



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΡΑΝΤΑΡ ΚΑΙ ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΗΣ
ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ

Ημιαυτόματη χαρτογράφηση πυρκαγιών με χρήση πολυφασματικών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βαγγέλης Π. Πίτσιος

Επιβλέπων: Παναγιώτης Τσανάκας
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Δεκέμβριος 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΡΑΝΤΑΡ ΚΑΙ ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΗΣ
ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ

Ημιαυτόματη χαρτογράφηση πυρκαγιών με χρήση πολυφασματικών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βαγγέλης Π. Πίτσιος

Επιβλέπων: Παναγιώτης Τσανάκας
Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 8η Δεκεμβρίου 2023.

.....
Παναγιώτης
Τσανάκας
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Δημήτριος
Σούντρης
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Παναγιώτης
Φράγκος
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Δεκέμβριος 2023

.....
Βαγγέλης Π.Πίτσιος

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

Copyright © Βαγγέλης Πίτσιος 2023

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 πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

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

Τις τελευταίες δεκαετίες, λόγω της ταχείας αύξησης του ανθρώπινου πληθυσμού και της επιτάχυνσης της κλιματικής αλλαγής, παρατηρούνται περισσότερες και πιο σοβαρές ως προς τις επιπτώσεις φυσικές καταστροφές. Για αυτό το λόγο, οι διάφοροι δημόσιοι και ιδιωτικοί φορείς που εμπλέκονται στη διαχείριση αυτών των καταστροφών στρέφουν ολοένα και περισσότερο το βλέμμα τους προς την τεχνολογία και δη τη χρήση οπτικών δεδομένων από τους δορυφόρους.

Αυτή η εργασία εξερευνά τη δημιουργία μιας διαδικτυακής πλατφόρμας με όνομα Strabo, για την επεξεργασία οπτικών δεδομένων από τους ευρωπαϊκούς δορυφόρους Sentinel 2. Στόχος της πλατφόρμας, αποτελεί η δημιουργία μίας εύχρηστης διεπαφής για την επίτευξη με τον καλύτερο δυνατό τρόπο της πρόσβασης και επεξεργασίας σε δεδομένα δορυφόρων, μέσω διαφόρων παραμετροποιήσεων. Κυρίως, ωστόσο, η εφαρμογή αποσκοπεί στη βέλτιστη οπτικοποίηση χρήσιμων οπτικών δεικτών στα δεδομένα αυτά μετά την εφαρμογή κώδικα επεξεργασίας από το χρήστη. Για την επίτευξη αυτών, επιδιώχθηκε: ο ορισμός κάποιων κατευθυντήριων γραμμών για το σχεδιασμό της εφαρμογής, η επιλογή ενός φορέα για την πρόσβαση στα απαραίτητα δεδομένα(Sentinel Hub), μία σύγχρονη τεχνολογική στοίβα(NextJS, TailwindCSS, LeafletJS, GitHub, Notion) για την ανάπτυξη της, η μελέτη ενδεχόμενης δημόσιας διάθεσης της και τέλος ο συνδυασμός όλων αυτών.

Ως προς τα αποτελέσματα, η εργασία ικανοποιεί τις απαιτήσεις που τέθηκαν, ορίζοντας ένα εύρωστο πλαίσιο για τη δημιουργία μιας μετέπειτα ολοκληρωμένης και εμπορικής εφαρμογής, η οποία θα μπορεί να αποτελέσει και επίσημη πρόταση εφαρμογής για τη διαχείριση όλων των δεδομένων από τους Sentinel δορυφόρους.

Λέξεις κλειδιά: Sentinel 2, Sentinel Hub, Sentinel Hub API, ESA, Strabo, Next, GitHub, Notion, Tailwind, Leaflet

In recent decades, due to the rapid increase in the human population and the acceleration of climate change, more frequent and severe natural disasters have been observed. For this reason, various public and private entities involved in disaster management are increasingly turning their attention to technology, especially the use of optical data from satellites.

This work explores the creation of a web-based platform called "Strabo" for processing optical data from the European Sentinel 2 satellites. The platform aims to provide a user-friendly interface to access and process satellite data through various configurations. The main focus, however, is on optimizing the visualization of useful optical indices in the data after applying user-defined processing code. To achieve this, certain guidelines were defined for the application's design and the "Sentinel Hub" was chosen as the data source. Also, a modern technology stack (NextJS, TailwindCSS, LeafletJS, GitHub, Notion) was used for development and the potential for public release was studied.

As for the results, the work meets the set requirements, establishing a robust framework for creating a comprehensive and commercial application in the future. This application could serve as an official proposal for managing all data from the Sentinel satellites.

Keywords: Sentinel 2, Sentinel Hub, Sentinel Hub API, ESA, Strabo, Next, GitHub, Notion, Tailwind, Leaflet

Στο σημείο αυτό επιθυμώ να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου σε όλους τους ανθρώπους που με βοήθησαν κατά την υλοποίηση τη διπλωματικής εργασίας αλλά και καθόλη της διάρκεια των σπουδών μου. Πιο συγκεκριμένα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες της διπλωματικής εργασίας και ιδιαίτερα τον κύριο Δημήτρη Συκά. Χωρίς αυτούς δεν θα ήταν εφικτή και ομαλή η υλοποίηση της διπλωματικής εργασίας, αλλά και ίσως να μην ερχόμουν αντιμέτωπος με τον όμορφο κόσμο των γεωχωρικών δεδομένων. Επίσης, τεράστια ευγνωμοσύνη οφείλω στο στενό φίλο Γιάννη Καγιώργη που με βοήθησε συζητώντας μαζί του να εντοπίσω βέλτιστες λύσεις στα τεχνικά προβλήματα που αντιμετώπισα, αλλά και αποτέλεσε το βασικό χρήστη της εφαρμογής με το feedback του να είναι πολύτιμο. Ακόμα, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στο εκπαιδευτικό προσωπικό του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου με το οποίο συνεργάστηκα άψογα κατά τη φοίτηση μου στη σχολή. Τέλος, είμαι ευγνώμων στους φίλους μου, τους συμφοιτητές που αλληλεπίδρασα και την οικογένεια μου για τη διαρκή στήριξη κατά τη διάρκεια των σπουδών.

Περίληψη.....	5
Abstract.....	7
Ευχαριστίες.....	8
Περιεχόμενα	9
Συντομεύσεις-Αρκτικόλεξα	11
Κατάλογος Πινάκων	12
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	13
Κατάλογος Εικόνων.....	14
1. Εισαγωγή.....	16
1. Πλαίσιο.....	16
2. Σκοπός, ερωτήματα και στόχοι	16
3. Ονοματοδοσία Εφαρμογής.....	17
4. Οριοθέτηση	18
5. Μεθοδολογία Ανάπτυξης Εφαρμογής	18
6. Διάρθρωση της εργασίας.....	19
7. Disclaimer	20
8. Θεμελιώδεις Έννοιες.....	20
2. Παρατήρηση της Γης	22
2.1. Εισαγωγή.....	22
2.2. Φορείς Τεχνολογιών Τηλεπισκόπησης.....	23
2.3. Δορυφόροι	23
2.3.1. Τροχιά.....	23
2.3.2. Χρόνος επανεμφάνισης-Περίοδος	24
2.3.3. Συστήματα Τηλεπισκόπησης.....	25
2.3.3.1. Θεωρητική Βάση	25
2.3.3.2. Τεχνολογικά χαρακτηριστικά	26
2.3.3.3. Κατηγορίες συστημάτων τηλεπισκόπησης	27
2.3.3.3.1. Active Sensing	27
2.3.3.3.2. Passive Sensing	27
2.3.4. Κριτήρια Επιλογής Δορυφόρου	29
3. ESA: Δορυφόροι και Δεδομένα	30
3.1. Θεμελιώδεις Έννοιες.....	30
3.2. Δορυφόροι	30
3.2.1. Κατηγοριοποίηση αποστολών Sentinel.....	30
3.2.2. Sentinel 2.....	31
3.3. Δεδομένα	33
3.3.1. Κατηγοριοποίηση δεδομένων Sentinel 2	33
3.3.2. Sentinel Hub API.....	35
4. Παρόμοιες Εφαρμογές	36
4.1. Εισαγωγή.....	36
4.2. Εφαρμογές	36
5. Διαδικτυακή Εφαρμογή - Strabo	41
5.1. Τι είναι διαδικτυακή εφαρμογή	41
5.2. Strabo: Περιγραφή	42
5.2.1. Σύντομη περιγραφή	42
5.2.2. Λειτουργικές Απαιτήσεις.....	42

5.2.3. Μη Λειτουργικές Απαιτήσεις	44
5.3. Strabo: Αρχιτεκτονική Εφαρμογής	44
5.3.1. Τεχνολογικό Υπόβαθρο	44
5.3.1.1. NextJS[47]	44
5.3.1.2. TailwindCSS[54]	47
5.3.1.3. LeafletJS[55]	48
5.3.1.4. Sentinel Hub Process API[56]	48
5.3.2. Δομή Εφαρμογής	51
5.4. Strabo: Διαχείριση Κώδικα	54
5.5. Strabo: Deployment	56
5.5.1. Διαδικασία Δημοσιοποίησης	57
5.5.2. Λόγοι Επικείμενων Χρεώσεων	57
6. Περιγραφή UI	59
7. Συμπεράσματα και Μελλοντικές Προεκτάσεις	68
7.1. Συμπεράσματα	68
7.2. Προεκτάσεις	69
8. Κατάλογος Αναφορών	70

API Application Programming Interface

APP Application

CPU Central Processing Unit

CSR Client Side Rendering

EDRS European Data Relay System

ESA European Space Agency

H/M Ηλεκτρομαγνητική

IDE Integrated Development Environment

JS JavaScript

L1C Level-1C

L2A Level-2A

MSI MultiSpectral Instrument

UI User Interface

SAR Synthetic Aperture Radar

SPA Single Page Application

SSG Static Site Generation

SSO Sun Synchronous Orbit

SSR Server Side Rendering

RAM Random Access Memory

TOA Top Of Atmosphere

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά Δορυφόρων Sentinel 2	31
--	----

<u>Διάγραμμα 1: FlowChart ανάπτυξης της διαδικτυακής εφαρμογής</u>	<u>18</u>
<u>Διάγραμμα 2: Class Diagram για την αρχιτεκτονική του Strabo.....</u>	<u>52</u>

Εικόνα 1: Παράδειγμα grayscale φωτογραφίας.....	24
Εικόνα 2: H/M φάσμα	25
Εικόνα 3: Passive sensors vs Active sensors	28
Εικόνα 4: Επίπεδα επεξεργασίας και μορφή Sentinel 2 δεδομένων	33
Εικόνα 5: Sentinel Hub Requests Builder - Βασικό layout εφαρμογής.....	35
Εικόνα 6: Sentinels Playground - Πριν την επεξεργασία	36
Εικόνα 7: Sentinels Playground - Μετά την επεξεργασία	37
Εικόνα 8: EO Browser - Βασικό layout εφαρμογής	37
Εικόνα 9: EO Browser - Επιλογή χωρίου και πρόσβαση στις raw φωτογραφίες	38
Εικόνα 10: EO Browser - Επιλογή φωτογραφίας	38
Εικόνα 11: EO Browser - Επεξεργασία στο συγκεκριμένο tile και οπτικοποίηση αποτελέσματος	39
Εικόνα 12: Google Earth Engine - Βασικό Layout Εφαρμογής	39
Εικόνα 13: Παράδειγμα λειτουργίας SSG	44
Εικόνα 14: Παράδειγμα λειτουργίας SSR	45
Εικόνα 15: Παράδειγμα λειτουργίας ISR	45
Εικόνα 16: Παράδειγμα λειτουργίας CSR	46
Εικόνα 17: Process API - Τύποι Δεδομένων	47
Εικόνα 18: Process API - Γεωμετρία χωρίων	48
Εικόνα 19: Process API - Filtering δεδομένων	48
Εικόνα 20: Process API - Αλγόριθμοι δειγματοληψίας	49
Εικόνα 21: Process API - Τελική ανάλυση φωτογραφίας	49
Εικόνα 22: Process API - Format τελικών δεδομένων	50
Εικόνα 23: Process API - Script για προχωρημένη επεξεργασία	50
Εικόνα 24: Strabo - Δομή request για το Process API	51
Εικόνα 25: Strabo - Δομή request για το Configuration API	52
Εικόνα 26: Notion - Αρχείο βάσης γνώσης για επιστροφή κενής φωτογραφίας από το Process API	52
Εικόνα 27: Notion - Task Management	52
Εικόνα 28: Vercel - Bandwidth εντός χρονικού διαστήματος ενδεικτικής προσωπικής χρήσης	56
Εικόνα 29: Vercel - Source Image Optimizations εντός χρονικού διαστήματος ενδεικτικής προσωπικής χρήσης	57
Εικόνα 30: Strabo - Homepage	58
Εικόνα 31: Strabo - Λειτουργίες zoom in/out	59
Εικόνα 32: Strabo - Λειτουργία geosearch	59
Εικόνα 33: Strabo - Σχεδιασμός παραλληλόγραμμου	60
Εικόνα 34: Strabo - Σχεδιασμός πολυγώνου	60
Εικόνα 35: Strabo - Edit πολυγώνου	61
Εικόνα 36: Strabo - Διαγραφή πολυγώνου	61
Εικόνα 37: Strabo - Ενεργοποίηση sidebar	62
Εικόνα 38: Strabo - Απενεργοποίηση sidebar	62
Εικόνα 39: Strabo - Ορισμός time range	63
Εικόνα 40: Strabo - Ορισμός max cloud coverage	63
Εικόνα 41: Strabo - Ενεργοποίηση main panel	64

Εικόνα 42: Strabo - Απενεργοποίηση main panel	64
Εικόνα 43: Strabo - Δομή prescripts	65
Εικόνα 44: Strabo - Δομή Editor	65
Εικόνα 45: Strabo - Πληροφορίες επιλεγμένου πολυγώνου	66

1. Πλαίσιο

Από τον προηγούμενο αιώνα μέχρι και σήμερα, οι δορυφόροι έχουν κατακλύσει τον γήινο ουρανό και όχι μόνο, με την αρχική τους χρησιμότητα να είναι ανθρωπιστικού χαρακτήρα και να αφορά τη διευκόλυνση στις τηλεπικοινωνίες. Σήμερα, ωστόσο, παρόλο που οι δορυφόροι συνεχίζουν να απασχολούν ουσιαστικά τον τομέα αυτό, άλλες ερευνητικές δραστηριότητες αποκτούν όλο ένα και περισσότερο την ανάγκη παρακολούθησης της γης.

Αυτό συμβαίνει διότι, εξαιτίας διαφορετικών αισθητήρων που έχουν αναπτυχθεί ανά τα χρόνια, τα δεδομένα που καταγράφονται, από τους δορυφόρους, είναι πληθώρα και μορφικά αποτελούν ένα πλούσιο μείγμα. Ως αποτέλεσμα, έχει αποδοθεί η δυνατότητα στο να αναπτυχθούν και να τροφοδοτηθούν περαιτέρω ερευνητικές διαδικασίες, με ανθρωπιστικό πρόσημο.

Ένα παράδειγμα, το οποίο αποτελεί και το έναυσμα αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η διαχείριση των φυσικών καταστροφών. Πιο συγκεκριμένα, λόγω της διαρκούς εξέλιξης των οπτικών αισθητήρων, έχει καταστεί εφικτή η συνεχής και υψηλής ποιότητας λήψη φωτογραφιών από τους δορυφόρους πάνω σε διάφορα σημεία του πλανήτη, τα οποία πλήττονται ή επλήγησαν από κάποια φυσική καταστροφή.

Μέσω, λοιπόν, της λήψης αυτών των δεδομένων, της παροχής τους για κατάλληλη επεξεργασία σε ερευνητικούς φορείς, αλλά και στους αρμόδιους για τη διαχείριση φυσικών καταστροφών δύναται να αποκτηθεί περαιτέρω διορατικότητα για τα προβλήματα που ανακύπτουν στην εκάστοτε προσβληθείσα περιοχή. Για παράδειγμα, μέσω κατάλληλης επεξεργασίας κάποιων φωτογραφιών που ελήφθησαν εντός μίας μικρής χρονικής περιόδου σε κάποια περιοχή, καθίσταται εφικτός ο προσδιορισμός οπτικών δεικτών σχετικών με την πυκνότητα της βλάστησης. Ως αποτέλεσμα, δύναται να καταγραφούν, με ακρίβεια, οι επιπτώσεις μίας πυρκαγιάς στη χλωρίδα αυτής της περιοχής.

Για να τεθούν σε ισχύ, ωστόσο, τα προηγούμενα ως προς τις φυσικές καταστροφές, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη εξατομικευμένων διαδικτυακών εφαρμογών με εύχρηστες διεπαφές, που διευκολύνουν τον εκάστοτε χρήστη/ερευνητή/αρμόδιο φορέα ως προς την πρόσβαση και επεξεργασία των δορυφορικών οπτικών δεδομένων.

2. Σκοπός, ερωτήματα και στόχοι

Ο βασικός στόχος στην προκειμένη διπλωματική εργασία είναι η δημιουργία μίας ολοκληρωμένης διαδικτυακής εφαρμογής(web application), με όσο το δυνατόν πιο εύχρηστη διεπαφή(UI), που θα παρέχει στο χρήστη γρήγορα, άμεσα και με ακρίβεια τα οπτικά δεδομένα από τους ειδικούς, για τις φυσικές καταστροφές, δορυφόρους. Επίσης, ουσιαστικός πυλώνας αυτής της διαδικτυακής πλατφόρμας αποτελεί, η παροχή εξατομικευμένης αναζήτησης και επεξεργασίας των δορυφορικών φωτογραφιών, ώστε να εξαχθούν τα βέλτιστα δυνατά αποτελέσματα, διευκολύνοντας συνολικά, την ερευνητική διαδικασία.

Το προαναφερθέν εγχείρημα, βέβαια, στηρίζεται στη διαφοροποίηση της διαδικτυακής εφαρμογής από τις ήδη υπάρχουσες, που επιτελούν παρόμοιες λειτουργίες.

Συνεπώς, βασικό ερευνητικό ερώτημα αποτελεί το κατά πόσο μπορεί να δημιουργηθεί μια νέα πλήρης εφαρμογή που να βελτιώνει αισθητά την προαναφερθείσα διαδικασία σε σχέση με τις ήδη δημόσια διαθέσιμες διαδικτυακές εφαρμογές. Ταυτόχρονα, εξετάζεται ο βαθμός επεκτασιμότητας σε περίπτωση προσθήκης νέων λειτουργιών, αλλά και πόσο εύκολο/κοστοβόρο είναι το να δημοσιοποιηθεί στο διαδίκτυο για εμπορική χρήση. Καταληκτικά, μελετώνται οι δυνατότητες που προσφέρει το Sentinel Hub API και γενικότερα η επάρκεια του για την ανάπτυξη τέτοιου είδους εφαρμογής.

Τα παραπάνω ερωτήματα, βρίσκουν απάντηση αποκλειστικά μέσω του αποτελέσματος, δηλαδή της τελικής εφαρμογής, ενώ, παράλληλα, οι ενδιαμέσες επιλογές που καθόρισαν την πορεία ανάπτυξης της εφαρμογής συνεισφέρουν προς αυτή την κατεύθυνση.

3. Ονοματοδοσία Εφαρμογής

Το όνομα μιας διαδικτυακής εφαρμογής είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς οφείλει να είναι εύηχο, ξεχωριστό και να μπορεί να συνδέεται με κάποιο λογικό τρόπο με το σκοπό και τις λειτουργίες της.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε το όνομα Strabo, το οποίο προέκυψε μέσω μετάφρασης του ονόματος Στράβων στις λατινογενείς γλώσσες.

Ο Στράβων ή Στράβωνας υπήρξε ένας αρχαίος γεωγράφος και ιστορικός της αρχαιότητας γεννημένος περίπου το 64 π.Χ. στην Αμάσεια του Πόντου. Είναι γνωστός, κυρίως, για το έργο του "Γεωγραφικά". Πρόκειται για ένα τεράστιο έργο που χωρίζεται σε 17 βιβλία και περιγράφει το γνωστό κόσμο της εποχής του.

Αναφορικά με την επιστημονική του συνεισφορά, ο Στράβωνας ανέπτυξε τη δική του μέθοδο ώστε να αναλύει τις γεωγραφικές συντεταγμένες, τις αποστάσεις και τα φυσικά χαρακτηριστικά περιοχών για να είναι σε θέση να τα μεταφέρει με όσο το δυνατόν περισσότερη ακρίβεια στους χάρτες που σχεδίαζε.

Το έργο του σώζεται πλήρως σήμερα και είναι τόσο μεγαλόπνοο για την εποχή του που το καθιστά διαχρονικό. Εξαιτίας της ανάγκης του, μάλιστα, να συνδέσει πέρα από γεωγραφικά και ιστορικά τους λαούς κάθε περιοχής του τότε γνωστού κόσμου, αποτελεί έργο αναφοράς για οποιαδήποτε σύγχρονη μελέτη εκείνης της εποχής. Δεν είναι τυχαίο ότι χαρακτηρίζεται ως ο πιο ακριβής "Παγκόσμιος Γεωγραφικός Άτλας" της εποχής του.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, λοιπόν, και εξαιτίας της άμεσης σχέσης της αναπτυχθείσας διαδικτυακής εφαρμογής με τους χάρτες και τις συντεταγμένες, επιλέχθηκε το συγκεκριμένο όνομα(Strabo) για την περιγραφή της.

4. Οριοθέτηση

Όπως επισημάνθηκε προηγουμένως, η εφαρμογή Strabo αποτελεί μια προσπάθεια να δημιουργηθεί ένα φιλικό περιβάλλον πρόσβασης και επεξεργασίας οπτικών δεδομένων από δορυφόρους που αφορούν φυσικές καταστροφές. Ωστόσο, η υλοποίηση αυτού του εγχειρήματος, ενέχει κάποιους περιορισμούς.

Αρχικά, τα γεωχωρικά δεδομένα που γίνονται χρήση στην πλατφόρμα αφορούν αποκλειστικά τους δορυφόρους του Copernicus προγράμματος της ESA. Αυτό συμβαίνει διότι, αν και υπάρχουν αρκετοί φορείς που μπορούν να αποτελέσουν την πηγή πληροφοριών για τη διαδικτυακή πλατφόρμα, η ESA έχει ασχοληθεί σε μεγάλο βαθμό με τη δυνατότητα πρόσβασης στα δεδομένα της. Οπότε, διευκολύνεται αρκετά η διαδικασία και όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια([κεφ. Sentinel Hub Process API](#)), παρέχεται πλήθος χρήσιμων παραμέτρων για προεπεξεργασία αυτών των δεδομένων.

Συγχρόνως, λόγω του [πλαισίου](#) και των [στόχων](#) της διπλωματικής εργασίας επιδιώκεται μια παραπάνω εξειδίκευση. Ειδικότερα, αφού η πρόσβαση παρέχεται μόνο στα δεδομένα που αφορούν τις φυσικές καταστροφές, όπως θα αναλυθεί και μετέπειτα, οι δορυφόροι της αποστολής [Sentinel 2](#) και μάλιστα τα προ-επεξεργασμένα [L2A δεδομένα](#) αυτών, αποτελούν την κατάλληλη επιλογή.

Παρόλαυτα, αξίζει να σημειωθεί ότι δεν αναιρείται η δυνατότητα επέκτασης της διαδικτυακής εφαρμογής με χρήση άλλων δορυφόρων και λιγότερο επεξεργασμένων δεδομένων μελλοντικά. Ακόμα και όταν πρόκειται για διαφορετικούς ερευνητικούς σκοπούς.

5. Μεθοδολογία Ανάπτυξης Εφαρμογής

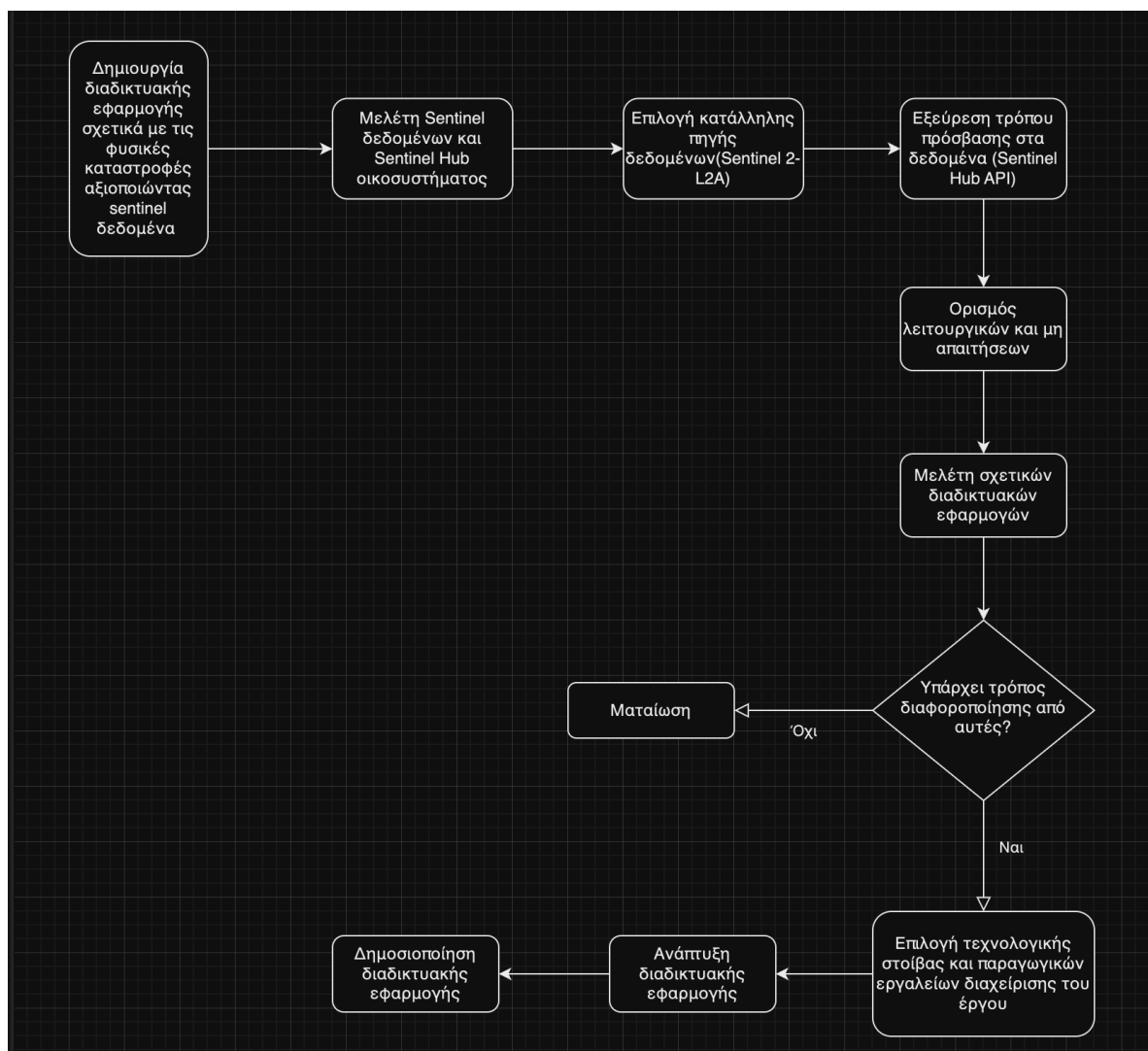
Αρχικά, επιδιώχθηκε μελέτη πάνω στη συνεισφορά της τεχνολογίας στην παρατήρηση των φυσικών καταστροφών, ορίζοντας συγχρόνως τις κατευθυντήριες γραμμές για την επιλογή κατάλληλων δορυφόρων για χρήση των δεδομένων τους([κεφ.2](#)). Έπειτα, διερευνήθηκαν σε βάθος οι αποστολές Sentinel της ESA([κεφ.3.2.1](#)) και επιλέχθηκε η αποστολή Sentinel 2 ως πηγή οπτικών δεδομένων([κεφ.3.2.2](#)). Στη συνέχεια, αφού προσδιορίστηκαν τα επίπεδα επεξεργασίας αυτών των φωτογραφιών([κεφ.3.3.1](#)), επιλέχθηκε το L2A ως το ιδανικό για την παροχή της καλύτερης δυνατής πρώτης ύλης στο χρήστη μέσω της εν δυνάμει εφαρμογής. Άμέσως μετά, προσδιορίστηκε ο τεχνικός τρόπος πρόσβασης σε αυτές τις επεξεργασμένες εικόνες των δορυφόρων και επιλέχθηκε το Sentinel Hub API ([κεφ.3.3.2](#)) ως η βέλτιστη λύση, με το Process API να αναλαμβάνει τα ηνία.

Έπειτα, ακολούθησε ο σχεδιασμός των λειτουργικών([κεφ.5.2.2](#)) και μη([κεφ.5.2.3](#)) απαιτήσεων της εφαρμογής. Προς αυτή την κατεύθυνση, διευκόλυνε, ιδιαίτερα, η διερεύνηση σε βάθος αρκετών παρόμοιων εφαρμογών στο διαδίκτυο([κεφ.4](#)), ώστε να απομονωθούν ενδεχόμενα θετικά χαρακτηριστικά και να προσδιοριστούν τα ελαττώματά τους.

Έχοντας πλέον καθορίσει το θεωρητικό πλαίσιο της εφαρμογής σε ικανοποιητικό βαθμό, σειρά έχει η θεμελίωση του τεχνολογικού υπόβαθρου, που είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη της διαδικτυακής εφαρμογής Strabo. Οπότε, επιλέχθηκε ένα σύγχρονο web

development framework([κεφ.5.3](#)) και προσδιορίστηκαν τα εργαλεία για τη δημιουργία, οργάνωση και συντήρηση του συγκεκριμένου εγχειρήματος([κεφ.5.4](#)) καθόλη τη διάρκεια της εξέλιξης του.

