

Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- A. Εισαγωγή - σκοπός του μαθήματος**
- B. Προτεινόμενα Βιβλία**
- Γ. Πρόγραμμα**
- Δ. Αναλυτική παρουσίαση - Ενότητες**
- Ε. Εμπειρία του Διδάσκοντος**

Ηράκλειο 2022

A. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

Η παρατήρηση της γης από το διάστημα αποτελεί, τα τελευταία χρόνια, σημαντικό εργαλείο για τη μελέτη του περιβάλλοντος, την κατανόηση του παγκόσμιου κλίματος, καθώς και το σχεδιασμό και την υποστήριξη αναπτυξιακών και παραγωγικών δραστηριοτήτων σε μια περιοχή. Ο όρος Δορυφορική Τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται για την περιγραφή της διαδικασίας λήψης πληροφοριών με τη χρήση ανιχνευτικών συσκευών που φέρονται από δορυφόρους Παρατήρησης της Γης. Η Δορυφορική Τηλεπισκόπηση έχει τη δυνατότητα παροχής σε πραγματικό χρόνο και με χαμηλό κόστος ψηφιακών, παγκόσμιων και ενημερωμένων δεδομένων ακριβείας, σε συνεχή και επαναλαμβανόμενη βάση, καθώς και καταγραφών παρελθόντων ετών από αρχεία δορυφορικών δεδομένων. Τα τελευταία χρόνια διατίθενται δεδομένα Παρατήρησης της Γης από ανιχνευτές δορυφόρων τελευταίας γενιάς. Οι δορυφόροι αυτοί είναι σε θέση να παρέχουν εικόνες υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας που φτάνει κάτω του ενός μέτρου και ως εκ τούτου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογές σε αστικό περιβάλλον.

Το μάθημα απευθύνεται κυρίως σε φοιτητές του 3ου έτους. Σκοπός του μαθήματος είναι η γνωριμία με τη Δορυφορική Τηλεπισκόπηση και την Παρατήρηση της Γης, καθώς και η απόκτηση βασικών γνώσεων για τη δυνατότητα εφαρμογών τόσο στο φυσικό όσο και στο αστικό περιβάλλον. Παρουσιάζεται το δυναμικό της Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης να υποστηρίξει ένα μεγάλο εύρος επιστημονικών πεδίων που εμπλέκονται στη μελέτη του περιβάλλοντος και αναδεικνύονται τα οφέλη που μπορούν να αποκομίσουν οι φοιτητές, του Τμήματος Φυσικής, ως επί το πλείωτων, από το μάθημα αυτό. Λόγω του μεγάλου εύρους των εφαρμογών της Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης στα παραπάνω πεδία, η παρουσίαση εφαρμογών δεν είναι εξαντλητική, αλλά στόχος είναι να αποτελέσει τη βάση για την περαιτέρω ενασχόληση. Για το λόγο αυτό έχουν επιλεγεί βασικές εφαρμογές της Παρατήρησης της Γης. Διδάσκονται οι φυσικοί μηχανισμοί, οι οποίοι αφορούν την Παρατήρηση της Γης, καθώς και τεχνικές για την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων, ουσιαστικά δηλαδή μεθοδολογικές προσεγγίσεις που επιτρέπουν την εξαγωγή συμπερασμάτων από τη συνδυαστική αξιοποίηση των διαφόρων φασματικών περιοχών στις οποίες καταγράφουν οι ανιχνευτές Παρατήρησης της Γης. Για την πληρότητα της παρουσίασης των εφαρμογών, γίνεται επίσης αναφορά στο ρόλο της Παρατήρησης της Γης στη μελέτη των δύο παγκόσμιων προκλήσεων οι οποίες έχουν άμεση αλληλεπίδραση και μετασχηματίζουν την ανθρώπινη ζωή: της Κλιματικής Αλλαγής και της Αστικοποίησης. Τέλος, παρουσιάζεται το διεθνές περιβάλλον και η Ελληνική πραγματικότητα στο πεδίο της Παρατήρησης της Γης, με έμφαση στη δραστηριότητα του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (ESA) και στις Υπηρεσίες της Ευρωπαϊκής υποδομής Copernicus.

B. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΒΙΒΛΙΑ

Τα ακόλουθα βιβλία, καθώς και μια σειρά δημοσιεύσεων σε επιστημονικές επιθεωρήσεις και τεχνικές αναφορές, θεωρήθηκαν τα πλέον κατάλληλα για να υποστηρίξουν το παρόν μάθημα. Για όλα υπάρχουν σχετικές παραπομπές στην ιστοσελίδα του μαθήματος.

