιτρέπει την επιλεκτική επιτήρηση των αεροσκαφών σύμφωνα με τη μοναδική διεύθυνση 24 ψηφίων που τους αποδίδεται από την κατασκευάστρια εταιρεία. Έχει καθιερωθεί από το Διεθνή Οργανισμό ICAO (International Civil Aviation Organization) και λειτουργεί στις συχνότητες 1030MHz και 1090MHz. Η Mode S χρησιμοποιεί αναμεταδότες για την απευθείας μετάδοση στον πιλότο δεδομένων θέσης, κυκλοφορίας και καιρικών συνθηκών σε συνδυασμό με τη τεχνική ADS-B. Οι ενημερώσεις των δεδομένων γίνονται τάχιστα και με ακρίβεια. Ο εξοπλισμός που εγκαθίσταται στο αεροσκάφος για να υλοποιηθεί η ζεύξη δεδομένων Mode S μεταφέρει δεδομένα με μέγιστο ρυθμό 60kbits/sec.

Δεδομένα ψηφιακής ζεύξης	Ρυθμός δεδομένων (bits)	Περίοδος (min)
Καιρός (εικόνα)	2400	2 min
Καιρός (κείμενο)	1200	2 min
Μήνυμα ATC	600	2 min
Πληροφορίες κίνησης	112	5 sec

Πίνακας 2.1: Δυνατότητες ζεύξης δεδομένων Mode S

2.3.3 Δορυφορικές επικοινωνίες SATCOM (Satellite communications)

Η χρήση των δορυφόρων για τις επικοινωνίες των αεροσκαφών είναι πρωταρχικής σημασίας εξαιτίας κυρίως του μεγάλου ύψους πτήσης. Ο εξοπλισμός SATCOM στο αεροσκάφος περιλαμβάνει μια μονάδα δορυφορικών δεδομένων, ένα ενισχυτή υψηλής ισχύος και μια κατευθυντική κεραία προς το δορυφόρο. Μπορεί να υποστηρίξει ζεύξεις δεδομένων για τη μετάδοση πακέτων δεδομένων, όπως επίσης και επικοινωνίες φωνής. Αυτό καθιστά τεχνικά εφικτή την επέκταση ζεύξης δεδομένων CPDLC αρκετά μακριά από το αεροδρόμιο καθώς και του συστήματος TMA (traffic management advisor) που βελτιώνει τη ροή των αεροσκαφών προς το αεροδρόμιο και εξυπηρετείται από την VDL (VHF Data Link) Mode 2. Οι επικοινωνίες SATCOM εξυπηρετούν μόνο ένα μικρό μέρος των ζεύξης δεδομένων για πληροφορίες ATM. Λειτουργικά οι SATCOM επικοινωνίες, επειδή εξαρτώνται κυρίως από γεωστατικούς δορυφόρους, δεν εξυπηρετούν πολικές περιοχές, όπου οι HFDL ζεύξεις δεδομένων (HF data link) είναι οι μόνες που λειτουργούν και καλύπτουν τις ανάγκες των αεροπορικών επικοινωνιών.



Σχήμα 2.5: Υλοποίηση επικοινωνιών SATCOM

Όταν οι επικοινωνίες φωνής πραγματοποιούνται μέσω SATCOM απαιτείται να ακολουθείται η τυποποιημένη διαδικασία και φρασεολογία. Τα αεροσκάφη που φέρουν εξοπλισμό SATCOM που υποστηρίζει επικοινωνίες φωνής μπορούν να πραγματοποιούν

κλήσεις χρησιμοποιώντας είτε τους τηλεφωνικούς αριθμούς ασφαλείας INMARSAT ή IRIDIUM που έχουν οριστεί από τον ICAO ή να καλούν απευθείας, χρησιμοποιώντας τους εμπορικούς αριθμούς τηλεφώνου και τους κωδικούς των χωρών. Από τα αεροδρόμια και τους επίγειους σταθμούς μπορούν να πραγματοποιηθούν κλήσεις φωνής προς τα αεροσκάφη που διαθέτουν SATCOM εξοπλισμό χρησιμοποιώντας το μοναδικό, 24 ψηφίων, αριθμό που αποτελεί την ταυτότητα του αεροσκάφους

Η εισαγωγή των υπηρεσιών ζεύξης δεδομένων που βασίζονται σε δορυφόρους έχει βελτιώσει τις υπηρεσίες που αφορούν τη διαχείριση της εναέριας κυκλοφορίας ATM, τόσο για τη ζεύξη δεδομένων CPDLC όσο και για την επιτήρηση των αεροσκαφών κατά τις πτήσεις τους. Ωστόσο, οι ζεύξεις δεδομένων που υλοποιούνται μέσω δορυφόρων είναι ορισμένες φορές ασταθείς εξαιτίας διακοπών του δορυφορικού σήματος και της κακής διαθεσιμότητας στο δίκτυο επίγειων σταθμών.

Οι περισσότεροι οργανισμοί που ερευνούν ζητήματα αεροπλοΐας θεωρούν ότι οι SATCOM επικοινωνίες αποτελούν το σημαντικότερο τμήμα του ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας, αφού είναι, ίσως, ο μόνος τρόπος για να διασφαλιστεί η αξιοπιστία των ζεύξεων δεδομένων πάνω από τους ωκεανούς. Σύμφωνα με το Διεθνή Οργανισμό ICAO και την ITU επιτρέπεται σε συστήματα που παρέχουν κινητές δορυφορικές υπηρεσίες να χρησιμοποιούν το ίδιο φάσμα με τις αεροπορικές δορυφορικές υπηρεσίες χωρίς να απαιτείται τα συστήματα αυτά να παρέχουν υπηρεσίες ασφαλείας όπως συμβαίνει με τα συστήματα αεροπορικών επικοινωνιών.

2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν τις επικοινωνίες

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις αεροπορικές επικοινωνίες είναι το εύρος ζώνης συχνοτήτων, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της ατράκτου του αεροσκάφους και οι ιδιαιτερότητες της πτήσης, η συμπεριφορά του αεροσκάφους κατά την πτήση, η διαδρομή πτήσης, οι καιρικές συνθήκες, οι μηχανισμοί περίθλασης/σκίασης, οι επείγουσες καταστάσεις, ο φόρτος εργασίας του πιλότου και ο φόρτος εργασίας του ελεγκτή εναέριας κυκλοφορίας.

2.4.1 Εύρος Ζώνης Συχνοτήτων

Η επίτευξη των υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων και του μεγάλου εύρους ζώνης συχνοτήτων που απαιτούν οι Αεροναυτικές Κινητές Δορυφορικές Υπηρεσίες

επιτυγχάνεται με μετάβαση σε υψηλές συχνότητες λειτουργίας. Πρόσφατα, η κατασκευάστρια εταιρεία Boeing ξεκίνησε εργασίες που αφορούν την απόκτηση φάσματος για την εξυπηρέτηση υπηρεσιών δεδομένων στο αεροσκάφος κατά τη διάρκεια των πτήσεων. Το θέμα αυτό καθίσταται ακόμα σημαντικότερο στην περίπτωση που οι ευρυζωνικές αεροναυτικές υπηρεσίες μπορούν να εξασφαλιστούν όχι μόνο με χρήση δορυφόρων γεωστατικής τροχιάς (GEO) αλλά και με χρήση δορυφόρων χαμηλότερης τροχιάς (MEO, LEO). Συνέπεια αυτού του ενδεχόμενου είναι να προκύπτουν προβλήματα παρεμβολών μεταξύ των δορυφόρων και προβλήματα καταμερισμού των συχνοτήτων.

2.4.2 Χαρακτηριστικά ατράκτου του αεροσκάφους και ιδιαιτερότητες της πτήσης

Οι ιδιαιτερότητες μιας αεροπορικής πτήσης αφορούν τον προσδιορισμό των διαφόρων χρονικών φάσεων της και την περιγραφή της θέσης και της πλοϊμότητας του αεροσκάφους συναρτήσει του χρόνου. Το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στα εξής:

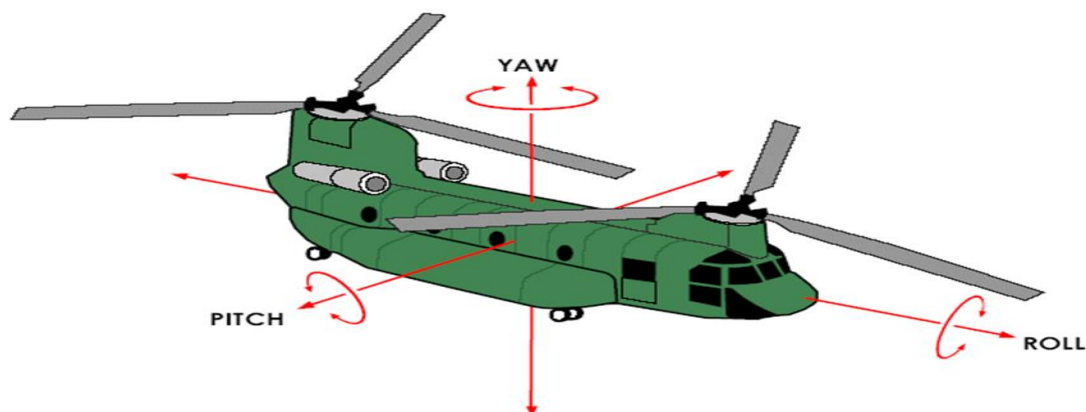
- Σε θέματα που αφορούν τη γεωμετρική/γεωγραφική υλοποίηση μεμονωμένων πτήσεων, δηλαδή έγκριση της διαδρομής στο σχέδιο πτήσης.
- Στα δεδομένα (π.χ. διαδρομή πτήσης, υψόμετρο κ.α.) μιας πτήσης σε διεθνή εναέριο χώρο, και
- Στα ιδιαίτερα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της ατράκτου του αεροσκάφους που επηρεάζουν την αξιοπλοΐα του.

Όλα αυτά μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τη σχεδίαση και κατασκευή των κεραιών και των επικοινωνιακών συστημάτων με τα οποία εξοπλίζεται το αεροσκάφος.

2.4.3 Συμπεριφορά αεροσκάφους κατά την πτήση

Κάθε πτήση διακρίνεται σε διάφορες φάσεις όπως απογείωση, ανύψωση, προσγείωση κ.α.. Η θέση του αεροσκάφους ως συμπαγούς σώματος στον τρισδιάστατο χώρο επηρεάζει τις γωνίες υπό τις οποίες ο δορυφόρος είναι ορατός από το αεροσκάφος. Η θέση του αεροσκάφους αλλά και ο προσανατολισμός του πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη διάρκεια της πτήσης. Μία τεχνική για τον έλεγχο των αεροσκαφών είναι η τεχνική RPY (*roll-pitch-yaw*). Στην τεχνική RPY η περιστροφή περί τον διαμήκη άξονα της ατράκτου ονομάζεται roll, η περιστροφή περί τον άξονα που διασχίζει τα πλευρά

της ατράκτου ονομάζεται *pitch* και η περιστροφή περί τον κατακόρυφο άξονα της ατράκτου ονομάζεται *yaw*.



Σχήμα 2.6: Τεχνική RPY (roll-pitch-yaw)

2.4.4 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά της ατράκτου του αεροσκάφους

Τα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τη γεωμετρία της ατράκτου επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα επικοινωνίας του αεροσκάφους. Η μεταβαλλόμενη θέση του αεροσκάφους πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε όλες τις φάσεις μιας πτήσης καθώς επηρεάζει σημαντικά:

- Το σχεδιασμό των δορυφορικών συστημάτων επικοινωνίας, λόγω της γωνίας που σχηματίζεται από τον ορίζοντα και την ευθεία που συνδέει την άτρακτο με τον επίγειο σταθμό ή το δορυφόρο.
- Τη σχεδίαση των κεραιών επικοινωνίας (HF, VHF, SATCOM), κυρίως ως προς τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας.
- Τη θέση εγκατάστασης της κεραίας επί της ατράκτου του αεροσκάφους.

2.4.5 Διαδρομή πτήσης

Τα δεδομένα που λαμβάνονται από τα όργανα του αεροσκάφους κατά την πτήση συνιστούν βασική πληροφορία για τα συστήματα επικοινωνιών. Μία ροή δεδομένων κατά τη διάρκεια της πτήσης περιλαμβάνει πληροφορίες για:

- Την ταχύτητα πλοήγησης
- Τη θέση αεροδρομίου αναχώρησης και άφιξης και τον περιβάλλοντα χώρο
- Το χρόνο αναχώρησης και άφιξης
- Τις αεροπορικές γραμμές και πορείες πτήσεων.

2.4.6 Καιρικές συνθήκες

Οι καταιγίδες, ο παγετός και η ταχύτητα του ανέμου επηρεάζουν τις επικοινωνίες των αεροσκαφών επειδή τα ραδιοκύματα εξασθενούν λόγω της παρουσίας των μορίων υδρατμών και οξυγόνου. Οι επιδράσεις καιρικών συνθηκών στα ραδιοκύματα μπορούν να υπολογιστούν με τη χρήση των μοντέλων απορρόφησης και βροχής της ITU. Η εξασθένηση αυτή εξαρτάται από το ύψος πτήσης, την ταχύτητα και τις συνθήκες που επικρατούν στο σημείο πτήσης.

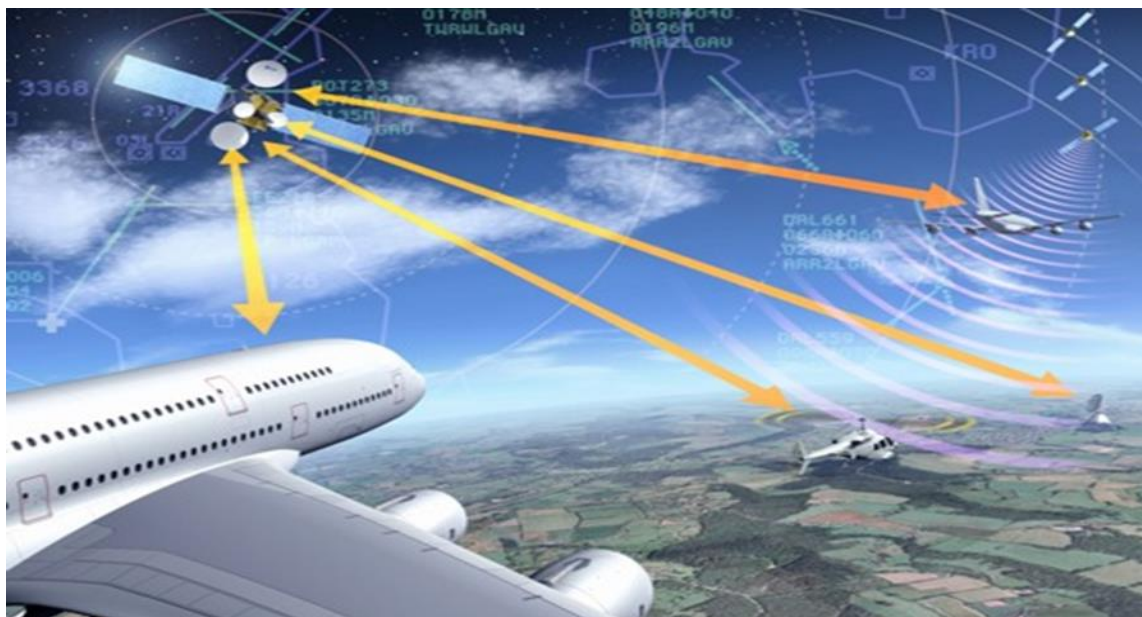
2.4.7 Μηχανισμοί σκίασης/περίθλασης

Οι μηχανισμοί που διέπουν τη διάδοση ραδιοκυμάτων είναι περίπλοκοι και ποικίλοι και συνοψίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες, την ανάκλαση, την περίθλαση και τη σκέδαση. Η περίθλαση ή σκίαση των ραδιοκυμάτων μπορεί να συμβεί από κτίρια, όταν το αεροπλάνο είναι σταθμευμένο στο αεροδρόμιο ή κινείται στον αεροδιάδρομο. Κατά την πτήση, τα ραδιοκύματα μπορεί να υποστούν περίθλαση ή σκίαση εξαιτίας του τρόπου κατασκευής του αεροπλάνου (ουραίο τμήμα, πτερύγια), όταν αυτό κάνει ελιγμούς στο αέρα ή όταν πετά σε περιοχές με αυξημένη καμπυλότητα της γης. Η επίδραση των μηχανισμών της περίθλασης και σκίασης είναι δυσμενής για τις επικοινωνίες των αεροσκαφών καθώς προκαλούν διακοπή των ραδιοζεύξεων ενώ τα δορυφορικά συστήματα είναι πιθανό να μην έχουν περιθώρια αύξησης της ισχύος σε περίπτωση σημαντικών απωλειών.

2.5 Επικοινωνίες στο εσωτερικό του αεροσκάφους

Τα τελευταία χρόνια γίνεται συνεχής προσπάθεια προκειμένου η μετάδοση μεγάλου όγκου πληροφοριών από και προς το αεροσκάφος να πραγματοποιείται αξιόπιστα και οικονομικά. Οι προσπάθειες αυτές γίνονται τόσο στον τομέα της διαστημικής τεχνολογίας ώστε να καταστούν δυνατές οι επικοινωνίες υψηλότερου ρυθμού μετάδοσης όσο και στον τομέα της τεχνολογίας καμπίνας του αεροσκάφους για τη βελτίωση της υποδομής των προσωπικών επικοινωνιών και των επικοινωνιών πολυμέσων. Κατασκευάστριες εταιρείες αεροσκαφών, όπως η Airbus, αναπτύσσουν νέες τεχνολογίες που θα χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή νέου τύπου αεροσκαφών όπου η καμπίνα του σκάφους θα περιβάλλεται εσωτερικά από μια έξυπνη μεμβράνη, η οποία θα προβάλλει ολογραφικά βίντεο ενημέρωσης και ψυχαγωγίας με το μηχανισμό της

ολογραφικής προβολής. Ο ολογραφικός μηχανισμός θα συνδέεται και με συμβατά συστήματα επικοινωνίας στο έδαφος. Έτσι, όποιος διαθέτει ένα τέτοιο συμβατό σύστημα θα μπορεί ενώ βρίσκεται στο αεροσκάφος να επικοινωνεί με το σπίτι του.



Σχήμα 2.7 Υλοποίηση επικοινωνιών καμπίνας με χρήση δορυφόρου

Στόχος είναι τα σύγχρονα αεροσκάφη να διαθέτουν εξοπλισμό επικοινωνιών που να ενσωματώνει τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης όπως είναι τα συστήματα GSM, UMTS, Bluetooth και WLAN. Οι τεχνολογίες πρόσβασης αυτές πρέπει να συνδυάζονται και με ενσύρματες IP συνδέσεις. Για την αντιμετώπιση τέτοιων ζητημάτων τεχνολογίας απαιτείται στο αεροπορικό δίκτυο επικοινωνιών να εξασφαλίζεται πρωτίστως η σύνδεση του εσωτερικού του αεροσκάφους με τα επίγεια τηλεπικοινωνιακά δίκτυα με τη χρήση δορυφόρου. Οι υπηρεσίες στο εσωτερικό του αεροσκάφους πρέπει να ενσωματωθούν και να συνδεθούν από τους παρόχους επικοινωνιών των αεροσκαφών SITA (societe internationale de telecommunications aeronautiques) και ARINC (aeronautical radio, incorporated) χρησιμοποιώντας ένα ενσωματωτή υπηρεσιών (service integrator), που θα υλοποιεί το διαχωρισμό και τη μεταφορά των υπηρεσιών επικοινωνίας σε δορυφορικούς φορείς όπως οι Eutelsat και Inmarsat.