Ύστερα, πραγματοποιήθηκε το πρακτικό τμήμα της διπλωματικής εργασίας, που αφορά την οργάνωση και υλοποίηση της διαδικτυακής εφαρμογής μέσω συγγραφής και αποθήκευσης του πηγαίου κώδικα και διαφόρων σημειώσεων(knowledge base, to-do tasks), καταλήγοντας στην ολοκλήρωση της και στη διερεύνηση της πιθανής διαδικτυακής και εμπορικής διάθεσης της([κεφ.5.5](#)).



Διάγραμμα 1: FlowChart ανάπτυξης της διαδικτυακής εφαρμογής

6. Διάρθρωση της εργασίας

Τα επόμενα κεφάλαια αυτής της διπλωματικής είναι δομημένα ως εξής:

- [Κεφάλαιο 2 - Παρατήρηση της Γης](#): Πρόκειται για κεφάλαιο το οποίο ορίζει τα κριτήρια που οφείλουν να φέρουν οι αρμόδιοι δορυφόροι και οι αισθητήρες τους, ώστε τα κατάλληλα δεδομένα να εισάγονται στη διαδικτυακή εφαρμογή Strabo.

- **Κεφάλαιο 3 - ESA: Δορυφόροι και Δεδομένα:** Σε αυτό το κεφάλαιο επιδιώκεται θεωρητική περιγραφή των δορυφορικών αποστολών Sentinel της ESA και των πληροφοριών που παράγουν, κάνοντας ειδική μνεία στην αποστολή Sentinel 2, ως τη δορυφορική αποστολή από την οποία αντλούνται, τελικά, τα δεδομένα για την διαδικτυακή εφαρμογή Strabo.
- **Κεφάλαιο 4 - Παρόμοιες Εφαρμογές:** Εδώ, αναλύονται παρόμοιες διαδικτυακές εφαρμογές και κατηγοριοποιούνται ως προς το σκοπό που επιτελούν και τις λειτουργίες τους, ώστε να προσδιοριστούν τα προβλήματα τους και άρα ο λόγος ύπαρξης της διαδικτυακής εφαρμογής Strabo.
- **Κεφάλαιο 5 - Διαδικτυακή Εφαρμογή - Strabo:** Αφορά την περιγραφή της διαδικτυακής εφαρμογής Strabo. Πραγματοποιείται ανάλυση των λειτουργικών και μη απαιτήσεων που οφείλει να ικανοποιεί η εφαρμογή, προσεγγίζεται η αρχιτεκτονική της και παρατίθενται τα εργαλεία που συνέδραμαν στην ανάπτυξη και τη διάθεση της στο διαδίκτυο, εξερευνώντας τα πιθανά μελλοντικά κόστη.
- **Κεφάλαιο 6 - Περιγραφή UI:** Αυτό το κεφάλαιο ασχολείται με την περιγραφή του περιβάλλοντος εργασίας(UI) που παρέχει στο χρήστη η διαδικτυακή εφαρμογή Strabo.
- **Κεφάλαιο 7 - Συμπεράσματα και Μελλοντικές Προεκτάσεις:** Περιέχει τα συμπεράσματα από την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας και προτάσεις για ορισμένα πιθανά μελλοντικά βήματα ως προς την περαιτέρω ανάπτυξη της διαδικτυακής εφαρμογής Strabo.

7. Disclaimer

Η διαδικτυακή εφαρμογή Strabo, δεν διατίθεται ελεύθερα στο διαδίκτυο. Η χρήση της, για οικονομικούς κυρίως λόγους που θα αναλυθούν στη συνέχεια, περιορίζεται σε ακαδημαϊκό πλαίσιο. Οπότε δεν είναι προσβάσιμη ελεύθερα μέσω κάποιου εξυπηρετητή διαδικτύου(web browser). Ωστόσο, για ερευνητικούς σκοπούς, η δημοσιοποίηση του Strabo έχει τελεστεί για περιορισμένο χρονικό διάστημα.

Παρόλαυτα, ο πηγαίος κώδικας της εφαρμογής(MIT License) φυλάσσεται σε ιδιωτικό αποθετήριο(repository) στο Github.

8. Θεμελιώδεις Έννοιες

- **Τηλεπισκόπηση(Remote Sensing)[1, 2]:** Η επιστημονική και τεχνολογική διαδικασία παρατήρησης και μελέτης των χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας από απόσταση, βάσει της αλληλεπίδρασης των υλικών που βρίσκονται επάνω σε αυτή με χρήση των ιδιοτήτων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Περισσότερο περιληπτικά, είναι η συλλογή πληροφορίας χωρίς φυσική επαφή με αυτό που παρατηρείται, αλλά δια μέσω χρήσης μεσών τηλεπισκόπησης.
- **Μέσα τηλεπισκόπησης-Αισθητήρες(Remote Sensing Means):** Τα εργαλεία, οι συσκευές και τα μέσα που χρησιμοποιούνται για να εξετάσουν αντικείμενα ή γεωγραφικές περιοχές από απόσταση. Σε αυτά, περιλαμβάνονται όλων των ειδών οι κάμερες, από οπτικές μέχρι και θερμικές, ενώ παράλληλα, αποδεκτά είναι τα radars και τα sonars.

- **Παρατήρηση της Γης(Earth Observation)[3]:** Η συλλογή πληροφοριών σχετικά με φυσικά, χημικά και βιολογικά συστήματα της Γης, χρησιμοποιώντας δορυφόρους που φέρουν αισθητήρες. Άρα, αποτελεί ουσιαστικά τη λήψη δεδομένων για τη Γη αξιοποιώντας remote sensing τεχνολογίες.
- **Χρόνος Επανεμφάνισης - Περίοδος(Revisit Time)[4]:** Από τη σκοπιά του δορυφόρου, ο χρόνος επανεμφάνισης, είναι ο χρόνος που έχει περάσει, προτού ο δορυφόρος ακολουθήσει ξανά την πορεία του, παρατηρώντας το ίδιο ακριβώς σημείο στην επιφάνεια του εδάφους. Αυτό του δίνει τη δυνατότητα, να ακολουθήσει διαφορετικές στρατηγικές, παρατηρώντας στην πορεία του και άλλα γεωγραφικά σημεία εκτός από το προκαθορισμένο και βγαίνοντας σύντομα από αυτή. Από την άποψη ενός χρήστη των δεδομένων που παράγει ο δορυφόρος, η περίοδος ορίζεται ως το χρονικό διάστημα αναμονής για να μπορέσει το δορυφορικό σύστημα να παρατηρήσει το ίδιο σημείο στη Γη.
- **Χωρική Ανάλυση(Spatial Resolution)[5]:** είναι ο βαθμός λεπτομέρειας ή η ακρίβεια με την οποία ο εκάστοτε δορυφόρος που παρακολουθεί την επιφάνεια ενός πλανήτη, μπορεί να ανιχνεύσει αντικείμενα. Για παράδειγμα, χωρική ανάλυση ίση με 10m αποσκοπεί στην ανίχνευση μικρών αντικειμένων, όπως δένδρα ή μικρές δομές. Αντίθετα, στα 60m καλύπτεται μεγαλύτερη περιοχή και άρα μικρότερη λεπτομέρεια σε επιμέρους μεμονωμένα αντικείμενα. Οπότε, είναι φανερό ότι ανάλογα την εφαρμογή, οι ανάγκες για χωρική ανάλυση διαφέρουν.
- **Πλάτος λωρίδας(Swath Width)[5]:** είναι το πλάτος που καλύπτει ο δορυφόρος κατά τη διάρκεια διέλευσης του πάνω από την επιφάνεια της Γης. Αυτό μετριέται συνήθως σε χιλιόμετρα και σε συνδυασμό με τη χωρική ανάλυση καθορίζει το εμβαδόν της επιφάνειας της Γης που λαμβάνει δεδομένα ο δορυφόρος. Ουσιαστικά, για το χρόνο διέλευσης του εκάστοτε δορυφόρου το εμβαδόν της περιοχής που καλύπτεται είναι $\text{χωρική ανάλυση} \times \text{πλάτος λωρίδας}$.

2.1. Εισαγωγή

Είναι ευνόητο ότι, η παρατήρηση αυτών που συμβαίνουν στη Γη αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής του ανθρώπου. Σε κάθε φυσικό φαινόμενο που λαμβάνει χώρα, τα ανθρώπινα αισθητήρια όργανα με σημαιοφόρο τα μάτια λαμβάνουν τα παραγόμενα ερεθίσματα-δεδομένα, ενώ συγχρόνως, σηματοδοτούν το εναρκτήριο λάκτισμα για την επεξεργασία και τη χρήση αυτών, σε περαιτέρω διερευνητικές διαδικασίες με σκοπό πάντα το ανθρώπινο κέρδος.

Για παράδειγμα, σε περίπτωση εκδήλωσης κάποιας φυσικής καταστροφής όπως μιας πυρκαγιάς, οι άνθρωποι ωθούνται στην παρακολούθηση των τεκταινομένων κατά την εξέλιξη της και στη χρήση αυτών για διερεύνηση του τρόπου που εκτυλίσσεται η πυρκαγιά ώστε να καταπολεμηθεί και να αποφευχθούν όσο το δυνατόν περισσότερες ζημιές.

Αξίζει, βέβαια, να αναφερθεί, ότι στην περίπτωση αυτή, τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται προκύπτουν και από ενδεχόμενη εμπειρία προηγούμενων πυρκαγιών. Ωστόσο, το εύρος και η ποιότητα των τελικών πληροφοριών δεν επαρκούν, εμποδίζοντας τις περισσότερες φορές, την άμεση και ορθή λήψη αποφάσεων.

Για αυτό το λόγο, τα ηνία αναλαμβάνει η τεχνολογία, η οποία όπως θα αναλυθεί και στη συνέχεια, έχει αποδειχθεί ως ο κατάλληλος σύμμαχος για να αρθούν σε ικανοποιητικό βαθμό, οι ανθρώπινοι περιορισμοί.

Ουσιαστικά, η ανάπτυξη ειδικών ψηφιακών αισθητήρων, που αποτελούν τα σύγχρονα πλέον “μάτια” και η εξέλιξη της ψηφιακής επεξεργασίας των δεδομένων, οδηγούν στην αναθεώρηση της έννοιας της “Παρατήρησης της Γης”, προσδίδοντας της πιο ολοκληρωμένη δομή και επεκτείνοντας τις ερευνητικές δυνατότητες. Αυτό συμβαίνει διότι, πλέον, τα δεδομένα είναι ποικιλόμορφα και πληθώρα, ενώ η πρόσβαση σε αυτά πιο οργανωμένη και άμεση.

Είναι, επίσης, ουσιαστικό να επισημανθεί, ότι στην περίπτωση των φυσικών καταστροφών και δη των πυρκαγιών, η τεχνολογία συμβάλλει όχι μόνο στην έγκαιρη και αποτελεσματική αντιμετώπιση τους. Εξαιτίας του πλούσιου μείγματος πληροφοριών εντός των δεδομένων που καταγράφονται και επεξεργάζονται, δίνεται η δυνατότητα να διογκωθεί, σε μεγάλο βαθμό, η ανθρώπινη περιέργεια προς διάφορες και πιο σύνθετες ερευνητικές κατευθύνσεις, πέρα της απλής αντιμετώπισης των καταστροφών. Από τη σύλληψη, δηλαδή, ενός ολοκληρωμένου πλάνου για την αναβίωση της βλάστησης ύστερα, μέχρι και την χωροταξική οργάνωση της περιοχής ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι επιπτώσεις μελλοντικών φυσικών καταστροφών.

Ολοκληρώνοντας, αναφορικά με τους σκοπούς της προκειμένης εργασίας, γίνεται ευδιάκριτο ότι όλα τα παραπάνω, που συμπληρώνουν και την έννοια της τηλεπισκόπησης (Remote Sensing), αποτελούν τον πυρήνα των μετέπειτα θεωρητικών επιλογών που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Οπότε, πρόκειται να εξεταστούν εις βάθος.

Συνεπώς, προς αυτή την κατεύθυνση, εκκινώντας από τα μέσα τηλεπισκόπησης της Γης, πραγματοποιείται η επόμενη χαρακτηριστική ταξινόμηση.

2.2. Φορείς Τεχνολογιών Τηλεπισκόπησης

- **Επίγειοι(Ground-based)[7]:** Πρόκειται για οτιδήποτε επί της Γης, από κινητές συσκευές, ανθρώπους μέχρι και ζώα, που φέρουν πάνω τους αισθητήρες.
- **Εναέριοι(Airborne)[7]:** Αφορούν επανδρωμένα και μη αεροσκάφη, συστήματα τηλεκατευθυνόμενων αεροσκαφών(π.χ. drones), αλλά και οποιοδήποτε ιπτάμενο αντικείμενο με μέσα τηλεπισκόπησης.
- **Διαστημικοί(Spaceborne)[7]:** Περιλαμβάνουν δορυφόρους, διαστημόπλοια και διαστημικούς σταθμούς που έχουν στο “οπλοστάσιο” τους πληθώρα τεχνολογιών και άρα, μεσών τηλεπισκόπησης.

Συγκρίνοντας τα παραπάνω και λαμβάνοντας υπόψιν την ανάγκη κάλυψης ευρείας περιοχής από τα όργανα τηλεπισκόπησης για τις περισσότερες εφαρμογές που αφορούν την “Παρατήρηση της Γης”, είναι εύλογο να ειπωθεί ότι στην ερευνητική διαδικασία επικρατούν περισσότερο τα εναέρια και διαστημικά μέσα έναντι των επίγειων. Μεταξύ αυτών των δύο, ωστόσο, υπάρχουν επιμέρους πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που οφείλουν να αναλυθούν. Ειδικότερα, η χρήση αεροπλάνων για σκοπούς τηλεπισκόπησης, παρέχει ευκολία προσαρμογής στις ανάγκες των χρηστών, αλλά ενέχει απαγορευτικό κόστος ως προς την επάνδρωση και συντήρηση τους[8]. Συγχρόνως, η ενδεχόμενη χρήση συστημάτων τηλεκατευθυνόμενων αεροσκαφών, επιλύει μεν το πρόβλημα του κόστους, αλλά λόγω περιορισμών είτε τεχνικών είτε πολιτικών(ελευθερία πτήσης πάνω από περιοχές), οι δραστηριότητες τους περιορίζονται σημαντικά[8]. Από την άλλη πλευρά, η χρήση διαστημικών φορέων επιτρέπουν συνεχή και παγκόσμια κάλυψη, με πλήθος αισθητήρων. Ενώ, ανάμεσα τους, οι δορυφόροι δεν απαιτούν επιπλέον, κοστοβόρες συντηρήσεις. Παράλληλα, έχουν μεγάλο προσδόκιμο ζωής και το κόστος κατασκευής και εκτόξευσης τους έχει μειωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια[8].

Όπως είναι λογικό, λοιπόν, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται περισσότερο στους δορυφόρους και στην αξιοποίηση τους για σκοπούς τηλεπισκόπησης.

2.3. Δορυφόροι

Σήμερα, οι εκατοντάδες δορυφόροι που στρέφονται γύρω από τη Γη και αποσκοπούν στην “Παρατήρηση της Γης” διαφέρουν ως προς τα επόμενα βασικά χαρακτηριστικά[9].

- **Τροχιά(orbit)**
- **Χρόνος επανεμφάνισης-περίοδος(revisit time)**
- **Συστήματα τηλεπισκόπησης(imaging systems)**

Αυτά τα 3 κύρια χαρακτηριστικά διαφοροποιούν τους δορυφόρους περαιτέρω, αφού συνδέονται άρρηκτα με το σκοπό της αποστολής τους και άρα εξετάζονται στη συνέχεια.

2.3.1. Τροχιά

Η τροχιά των δορυφόρων αναφέρεται στην πορεία που ακολουθούν οι τεχνητοί δορυφόροι καθώς κινούνται γύρω από πλανήτες, φυσικούς δορυφόρους ή άλλα αστρικά αντικείμενα στο διάστημα. Οι τροχιές των δορυφόρων είναι προσεκτικά υπολογισμένες πορείες που επιτρέπουν στους δορυφόρους να παραμένουν σταθεροί σε σχέση με το

αντικείμενο που παρακολουθούν ή να περιφέρονται γύρω από αυτό. Παρακάτω, κατανέμονται οι δορυφόροι, με βάση τα είδη των τροχιών τους[10].

- **Γεωσταθερή τροχιά(Geostationary orbit-GEO)[10]:** Οι δορυφόροι σε γεωσταθερή τροχιά περιστρέφονται γύρω από τη Γη, πάνω από τον ισημερινό, από τα δυτικά προς τα ανατολικά, ακολουθώντας την περιστροφή της Γης. Συγχρόνως, τοποθετούνται σε υψόμετρο περίπου 35.800 χιλιόμετρα από την επιφάνεια της Γης και με ταχύτητα κοντά στα 3 χιλιόμετρα ανά δευτερόλεπτο. Αυτό καθιστά τους συγκεκριμένους δορυφόρους "σταθερούς" πάνω από μια σταθερή τοποθεσία, για να καταγράφουν διαρκώς, ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό τμήμα της Γης ανά τακτά χρονικά διαστήματα(σχεδόν κάθε 30 λεπτά). Ως προς τη χρησιμότητα τους, οι γεωσταθεροί δορυφόροι συμβάλουν ουσιαστικά σε προγνώσεις καιρού για την περιοχή που "επιβλέπουν".
- **Μεσαία τροχιά Γης(Medium Earth orbit-MEO)[10]:** Οι δορυφόροι σε μεσαία τροχιά γυρίζουν γύρω από τη Γη σε υψόμετρο μεταξύ 1.000 χιλιομέτρων και 35.800 χιλιομέτρων, με τον χρόνο επανεμφάνισης(περίοδος) να καθορίζεται, προφανώς, από το υψόμετρο της τροχιάς τους. Ωστόσο, οι δορυφόροι ενδιαφέροντος, δηλαδή αυτοί για την "Παρατήρηση της Γης", δεν χρησιμοποιούν αυτήν την τροχιά. Περισσότερο, οι δορυφόροι πλοήγησης, όπως το ευρωπαϊκό σύστημα Galileo ή το αμερικανικό GPS, βρίσκονται σε τέτοια τροχιά γύρω από τη Γη.
- **Χαμηλή τροχιά Γης(Low Earth orbit-LEO):** Οι δορυφόροι σε χαμηλή τροχιά περιστρέφονται σε απόσταση πολύ κοντινή στην επιφάνεια της Γης, σε υψόμετρο από 200 χιλιόμετρα έως 1.000 χιλιόμετρα και με ταχύτητα περίπου 7,8 χιλιόμετρα ανά δευτερόλεπτο[10]. Σε αυτή την ταχύτητα, ένας δορυφόρος χρειάζεται περίπου 90 λεπτά για να περιστραφεί γύρω από τη Γη[10]. Έτσι, κάνει σχεδόν 16 περιφορές γύρω από τη Γη καθημερινά[10]. Σκοπός αυτών των δορυφόρων, κυρίως η ενίσχυση των τηλεπικοινωνιών, αλλά λόγω χαμηλής απόστασης από τη Γη έχουν μειονεκτήματα στο γεωγραφικό εύρος που καλύπτουν[11]. Οπότε, χρειάζεται πλήθος από αυτούς σε συστοιχία[11]. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το Starlink της SpaceX που απαρτίζεται σήμερα, από 5000 δορυφόρους σε συνεχή συστοιχία.[12].
- **Ηλιακά συγχρονισμένη τροχιά(Sun-synchronous orbit-SSO)[10]:** Πρόκειται για ένα συγκεκριμένο είδος δορυφόρων της προαναφερθείσας χαμηλής τροχιάς της Γης. Εδώ οι δορυφόροι περιφέρονται από βόρεια προς νότια, σε υψόμετρο τροχιάς ανάμεσα σε 600 με 800km και με ταχύτητα περίπου 7.5km/sec. Βασικό τους χαρακτηριστικό είναι, ότι βρίσκονται πάντα στην ίδια "σταθερή" θέση ως προς τον ήλιο. Αυτό σημαίνει πως οι δορυφόροι "επισκέπτονται" το ίδιο γεωγραφικό μέρος την ίδια τοπική ώρα. Αναφορικά με το σκοπό τους, μια μεγάλη μερίδα δορυφόρων αυτής της κατηγορίας, εστιάζουν στην "Παρατήρηση της Γης" και στα γεωλογικά φαινόμενα που τελούνται σε αυτή.

2.3.2. Χρόνος επανεμφάνισης-Περίοδος

Ως προς την περίοδο περιστροφής, η παρακάτω ταξινόμηση πραγματοποιείται[10].

- **Υψηλός χρόνος επανεμφάνισης(High revisit time): < 3 μέρες**
- **Μέσος χρόνος επανεμφάνισης(Medium revisit time): 4 - 16 μέρες**
- **Χαμηλός χρόνος επανεμφάνισης(Low revisit time): > 16 μέρες**

2.3.3. Συστήματα Τηλεπισκόπησης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι δορυφόροι φέρουν όργανα τηλεπισκόπησης, τα οποία είναι ιδιαίτερα ουσιώδη ως προς την επιστημονική εφαρμογή που εξυπηρετούν στο πλαίσιο της “Παρατήρησης της Γης”. Συνεπώς, ένα επιπλέον κριτήριο διαχωρισμού των δορυφόρων, είναι τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων που φέρουν. Για να γίνει, βέβαια, ο διαχωρισμός αυτός δυνατός, απαιτείται πρώτα μία θεωρητική εισαγωγή σε κάποιες βασικές έννοιες.

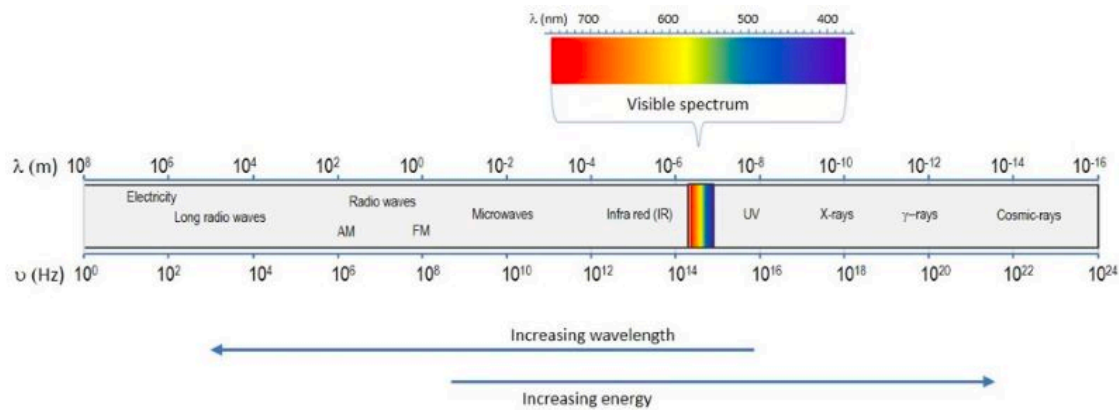
2.3.3.1. Θεωρητική Βάση

Τα συστήματα τηλεπισκόπησης της Γης στηρίζονται κατά κύριο λόγο στη δύναμη της grayscale φωτογραφίας. Αυτή, είναι ένας πίνακας από μεμονωμένα εικονοστοιχεία (pixels), που αναπαριστούν τη φωτεινότητα μίας συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής για ένα ορισμένο εύρος μηκών κύματος του Η/Μ φάσματος[4].



Εικόνα 1: Παράδειγμα grayscale φωτογραφίας

Ως προς το Η/Μ φάσμα, αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως η πλήρης γκάμα των διαφορετικών “φωτών” που υπάρχουν στο σύμπαν[4]. Αυτό, αποτυπώνεται μέσω των διαφορετικών συχνοτήτων ή μηκών κύματος, που οδηγούν στο διαχωρισμό των “φωτών” σε “συλλογές” (π.χ. υπεριώδες, υπέρυθρο κλπ.). Εδώ, αξίζει να αναφερθεί ότι, τα ανθρώπινα μάτια δεν μπορούν να συλλάβουν, παρά ένα μικρό μέρος του Η/Μ φάσματος. Ωστόσο, για τους σκοπούς “Παρατήρησης της Γης”, τα διάφορα εύρη συχνοτήτων/μηκών κύματος φέρουν ποικιλόμορφες πληροφορίες ενισχύοντας τις ερευνητικές διαδικασίες.



Εικόνα 2: Η/Μ φάσμα

2.3.3.2. Τεχνολογικά χαρακτηριστικά

Το στοιχειώδες τεχνολογικό χαρακτηριστικό που περιγράφει τα αρμόδια τεχνολογικά συστήματα για την “Παρατήρηση της Γης”, είναι η χωρική ανάλυση (spatial resolution). Αυτή, καθορίζει το μέγεθος του κάθε εικονοστοιχείου (pixel) των δορυφορικών εικόνων που λαμβάνονται από τα μέσα τηλεπισκόπησης των δορυφόρων, για μία συγκεκριμένη επιφάνεια στη Γη. Ουσιαστικά, περιγράφει την ικανότητα διαχωρισμού μικρών χωρικών λεπτομερειών στην επιφάνεια της Γης.

Συνεπώς, ανάλογα με τη χωρική ανάλυση (spatial resolution) της εικόνας, τα μέσα τηλεπισκόπησης ταξινομούνται ως εξής[5]:

- Πολύ υψηλή χωρική ανάλυση: $< 1 \text{ m}$,
- Υψηλή χωρική ανάλυση: $1 - 5 \text{ m}$,
- Μέση χωρική ανάλυση: $5 - 100 \text{ m}$,
- Χαμηλή χωρική ανάλυση: $> 100 \text{ m}$.

Ένα άλλο ουσιαστικό χαρακτηριστικό που συνδέεται στενά με τη χωρική ανάλυση, αποτελεί το πλάτος λωρίδας (swath width)[5]. Αυτό, περιγράφει το πραγματική γεωγραφική έκταση που καλύπτει η περιοχή που απεικονίζεται στην εκάστοτε ληφθείσα δορυφορική φωτογραφία[5].

Ειδικότερα, ο τρόπος που συνδέονται οι δύο παραπάνω έννοιες της χωρικής ανάλυσης και του πλάτους λωρίδας ακολουθεί, συνήθως, τον παρακάτω κανόνα.

Οι αισθητήρες-κάμερες απεικόνισης χαμηλής χωρικής ανάλυσης έχουν μεγάλο πλάτος λωρίδας. Αυτό μπορεί να προσεγγίσει έως και χιλιάδες χιλιόμετρα[5]. Ενώ οι αισθητήρες-κάμερες απεικόνισης πολύ υψηλής ανάλυσης έχουν μικρό πλάτος λωρίδας, της τάξης των δεκάδων χιλιομέτρων[5].

Όπως, είναι λογικό, κάμερες απεικόνισης πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης απαιτούνται συνήθως για εφαρμογές που χρειάζονται αρκετές λεπτομέρειες για μια συγκεκριμένη τοποθεσία, όπως πιθανώς, τη μελέτη κτηρίων που έχουν υποστεί ζημιές από σεισμό[5].

Αντίθετα, κάμερες απεικόνισης με χαμηλή χωρική ανάλυση που διαθέτουν ευρεία γεωγραφική κάλυψη χρησιμοποιούνται για ερευνητικές εφαρμογές που αφορούν φυσικά φαινόμενα με χώρο δράσης μεγάλα εύρη περιοχών[5].

Καταληκτικά, κάμερες απεικόνισης μέσης χωρικής ανάλυσης, δηλαδή με μέγεθος εικονοστοιχείου(pixel) μεταξύ 10 m και 30 m, έχουν συνήθως μια διαδρομή περίπου 200-300 km[5], το οποίο είναι συχνά ένας καλός συμβιβασμός για πολλές ανάγκες εφαρμογών.

2.3.3.3. Κατηγορίες συστημάτων τηλεπισκόπησης

Η κύρια διαφοροποίηση, ωστόσο, ανάμεσα στα εξεταστέα συστήματα τηλεπισκόπησης έγκειται στη φύση των αισθητήρων που φέρουν. Αυτή περιορίζεται στις δυο κατηγορίες ενεργά(active) ή παθητικά(passive).

2.3.3.3.1. Active Sensing

Στα ενεργά συστήματα απεικόνισης, τα όργανα αποτελούνται από έναν πομπό που εκπέμπει ένα συγκεκριμένο ηλεκτρομαγνητικό σήμα και από έναν αισθητήρα που λαμβάνει την αλληλεπίδραση του σήματος με την επιφάνεια της Γης[9,13]. Αξίζει να αναφερθεί, ότι τέτοιες παρατηρήσεις δεν εξαρτώνται από τον ηλιακό φως[13], ενώ οι πιο βασικές κατηγορίες τέτοιων αισθητήρων είναι:

- **Synthetic Aperture Radar(SAR)**

Ο πιο συνηθισμένος ενεργός αισθητήρας που χρησιμοποιείται για την “Παρατήρηση της Γης” είναι το ραντάρ συνθετικού διαφράγματος(Synthetic Aperture Radar-SAR). Αυτό το όργανο τηλεπισκόπησης λειτουργεί μεταδίδοντας ηλεκτρομαγνητικούς παλμούς σε μικροκυματικές(microwave) συχνότητες, στην επιφάνεια της Γης, οι οποίοι με τη σειρά τους αντανακλώνται ή διασκορπίζονται από αυτή και ανιχνεύονται από την κεραία του οργάνου[13].

Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούν SAR αισθητήρες, αφορούν κυρίως ανίχνευση πλοίων ή πετρελαιοκηλίδων, παρακολούθηση θαλάσσιου πάγου, υγρασία εδάφους κλπ[13].

- **Lidar**

Το Lidar(Light Detection And Ranging) χρησιμοποιεί την ίδια αρχή με το SAR αλλά λειτουργεί εκπέμποντας παλμούς με μήκη κύματος σε υπέρυθρο, ορατό ή υπεριώδες[13].

