



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικό και Καποδιστριακό
Πανεπιστήμιο Αθηνών

Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Αρχές Τηλεπισκόπησης

Ενότητα: Τηλεπισκόπηση

Γεώργιος Σκιάνης

Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος

1.	Περιεχόμενα ενότητας	4
2.	Στοιχεία δορυφορικής τηλεπισκόπησης	4
3.	Η ψηφιακή εικόνα	4
4.	Έγχρωμα σύνθετα.....	8
5.	Δορυφορικά συστήματα τακτικής λήψης εικόνων από τη γήινη επιφάνεια	12
6.	Επεξεργασία εικόνας	15
6.1	Προεπεξεργασία εικόνας (αποκατάσταση εικόνας, image restoration)	15
6.1.1	Αποκατάσταση χαμένων ή κατεστραμμένων γραμμών σάρωσης	15
6.1.2	Φιλτράρισμα τυχαίου θορύβου.....	15
6.1.3	Απομάκρυνση ζωνωτού θορύβου (destriping).....	16
6.1.4	Απομάκρυνση της ατμοσφαιρικής επίδρασης.....	16
6.1.5	Γεωμετρικές διορθώσεις.....	16
6.1.6	Γεωαναφορά (georeference).....	16
6.1.7	Συγχώνευση εικόνας (image fusion)	16
6.1.8	Τοπογραφικές διορθώσεις και ορθοαναγωγή	16
6.2	Βελτίωση εικόνας (image enhancement).....	16
6.2.1	Βελτίωση αντίθεσης φωτεινότητας	16
6.2.2	Ανίχνευση ορίων επιφανειακών σχηματισμών	16
6.2.3	Εφαρμογή φίλτρων διαύγασης (sharpening) και εξομάλυνσης (smoothing).....	17
6.2.4	Διαμέριση πυκνότητας (density slicing).....	17
6.2.5	Σύνθεση απλών εικόνων για παραγωγή ψηφιακών μωσαϊκών. Δημιουργία στερεοσκοπικών εικόνων.	17
6.3	Εξαγωγή πληροφοριών (information extraction)	17
6.3.1	Σχηματισμός λόγου φασματικών ζωνών	17
6.3.2	Ανάλυση κυρίων συνιστωσών (PCA : Principal Component Analysis).....	17
6.3.3	Μετασχηματισμοί χρώματος	17
6.3.4	Δημιουργία εικόνων μεταβολής χαρακτηριστικών ως προς το χρόνο.....	18
6.3.5	Ανάλυση υφής.....	18
6.3.6	Ταξινόμηση εικόνας	18

1. Περιεχόμενα ενότητας

Η έννοια της ψηφιακής εικόνας - Πολυφασματικές εικόνες - Η έννοια της χωρικής διακριτικής ικανότητας - Μέθοδοι ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας - Στοιχεία φωτοερμηνείας

2. Στοιχεία δορυφορικής τηλεπισκόπησης

Στα μαθήματα για τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών είδαμε ότι η γήινη επιφάνεια μπορεί να αναπαρασταθεί είτε σε μια διανυσματική (vector) εικόνα, όπου οι επιφανειακοί σχηματισμοί αναπαρίστανται με σημεία, γραμμές και πολύγωνα, είτε σε ψηφιδωτή (raster) εικόνα, όπου οι επιφανειακοί σχηματισμοί αναπαριστούνται με εικονοστοιχεία, κάθε ένα από τα οποία αντιστοιχεί σε ένα μικρό τμήμα της απεικονιζόμενης επιφάνειας.

Η μεγάλη χρησιμότητα της ψηφιακής εικόνας στις γεωεπιστήμες, έγινε αντιληπτή με την ανάπτυξη της δορυφορικής τεχνολογίας και την υλοποίηση δορυφορικών προγραμμάτων παρακολούθησης της Γης και καταγραφής φυσικών πόρων. Η τεχνολογία αυτή παρέχει ένα σημαντικό όγκο πρωτογενών πληροφοριών χρήσιμων στη μελέτη του περιβάλλοντος αλλά και, γενικότερα, σε κάθε κλάδο των γεωλογικών και περιβαλλοντικών επιστημών..