Απαραίτητο κρίνεται και ένα τμήμα παρόχου τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών φωνής και δεδομένων, που θα υποστηρίζει τις ενσωματωμένες υπηρεσίες στο εσωτερικό του αεροσκάφους οι οποίες θα εξασφαλίζονται με ένα δίκτυο WLAN για υπηρεσίες IP, ένα ενσύρματο τοπικό δίκτυο IP, ένα δίκτυο Bluetooth και μία

GSM/UMTS κυψέλη για παροχή επικοινωνιών δεδομένων. Το τμήμα αυτό θα διασφαλίζει τη σύνδεση με τα επίγεια δίκτυα. Οι υπηρεσίες που παρέχονται μέσω του προαναφερθέντος εξοπλισμού καθώς και τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται απεικονίζονται στον Πιν.2.2 και Πιν.2.3.

Ασφάλεια πτήσης:	Π.χ. μετάδοση δεδομένων πτήσης
Συντήρηση	Π.χ. δεδομένα που αφορούν την επίλυση τεχνικού ζητήματος στη διάρκεια της πτήσης
Τηλεϊατρική:	Π.χ. μετάδοση δεδομένων ζωτικής σημασίας για την υγεία επιβάτη
Ενημέρωση & Διασκέδαση:	Π.χ. τουριστικές πληροφορίες, απευθείας μετάδοση τηλεοπτικών προγραμμάτων, πληροφορίες καιρού
Εργασίες γραφείου:	Π.χ. email, τηλεφωνική κλήση, φαξ

Πίνακας 2.2: Κατηγοριοποίηση Αεροπορικών Υπηρεσιών

Υπηρεσίες	Διαθεσιμότητα κατά την πτήση	Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων	Καθυστερήση	Ποσοστό σφαλμάτων (BER)	Πρωτόκολλο
Τηλεφωνική κλήση	πλήρης	μικρός	αρκετή	/	ISDN
Φαξ	καλή	μικρός	/	/	ISDN
Ψυχαγωγία στο διαδίκτυο	πλήρης	/	/	/	TCP/IP, mobile IP
Email	πλήρης	μικρός	μικρή	/	TCP/IP, mobile IP
Αναζήτηση στο ίντερνετ	πλήρης	/	μικρή	/	TCP/IP, mobile IP
Ταξιδιωτικές πληροφορίες	πλήρης	/	μικρή	/	TCP/IP, mobile IP
Μεταφορά δεδομένων	καλή	/	μικρή	/	FTP, TCP, mobile IP
Μετάδοση κρίσιμων δεδομένων	πλήρης	/	/	/	/
Καταγραφή δεδομένων πτήσης	πλήρης	/	αρκετή	/	/
Δεδομένα συντήρησης αεροσκάφους	πλήρης	/	/	/	/
Επικοινωνία video	/	/	/	/	/
Απευθείας τηλεοπτική μετάδοση	καλή	/	αρκετή	/	MPEG

Πίνακας 2.3 Πρωτόκολλα στις υπηρεσίες επικοινωνιών στο εσωτερικό του αεροσκάφους

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Πολλές τεχνικές διαμόρφωσης έχουν μελετηθεί για να χρησιμοποιηθούν στα συστήματα επικοινωνιών των αεροσκαφών, και η έρευνα συνεχίζεται. Με δεδομένες τις συνθήκες διαλείψεων που παρατηρούνται στους ραδιοδιαύλους, η σχεδίαση ενός σχήματος διαμόρφωσης που να αντέχει στις υποβαθμίσεις του ραδιοδιαύλου αποτελεί ενδιαφέρουσα πρόκληση. Παρά το ότι οι παρεμβολές στους ραδιοδιαύλους υπάρχουν, οι παράμετροι της ασύρματης μετάδοσης και, κατά συνέπεια, οι λειτουργίες μετάδοσης φωνής και δεδομένων πρέπει να σχεδιαστούν κατά τρόπο που να μην αντιλαμβάνεται ο χρήστης στο αεροσκάφος ή τον επίγειο σταθμό αλλαγές στην ποιότητα της μεταδιδόμενης πληροφορίας και την αξιοπιστία της σύνδεσης. Από την άλλη πλευρά, οι κυριότεροι παράγοντες για τα συστήματα ψηφιακής μετάδοσης είναι η ισχύς εκπομπής και το εύρος ζώνης του διαύλου επικοινωνίας του αεροσκάφους με το αεροδρόμιο. Γενικός στόχος κατά την σχεδίαση τέτοιων συστημάτων είναι η χρησιμοποίηση των δύο αυτών πόρων κατά τον αποτελεσματικότερο τρόπο.

3.2 Προβλήματα στις επικοινωνίες αεροσκαφών

3.2.1. Διακοπή της επικοινωνίας

Η διακοπή της επικοινωνίας μπορεί να προκύψει λόγω:

- Αποτυχίας να ακούσει ή να απαντήσει σε ένα μήνυμα, ο πιλότος ή αντίστοιχα ο ελεγκτής εναέριας κυκλοφορίας. Η αποτυχία αυτή οφείλεται σε:
 - τεχνικά προβλήματα στον εξοπλισμό επικοινωνίας που προκαλούνται από δυσλειτουργία ή πλήρη αποτυχία του εξοπλισμού του αεροσκάφους ή του αεροδρομίου.
 - παρεμβολές ραδιοσυχνοτήτων, που καθιστούν το μεταδιδόμενο μήνυμα δύσκολο ή αδύνατο να διαβαστεί.

- ταυτόχρονη μετάδοση μηνυμάτων στην ίδια συχνότητα, USiT (Undetected Simultaneous Transmissions) από πιλότους δύο ή περισσότερων αεροσκαφών.
- διαταραχές κατά τη διάρκεια της συνομιλίας λόγω του ότι το μήνυμα μεταδόθηκε σε λάθος αποδέκτη ή λήφθηκε από άλλο αεροσκάφος εξαιτίας χρήσης παρόμοιων διακριτικών κλήσης.
- κακή διαχείριση των ραδιοσυχνοτήτων από τον πιλότο που παραμένει μία από τις κύριες αιτίες της παρατεταμένης απώλειας της επικοινωνίας.
- Αποτυχίας στην κατανόηση του μηνύματος που λήφθηκε ή εκπέμφθηκε από τον πιλότο ή το αεροδρόμιο, με αποτέλεσμα την εκτέλεση ενεργειών που βασίζονται σε εσφαλμένη εκδοχή του μηνύματος. Η αποτυχία αυτή οφείλεται σε:
 - κακή χρήση συγκεκριμένης φρασεολογίας.
 - μη επαρκή γνώση της ομιλούμενης γλώσσας.
 - αποτυχία της διαδικασίας επανάληψης του μηνύματος λήψης.

3.2.1.1 Τεχνικά προβλήματα επικοινωνίας

Οι επικοινωνίες φωνής βασίζονται σε αξιόπιστο και αποδοτικό εξοπλισμό επικοινωνίας. Τα προβλήματα που οδηγούν σε διακοπή της επικοινωνίας συνήθως είναι:

- δυσλειτουργίες στον εξοπλισμό του αεροσκάφους.
- δυσλειτουργίες στον εξοπλισμό του αεροδρομίου.

Τα ανωτέρω προβλήματα οδηγούν στην μερική ή πλήρη απώλεια της επικοινωνίας που συνήθως εμφανίζεται λόγω:

- Παρεμβολών ραδιοσυχνοτήτων.
- Κακής διαχείρισης του εξοπλισμού επικοινωνιών ή λανθασμένη εφαρμογή των διαδικασιών που προβλέπονται.
- Βλάβης του εξοπλισμού επικοινωνιών.

Η απώλεια επικοινωνίας μπορεί να είναι παροδική ή παρατεταμένη. Τις περισσότερες φορές συμβαίνει λόγω της κακής διαχείρισης του εξοπλισμού του αεροσκάφους από το πλήρωμα πτήσης. Ο όρος παρατεταμένη απώλεια επικοινωνίας PLOC (Prolonged loss of communication) επινοήθηκε από πιλότους για να περιγράψει μακροχρόνιες περιόδους απώλειας της επικοινωνίας. Ο όρος COMLOSS (Loss of communication) χρησιμοποιείται από στρατιωτικούς φορείς για την αναφορά σε σημαντικές απώλειες της επικοινωνίας για οποιοδήποτε λόγο. Είτε σύντομη είτε παρατεταμένη, η απώλεια

της επικοινωνίας έχει προφανή σημασία για την ασφάλεια των πτήσεων. Ορισμένα επικίνδυνα αποτελέσματα είναι τα ακόλουθα:

- Ένας πιλότος δεν είναι σε θέση να λάβει πληροφορίες σχετικά με την ελάχιστη απόσταση προσέγγισης του αεροσκάφους, με αποτέλεσμα την απώλεια του διαχωρισμού (loss of separation) και, ενδεχομένως, κατάσταση AIRPROX (Aircraft Proximity) κατά την οποία η απόσταση μεταξύ αεροσκαφών καθώς και η σχετική θέση τους και η ταχύτητα να είναι τέτοια ώστε να τίθεται ζήτημα ασφάλειας των αεροσκαφών που εμπλέκονται.
- Ένα πιλότος δεν είναι σε θέση να μεταδώσει πληροφορίες σημαντικές για τον έλεγχο εναέριας κυκλοφορίας ATC (Air traffic control)
- Απώλεια των επικοινωνιών που μπορεί να ερμηνευθεί ως απειλή για την ασφάλεια και να οδηγήσει σε στρατιωτική παρακολούθηση από μαχητικά αεροσκάφη.
- Αύξηση του φόρτου εργασίας του πιλότου λόγω των ενεργειών που απαιτούνται για να αποκατασταθεί η επικοινωνία.

3.2.1.2 Παρεμβολές ραδιοσυχνοτήτων

Η παρεμβολή ραδιοσυχνοτήτων συχνά προέρχεται από τους εμπορικούς σταθμούς στο έδαφος. Οι παρεμβολές στις αεροπορικές επικοινωνίες:

- Καθιστούν δύσκολη ή ακόμα και αδύνατη την επικοινωνία αεροσκάφους με το αεροδρόμιο.
- Αυξάνουν το φόρτο εργασίας των πιλότων και των ελεγκτών εναέριας κυκλοφορίας.
- Προκαλούν γενικότερη σύγχυση.

Η πρόληψη προς αποφυγή των δυσμενών επιπτώσεων μπορεί να επιτευχθεί με:

- *Δέκτες ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας* με τις κεραίες τους να είναι εγκατεστημένες κοντά στο έδαφος ώστε να επηρεάζονται λιγότερο από τις παρεμβολές ραδιοσυχνοτήτων.
- *Αλλαγή συχνότητας*. Στις περισσότερες περιπτώσεις παρεμβολών ραδιοσυχνοτήτων, η βραχυπρόθεσμη λύση είναι να αλλάξει η συχνότητα επικοινωνίας του αεροσκάφους με το αεροδρόμιο. Με την ειδοποίηση ότι η χρησιμοποιούμενη συχνότητα δεν ικανοποιεί τις προδιαγραφές για αξιόπιστη

επικοινωνία, το ATC αναθέτει νέα συχνότητα στον πιλότο. Ωστόσο, σε ακραίες περιπτώσεις, το αεροσκάφος μπορεί να μην είναι σε θέση να επικοινωνήσει παρά την αλλαγή συχνότητας. Σε αυτή την περίπτωση, το αεροσκάφος πρέπει να ζητήσει οδηγίες σχετικά με κάποια άλλη καταγεγραμμένη συχνότητα για χρήση.

- *Προσεκτική ρύθμιση του χειριστηρίου φίμωσης* μπορεί να μειώσει την επίδραση των παρεμβολών. (Το χειριστήριο φίμωσης είναι ένα όργανο στο πιλοτήριο του αεροσκάφους που παρέχει τη δυνατότητα στον πιλότο να φιλτράρει τα ραδιοκύματα επικοινωνίας).

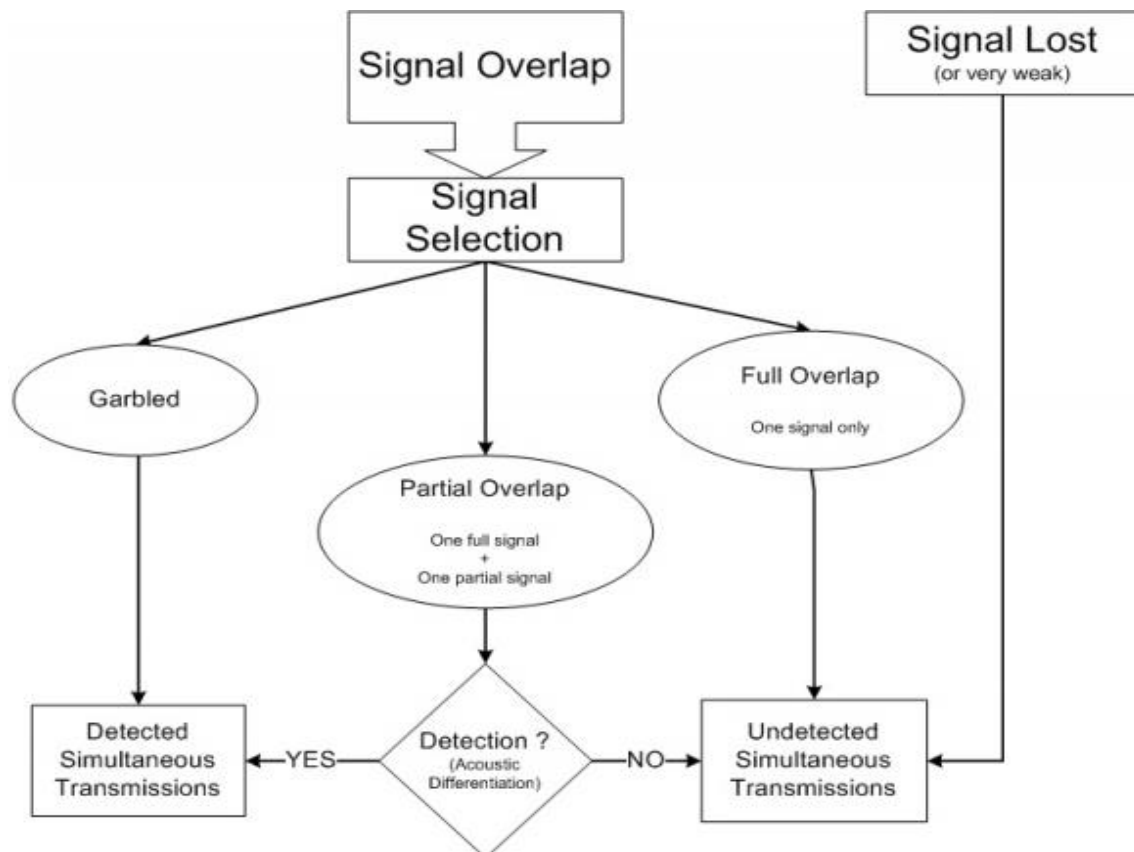
Οι παράγοντες που συμβάλλουν στην πρόκληση παρεμβολών ραδιοσυχνοτήτων είναι:

- *Οι καιρικές συνθήκες.* Για παράδειγμα, η στατικός ηλεκτρισμός που παράγεται στα σύννεφα κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας μπορεί να επιδράσει αρνητικά στην ποιότητα της επικοινωνίας του αεροσκάφους με το αεροδρόμιο.
- *Ατμοσφαιρικές συνθήκες.* Υπό ασυνήθιστες συνθήκες διάδοσης, ιδιαίτερα υπό καιρικές συνθήκες που χαρακτηρίζονται από υψηλή ατμοσφαιρική πίεση, μεταδόσεις από πιστοποιημένους αεροναυτικούς πομπούς που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα μπορεί να υποστούν αμοιβαίες παρεμβολές από εκπομπές σταθμών που βρίσκονται εκτός της εμβέλειάς τους.
- *Μη εξουσιοδοτημένες μεταδόσεις.* Παρεμβολές μπορεί να προκύψουν όταν ένας μη εξουσιοδοτημένος πομπός λειτουργεί σε συχνότητα κοντά στη συχνότητα επικοινωνίας πιλότου με αεροδρόμιο.
- *Κακόβουλες μεταδόσεις.* Υπάρχουν περιπτώσεις όπου ένας μη εξουσιοδοτημένος σταθμός κάνει κακόβουλες μεταδόσεις σε αεροπορική συχνότητα επικοινωνίας, με την προφανή πρόθεση να παραπλανήσει τους πιλότους. Αυτή η μορφή παρεμβολής είναι φανερή λόγω μη τυποποιημένου περιεχομένου ή μορφής. Ωστόσο, όταν οι κακόβουλες μεταδόσεις γίνονται σε κρίσιμες φάσεις της πτήσης, π.χ. κατά τη διάρκεια της απογείωσης, τότε μπορεί να προκύψουν πολύ επικίνδυνες συνέπειες.

3.2.1.3 Ταυτόχρονη μετάδοση μηνυμάτων

Η ταυτόχρονη μετάδοση ραδιοσημάτων SiT (Simultaneous radio transmissions) σχετίζεται με καταστάσεις που συμβαίνουν όταν δύο ή περισσότερες μεταδόσεις πραγματοποιούνται ταυτόχρονα στην ίδια συχνότητα. Στο σημείο αυτό, με τον όρο

ταυτόχρονη χαρακτηρίζεται η κατάσταση κατά την οποία δύο ή περισσότερες μεταδόσεις επικαλύπτονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε ο ελεγκτής να μην γνωρίζει ότι συνυπάρχουν περισσότερες από μία μεταδόσεις, με αποτέλεσμα να κινδυνεύει η ασφάλεια της πτήσης. Η ταχεία ανάπτυξη της εναέριας κυκλοφορίας σε όλο τον κόσμο συνεπάγεται αντίστοιχη αύξηση στη συχνότητα εμφάνισης των ταυτόχρονων μεταδόσεων. Όταν υπάρχουν σήματα που επικαλύπτονται, το σύστημα επικοινωνιών του αεροδρομίου επιλέγει το επικαλυπτόμενο σήμα σύμφωνα με το ακόλουθο μπλοκ διάγραμμα.



Σχήμα 3.1: Μηχανισμός αλληλοεπικάλυψης σήματος

Στο Σχ.3.1 τα παραμορφωμένα σήματα (garbled) χαρακτηρίζονται από, σχεδόν, ίδια τιμή ισχύος και γίνονται αντιληπτά από τον ATCO. Στην περίπτωση μερικής επικάλυψης σημάτων (partial overlap), το ασθενέστερο σήμα δεν καλύπτεται πλήρως από το ισχυρότερο με αποτέλεσμα το ψαλιδισμό του ισχυρότερου σήματος, δηλαδή την ακουστική διαφοροποίησή του. Στην περίπτωση πλήρους επικάλυψης, το ισχυρότερο σήμα καλύπτει πλήρως το ασθενέστερο και ο δέκτης εξαλείφει το ασθενέστερο σήμα που λαμβάνεται από τον ATCO.