Οι Lidar αισθητήρες χρησιμοποιούνται, κυρίως, για την ακριβή μέτρηση κάποιων τοπογραφικών χαρακτηριστικών, την παρακολούθηση της ανάπτυξης ή της παρακμής των παγετώνων, τη δημιουργία προφίλ νεφών, τη μελέτη αερολυμάτων και την ποσοτικοποίηση διαφόρων ατμοσφαιρικών συστατικών[13].

2.3.3.3.2. Passive Sensing

Αυτοί οι αισθητήρες έχουν σχεδιαστεί να ανιχνεύουν ηλεκτρομαγνητικές εκπομπές από συστατικά είτε της επιφάνειας της Γης είτε της ατμόσφαιρας[14]. Ουσιαστικά, λαμβάνουν είτε θερμική ακτινοβολία που εκλύεται από τον πλανήτη (π.χ. βλάστηση), είτε ηλιακή ακτινοβολία που ανακλάται από τη γη και επιστρέφει στο διάστημα, με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες(π.χ. ύπαρξη συννέφων) να διαδραματίζουν ουσιώδη ρόλο στην ομαλή λειτουργία τους[14].

Σε αυτή την κατηγορία, ανάλογα με το εύρος φάσματος που απασχολεί τον τρόπο λήψης των φωτογραφιών, διακρίνονται τα επόμενα είδη.

- **Panchromatic Sensors**

Πρόκειται για αισθητήρες που χαρακτηρίζονται από λήψη των ομώνυμων εικόνων. Αυτές, είναι το αποτέλεσμα της μέτρησης της έντασης του φωτός σε μία ευρεία ζώνη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος[9]. Ουσιαστικά, συλλέγεται μεγάλη ποσότητα ενέργεια κατά τη λήψη κάποιας εικόνας και ως εκ τούτου είναι υψηλής ανάλυσης[14].

- **Multi-Spectral Sensors**

Απασχολούν τη λήψη πολυφασματικών εικόνων, γεγονός που υποδηλώνει την τηλεπισκόπηση μιας παρατηρούμενης περιοχής σε πολλές στενές ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος[14]. Ουσιαστικά, συλλέγεται ένα σύνολο από grayscale εικόνες, μία δεδομένη χρονική στιγμή, μέσω του ανακλώμενου, στην περιοχή αυτή, φωτός, σε συγκεκριμένο φασματικό εύρος[6]. Δεδομένου ότι, το εύρος των μηκών κύματος που συμβάλλουν στη συνολική ενέργεια ακτινοβολίας που ανιχνεύεται από τον αισθητήρα είναι μικρό, τα πολυφασματικά όργανα θα πρέπει συνήθως να συλλέγουν ενέργεια σε μεγαλύτερες χωρικές εκτάσεις για να «γεμίσουν» τον ανιχνευτή απεικόνισης, με αποτέλεσμα χαμηλότερη ανάλυση από τις πανχρωματικές εικόνες[14].

Ως προς τις ζώνες μήκους κύματος, πολλοί συνδυασμοί είναι δυνατοί. Αυτό εξαρτάται, προφανώς, από τις πληροφορίες που πρέπει να εξαχθούν[14]. Άρα, δεν περιορίζεται λόγου χάρη, στο ορατό εύρος ζώνης[14].

Χαρακτηριστικά παραδείγματα:

Μέσω της χρήσης υπέρυθρων βραχέων κυμάτων, κοντά στο υπέρυθρο και πράσινο, μπορούν να αναδειχθούν πληροφορίες για πλημμύρες ή πρόσφατα καμμένη γη[14].

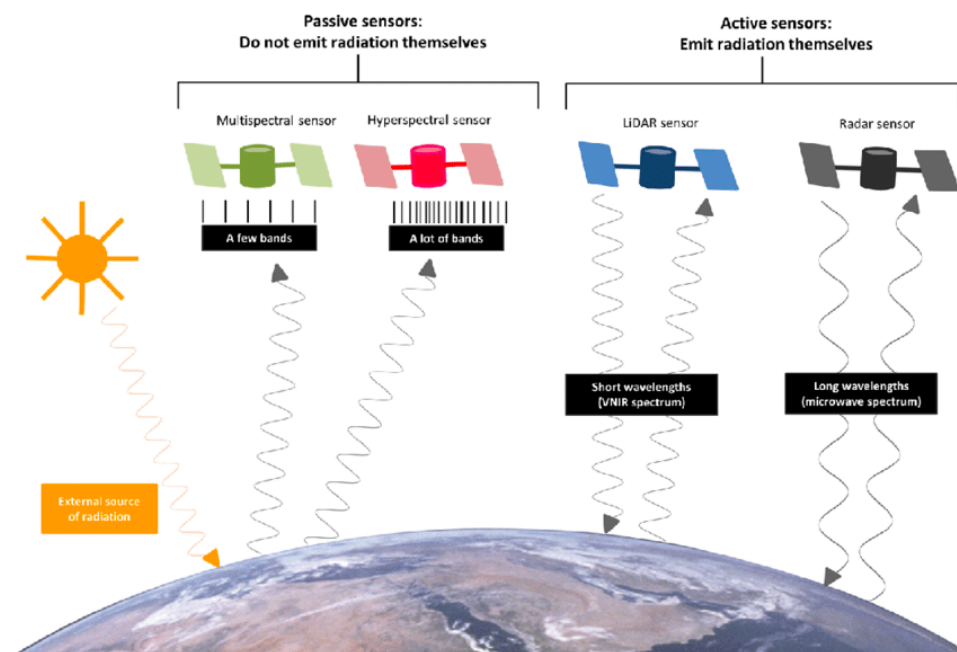
Ενώ, στο μπλε, κοντά στο υπέρυθρο και στο μεσαίο υπέρυθρο(κόκκινο), χρησιμεύει στο να απεικονίσει σε μία εικόνα την κάλυψη βλάστησης και την παρουσία πυρκαγιών[14].

- **Pan-Sharpened Sensors**

Το pan-sharpening είναι μια αριθμητική διαδικασία που συγχωνεύει πολυφασματικές εικόνες με πανχρωματικές εικόνες για να παρέχει έγχρωμες εικόνες υψηλής ανάλυσης[14]. Αυτή η τεχνική είναι χρήσιμη για επίτευξη υψηλής τελικής ανάλυσης εικόνας, αφού συνδυάζεται η φασματική ανάλυση εικόνων πολλαπλών φασμάτων με τη βελτιωμένη χωρική ανάλυση των πανχρωματικών εικόνων[14]. Οπότε, οι pan-sharpened αισθητήρες υποστηρίζουν την προαναφερθείσα διαδικασία.

- **Hyper-Spectral Sensors**

Σε αυτούς τους αισθητήρες, για κάθε εικονοστοιχείο(pixel) της τελικής εικόνας, λαμβάνεται η ένταση του φωτός για ένα σχεδόν συνεχές ηλεκτρομαγνητικό εύρος φάσματος[14]. Ουσιαστικά, αντί για χρήση μερικών στενών H/M φασματικών ζωνών, όπως συμβαίνει με τις multi-spectral φωτογραφίες, απathanatίζεται πληροφορία για μερικές δεκάδες μέχρι εκατοντάδες γειτονικά H/M εύρη φάσματος[14]. Με αυτό τον τρόπο, προάγεται η αναγνώριση υλικών στην επιφάνεια της Γης και η μελέτη βιολογικών



Εικόνα 3: Passive sensors vs Active sensors

2.3.4. Κριτήρια Επιλογής Δορυφόρου

Είναι φανερό ότι ανάλογα με το ερευνητικό πλαίσιο και τους εκάστοτε στόχους, τα κριτήρια επιλογής δορυφόρου ποικίλλουν. Για τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, το παρόν υποκεφάλαιο ορίζει τις κατευθυντήριες γραμμές προσδιορισμού του δορυφόρου ενδιαφέροντος.

Ως αποτέλεσμα, λοιπόν, μπορεί να ειπωθεί ότι ο δορυφόρος ή το σύστημα δορυφόρων που θα χρησιμοποιηθεί οφείλει να φέρει τα επόμενα χαρακτηριστικά:

- **Ηλιακά συγχρονισμένη τροχιά(SSO):** Δεδομένου ότι οι συγκεκριμένοι δορυφόροι αφορούν κυρίως παρατήρηση γεωλογικών φαινομένων στη Γη, αποτελούν την ιδανική επιλογή για τη δεδομένη εργασία και τη μελέτη των φυσικών καταστροφών.
- **Υψηλός χρόνος επανεμφάνισης(High Revisit Time):** Λόγω ανάγκης επίκαιρων φωτογραφιών, σε οποιαδήποτε ερευνητική εφαρμογή εξυπηρετείται δια μέσου της διαδικτυακής εφαρμογής που περιγράφει η προκειμένη εργασία, επιτακτική είναι η χρήση όσο το δυνατόν πιο σύγχρονων δεδομένων.
- **Μέση χωρική ανάλυση:** Εφόσον, οι φυσικές καταστροφές σε ευρεία γεωγραφικά πεδία αποτελούν το πεδίο ενδιαφέροντος στην προκειμένη εργασία, δεν απαιτείται υψηλή χωρική ανάλυση(spatial resolution). Επιπρόσθετα, ούτε η χαμηλή χωρική ανάλυση(spatial resolution) είναι ιδανική λόγω κακής ποιοτικά τελικής πληροφορίας.
- **Passive Sensing:** Μέσω αυτής της διαδικασίας, επιτυγχάνεται η ποικιλομορφία στα ληφθέντα δεδομένα, αφού συλλέγονται πληροφορίες από διάφορα εύρη ζώνης του Η/Μ φάσματος. Ως αποτέλεσμα, εξυπηρετούνται οι ανάγκες διαφόρων ερευνητικών διεργασιών που αποτελεί και την ουσία της αναπτυχθείσας διαδικτυακής εφαρμογής.

3.1. Θεμελιώδεις Έννοιες

Εδώ, θα παρουσιαστούν συγκεντρωμένα κάποιες θεμελιώδεις έννοιες χρήσιμες για την κατανόηση αυτού του κεφαλαίου.

- Ραδιομετρική ή Ακτινομετρική Διόρθωση[15]: Πρόκειται για μία διαδικασία που χρησιμοποιείται στην προεπεξεργασία(preprocessing) των δεδομένων που λαμβάνονται από αισθητήρες. Επιδρά πάνω στα κύματα που διαδίδονται μεταξύ του αισθητήρα και του αντικειμένου που παρακολουθείται στο έδαφος και τα οποία ενδέχεται να έχουν παραμορφωθεί για παράδειγμα λόγω παρέμβασης της ατμοσφαιρικής ανακλαστικότητας, των καιρικών συνθηκών αλλά και θορύβου του ίδιου του αισθητήρα. Στην περίπτωση της διπλωματικής εργασίας, που γίνεται χρήση τηλεπισκόπησης της επιφάνειας της Γης, τα μαθηματικά μοντέλα που επιστρατεύονται για αυτές τις διορθώσεις, είναι ιδιαίτερα σημαντικά, αλλά δεν αποτελούν αντικείμενο μελέτης.

3.2. Δορυφόροι

Ιστορικά, το ενδιαφέρον της ESA για την παρατήρηση της γης ξεκινάει από πολύ παλιά. Στις 17 Ιουλίου του 1991 εκτοξεύθηκε ο πρώτος δορυφόρος υπό το όνομα ERS-1[16]. Φέροντας πλήθος αισθητήρων στο κέλυφος του κατάφερε να καταγράψει χρήσιμες πληροφορίες, ειδικά στο φάσμα των μικροκυμάτων, για διάφορες ερευνητικές εφαρμογές ξεπερνώντας κατά πολύ τον αρχικό του σκοπό αλλά και το προσδόκιμο ζωής του[16].

Στη συνέχεια ακολούθησαν και άλλες αποστολές με βελτιώσεις και νέα πιο εξελιγμένα όργανα για περαιτέρω καταγραφές δεδομένων όπως ο ERS-2 το 1995 και ο ENVISAT το 2002[17]. Ο τελευταίος, εξοπλίστηκε με μεγάλο πλήθος οργάνων για την εξυπηρέτηση ακόμα περισσότερων ερευνητικών διαδικασιών από τους προκατόχους του[17].

Ολοκληρώνοντας τον κύκλο τους όλες οι προαναφερθείσες αποστολές και χάνοντας την επικοινωνία, οι σταθμοί της ESA στη γη(ground stations), με τους προαναφερθέντες δορυφόρους πριν από περίπου μια δεκαετία[17], ο σχεδιασμός νέων αποστολών υπήρξε επιτακτικός. Ως αποτέλεσμα, ακολούθησε μία νέα εποχή παρακολούθησης του πλανήτη μέσω δορυφόρων. Πρόκειται για τις Sentinel αποστολές[18].

Πλέον, έχοντας μάθει από τα λάθη και τους περιορισμούς των προηγούμενων αποστολών, η ESA έχει πλαισιώσει κάθε νέο εγχείρημα με ένα ζεύγος δορυφόρων και με διαφορετικούς αισθητήρες ώστε να αποφύγει την περίπτωση μοναδικού σημείου αποτυχίας-SPOF(Single Point Of Failure), διαχωρίζοντας συγχρόνως και το σκοπό κάθε αποστολής/δορυφόρου[19].

3.2.1. Κατηγοριοποίηση αποστολών Sentinel

Τα ζεύγη αυτά των δορυφόρων με βάση τον αριθμό αποστολής τους και τα όργανα που φέρουν κατατάσσονται ως εξής[19]:

- Sentinel 1/2014[20]: Υποστηρίζεται από συστήματα ραντάρ-SAR, τα οποία ειδικεύονται σε εφαρμογές κυρίως ως προς τις υδάτινες περιοχές. Για παράδειγμα, παρακολουθήση του πάγου στη θάλασσα, στις λίμνες και στα ποτάμια, των παγόβουνων, των πετρελαίων που εκκρίνονται στη θάλασσα από πλοία κλπ. Ωστόσο, είναι χρήσιμο να αναφερθεί πως δύνανται να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες και για περιπτώσεις μελέτης της παραμόρφωση του εδάφους, από πλημμύρες ή σεισμούς.
- Sentinel 2/2015[21]: Πλαισιώνεται από πολυφασματικό όργανο-MSI που καταγράφει σε 13 φασματικές ζώνες(spectral bands) και σε χωρική ανάλυση(spatial resolution) 10m, 20m και 60m. Αφορά, κυρίως, εφαρμογές παρακολούθησης του εδάφους και εστιάζει σε περιπτώσεις κρίσεων από φαινόμενα φυσικών καταστροφών.
- Sentinel 3/2016[22]: Φέρει διάφορους αισθητήρες, από τους οποίους οι πιο χαρακτηριστικοί είναι τα OLCI(Ocean and Land Colour Instrument), SLSTR(Sea and Land Surface Temperature Radiometer). Μέσω αυτών εστιάζει περισσότερο σε θαλάσσιες εφαρμογές, όπως η παρακολούθηση του χρώματος των θαλασσών, η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας, η μελέτη των ωκεάνιων ρευμάτων και των δυναμικών των θαλάσσιων οικοσυστημάτων.
- Sentinel 4/2022[23]: Το βασικό όργανο που την πλαισιώνει είναι το UVN(Ultraviolet-Visible-Near Infrared): υψηλής ανάλυσης φασματόμετρο(high resolution spectrometer), που αφορά τη συλλογή δεδομένων για την ατμόσφαιρα και κυρίως των βλαβερών σωματιδίων σε αυτή. Άρα, εφαρμόζει κυρίως σε μελέτες για ρύπανση και γενικότερα για συγκέντρωση αέριων μαζών στην ατμόσφαιρα.
- Sentinel 5P/2017[24]: Αποτελεί προέκταση της αποστολής Sentinel 4 και πρόδρομος της Sentinel 5, αν και οι δορυφόροι εκτοξεύθηκαν χρονολογικά πριν από αυτούς της 4. Σκοπός, η συλλογή δεδομένων ίδιας μορφής με αυτών της Sentinel 4, εστιάζοντας ωστόσο στην ατμόσφαιρα συνολικά του πλανήτη και όχι μόνο της Ευρώπης.
- Sentinel 5/2021[25]: Έξελιξη της αποστολής 5P, με ίδιο στόχο.
- Sentinel 6/2020[26]: Κύριο όργανο αποτελεί το Συνθετικό Ραντάρ Αλτιμέτρου(Synthetic Aperture Radar Altimeter) POSEIDON-4. Πρωτεύον στόχος, η παροχή πληροφοριών με υψηλή ακρίβεια για την ωκεανογραφία παγκοσμίως, ενώ ως δευτερεύουσα αποστολή αποτελεί η τροφοδοσία δεδομένων για τη μελέτη της κλιματικής αλλαγής και της πρόγνωσης του καιρού.

Από τις παραπάνω αποστολές, είναι ξεκάθαρο ότι η Sentinel 2 αποτελεί την ιδανική επιλογή με βάση το πλαίσιο, τους σκοπούς και τα κριτήρια επιλογής δορυφόρου που έχουν παρατεθεί([κεφ.2.3.4](#)). Αυτό θα γίνει περισσότερο ευδιάκριτο και στη συνέχεια.

3.2.2. Sentinel 2

Η Sentinel 2 αποστολή αποτελείται μέχρι στιγμής από τον Sentinel-2A και Sentinel-2B(το 2024 θα εκτοξευθούν οι Sentinel-2C και Sentinel-2D)[28]. Το ζεύγος αυτό, φέρει στο κέλυφος του ένα πολυφασματικό όργανο-MSI, το οποίο καταγράφει εικόνες σε 13 φασματικές ζώνες(spectral bands), οι οποίες καλύπτουν το ορατό (B1, B2, B3, B4), το

ορατό αλλά κοντά στο υπέρυθρο(B5, B6, B7, B8, B8A) και τις υπέρυθρες περιοχές βραχέων κυμάτων (B9, B10, B11, B12) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος[27-29]. Κάθε spectral band επιτελεί συγκεκριμένο σκοπό και μπορεί να παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για την επιφάνεια της γης, με την εξαγωγή οπτικών δεικτών(visible indexes) όταν συνδυαστεί κατάλληλα με κάποιες από τις υπόλοιπες 12[27,29].

Από αυτές, οι ζώνες B2,B3,B4,B8 έχουν χωρική ανάλυση(spatial resolution) 10 μέτρων, οι B5,B6,B7,B8A,B11,B12 έχουν 20 μέτρα, ενώ οι υπόλοιπες έχουν 60 μέτρα[27-29].

Τα παραπάνω μπορούν να εντοπιστούν και στον επόμενο πίνακα.

Φασματική ζώνη	Χωρική ανάλυση	Κεντρικό μήκος κύματος	Η/Μ φάσμα
B1	60 m	443 nm	Ορατό
B2	10 m	490 nm	Ορατό
B3	10 m	560 nm	Ορατό
B4	10 m	665 nm	Ορατό
B5	20 m	705 nm	Ορατό κοντά στο υπέρυθρο
B6	20 m	740 nm	Ορατό κοντά στο υπέρυθρο
B7	20 m	783 nm	Ορατό κοντά στο υπέρυθρο
B8	10 m	842 nm	Ορατό κοντά στο υπέρυθρο
B8A	20 m	865 nm	Ορατό κοντά στο υπέρυθρο
B9	60 m	940 nm	Βραχέως μήκους κύματος
B10	60 m	1375 nm	Βραχέως μήκους κύματος
B11	20 m	1610 nm	Βραχέως μήκους κύματος
B12	20 m	2190 nm	Βραχέως μήκους κύματος

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά Δορυφόρων Sentinel 2

Παράλληλα, ο MSI αισθητήρας έχει πλάτος λωρίδας(swath width) 290 χιλιομέτρων[27]. Ενώ, επίσης, η τροχιά του ζεύγους και η ταχύτητα τους, τους επιτρέπει παγκόσμια κάλυψη με χρόνο επανεμφάνισης στο ίδιο σημείο(περίοδο) τις 5 ημέρες[28]. Καταληκτικά, αξιοσημείωτο είναι, ότι με την προσθήκη των δύο νέων δορυφόρων το 2024, ο χρόνος θα μειωθεί στο μισό(2.5 ημέρες)[28].

Καταληκτικά, οι Sentinel 2 δορυφόροι ανήκουν στην κατηγορία των SSO δορυφόρων[30], πληρώνοντας καθαυτό τον τρόπο και το τελευταίο κριτήριο επιλογής δορυφόρου για την εφαρμογή Strabo.

Από τη μία πλευρά, οι Sentinel δορυφόροι συλλέγουν τα δεδομένα και τα αποθηκεύουν προσωρινά σε αποθηκευτικές μονάδες εντός του κελύφους τους. Από την άλλη πλευρά, η ESA, έχοντας τοποθετήσει στρατηγικά στον κόσμο δύο γεωστατικής τροχιάς(geostationary orbit) δορυφόρους(EDRS-A & EDRS-C) και ορισμένους επίγειους σταθμούς, αναμεταδίδει και τελικά αποστέλλει αυτά τα δεδομένα στα αρμόδια κέντρα[32]. Ουσιαστικά, έχει δομηθεί ένα πανευρωπαϊκό σύστημα αναμετάδοσης δεδομένων-EDRS(European Data Relay System)[32], το οποίο είναι διαρκώς συνδεδεμένο με τους Sentinel δορυφόρους. Με τον τρόπο λειτουργίας του EDRS, να στηρίζεται στη συνεχή σύνδεση των sentinel δορυφόρων με τους γεωστατικούς δια μέσω οπτικού laser link και στην επικοινωνία των τελευταίων, με επίγειους δορυφόρους μέσω Ka-band link[31,32].

Συνοπτικά, λοιπόν, αυτή η ροή(pipeline) που χαρακτηρίζει το EDRS, εκκινεί, τελικά, τη διαδικασία αποστολής των δεδομένων(data log streaming). Ως αποτέλεσμα, επιτυγχάνεται η αδιάλειπτη καταγραφή δεδομένων από τους δορυφόρους χωρίς κορεσμό του αποθηκευτικού τους χώρου, μεταφέροντας κρυπτογραφημένα και συμπιεσμένα περίπου 1,6TB καθημερινά[31].

Σε αυτό το στάδιο, πλέον στη γη, λαμβάνει χώρα η προεπεξεργασία των δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, όλα τα δεδομένα ανεξαρτήτως δορυφόρου, υπόκεινται σε έλεγχο σφαλμάτων και συνέπειας με προηγούμενα δεδομένα, επικύρωση και επαλήθευση της ποιότητας τους. Στη συνέχεια, ανάλογα με την αποστολή και άρα με τον τύπο των ληφθέντων δεδομένων, τα αρμόδια κέντρα εφαρμόζουν διαφορετικές τεχνικές για διορθώσεις(correction), για εξαγωγή μεταδεδομένων(metadata), για συμπίεση(compression) τους και γενικότερα για περαιτέρω επεξεργασία τους[33].

Ύστερα από αυτό, τα δεδομένα καταλήγουν στους χρήστες μέσα από πλατφόρμες διάθεσης τους, όπως το Sentinel Hub. Αυτές, υποστηρίζουν διάφορες επιπλέον χρήσιμες τεχνικές επεξεργασίας των δεδομένων ανάλογα με την ερευνητική εφαρμογή.

Ωστόσο, για τους σκοπούς της προκείμενης διπλωματικής εργασίας, θα αναλυθεί η επεξεργασία αποκλειστικά των Sentinel 2 δεδομένων από τα αρμόδια κέντρα της ESA μέχρι και το Sentinel Hub.

3.3.1. Κατηγοριοποίηση δεδομένων Sentinel 2

Τα δεδομένα Sentinel 2 δύναται να βρεθούν στα παρακάτω επίπεδα επεξεργασίας(levels), τα οποία αποτελούν και ροή επεξεργασίας(pipeline)[27,34].

Level-0: Ένα προϊόν Επιπέδου-0 χαρακτηρίζεται από πρωτογενή(raw) συμπιεσμένα δεδομένα. Αυτό σημαίνει ότι δεν έχει υποστεί κάποια ραδιομετρική(radiometric) διόρθωση και άρα δεν είναι άμεσα χρήσιμο σε κάποια ερευνητική εφαρμογή. Οπότε, δεν διατίθεται σε χρήστες μέσω του Sentinel Hub.

Level-1A: Ένα προϊόν Επιπέδου-1A αποτελείται από image tiles 25x23 km² που έχουν υποστεί κάποια βασική ραδιομετρική βαθμονόμηση(radiometric) και γεωμετρική

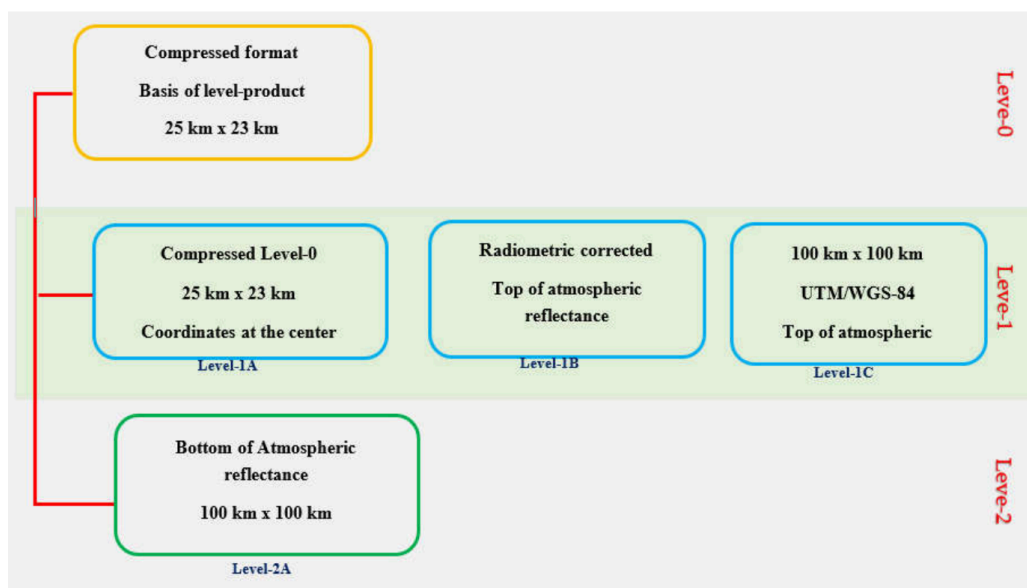
διόρθωση. Επίσης, δεν διατίθενται από το Sentinel Hub στους χρήστες, λόγω έλλειψης πρακτικότητας.

Level-1B: Ένα προϊόν Επιπέδου-1B αποτελείται από image tiles 25x23 km². Το προϊόν αυτό παρέχει ραδιομετρικά διορθωμένες εικόνες με TOA(Top Of Atmosphere) τιμές ακτινοβαθμίας(radiance values). Δεν διατίθεται στους χρήστες από το Sentinel Hub, για τον ίδιο λόγο με τα προηγούμενα επίπεδα.

Level-1C: Ένα προϊόν επιπέδου-1C παρέχει φωτογραφίες, με ορθοανηγμένη ανάκλαση TOA(orthorectified reflectance TOA) και με πολυφασματική εγγραφή σε υπο-εικονοστοιχεία(sub-pixel multispectral registration). Ουσιαστικά, αποτελείται από 100x100 km² tiles φωτογραφιών καθορισμένων με βάση τη UTM/WGS 84 προβολή. Αποτελεί το πρώτο επίπεδο που διατίθεται στους χρήστες μέσω Sentinel Hub.

Level-2A: Ένα προϊόν Επιπέδου-2A παρέχει φωτογραφίες, με επιπλέον διορθωμένη επιφανειακά ατμοσφαιρική ανάκλαση-BOA(Bottom Of Atmosphere) και με πολυφασματική εγγραφή σε υπο-εικονοστοιχεία(sub-pixels). Διατίθεται, επίσης, στους χρήστες μέσω Sentinel Hub.

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα διάφορα επίπεδα επεξεργασίας[27].



Εικόνα 4: Επίπεδα επεξεργασίας και μορφή Sentinel 2 δεδομένων

Από τις δύο διαθέσιμες επιλογές για χρήση (L1C, L2A), επιλέχθηκε η L2A. Αυτό, διότι εξαλείφονται οι επιπτώσεις της ατμόσφαιρας και προσδιορίζονται οι πραγματικές τιμές ανάκλασης του φωτός στη γη. Οπότε, αποτελούν τα κατάλληλα δεδομένα για την αξιολόγηση μεταβολών στο έδαφος εξαιτίας φυσικών καταστροφών, που είναι και το πεδίο μελέτης της συγκεκριμένης εργασίας.

Για να διευκολυνθεί η πρόσβαση στα δεδομένα των Sentinel δορυφόρων, η ESA συνεργάστηκε με τη εταιρεία Synergise, η οποία κατασκεύασε την πλατφόρμα Sentinel Hub. Εντός αυτής, αναπτύχθηκε το παρακάτω σύνολο από APIs υπό την ευρύτερη ονομασία του Sentinel Hub API[35].

Catalog API[36]: Πρόκειται για μέσο πρόσβασης στα μεταδεδομένα(metadata) διαθέσιμων συνόλων δεδομένων ή γενικότερα δορυφορικών εικόνων. Ανάλογα με το ερώτημα(query) καθορίζεται και η ακριβής δομή των δεδομένων που επιστρέφει. Συνήθως αυτή περιλαμβάνει δεδομένα τύπου: αναγνωριστικό συνόλου δεδομένων, κάποιος τίτλος, περιγραφή δεδομένων, χρονική κάλυψη, χωρική έκταση, μορφές δεδομένων κλπ.

Statistical API[37]: Χρησιμοποιείται για την πρόσβαση σε στατιστικά πάνω σε δορυφορικές εικόνες χωρίς την επιστροφή των φωτογραφιών αυτών. Για παράδειγμα, είναι δυνατός ο υπολογισμός, για μια συγκεκριμένη περιοχή και χρονική περίοδο, του ποσοστού εικονοστοιχείων(pixels) που καταλαμβάνουν τα σύννεφα, του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης των φασματικών ζωνών(spectral bands).