1. [Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective](#)
2. [Introduction to Remote Sensing](#)
3. [Fundamentals of Satellite Remote Sensing: An Environmental Approach](#)
4. [Introduction to Satellite Remote Sensing. Atmosphere, Ocean, Land and Cryosphere Applications](#)
5. [Remote Sensing Physics](#)
6. [Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing](#)
7. [Practical Handbook of Remote Sensing](#)
8. [Basics of Remote Sensing and GIS](#)
9. [Remote Sensing and Image Interpretation](#)
10. [Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective](#)
11. [Urban Climates](#)
12. [The Urban Heat Island](#)
13. [Radiation and Climate](#)
14. [An Introduction to Atmospheric Radiation](#)
15. [Understanding Urban Metabolism](#)

Γ. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

Το μάθημα "Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης" (<http://ph338.edu.physics.uoc.gr>) ολοκληρώνεται σε διάστημα 12 εβδομάδων με σύνολο διδακτικών ωρών 45 από τις οποίες οι 25 αντιστοιχούν σε θεωρητικό μάθημα και οι 20 σε Ομαδικές Εργασίες (projects) που καλούνται να εκπονήσουν και να παρουσιάσουν οι φοιτητές, μετά την ολοκλήρωση του θεωρητικού μέρους και την εξέτασή τους με την μορφή Πρόοδου.

Οι ομαδικές εργασίες υποστηρίζονται από μεταδιδακτορικούς ερευνητές ή/και υποψήφιους διδάκτορες του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης του Ινστιτούτου Υπολογιστικών Μαθηματικών του ΙΤΕ (<http://rslab.gr>).

Η τελική αξιολόγηση βασίζεται τόσο στην Πρόοδο (25%) όσο και στις Ομαδικές Εργασίες (75%).

Πρόγραμμα μαθήματος "Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης".

Εβδομάδα	Διδασκόμενη Ενότητα	Ώρες Θεωρητικού Μέρους	Ώρες Ομαδικών Εργασιών	Σύνολο Ωρών	
1	1	4		4	
2	2	4		4	
3	3	4		4	
4	4	4		4	
5	5	4		4	
6	6	4		4	
7		1	2	3	
8				4	4
9				4	4
10				4	4
11				4	4
12				2	2
Σύνολο				25	20

Δ. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ - ΕΝΟΤΗΤΕΣ

Το μάθημα "Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης" περιλαμβάνει τις παρακάτω Ενότητες, καθεμία από τις οποίες μπορεί να διδαχθεί και αυτόνομα:

- Ενότητα 1:** Ο ρόλος και η αναγκαιότητα της Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης στη μελέτη της Κλιματικής Αλλαγής και της Πλανητικής Μεταβολής
- Ενότητα 2:** Χαρακτηριστικά δορυφορικών καταγραφών, τυπικές εφαρμογές και μελλοντικές τάσεις
- Ενότητα 3:** Μέτρηση από απόσταση: διάδοση ακτινοβολίας και αλληλεπίδρασή της με τα υλικά της επιφάνειας και την ατμόσφαιρα
- Ενότητα 4:** Εκτίμηση βιο-γεωφυσικών παραμέτρων: αποτύπωση της θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους
- Ενότητα 5:** Μέθοδοι ταξινόμησης δορυφορικών καταγραφών και αξιολόγησης της ακρίβειάς τους
- Ενότητα 6:** Διαθεσιμότητα των δορυφορικών δεδομένων και εργαλεία επεξεργασίας τους

Ακολουθεί μία σύντομη παρουσίαση για καθεμία από τις παραπάνω Ενότητες.

Ενότητα 1: Ο ρόλος και η αναγκαιότητα της Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης στη μελέτη της Κλιματικής Αλλαγής και της Πλανητικής Μεταβολής

Στην Ενότητα αυτή παρουσιάζεται το δυναμικό της Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης να υποστηρίξει ένα μεγάλο εύρος επιστημονικών πεδίων που εμπλέκονται στη μελέτη του περιβάλλοντος και συζητούνται τα οφέλη που μπορούν να αποκομίσουν οι φοιτητές από το σχετικό μάθημα. Μια από τις βασικές προκλήσεις της Διεθνούς Επιστημονικής Κοινότητας είναι η αποτελεσματική αντίδραση στην Παγκόσμια Αλλαγή η οποία προκαλεί αυξανόμενες περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές πιέσεις. Το μάθημα εστιάζει στο ρόλο της Παρατήρησης της Γης στη μελέτη δύο παγκόσμιων προκλήσεων οι οποίες έχουν άμεση αλληλεπίδραση και μετασχηματίζουν την ανθρώπινη ζωή: της Κλιματικής Αλλαγής και της Αστικοποίησης.