Η ταυτόχρονη μετάδοση μπορεί να οδηγήσει σε αποτελέσματα όπως:

- Η απώλεια μέρους ή του συνόλου μηνύματος που εκπέμπεται από ή προς το αεροσκάφος.
- Η αδυναμία πιλότου να αντιδράσει σε ένα μήνυμα που προορίζεται για αυτόν.
- Πιθανή αντίδραση πιλότου σε μήνυμα που προορίζεται για άλλο αεροσκάφος
- Αδικαιολόγητη καθυστέρηση κατά τη μετάδοση σε συχνότητες RTF.
- Αύξηση φόρτου εργασίας των πιλότων και ελεγκτών.

3.2.1.4 Διαταραχές στις συνομιλίες λόγω παρόμοιων διακριτικών κλήσης

Η χρήση παρόμοιων διακριτικών κλήσης (call sign confusion) από αεροσκάφη που λειτουργούν στην ίδια περιοχή και ειδικά στην ίδια συχνότητα RTF προκαλεί, συχνά, προβλήματα ασφάλειας πτήσεων. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα τέτοιων διαταραχών αφορά τις αεροπορικές εταιρείες όταν κατανέμουν τους αριθμούς πτήσης ως διακριτικά κλήσης, π.χ. RUSHAIR 1431, RUSHAIR 1432. Ως αποτέλεσμα των διαταραχών στις συνομιλίες μπορεί να επέλθει ακόμα και κάθετη απόκλιση (level bust) άνω των 300 ποδιών από την καθορισμένη πορεία πτήσης του αεροσκάφους ή και μια σύγκρουση MAC (midair collision) των αεροσκαφών.



Σχήμα 3.2: Κάθετη απόκλιση (level bust)

Πολλές μεγάλες αεροπορικές εταιρείες αναθεωρούν τα διακριτικά κλήσης προκειμένου να διασφαλιστεί η αξιοπιστία των αεροσκαφών.

3.3 Συνέπειες προβληματικών επικοινωνιών

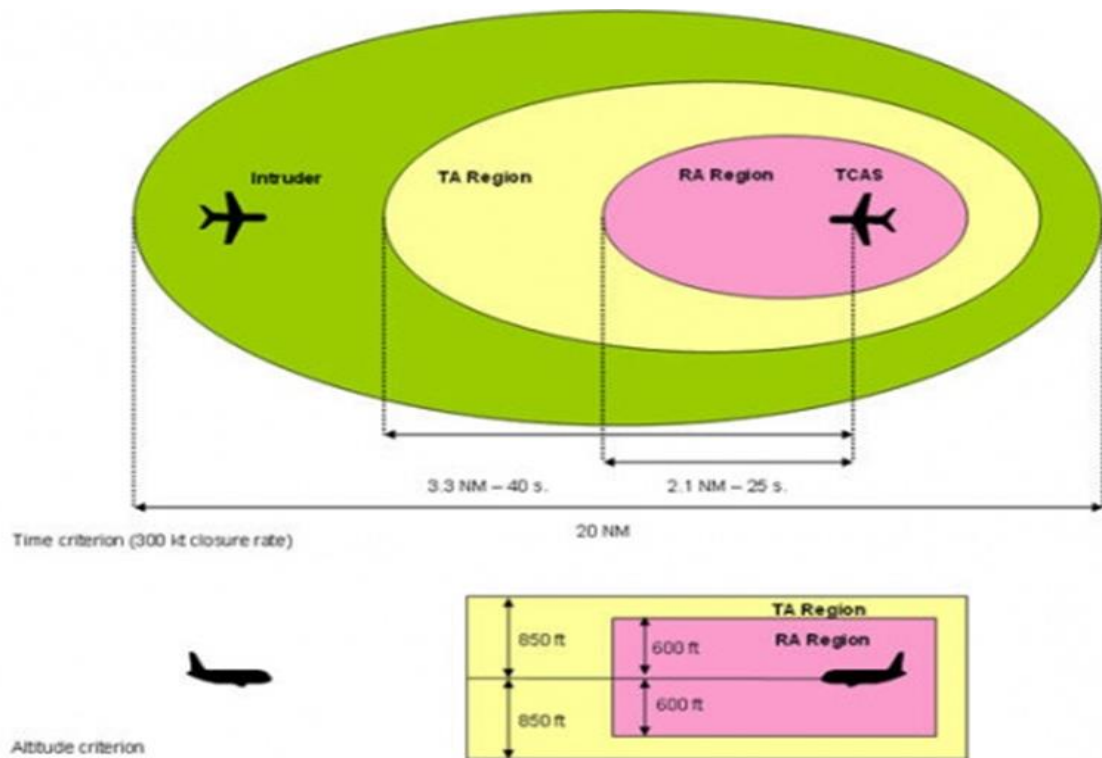
Οι συνέπειες προβληματικών επικοινωνιών μπορεί να αποδειχθούν καταστροφικές για ένα αεροσκάφος. Οι προβληματικές επικοινωνίες μπορούν να:

- οδηγήσουν σε παραβίαση του εναέριου χώρου, η οποία μπορεί να προκαλέσει διακοπή της εναέριας κυκλοφορίας, προκαλώντας κίνδυνο για άλλα αεροσκάφη και αύξηση του φόρτου εργασίας για πιλότους και ελεγκτές.
- οδηγήσουν σε σύγκρουση με άλλα ιπτάμενα μέσα/αντικείμενα π.χ. μπαλόνια, αλεξιπτωτιστές κτλ, λόγω μείωσης της απόστασης προσέγγισης του αεροσκάφους.
- οδηγήσουν σε τραυματισμούς στο πλήρωμα ή τους επιβάτες από ξαφνικούς ελιγμούς για την αποφυγή σύγκρουσης με άλλο αεροσκάφος ή πρόσκρουση στο έδαφος.
- οδηγήσουν σε αδυναμία του πιλότου να ανταποκριθεί σε οδηγίες έκτακτης ανάγκης, π.χ. ελιγμό αποφυγής ενός εμποδίου.

3.4 Αντιμετώπιση επικίνδυνων καταστάσεων λόγω προβληματικών επικοινωνιών

Τα σημαντικότερα μέτρα που εξασφαλίζουν προστασία έναντι της εμφάνισης προβλημάτων στις επικοινωνίες είναι η τήρηση τυποποιημένων διαδικασιών λειτουργίας των συστημάτων επικοινωνίας καθώς και της φρασεολογίας που πρέπει να χρησιμοποιείται. Με τον όρο τυποποιημένες διαδικασίες λειτουργίας SOP (Standard Operating Procedures) νοείται ένα συγκεκριμένο σύνολο διαδικασιών που ορίζουν τις ευθύνες των ελεγκτών εναέριας κυκλοφορίας και των μελών του πληρώματος του αεροσκάφους που χειρίζονται τα συστήματα επικοινωνίας. Σε επιχειρησιακές πτήσεις, ορίζονται αυστηρές διαδικασίες ώστε να καλυφθεί κάθε πτυχή της δραστηριότητας στο θάλαμο διακυβέρνησης σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

Από την άλλη πλευρά, ακόμα και στην περίπτωση διακοπής των επικοινωνιών, ο εξοπλισμός του αεροσκάφους έχει σχεδιαστεί να προειδοποιεί για πιθανή σύγκρουση με άλλο αεροσκάφος με το σύστημα αποφυγής σύγκρουσης ACAS (airborne collision avoidance system). Το ACAS βασίζεται στη λειτουργία του ραντάρ επιτήρησης SSR (secondary surveillance radar) και ελέγχει με τη βοήθεια αναμεταδοτών για ύπαρξη, σε κοντινή απόσταση, άλλων αεροσκαφών και προειδοποιεί τους πιλότους, ανάλογα με την περίπτωση. Αξίζει να σημειωθεί ότι αεροσκάφη που δεν διαθέτουν αναμεταδότες δεν ανιχνεύονται ενώ τα περισσότερα αεροσκάφη είναι εξοπλισμένα με συστήματα αποφυγής



Σχήμα 3.3: Παρεχόμενη προστασία σε αεροσκάφη με ACAS

σύγκρουσης με το έδαφος MSAW (minimum safe altitude warning) και συστήματα προσέγγισης APW (Minimum Safe Altitude Warning).

3.5 Το παγκόσμιο αεροπορικό δίκτυο επικοινωνιών

Ο παγκόσμιος οργανισμός ICAO (International Civil Aviation Organization) καθορίζει τις προδιαγραφές και τις διεθνείς πρακτικές για τις επικοινωνίες των αεροσκαφών. Οι επικοινωνίες αυτές βασίζονται στο δίκτυο ATN (aeronautical telecommunication network) που είναι ένα παγκόσμιο αεροπορικό δίκτυο επικοινωνιών (internetwork) που επιτρέπει την ανταλλαγή ψηφιακών δεδομένων μεταξύ υποδικτύων εδάφους και αέρος-εδάφους για την ασφάλεια της αεροναυτιλίας και για την αποτελεσματική και οικονομική λειτουργία των υπηρεσιών εναέριας κυκλοφορίας. Το ATN είναι ειδικά και αποκλειστικά σχεδιασμένο για την παροχή ψηφιακών υπηρεσιών επικοινωνίας δεδομένων για την εναέρια κυκλοφορία, υποστηρίζοντας:

- Υπηρεσίες εναέριας κυκλοφορίας και επικοινωνίας με αεροσκάφη ATSC (air traffic services communications).
- Επικοινωνίες εναέριας κυκλοφορίας μεταξύ των μονάδων ATS.

- Λειτουργίες ελέγχου αεροναυτικών επικοινωνιών AOC (aeronautical operational control communications) και,
- Αεροναυτικές διοικητικές επικοινωνίες AAC (aeronautical administrative communications).

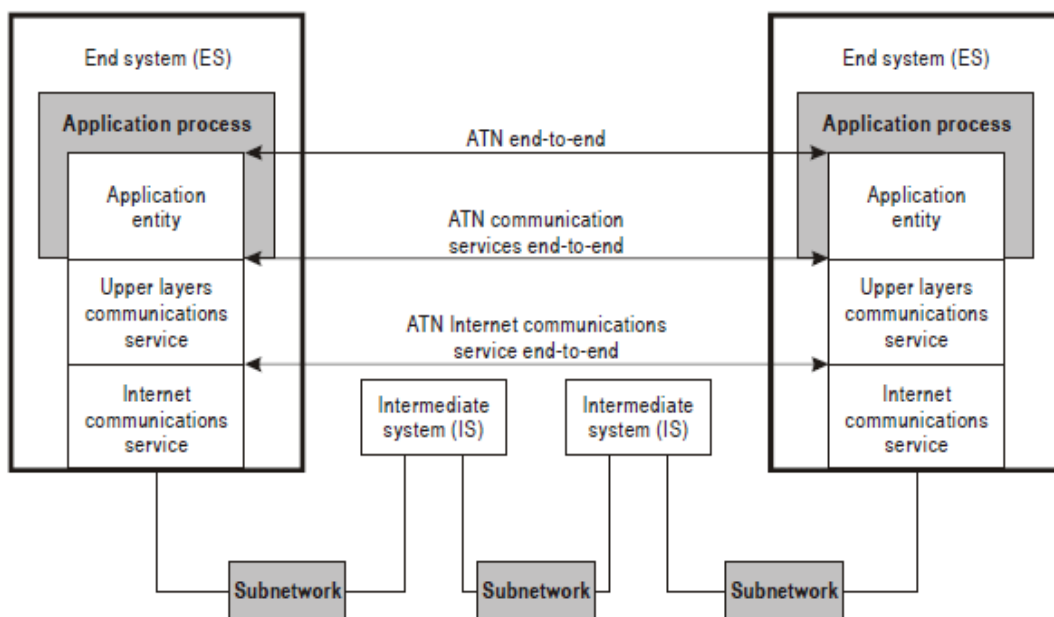
Η λειτουργία του ATN έχει προταθεί από το Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης ISO (International Organization for Standardization) για επικοινωνία συστημάτων διασύνδεσης OSI (open systems interconnection) και βασίζεται στις προδιαγραφές του παγκόσμιου οργανισμού ISOC για το μοντέλο δικτύου υπολογιστών IPS (Internet Protocol Suite). Το ATN είναι ικανό να υποστηρίξει εφαρμογές αέρος-εδάφους :

- ADS-C (Automatic dependent surveillance-contract). Πρόκειται για εφαρμογή που χρησιμοποιεί τη ζεύξη δεδομένων μεταξύ του συστήματος εδάφους και του αεροσκάφους για διακίνηση δεδομένων που αφορούν τη λειτουργία του ADS-C. Παράλληλα, διευκρινίζει υπό ποιές προϋποθέσεις πρέπει να ξεκινήσει η λειτουργία του ADS-C.
- CPDLC (Controller pilot data link communications). Πρόκειται για εφαρμογή επικοινωνίας μεταξύ ελεγκτών εναέριας κυκλοφορίας και χειριστών αεροσκαφών, που χρησιμοποιεί τη ζεύξη δεδομένων για τις επικοινωνίες ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας.
- FIS (Flight information service). Πρόκειται για υπηρεσία που παρέχει οδηγίες και χρήσιμες πληροφορίες για την ασφαλή και αποτελεσματική εκτέλεση των πτήσεων

Επίσης, το ATN υποστηρίζει και εφαρμογές εδάφους-εδάφους:

- AIDC (ATS interfacility data communication). Πρόκειται για αυτοματοποιημένη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των μονάδων εναέριας κυκλοφορίας για την υποστήριξη, το συντονισμό και τον έλεγχο της επικοινωνίας των πτήσεων .
- ATSMHS (ATS message handling services applications). Πρόκειται για ATN εφαρμογή η οποία περιλαμβάνει διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για την ανταλλαγή ATS μηνυμάτων.

Στο Σχ.3.4 που ακολουθεί απεικονίζονται οι διαδικασίες ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ των στρωμάτων λειτουργίας των υποδικτύων.



Σχήμα 3.4: ATN μοντέλο

3.6 Υλοποίηση VHF ψηφιακής ζεύξης μεταξύ αεροσκάφους και αεροδρομίου

Τα πολιτικά αεροσκάφη χρησιμοποιούν για επικοινωνίες τη ζώνη συχνοτήτων VHF. Μία VHF ψηφιακή ζεύξη Mode 2, (VDL2), και Mode 4, (VDL4), μπορεί να εξυπηρετήσει υπηρεσίες μετάδοσης δεδομένων. Η Mode 3, (VDL3), παρέχει υπηρεσίες φωνής και δεδομένων. Η υπηρεσία μετάδοσης δεδομένων αποτελεί μέρος του δικτύου της ATN. Στη Mode 3 ένας σταθμός ραδιοσυχνοτήτων αεροσκάφους πρέπει να μπορεί να συντονίζεται σε οποιοδήποτε συχνότητα εντός 100 χιλιοστών του δευτερολέπτου μετά τη σχετική εντολή από τον πιλότο. Το σύστημα VDL (*very high frequency digital link*) στο αεροσκάφος μπορεί να παρέχει code-independent και byte-independent μεταφορά των δεδομένων. Οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται πρέπει να επιλέγονται στη ζώνη 117.975MHz έως 137MHz με χαμηλότερη συχνότητα τα 118.000MHz και υψηλότερη συχνότητα τα 136.975MHz .

Ο διαχωρισμός μεταξύ καναλιών πρέπει να είναι 25kHz και χρησιμοποιείται AMDSB διαμόρφωση. Η ζώνη συχνοτήτων 136.9MHz έως 136.975MHz έχει διατεθεί αποκλειστικά για VHF ψηφιακές επικοινωνίες αέρος-εδάφους. Για τον πομπό στον επίγειο σταθμό η αποτελεσματική ισχύς ακτινοβολίας πρέπει να είναι τουλάχιστον 109dBW/m². Στο VDL εξοπλισμό του αεροσκάφους η ευστάθεια της συχνότητας δικαιολογεί μέγιστη απόκλιση $\pm 0.0005\%$ και η αποτελεσματική ισχύς ακτινοβολίας πρέπει να επιτυγχάνει μέγεθος τουλάχιστον 120 dBW/m².

3.6.1 Πρωτόκολλο φυσικού στρώματος και υπηρεσίες

3.6.1.1 Φυσικό στρώμα

Το φυσικό στρώμα υποστηρίζει τη μετάδοση και λήψη των ραδιοσημάτων που αναπαριστούν την πληροφορία η οποία διαβιβάζεται από τα ανώτερα στρώματα. Χαρακτηριστικές διαδικασίες που εκτελούνται στο πλαίσιο του στρώματος αυτού είναι:

- Έλεγχος συχνότητας πομπού και δέκτη.
- Λήψη δεδομένων κατά την οποία ο δέκτης αποκωδικοποιεί τα σήματα εισόδου και τα μεταδίδει σε υψηλότερα στρώματα για επεξεργασία.
- Μετάδοση από τον πομπό, όπου στο φυσικό στρώμα εκτελείται κωδικοποίηση.

3.6.1.2 Σχήμα διαμόρφωσης

Η ψηφιακή διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση αποσκοπούν στη μετάδοση ψηφιακής πληροφορίας υπό τη μορφή δυαδικών ψηφίων, δηλαδή οντοτήτων που λαμβάνουν τις τιμές 0 και 1. Οι Mode 2 και Mode 3 υλοποιούνται με διαφορική διαμόρφωση DMPSK όπου η πληροφορία κωδικοποιείται μόνο κατά τη φάση του σήματος και τα σημεία αστερισμού σχηματίζουν κύκλο. Ειδικότερα γίνεται χρήση $M=8$ σταθμών (D8MPSK) χρησιμοποιώντας παλμό μορφοποίησης ανυψωμένου συνημιτόνου (raised cosine) με παράγοντα διαπλάτυνσης $\alpha=0.6$. Οι παλμοί αυτοί σχεδιάζονται στο πεδίο της συχνότητας ώστε να ικανοποιούνται συγκεκριμένες φασματικές προδιαγραφές.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η διαφορική διαμόρφωση εμπίπτει στη γενική κατηγορία των διαμορφώσεων με μνήμη, στις οποίες τα προς μετάδοση σύμβολα δεν μεταδίδονται όπως προκύπτουν από την ομαδοποίηση των ψηφίων πληροφορίας αλλά το σύμβολο που μεταδίδεται εξαρτάται από το προς μετάδοση σύμβολο πληροφορίας και από το σύμβολο που μεταδόθηκε προηγουμένως. Βασική αρχή της διαφορικής διαμόρφωσης είναι ότι το εκάστοτε προηγούμενο σύμβολο εκπομπής λειτουργεί ως αναφορά για το προς μετάδοση σύμβολο. Κατ' αυτό τον τρόπο, αποφεύγεται η ανάγκη για συμφωνία φάσης στο δέκτη.