Batch Statistical API[38]: Λειτουργεί όπως το Statistical API, αλλά για εταιρικούς χρήστες(enterprise users) και αποσκοπεί στην ταυτόχρονη αίτηση(request) και εξυπηρέτηση(fetch) στατιστικών δεδομένων για πολλαπλές περιοχές και για πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Processing API[39]: Παρέχει τη δυνατότητα πρόσβασης σε μία περιοχή και εντός καθορισμένου χρονικού διαστήματος, σε δεδομένα level-1C ή level-2A με τον επιθυμητό από το χρήστη τρόπο.

Batch Processing API[40]: Λειτουργεί όπως το Processing API, αλλά για εταιρικούς χρήστες(enterprise users) και παρέχει δεδομένα για μεγαλύτερες περιοχές και χρονικές περιόδους. Ωστόσο, η πρόσβαση σε αυτά, γίνεται μόνο μέσω blob(binary large object) αποθηκευτικού χώρου, αφού αποθηκεύονται εκεί λόγω μεγέθους.

Asynchronous Processing API[41]: Πρωθεί την επεξεργασία δεδομένων μεγαλύτερης ανάλυσης από αυτά του Processing API, χωρίς να συνενώνει tiles φωτογραφιών και δεν παρέχει άμεσα τα αποτελέσματα.

Configuration API[42]: Λειτουργεί σε συνδυασμό με τα προηγούμενα apis και αφορά την πρόσβαση σε μεταδεδομένα(metadata) από τα διάφορα σύνολα δεδομένων, όπως τα ονόματα, τα μήκη κύματος και τις χωρικές αναλύσεις(spatial analysis) των φασματικών ζωνών. Συγχρόνως, διευκολύνει την πρόσβαση στο αποθετήριο του Sentinel Hub με τα έτοιμα κομμάτια κώδικα(code snippets) προς χρήση.

Στο Strabo επιλέχθηκε το Processing API για τη λήψη και επεξεργασία εικόνων ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη. Αυτό συνέβη λόγω πληρότητας στις δυνατότητες που προσφέρει, αλλά και αμεσότητας στην παραλαβή των αποτελεσμάτων-εικόνων. Καταληκτικά, έγινε χρήση του Configuration API για πρόσβαση σε έτοιμο κώδικα ώστε να διευκολυνθεί η ροή επεξεργασίας του χρήστη.

4.1. Εισαγωγή

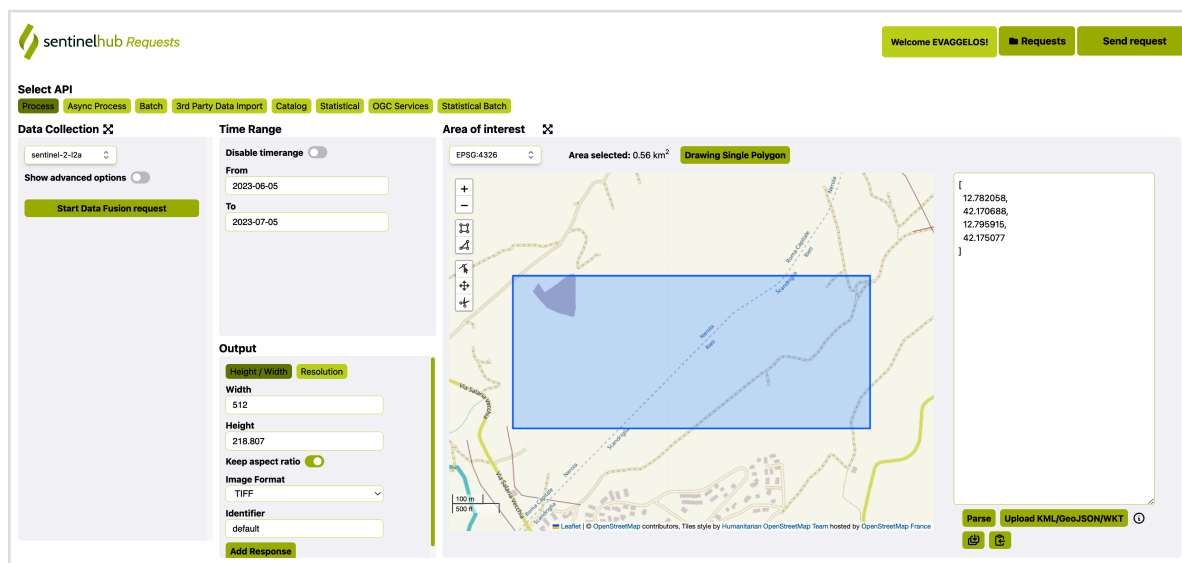
Υπάρχουν διάφορες εφαρμογές από πολλές εταιρείες, οι οποίες αποσκοπούν στην παροχή μίας κατάλληλης διεπαφής για την πρόσβαση του χρήστη σε δορυφορικά δεδομένα και την επεξεργασία τους. Αρκετές από αυτές είναι δημόσιες και παρέχουν το μεγαλύτερο μέρος των λειτουργιών τους χωρίς πληρωμή, ενώ άλλες αποτελούν εξατομικευμένες και επί πληρωμή προτάσεις για εξειδικευμένους χρήστες με ειδικές ερευνητικές ανάγκες(π.χ. cloudeo). Στη συγκεκριμένη εργασία, λόγω του πλαισίου της, θα εξερευνηθούν αποκλειστικά οι δημόσιες πλατφόρμες που αποτελούν και το πεδίο έρευνας για την ανάπτυξη του Strabo.

Αυτές οι δημόσιες, λοιπόν, διαδικτυακές εφαρμογές για λόγους μελέτης, μπορούν να διαχωριστούν σε δοκιμαστικές(demo) και ολοκληρωμένες εφαρμογές. Οι demo πλατφόρμες αποτελούν κάποιου είδους πειραματικές διεπαφές(playground), αφού έχουν αναπτυχθεί για να αναδείξουν κάποιες δυνατότητες ενός API, όπως το Sentinel Hub API, αδιαφορώντας για σύνθετες λειτουργικές(κεφ. 5.2.2) και μη(κεφ. 5.2.3) απαιτήσεις που καταδεικνύονται ως απαραίτητες. Οι υπόλοιπες αποτελούν ολοκληρωμένες προτάσεις για την παροχή υπηρεσιών πάνω σε γεωχωρικά δεδομένα.

4.2. Εφαρμογές

A. *Sentinel Hub Requests Builder*[43]

Πρόκειται για μια demo εφαρμογή, η οποία αποσκοπεί στην ανάδειξη των δυνατοτήτων του Sentinel Hub API. Παρέχει όλες τις λειτουργίες που μπορεί να προσφέρει το συγκεκριμένο API, αλλά δεν εστιάζει καθόλου στην εμπειρία του χρήστη. Αποτελεί, ουσιαστικά, μια απλή προγραμματιστική μεταφορά του API σε ένα UI, όπου με χρήση κελιών για επιλογή ή εισαγωγή παραμέτρων πραγματοποιείται κάθε αίτηση(request).



Εικόνα 5: Βασικό layout εφαρμογής¹

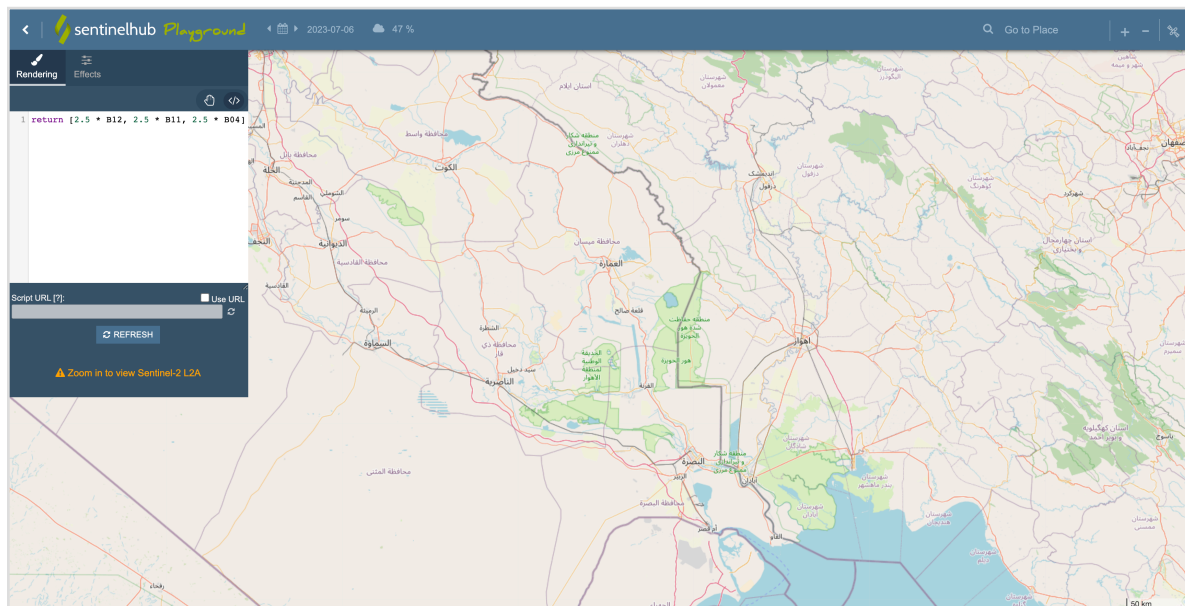
¹ <https://apps.sentinel-hub.com/requests-builder/> [15/07/2023]

Από την προηγούμενη φωτογραφία, είναι φανερό ότι το κομμάτι στο χάρτη (Area of interest) που πρόκειται να εμφανιστούν τα αποτελέσματα της επεξεργασίας πάνω στις εικόνες των δορυφόρων είναι αρκετά περιορισμένο χωρίς να δίνει ούτε τη δυνατότητα πλοήγησης σε άλλες περιοχές της γης με βάση τοπονύμια. Παράλληλα, μέσω αλληλεπίδρασης με τη διαδικτυακή εφαρμογή, γίνεται ευδιάκριτη η προχειρότητα της στοίχισης οπτικά των διαφόρων αντικειμένων(components), αλλά και η αδιαφορία για εξασφάλιση ενστικτώδους πλοήγησης σε αυτή(intuitive navigation).

B. Sentinel Hub Playground[44]

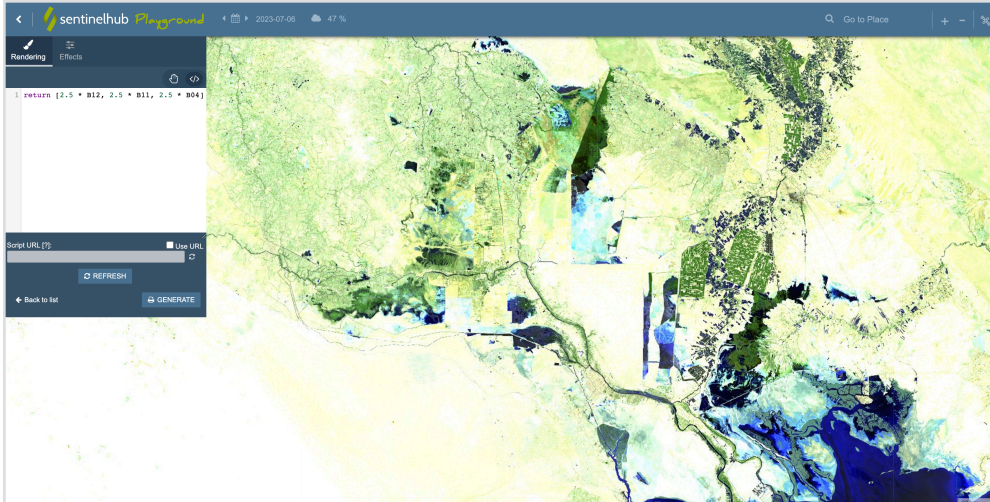
Η συγκεκριμένη διαδικτυακή εφαρμογή ανήκει επίσης στην κατηγορία των demo εφαρμογών, καθώς αν και προσφέρει ένα UI αρκετά ολοκληρωμένο με παραμέτρους χρήσιμες για την έρευνα του χρήστη, στο χάρτη, κάθε συνδυασμός παραμέτρων φορτώνει για όλο το viewport φωτογραφίες δορυφόρων συρραμμένες μεταξύ τους. Αυτό σημαίνει ότι είναι αδύνατο να επιλεχθεί μια συγκεκριμένη περιοχή ώστε να ληφθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Απαιτείται η συνολική εμφάνιση κάθε φορά σε όλο το viewport του αποτελέσματος, γεγονός που είναι και ιδιαίτερα χρονοβόρο, αποκλείοντας έτσι και μια βασική μη λειτουργική απαίτηση.

Η διαδικασία αυτή φαίνεται και στις επόμενες φωτογραφίες.



Εικόνα 6: Πριν την επεξεργασία²

² <https://www.sentinel-hub.com/sentinel-playground/> [15/07/2023]

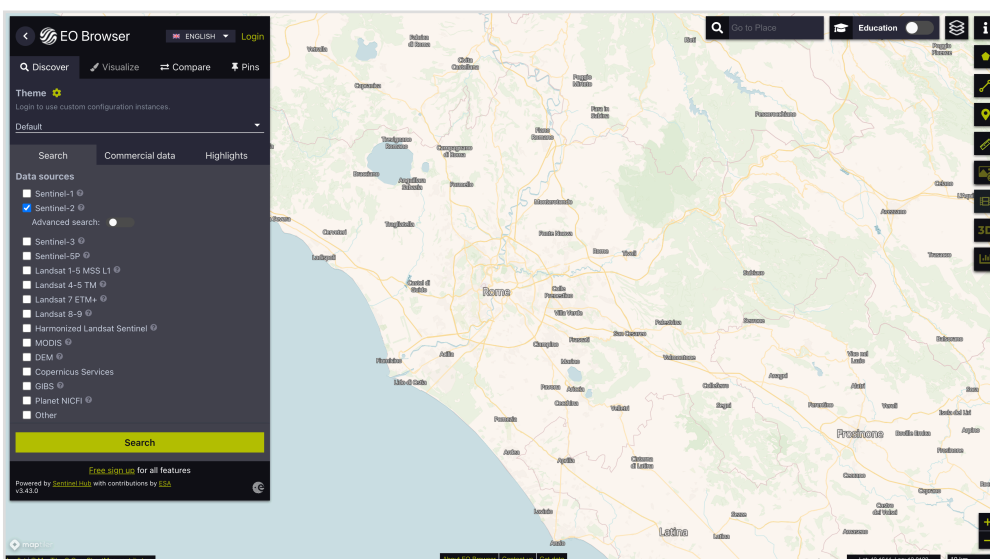


Εικόνα 7: Μετά την επεξεργασία³

Ο συνδυασμός των Α και Β ίσως οδηγεί σε μια ολοκληρωμένη εφαρμογή καθώς με το συνδυασμό του UI της Β και των δυνατοτήτων της Α, πληρούνται οι προϋποθέσεις/απαιτήσεις που τίθενται στο [κεφάλαιο 5.2](#).

C. Sentinel Hub EO Browser[45]

Το συγκεκριμένο web application ξεφεύγει από τις demo εφαρμογές και προσεγγίζει μια πιο ολοκληρωμένη λύση, καθώς προσφέρει ένα πλήρες UI που ικανοποιεί τις μη λειτουργικές που αναφέρονται έπειτα([κεφ. 5.2.3](#)), ενώ παράλληλα διευκολύνει την ερευνητική διαδικασία με ένα πλήθος παραμέτρων που δύναται κάποιος να μεταβάλλει ώστε να επεξεργαστεί την εκάστοτε φωτογραφία του δορυφόρου. Επίσης, περιλαμβάνει πρόσβαση σε δεδομένα ενός πολύ μεγάλου πλήθους δορυφόρων της ESA.



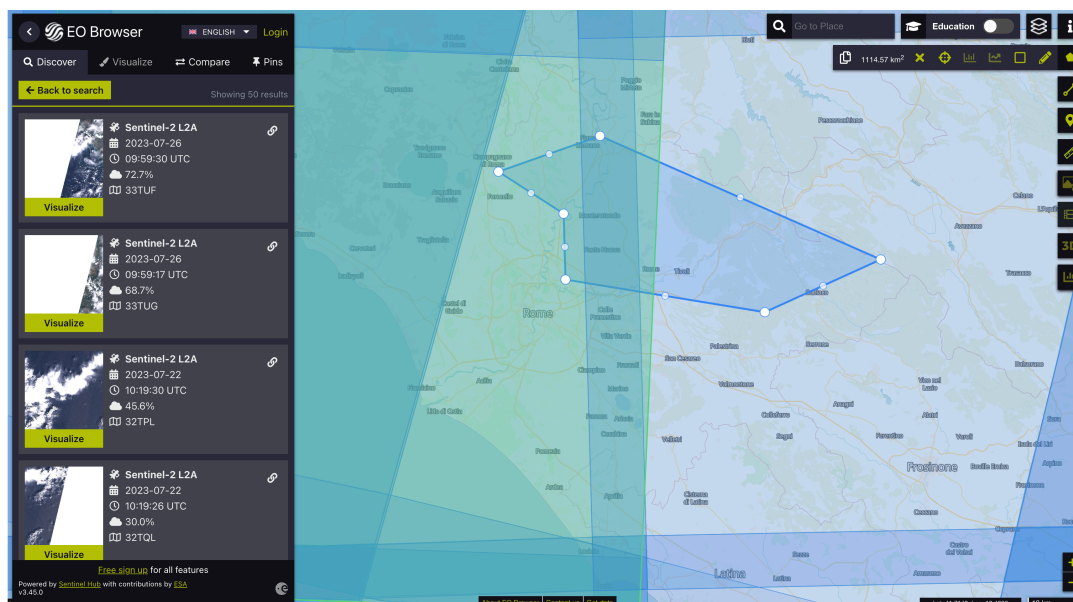
Εικόνα 8: Βασικό layout εφαρμογής⁴

³ <https://www.sentinel-hub.com/sentinel-playground/> [15/07/2023]

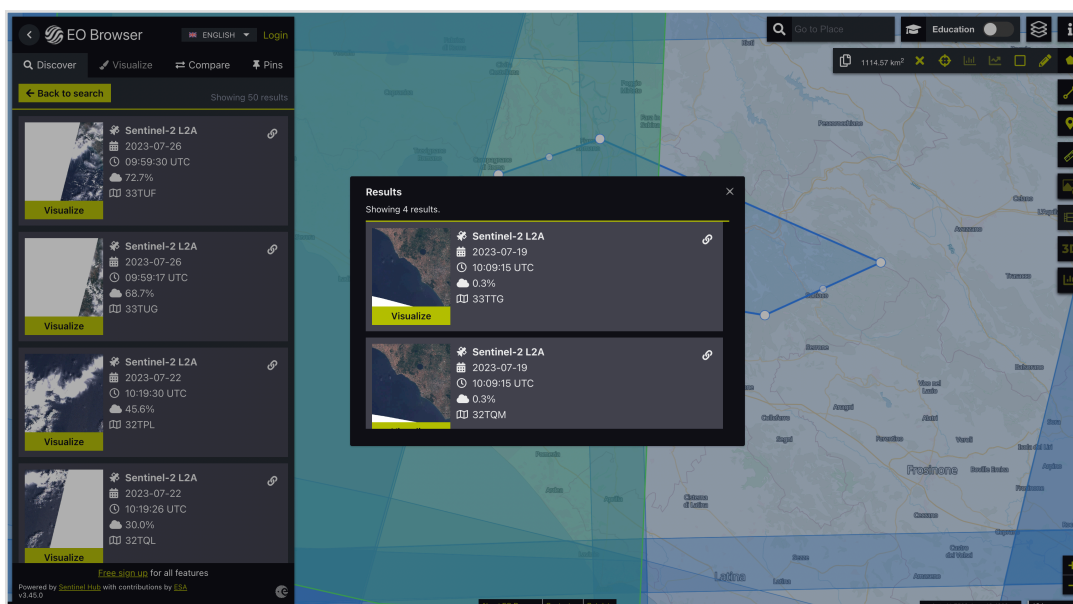
⁴ <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/> [16/07/2023]

Παρόλ αυτά, δεν είναι εφικτό να επιλεγθεί ένα συγκεκριμένο χωρίο στο χάρτη και να γίνει συρραφή φωτογραφιών του δορυφόρου, ώστε να εμφανιστεί εντός του χωρίου αυτού, το ολοκληρωμένο αποτέλεσμα. Ως εφαρμογή, εστιάζει περισσότερο στην επιλογή έτοιμων, από κάποιο s3 bucket, ακατέργαστων(raw) φωτογραφιών που αφορούν γεωμετρικά έστω και ένα μικρό τμήμα του σχεδιασμένου χωρίου(polygon). Οπότε, πάνω σε αυτές και με πληθώρα παραμέτρων πραγματοποιείται η επεξεργασία και η οπτικοποίηση τους πάνω στο χάρτη.

Αυτό περιγράφεται παρακάτω.



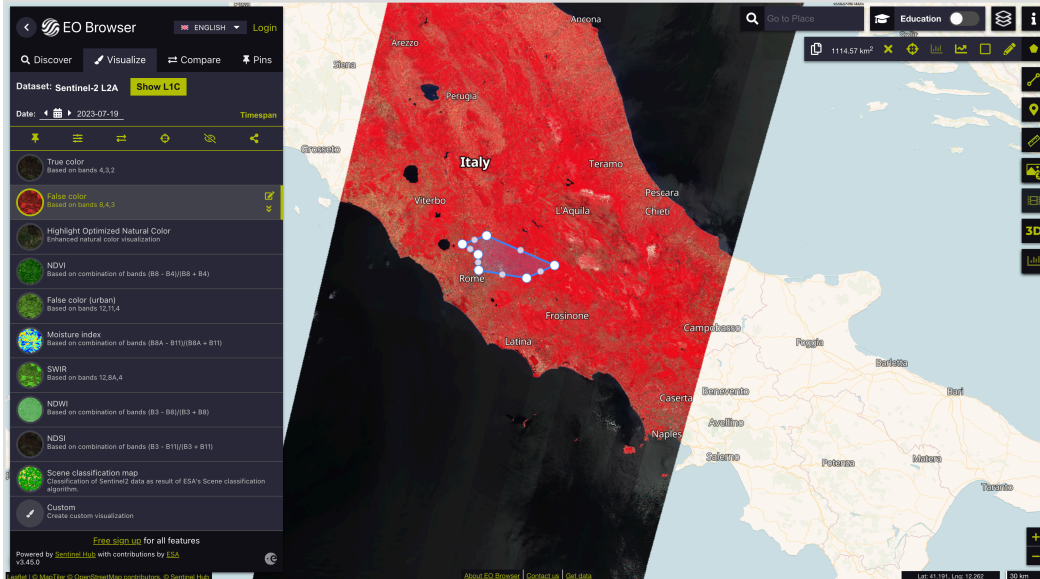
Εικόνα 9: Επιλογή χωρίου και πρόσβαση στις raw φωτογραφίες⁵



Εικόνα 10: Επιλογή φωτογραφίας⁶

⁵ <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/> [16/07/2023]

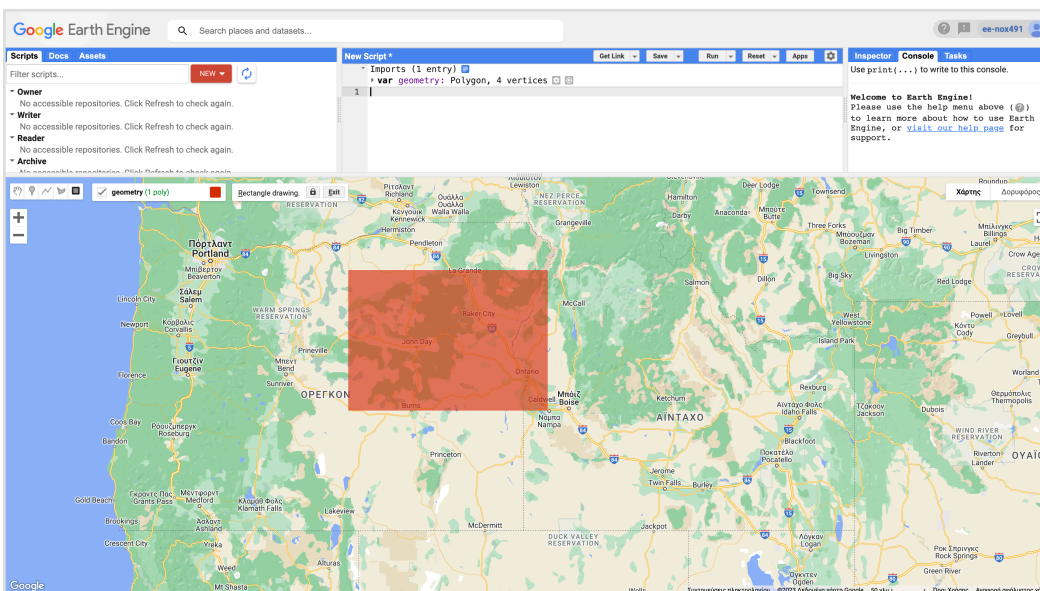
⁶ <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/> [16/07/2023]



Εικόνα 11: Επεξεργασία στο tile και οπτικοποίηση αποτελέσματος⁷

D. Google Earth Engine[46]

Πρόκειται για την πιο ολοκληρωμένη και χωρίς πληρωμή λύση στον τομέα επεξεργασίας δεδομένων δορυφόρων. Παρέχει ένα πλήρες UI το οποίο είναι οργανωμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να δίνει εύκολα, γρήγορα και άμεσα πολλαπλές πληροφορίες για τη διεργασία που εκτελεί ο εκάστοτε ερευνητής/χρήστης. Στηρίζεται από τη Google, οπότε αντλεί δεδομένα από Google δορυφόρους, χτίζοντας ένα οικοσύστημα από εφαρμογές που βοηθούν στον εκάστοτε σκοπό.



Εικόνα 12: Βασικό Layout εφαρμογής⁸

Ωστόσο, η ανάγκη ύπαρξης του Strabo έγκειται στην εκμετάλλευση των δεδομένων των δορυφόρων Sentinel, γεγονός που στο Google Earth Engine δεν υποστηρίζεται.

⁷ <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/> [16/07/2023]

⁸ <https://code.earthengine.google.com/> [17/07/2023]

5.1. Τι είναι διαδικτυακή εφαρμογή

Με τους όρους διαδικτυακή εφαρμογή ή web application ή web app περιγράφεται οποιαδήποτε εφαρμογή βρίσκεται στο διαδίκτυο(web) ή σε κάποιο ενδοδίκτυο(intranet) κάποιας εταιρείας. Η πρόσβαση σε τέτοιου είδους εφαρμογή γίνεται αποκλειστικά μέσω του περιηγητή(browser) κάθε συσκευής που έχει πρόσβαση και εξουσιοδότηση(authorization) στο ανάλογο δίκτυο.

Αυτή η κατηγορία εφαρμογών έχει προκύψει διότι προσφέρει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Άμεση πρόσβαση μεγάλης μερίδας χρηστών: Δίνεται η δυνατότητα γρήγορα, από οποιαδήποτε συσκευή έχει πρόσβαση στο δίκτυο μέσω κάποιου περιηγητή, να κάνει χρήση της εφαρμογής χωρίς να καθυστερήσει λόγω ανάγκης εγκατάστασης της εφαρμογής τοπικά(locally). Στην περίπτωση του Strabo, εφόσον αποτελεί ένα UI-μεσάζοντα ανάμεσα στο Sentinel Hub API και το χρήστη, είναι ιδιαίτερα χρήσιμη η αμεσότητα στην πρόσβαση και άρα ενδείκνυται ως τύπος εφαρμογής.
- Πρόσβαση από οποιαδήποτε μέρος: Οποιοσδήποτε χρήστης έχει τη δυνατότητα, εφόσον βρίσκεται στην εμβέλεια του δικτύου και είναι εξουσιοδοτημένος, να χρησιμοποιήσει την εφαρμογή μέσω κάποια συσκευής με περιηγητή. Ως προς το Strabo, είναι απαραίτητο να μπορεί κανείς οπουδήποτε, μέσω οποιασδήποτε συσκευής, να έχει πρόσβαση σε αυτό. Με αυτό τον τρόπο, διευκολύνεται η συνέχιση και ολοκλήρωση της ερευνητικής διαδικασίας του εκάστοτε χρήστη.
- Απομάκρυνση αποθηκευτικού χώρου από το χρήστη: Οτιδήποτε κάνει ο χρήστης στην εφαρμογή αποθηκεύεται είτε στους εξυπηρετητές(servers) του συστήματος που “εδράζει” η εφαρμογή είτε σε κάποιους εξυπηρετητές συνεργαζόμενων εφαρμογών μέσω APIS. Αυτό, εξυπηρετεί το χρήστη στο να αφοσιωθεί μόνο στην εκτέλεση χρήσιμων για εκείνο διαδικασιών. Έτσι και για το Strabo, οι λειτουργικές του απαιτήσεις δεν καθιστούν απαραίτητη τη χρήση μεσών αποθήκευσης του υπολογιστικού συστήματος του χρήστη. Οποιαδήποτε ανάγκη διατήρησης πληροφορίας ικανοποιείται βραχυπρόθεσμα μέσω της μνήμης προσωρινής αποθήκευσης(cache memory) του περιηγητή.
- Απομάκρυνση ανάγκης κατανάλωσης υπολογιστικών πόρων του χρήστη: Εφόσον το μοντέλο της εταιρείας της αναπτυσσόμενης εφαρμογής κρίνει ότι μπορεί να εξυπηρετήσει μέσω των δικών της εξυπηρετητών(servers) τους χρήστες, ικανοποιώντας τις λειτουργικές και μη απαιτήσεις που εκείνη έχει ορίσει και αδιαφορώντας για τα ατομικά υπολογιστικά μηχανήματα(hardware) των χρηστών της, τότε ο τύπος της διαδικτυακής εφαρμογής προτείνεται. Σε αντίθετη περίπτωση, όπου η επεξεργασία και παροχή δεδομένων, σε ικανοποιητικό χρόνο και με υψηλή ποιότητα, αναγκαστικά απαιτεί τις μονάδες επεξεργασίας και αποθήκευσης του υπολογιστικού συστήματος του χρήστη, η ανάπτυξη εφαρμογής τοπικά(locally) επιλέγεται. Στην περίπτωση του Strabo, η εμπειρία του χρήστη στηρίζεται, κυρίως, στην ταχεία πρόσβαση σε υψηλής ποιότητας δορυφορικές φωτογραφίες. Αυτό τελείται μέσω επικοινωνίας με τους servers της Sentinel Hub εφαρμογής και όπως έχει παρατηρηθεί ο χρόνος απόκρισης των

5.2. Strabo: Περιγραφή

5.2.1. Σύντομη περιγραφή

Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, το Strabo αποτελεί μια διαδικτυακή εφαρμογή η οποία στηρίζεται στην οπτικοποίηση γεωχωρικών δεδομένων (Level 2A) από τους δορυφόρους Sentinel 2.

Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για μία ιστοσελίδα την οποία επισκέπτεται ο εκάστοτε χρήστης, αποκτώντας πρόσβαση σε ένα χάρτη της γης. Πάνω σε αυτόν, δύναται να περιηγηθεί σε διάφορες περιοχές, να δημιουργήσει, να μεταβάλλει και να διαγράψει πολύγωνα, καθώς και να λάβει από το σύστημα δορυφόρων, την επιθυμητή φωτογραφία εντός του επιλεγμένου πολύγωνα.

Παράλληλα, η εφαρμογή προσφέρει τη δυνατότητα παραμετροποίησης για την αίτηση(request) κάποιας δορυφορικής εικόνας. Είναι εφικτό να καθοριστεί το χρονικό διάστημα εντός του οποίου οφείλει να έχει ληφθεί η φωτογραφία, αλλά και το μέγιστο ποσοστών συννέφων που πρέπει να μην ξεπερνά η εικόνα.

Επιπρόσθετα, υποστηρίζεται η λειτουργία για request επεξεργασμένης εικόνας από το Sentinel Hub API, μέσω εισαγωγής ειδικού κώδικα(evalscript) ή μέσω επιλογής κάποιας από τις ήδη υπάρχουσες προεπιλογές, από το χρήστη. Ως αποτέλεσμα, επιστρέφεται και προβάλλεται η επεξεργασμένη φωτογραφία με τους κατάλληλους οπτικούς δείκτες συμβάλλοντας θετικά στην έρευνα του χρήστη.

Ακόμα, παρέχεται η δυνατότητα πρόσβασης στις εγγενείς ιδιότητες(γεωγραφικό μήκος/πλάτος, εμβαδόν, περίμετρο) του κάθε σχεδιασμένου πολύγωνα μέσω επιλογής του.

Καταληκτικά, αξίζει να αναφερθεί ότι, σε κάθε νέο επίπεδο μεγέθυνσης(zoomed in level) και στην περιοχή ενδιαφέροντος(επιλεγμένο πολύγωνο) καθίσταται δυνατή η βελτίωση της ευκρίνειας της φωτογραφίας, ανάλογα με τα εικονοστοιχεία(pixels) που καταλαμβάνει το επιλεγμένο πολύγωνο στο συγκεκριμένο οπτικό σημείο της οθόνης(viewport) της συσκευής του χρήστη. Ως αποτέλεσμα, γίνονται πιο ευδιάκριτοι οι οπτικοί δείκτες της φωτογραφίας λειτουργώντας υπέρ της μελέτης του χρήστη.

5.2.2. Λειτουργικές Απαιτήσεις

Με βάση τη σύντομη ανάλυση παραπάνω, λοιπόν, προκύπτουν οι εξής λειτουργικές απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιεί το Strabo:

Πλοήγηση πάνω σε χάρτη στην εφαρμογή και μεγέθυνση/απομάκρυνση(zoom in/out):

Σύστημα που θα παρέχει ένα χάρτη του κόσμου και θα επιτρέπει μέσω του κέρσορα να αλληλεπιδράσει ο χρήστης με αυτό για να κινηθεί οπουδήποτε στη γη. Παράλληλα, μέσω του κέρσορα και κουμπιών πάνω στο χάρτη θα προσφέρεται η δυνατότητα μεγέθυνσης ή απομάκρυνσης ως προς το κέντρο του.

Δυνατότητα προχωρημένης πλοήγησης πάνω στο χάρτη: Σύστημα το οποίο μέσω γεωχωρικής αναζήτησης(geosearching) θα δίνει τη δυνατότητα με χρήση τοπωνυμίων να

πλοηγηθεί ο χρήστης άμεσα σε οποιαδήποτε περιοχή τον ενδιαφέρει, τοποθετώντας τη στο κέντρο της οθόνης του.

Δημιουργία, μεταβολή και διαγραφή πολύγωνων πάνω στο χάρτη: Σύστημα το οποίο, αφού ενεργοποιηθεί, επιτρέπει στον κέρσορα να λειτουργήσει ως δημιουργός κορυφών ενός εν δυνάμει δισδιάστατου κλειστού γεωμετρικού σχήματος(πολύγωνο), μέσα στο οποίο θα προβληθεί στη συνέχεια η φωτογραφία από το δορυφόρο. Παράλληλα, εφόσον δημιουργηθεί έστω και ένα πολύγωνο θα υποστηρίζεται η μεταβολή(edit) η οποία θα επιτρέπει τη μετακίνηση των κορυφών του καθώς και τη μετατόπιση του συνολικά ως σχήμα στο χάρτη. Τέλος, θα καθίσταται δυνατή η διαγραφή(deletion) ενός ή όλων των πολυγώνων, μαζί με κάθε προβαλλόμενη εσωτερικά φωτογραφία.

Δυνατότητα πρόσβασης σε βασικά χαρακτηριστικά του επιλεγμένου πολυγώνου: Σύστημα υπολογισμού και παροχής σε ειδικό χωρίο με δομή JSON(JavaScript Object Notation) πληροφοριών για τις συντεταγμένες των κορυφών του επιλεγμένου πολύγωνου, την περίμετρο του άλλα και το εμβαδόν του.

Δυνατότητα παραμετροποίησης του time range και max cloud coverage ώστε να ληφθεί η κατάλληλη φωτογραφία για επεξεργασία: Σύστημα το οποίο επιτρέπει τη μεταβολή αυτών των παραμέτρων και την αποθήκευση των τιμών τους προσωρινά ώστε να χρησιμοποιηθούν για την λήψη νέας φωτογραφίας.

Αποθετήριο έτοιμων scripts για επεξεργασία των φωτογραφιών των δορυφόρων: Σύστημα που δίνει πρόσβαση σε έτοιμο κώδικα(scripts) ώστε να βοηθήσει το χρήστη σε κάποια βασική μελέτη που ίσως επιθυμεί να πραγματοποιήσει μέσω αυτών.

Ειδικό χωρίο που μπορεί να συνταχθεί κώδικας: Σύστημα, το οποίο επιτρέπει στο χρήστη να συντάξει τον προσωπικό του κώδικα ή να αποκτήσει πρόσβαση στον κώδικα κάποιας ενεργοποιημένης προεπιλογής, ενώ παράλληλα δύναται να τον ενσωματώσει σε αίτημα(request) για φωτογραφία από το Sentinel Hub. Επίσης, το σύστημα αυτό μπορεί να εξασφαλίσει την επαναφορά του αρχικού(default) κώδικα για αίτηση(request) μέσω Sentinel Hub API της ανεπεξέργαστης(raw) δορυφορικής φωτογραφίας.

Δυνατότητα ανάλογα με το επίπεδο μεγέθυνσης(zoom level) λήψης φωτογραφίας με καλύτερη ευκρίνεια: Ανάλογα με το zoom level, μεταβάλλεται ο αριθμός των εικονοστοιχείων(pixels). Οπότε, υπάρχει απαίτηση συστήματος για αποθήκευση του αριθμού των νέων pixels, για το νέο zoomed in level, ώστε ύστερα να προσαρτηθεί στην αίτηση(request) για νέα λήψη φωτογραφίας στο επιλεγμένο πολύγωνο με μεγαλύτερη ευκρίνεια.

Αίτηση φωτογραφίας δορυφόρου με τα παραπάνω χαρακτηριστικά: Σύστημα το οποίο στηρίζεται στα περισσότερα προηγούμενα συστήματα, αφού ενσωματώνει τις παραμέτρους για το time range, το max cloud coverage, τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά του σχεδιασμένου και επιλεγμένου πολυγώνου, τον προσωπικό κώδικα ή προεπιλεγμένο αλλά και το σύνολο των pixels που καταλαμβάνει το πολύγωνο ώστε να πραγματοποιηθεί η κατάλληλη αίτηση(request) στο sentinel hub API.

5.2.3. Μη Λειτουργικές Απαιτήσεις

Για τη δημιουργία του Strabo ορίζονται οι παρακάτω μη λειτουργικές απαιτήσεις ανά κατηγορία.

A. Διεπαφή χρήστη

- Διεπαφή με συνοχή (coherent front-end)
- Διεπαφή με βάση το μινιμαλισμό (minimalistic front-end)
- Ενστικτώδης πλοήγηση στη διεπαφή της εφαρμογής(intuitive navigation)
- Πλήρης ενημέρωση για οτιδήποτε τελείται στην εφαρμογή
- Συνολική διευκόλυνση της ερευνητικής διαδικασίας

B. Αξιοπιστία

- Συνεχής λειτουργία της εφαρμογής
- Παροχή ορθών πληροφοριών για κάθε λειτουργία

C. Επίδοση

- Κάτω από 2 δευτερόλεπτα στην πρώτη εμφάνιση της ιστοσελίδας
- Άμεση ανταπόκριση σε κάθε αλληλεπίδραση με κάποιο αντικείμενο(component) της εφαρμογής
- Ταχεία πρόσβαση σε φωτογραφίες του δορυφόρου και άμεση οπτικοποίηση στην περιοχή ενδιαφέροντος

Αυτές οι παραδοχές αποσκοπούν στη βελτιστοποίηση της χρήσης της εφαρμογής όσο το δυνατόν περισσότερο και οριοθετούν τον τρόπο ανάπτυξης της.

5.3. Strabo: Αρχιτεκτονική Εφαρμογής

Το Strabo επιδιώχθηκε να αναπτυχθεί με μια επίκαιρη μάτια στο web development. Οπότε, έγινε χρήση σύγχρονων πρακτικών και εργαλείων, πατώντας, ωστόσο διαρκώς, πάνω σε στέρεες δομές. Αυτό σημαίνει ότι δεν βασίστηκε η εξέλιξη του σε υπερβολικά πρωτοποριακές τεχνολογίες(bleeding edge technologies), οι οποίες επαναπροσδιορίζουν τον τρόπο που παράγονται οι web εφαρμογές και αποτελούν κάποιου είδους υπερβολικό στοίχημα(risky bet) για το μέλλον του web development. Με αυτό τον τρόπο, λοιπόν, διασφαλίζεται σε μεγάλο βαθμό η μακροχρόνια συντήρηση και επέκταση του source code της εφαρμογής χωρίς κομβικές αναθεωρήσεις και υιοθετήσεις άλλων web frameworks.

5.3.1. Τεχνολογικό Υπόβαθρο

Παρακάτω αναλύονται θεωρητικά οι τεχνολογικές επιλογές που αποτελούν τον πυρήνα της υλοποίησης των λειτουργιών του Strabo.

5.3.1.1. NextJS[47]

Πρόκειται για ένα σύγχρονο framework το οποίο αποσκοπεί στο να πλαισιώσει όλη την ανάπτυξη ενός web application χρησιμοποιώντας ως βάση, ReactJS components. Στηρίζεται, λοιπόν, στη λογική του ReactJS της Meta, αλλά πλέον πρωτοστατεί στο web development και καθορίζει σε σημαντικό βαθμό την εξελικτική πορεία του ίδιου του ReactJS.

Πιο συγκεκριμένα, έχει καταφέρει να ενώσει το FrontEnd με το Backend καθώς όλα, πλέον, γίνονται στην ίδια βάση κώδικα (codebase). Επίσης, έχει βελτιώσει διαδικασίες όπως το authentication, τα API calls και το routing. Οποιαδήποτε βασική διαδικασία αποτελούσε περίεργη υπόθεση στο React και απαιτούσε τη χρήση εξωτερικών βιβλιοθηκών, το NextJS έχει καταφέρει να το ενσωματώσει με φυσικό τρόπο στο framework του. Παράλληλα, έχει συνεισφέρει ουσιαστικά, στην υποστήριξη όλων των rendering models που μπορούν να υπάρξουν στα web applications. Είτε πρόκειται για SSG (Static Site Generation), είτε για CSR (Client Side Rendering), είτε για SSR (Server Side Rendering), είτε για ISR (Incremental Site Rendering), το NextJS έχει προβλέψει. Ωστόσο, επειδή αποτελεί κομβικό σημείο στην ανάπτυξη της διαδικτυακής εφαρμογής, παρακάτω παρουσιάζονται αυτά τα μοντέλα.

Rendering Models

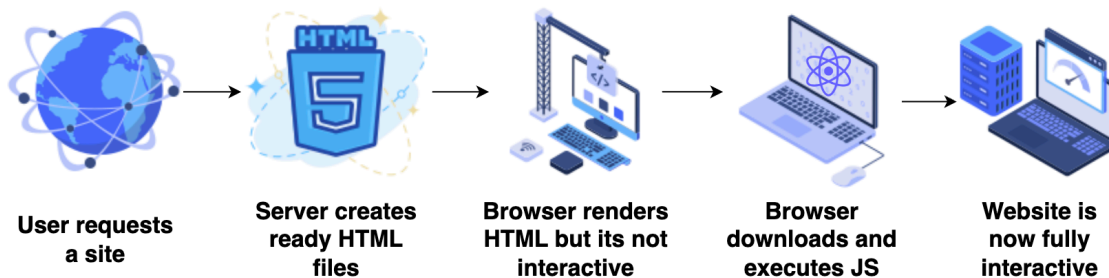
- **Static Site Generation [48,49]:** Είναι πρακτική η οποία χρησιμοποιείται κυρίως για βελτιστοποίηση των χρόνων **πρώτης** εμφάνισης κάποιας “στατικής” ως προς το περιεχόμενο (content) σελίδας (webpage), της διαδικτυακής εφαρμογής. Ο όρος “στατική σελίδα”, βέβαια αναφέρεται σε σελίδες που τα δεδομένα που εμπεριέχουν δεν μεταβάλλονται με κάποιο τρόπο (π.χ. about page). Πιο συγκεκριμένα, μέσω SSG, για τις προαναφερθείσες σελίδες, πραγματοποιείται προ-εκτέλεση (pre-rendering) στα ReactJS components τους, κατά το build time της εφαρμογής, που σημαίνει ότι μεταφράζονται τα components αυτά σε HTML κώδικα και γίνεται κάποια αίτηση (request) δεδομένων αν υπάρχει ανάγκη, με σκοπό την αποθήκευση (caching) τους, σε server ή σε κάποιο CDN (Content Delivery Network). Οπότε, σε κάθε αίτηση του εκάστοτε χρήστη της διαδικτυακής εφαρμογής, αυτός ο HTML κώδικας των “στατικών” σελίδων, αποστέλλεται στον περιηγητή διαδικτύου (web browser) για να διαβαστεί απευθείας, χωρίς περαιτέρω μετάφραση και άρα καθυστέρηση στην εμφάνιση του τελικού αποτελέσματος. Καταληκτικά, αξίζει να αναφερθεί ότι μέσω της SSG πρακτικής αφαιρείται φόρτος εργασίας από το server, καθώς δεν είναι, πλέον, απαραίτητο να γίνεται κάθε φορά render κάποιων σελιδών της διαδικτυακής εφαρμογής.



Εικόνα 13: Παράδειγμα λειτουργίας SSG

- **Server Side Rendering[50]:** Αφορά, σελίδες οι οποίες χρειάζονται να ανανεώνονται αρκετά συχνά και αποσκοπεί στην αποφυγή καθυστερήσεων λόγω outdated web browser ή κακής σύνδεσης του χρήστη στο διαδίκτυο. Ουσιαστικά, σε κάθε αίτηση(request) του web browser του χρήστη προς το server, εκείνος είναι υπεύθυνος για τη μετάφραση του κώδικα σε HTML, την ελαχιστοποίηση(minify) και προσάρτηση του JS κώδικα στο αρχείο, ενώ παράλληλα γίνονται όλες οι απαραίτητες ενέργειες υπολογισμών ή/και αίτησης νέων δεδομένων.

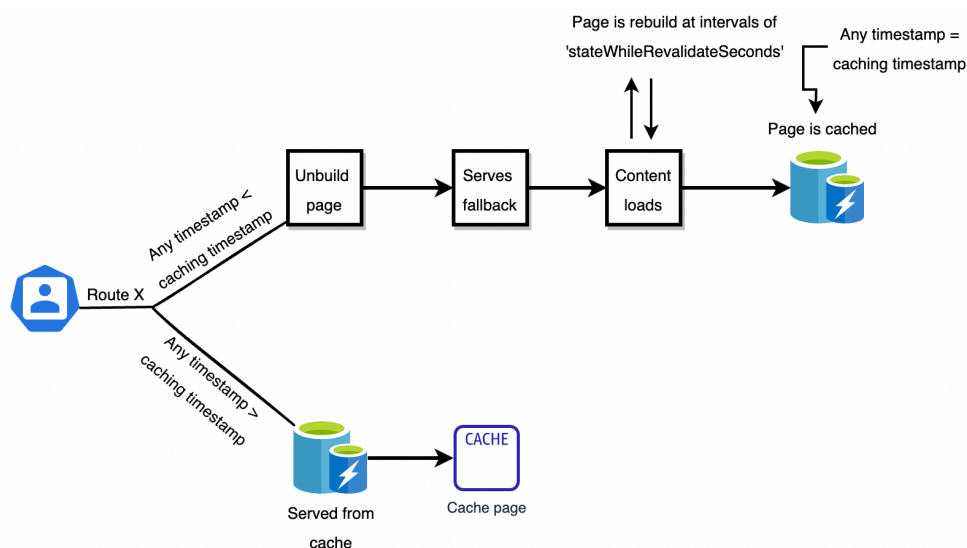
Ενδεικτικά, παρακάτω φαίνεται η διαδικασία.



Εικόνα 14: Παράδειγμα λειτουργίας SSR

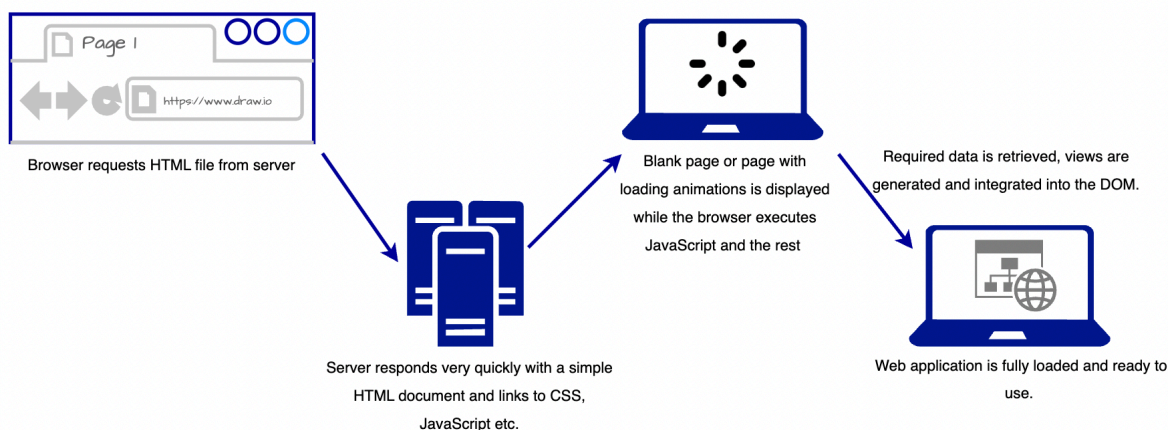
- **Incremental Site Rendering[51]:** Είναι ο συνδυασμός των δύο προηγούμενων μοντέλων και βασίζεται συνολικά στο caching. Ουσιαστικά, η σελίδα που αιτείται(requesting) ο εκάστοτε χρήστης στην αρχή(initial render), προκύπτει μέσω SSR. Έπειτα, αποθηκεύεται(cached) σε κάποιο server ή CDN, για να προβληθεί σε επόμενα requests μέσω SSG. Ωστόσο, μέσω ενός timestamp ο server ελέγχει ανά τακτά χρονικά διαστήματα τυχρούσες αλλαγές και ανανεώνει διαρκώς τη σελίδα.

Παρακάτω παρουσιάζεται η παραπάνω διαδικασία.



Εικόνα 15: Παράδειγμα λειτουργίας ISR

- **Client Side Rendering[52,53]:** Επιτρέπει στο διακομιστή(browser) να αιτηθεί από το server των αρχείων και η διαδικασία της μετάφρασης σε html και της προσκόλλησης του JS κωδικα, να γίνεται εκεί και όχι στο server. Αυτό, βοηθάει αρκετά, σε σελίδες που απαιτούν συνεχείς αλλαγές στο περιεχόμενο τους χωρίς την ανάγκη για refresh, δηλαδή όταν οι χρήστες επιδρούν και αλλάζουν συνεχώς τα προβαλλόμενα δεδομένα (π.χ. social πλατφόρμες). Ωστόσο, ως προς την πρώτη εμφάνιση της σελίδα, υπάρχει σημαντική καθυστέρηση.



Εικόνα 16: Παράδειγμα λειτουργίας CSR

Στην περίπτωση του Strabo, λόγω της αντίληψης ως SPA, η χρήση SSG και CSR λαμβάνει χώρα. Ωστόσο, μελλοντικά, αναφορικά με την επέκταση της εφαρμογή με χρήση back end και βάσης δεδομένων, ο συνδυασμός και των υπόλοιπων rendering τεχνικών θα είναι απαραίτητος και το NextJS θα αποδειχθεί ιδανική επιλογή, λόγω της υποστήριξης τους.

5.3.1.2. TailwindCSS[54]

Ίσως το πιο βασικό CSS framework στο web development. Πρόκειται για απλοποίηση της διαδικασίας του σχεδιασμού των διαφόρων components του UI του web application. Ουσιαστικά, προσφέρει τη δυνατότητα να αποφευχθεί η δημιουργία CSS modules με ειδικά classnames για κάθε UI στοιχείο(component), παρέχοντας συγχρόνως, μια πληθώρα προεπιλογών για το σχεδιασμό(styling), την τοποθέτηση και οριοθέτηση τους. Επιπρόσθετα, παρέχει πλήθος από έτοιμα components, τα οποία μπορούν με μικρές προσαρμογές(customization) να συνδεθούν και να αποκτήσουν συνοχή με το UI της υπόλοιπης εφαρμογής.

Αξίζει να αναφερθεί ότι ως εργαλείο, το TailwindCSS διαφοροποιείται σημαντικά από άλλα ευρέως διαδεδομένα, όπως το Bootstrap ή το Materialize. Αυτό συμβαίνει διότι, το TailwindCSS είναι περισσότερο low level framework και έχει καταφέρει να διευκολύνει ιδιαίτερα τις απαιτήσεις για προσαρμογή των διαφόρων UI components.

Ως προς το Strabo, που πραγματεύεται η συγκεκριμένη εργασία, το TailwindCSS αποτέλεσε σημαντικό μέσο για την ολοκλήρωση του UI με βάση τις απαιτήσεις, χωρίς επιπλέον τεχνικές δυσκολίες. Ειδικά σε περιπτώσεις που χρειάστηκε προσθήκη κάποιων χρωμάτων, που δεν προτάσσονται επίσημα από το TailwindCSS, ο ορισμός τους, για χρήση, κατέστη εύκολος. Τέλος, σε περίπτωση δημιουργίας νέων components ή αναδιαμόρφωσης συνολικά του UI, το συγκεκριμένο framework θα διευκολύνει ιδιαίτερα το εγχείρημα.

5.3.1.3. LeafletJS[55]

Πρόκειται για ένα από τα πιο διαδεδομένα, ελαφριά(lightweight) και ανοιχτού-κώδικα(open-source) JS map frameworks. Σκοπός του, η εύκολη υιοθέτηση του από οποιαδήποτε JS διαδικτυακή εφαρμογή. Ως προς τη χρήση του, παρέχονται JS objects τα οποία μπορούν αφού οριστούν, να κληθούν και να προσαρμοστούν ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Έτσι, εξασφαλίζεται μεγάλο πλήθος τρόπων για αλληλεπίδραση με το LeafletJS map.

Αναφορικά με το Strabo το LeafletJS αποτελεί ιδανική επιλογή. Αυτό συμβαίνει διότι, αρχικά, εξαιτίας του JS υποβάθρου(NextJS) της web εφαρμογής, η σύνδεση της με το συγκεκριμένο map framework πραγματοποιείται εύκολα και γρήγορα. Παράλληλα, λόγω της προαναφερθείσας πληρότητας του σε objects μπορεί να εξυπηρετήσει τις ποικίλες ανάγκες των λειτουργικών απαιτήσεων του Strabo, που αφορούν τους τρόπους αλληλεπίδρασης του χρήστη με το χάρτη. Όσον αφορά, δηλαδή, τις λειτουργίες της μεγέθυνσης/απομάκρυνσης(zoom in/out), της εμφάνισης tile layer στο χάρτη, της πλοήγησης σε αυτόν, του σχεδιασμού πολυγώνων και της επεξεργασίας/διαγραφής αυτών, όπως και της προβολής της εκάστοτε φωτογραφίας των δορυφόρων ως image overlay εντός πολυγώνων, η υποστήριξη τους από το LeafletJS framework είναι εφικτή.

Καταληκτικά, είναι αναγκαίο να επισημανθεί ότι, το πλούσιο οικοσύστημα με plugins και extensions του LeafletJS framework, ευνοεί την υιοθέτηση του γενικότερα από οποιαδήποτε JS Web application, καθώς αναδεικνύει την πληρότητα του. Γεγονός, που εφαρμόζει και στην περίπτωση επέκτασης της εφαρμογής με νέες λειτουργικές απαιτήσεις ως προς τη χρήση του χάρτη.

5.3.1.4. Sentinel Hub Process API[56]

Το συγκεκριμένο API, αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για την εκτέλεση πολύπλοκων εργασιών που αφορούν επεξεργασία οπτικών δεδομένων από τους δορυφόρους Sentinel. Διευκολύνει, ουσιαστικά, τους χρήστες στο να ορίζουν ροές(pipelines) επεξεργασίας εικόνων και να τις εκτελούν. Αυτές οι ροές περιλαμβάνουν μερικά ή όλα τα επόμενα βήματα: data filtering, band combinations, cloud masking και data fusion, ανάλογα βέβαια, με τις ερευνητικές ανάγκες. Ωστόσο, μπορούν να προστεθούν βήματα πιο προχωρημένης επεξεργασίας, μέσω χρήσης συναρτήσεων(evalscript) και pixel-wise υπολογισμών.

Ουσιαστικά, το Process API παρέχει πρόσβαση σε δεδομένα αρκετών δορυφόρων για διαφορετικά επίπεδα επεξεργασίας, όπως φαίνεται παρακάτω, προσφέροντας διαφορετικές δυνατότητες/ροές επεξεργασίας στο χρήστη ανάλογα με την επιλογή.



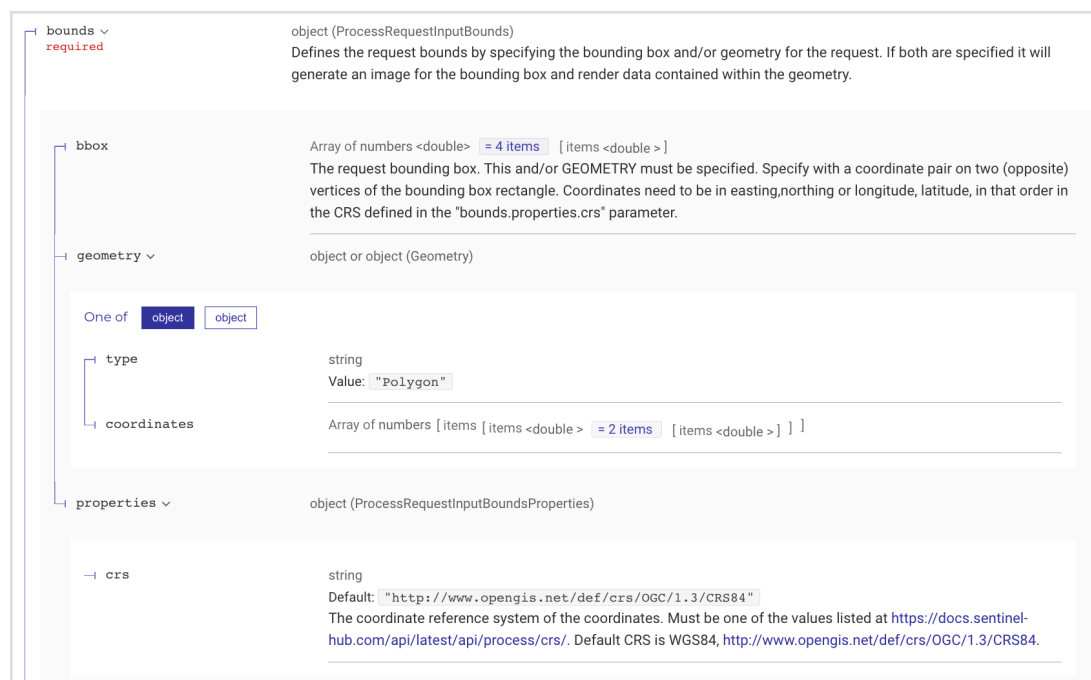
Εικόνα 17: Τύποι δεδομένων⁹

⁹ <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/reference/> [20/07/2023]

Όπως διαφαίνεται από την προηγούμενη φωτογραφία, για λόγους διπλωματικής εργασίας, επιλέγεται το Sentinel 2-L2A από τον παραπάνω πίνακα(array) ως πηγή δεδομένων και έρευνας των δυνατοτήτων του API.