Η αναγκαιότητα της Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης τόσο στην πρόγνωση του καιρού, όσο και στην πρόληψη και αντιμετώπιση των φυσικών καταστροφών έχει αποδειχθεί στην πράξη. Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει επίσης φανερό το υψηλό δυναμικό της Τηλεπισκόπησης στην Επιστήμη του Συστήματος Γη. Η συμπεριφορά του Πλανητικού Συστήματος είναι δυνατό να γίνει κατανοητή μόνο μέσω συνδυασμένης μελέτης των δυναμικών διεργασιών της ατμόσφαιρας, της στερεάς γης, της υδρόσφαιρας, της κρυόσφαιρας, της βιόσφαιρας και της ανθρωπόσφαιρας. Τα δορυφορικά δεδομένα είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη, την παραμετροποίηση και τον έλεγχο της αξιοπιστίας μοντέλων προσομοίωσης των προαναφερθέντων δυναμικών διεργασιών. Η Τηλεπισκόπηση έχει συνεπώς το δυναμικό να υποστηρίξει τόσο πολύπλοκα μοντέλα προσομοίωσης, όσο και περιβαλλοντικές και γεωτεχνικές μελέτες, οι οποίες εξαρτώνται από τη δυνατότητα παρακολούθησης κατανομών περιβαλλοντικών παραμέτρων μέσω καταγραφών σε κατάλληλες χωρικές και χρονικές κλίμακες και ανάλυσης των αντίστοιχων δεδομένων, ανάλογα με την οπτική γωνία του εμπλεκόμενου επιστημονικού κλάδου.

Τέλος, η ανάγκη για παγκόσμια πολιτική σταθερότητα και η ανάγκη συνεχούς επικαιροποίησης και ελέγχου εφαρμογής του υπάρχοντος νομοθετικού πλαισίου και των Διεθνών Συνθηκών, όπως για παράδειγμα η Συμφωνία των Παρισίων για το Κλίμα, έχουν δημιουργήσει νέες ευκαιρίες για ανάπτυξη υψηλής διακριτικής ικανότητας δορυφορικών συστημάτων. Η υψηλής διακριτικής ικανότητας καταγραφή σε όλες τις περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και το μεγάλο εύρος των εφαρμογών που μπορεί να υποστηρίξει, αναμένεται να ενισχύσουν σημαντικά το ρόλο της Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης στους προαναφερθέντες τομείς. Συνεπώς, η αυξανόμενη ανάγκη εξειδικευμένων αναλυτών των δορυφορικών δεδομένων για την εξαγωγή επιστημονικής πληροφορίας είναι δεδομένη. Είναι προφανές ότι αναλυτές οι οποίοι θα έχουν παράλληλα την απαιτούμενη γνώση για την πληρέστερη κατανόηση του φυσικού συστήματος, θα έχουν συγκριτικό πλεονέκτημα στην αγορά εργασίας.

Ενότητα 2: Χαρακτηριστικά δορυφορικών καταγραφών, τυπικές εφαρμογές και μελλοντικές τάσεις

Στην Ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι κύριες κατηγορίες δορυφορικών αισθητήρων οι αρχές λειτουργίας τους και οι φασματικές περιοχές στις οποίες λειτουργούν. Δίνεται έμφαση σε οπτικούς δορυφορικούς δέκτες υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας και παρουσιάζεται με συντομία η αρχή λειτουργίας του ραντάρ συνθετικής απεικόνισης (SAR) και το πώς αυτό καταγράφει πληροφορία που έχει σχέση τόσο με το πλάτος όσο και με τη φάση του ανακλώμενου από το στόχο ηλεκτρομαγνητικού κύματος, καθώς και η αρχή λειτουργίας του LiDAR.