3.6.1.3 Κωδικοποίηση διαύλου

Η κωδικοποίηση εισάγει πλεονασμό στη ροή των δεδομένων, αυξάνοντας το ρυθμό μετάδοσης λόγω προσθήκης δεδομένων που σχετίζονται με τα δεδομένα πληροφορίας, ώστε να είναι δυνατή η ανίχνευση ή ακόμα και η διόρθωση σφαλμάτων που να εμφανίζονται κατά τη μετάδοση. Το αποτέλεσμα της κωδικοποίησης διαύλου είναι μία ροή κωδικών λέξεων. Αυτή η ροή στην είσοδο ενός διαφορικού κωδικοποιητή διαχωρίζεται σε τρεις άλλες ροές X, Y, και Z. Στη ροή X αντιστοιχούν 3n ψηφία, στη ροή Y αντιστοιχούν 3n + 1 ψηφία και στη ροή Z αντιστοιχούν 3n + 2 ψηφία. Όπου n είναι η ομάδα από ψηφία που περιέχει τα ψηφία δεδομένων και τα ψηφία ελέγχου. Η τριάδα (X_k, Y_k, Z_k), όπου k ακέραιος, θα υποστεί αλλαγή στη φάση όπως δείχνεται στον παρακάτω πίνακα, με την φάση Φ_k να δίνεται από τη σχέση:

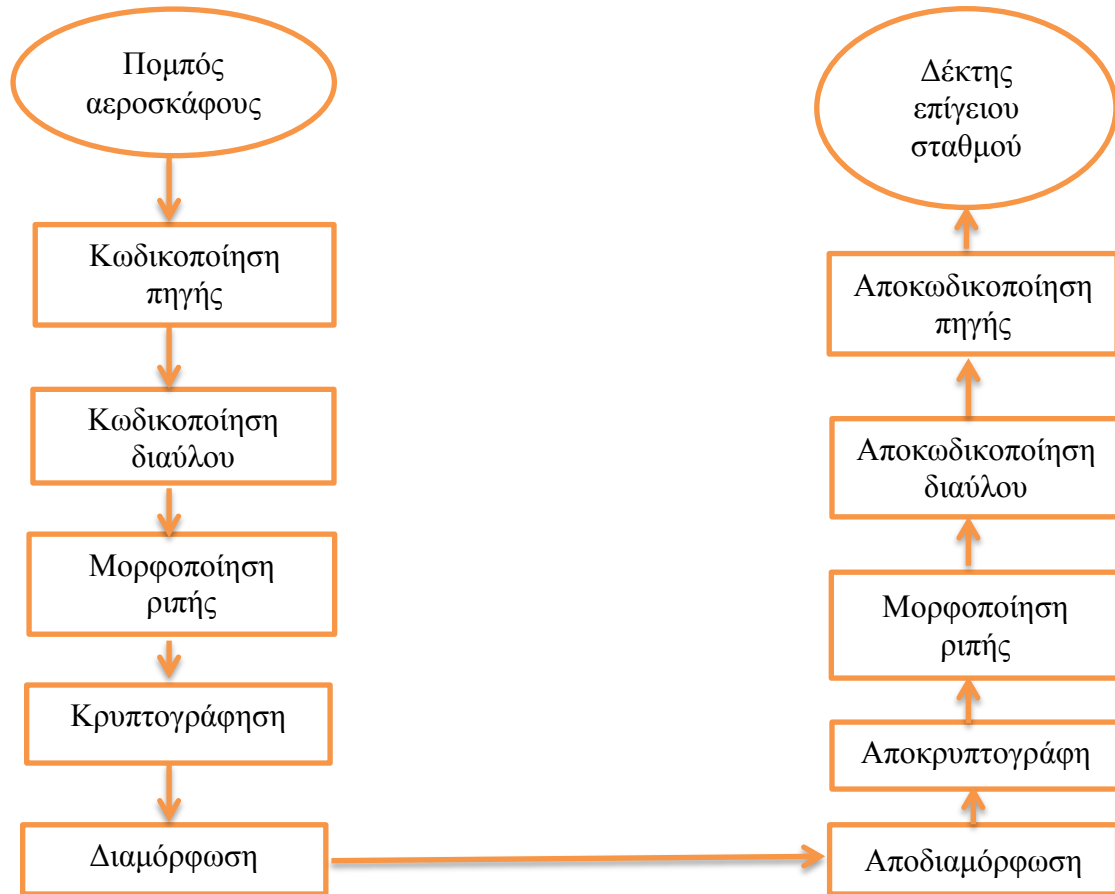
$$\Phi_K = \Phi_{k-1} + \Delta\Phi_K \quad (3.1)$$

X _k	Y _k	Z _k	ΔΦ _K
0	0	0	0
0	0	1	π/4
0	1	1	2π/4
0	1	0	3π/4
1	1	0	π
1	1	1	5π/4
1	0	1	6π/4
1	0	0	7π/4

Πίνακας 3.1: Κωδικοποίηση δεδομένων για VDL Mode 2 και 3

3.6.1.4 Πρωτόκολλο φυσικού στρώματος στη Mode 2

Η μετάδοση εμπλέκει αρκετές διαδοχικές λειτουργίες στην πλευρά της εκπομπής, που απαιτούνται για τη μετατροπή της πληροφορίας της πηγής στο τελικό προς μετάδοση σήμα της μορφής της (3.2). Από την άλλη πλευρά, στο δέκτη πραγματοποιείται η αντίστροφη σειρά λειτουργιών μέχρι να αναπαραχθεί η αρχική πληροφορία.



Σχήμα 3.5: Διαδοχικές λειτουργίες για τη μετατροπή της πληροφορίας από τον πομπό αεροσκάφους και αντίστροφα για τις τεχνικές διαμόρφωσης Mode 2,3 και 4.

Το προς μετάδοση σήμα είναι της μορφής:

$$S(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} h(\Phi_k, t - \kappa T_s) \quad (3.2)$$

Όπου h είναι η κρουστική απόκριση του φίλτρου στον πομπό, Φ η φάση του σήματος πληροφορίας και T_s η διάρκεια συμβόλου.

Ο ρυθμός συμβόλων είναι της τάξης 10500 σύμβολα/sec που αντιστοιχεί σε ονομαστικό ρυθμό μετάδοσης ψηφίων 31.5kbits/sec. Οι προδιαγραφές για τη διαμόρφωση Mode 2 και 3 φαίνονται στον Πιν.3.2.

VDL Mode	Aircraft modulation stability	Ground modulation stability
Mode 2	$\pm 0.005\%$	$\pm 0.005\%$
Mode 3	$\pm 0.0005\%$	$\pm 0.0002\%$

Πίνακας 3.2: Προδιαγραφές για τη διαμόρφωση Mode 2 και 3

Αναλυτική περιγραφή των λειτουργιών που υλοποιούνται στη Mode 2 στο Παρ.«Α» εδάφιο Β.

3.6.1.4.1 Ψηφία κρυπτογράφησης

Με τα ψηφία κρυπτογράφησης τροποποιούνται τα ψηφία των δεδομένων σύμφωνα με αλγόριθμο, που είναι γνωστός μόνο στον πομπό του αεροσκάφους και στο επίγειο σταθμό. Τα ψηφία κρυπτογράφησης συμβάλλουν στην ανάκτηση του ρολογιού και για να σταθεροποιηθεί το σχήμα του φάσματος κατά τη μετάδοση. Για να υλοποιηθεί η κρυπτογράφηση εφαρμόζεται μία ακολουθία γνωστή ως PN ακολουθία (pseudo noise) που στην ουσία είναι μια γεννήτρια παραγωγής ψηφίων με χαρακτηριστικό πολυώνυμο:

$$X^{15} + X + 1 \quad (3.3)$$

Αναλυτική περιγραφή των διαδικασιών κρυπτογράφησης στο Παρ.«Α», εδάφιο Γ.

3.6.1.4.2 Ευαισθησία συστήματος λήψης

Όταν ένας σταθμός είτε στο αεροσκάφος είτε στο έδαφος λαμβάνει με ισχύ τουλάχιστον -87dBm επί τουλάχιστον 5ms, τότε:

- Με πιθανότητα 0.9, θεωρεί το κανάλι κατειλημμένο αν το επίπεδο του σήματος πέσει κάτω από -92dBm για λιγότερο από 1ms και
- Με πιθανότητα 0.9 θεωρεί το κανάλι μη κατειλημμένο αν το επίπεδο του σήματος πέσει κάτω από -92dBm για τουλάχιστον 1.5ms.

3.6.1.5 Πρωτόκολλο φυσικού στρώματος στη Mode 3

Η πληροφορία πηγής αποτελείται κατά κανόνα από ριπές δεδομένων. Συνεπώς, οι ριπές είναι οι μονάδες πληροφορίας που πρέπει να μεταδοθούν μέσω του ραδιοδιαύλου. Η ομάδα των ψηφίων που απαρτίζει τη ριπή, εκτός από τα ψηφία πληροφορίας, περιέχει και αρκετά πλεονάζοντα ψηφία, τα οποία διευκολύνουν το συγχρονισμό και την εξισορρόπηση του ραδιοσήματος λήψης. Οι ριπές διακρίνονται σε ριπές πρόσβασης, που έχουν μικρή διάρκεια και χρησιμοποιούνται στη ζεύξη ανόδου για την αρχική πρόσβαση του συστήματος επικοινωνίας του αεροσκάφους, σε ριπές συγχρονισμού, που εξυπηρετούν μόνο τον αρχικό συγχρονισμό, και σε κανονικές ριπές,

που έχουν σχετικά μεγάλη διάρκεια και χρησιμοποιούνται σε όλες τις άλλες περιπτώσεις.

Στη Mode 3 καθοριστικό ρόλο για την αποτελεσματική μετάδοση έχουν ριπές πρόσβασης «M» και «H» που χρησιμοποιούνται στη ζεύξη ανόδου. Η «M» (Management burst) ριπή πρόσβασης αποτελείται από την ακολουθία κατάρτισης που ακολουθείται από τα δεδομένα του συστήματος. Η «H» ριπή πρόσβασης (handoff check message burst uplink) αποτελείται από την ακολουθία κατάρτισης που ακολουθείται από μήνυμα ελέγχου.

3.6.1.5.1 Δεδομένα συστήματος και το μήνυμα ελέγχου

Στην Mode 3 μπορεί να εκτελεστούν δύο είδη διαμορφώσεων η «non-3T» και η «3T» ανάλογα με τις επιλεγόμενες λειτουργίες, από τον πιλότο ή τον ελεγκτή του συστήματος επικοινωνιών. Στη «non-3T» διαμόρφωση, τα δεδομένα συστήματος που μεταδίδονται αποτελούνται από 32 σύμβολα. Τα 96 ψηφία που μεταδίδονται περιλαμβάνουν 48 ψηφία πληροφορίας και 48 ψηφία ισοτιμίας και παράγονται ως 4 κωδικές λέξεις Golay. Η «3T» διαμόρφωση αποτελείται από 128 μεταδιδόμενα σύμβολα. Τα 384 ψηφία που μεταδίδονται περιλαμβάνουν 192 ψηφία πληροφορίας και 192 ψηφία ισοτιμίας, που παράγονται ως 16 κωδικές λέξεις Golay. Ενώ το μήνυμα ελέγχου αποτελείται από 40 μεταδιδόμενα σύμβολα. Τα 120 ψηφία που μεταδίδονται περιλαμβάνουν 60 ψηφία πληροφορίας και 60 ψηφία ισοτιμίας, που παράγονται ως 5 κωδικές λέξεις Golay.

Αναλυτική περιγραφή των κωδικών λέξεων Golay και των λειτουργιών που υλοποιούνται στη Mode 3 στο Παρ.«Α» εδάφιο Δ.

3.6.2 Πρωτόκολλα στρώματος ζεύξης και υπηρεσίες

Στο VDL στρώμα ζεύξης υλοποιούνται οι λειτουργίες των κάτωθι:

- Υποστρώματος MAC (media access control), που απαιτεί τη χρήση του πρωτοκόλλου πολλαπλής προσπέλασης με ανίχνευση φέροντος (CSMA) για τη Mode 2 ή τη χρήση της πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χρόνου TDMA (Time Division Multiple Access) για τη Mode 3.
- Υπηρεσίες ζεύξης δεδομένων (data link service) DLS:

- ❖ Για τη Mode 2, το DLS υπόστρωμα παρέχει point-to-point σύνδεση χρησιμοποιώντας το στρώμα ζεύξης δεδομένων (data link entities) DLE πάνω από το υπόστρωμα MAC και
- ❖ Για τη Mode 3, το DLS υπόστρωμα παρέχει point-to-point και point-to-multipoint σύνδεση πάνω από το υπόστρωμα MAC.
- VDL διαχειριστικό φορέα, ο οποίος εγκαθιστά και συντηρεί DLEs μεταξύ αεροσκάφους και επίγειων σταθμών επικοινωνίας.

3.7 VDL Mode 4

Η Mode 4 παρέχει επικοινωνίες αέρος-αέρος καθώς και αέρος-εδάφους. Στη Mode 4, πομπός και δέκτης, που είναι εγκατεστημένος στο αεροσκάφος και στο αεροδρόμιο, πρέπει να μπορεί να συντονισθεί σε κάποιο από τα κανάλια των 25kHz από 117.975MHz έως 137MHz. Κατά την υποστήριξη επιχειρήσεων αέρος-εδάφους η Mode4 μπορεί να διατηρήσει μια αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ του αεροσκάφους και του επίγειου σταθμού. Η αποτελεσματική ακτινοβολούμενη ισχύς στον πομπό του αεροσκάφους πρέπει να είναι 114.5dBW/m². Στο φυσικό στρώμα γίνεται κωδικοποίηση των δεδομένων που λαμβάνονται από το στρώμα ζεύξης δεδομένων ενώ η μετάδοση RF υλοποιείται όταν επιτρέπεται από το υπόστρωμα MAC. Η μετάδοση αποτελείται από τα ακόλουθα στάδια και με την ακόλουθη σειρά:

- Σταθεροποίηση ισχύος του πομπού: Το πρώτο τμήμα της ακολουθίας κατάρτισης αφορά τη σταθεροποίηση ισχύος του πομπού, που έχει διάρκεια 16 περιόδων συμβόλου (T_s).
- Συγχρονισμός των ψηφίων: Το δεύτερο τμήμα της ακολουθίας κατάρτισης πρέπει να είναι μία 24 ψηφίων δυαδική ακολουθία 0101 0101 0101 0101 0101 0101, που μεταδίδεται από τα αριστερά προς τα δεξιά πριν την έναρξη του τμήματος δεδομένων.
- Μετάδοση δεδομένων: Η μετάδοση του πρώτου από τα ψηφία δεδομένων αρχίζει 40 ψηφία μετά έναρξη της μετάδοσης και αφού έχουν ολοκληρωθεί οι ριπές πρόσβασης

Αξίζει να σημειωθεί πως η Mode 4 έχει την ικανότητα αυτόματα να σταματήσει την παροχή ισχύος σε κάθε τελικό ενισχυτή, στο σύστημα επικοινωνίας στο αεροσκάφος ή το αεροδρόμιο, στην περίπτωση που ισχύς εξόδου του ενισχυτή υπερβεί τα -30dBm για

περισσότερο από 1sec. Το σχήμα διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται είναι GFSK και η Mode 4 χαρακτηρίζεται από αλλαγή συχνότητας κατά τη μετάδοση (300Hz/s).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΦΩΝΗΣ

4.1 Εισαγωγή

Οι επικοινωνίες VHF χρησιμοποιούνται από τους ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας των πύργων ελέγχου (Tower) και της προσέγγισης (Approach), προκειμένου να εξασφαλισθεί η επικοινωνία μεταξύ των πολιτικών και στρατιωτικών αεροσκαφών και του προσωπικού εδάφους κατά τις διαδικασίες προσέγγισης, απογείωσης και προσγείωσης των αεροσκαφών.

4.2 Χαρακτηριστικά των VHF συστημάτων για επικοινωνίες αεροσκάφους με αεροδρόμιο

Τα χαρακτηριστικά του VHF συστήματος επικοινωνίας αεροσκάφους με αεροδρόμιο που χρησιμοποιείται στο παγκόσμιο δίκτυο αεροπορικών επικοινωνιών είναι σύμφωνα με τις ακόλουθες προδιαγραφές:

- Η διαυλοποίηση για την ταξινόμηση των καναλιών ορίζεται στο ένα τρίτο των 25kHz δηλαδή 8.33kHz.
- Οι εκπομπές ραδιοτηλεφώνου πραγματοποιούνται με διαμόρφωση πλάτους διπλής πλευρικής ζώνης AMDSB.
- Οι παρασιτικές εκπομπές πρέπει να διατηρούνται στη χαμηλότερη τιμή την οποία η κατάσταση και φύσης της υπηρεσίας επιτρέπουν.
- Οι ραδιοφωνικές συχνότητες που χρησιμοποιούνται πρέπει να επιλέγονται στη ζώνη 117.975MHz έως 137MHz.

4.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά VHF συστήματος στο σταθμό του αεροσκάφους και στο αεροδρόμιο

4.3.1 Λειτουργίες εκπομπής και λήψης στο σταθμό αεροδρομίου

Στο VHF σύστημα η ευστάθεια της συχνότητας δικαιολογεί μέγιστη απόκλιση $\pm 0.0005\%$. Όταν η διαυλοποίηση γίνεται ανά 25kHz η ευστάθεια της συχνότητας δικαιολογεί μέγιστη απόκλιση $\pm 0.002\%$. Όταν η διαυλοποίηση γίνεται ανά 8.33kHz η

ευστάθεια της συχνότητας δικαιολογεί μέγιστη απόκλιση $\pm 0.001\%$. Σχετικά με την αποτελεσματική ισχύς ακτινοβολίας αυτή πρέπει να είναι 109dBW/m^2 . Η ευαισθησία της λειτουργίας λήψης πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται σε ένα υψηλό ποσοστό των περιπτώσεων ένα σήμα εξόδου με λόγο σήματος προς θόρυβο 15dB .

4.3.2 Λειτουργίες εκπομπής και λήψης στο αεροσκάφος

Στο VHF σύστημα η ευστάθεια της συχνότητας δικαιολογεί μέγιστη απόκλιση $\pm 0.0005\%$. Όταν ο διαχωρισμός των καναλιών γίνεται ανά 25kHz η ευστάθεια της συχνότητας δικαιολογεί μέγιστη απόκλιση $\pm 0.003\%$. Όταν η διαυλοποίηση γίνεται ανά 8.33kHz η ευστάθεια της ραδιοσυχνότητας δικαιολογεί μέγιστη απόκλιση $\pm 0.005\%$. Σχετικά με την αποτελεσματική ισχύς ακτινοβολίας αυτή πρέπει να είναι 120dBW/m^2 . Οι απαιτήσεις σηματοθορυβικού λόγου παραμένουν οι ίδιες όπως και για το σταθμό στο αεροδρόμιο.

4.4 Σύστημα Επικοινωνιών HF Απλής Πλευρικής Ζώνης (SSB)

Οι επικοινωνίες HF υλοποιούνται με πομπούς και δέκτες HF-AM, SSB που εγκαθίστανται στα κέντρα εκπομπής-λήψης των αερολιμένων. Τα χαρακτηριστικά του HF SSB συστήματος αέρος-εδάφους που χρησιμοποιείται στο παγκόσμιο δίκτυο αεροπορικών επικοινωνιών περιγράφονται ακολούθως:

- Το σύστημα HF SSB πρέπει να λειτουργεί σε συχνότητες στη ζώνη 2.8MHz έως 22MHz .
- Το σύστημα HF SSB πρέπει να λειτουργεί χρησιμοποιώντας συχνότητες με διαυλοποίηση 1kHz .
- Η σταθερότητα της συχνότητας λειτουργίας πρέπει να είναι τέτοια ώστε η διαφορά μεταξύ της συχνότητας εκπομπής και της συχνότητας αναφοράς να μην υπερβαίνει:
 - ❖ τα 20Hz για το HF SSB σύστημα του αεροσκάφους,
 - ❖ τα 10Hz για το HF SSB σύστημα του σταθμού στο αεροδρόμιο.