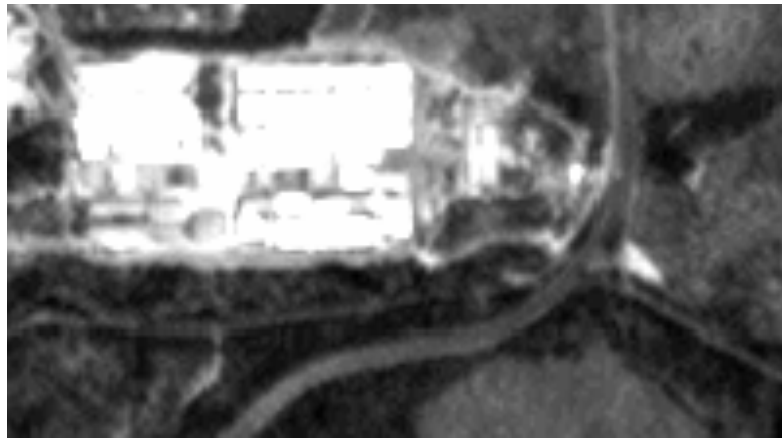
Η αξιοποίηση των πρωτογενών δεδομένων, που παρέχουν οι ψηφιακές δορυφορικές εικόνες, καθώς και η εξαγωγή πληροφορίας από τα δεδομένα αυτά, γίνεται με τεχνικές ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας, που αν και αποτελεί κλάδο της πληροφορικής, βρίσκεται σε στενό διάλογο με την ταχέως εξελισσόμενη, μαζί με τη δορυφορική τεχνολογία, επιστήμη της τηλεπισκόπησης.

Ως τηλεπισκόπηση νοείται το σύνολο των μεθόδων συλλογής και επεξεργασίας πληροφοριών που αναφέρονται σε αντικείμενα τα οποία βρίσκονται σε απόσταση από τα όργανα παρατήρησης.

Στην τηλεπισκόπηση, μέσο μεταφοράς των στοιχείων της πληροφορίας είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται ή ανακλάται από τα διάφορα επισκοπούμενα αντικείμενα.

3. Η ψηφιακή εικόνα

Μπορεί κανείς να θεωρήσει την ψηφιακή εικόνα ως έναν πίνακα που αποτελείται από στοιχειώδεις ορθογώνιες επιφάνειες, που ονομάζονται *εικονοστοιχεία* (*picture elements, pixels*). Το κάθε εικονοστοιχείο έχει ορθογώνιες συντεταγμένες x και y σε σύστημα αναφοράς, η αρχή του οποίου βρίσκεται σε κάποια θέση πάνω στην εικόνα. Στις δορυφορικές εικόνες Landsat, η αρχή των αξόνων βρίσκεται στην πάνω αριστερή γωνία της εικόνας. Στο κάθε εικονοστοιχείο, αντιστοιχεί ένας αριθμός που είναι η *τιμή φωτεινότητας* (*brightness value, BV*) της εικόνας στη συγκεκριμένη θέση. Η τιμή φωτεινότητας εικονοστοιχείου είναι ένας ακέραιος αριθμός, η τιμή του οποίου κυμαίνεται, συνήθως, από 0 ως 2^v-1 , όπου v φυσικός αριθμός. Όσο μεγαλύτερο είναι το v , τόσο διευρύνεται η *κλίμακα διαβαθμίσεων τόνου*, δηλαδή το σύνολο των τιμών φωτεινότητας που μπορεί να έχει ένα εικονοστοιχείο. Όταν λοιπόν το v είναι μεγάλο, εκφράζονται λεπτομερέστερα οι διαφορές φωτεινότητας μεταξύ των αντικειμένων που αναπαριστούνται στην εικόνα. Από την άλλη πλευρά όμως, στο βαθμό που αυξάνεται το v , αυξάνεται και η λεπτομέρεια της εικόνας, δηλαδή ο όγκος των αποτυπωμένων πληροφοριών στην εικόνα, πράγμα που έχει άμεση συνέπεια να απαιτείται μεγαλύτερος χώρος στη μνήμη του υπολογιστή. Ο όρος *τιμή φωτεινότητας* εικονοστοιχείου απαντάται, επίσης, στη βιβλιογραφία και ως *ψηφιακός αριθμός* (*digital number, DN*). Αν η ψηφιακή εικόνα εμφανιστεί στην οθόνη του υπολογιστή, ή εκτυπωθεί, τότε δίνει ένα οπτικό αποτέλεσμα παρόμοιο με αυτό μιας εικόνας που παράγεται με συμβατική τεχνολογία (π.χ., μιας φωτογραφίας που προκύπτει από τη διαφοροποιημένη αμαύρωση του φιλμ).