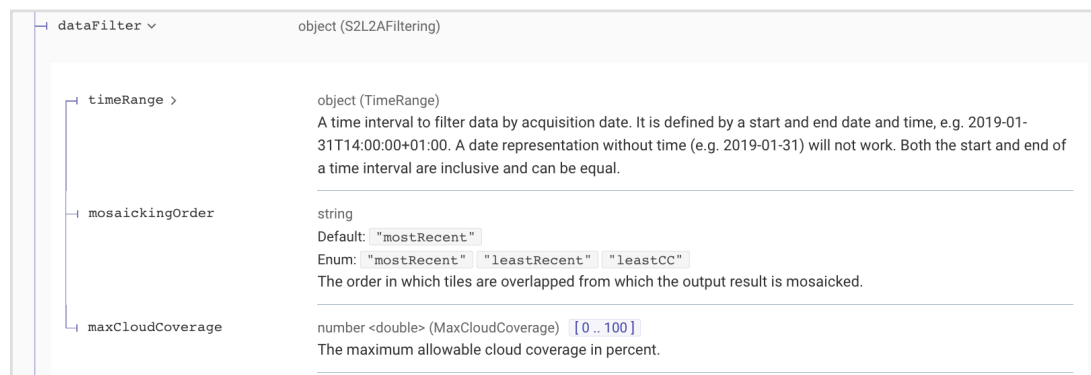
Με βάση αυτό τον τύπο δεδομένων, λοιπόν, για το Process API ισχύουν τα εξής:

- Οριοθέτηση των γεωμετρικών ορίων για λήψη εικόνων. Αυτό μπορεί να συμβεί είτε μέσω συντεταγμένων-bbox(boundary box) για παραλληλόγραμμα χωρία, είτε μέσω συντεταγμένων για πολύγωνα εντός καθορισμένου συστήματος συντεταγμένων αναφοράς-crs(coordinate reference system).



Εικόνα 18: Γεωμετρία χωρίων¹⁰

- Φιλτράρισμα(filtering) των δεδομένων, με συγκεκριμένο μέγιστο ποσοστό συννέφων(max cloud coverage), εντός ορισμένου χρονικού διαστήματος(time range) και με καθορισμένη σειρά επικάλυψης/συρραφής των εικονικών πλακιδίων(image tiles).

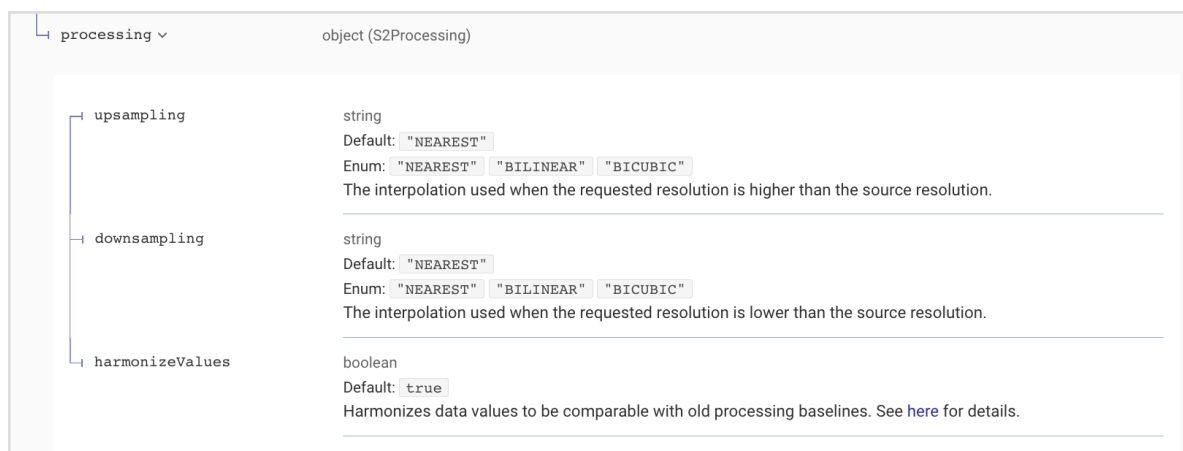


Εικόνα 19: Filtering δεδομένων¹¹

¹⁰ <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/reference/> [20/07/2023]

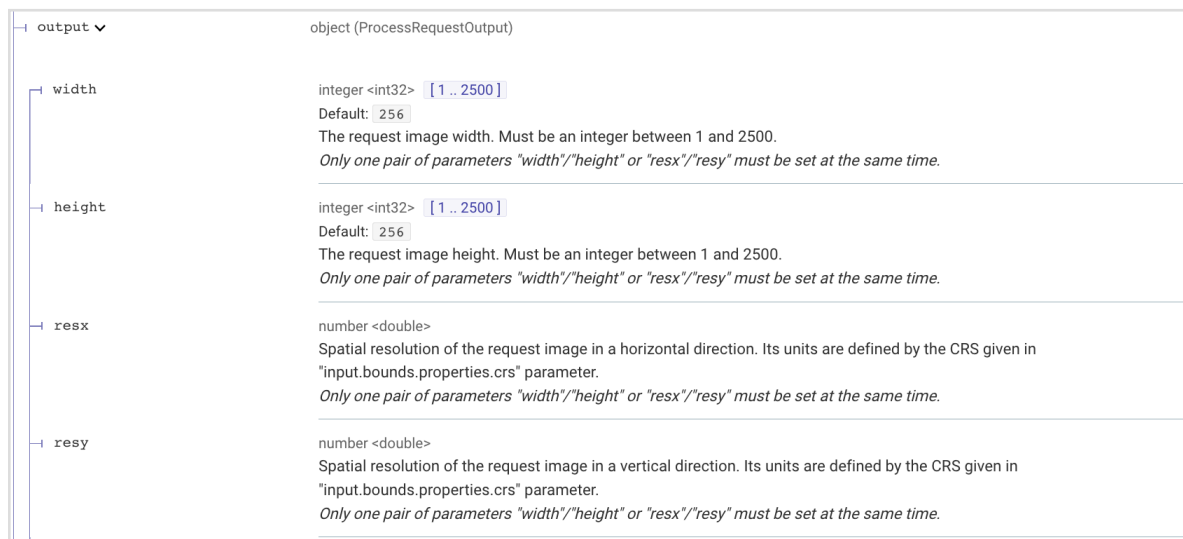
¹¹ <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/reference/> [20/07/2023]

- Περαιτέρω επεξεργασία(`processing`) των δεδομένων ώστε ανάλογα με την αιτηθείσα ανάλυση στις φωτογραφίες και τη διαθέσιμη ανάλυση από την πηγή, να εφαρμοστούν αλγόριθμοι δειγματοληψίας(`sampling algorithms`) σε εικονοστοιχεία(`pixels`) για να εξυπηρετηθεί κατάλληλα η ανάγκη του χρήστη.



Εικόνα 20: Αλγόριθμοι δειγματοληψίας¹²

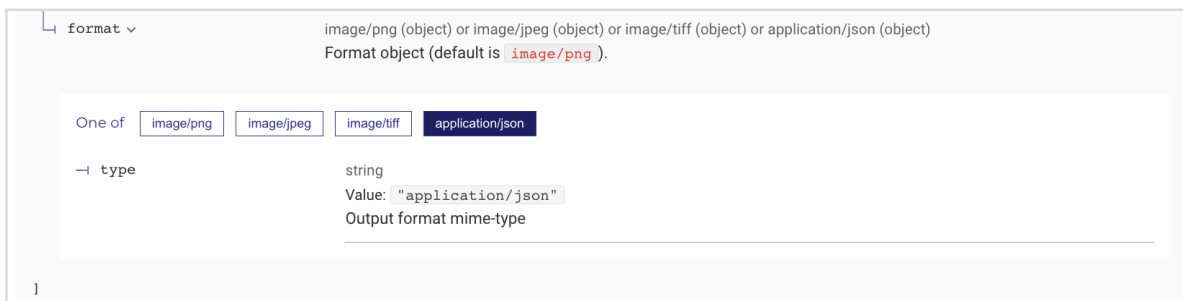
- Καθορισμός ανάλυσης της τελικής φωτογραφίας είτε μέσω εικονοστοιχείων(`pixels`), κάνοντας χρήση πλάτους(`width`) και ύψους(`height`), είτε μέσω μέτρων ανά εικονοστοιχείο(`meters per pixel`), καθορίζοντας το μέγεθος του `pixel` στην τελική ληφθείσα εικόνα.



Εικόνα 21: Τελική ανάλυση φωτογραφίας¹³

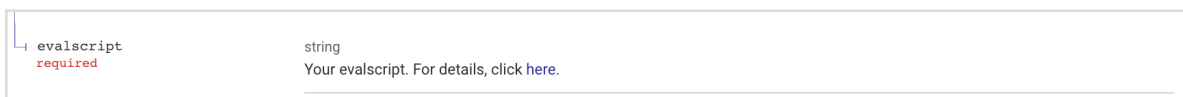
¹² <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/reference/> [20/07/2023]

¹³ <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/reference/> [20/07/2023]



Εικόνα 22: Format τελικών δεδομένων¹⁴

- Επιλογή του τύπου των τελικών δεδομένων. Οι επιλογές που παρέχονται είναι είτε σε τύπο φωτογραφίας(image) μέσω jpeg, png, tiff είτε σε τύπο application μέσω json.



Εικόνα 23: Script για προχωρημένη επεξεργασία¹⁵

- Χρήση αποσπάσματος JavaScript το οποίο εκτελείται σε κάθε εικονοστοιχείο(pixel) της αιτηθείσας εικόνας και αποσκοπεί σε περαιτέρω επεξεργασία, όπως λόγου χάρη φιλτράρισμα των φασματικών ζωνών, ορισμό κάποιου κατωφλιού(threshold) για ταξινόμηση pixels και υπολογισμό κάποιων δεικτών φάσματος.

5.3.2. Δομή Εφαρμογής

Το Strabo αρχιτεκτονικά απαρτίζεται από τα παρακάτω συστατικά(components):

Front-End Components:

- **NextJS:** Σε αυτό ορίζεται με κώδικα όλη η λογική της εφαρμογής. Καθε σύνολο λειτουργικών απαιτήσεων, που οριοθετείται σε κάποιο component στη διεπαφή της εφαρμογής, αποτελεί ξεχωριστό jsx αρχείο. Το σύνολο αυτών των αρχείων εξασφίλουν την ομαλή και πλήρη λειτουργία της εφαρμογής.
- **LeafletJS:** Εισάγεται εντός του NextJS μέσω της εξωτερικής βιβλιοθήκης(third party) react-leaflet-draw[57] στο Map.jsx αρχείο. Εξυπηρετεί τις λειτουργικές απαιτήσεις που αφορούν την αλληλεπίδραση με το χάρτη με διάφορους τρόπους.
- **TailwindCSS:** Συμπληρώνει τον NextJS πηγαίο κώδικα του Strabo, καθορίζοντας σε κάθε component/jsx αρχείο το μέγεθος, την τοποθεσία και το styling σε σχέση με το υπόλοιπο UI της εφαρμογής.

¹⁴ <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/reference/> [20/07/2023]

¹⁵ <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/reference/> [20/07/2023]

- **Fetch API:** Χρησιμοποιείται εντός του NextJS πηγαίου κώδικα, μέσω του useSWR hook[58] που προτάσσεται από το NextJS. Αφορά HTTP/POST request από client-side προς το Sentinels Hub Process API. Η χρήση του περιορίζεται είτε για πρόσβαση σε δεδομένα από τους δορυφόρους είτε για λήψη αποθηκευμένων και έτοιμων προεπιλογών(scripts) από το Sentinel Hub.

Sentinel Hub:

- **Process API:** Είναι υπεύθυνο για την επιστροφή φωτογραφίας από τους δορυφόρους. Μεσω του Fetch API, για κάθε POST request με συγκεκριμένες παραμέτρους, επιστρέφεται η απαιτούμενη φωτογραφία. Ο τρόπος που ενσωματώνεται στο NextJS πηγαίο κώδικα της εφαρμογής μπορεί να φανεί παρακάτω:

```
93     const requestOptions = {
94       method: "POST",
95       headers: {
96         "Content-Type": "application/json",
97         Authorization: "Bearer " + token,
98       },
99       body: JSON.stringify({
100         input: {
101           bounds: {
102             geometry: {
103               type: "Polygon",
104               coordinates: [coordinates],
105             },
106           },
107           data: [
108             {
109               type: "sentinel-2-l2a",
110               dataFilter: {
111                 timeRange: {
112                   from: start_date,
113                   to: end_date,
114                 },
115                 processing: {
116                   upsampling: "BICUBIC",
117                 },
118                 mosaickingOrder: "mostRecent",
119                 maxCloudCoverage: maxCloudCoverage,
120             },
121           ],
122         },
123       },
124       output: {
125         width: width,
126         height: height,
127       },
128       evalscript: evalscript,
129     }),
130   };

```

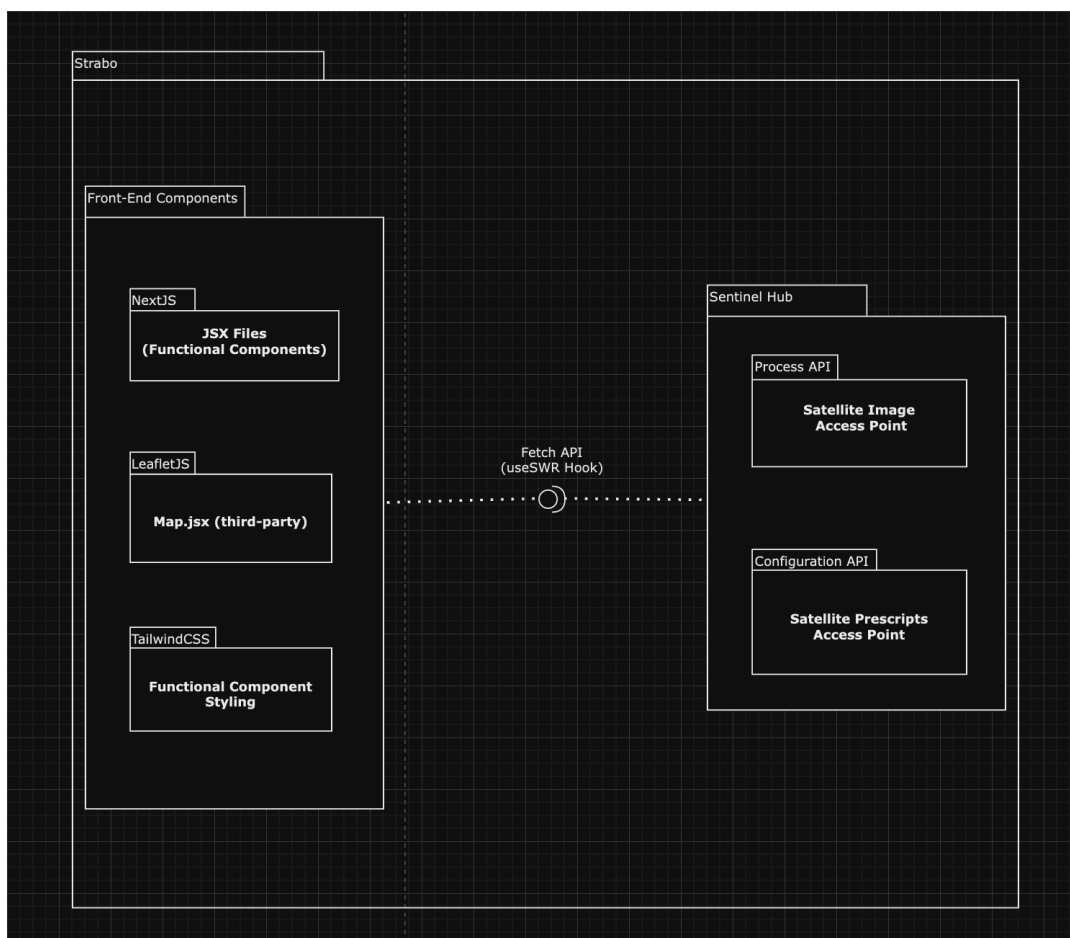
Εικόνα 24: Δομή request για το Process API

- **Configuration API:** Λειτουργεί συμπληρωματικά με το Process API, για την επιστροφή έτοιμων και λειτουργικών κομματιών κώδικα (code snippets), ώστε να χρησιμοποιηθούν έπειτα, εφόσον επιλεγθούν από το χρήστη, από το Process API σε κάποια αίτηση (request) μέσω της μεταβλητής envscript για την περαιτέρω επεξεργασία κάποιας δορυφορικής φωτογραφίας.

```
const { error, isLoading } = useSWR(  
  "https://services.sentinel-hub.com/configuration/v1/datasets/S2L2A/dataproducts",  
  fetcher,  
  {  
    revalidateOnFocus: false,  
  }  
);
```

Εικόνα 25: Δομή request για το Configuration API

Η ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική της διαδικτυακής εφαρμογής φαίνεται παρακάτω.



Διάγραμμα 2: Class Diagram για την αρχιτεκτονική του Strabo

Η διαδικασία ανάπτυξης την εφαρμογής βασίζεται στη δημιουργία κώδικα, στην αποθήκευση και στη συντήρηση του. Για να επιτευχθούν τα παραπάνω, χρησιμοποιήθηκαν 3 εργαλεία.

A. Visual Studio Code (VS Code)[59]

Πρόκειται για ένα ενσωματωμένο περιβάλλον ανάπτυξης(IDE) που παρέχεται από τη Microsoft. Διατίθεται ως διαδικτυακή υπηρεσία και ως πρόγραμμα τοπικό για τον υπολογιστή.

Ως ολοκληρωμένο IDE υποστηρίζει πολλές γλώσσες προγραμματισμού και περιλαμβάνει τα εξής ουσιαστικά χαρακτηριστικά προς το development:

- **Code Editor:** παρέχει στοιχεία όπως syntax highlighting, code completion, code refactoring.
- **Ενσωματωμένο Terminal:** διευκολύνει την εκτέλεση εντολών μεταγλώττισης(compile) του προγράμματος ή/και εγκατάστασης εξωτερικών βιβλιοθηκών(third party libraries).
- **Debugging και Testing λειτουργίες:** υποστηρίζει τη δημιουργία breakpoints, βηματικό debugging ανά γραμμή, αλλά και unit testing frameworks.
- **Version Control Integration:** συνδέεται άμεσα με version control systems, όπως το Github.
- **Extensions:** προσφέρει μια πληθώρα από πακέτα(packages) τα οποία μπορούν να προστεθούν και να διαμορφώσουν/βελτιώσουν όλες τις προαναφερθείσες λειτουργίες.

Το Strabo, λοιπόν, αναπτύχθηκε μέσω VS Code για εκμετάλλευση των παραπάνω δυνατοτήτων.

Επιλέχθηκε η εγκατάσταση του VS Code τοπικά στον υπολογιστή, μιας και δεν υπήρχε ανάγκη συνεργασίας με άλλο άτομο για τη δημιουργία της εφαρμογής. Οπότε, η εναλλακτική χρήση του VS Code στο διαδίκτυο μαζί με GitHub codespaces απορρίφθηκε.

Ως προς τα extensions, αξίζει η αναφορά σε τρία packages τα οποία βοήθησαν αρκετά στην ομαλή σύνταξη του κώδικα της εφαρμογής.

- **Console Ninja[60]:** Πρόκειται για εργαλείο που εμφανίζει τα console.log() και τα runtime errors κατευθείαν στον editor του vs code, διευκολύνοντας το debugging και απομακρύνοντας από τον περιηγητή αυτές τις λειτουργίες.
- **Prettier[61]:** Αποτελεί έναν opinionated code formatter, που λαμβάνοντας υποψιν το μέγιστο μήκος κάποιας γραμμής κώδικα στον Editor οδηγεί σε μία ομοιόμορφη δομή, σε κάθε αρχείο της εφαρμογής.
- **Color Highlight[62]:** Extension που διευκολύνει την οπτικοποίηση των χρωμάτων είτε έχουν εισαχθεί με hexadecimal αριθμό είτε ως CSS rules από το tailwind.

Αποτελεί μια υπηρεσία που βασίζεται στο cloud και αποσκοπεί στο να διευκολύνει την αποθήκευση και τη διαχείριση του κώδικα των εφαρμογών, ενώ παράλληλα καθίσταται δυνατή η παρακολούθηση και ο έλεγχος των αλλαγών που πραγματοποιούνται.

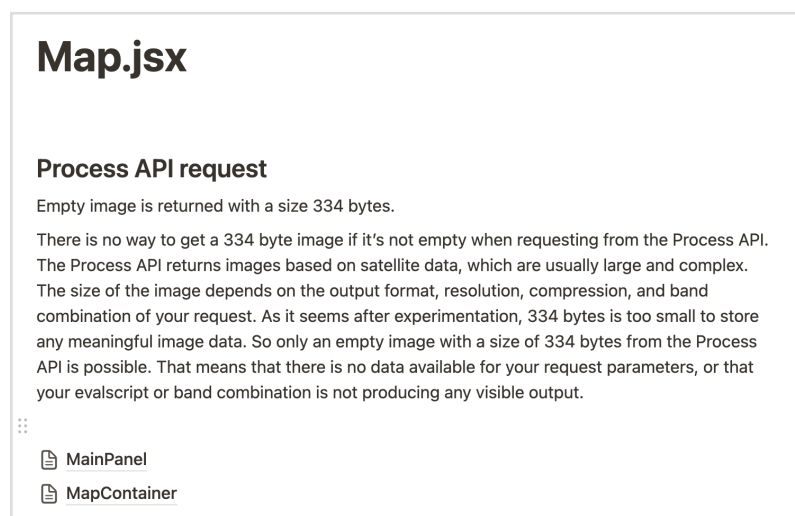
Το πιο βασικό χαρακτηριστικό του GitHub είναι ο έλεγχος της έκδοσης(version control). Στις διαδικτυακές εφαρμογές συνεχώς προκύπτουν αλλαγές στον κώδικα είτε διορθώνοντας σφάλματα(bugs) που με τη χρήση εντοπίζονται, είτε στοιχείων(cosmetics) στην διεπαφή της εφαρμογής. Οπότε, ενώ υπάρχει ο πηγαίος κώδικας όταν τρέχει η εφαρμογή, πραγματοποιείται διακλάδοση(branching) κάποιου τμήματος ή ολόκληρου του πηγαίου κώδικα. Με αυτό τον τρόπο, μπορούν να τελεστούν και να αποθηκευτούν προσωρινά και με ασφάλεια, οι αλλαγές του κώδικα. Μόλις αποφασιστεί ότι δεν υπάρχουν σφάλματα γίνεται συγχώνευση με τον πηγαίο κώδικα και προκύπτει η νέα έκδοση της εφαρμογής.

Με το Strabo, μέχρι να ολοκληρωθεί η εφαρμογή και να πραγματοποιηθεί το deployment που περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο, δεν επιδιώχθηκε η προαναφερθείσα διαδικασία της διακλάδοσης και συγχώνευσης κώδικα. Όταν, ωστόσο, ολοκληρώθηκαν οι λειτουργίες και έγινε διαθέσιμη πειραματικά στο διαδίκτυο, η πρακτική αυτή υιοθετήθηκε.

C.Notion[64]

Πρόκειται για ένα διαδικτυακό εργαλείο παραγωγικότητας(productivity tool) το οποίο αποσκοπεί στη διευκόλυνση της οργάνωσης κάποιου έργου(project). Οι βασικές του λειτουργίες είναι η δημιουργία σημειώσεων(note-taking) και βάσης γνώσης(knowledge base), ο καθορισμός των εργασιών(task management) και γενικότερα η συνεργασία με τα υπόλοιπα άτομα του έργου για ορθότερη διαχείριση του.

Για την εξελικτική πορεία του Strabo, το Notion χρησίμευσε ιδιαίτερα, αφού



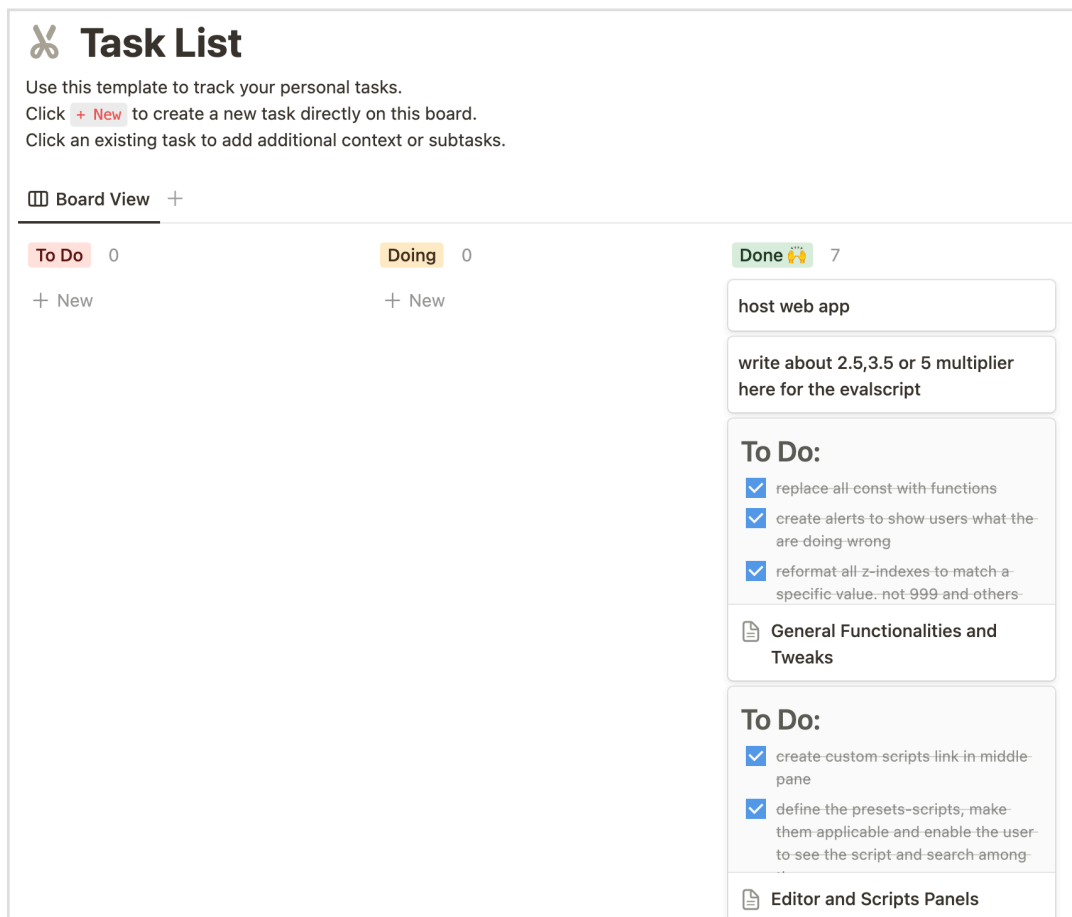
δημιουργήθηκε μια μικρή βάση γνώσης, με πληροφορίες πάνω σε συναρτήσεις του κώδικα της εφαρμογής. Με αυτό τον τρόπο, διασφαλίστηκε η συνέπεια στην ανάπτυξη της εφαρμογής και δικαιολογήθηκαν κάποιες επιλογές που έγιναν κατασκευαστικά.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αρχείου της βάσης γνώσης φαίνεται δίπλα.

Εικόνα 26: Αρχείο βάσης γνώσης για επιστροφή κενής φωτογραφίας από το Process API

Επιπρόσθετα, το μεγαλύτερο μέρος των εργασιών(tasks) στο Strabo, ορίστηκε μέσω του Notion. Αυτό, βοήθησε στην οργάνωση και στο καθορισμό των απαιτήσεων της εφαρμογής.

Παρακάτω, παρουσιάζεται το χαρακτηριστικό μέρος των εργασιών που ορίστηκαν.



Εικόνα 27: Task Management

5.5. Strabo: Deployment

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η δημοσίευση της εφαρμογής στο διαδίκτυο δεν αποτελεί στόχο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Παρόλαυτα, η ανάπτυξη της στηρίχθηκε σε πρακτικές που αρκετά εύκολα μπορούν να τη μετατρέψουν σε μία δημόσια και εμπορική εφαρμογή.

Πιο συγκεκριμένα, η επιλογή του NextJS ως βασικό πλαίσιο για τη δημιουργία του Strabo αποτελεί ιδανικό εργαλείο για την ταχεία και εύκολη δημοσιοποίηση του. Αυτό συμβαίνει διότι, το συγκεκριμένο framework έχει αναπτυχθεί από την εταιρεία Vercel, η οποία αντιμετωπίζει την ανάπτυξη των web applications ολιστικά. Για κάθε NextJS εφαρμογή, δηλαδή, παρέχεται εξατομικευμένος μηχανισμός φιλοξενίας (hosting mechanism), ο οποίος μάλιστα, περιλαμβάνει και free tier(hobby plan).

Με βάση τα παραπάνω, λοιπόν, επιδιώχθηκε η εξερεύνηση αυτής της δυνατότητας που προσφέρεται από τη Vercel[65].

5.5.1. Διαδικασία Δημοσιοποίησης

Το Strabo από την αρχή της ανάπτυξης του, στηρίχθηκε στη χρήση του GitHub για τη διατήρηση του πηγαίου κώδικα. Σε αυτό, συνδέεται η Vercel και αποκτά μετά από διαπίστευση(authorization) που της παρέχεται, πρόσβαση στον πηγαίο κώδικα της εφαρμογής. Στη συνέχεια, μέσω της πλατφόρμας της Vercel καθίσταται δυνατή η μεταγλώττιση(compilation) και το production building της εφαρμογής. Ύστερα από περίπου 1 λεπτό, η εφαρμογή είναι πλέον προσβάσιμη στο διαδίκτυο μέσω 3 δωρεάν urls που σου παρέχει η ίδια η Vercel.