Εξετάζονται τα κύρια χωρικά και φασματικά χαρακτηριστικά των δορυφορικών δεδομένων και συζητείται το πώς η κλίμακα και οι ιδιαίτερες απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής καθορίζουν την επιλογή του κατάλληλου δορυφορικού αισθητήρα ανάλογα με τα χαρακτηριστικά αυτά. Παρουσιάζονται μερικοί από τους πλέον γνωστούς δορυφορικούς δέκτες, όπως οι Landsat και Sentinel 1 και 2 και αναλύονται τα χαρακτηριστικά τους και τυπικές εφαρμογές τις οποίες είναι σε θέση να υποστηρίξουν οι καταγραφές τους. Συζητούνται οι γεωμετρικές παραμορφώσεις κατά τη διάρκεια μιας δορυφορικής λήψης, καθώς και οι διορθώσεις εκείνες που είναι απαραίτητες πριν την ανάλυση των δορυφορικών εικόνων ώστε αυτές να μετασχηματιστούν από το σύστημα κατόπτρευσης του δορυφόρου που έχουν ληφθεί σε συγκεκριμένο χαρτογραφικό σύστημα προβολής.

Παρουσιάζεται επίσης εν συντομία η συνέργεια μεταξύ Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, που είναι ένα εργαλείο για λήψη αποφάσεων νομικής, διοικητικής και οικονομικής υφής και ένα όργανο για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη, το οποίο αποτελείται αφενός από μια βάση δεδομένων που περιέχει για μια έκταση στοιχεία προσδιορισμένα στο χώρο και τα οποία σχετίζονται με τη γη και αφετέρου από διαδικασίες και τεχνικές για τη συστηματική συλλογή, ενημέρωση, επεξεργασία και διανομή των στοιχείων.

Στην Ενότητα αυτή εξετάζονται ακόμα οι σύγχρονες τάσεις στη Δορυφορική Τηλεπισκόπηση. Οι τάσεις αυτές εντοπίζονται κυρίως στους παρακάτω τομείς: επιχειρησιακή καταγραφή τόσο με πολυφασματικούς, και υπερφασματικούς δέκτες όσο και με εικονοληπτικά ραντάρ, αύξηση της χωρικής, της φασματικής και της ραδιομετρικής διακριτικής ικανότητας των δορυφορικών ανιχνευτών, δημιουργία σημών (constellations) μικρών δορυφόρων για αύξηση της επαναληψιμότητας κάλυψης, δημιουργία εξειδικευμένων για συγκεκριμένες εφαρμογές (π.χ. φυσικές καταστροφές) δορυφορικών συστημάτων και δημιουργία δορυφορικών συστημάτων διπλής χρήσης.

Τέλος, παρουσιάζεται το διεθνές περιβάλλον και η Ελληνική πραγματικότητα στο πεδίο της Παρατήρησης της Γης, με έμφαση στη δραστηριότητα του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (ESA) και στις υπηρεσίες της Ευρωπαϊκής υποδομής Copernicus, καθώς και η ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων με χρήση μεθόδων Τεχνητής Νοημοσύνης και η ανάπτυξη εφαρμογών σε περιβάλλον Υπολογιστικού Νέφους.

Ενότητα 3: Μέτρηση από απόσταση: διάδοση ακτινοβολίας και αλληλεπίδρασή της με τα υλικά της επιφάνειας και την ατμόσφαιρα

Στην Ενότητα παρουσιάζεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ως το μέσο μεταφοράς της πληροφορίας από το στόχο στο δορυφορικό αισθητήρα. Εξετάζεται το πώς η ανακλώμενη στην επιφάνεια του εδάφους μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία ή η εκπεμπόμενη από αυτήν μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας διαδίδεται μέσω της ατμόσφαιρας για να φτάσει στο δορυφορικό δέκτη, καθώς και το πώς καταγράφεται σε αυτόν. Είναι γνωστό ότι κύρια πηγή ενέργειας του συστήματος γης - ατμόσφαιρας είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του ήλιου. Οι δορυφορικοί αισθητήρες καταγράφουν την ηλιακή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που ανακλάται από μια γήινη επιφάνεια και σκεδάζεται από την ατμόσφαιρα ή την ακτινοβολία που εκπέμπεται από τα σώματα στη γη. Στην Τηλεπισκόπηση, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία καθορίζεται ποσοτικά από την ένταση και το μήκος κύματος ή τη συχνότητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

Στην Ενότητα αυτή παρουσιάζεται επίσης το πώς η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αλληλοεπιδρά με την ύλη και τι συνέπειες έχει η αλληλεπίδραση αυτή στη δορυφορική μέτρηση, δηλαδή στον καθορισμό φασματικών υπογραφών μέσω των οποίων οι διάφοροι στόχοι αναγνωρίζονται στις δορυφορικές απεικονίσεις και ταξινομούνται. Έμφαση δίδεται στο πως η ακτινοβολία ανακλάται από έναν στόχο και στο πως εκτιμάται το ποσοστό της ανακλώμενης ακτινοβολίας το οποίο διέρχεται από τη στερεά γωνία κατόπτρευσης του δορυφορικού συστήματος. Εξετάζεται αναλυτικά ο ρόλος του υλικού, της κατάστασης της επιφάνειας και του προσανατολισμού του στόχου, καθώς και η αλληλεπίδραση (απορρόφηση και σκέδαση) της ακτινοβολίας αυτής με τα συστατικά της ατμόσφαιρας κατά τη διέλευση της από αυτήν καθοδόν προς το δορυφορικό αισθητήρα.