Επίσης, πρέπει να εξασφαλίζεται ότι η διαφορά συχνότητας μεταξύ HF SSB συστήματος αεροσκάφους και αεροδρομίου συμπεριλαμβανομένης και της ολίσθησης συχνότητας Doppler δεν υπερβαίνει τα 45Hz . Ωστόσο, η μεγαλύτερη διαφορά συχνότητας πρέπει να επιτρέπεται στην περίπτωση των υπερηχητικών αεροσκαφών.

- Για τον πομπό του αεροσκάφους η μέγιστη ισχύς εκπομπής πρέπει να μην υπερβαίνει τα 400W.

4.5 Πομπός εντοπισμού έκτακτης ανάγκης ELT (Emergency locator transmitter) για έρευνα-διάσωση

Τα αεροσκάφη που εκτελούν πτήσεις με όργανα ή τη νύκτα ή όταν απαιτείται βάσει των ισχυουσών απαιτήσεων εναέριου χώρου, είναι εφοδιασμένα με εξοπλισμό ραδιοεπικοινωνίας που, υπό φυσιολογικές συνθήκες διάδοσης, διαθέτει τη δυνατότητα:

- Αμφίδρομης επικοινωνίας με τον πύργο ελέγχου.
- Λήψης μετεωρολογικών στοιχείων κατά τη διάρκεια της πτήσης.
- Αμφίδρομης επικοινωνίας κατά τη διάρκεια της πτήσης με τους επίγειους σταθμούς στις συχνότητες που ορίζονται από την κατάλληλη αρχή και,
- Επικοινωνίας στην αεροναυτική συχνότητα έκτακτης ανάγκης των 121.5MHz.

Τα αεροσκάφη για τα οποία εκδόθηκε για πρώτη φορά ατομικό πιστοποιητικό αξιοπλοΐας μετά την 1η Ιουλίου 2008 είναι εφοδιασμένα με αυτόματο πομπό εντοπισμού έκτακτης ανάγκης. Ένας πομπός εντοπισμού έκτακτης ανάγκης κάθε τύπου έχει τη δυνατότητα εκπομπής ταυτόχρονα στις συχνότητες των 121.5MHz και 406MHz. Από την άλλη πλευρά, τα ελικόπτερα είναι εφοδιασμένα με ένα τουλάχιστον πομπό εντοπισμού έκτακτης ανάγκης. Τα ελικόπτερα που πετούν πάνω από τη θάλασσα για τη υποστήριξη πτήσεων σε εχθρικό περιβάλλον και σε απόσταση από την ξηρά που αντιστοιχεί σε χρόνο πτήσης άνω των 10 λεπτών με κανονική ταχύτητα πλεύσης, είναι εφοδιασμένα με αυτόματα αναπτυσσόμενο πομπό εντοπισμού έκτακτης ανάγκης (ELT(AD)). Ένας πομπός εντοπισμού έκτακτης ανάγκης έχει τη δυνατότητα εκπομπής στις συχνότητες των 121.5MHz και 406MHz.

Οι πληροφορίες που καταγράφονται σε ένα μητρώο ELT πρέπει να περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Τον κωδικό-ταυτότητα του πομπού (εκφράζεται με τη μορφή ενός αλφαριθμητικού κωδικού 15 δεκαεξαδικών χαρακτήρων).
- Τον κατασκευαστή του πομπού, το μοντέλο και εφόσον διατίθεται, τον αύξοντα αριθμό που δίνεται από τον κατασκευαστή.
- Τον αριθμό έγκρισης τύπου SARSAT (Search and rescue satellite-aided tracking).
- Την κατασκευάστρια εταιρεία και τον τύπο του αεροσκάφους και,

- Το χρώμα του αεροσκάφους.

Αναλυτική περιγραφή των προδιαγραφών για τις συχνότητες έκτακτης ανάγκης στο Παρ.«Α» εδάφιο Ε.

ΜΕΡΟΣ Β

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΩΝ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ

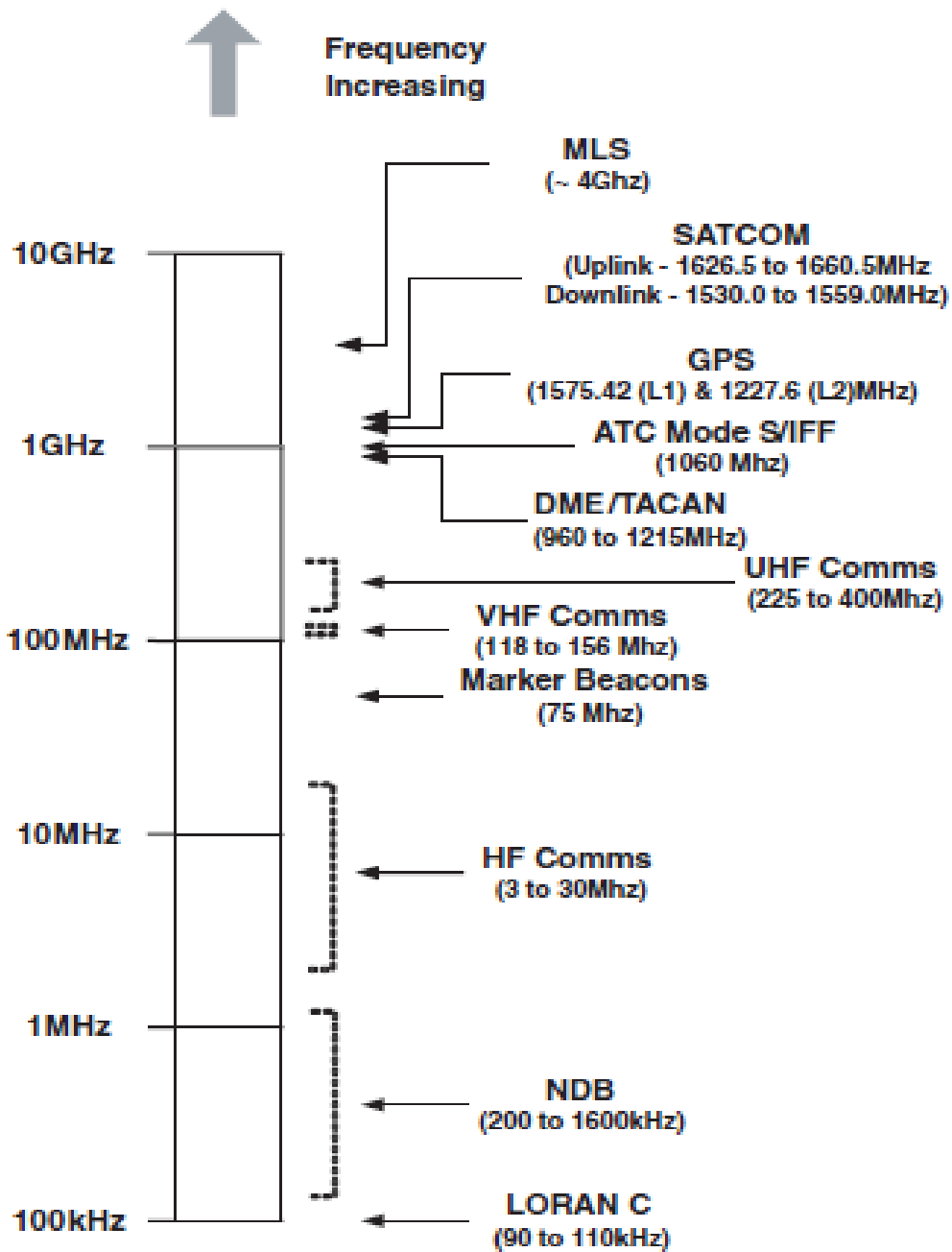
5.1 Εισαγωγή

Εξέχουσα θέση στις επικοινωνίες στρατιωτικών αεροσκαφών κατέχει η ασφάλεια και ακεραιότητα των επικοινωνιών. Η διασφάλιση των επικοινωνιών περιλαμβάνει όλες τις αναγκαίες ενέργειες προς αποφυγή ή μείωση της αποτελεσματικής εχθρικής χρήσης του Η/Μ φάσματος. Ειδικότερα, πρέπει να εμποδίζεται η δυνατότητα του εχθρού να ανιχνεύσει, υποκλέψει και διαφθείρει ή καταστρέψει το σύστημα επικοινωνιών στο αεροσκάφος ή το αεροδρόμιο.

5.2 Επικοινωνίες στρατιωτικού αεροσκάφους με αεροδρόμιο

5.2.1 Επικοινωνίες φωνής σε στρατιωτικά αεροσκάφη

Το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων που αφορά στις λειτουργίες CNI (communications, navigation, identification) παρουσιάζεται στο Σχ.5.1. Το φάσμα CNI καλύπτει λειτουργίες διαφορετικών ειδών εξοπλισμού επικοινωνίας που εκτείνονται από το 100kHz έως 4GHz, όπως περιγράφεται στη συνέχεια.



Σχήμα 5.1 Φάσμα CNI

Οι επικοινωνίες φωνής πραγματοποιούνται στις ζώνες συχνοτήτων HF, VHF και UHF.

Η αναγνώριση και ταυτοποίηση των αεροσκαφών πραγματοποιείται με τη βοήθεια:

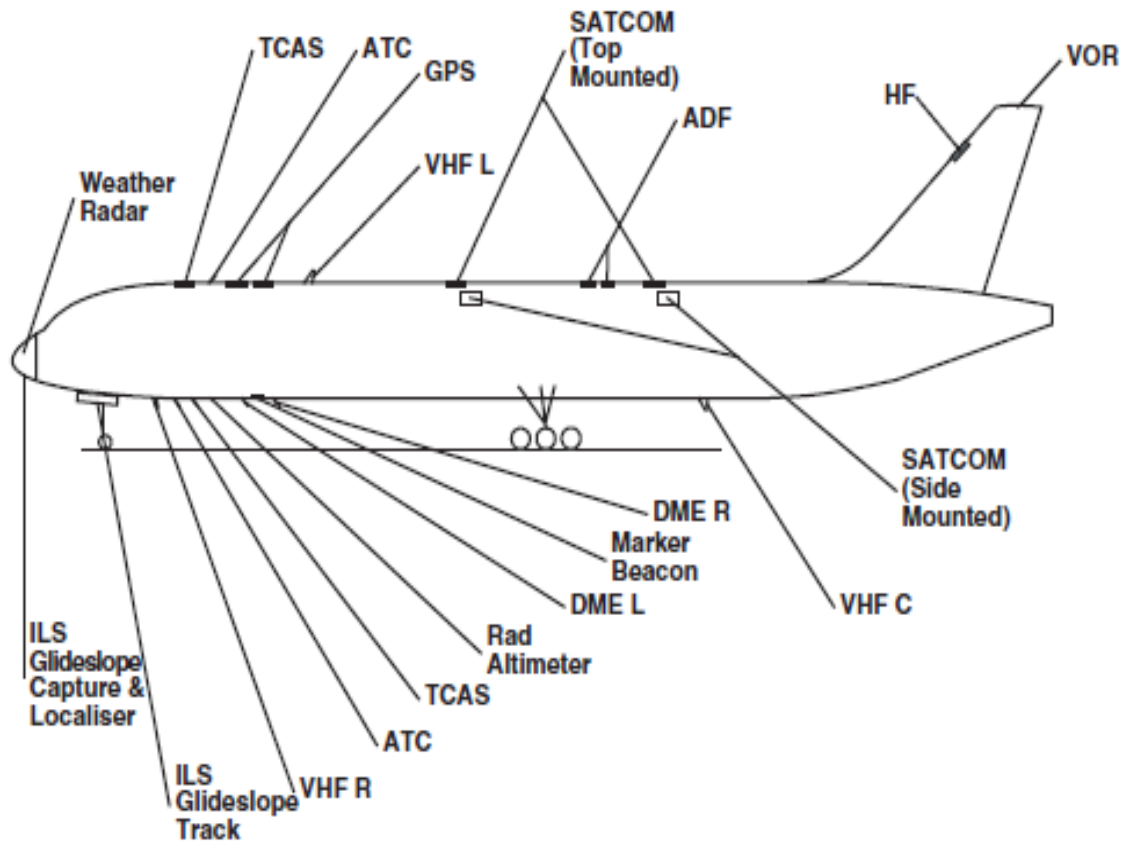
- Της λειτουργίας «S» κατά τον έλεγχο εναέριας κυκλοφορίας ATC (Air traffic control)
- Του συστήματος αποφυγής συγκρούσεων TCAS (Traffic collision and avoidance system)

- Του συστήματος για τον προσδιορισμό φίλιου ή εχθρικού αεροσκάφους IFF (Identification friend or foe).

Με ορισμένες εξαιρέσεις, ο εξοπλισμός αυτός είναι διαθέσιμος για χρήση και από πολιτικά αεροσκάφη. Όλες οι συχνότητες λειτουργίας είναι δημοσιευμένες σε αεροναυτικούς χάρτες ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλής και επιτυχής πτήση κάθε αεροσκάφους. Οι όποιες εξαιρέσεις εστιάζονται στο ότι ένα πολιτικό αεροσκάφος δεν χρησιμοποιεί τη ζώνη συχνοτήτων UHF επικοινωνιών επειδή δεν είναι εξοπλισμένο με το σύστημα TACAN (tactical air navigation system) και το σύστημα IFF.

5.2.2 Διάδοση RF σημάτων

Ο αριθμός των κεραιών στο αεροσκάφος για να εξασφαλιστούν οι επικοινωνίες και τα βοηθήματα πλοήγησης είναι σημαντικός. Πολιτικά αεροσκάφη που χρησιμοποιούνται για στρατιωτικές εφαρμογές φέρουν, επιπλέον, κεραιά για τις λειτουργίες CNI. Το Σχ.5.2 απεικονίζει τυπικές θέσεις κεραιάς σε ένα αεροσκάφος. Λόγω των χαρακτηριστικών λειτουργίας τους και των προδιαγραφών επικοινωνίας, για τις περισσότερες κεραιές υπάρχουν συγκεκριμένα κριτήρια για την εγκατάστασή τους. Οι κεραιές SATCOM για επικοινωνία με δορυφόρους είναι τοποθετημένες στο πάνω μέρος της ατράκτου του αεροσκάφους, ώστε να έχουν την καλύτερη κάλυψη του ουρανού. Κεραιές ILS που σχετίζονται με τη φάση προσέγγισης και προσγείωσης στο αεροδρόμιο είναι τοποθετημένες στο εμπρός τμήμα της ατράκτου. Στα στρατιωτικά αεροσκάφη, οι επικοινωνίες φωνής έχουν ιδιαίτερη σημασία κυρίως για την υποβολή πληροφοριών για εχθρικούς στόχους.

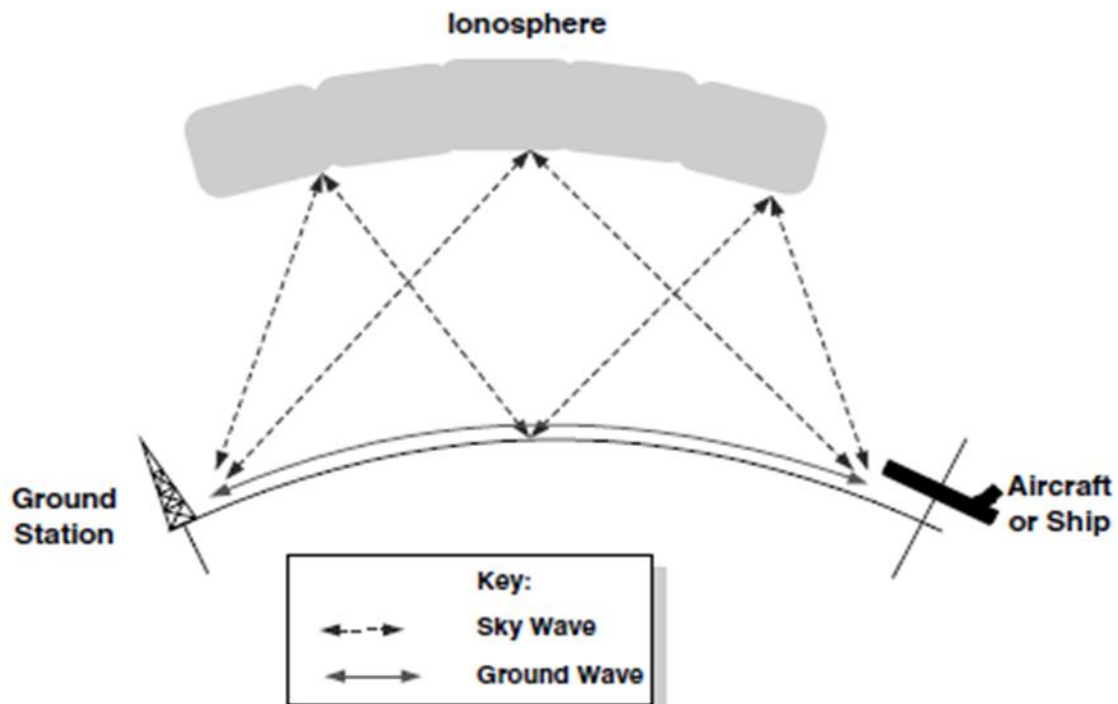


Σχήμα 5.2 Τυπικές θέσεις κεραιών CNI

Οι μέθοδοι διαμόρφωσης του σήματος που χρησιμοποιούνται για τις επικοινωνίες φωνής είναι AM και FM.

5.2.3 Υψηλές συχνότητες HF (High-frequency)

Η ζώνη συχνοτήτων HF καλύπτει το φάσμα επικοινωνιών μεταξύ 3MHz και 30MHz και χρησιμοποιείται για επικοινωνίες φωνής στη γη, τη θάλασσα και τον αέρα. Η χρησιμοποιούμενη ζώνη αφορά την περιοχή συχνοτήτων 2MHz έως 29.999MHz με διαλοποίηση 1kHz. Το κύριο πλεονέκτημα των επικοινωνιών HF είναι η διασφάλιση της επικοινωνίας ακόμη και όταν δεν υπάρχει απευθείας οπτική επαφή με το αεροδρόμιο. Στο Σχ.5.3 φαίνονται δύο κύριοι τρόποι διάδοσης, τα ουράνια κύματα και τα κύματα εδάφους.