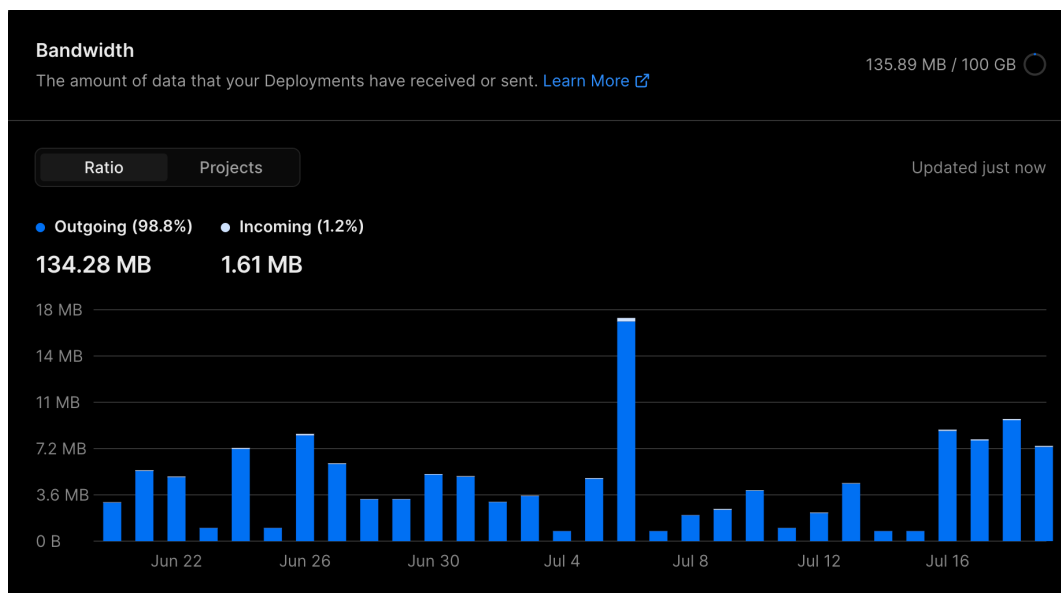
Αξίζει να σημειωθεί, ότι υπάρχει η δυνατότητα άμεσα να συνδεθεί η διαθέσιμη εφαρμογή με οποιοδήποτε αγορασμένο url κατέχει ο διαχειριστής της.

5.5.2. Λόγοι Επικείμενων Χρεώσεων

Κάνοντας deploy το Strabo, αυτό που παρατηρήθηκε λόγω της ανυπαρξίας βάσης δεδομένων/edge functions/serverless functions είναι ότι 2 πράγματα κρίνουν το κόστος της φιλοξενίας της εφαρμογής στο cloud της vercel:

A. Bandwidth

Πρόκειται για την ποσότητα δεδομένων(data) που τα deployments της εφαρμογής έχουν στείλει(Outgoing bandwidth) ή λάβει(Incoming bandwidth). Στη συγκεκριμένη περίπτωση, αυτά που στέλνει σε σχέση με αυτά που λαμβάνει βρίσκονται περίπου σε αναλογία 99 προς 1.



Εικόνα 28: Bandwidth εντός χρονικού διαστήματος ενδεικτικής προσωπικής χρήσης

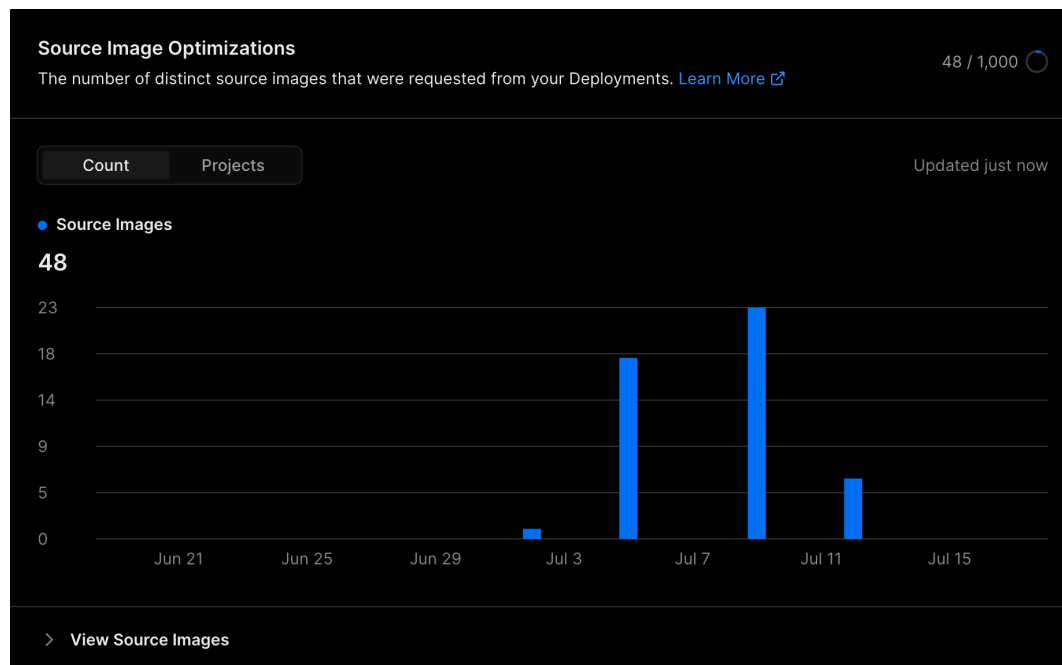
Αυτό, διότι το εισερχόμενο(incoming) bandwidth στηρίζεται στα requests που κάνουν οι χρήστες στην εφαρμογή, για js,css,svg chunks, τα οποία έχουν πολύ μικρό data overhead σε σχέση με τα ίδια τα αρχεία που οφείλει να επιστρέψει η Vercel ως απάντηση

(εξερχόμενο/outgoing bandwidth). Συνολικά, ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί ότι και τα δυο αθροιστικά δεν πρέπει να ξεπερνούν το συνολικό bandwidth των 100GB.

B. Image Optimisation

Αφορά της διαφορετικές εικόνες που αιτούνται μέσω της εφαρμογής. Στην περίπτωση του Strabo, οι φωτογραφίες είναι το βασικό χαρακτηριστικό και αυτό που θα καθορίσει το μεγαλύτερο μέρος του κόστους σε περίπτωση δημόσιας διάθεσης του.

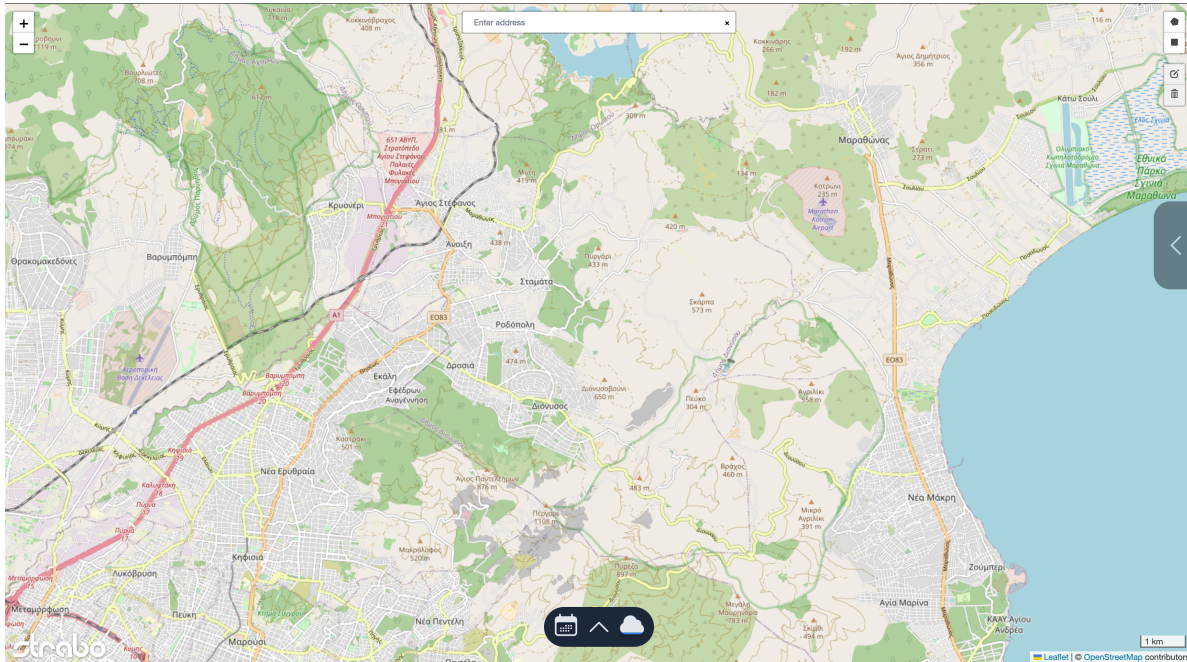
Παρακάτω, φαίνεται ενδεικτικά τα όρια που προβάλλονται για το free tier. Κάθε αίτηση(request) προς το Sentinel Hub Process API αποτελεί 1 source image και άρα +1 στον μετρητή της φωτογραφίας μέχρι να προσεγγιστούν 1000 που είναι αρκετά λίγες σε περίπτωση ευρείας χρήσης της εφαρμογής.



Εικόνα 29: Source Image Optimizations εντός χρονικού διαστήματος ενδεικτικής προσωπικής χρήσης

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η εφαρμογή Strabo αποτελεί τον ορισμό του SPA, μιας και αποτελείται από μια μόνο σελίδα, την αρχική σελίδα.

Οπότε, αυτό που εμφανίζεται στο χρήστη κατά την επίσκεψη του στην ιστοσελίδα είναι το εξής:



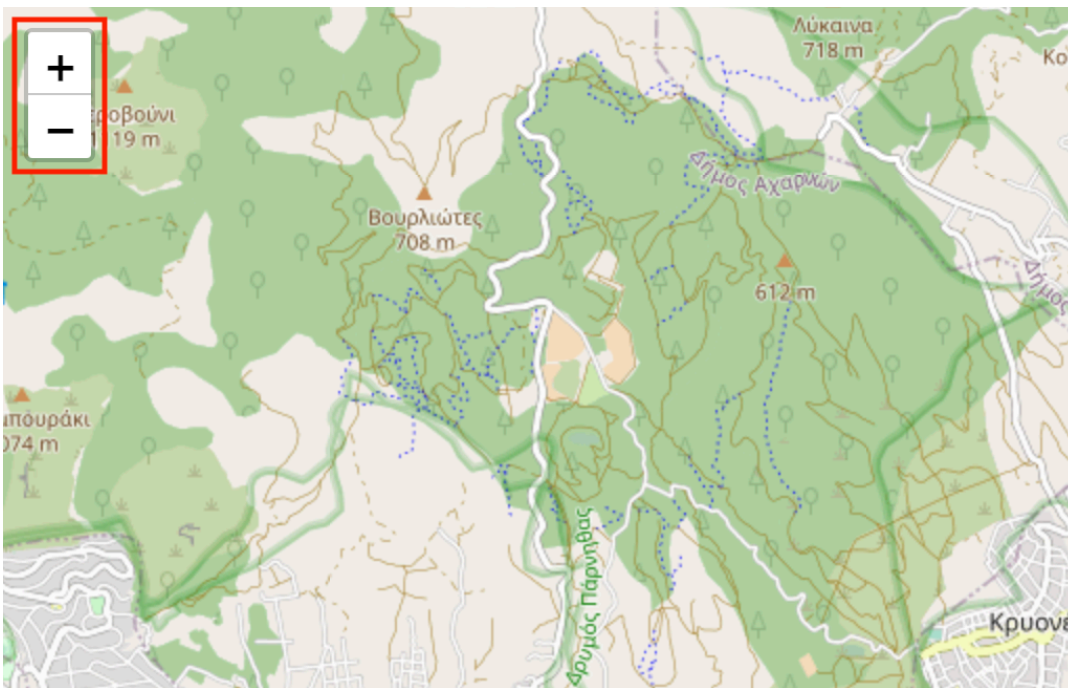
Εικόνα 30: Homepage

Όπως γίνεται φανερό, η ιστοσελίδα χωρίζεται σε 3 μέρη ενδιαφέροντος πέρα από το χάρτη που καταλαμβάνει ολόκληρη την ιστοσελίδα, τα οποία αποτελούν τις υλοποιήσεις των προαναφερθέντων λειτουργικών απαιτήσεων:

- A. Το πάνω μέρος
- B. Το δεξί τμήμα
- C. Το κάτω μέρος

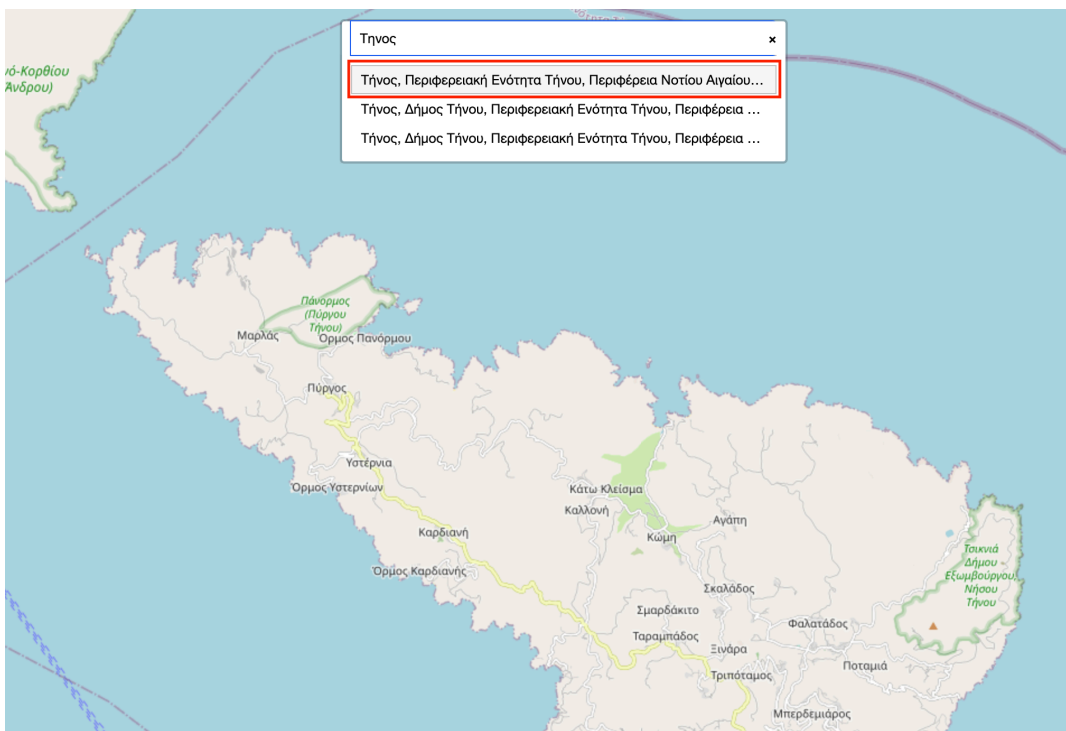
A. Ως προς το πάνω μέρος της ιστοσελίδας αυτό χωρίζεται σε 3 μέρη που αποτελούν και τις δυνατότητες αλληλεπίδρασης με το χάρτη:

- Τα κουμπιά zoom in/out. Κάνοντας click στο + πραγματοποιείται zoom in στο χαρτη. Ενώ αντίθετα με click στο - απομακρύνεται σε μεγαλύτερο υψόμετρο αυτό που εμφανίζεται στο χάρτη (zoom out).



Εικόνα 31: Λειτουργίες zoom in/out

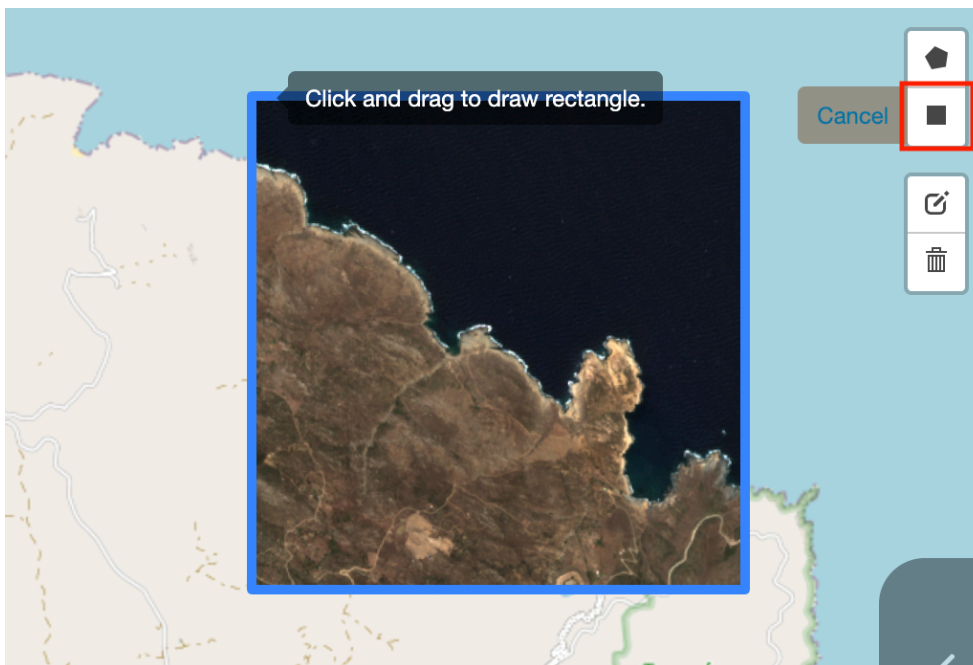
- Το geoSearch στο οποίο επιλέγεται το τοπωνύμιο. Με βάση τους χαρακτήρες που εισάγονται, προκύπτουν οι προτεινόμενες επιλογές και κάνοντας κλικ σε μια από αυτές πραγματοποιείται η μετάβαση στην περιοχή που περιγράφεται, η οποία εμφανίζεται κεντρικά στο χάρτη. Παρακάτω φαίνεται ένα παράδειγμα στο οποίο επιλέχθηκε η Τήνος.



Εικόνα 32: Λειτουργία geosearch

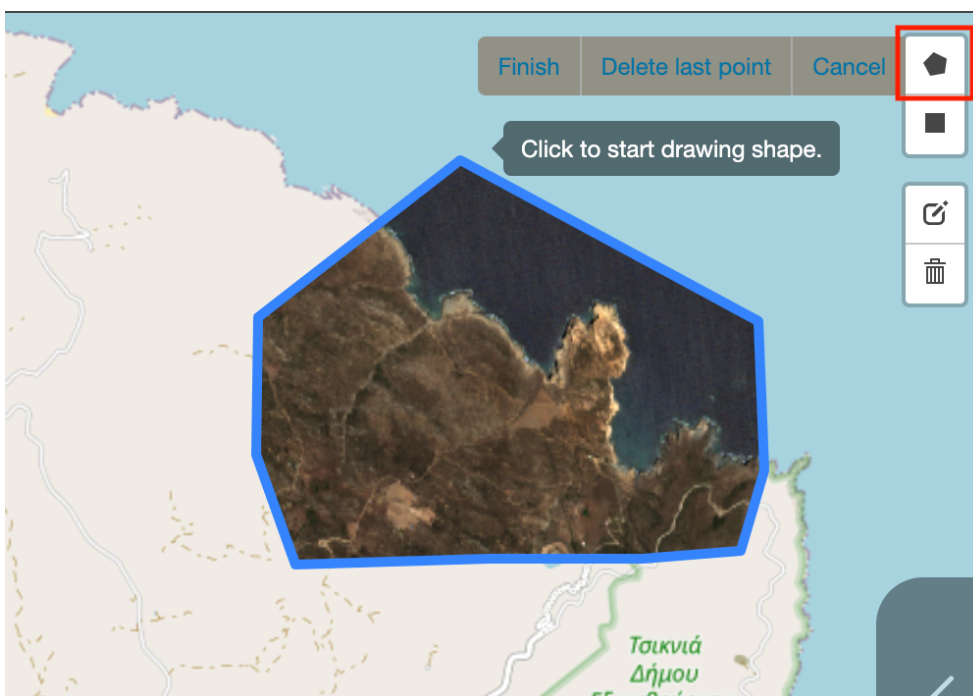
- Τα κουμπιά που δίνουν τη δυνατότητα να δημιουργηθεί ένα παραλληλόγραμμο ή ένα πολύγωνο γενικότερα και εκείνα που επιτρέπουν τη μεταβολή των προαναφερθέντων σχημάτων ή τη διαγραφή τους.

Για τον ορισμό του παραλληλόγραμμου:



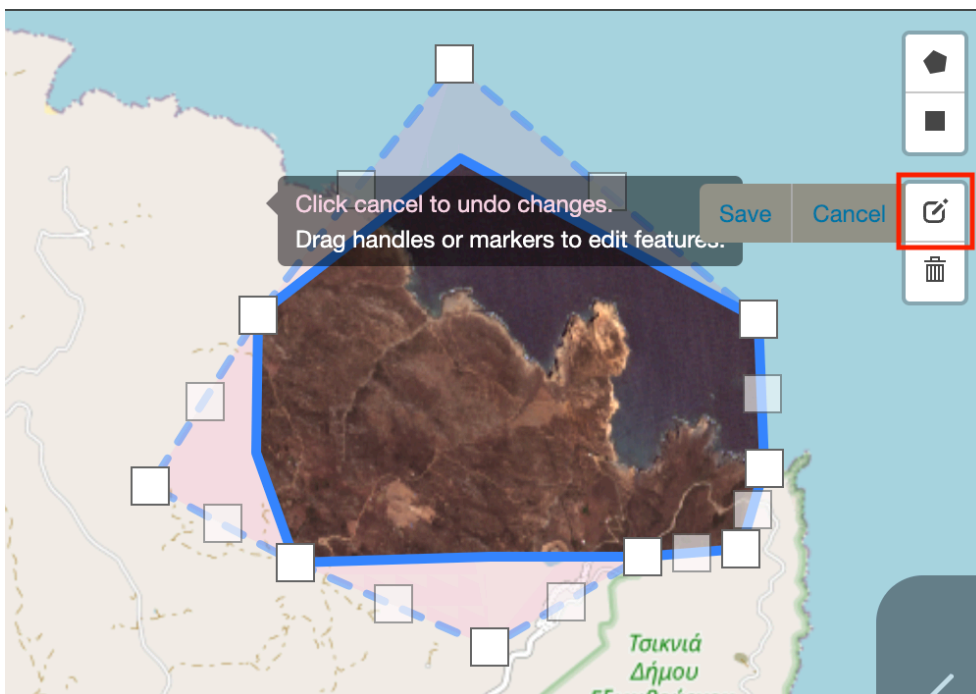
Εικόνα 33: Σχεδιασμός παραλληλόγραμμου

Για τον ορισμό του πολυγώνου:



Εικόνα 34: Σχεδιασμός πολυγώνου

Για το edit των πολυγώνων:



Εικόνα 35: Edit πολυγώνου

Για τη διαγραφή των πολυγώνων:



Εικόνα 36: Διαγραφή πολυγώνου

Β. Ως προς το δεξί τμήμα της ιστοσελίδας:

Εκεί βρίσκεται ένα side panel, το οποίο ανοιγοκλείνει για να μην ενοχλεί το οπτικό πεδίο του χρήστη όποτε κρίνει ο χρήστης ότι είναι απαραίτητο. Σε αυτό περιλαμβάνονται κάποιες βασικές πληροφορίες παραμέτρων, όπως το time range και το max cloud coverage, τις οποίες ρυθμίζει ο χρήστης ώστε να ληφθεί κατάλληλα επεξεργασμένη η φωτογραφία από τους δορυφόρους. Επιπρόσθετα στο side panel διατίθενται πληροφορίες για το γεωγραφικό μήκος και πλάτος του κέρσορα όταν αυτός βρίσκεται πάνω στο χάρτη.

Ένα ενδεικτικό παράδειγμα των παραπάνω παρουσιάζεται στις παρακάτω φωτογραφίες:



Εικόνα 37: Ενεργοποίηση sidepanel



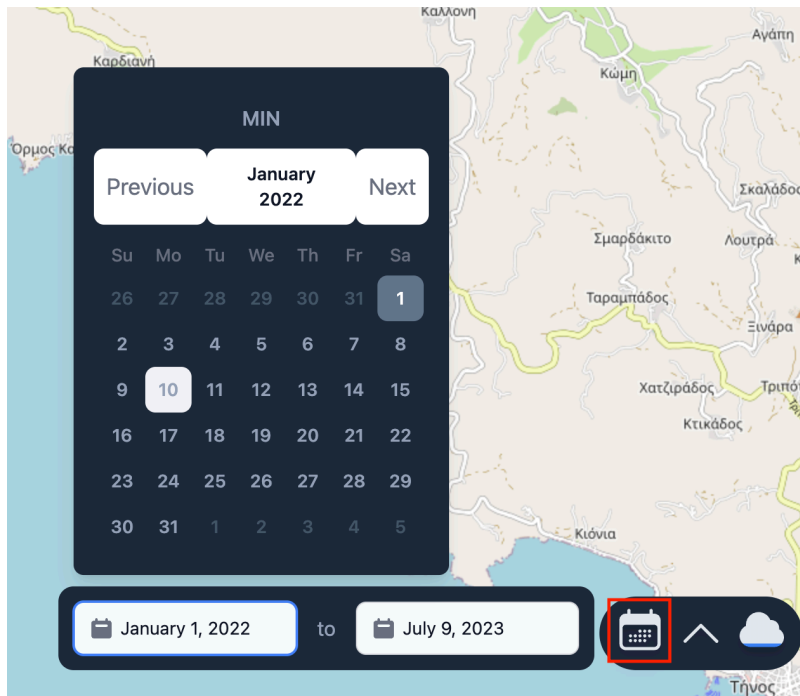
Εικόνα 38: Απενεργοποίηση sidepanel

Εκεί πραγματοποιείται το μεγαλύτερο μέρος των λειτουργιών, καθώς σε αυτό βρίσκεται όλη η παραμετροποίηση της αίτησης(request) προς το Sentinel Hub API.

Ειδικότερα, παρατηρείται η ύπαρξη τριών κουμπιών με τη μορφή icons.

- Το αριστερό κουμπί με icon το ημερολόγιο, αποτελεί το σημείο που ο χρήστης επιλέγει το date range μέσω επιλογών ημερομηνίας(date pickers) ώστε να καθοριστεί το επιθυμητό χρονικό διάστημα για να ληφθεί η φωτογραφία από τους δορυφόρους sentinel 2.

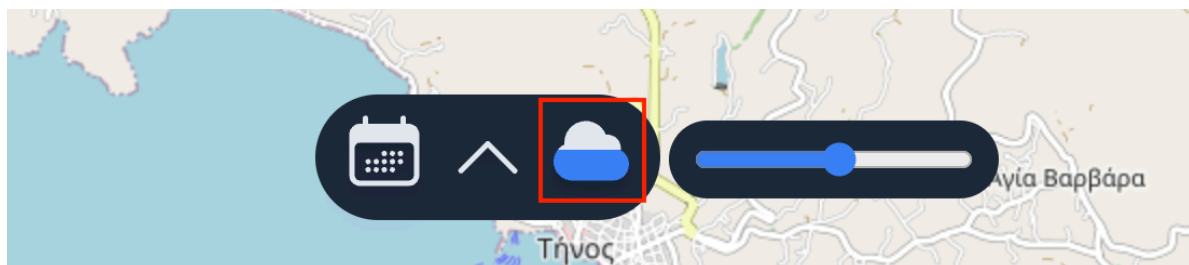
Η διαδικασία αυτή καθίσταται φανερή στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 39: Ορισμός time range

- Το δεξί κουμπί με icon το σύννεφο, αποτελεί το σημείο στο οποίο ο χρήστης επιλέγει το max cloud coverage μέσω slider. Αξίζει να σημειωθεί ότι όσο μεγαλύτερη τιμή επιλεγεί τόσο περισσότερο χρωματίζεται μπλε το icon του συννέφου.

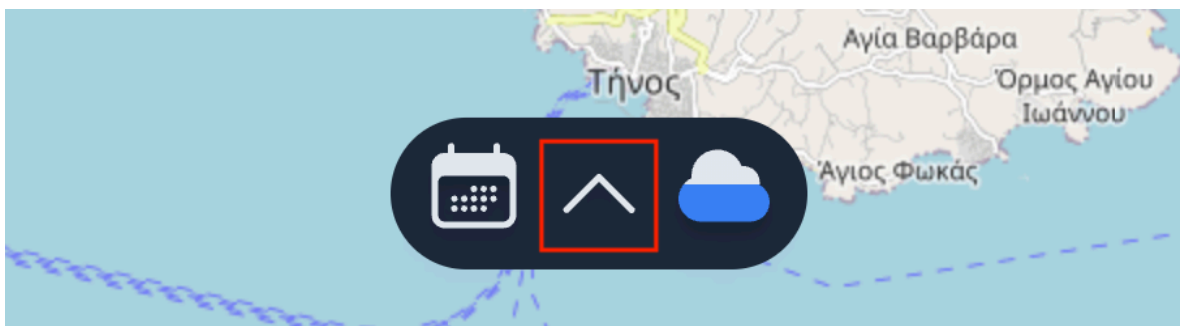
Παρακάτω εμφανίζεται ενδεικτικά το προαναφερθέν:



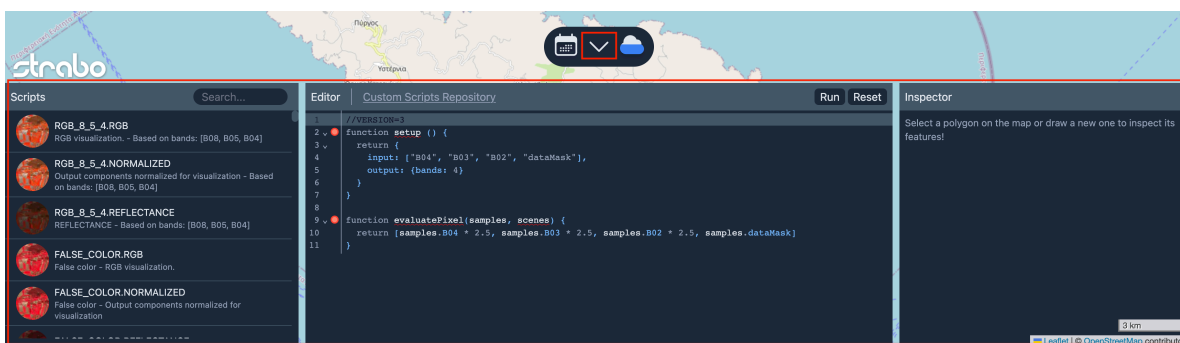
Εικόνα 40: Ορισμός max cloud coverage

- Το κεντρικό κουμπί με το βέλος είναι υπεύθυνο για την εμφάνιση του περιβάλλοντος εργασίας(workspace) για το χρήστη. Ουσιαστικά, ανοίγοκλείνει το κύριο panel στο οποίο πραγματοποιείται η προχωρημένη επεξεργασία των εικόνων των δορυφόρων με κάποιο script.