Επιπλέον, παρουσιάζονται οι διορθώσεις εκείνες που είναι απαραίτητες πριν την ανάλυση των δορυφορικών εικόνων ώστε να εξαλειφθεί η αλλοίωση που προκαλεί στην ακτινοβολία επίδραση της ατμόσφαιρας. Η επίδραση της ατμόσφαιρας στην ηλιακή ακτινοβολία που ανακλάται σε μια επιφάνεια έχει ως αποτέλεσμα μέρος της ακτινοβολίας να σκεδαστεί, να απορροφηθεί ένα άλλο και το υπόλοιπο να φτάσει στο δορυφορικό αισθητήρα. Η επιφάνεια του εδάφους δεν δέχεται όμως μόνο την άμεση ακτινοβολία του ήλιου αλλά και τη διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία η οποία προέρχεται από τη σκέδαση της άμεσης ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα πριν αυτή φτάσει στο έδαφος. Η διάχυτη ακτινοβολία που φτάνει στον δορυφορικό αισθητήρα είτε κατευθείαν από την ατμόσφαιρα είτε ανακλώμενη στην επιφάνεια του εδάφους και σε νέφη ως ακτινοβολία διαδρομής. Η ατμοσφαιρική διόρθωση έγκειται πρακτικά στη εξάλειψη από το σήμα της επίδρασης της ατμοσφαιρικής απορρόφησης και σκέδασης, καθώς και συνιστωσών ακτινοβολίας που προέρχονται από γειτονικά του στόχου εικονοστοιχεία.

Ενότητα 4: Εκτίμηση βιο-γεωφυσικών παραμέτρων: αποτύπωση της θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους

Στην Ενότητα αυτή παρουσιάζονται μέθοδοι εξαγωγής από δορυφορικές απεικονίσεις, χωρικών κατανομών βιο-γεωφυσικών παραμέτρων, με έμφαση στην εκτίμηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους, η οποία εξαρτάται από το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που είναι διαθέσιμο για τη θέρμανση του στόχου, καθώς και από τις θερμικές ιδιότητές του, οι οποίες είναι συνάρτηση της σύστασής του: θερμοχωρητικότητα, θερμική αγωγιμότητα, θερμική αδράνεια και θερμική διαχυτικότητα.

Εξετάζεται λεπτομερώς η αλληλεπίδραση ακτινοβολίας και ύλης στην φασματική περιοχή του θερμικού υπέρυθρου με έμφαση στο ρόλο του συντελεστή εκπομπής της επιφάνειας του εδάφους και των χωρικών μεταβολών του καθώς και στο ρόλο της διαφορικής απορρόφησης του ατμοσφαιρικού υδρατμού σε δορυφορικούς δέκτες με περισσότερα του ενός φασματικά κανάλια στο θερμικό υπέρυθρο. Συζητούνται οι περιορισμοί που υπάρχουν στη χωρική διακριτική ικανότητα στη συγκεκριμένη φασματική περιοχή.

Παρουσιάζεται αναλυτικά η βαθμονόμηση δορυφορικών καταγραφών στο θερμικό υπέρυθρο με βάση την πληροφορία μεταδεδομένων τους με αποτέλεσμα την μετατροπή των ψηφιακών τιμών κάθε εικονοστοιχείου σε τιμές ακτινοβολίας καταγραφόμενης στον αισθητήρα. Οι τιμές ακτινοβολίας που υπολογίζονται μπορούν να μετατραπούν σε τιμές θερμοκρασίας λαμπρότητας στο δέκτη με αντιστροφή της εξίσωσης του Planck.