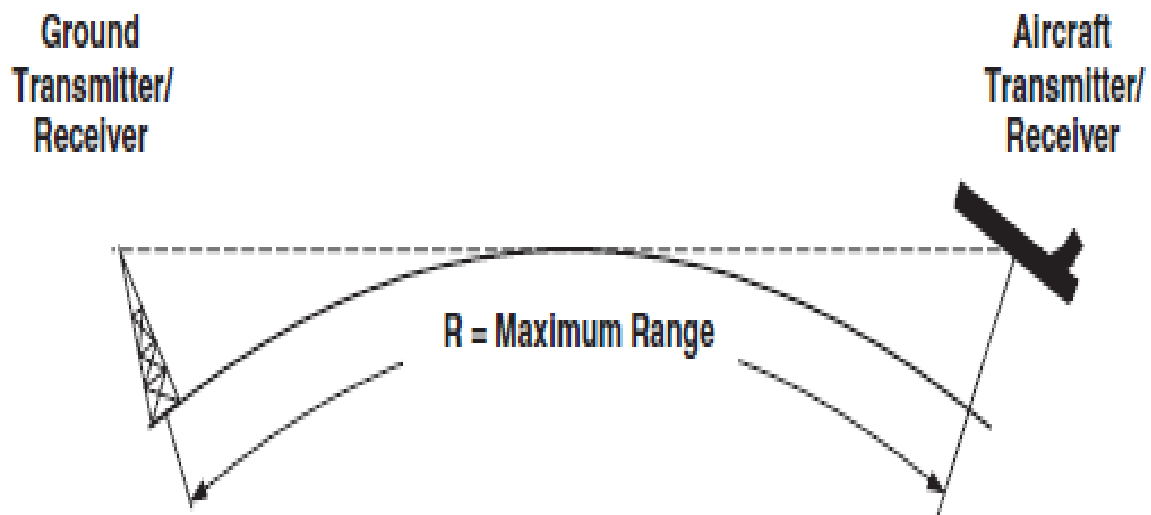
Σχήμα 5.3 Διάδοση HF σημάτων

Η διάδοση των ουράνιων κυμάτων βασίζεται κυρίως στην πολλαπλή διαδρομή που εντοπίζεται μεταξύ γης και ιονόσφαιρας μέχρι το σημείο να φθάσει στο επιθυμητό σημείο. Η συμπεριφορά της ιονόσφαιρας επηρεάζεται σημαντικά από την ηλιακή ακτινοβολία που ανακλά από τη γη. Τα ουράνια κύματα ως τρόπος διάδοσης επηρεάζονται σοβαρά από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Η διάδοση με κύματα εδάφους βασίζεται στην ικανότητα του κύματος να παρακολουθεί την καμπυλότητα της γης μέχρι να φθάσει στον προορισμό του. Επομένως, σε ορισμένες περιπτώσεις, οι HF επικοινωνίες φωνής μπορεί να αποδειχθούν αναξιόπιστες εξαιτίας της καμπυλότητας της γης, από την άλλη όμως οι HF ζεύξεις δεδομένων είναι ανθεκτικότερες σε μεταβολές που υπόκεινται το κύμα. Οι HF επικοινωνίες είναι μία από τις κύριες μεθόδους επικοινωνίας για μεγάλες αποστάσεις, για πτήσεις πάνω από ωκεανούς και από αχανείς εκτάσεις όπως μία έρημος. Για λόγους εφεδρείας, τα στρατιωτικά αλλά και τα πολιτικά αεροσκάφη είναι εξοπλισμένα με δύο συστήματα HF επικοινωνιών.

5.2.4 Πολύ υψηλές συχνότητες VHF (Very-High-frequency)

Η χρήση της VHF ζώνης για επικοινωνίες φωνής είναι ευρεία τόσο από τα πολιτικά αεροσκάφη όσο και από τα στρατιωτικά. Η ζώνη VHF αφορά την περιοχή συχνοτήτων από 118.000MHz έως 135.975MHz με διαυλοποίηση ανά 25kHz. Τα

τελευταία έτη, για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της συμφόρησης με τις συχνότητες, η διαυλοποίηση έχει οριστεί σε 8.33kHz γεγονός που επιτρέπει 3 φορές περισσότερους σταθμούς στο διαθέσιμο φάσμα. Η ζώνη VHF υπόκειται, επίσης, σε περιορισμούς που οφείλονται στις συνθήκες διάδοσης στο διάυλο. Εκτός από εξαιρετικές περιστάσεις, τα VHF σήματα μεταδίδονται μόνο υπό συνθήκες οπτικής επαφής. Αυτό το ζητούμενο χαρακτηριστικό επηρεάζεται από τα σχετικά ύψη του πύργου στο αεροδρόμιο και του αεροσκάφους και ισχύει για όλες τις μεταδόσεις σε συχνότητες υψηλότερες των 100MHz.



Σχήμα 5.4 Διάδοση VHF σημάτων

Η σχέση που καθορίζει την εμβέλεια line-of-sight (LOS) για VHF μεταδόσεις αλλά και για μεταδόσεις σε υψηλότερες συχνότητες είναι

$$R = 1.2 * \sqrt{H_t} + 1.2 * \sqrt{H_a} \quad (5.1)$$

όπου R είναι η εμβέλεια LOS σε ναυτικά μίλια, H_t το ύψος του πύργου μετάδοσης σε πόδια και H_a το ύψος του αεροσκάφους σε πόδια. Ως εκ τούτου, για ένα αεροσκάφος που πετά σε 35000 πόδια, για να ληφθούν οι μεταδόσεις του από πύργο ελέγχου με ύψους 100ποδιών το αεροσκάφος πρέπει βρίσκεται 235 ναυτικά μίλια μακριά. Επιπλέον, οι μεταδόσεις σε VHF και υψηλότερες συχνότητες υπόκεινται σε περιορισμούς από το ανάγλυφο του εδάφους. Τα περισσότερα μεγάλα αεροσκάφη διαθέτουν τρεις εξοπλισμούς VHF για την ικανοποίηση ακόμα και της δυσμενέστερης περίπτωσης. Ωστόσο, υπάρχουν προηγμένες τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εξελιγμένο στρατιωτικό εξοπλισμό για το μετριασμό των περιορισμών λόγω

ανάγλυφου του εδάφους. Τέτοια συστήματα διαθέτουν δυνατότητες επικοινωνίας πέρα από τον ορίζοντα ΟΤΗ (over-the-horizon).

Στα αεροσκάφη και τα κέντρα ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας χρησιμοποιείται ως συχνότητα κινδύνου η συχνότητα των 121.5MHz. Επιπλέον, στα στρατιωτικά αεροδρόμια χρησιμοποιείται ως συχνότητα κινδύνου και η συχνότητα των 243.0MHz στη ζώνη των UHF. Αυτό συμβαίνει επειδή ο δέκτης UHF μπορεί να ανιχνεύσει τις αρμονικές ενός σήματος κινδύνου VHF συχνότητας.

5.3 Επικοινωνίες δεδομένων σε στρατιωτικά αεροσκάφη

Η πληροφορία που μεταδίδεται στις επικοινωνίες στρατιωτικών αεροσκαφών δεν αποτελείται μόνο από φωνή αλλά και από ψηφιακά δεδομένα (data) που πρέπει να μεταδοθούν από την πλατφόρμα όπου συλλέγονται, στο σύνολο των φίλιων δυνάμεων. Για το λόγο αυτό, έχουν αναπτυχθεί οι ασύρματες ψηφιακές ζεύξεις δεδομένων (digital data links) που αποσκοπούν στην ανταλλαγή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο μεταξύ των μονάδων μιας δύναμης.

5.3.1 Επικοινωνίες δεδομένων στη ζώνη HF

Για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων χρησιμοποιούνται ζεύξεις δεδομένων στη ζώνη συχνοτήτων 3MHz έως 30MHz όπου το ηλεκτρομαγνητικό κύμα ανακλάται από την ιονόσφαιρα που εκτείνεται σε υψόμετρο από 80km έως 400km. Η ζεύξη αυτή είναι το Link 11 και χρησιμοποιείται επειδή οι ζεύξεις με εμβέλεια οπτικής επαφής (LOS) δεν έχουν ικανοποιητικά αποτελέσματα μεταξύ αεροσκαφών και πλοίων. Οι ζεύξεις στη ζώνη συχνοτήτων 3MHz έως 30MHz έχουν εμβέλεια που εξαρτάται από το ύψος της ιονόσφαιρας. Κατά τη διάρκεια της νύχτας λόγω απουσίας της ηλιακής ακτινοβολίας τα κύματα HF ανακλώνται από τα υψηλότερα στρώματα της ιονόσφαιρας με αποτέλεσμα να φθάνουν σε μεγαλύτερες αποστάσεις.

Το κυριότερο χαρακτηριστικό των κυμάτων HF είναι ότι μπορούν να ανακλαστούν από τα στρώματα της ιονόσφαιρας με αποτέλεσμα στο δέκτη να φθάνουν καθυστερημένες φασικά κυματομορφές που αλληλοαναιρούνται οπότε το σήμα να εμφανίζει διαλείψεις. Σε περίπτωση ισχυρών διαλείψεων ο πιλότος επιλέγει άλλη συχνότητα μετάδοσης. Στον Πιν.5.1 απεικονίζονται οι ζεύξεις που χρησιμοποιούνται στο NATO με τους ρυθμούς δεδομένων, τις ζώνες συχνοτήτων και τη χρήση τους.

Ζεύξεις δεδομένων	Ζώνη συχνοτήτων	Δομή δεδομένων	Ρυθμός δεδομένων	Χρήση
Link 1	Γραμμή εδάφους	TADIL B	2.4kbps	Αεράμυνα
Link 4A	UHF	TADIL C	5kbps	Σύστημα μετάδοσης δεδομένων
Link 11	HF 2MHz έως 30MHz	TADIL A	2.25kbps	Ναυτικό σύστημα διοίκησης
Link 14	HF/UHF	TADIL A	75bps	Ναυτικό σύστημα διοίκησης
Link 16	UHF 950MHz έως 1150MHz	TADIL J	28.8kbps, 57.6kbps 115.2kbps	Μετάδοση τακτικών δεδομένων
LAMPS Data Link	G-band 4 GHz έως 6GHz	-	25Mbps	Δεδομένα μεταξύ πλοίων και E/Π Seahawk
HAVE QUICK II	UHF 225MHz έως 400MHz	-	16kbps	Διοίκηση και Έλεγχος.
CHBDL	X-band (9.7GHz έως 10.5GHz), Ku-band (14.4GHz έως 15.5GHz)	-	100kbps (πλοίο προς A/Φ), 274 Mbps (A/Φ προς πλοίο)	Δεδομένα εικόνας

Πίνακας 5.1 Ζεύξεις δεδομένων στο NATO

5.3.2 Η ζεύξη LINK 4A

Πρόκειται για ζεύξη δεδομένων που λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων UHF και χρησιμοποιείται για τον έλεγχο μαχητικών αεροσκαφών από πλοία και αεροσκάφη. Το Link 4A χρησιμοποιεί το TADIL C (tactical digital information link) ως δομή δεδομένων που λειτουργεί με την τεχνική TDMA με ρυθμό μετάδοσης 5kbps/sec, για να επικοινωνεί με διάφορες μονάδες προς ανταλλαγή πληροφοριών στόχου και σχεδιάστηκε για την υποστήριξη ενός αυτομάτου συστήματος προσγείωσης. Αυτή η ζεύξη παρέχει δυνατότητες ελέγχου επικοινωνιών και χρησιμοποιείται από αεροσκάφη

μεταφερόμενης βάσης του ναυτικού και θεωρείται μη ασφαλής ζεύξη για τη μετάδοση διαταγών κατεύθυνσης σε μαχητικά Α/Φ.

5.3.3 Η ζεύξη LINK 11

Πρόκειται για ζεύξη δεδομένων που χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή τακτικών δεδομένων, (π.χ. αναφορές), και για τη μεταφορά εντολών Διοίκησης και Ελέγχου με στόχο τη συνεργασία στρατιωτικών πλατφορμών στον τομέα των επιχειρήσεων. Το Link11 χρησιμοποιεί ως δομή δεδομένων το TADIL A, παρέχει επικοινωνίες στις διάφορες μονάδες καθώς και ανταλλαγή πληροφοριών στοχοποίησης και συνδέει αεροσκάφη, ναυτικές μονάδες και κόμβους στη ξηρά. Λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων UHF και HF στις συχνότητες 225MHz έως 400MHz και 2MHz έως 30MHz αντίστοιχα, επιτυγχάνοντας εμβέλειες: 25 νμ (ναυτικά μίλια) μεταξύ πλοίων και 150 νμ μεταξύ πλοίου και Α/Φ, στα UHF, ενώ στα HF φθάνει τα 300νμ.

5.3.4 Η ζεύξη LINK 14

Η ζεύξη LINK 14 λειτουργεί στις ζώνες συχνοτήτων των HF και UHF. Παρέχει μια ελεγχόμενη εκπομπή τακτικών δεδομένων χαμηλής ταχύτητας μετάδοσης, όπως πληροφορίες επιτήρησης από πλοία με δυνατότητα επεξεργασίας τακτικών δεδομένων. Αξιοσημείωτο είναι ότι η ζεύξη Link 14 μεταδίδει κάθε λεπτό ένα συγκεκριμένο αρχείο 100 λέξεων προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το κόστος των συστημάτων επεξεργασίας τακτικών δεδομένων των στοιχείων μιας στρατιωτικής μονάδας που σχετίζονται με σημαντικές επιχειρήσεις.

5.3.5 Η ζεύξη LINK 16

Πρόκειται για ζεύξη δεδομένων που υποστηρίζει ολοκληρωμένα συστήματα επικοινωνίας, ναυτιλίας και αναγνώρισης φίλιου-εχθρού ανάμεσα σε στρατιωτικούς σχηματισμούς και είναι σχεδιασμένη για να παρέχει ασφαλή, ευέλικτη και υψηλής χωρητικότητας ανταλλαγή πληροφοριών για ένα μεγάλο εύρος λειτουργιών. Χρησιμοποιεί ως δομή δεδομένων το TADIL J που συνδέει αεροσκάφη, ναυτικές μονάδες και κόμβους ξηράς. Η ζεύξη LINK 16, Σχ.5.5, χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή τακτικών δεδομένων χρησιμοποιώντας συνδυασμό των VHF/UHF

συχνοτήτων με αντιπαρεμβολικές ικανότητες και λειτουργεί στη ζώνη Lx (960MHz έως 1215MHz) των UHF. Πρόκειται για το πλέον σύγχρονο από τα συστήματα ψηφιακής επικοινωνίας και παρέχει τα εξής πλεονεκτήματα:

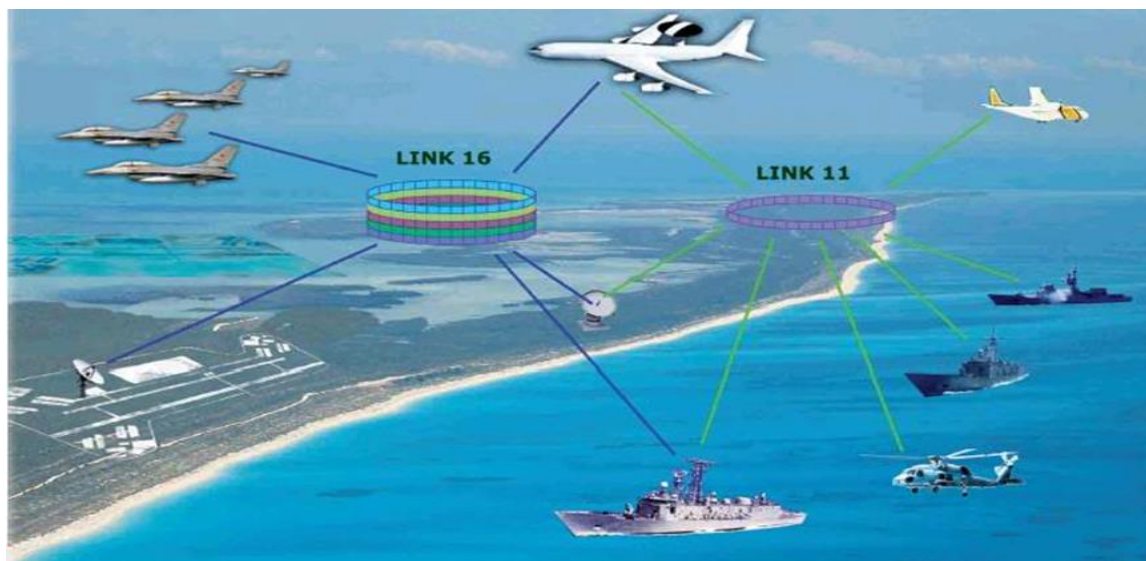
- Δύο crypto κανάλια φωνής (2.4kbs–16kbs).
- Μειωμένος κίνδυνος απώλειας δεδομένων.
- Αυξημένος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων.
- Μεγάλος όγκος πληροφοριών.
- Εντοπισμός θέσης και αναγνώριση του συμμετέχοντος.
- Κρυπτασφάλιση.
- Επιβιωσιμότητα.
- Δυνατότητα ψηφιοποίησης της φωνής.
- Βελτιωμένη Τακτική εικόνα των επιχειρήσεων.
- Αντίσταση σε παρεμβολές.

Η λειτουργία της ζεύξης Link 16 στηρίζεται στην αρχιτεκτονική TDMA, με 51 συχνότητες λειτουργίας στη ζώνη συχνοτήτων 969MHz έως 1206MHz ανά 3MHz, και στη χρήση του συστήματος NPG (Network Participation Groups) που επιτρέπει τη λειτουργική ομαδοποίηση των μηνυμάτων του Link 16 που υποστηρίζει συγκεκριμένο τύπο αποστολής, όπως:

- Εναέριος έλεγχος.
- Αμυντικές επιχειρήσεις Α/Φ.
- Ακριβής θέση και ταυτότητα συμμετέχοντος PPLI (Precise Participant Location and Identification).
- Ανθυποβρυχιακό πόλεμο.
- Πυραυλικές αμυντικές επιχειρήσεις
- Επιτήρηση.
- Ασφαλής μετάδοση φωνής.
- Ηλεκτρονικός πόλεμος.
- Διαχείριση αποστολών.
- Επιχειρήσεις επιθετικής υποστήριξης.

Η χρήση του συστήματος NPG επιτρέπει την επιλεκτική μεταχείριση των διαφορετικών τύπων δεδομένων, επιτρέποντας στους χρήστες που συμμετέχουν στο δίκτυο να επικοινωνούν με τις πλατφόρμες για να πάρουν την επικρατούσα αεροπορική εικόνα και, στη συνέχεια, να επιστρέψουν σε άλλο δίκτυο και να ανταλλάξουν

πληροφορίες μεταξύ τους.



Σχήμα 5.5 Επιχειρησιακή χρήση του Link 11 και του Link 16

5.3.6 Ελαφρύ αεροπορικό σύστημα ζεύξης δεδομένων πολλαπλών σκοπών [Light Airborne Multi-Purpose System (LAMPS) Data Link].

Πρόκειται για τακτική ψηφιακή ζεύξη δεδομένων μεταξύ πλοίων και ελικοπτέρων Seahawk, λειτουργεί στη ζώνη G (4GHz έως 6GHz) μεταδίδοντας δεδομένα με ρυθμό 25Mbps και παρέχει αυτοματοποιημένη ανταλλαγή δεδομένων ραντάρ και σόναρ στο πλοίο φορέα του LAMPS.