Παρακάτω φαίνεται η λειτουργία αυτή.



Εικόνα 41: Ενεργοποίηση main panel



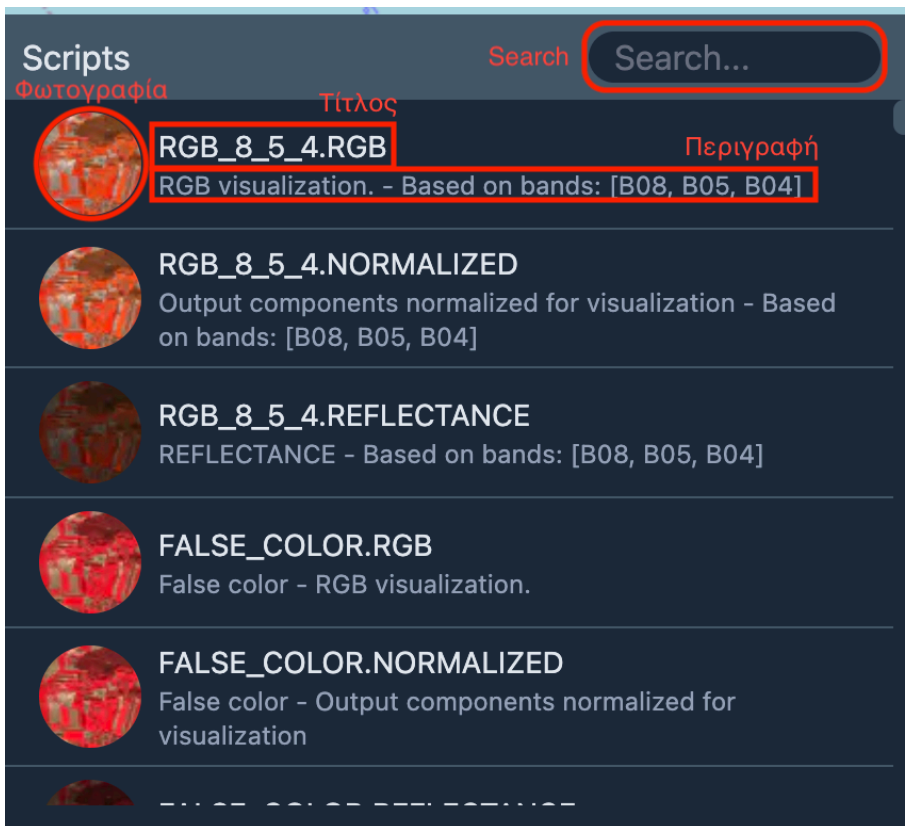
Εικόνα 42: Απενεργοποίηση main panel

Στην προηγούμενη φωτογραφία παρατηρείται ότι το περιβάλλον επεξεργασίας που εμφανίζεται για το χρήστη αποτελείται από 3 χωρία.

Το αριστερό χωρίο: Αυτό αποτελείται από μία λίστα προεπιλογών. Πρόκειται για έτοιμα scripts τα οποία είναι αποθηκευμένα στο sentinel hub και τα οποία αποσκοπούν σε κάποια βασική εξαγωγή οπτικών δεικτών από τις φωτογραφίες των δορυφόρων. Κάθε μια από αυτές μπορεί να επιλεγεί από το χρήστη ώστε να εφαρμοστεί σε κάποιο επιλεγμένο πολύγωνο στο οποίο έπειτα, προβάλλεται η επεξεργασμένη φωτογραφία του δορυφόρου. Ως προς τα χαρακτηριστικά αυτών των προεπιλογών, είναι ξεκάθαρο ότι απαρτίζονται από ένα τίτλο, μία περιληπτική περιγραφή της λειτουργίας και από μια φωτογραφία ώστε να γίνει αντιληπτό το αποτέλεσμα που θα προκύψει.

Παράλληλα, σε αυτό το χωρίο υποστηρίζεται μία βασική λειτουργία αναζήτησης(search) σχετικά με τον τίτλο των προεπιλογών.

Τα παραπάνω γίνονται εμφανή ακολούθως:

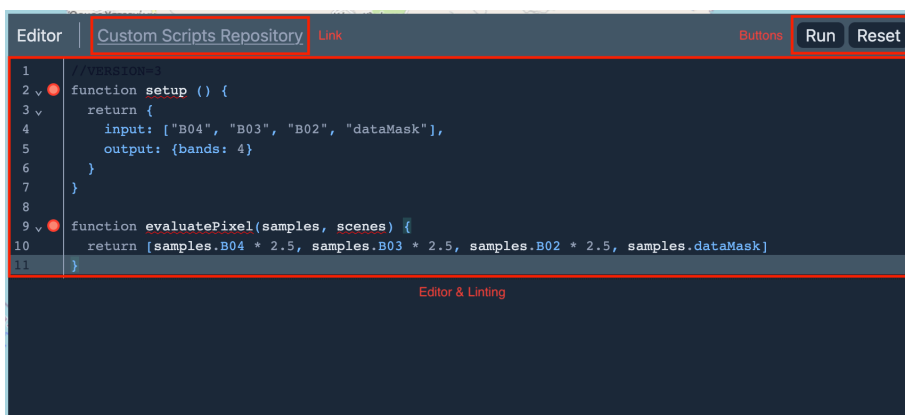


Εικόνα 43: Δομή prescripts

Το μεσαίο χωρίο: Σε αυτό προβάλλεται ο κώδικας κάθε προεπιλογής του προηγούμενου χωρίου που εξετάστηκε, αλλά αποτελεί και βασικό editor για το χρήστη ώστε να δημιουργήσει το δικό του javascript κώδικα, παρέχοντας του παράλληλα λειτουργία εντοπισμού βασικών συντακτικών λαθών μέσω linting μηχανισμού. Όλα αυτά, συμπληρώνονται από τα δύο κουμπιά Run και Reset τα οποία επιτυγχάνουν την εφαρμογή του κώδικα στο request προς το API και την αναίρεση του απο αυτό αντίστοιχα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι παρέχεται ένα url το οποίο είναι υπεύθυνο για την πρόσβαση του χρήστη σε επιπλέον έτοιμες προεπιλογές στο αποθετήριο(repository) του sentinel 2.

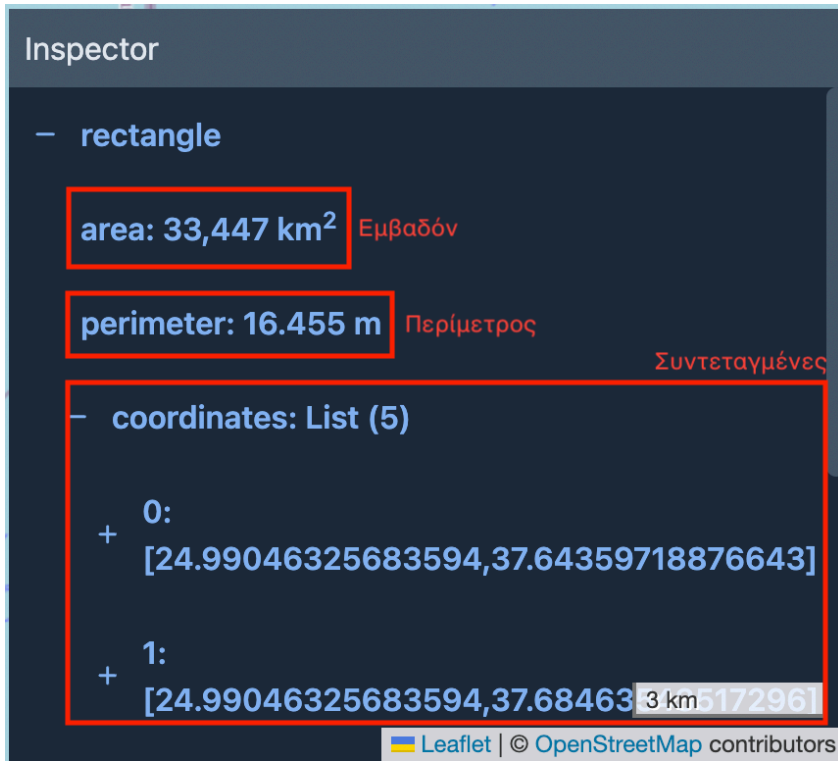
Όλα τα προαναφερθέντα φαίνονται παρακάτω:



Εικόνα 44: Δομή Editor

Το δεξί χωρίο: Εδώ, εφόσον έχει επιλεγθεί κάποιο πολύγωνο στο χάρτη, προβάλλονται τα βασικά του χαρακτηριστικά, όπως οι συντεταγμένες των κορυφών του, η περίμετρος του και το εμβαδόν του.

Αυτά φαίνονται στη συνέχεια:



Εικόνα 45: Πληροφορίες επιλεγμένου πολυγώνου

7.1. Συμπεράσματα

Ολοκληρώνοντας τη διπλωματική εργασία και την ανάπτυξη της εφαρμογής Strabo, αξίζει να σημειωθεί ότι η προσπάθεια ικανοποίησης των καθορισμένων λειτουργικών και μη απαιτήσεων καθώς και η ανάγκη διαφοροποίησης από τις ήδη υπάρχουσες και παρόμοιου σκοπού δημόσιες διαδικτυακές εφαρμογές στέφθηκαν με επιτυχία. Κατέστη δυνατή η δημιουργία μίας πλατφόρμας, η οποία βελτιώνει ουσιαστικά τη ροή εργασίας των χρηστών, μέσω ενός αρκετά προσφιλούς περιβάλλοντος εργασίας.

Συγχρόνως, επιτεύχθηκε ο ορισμός μίας σύγχρονης εφαρμογής με βάση επιλεγμένα εργαλεία του web development, η οποία στηρίζεται αποκλειστικά στα δεδομένα των Sentinel δορυφόρων της ESA. Με αυτό τον τρόπο, γίνεται εφικτή ίσως, η μεταγενέστερη δημιουργία ισχυρού ανταγωνισμού ως προς το Google Earth Engine που πρωτοστατεί σε αυτόν τον κλαδό των public web applications.

Αναφορικά με τη μεθοδολογία εκπόνησης της εφαρμογής, τα βήματα που ακολουθήθηκαν ήταν πλήρη και καλώς ορισμένα, δημιουργώντας έτσι, σαφή πορεία, χωρίς να δημιουργηθεί ανάγκη αναθεώρησης της συνολικής ή επιμέρους στρατηγικής σε κάποιο στάδιο.

Ειδικότερα, ως προς την τεχνολογική πλευρά της εργασίας, οι επιλογές των εργαλείων αποτέλεσαν ασπίδα προς οποιοδήποτε τροχοπέδη στην ανάπτυξη της εφαρμογής. Αρχικά, εφόσον η συγγραφή του πηγαίου κώδικα είναι μια διαδικασία επαναληπτική, που συχνά πρέπει να αναθεωρηθούν πρακτικές για να ενσωματωθούν νέες λειτουργικότητες, η χρήση κάποιου τεχνολογικού εργαλείου για θεωρητική ανάλυση και καταγραφή σε κάποια βάση γνώσης υπήρξε ιδιαίτερα χρήσιμη. Έτσι, καθορίστηκε μια εύρωστη και σαφής πολιτική, αποφεύγοντας ενδιάμεσες χρονοβόρες και αναθεωρητικές μεταβολές. Επιπρόσθετα, προς αυτή την κατεύθυνση συνέδραμαν και τα frameworks που αφορούν τη συγγραφή και συντήρηση του κώδικα. Αυτό συμβαίνει διότι, κάθε τέτοιο framework χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένα μοτίβα(patterns), πυλώνες του web development, που οριοθετούν τη δομή του εκάστοτε έργου λογισμικού(project) και κατευθύνουν την πορεία ανάπτυξης του. Για να πραγματοποιηθεί βέβαια αυτό, είναι απαραίτητη η εξοικείωση με τα patterns και άρα η έρευνα στο εκάστοτε documentation. Ευτυχώς, κάθε ένα από τα επιλεγμένα frameworks έχει αρκετά πλήρες και κατανοητό documentation, οπότε η πιθανότητα λάθους αμβλύνθηκε σημαντικά.

Καταληκτικά, ως προς τη δημόσια διάθεση της εφαρμογής, είναι εμφανές ότι μέσω της Vercel αυτό δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί δωρεάν. Βέβαια, αυτό δεν είναι εφικτό γενικότερα από κάποια εταιρεία φιλοξενίας(site hosting company). Η ανάγκη πρόσβασης σε ποικίλες φωτογραφίες από το Strabo, απαιτεί υψηλό bandwidth, το οποίο αποτελεί και το βασικό συστατικό καθορισμού του κόστους από site hosting μηχανισμό. Συνεπώς, σε μελλοντική προέκταση για δημόσια προσβάσιμο Strabo, πρέπει να αναζητηθεί κάποια εξατομικευμένη(custom) λύση, επι πληρωμή, με την εκάστοτε εταιρεία.

Το Strabo αποτελεί το θεμέλιο για τη δημιουργία μίας ολοκληρωμένης εφαρμογής. Αποτελεί ειδικού σκοπού πλατφόρμα, καθώς χειρίζεται αποκλειστικά Sentinel 2-L2A δεδομένα και με περιορισμένες λειτουργίες, αλλά μέσω των παρακάτω μελλοντικών εργασιών θα μπορέσει να μεταβληθεί σε μία χρήσιμη και δημόσια εφαρμογή.

- A. Επέκταση πηγών δεδομένων για χρήση και άλλων δορυφόρων της ESA, για να διευρυνθεί η χρησιμότητα της εφαρμογής και σε άλλες περιπτώσεις έρευνας, όπως για μελέτη της ατμόσφαιρας ή/και των ωκεανών. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί, επίσης, μέσω του Process API, καθώς όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενως([κεφ.5.3.1.4](#)) υποστηρίζει πληθώρα δορυφόρων.
- B. Δημιουργία custom editor ώστε να μπορεί ο χρήστης να δουλεύει με προσαρμοσμένο τρόπο πάνω στα ειδικά scripts που συντάσσει για την επεξεργασία των δορυφορικών φωτογραφιών. Με αυτό τον τρόπο, θα καταστεί δυνατή η οπτικοποίηση σφαλμάτων στον κώδικα του χρήστη, η εξατομικευμένη υπογράμμιση συντακτικών σφαλμάτων αλλά και η παροχή προτάσεων(suggestions) για βελτιώσεις/διορθώσεις.
- C. Δημιουργία Login/Logout μηχανισμού, ώστε να μπορεί να διαπιστευθεί ο κάθε χρήστης για να τελέσει τις επιτρεπόμενες λειτουργίες, χωρίς να απαιτείται χειροκίνητη εισαγωγή στοιχείων όπως στη συγκεκριμένη περίπτωση ακαδημαϊκής χρήσης. Ωστόσο, είναι απαραίτητη, η πληρωμή ενός επαγγελματικού account στο Sentinel Hub για να καταστεί δυνατό το προαναφερθέν.
- D. Δυνατότητα αποθήκευσης/διαμοιρασμού(sharing) φωτογραφιών. Εκτός, από οπτικοποίηση πάνω στο χάρτη χρήσιμη είναι και περαιτέρω αποθήκευση για ειδική χρήση τοπικά στη συσκευή του χρήστη αλλά και σε κάποιο blob storage εφόσον είναι επιθυμητό. Ενώ, συγχρόνως, σε περίπτωση συνεργασίας με άλλα άτομα σε κάποια ερευνητική διαδικασία, αποτελεί ιδανική προσθήκη η δυνατότητα sharing του αποτελέσματος μαζί ίσως με κάποια metadata και άμεσης οπτικοποίησης στην πλατφόρμα του Strabo κάποιας άλλης συσκευής.
- E. Δυνατότητα επιλογής layers στον αρχικό χάρτη ώστε να φαίνονται μόνο χρήσιμα δεδομένα. Για παράδειγμα, αποφυγή εμφάνισης δρόμων και προβολή έντονα του εδάφους στο viewport της οθόνης του χρήστη.
- F. Προσθήκη δυνατότητας δημιουργίας workspaces ώστε να επιτευχθούν πολλαπλές ερευνητικές διαδικασίες από κάποιο χρήστη. Αυτή τη στιγμή ικανοποιείται ένα workspace, που με κάθε ανανέωση(refresh) της ιστοσελίδας εξαφανίζεται.
- G. Παροχή στον Inspector χρήσιμων πληροφοριών αναφορικά με την επεξεργασία που έχει υποστεί η εκάστοτε δορυφορική εικόνα, όπως για την τιμή που λαμβάνει κάθε φασματική ζώνη ή τις τιμές συγκεκριμένων δεικτών(π.χ. NDVI, NDWI).

Αξίζει να αναφερθεί ότι για τις περισσότερες από τις παραπάνω προσθήκες απαιτείται η χρήση cloud για βάσεις δεδομένων, το οποίο αφορά και τη βασική μελλοντική τεχνολογική προέκταση.

- [1] “Remote Sensing”, Oxford Reference, <https://www.oxfordreference.com/display/10.1093/oi/authority.20110803100413590> (accessed Sep. 13, 2023).
- [2] “Τηλεπισκόπηση”, Wikipedia, <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CF%80%CE%B9%CF%83%CE%BA%CF%8C%CF%80%CE%B7%CF%83%CE%B7> (accessed Sep. 13, 2023).
- [3] Webmaster, “Earth Observation & GIS”, space4environment, [https://space4environment.com/solutions-references/technologies/earth-observation-and-gis#:~:text=EARTH%20OBSERVATION%20%26%20GIS&text=Earth%20observation%20\(or%20remote%20sensing,Geographic%20Information%20Systems%20\(GIS\)](https://space4environment.com/solutions-references/technologies/earth-observation-and-gis#:~:text=EARTH%20OBSERVATION%20%26%20GIS&text=Earth%20observation%20(or%20remote%20sensing,Geographic%20Information%20Systems%20(GIS)) (accessed Jul. 10, 2023).
- [4] “Newcomers Earth Observation Guide”, business applications, https://business.esa.int/newcomers-earth-observation-guide#ref_3.3 (accessed Jul. 12, 2023).
- [5] “3.1. fundamentals of multispectral earth observation”, 3.1. Fundamentals of multispectral Earth observation - GIS4Schools documentation, https://gis4schools.readthedocs.io/en/latest/part3/rs_fundamentals.html#spatial-resolution-and-swath-width (accessed Jul. 12, 2023).
- [6] “3.1. fundamentals of multispectral earth observation”, 3.1. Fundamentals of multispectral Earth observation - GIS4Schools documentation, https://gis4schools.readthedocs.io/en/latest/part3/rs_fundamentals.html#spectral-characteristics (accessed Jul. 13, 2023).
- [7] I. Oy, Satellite Data, <https://www.iceye.com/satellite-data#C1> (accessed Jul. 13, 2023).
- [8] “Newcomers Earth Observation Guide”, business applications, https://business.esa.int/newcomers-earth-observation-guide#ref_1 (accessed Jul. 14, 2023).
- [9] “3.1. fundamentals of multispectral earth observation”, 3.1. Fundamentals of multispectral Earth observation - GIS4Schools documentation, https://gis4schools.readthedocs.io/en/latest/part3/rs_fundamentals.html#satellites-for-earth-observation (accessed Jul. 15, 2023).
- [10] “3.1. fundamentals of multispectral earth observation”, 3.1. Fundamentals of multispectral Earth observation - GIS4Schools documentation, https://gis4schools.readthedocs.io/en/latest/part3/rs_fundamentals.html#satellite-orbits-and-revisit-time (accessed Jul. 16, 2023).
- [11] “Low Earth orbit”, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Low_Earth_orbit (accessed Jul. 14, 2023).
- [12] “Starlink”, Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Starlink#:~:text=SpaceX%20started%20launching%20Starlink%20satellites,possible%20later%20extension%20to%2042%2C000> (accessed Jul. 16, 2023).

- [13] “Newcomers Earth Observation Guide”, business applications, https://business.esa.int/newcomers-earth-observation-guide#ref_2.2 (accessed Jul. 17, 2023).
- [14] “Newcomers Earth Observation Guide”, business applications, https://business.esa.int/newcomers-earth-observation-guide#ref_2.1 (accessed Jul. 18, 2023).
- [15] N. R. Canada, “Pre-processing”, Natural Resources Canada, <https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-and-publications/satellite-imagery-and-air-photos/tutorial-fundamentals-remote-sensing/image-interpretation-analysis/pre-processing/9403> (accessed Jul. 20, 2023).
- [16] “ERS-1 (European remote-sensing satellite-1)”, eoPortal, <https://www.eoportal.org/satellite-missions/ers-1#mission-status> (accessed Jul. 19, 2023).
- [17] “Envisat”, ESA, https://www.esa.int/Enabling_Support/Operations/Envisat#:~:text=Envisat%20provided%20continuous%20observation%20and,groun,d%20communications%20and%20data%20delivery (accessed Jul. 18, 2023).
- [18] “Sentinel-2”, Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Sentinel-2> (accessed Jul. 20, 2023).
- [19] Schreier, “The Copernicus Sentinel Satellites”, DLR, https://www.dlr.de/eoc/en/desktopdefault.aspx/tabid-16002/25948_read-66677/ (accessed Jul. 20, 2023).
- [20] “Sentinel-1 - missions - sentinel online”, Sentinel Online, <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1> (accessed Jul. 21, 2023).
- [21] “Sentinel-2 - missions - sentinel online”, Sentinel Online, <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2> (accessed Jul. 21, 2023).
- [22] “Sentinel-3”, Sentinel Online, <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3> (accessed Jul. 21, 2023).
- [23] “Sentinel-4 - missions - sentinel online”, Sentinel Online, <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-4> (accessed Jul. 21, 2023).
- [24] “Sentinel-5P - missions - sentinel online”, Sentinel Online, <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5p> (accessed Jul. 21, 2023).
- [25] “Sentinel-5 - missions - sentinel online”, Sentinel Online, <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5> (accessed Jul. 21, 2023).
- [26] “Sentinel-6”, Sentinel Online, <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-6> (accessed Jul. 21, 2023).
- [27] Phiri, Darius & Simwanda, Matamyo & Salekin, Serajis & Nyirenda, Vincent & Murayama, Yuuji & Ranagalage, Manjula. (2020). Sentinel-2 Data for Land Cover/ Use Mapping: A Review. Remote Sensing. 12. 2291. 10.3390/rs12142291.
- [28] GISGeography, “Sentinel 2 bands and combinations”, GIS Geography, <https://gisgeography.com/sentinel-2-bands-combinations/> (accessed Jul. 22, 2023).

- [29] “Sentinel-2: Satellite imagery, Overview, and characteristics”, EOS Data Analytics, <https://eos.com/find-satellite/sentinel-2/> (accessed Jul. 23, 2023).
- [30] “Orbit - Sentinel 2 - Mission - Sentinel Online”, Sentinel Online, <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2/satellite-description/orbit#:~:text=The%20SENTINEL%2D2%20mission%20orbit,Earth's%20surface%20is%20consistently%20maintained> (accessed Jul. 23, 2023).
- [31] “Sentinel-2 operations”, ESA, https://www.esa.int/Enabling_Support/Operations/Sentinel-2_operations#:~:text=Each%20Sentinel%20will%20communicate%20with,via%20a%20Ka%2Dband%20link (accessed Jul. 23, 2023).
- [32] “European Data Relay Satellite System (EDRS) overview”, ESA CSC, <https://artes.esa.int/european-data-relay-satellite-system-edrs-overview> (accessed Jul. 24, 2023).
- [33] “PDGS - Sentinel-2 - Missions - Sentinel Handbook”, Sentinel Online, <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2/ground-segment/core-ground-segment/systematic-processing-and-reprocessing-services> (accessed Jul. 24, 2023).
- [34] “Sentinel-2 - data products - sentinel handbook”, Sentinel Online, <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2/data-products> (accessed Jul. 25, 2023).
- [35] “API”, Sentinel Hub, <https://www.sentinel-hub.com/develop/api/> (accessed Jul. 26, 2023).
- [36] “Catalog API”, Sentinel Hub, <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/api/catalog/> (accessed Jul. 26, 2023).
- [37] “Statistical Api”, Sentinel Hub, <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/api/statistical/> (accessed Jul. 26, 2023).
- [38] “Batch statistical api”, Sentinel Hub, <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/api/batch-statistical/> (accessed Jul. 27, 2023).
- [39] “Processing API”, Sentinel Hub, <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/api/process/> (accessed Jul. 27, 2023).
- [40] “Batch Processing Api”, Sentinel Hub, <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/api/batch/> (accessed Jul. 28, 2023).
- [41] “Asynchronous processing API”, Sentinel Hub, <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/api/async-process/> (accessed Jul. 28, 2023).
- [42] API reference - sentinel hub, https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/reference/#tag/configuration_data_product (accessed Jul. 28, 2023).
- [43] “Requests Builder”, Requests builder, <https://apps.sentinel-hub.com/requests-builder/> (accessed Jul. 29, 2023).

- [44] “Sentinel-Hub Playground”, Dashboard, <https://apps.sentinel-hub.com/sentinel-playground/> (accessed Jul. 29, 2023).
- [45] “Sentinel-Hub EO-browser3”, Dashboard, <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/> (accessed Jul. 30, 2023).
- [46] Code.earthengine.google.com, <https://code.earthengine.google.com/18927a33b2f3197e12bdead34062581d> (accessed Jul. 30, 2023).
- [47] “Next.js by vercel - the REACT framework”, Next.js by Vercel - The React Framework, <https://nextjs.org/> (accessed Aug. 1, 2023).
- [48] “Rendering: Static site generation (SSG): Next.js”, Rendering: Static Site Generation (SSG) | Next.js, <https://nextjs.org/docs/pages/building-your-application/rendering/static-site-generation> (accessed Aug. 2, 2023).
- [49] “Educative answers - What is SSG in nextjs”, Educative, <https://www.educative.io/answers/what-is-ssg-in-nextjs> (accessed Aug. 2, 2023).
- [50] “Educative answers - What is SSR in nextjs”, Educative, <https://www.educative.io/answers/what-is-ssr-in-nextjs> (accessed Aug. 3, 2023).
- [51] “Educative answers - what is ISR in nextjs”, Educative, <https://www.educative.io/answers/what-is-next-js-incremental-static-regeneration-isr> (accessed Aug. 3, 2023).
- [52] “Educative answers - what is CSR in nextjs”, Educative, <https://www.educative.io/answers/what-is-client-side-rendering-in-next-js> (accessed Aug. 4, 2023).
- [53] “Rendering: Client-side rendering (CSR): Next.js”, Rendering: Client-side Rendering (CSR) | Next.js, <https://nextjs.org/docs/pages/building-your-application/rendering/client-side-rendering> (accessed Aug. 5, 2023).
- [54] “Rapidly build modern websites without ever leaving your HTML.”, Tailwind CSS, <https://tailwindcss.com/> (accessed Aug. 5, 2023).
- [55] “An open-source JavaScript library for interactive maps”, Leaflet, <https://leafletjs.com/> (accessed Aug. 6, 2023).
- [56] API reference - sentinel hub, <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/reference/> (accessed Aug. 6, 2023).
- [57] alex3165, “Alex3165/react-leaflet-draw: React component for leaflet-draw on top of react-leaflet”, GitHub, <https://github.com/alex3165/react-leaflet-draw> (accessed Aug. 6, 2023).
- [58] Vercel, “Vercel/SWR: React hooks for data fetching”, GitHub, <https://github.com/vercel/swr> (accessed Aug. 7, 2023).
- [59] Microsoft, “Documentation for visual studio code,” RSS, <https://code.visualstudio.com/docs> (accessed Aug. 8, 2023).

- [60] Wallaby.js, “Console log output right next to your code”, <https://console-ninja.com/> (accessed Aug. 8, 2023).
- [61] “What is prettier?”, Prettier, <https://prettier.io/docs/en/index.html> (accessed Aug. 8, 2023).
- [62] Enyancc, “ENYANCC/VSCODE-ext-color-highlight: Extension adds colored border around CSS/web colors in the editor”, GitHub, <https://github.com/enyancc/vscode-ext-color-highlight> (accessed Aug. 9, 2023).
- [63] “GitHub.com help documentation”, GitHub Docs, <https://docs.github.com/en> (accessed Aug. 10, 2023).
- [64] “Documentation,”, Notion, <https://www.notion.so/help/guides/category/documentation> (accessed Aug. 10, 2023).
- [65] Vercel, “Deploying to vercel”, Vercel Documentation, <https://vercel.com/docs/concepts/deployments/overview> (accessed Aug. 11, 2023).

--- Τέλος εγγράφου ---