Διάφορες μέθοδοι ατμοσφαιρικής διόρθωσης εφαρμόζονται για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας που ανακλάται (εκπέμπεται) στην επιφάνεια του εδάφους (για κάθε εικονοστοιχείο και κάθε φασματικό κανάλι του δορυφόρου) και στη συνέχεια του συντελεστή ανακλαστικότητας της επιφάνειας. Ειδικά για τα κανάλια του θερμικού υπέρυθρου η ατμοσφαιρική διόρθωση έχει ως αποτέλεσμα τον υπολογισμό των θερμοκρασίας λαμπρότητας στην επιφάνεια (για κάθε εικονοστοιχείο) ή τον υπολογισμό της πραγματικής κινητικής θερμοκρασίας αν ο συντελεστής εκπομπής σε κάθε εικονοστοιχείο είναι γνωστός. Παρουσιάζεται εφαρμογή σε περιβάλλον υπολογιστικού νέφους, για τον σε πραγματικό χρόνο υπολογισμό της θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους σε τοπική κλίμακα από το συνολικό αρχείο καταγραφών των δορυφόρων Landsat.

Τέλος, εξετάζονται μέθοδοι υποβιβασμού κλίμακας για την εκτίμηση της θερμοκρασίας της αστικής επιφάνειας σε τοπική κλίμακα. Δίνεται έμφαση στον υπολογισμό της ολικής θερμοκρασίας της τρισδιάστατης αστικής δομής στην μελέτη της σχέσης της με την αντίστοιχη θερμοκρασία του αέρα, καθώς και στο ρόλο της στην αντιμετώπιση της αστικής υπερθέρμανσης, μέσω της διαμόρφωσης του ισοζυγίου ακτινοβολιών και γενικότερα του ενεργειακού ισοζυγίου σε αστικό περιβάλλον.

Ενότητα 5: Μέθοδοι ταξινόμησης δορυφορικών καταγραφών και αξιολόγησης της ακρίβειάς τους

Στην Ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι κύριες μέθοδοι μέσω των οποίων μπορεί να εξαχθεί πρακτικά αξιοποιήσιμη πληροφορία από τις δορυφορικές εικόνες. Οι μέθοδοι που εξετάζονται περιλαμβάνουν τη φωτοερμηνεία και την ψηφιακή επεξεργασία εικόνας.

Σκοπός της φωτοερμηνείας είναι η αναγνώριση συγκεκριμένων αντικειμένων (στόχων). Η αναγνώριση αυτή πραγματοποιείται μέσω του εντοπισμού των διαφορών μεταξύ των στόχων αυτών και του περιβάλλοντος χώρου (γειτονικών αντικειμένων). Ο εντοπισμός βασίζεται σε κάποιο ή κάποια από τα οπτικά τους χαρακτηριστικά (τόνος, υφή, πρότυπο, σχήμα, κλίμακα, σύνδεση).

Παρουσιάζεται το αντικείμενο της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας, με έμφαση στην ταξινόμηση δορυφορικών απεικονίσεων. Η ταξινόμηση περιλαμβάνει δύο φάσεις: το σχεδιασμό του σχήματος ταξινόμησης και την ταξινόμηση της εικόνας. Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες φασματικής ταξινόμησης στην ανάλυση δορυφορικών δεδομένων: η επιβλεπόμενη και η μη επιβλεπόμενη. Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, είναι η διαδικασία εκείνη με την οποία τα εικονοστοιχεία μιας εικόνας διαχωρίζονται σε φασματικές τάξεις χωρίς ο χρήστης να γνωρίζει εκ των προτέρων τίποτα για την ύπαρξη ή το είδος της πληροφορίας (δάσος, νερό, αστική περιοχή, κλπ.) που περιέχεται σε κάθε φασματική τάξη. Στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση, συλλέγονται δείγματα από περιοχές με γνωστές καλύψεις γης, ώστε να καθοριστούν οι αντιπροσωπευτικές φασματικές τιμές για κάθε τύπο κάλυψης γης. Αυτές οι περιοχές δειγματοληψίας είναι γνωστές ως πεδία εκπαίδευσης και τα στατιστικά χαρακτηριστικά της φασματικής απόκρισης ενός χαρακτηριστικού σε σχέση με το μήκος κύματος, που παίρνουμε ονομάζονται φασματικές υπογραφές. Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση βασίζεται στη χρήση κατάλληλων αλγόριθμων για να χαρακτηρίσει τα εικονοστοιχεία μιας εικόνας, ώστε να αντιπροσωπεύουν συγκεκριμένο τύπο εδαφικής κάλυψης. Στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση, ο χρήστης στηρίζεται στην ικανότητα αναγνώρισης πεδίων και την *a priori* γνώση των στοιχείων για να βοηθήσει το σύστημα να καθορίσει τα στατιστικά κριτήρια (υπογραφές) για την ταξινόμηση των εικονοστοιχείων. Συνήθως, αυτή η γνώση αποκτάται από την επιτόπια έρευνα στην περιοχή μελέτης και την χρήση GPS. Γενικά οι αλγόριθμοι ταξινόμησης υπολογίζουν ένα σύνολο κατανομών, στις οποίες βασίζονται ώστε να κατηγοριοποιήσουν κάθε εικονοστοιχείο σύμφωνα με τα φασματικά του χαρακτηριστικά. Σημαντική προϋπόθεση είναι η γνώση των στατιστικών χαρακτηριστικών των φασματικών υπογραφών των κατηγοριών κάλυψης γης.