5.3.7 Τεχνική (FREQUENCY HOPPING) HAVE QUICK II

Η τεχνική HAVE QUICK II είναι τεχνική αναπήδησης συχνότητας η οποία χρησιμοποιείται σε συστήματα UHF για την ανταλλαγή ψηφιακών δεδομένων μεταξύ πλοίων, μεταξύ πλοίων και αεροσκαφών και μεταξύ πλοίων και επίγειων μονάδων. Οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται είναι της ζώνης VHF και της ζώνης UHF (225MHz έως 400MHz). Τα συστήματα αυτά εκπέμπουν ψηφιακά δεδομένα με ρυθμό 16kbps με αναπήδηση φέρουσας συχνότητας (frequency hopping) προς αντιμετώπιση παρεμβολών ή υποκλοπών. Ο τρόπος αναπήδησης της συχνότητας καθορίζεται από τον αριθμό του δικτύου και από μια άλλη κρυπτομεταβλητή την TSEC. Η χρησιμοποίηση της TSEC

βελτιώνει την ασφάλεια της μετάδοσης και τον ψευδοτυχαίο θόρυβο που προστίθεται στο σήμα πριν τη μετάδοσή του.

5.3.8 Σύγκριση των ζεύξεων δεδομένων

Με βάση τις προηγούμενες αναλύσεις, το Link 16 είναι η ζεύξη με τις περισσότερες λειτουργίες και τα περισσότερα πλεονεκτήματα, όπως φαίνεται και στον Πίν.5.2. Αξιόπιστη ζεύξη είναι και το Link 11 ενώ οι ζεύξεις Link 4A και Link 14 διαθέτουν περιορισμένες λειτουργίες. Οι ζεύξεις πλην της Link 16 θεωρούνται αργές για μεταφορά δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, ευαίσθητες στις παρεμβολές, περιορισμένης εμβέλειας και περιορισμένων τύπων πληροφοριών. Από την άλλη πλευρά, το Link 16 που έχει σχεδιαστεί με στόχο την ασφάλεια, τη μετάδοση σε πραγματικό χρόνο και την προστασία σε παρεμβολές, θεωρείται ήδη παρωχημένο και τείνει να αντικατασταθεί από το Link22.

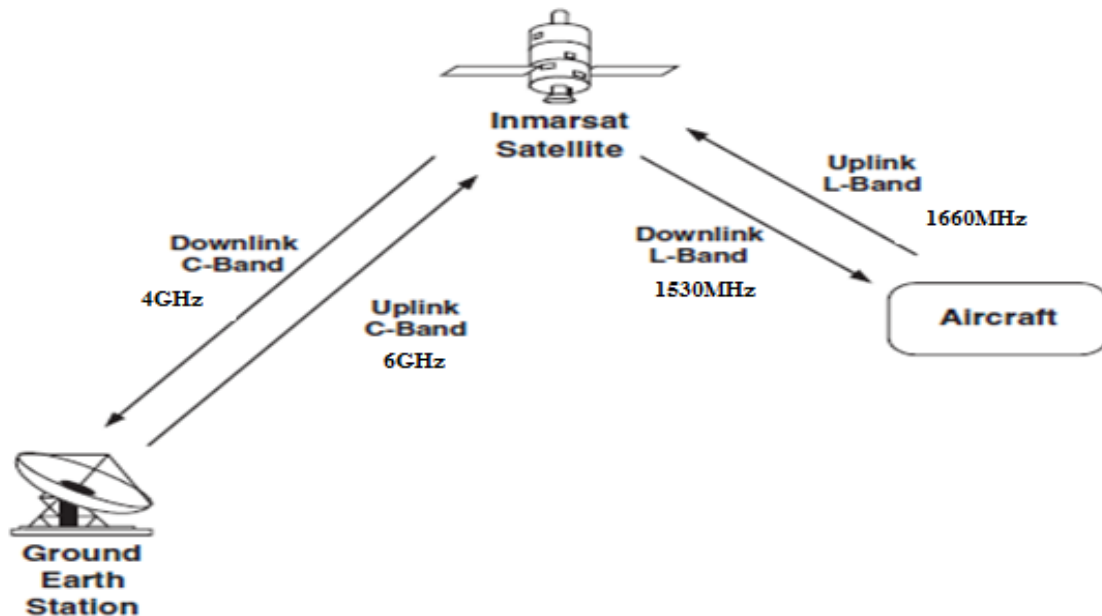
	Link 1	Link 4	Link 11	Link 14	Link 16	Link 22
Αντίσταση στις παρεμβολές	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι
Κρυπτογράφηση	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι
Δυνατότητες ΟΤΗ (over-the-horizon)	Όχι	Όχι	Ναι (HF)	Ναι (HF/SATCOM)	Ναι	Ναι (HF)
Ασφάλεια φωνής	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι	/
Δυνατότητες πλοήγησης	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι	/

Πίνακας 5.2 Σύγκριση των ζεύξεων δεδομένων

5.4 Δορυφορικές επικοινωνίες SATCOM (Satellite communications)

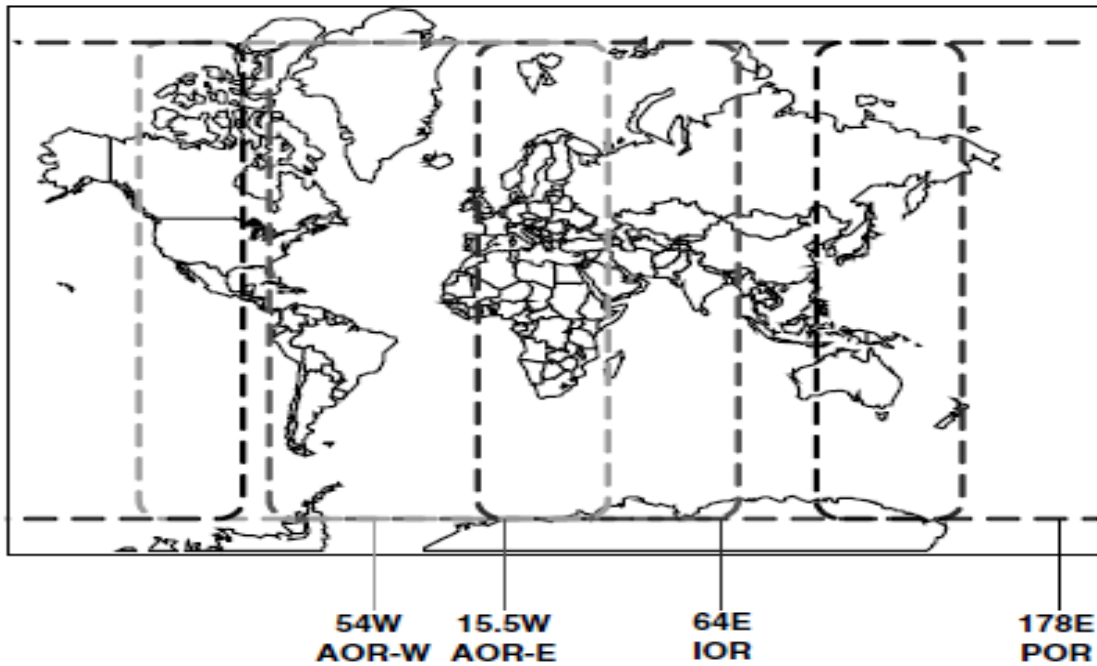
Δορυφορικές επικοινωνίες παρέχουν αξιόπιστες επικοινωνίες με αξιοποίηση του Διεθνούς Οργανισμού INMARSAT (International Maritime Satellite Organisation). Οι δορυφορικές επικοινωνίες, SATCOM (satellite communications), αποτελούν χρήσιμο τμήμα των αεροδιαστημικών επικοινωνιών σε συνδυασμό με τη διαχείριση των παγκόσμιων αεροπορικών μεταφορών GATM (global air transport management). Οι αρχές λειτουργίας των δορυφορικών επικοινωνιών απεικονίζονται στο Σχ.5.6. Τα αεροσκάφη επικοινωνούν μέσω INMARSAT με επίγειους σταθμούς στη ζώνη συχνοτήτων C και με τα αεροσκάφη μέσω της ζώνης συχνοτήτων L. Με τον τρόπο αυτό, οι επικοινωνίες αεροσκαφών δρομολογούνται μέσω δορυφόρου στον επίγειο

σταθμό. Αντίθετα, οι επικοινωνίες από τον επίγειο σταθμό στο αεροσκάφος δρομολογούνται μέσω του δορυφόρου με την αντίστροφη διαδικασία. Ως εκ τούτου, μπορεί να επιτευχθεί επικοινωνία μεταξύ αεροσκάφους και αεροδρομίου ή επίγειου σταθμού με τη χρήση δορυφόρου, υπό την προϋπόθεση το αεροσκάφος είναι εντός της περιοχής κάλυψης του δορυφόρου.



Σχήμα 5.6 Αρχές λειτουργίας SATCOM

Το τερματικό SATCOM στο αεροσκάφος εκπέμπει προς το δορυφόρο σε συχνότητες στην περιοχή 1626.5MHz έως 1660.5MHz και λαμβάνει από το δορυφόρο στην περιοχή 1530.0MHz έως 1559.0MHz. Μετά την ενεργοποίηση του τερματικού, η μονάδα ραδιοσυνοτήτων RFU (radio-frequency unit) σαρώνει ένα αποθηκευμένο σύνολο συνοτήτων και εντοπίζει τη μετάδοση που πραγματοποιείται μέσω του δορυφόρου. Το αεροσκάφος συνδέεται με το δίκτυο επίγειων σταθμών έτσι ώστε οποιοσδήποτε σταθμός να μπορεί να εντοπίσει το αεροσκάφος. Η κάλυψη που προσφέρεται μέσω INMARSAT επιτυγχάνεται με τέσσερις δορυφόρους που εγκαθίστανται στη γεωστατική τροχιά πάνω από τον Ισημερινό στις θέσεις που υποδεικνύονται στο Σχ.5.7



Σχήμα 5.7 Δορυφορική κάλυψη INMARSAT

Δύο δορυφόροι είναι εγκατεστημένοι πάνω από τον Ατλαντικό ωκεανό: AOR-W στις 54° δυτικά και AOR-E στις 15.5° δυτικά. Ένας δορυφόρος βρίσκεται πάνω από τον Ινδικό Ωκεανό: IOR στις 64° ανατολικά και ένας ακόμη δορυφόρος βρίσκεται πάνω από τον Ειρηνικό Ωκεανό: POR στις 178° ανατολικά. Η γεωστατική τροχιά των δορυφόρων INMARSAT επιβάλλει ορισμένους περιορισμούς. Η κάλυψη που παρέχεται από τους δορυφόρους υποβαθμίζεται σημαντικά σε γεωγραφικά πλάτη μεγαλύτερα των 80° βόρεια και 80° νότια και εξαφανίζεται εντελώς πέρα των 82° . Ως εκ τούτου, δεν υπάρχει κάλυψη των πολικών περιοχών. Επίσης, περιορισμοί προκύπτουν στην απόδοση του συστήματος του αεροσκάφους λόγω του σημείου εγκατάστασης της κεραίας. Εντούτοις, οι επικοινωνίες SATCOM είναι χρήσιμες στο δίκτυο αεροπορικών επικοινωνιών. Στη γενική περίπτωση ένα σύστημα SATCOM αποτελείται από τις εξής μονάδες:

- Μονάδα δορυφορικών δεδομένων SDU (Satellite data unit).
- Μονάδα ραδιοσυχνοτήτων RFU (Radio-frequency unit).
- Ενισχυτές/ψαλιδιστές.
- Κεραία χαμηλής απολαβής.
- Κεραία υψηλής απολαβής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο

ΣΥΠΜΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 Συμπεράσματα

Η εξέλιξη της αεροπορικής τεχνολογίας αποτελεί το βασικότερο στοιχείο για την επόμενη γενιά των συστημάτων επικοινωνίας στην αεροπορία με το κόστος του εξοπλισμού διαρκώς να μειώνεται. Τα επόμενα χρόνια θα δούμε ορισμένες καθοριστικές αλλαγές στις αεροπορικές επικοινωνίες λόγω της αυξανόμενης εναέριας κυκλοφοριακής συμφόρησης. Η ραγδαία ανάπτυξη και σύγκλιση των τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών έχουν δημιουργήσει νέες προκλήσεις για την επιδίωξη μιας άρτιας και αποτελεσματικής επικοινωνίας στον αεροπορικό χώρο. Οι επικοινωνίες δεδομένων αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι των επιχειρησιακών αναγκών των αεροσκαφών. Οι υποδομές επικοινωνιών στα σύγχρονα αεροσκάφη αποτελούν τον κύριο άξονα γύρω από τον οποίο δομείται η λειτουργία των επιχειρησιακών εφαρμογών, η επικοινωνία μεταξύ των αεροσκαφών και των αεροδρόμια, η ενοποίηση εφαρμογών δεδομένων, φωνής και εικόνας, η πρόσβαση και ανταλλαγή πληροφοριών και η εισαγωγή νέων υπηρεσιών.

Από την άλλη πλευρά, όμως, πρέπει να γίνει ιδιαίτερη μνεία και στον κίνδυνο που απειλεί τις επικοινωνίες των πολιτικών αεροσκαφών εξαιτίας της δυνατότητας που έχουν μη εξουσιοδοτημένα πρόσωπα να αποκτούν πρόσβαση ή να παρεμβαίνουν στα ηλεκτρονικά συστήματα των αεροσκαφών. Εμπειρογνώμονες αεροπορικών εταιρειών επιστούν την προσοχή, γιατί το δίκτυο IP μπορεί να επιτρέψει σε έναν χάκερ να αποκτήσει απομακρυσμένη πρόσβαση στα ηλεκτρονικά συστήματα του αεροσκάφους και να παρέμβει σε αυτά. Θεωρητικά το τείχος προστασίας (firewall) προστατεύει τα ηλεκτρονικά συστήματα από οποιαδήποτε παρεμβολή η οποία μπορεί να προέλθει από επιβάτες που χρησιμοποιούν τα συστήματα ψυχαγωγίας εν ώρα πτήσης. Εντούτοις, αρκετοί ειδικοί στον τομέα της ασφάλειας στον κυβερνοχώρο εκτιμούν ότι τα τείχη προστασίας μπορούν να δεχτούν παρεμβολή ή να παρακαμφθούν.

6.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα/μελέτη

Η παροχή υψηλού επιπέδου υπηρεσιών επικοινωνίας σε όλες τις αεροπορικές δραστηριότητες, απαιτεί περαιτέρω βελτίωση της υπάρχουσας υποδομής των επικοινωνιών. Για την επίτευξη αυτού του στόχου θα πρέπει να εκτιμηθούν ξανά και με μεγαλύτερη προσοχή κρίσιμοι παράγοντες όπως, η σωστή σχεδίαση του δικτύου επικοινωνιών, η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία, η επεκτασιμότητα, η αξιοπιστία, η ασφάλεια και η ποιότητα των υπηρεσιών επικοινωνίας ώστε να εξασφαλίζεται η επιτυχής αντιμετώπιση των τεχνολογικών προκλήσεων αλλά και των προσπαθειών επίδοξων χάκερ να παρέμβουν σε κρίσιμες λειτουργίες του αεροσκάφους.

Παράρτημα «Α»

Α] Περιγραφή των λειτουργιών που υλοποιούνται στη HFDL ζεύξη

Η HFDL ζεύξη αποτελεί μέρος του δικτύου αεροναυτικών τηλεπικοινωνιών ATN (aeronautical telecommunication network), που λειτουργεί σε ζώνες υψηλής συχνότητας. Το σύστημα HFDL μπορεί να υποστηρίξει περισσότερα του ενός υποσυστήματα αεροσκαφών και επίγειων σταθμών. Το HFDL σύστημα στο σταθμό του αεροσκάφους και στο σταθμό του αεροδρομίου περιλαμβάνει τις ακόλουθες λειτουργίες:

- HF εκπομπή και λήψη.
- Διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση των δεδομένων και,
- Εφαρμογή του πρωτοκόλλου HFDL

Το πρωτόκολλο HFDL αποτελείται από ένα φυσικό στρώμα, ένα στρώμα ζεύξης, και ένα στρώμα υποδικτύου. Πρόκειται για ένα πολυεπίπεδο πρωτόκολλο που είναι συμβατό με την διασύνδεση ανοικτού συστήματος OSI (open systems interconnection) του διεθνούς οργανισμού τυποποίησης ISO (international standardization organization). Το σύστημα HFDL λειτουργεί σε οποιοδήποτε συχνότητα απλής πλευρικής ζώνης (SSB) στη ζώνη 2.8MHz έως 22MHz με διαλοποίηση 1kHz. Χρησιμοποιεί διαμόρφωση MPSK όπου η πληροφορία κωδικοποιείται μόνο κατά τη φάση του σήματος. Ο ρυθμός συμβόλων πρέπει να είναι 1800 σύμβολα/s. Η τιμή του M και ο ρυθμός δεδομένων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

M	Ρυθμός δεδομένων (bps)
2	300 ή 600
4	1200
8	1800

Πίνακας 2.4: Τιμές του M και ρυθμός δεδομένων

Το φέρον MPSK ορίζεται ως:

$$s(t) = A * \sum(p(t - \kappa T) \cos[2\pi f_0 t + \varphi(\kappa)]), \kappa = 0, 1, \dots, N - 1 \quad (2.1)$$

Όπου N ο αριθμός των μεταδιδόμενων συμβόλων, $s(t)$ η αναλογική κυματομορφή σήματος σε συνάρτηση με το χρόνο t , A πλάτος σήματος, f_0 η κεντρική συχνότητα, T η περίοδος συμβόλου, $\varphi(k)$ φάση συμβόλου, $p(t-kT)$ σχήμα παλμού μορφοποίησης του k συμβόλου στο χρόνο t .

Το σχήμα του παλμού μορφοποίησης, $p(t)$, καθορίζει τη φασματική κατανομή του εκπεμπόμενου σήματος. Ο μετασχηματισμός Fourier του παλμού σχήμα, $P(f)$, καθορίζεται από :

$$P(f) = 1, \quad \text{αν } 0 < |f| < (1 - \beta) / 2T$$

$$P(f) = \cos \{ \pi (2 |f| T - 1 + \beta) / 4\beta \}, \quad \text{αν } (1 - \beta) / 2T < |f| < (1 + \beta) / 2T$$

$$P(f) = 0, \quad \text{αν } |f| > (1 + \beta) / 2T$$

όπου ο παράγοντας διαπλάτυνσης β παίρνει την τιμή, $\beta = 0.31$.

Η σταθερότητα της συχνότητας εκπομπής πρέπει να είναι καλύτερη από:

- ± 20 Hz για HFDL συστήματα σε σταθμό αεροσκάφους και,
- ± 10 Hz για HFDL συστήματα σε σταθμό εδάφους.