Στην Ενότητα αυτή, παρουσιάζονται επίσης αναλυτικά σύγχρονες τεχνικές ταξινόμησης βασισμένες σε Μηχανιστική Μάθηση (Machine Learning) και Βαθιά Μάθηση (Deep Learning), καθώς και Αντικειμενοστραφείς τεχνικές (Object Based Image Analysis) και μέθοδοι Ανάλυσης Φασματικής Ανάμειξης (Spectral Mixture Analysis).

Ενότητα 6: Διαθεσιμότητα των δορυφορικών δεδομένων και εργαλεία επεξεργασίας τους

Στην Ενότητα αυτή παρουσιάζονται βασικές πηγές δορυφορικών δεδομένων και εργαλεία επεξεργασίας τους βασισμένα σε λογισμικά ανοικτού κώδικα. Το μάθημα εστιάζει σε ελεύθερα δεδομένα, τα οποία μπορούν να ανακτηθούν χωρίς κόστος από τους φοιτητές. Βασικές πηγές δορυφορικών δεδομένων είναι διεθνείς Υπηρεσίες Διαστήματος, όπως η NASA και η ESA, καθώς και ιδιωτικές εταιρίες που δραστηριοποιούνται στο αντικείμενο, όπως η Planet. Σε ότι αφορά στα εργαλεία επεξεργασίας, το μάθημα εστιάζει στην εργαλειοθήκη της ESA και συγκεκριμένα στο λογισμικό SNAP (Sentinel Application Platform), καθώς και στο λογισμικό QGIS, τα οποία μπορούν να ανακτηθούν χωρίς κόστος διαδικτυακά και να εγκατασταθούν τοπικά από τους φοιτητές, όπως επίσης και στην πλατφόρμα Google Earth Engine η οποία λειτουργεί σε περιβάλλον Υπολογιστικού Νέφους. Σχετικές διαδικτυακές παραπομπές υπάρχουν στην ιστοσελίδα του μαθήματος: <http://ph338.edu.physics.uoc.gr/links.html>

Βασικός στόχος είναι η εξοικείωση με πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας και η απόκτηση τεχνογνωσίας για την υποστήριξη των Ομαδικών Εργασιών οι οποίες ανατίθενται στους φοιτητές ανάλογα με την επίδοσή τους στην Πρόοδο του μαθήματος. Παραδείγματα τέτοιων εργασιών υπάρχουν στην ιστοσελίδα του μαθήματος: <http://ph338.edu.physics.uoc.gr/projects.html>

Στην Ενότητα αυτή παρουσιάζονται συγκεκριμένα παραδείγματα επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων Landsat και Sentinel 2, αρχίζοντας από τον εντοπισμό και ανάκτηση των πρωτογενών πολυφασματικών δεδομένων από τις σχετικές πηγές (USGS και ESA, αντίστοιχα) και επεξηγώντας τη δομή των σχετικών αρχείων δεδομένων, των μεταδεδωμένων και των δεδομένων ποιοτικού ελέγχου που περιέχονται σε αυτά, καθώς και το πως εφαρμόζεται η γεωγραφική αναφορά, ανάλογα με το επίπεδο ορθοκανονικής διόρθωσης, καθώς και τα συστήματα αναφοράς που χρησιμοποιούνται για την χαρτογραφική τους προβολή.

Επεξηγείται η βαθμονόμηση των ψηφιακών τιμών των δεδομένων σε τιμές ακτινοβολίας που φτάνει στο δέκτη (radiance at the sensor), καθώς και σε τιμές ανακλαστικότητας της επιφάνειας και συντελεστή εκπομπής και θερμοκρασίας. Κατόπιν παρουσιάζονται βασικές τεχνικές επεξεργασίας εικόνας, όπως η εξισορρόπηση ιστογράμματος, η εφαρμογή χωρικών φίλτρων, η ανάλυση χρονοσειρών δορυφορικών καταγραφών και η φασματική ταξινόμηση. Επίσης παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίον τα προϊόντα που προκύπτουν μπορούν να συνδυαστούν με δεδομένα άλλων πηγών σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Τέλος, παρουσιάζεται τεχνικές ανάλυσης Μεγάλων Δεδομένων σε περιβάλλον Υπολογιστικού Νέφους, εστιάζοντας σε συγκεκριμένα παραδείγματα, όπως η εφαρμογή που έχει δημιουργηθεί για την αποτύπωση της θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους για οποιοδήποτε σημείο της γης, οποτεδήποτε έχει ληφθεί εικόνα Landsat (αρχείο πλέον των 40 ετών): http://rslab.gr/downloads_LandsatLST.html

E. ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΤΟΥ ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΟΣ

Ο Δρ. Νεκτάριος Χρυσουλάκης είναι Διευθυντής Ερευνών στο Ινστιτούτου Υπολογιστικών Μαθηματικών του ΙΤΕ και επικεφαλής του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης (<http://rslab.gr>).

Είναι Φυσικός και Διδάκτωρ Τηλεπισκόπησης, του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Τα κύρια επιστημονικά του ενδιαφέροντα εντοπίζονται στα ερευνητικά πεδία της Παρατήρησης της Γης και των εφαρμογών της στη μελέτη του αστικού περιβάλλοντος, του ενεργειακού ισοζυγίου και του αστικού μεταβολισμού, του αστικού κλίματος και της αλληλεπίδρασης μεταξύ πόλεων και κλιματικής αλλαγής, της ανάλυσης μεγάλων δεδομένων για την παρακολούθηση περιβάλλοντος και την ανίχνευση αλλαγών, της ανάλυση φυσικών και τεχνολογικών καταστροφών και της ανάπτυξης χωρικών συστημάτων υποστήριξης λήψης αποφάσεων.

Ο Δρ. Χρυσουλάκης είναι επικεφαλής Επιστημονικός Υπεύθυνος (cPI) του έργου Συνέργειας *urbisphere* (<http://urbisphere.eu>), το οποίο χρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο Έρευνας (ERC) και έχει αντικείμενο την πληρέστερη κατανόηση της αλληλεπίδρασης και ανατροφοδότησης μεταξύ πόλεων και κλιματικής αλλαγής. Είναι Συντονιστής του H2020-Space έργου CURE (<http://cure-copernicus.eu>), το οποίο εστιάζει στην αξιοποίηση των δεδομένων και των υπηρεσιών Copernicus στο πεδίο της αστικής ανθεκτικότητας. Έχει συντονίσει τα έργα URBANFLUXES (H2020), SEN4RUS (ERA.Net-RUS Plus), BRIDGE (FP7) GEOURBAN (FP7) και έχει συμμετάσχει στα έργα CoCO2(H2020), HARMONIA (H2020), ECOPOENTIAL (H2020), THINKNATURE (H2020), IGIC (LIFE) and FLIRE (LIFE).

Ο Δρ. Χρυσουλάκης είναι μέλος του Διοικητικού Συμβουλίου του Κέντρου Αριστείας Ερατοσθένης του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου, είναι Επισκέπτης Καθηγητής στο Τμήμα Φυσικής του πανεπιστημίου Κρήτης, καθώς και στο Μεσογειακό Αγρονομικό Ινστιτούτο Χανίων (MAIX). Από το 2016 είναι στο Προεδρείο του SPIE Conference on "Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments". Είναι μέλος του GEO Climate Change Working Group και του GEO Programme Board Urban Resilience Subgroup, είναι Chairman του SPIE "Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments" και μέλος της εκδοτικής επιτροπής του Section "Urban Remote Sensing" του επιστημονικού περιοδικού Remote Sensing.

Έχει δώσει περισσότερες από 35 διαλέξεις ως προσκεκλημένος ομιλητής σε διεθνή συνέδρια, προηγμένα εκπαιδευτικά σεμινάρια και συναντήσεις εργασίας. Έχει επιβλέψει δέκα μεταδιδακτορικούς ερευνητές και συνεπιβλέψει οκτώ υποψήφιους διδάκτορες. Έχει περισσότερες από 300 δημοσιεύσεις σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά και ανακοινώσεις σε διεθνή συνέδρια.

Πλήρες βιογραφικό Σημείωμα με αναλυτική παρουσίαση της εμπειρίας του Διδάσκοντος στην Τριτοβάθμια Εκπαίδευση στην Ελλάδα και στο εξωτερικό, στον σύνδεσμο: <http://rslab.gr/nektarios.html>