Η μετάδοση των δεδομένων επιτυγχάνεται με τη χρήση της πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χρόνου (TDMA). Το σύστημα HFDL στο σταθμό εδάφους διατηρεί το συγχρονισμό της χρονοθυρίδας και του πλαισίου TDMA. Για να εξασφαλιστεί ότι διατηρείται ο συγχρονισμός της χρονοθυρίδας κάθε διαμορφωτής δεδομένων αρχίζει να εξάγει ένα μικρό τμήμα δυαδικής ακολουθίας στην αρχή της χρονοθυρίδας. Κάθε πλαίσιο TDMA πρέπει να είναι διάρκειας 32 sec και να διαιρείται σε δεκατρείς χρονοθυρίδες ίσης διάρκειας ως εξής :

- Η πρώτη χρονοθυρίδα του κάθε πλαισίου TDMA πρέπει να προορίζεται αποκλειστικά για χρήση από το υποσύστημα HFDL στο σταθμό του αεροδρομίου προκειμένου να ολοκληρωθεί η μετάδοση και,
- Οι υπόλοιπες χρονοθυρίδες πρέπει να είναι σχεδιασμένες είτε ως χρονοθυρίδες ζεύξης ανόδου, οι χρονοθυρίδες ζεύξης καθόδου προορίζονται για συγκεκριμένα υποσυστήματα HFDL του σταθμού στο αεροσκάφος, είτε ως χρονοθυρίδες ζεύξης καθόδου τυχαίας προσπέλασης για χρήση από όλα τα υποσυστήματα HFDL στο σταθμό του αεροσκάφους.

Το στρώμα ζεύξης παρέχει λειτουργίες ελέγχου για το πρωτόκολλο φυσικού στρώματος, τη διαχείριση των ζεύξεων και των υπηρεσιών δεδομένων. Επίσης, υποστηρίζει το πρωτόκολλο RLS (reliable link service protocol) καθώς και το πρωτόκολλο DLS (direct link service protocol). Ειδικότερα το πρωτόκολλο RLS

χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή τεμαχίων δεδομένων μεταξύ των στρωμάτων ζεύξης για τους χρήστες των συστημάτων επικοινωνίας στα αεροσκάφη και τους σταθμούς αεροδρομίων. Ενώ το πρωτόκολλο DLS πρέπει χρησιμοποιείται για τη μετάδοση δεδομένων υψηλής συχνότητας χωρίς να απαιτεί την αυτόματη αναμετάδοση από το στρώμα ζεύξης .

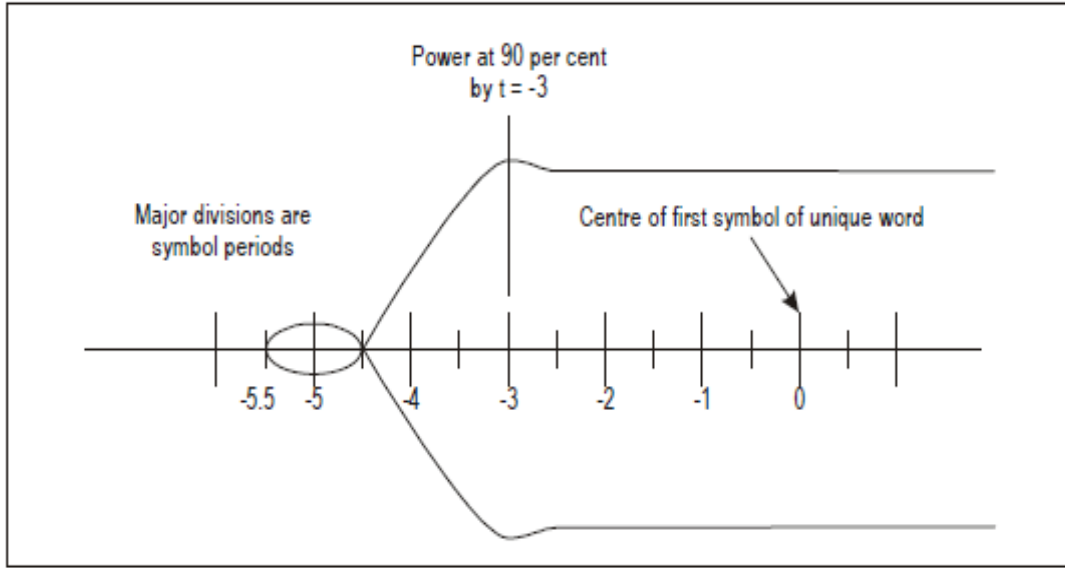
Το στρώμα υποδικτύου HFDL στον σταθμό του αεροσκάφους αλλά και στον σταθμό του αεροδρομίου παρέχει υπηρεσίες συνδεσιμότητας στέλνοντας μηνύματα στον δρομολογητή ATN ενώ επιτελεί και τις εξής λειτουργίες:

- Λειτουργίες εξαρτώμενες από το HFDL υποδίκτυο (HFSND) εκτελεί το πρωτόκολλο HFSND μεταξύ κάθε ζεύγους των υποσυστημάτων HFDL στο σταθμό του αεροσκάφους και στο σταθμό του αεροδρομίου.
- Λειτουργίες πρόσβασης στο υποδίκτυο όπου εκτελείται το πρωτόκολλο ISO 8208 μεταξύ του υποσυστήματος HFDL του σταθμού στο αεροσκάφος ή του αντίστοιχου υποσυστήματος του σταθμού του αεροδρομίου με τους δρομολογητές μέσω ανταλλαγής ISO 8208 πακέτων.
- Λειτουργίες διασυνεργασίας μέσω των οποίων εξασφαλίζεται ο συγχρονισμός των λειτουργιών HFSND πρόσβασης στο υποδίκτυο και των λειτουργιών συνδεσιμότητας.

B] Περιγραφή των λειτουργιών που υλοποιούνται στη Mode 2

Κατά την κωδικοποίηση διαύλου στον πλεονασμό που εισάγεται στη ροή δεδομένων καθοριστική είναι η συνεισφορά της ακολουθίας κατάρτισης, μιας ακολουθίας στην οποία η μετάδοση δεδομένων αρχίζει με τον διαχωρισμό της σε πέντε μέρη που σχετίζονται με:

- Ισχύ εκπομπής και ευστάθεια συχνότητας Σχ.3.6.
- Συγχρονισμό.
- Το μήκος της ακολουθίας προς μετάδοση.



Σχήμα 3.6: Ισχύ εκπομπής και ευστάθεια συχνότητας

Για τη διόρθωση των λανθασμένων ψηφίων στην επικεφαλίδα του μηνύματος, υπολογίζεται ένας κώδικας με βάση τα σύμβολα που έχουν ληφθεί. Ο κώδικας μεταδίδεται ως πέμπτο μέρος. Τα ψηφία ισοτιμίας προς μετάδοση παράγονται χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$[P_1, \dots, P_5] = [R_1, \dots, R_3, TL_1, \dots, TL_{17}] * H^T \quad (3.4)$$

Όπου P είναι το σύμβολο ισοτιμίας, R είναι το σύμβολο λήψης, TL είναι το μήκος του εκπεμπόμενου συμβόλου, ^T είναι ο ανάστροφος πίνακας και H είναι πίνακας που ορίζεται παρακάτω,

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Η κωδικοποίηση FEC επιτρέπει την ανίχνευση ή/και διόρθωση λαθών που προκαλούνται κατά την μετάδοση του σήματος. Προκειμένου να βελτιωθεί η αποτελεσματική απόδοση του συστήματος επικοινωνίας με τη μείωση του αριθμού των αναμεταδόσεων, εφαρμόζεται κωδικοποίηση FEC. Η κωδικοποίηση FEC πραγματοποιείται με τη βοήθεια μιας ακολουθίας που καλείται Reed-Solomon (RS) με

2^8 ψηφία κώδικα. Ο κώδικας αυτός είναι ικανός να διορθώσει μέχρι τρεις οκτάδες για μπλοκ δεδομένων των 249 οκτάδων (1992 ψηφία). Μεγαλύτερες μεταδόσεις πρέπει να διαιρούνται σε τεμάχια των 1992 ψηφίων ενώ μικρότερη εκπομπή πρέπει να επεκταθεί με μηδενικά ψηφία. Έξι οκτάδες RS ελέγχου επισυνάπτονται για ένα μπλοκ των 255 οκτάδων. Το πρωτεύον πολυώνυμο του κώδικα ορίζεται ως εξής:

$$p(x) = x^8 + x^7 + x^2 + x + 1 \quad (3.5)$$

και το πολυώνυμο γεννήτρια ορίζεται ως εξής :

$$\prod_{i=120}^{125} (x - a^i) \quad (3.6)$$

Όπου a είναι ένα πρωτεύον στοιχείο του GF (256) και GF (256) είναι ένα πεδίο Galois (GF) μεγέθους 256.

[Σημείωση: Το πεδίο Galois (ονομάζεται έτσι προς τιμήν του Εβαρίστ Γκαλουά) είναι ένα πεδίο που περιέχει ένα πεπερασμένο αριθμό στοιχείων. Ένα πεπερασμένο πεδίο είναι μια σειρά για την οποία οι πράξεις του πολλαπλασιασμού, πρόσθεση, αφαίρεση και διαίρεση ορίζονται για να πληρούν ορισμένους βασικούς κανόνες].

Για να βελτιωθεί η απόδοση του κώδικα FEC, πρέπει να χρησιμοποιείται ένας πίνακας με 255 οκτάδες ανά ροή ψηφίων και «c» ροή ψηφίων , με

$$c = \frac{\text{transmission length (bits)}}{1992 \text{ (bits)}} \quad (3.7)$$

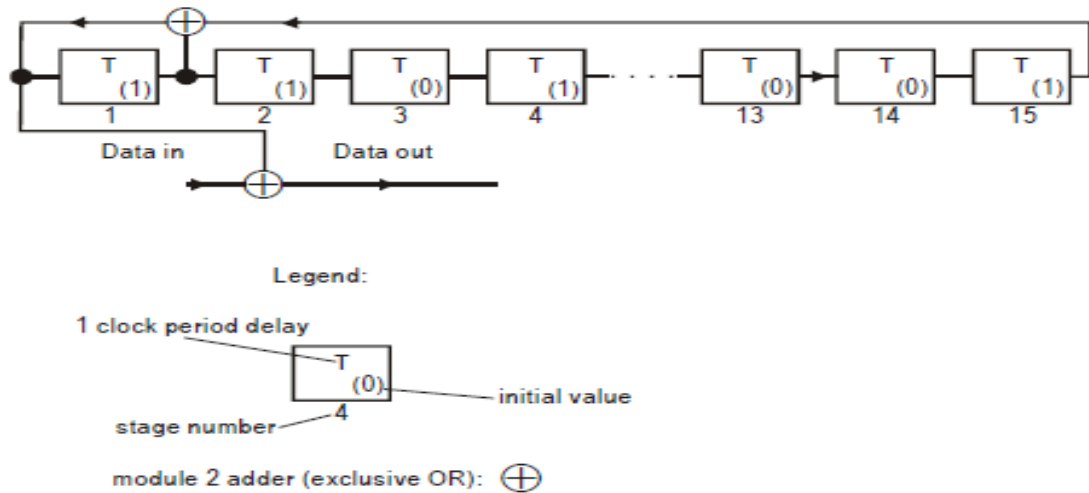
Όπου:

Μήκος Μεταφοράς (*Transmission length*): Για να επιτραπεί στον δέκτη να καθορίσει το μήκος τελικής ακολουθίας R, ο πομπός αποστέλλει μια λέξη των 17 ψηφίων, από το λιγότερο σημαντικό ψηφίο (LSB) στο πιο σημαντικό ψηφίο (MSB), που υποδεικνύει το συνολικό αριθμό των ψηφίων.

c: η μικρότερη ακέραια τιμή του κλάσματος .

Γ) Διαδικασία κρυπτογράφησης

Η PN ακολουθία αρχίζει με την αρχική τιμή 1101 0010 1011 001 με το αριστερό ψηφίο στο πρώτο στάδιο της διαδικασίας σύμφωνα με το επόμενο σχήμα.



Σχήμα 3.7: PN-γεννήτρια για κρυπτογράφηση ψηφίων

Η διαδικασία περιγράφεται στον Πιν.3.3:

Λειτουργία	Είσοδος δεδομένων	Έξοδος δεδομένων
Κρυπτογράφηση	Καθαρά δεδομένα	Κρυπτογραφημένα δεδομένα
Αποκρυπτογράφηση	Κρυπτογραφημένα δεδομένα	Καθαρά δεδομένα

Πίνακας 3.3: Λειτουργίες κρυπτογράφησης

Δ) Κωδικοποιητής Golay και λειτουργίες που υλοποιούνται στη Mode 3

Κατά την κωδικοποίηση Golay αν θεωρηθεί ως είσοδος το διάνυσμα x που είναι μία ακολουθία των 12 ψηφίων τότε η ακολουθία εξόδου των 24 ψηφίων μπορεί να γραφτεί ως το διάνυσμα y , όπου $y = \chi * G$ με G να είναι η παρακάτω μήτρα:

τη διαμόρφωση πλάτους του σήματος χρησιμοποιείται παράγοντας διαμόρφωσης τουλάχιστον 0.85.

Προδιαγραφές για τη συχνότητα έκτακτης ανάγκης 406MHz (ELT)

Οι πομποί εντοπισμού έκτακτης ανάγκης πρέπει να λειτουργούν στην περιοχή συχνοτήτων από 406.0MHz έως 406.1MHz. Η περίοδος μεταξύ των μεταδόσεων πρέπει να είναι $50\text{sec}\pm 5\%$. Για μια περίοδο 24ωρης συνεχούς λειτουργίας σε θερμοκρασία λειτουργίας των -20°C , η ισχύς του πομπού πρέπει να είναι εντός των ορίων του $5\text{W}\pm 2\text{dB}$. Στη συχνότητα 406MHz μπορεί να μεταδοθεί και ψηφιακό μήνυμα .

Στους πομπούς εντοπισμού έκτακτης ανάγκης που λειτουργούν στα 406MHz πρέπει να αποδίδεται ένας μοναδικός κωδικός για την αναγνώριση τους ή του αεροσκάφους στο οποίο είναι τοποθετημένοι. Το ψηφιακό μήνυμα ELT περιλαμβάνει είτε το σειριακό αριθμό του πομπού ή ένα από τα παρακάτω στοιχεία:

- Τον οργανισμό/φορέα που εγκρίνει την πτήση του αεροσκάφους.
- Την 24 ψηφίων διεύθυνση του αεροσκάφους και,
- Τα διακριτικά του αεροσκάφους που δηλώνουν την χώρα που ανήκει καθώς και τα διακριτικά της κατασκευάστριας εταιρείας..

Το ψηφιακό μήνυμα ELT πρέπει να περιέχει πληροφορίες σχετικά με την μορφή του μηνύματος, το πρωτόκολλο κωδικοποίησης, τον κωδικό χώρας, τα δεδομένα αναγνώρισης και τα δεδομένα θέσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

- 1) **ITU Radio Regulations**, Article 1.
- 2) **Handbook Mobile Satellite Service (MSS)**, ITU Radiocommunication Bureau, Edition 2002
- 3) **ITU-R Recommendation SF.355-4**: “Frequency sharing between systems in the fixed-satellite service and radio-relay systems in the same frequency bands”.
- 4) **LAN MOIR AND ALLAN SEABRIDGE**. [2006], Military Avionics Systems
- 5) **ICAO-International Standards and Recommended Practices- Annex 10/Volume 3-Aeronautical Telecommunications International Civil Aviation/ Second Edition July 2007**
- 6) **STEVEN R. BUSSOLARI**, Mode S Data-Link Applications for General Aviation
- 7) **DALE STACEY**. [2008], Aeronautical Radio Communication System and Networks
- 8) **Steven R. Bussolari, Mode S Data-Link Applications for General Aviation**
- 9) **ΚΑΨΑΛΗΣ Χ. και ΚΩΤΤΗΣ Π.**, [2014], Ασύρματες Επικοινωνίες, Εκδόσεις Τζιόλα
- 10) **Μ.Ε.ΘΕΟΛΟΓΟΥ**, [2010], Δίκτυα Κινητών & Προσωπικών Επικοινωνιών, Εκδόσεις Τζιόλα
- 11) **BENIERΗΣ Ι.**, [2014], Δίκτυα Ευρείας Ζώνης, Εκδόσεις Τζιόλα
- 12) **Ι. Α. ΚΟΥΚΟΣ** Τακτικές Ζεύξεις Δεδομένων
- 13) **ΕΥΡΩΠΑΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΤΗΣ ΑΕΡΟΠΟΡΙΑΣ**, [2012]/ Παράρτημα VI του σχεδίου κανονισμού της Επιτροπής για τις «Αεροπορικές δραστηριότητες-OPS/Μέρος NCC-εκτελεστικοί κανόνες
- 14) **ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ/ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ/ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**-Εθνικός Κανονισμός Κατανομής Ζωνών Συχνότητας
- 15) https://en.wikipedia.org/wiki/Air-to-ground_communication
- 16) http://www.skybrary.aero/index.php/Air-Ground_Communication#Visual_Communications
- 17) http://www.skybrary.aero/index.php/Air-Ground_Voice_Communications
- 18) http://www.skybrary.aero/index.php/Communication_Equipment_Problems
- 19) http://www.skybrary.aero/index.php/Loss_of_Communication
- 20) http://www.skybrary.aero/index.php/Blocked_Transmission
- 21) http://www.skybrary.aero/index.php/Level_bust

- 22) http://www.skybrary.aero/index.php/Standard_Phraseology
- 23) <http://www.isihellas.gr/products/tactical-data-links/link-11-a-b>
- 24) <http://www.enhmaek.gr/comun2.html>
- 25) <http://www.skybrary.aero/index.php/ACAS>
- 26) http://www.skybrary.aero/index.php/Mode_S
- 27) https://www.ll.mit.edu/publications/journal/pdf/vol07_no2/7.2.10.modesdatalink.pdf
- 28) <https://defensegr.wordpress.com/2015/07/02/f-16-%CE%B3%CE%BD%CF%89%CF%81%CE%B9%CE%BC%CE%AF%CE%B1-%CE%BC%CE%B5-icp-ded-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-ikp/>
- 29) <http://www.defencenet.gr/defence/o/19359>
- 30) http://www.defencenet.gr/defence/media/epikinonies_tis_pa.pdf
- 31) <https://books.google.gr/books?id=wIM-AAAAYAAJ&pg=SA3-PA14-IA1&lpg=SA3-PA14-IA1&dq=TSEC/KY%E2%80%939358&source=bl&ots=CM97eqJDAI&sig=dnHGbnTXSJfmpkkzuefB54q-SCQ&hl=el&sa=X&ved=0CFAQ6AEwBmoVChMIhOHH28mSyAIVA5JyCh0-EgG8#v=onepage&q=TSEC%20KY%E2%80%939358&f=false>
- 32) <http://www.dailysecurity.eu/2013/02/05/%CE%BA%CF%81%CF%85%CF%80%CF%84%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AF%CE%B1-%CF%83%CF%84%CE%BF%CE%BD-%CF%83%CF%84%CF%81%CE%B1%CF%84%CF%8C/>
- 33) <http://www.cryptomuseum.com/crypto/usa/ky57/>
- 34) <https://armyaviation.wordpress.com/2012/03/07/%CF%84%CE%BF-%CE%B5%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%80%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%BF-ab-205-mep/>
- 35) <http://www.eett.gr/opencms/export/sites/default/admin/downloads/Consultations/RadioCommunications/RegSEE.pdf>
- 36) https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%B5%CE%B8%CE%BD%CE%AE%CF%82_%CE%88%CE%BD%CF%89%CF%83%CE%B7_%CE%A4%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CF%80%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%B9%CE%BD%CF%89%CE%BD%CE%B9%CF%8E%CE%BD
- 37) <http://www.mfa.gov.cy/mfa/mfa2006.nsf/All/F3BD7342BC36001EC22573020023435B?OpenDocument>