Εικ. 1. Η Πανεπιστημιούπολη, όπως απεικονίστηκε από τον ινδικό δορυφόρο IRS

Στην εικ.1 απεικονίζεται η πανεπιστημιούπολη, όπως αυτή αποτυπώθηκε από το δέκτη του δορυφόρου IRS. Και στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται τμήμα της ψηφιακής εικόνας της πανεπιστημιούπολης. Η όλη εικόνα αποτελείται από 200 στήλες και 110 γραμμές. Για λόγους οικονομίας του χώρου, στον πίνακα παρουσιάζεται μόνο ένα τμήμα της ψηφιακής εικόνας και συγκεκριμένα, αυτό που αποδίδεται από τα εικονοστοιχεία των πρώτων 14 στηλών και 30 γραμμών. Το κάθε στοιχείο του πίνακα είναι ένα pixel με μια τιμή φωτεινότητας, το οποίο αντιστοιχεί σε ένα τμήμα της απεικονιζόμενης επιφάνειας, που έχει συγκεκριμένες διαστάσεις. Στην περίπτωση της δορυφορικής εικόνας IRS, το ένα pixel αντιστοιχεί σε μια ορθογώνια επιφάνεια επί του εδάφους, διαστάσεων 6m x 6m. Στη γλώσσα της τηλεπισκόπησης, λέμε ότι η *χωρική διακριτική ικανότητα* (spatial resolution) του συγκεκριμένου δορυφόρου είναι 6m.

Επομένως, χωρική διακριτική ικανότητα είναι η ελάχιστη (στοιχειώδης) επιφάνεια από την οποία λαμβάνει σήμα ο δέκτης του δορυφόρου την κάθε χρονική στιγμή. Ή αλλιώς, χωρική διακριτική ικανότητα είναι η στοιχειώδης επιφάνεια επάνω στη Γη που μπορεί να διακρίνει ο δέκτης. Και η κάθε στοιχειώδης επιφάνεια, αντιστοιχεί σε ένα εικονοστοιχείο της ψηφιακής εικόνας.

Ιστογράμμα εικόνας είναι μια γραφική παράσταση που αναπαριστάνει ποιες τιμές φωτεινότητας εμφανίζονται στα διάφορα εικονοστοιχεία και πόσα εικονοστοιχεία αντιστοιχούν στην κάθε τιμή φωτεινότητας. Το εύρος τιμών φωτεινότητας του ιστογράμματος εκφράζει το πόσο έντονη είναι η *αντίθεση φωτεινότητας* (contrast). Πρακτικά για ένα ιστογράμμα με μικρό εύρος τιμών, η αντίστοιχη αναλογική εικόνα είναι θαμπή και δεν αποτυπώνονται καθαρά τα διάφορα αντικείμενα. Αν το ιστογράμμα έχει μεγάλο εύρος, τότε τα εικονοστοιχεία εκφράζονται με πιο έντονα διαφοροποιημένες τιμές φωτεινότητας, οπότε τα διάφορα αντικείμενα αποτυπώνονται στην αναλογική εικόνα ευκρινέστερα. Οι πρωτογενείς δορυφορικές εικόνες έχουν, γενικά, χαμηλές τιμές φωτεινότητας και το εύρος των ιστογραμμάτων είναι μικρό. Τέτοιες εικόνες είναι σκοτεινές και δεν υπάρχει ικανοποιητική αντίθεση φωτεινότητας μεταξύ των απεικονιζόμενων αντικειμένων. Για το λόγο αυτό, επιβάλλεται να βελτιωθεί η αντίθεση φωτεινότητας, με τη βοήθεια μαθηματικών μετασχηματισμών, μέσω των οποίων διευρύνεται το πεδίο τιμών φωτεινότητας των εικονοστοιχείων.

Πίνακας 1. Τμήμα της ψηφιακής εικόνας της πανεπιστημιούπολης

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

1	168	178	219	255	255	246	253	255	227	191	223	255	255	255
2	155	170	191	221	240	248	251	255	255	238	235	255	255	255
3	151	155	167	189	211	226	246	255	255	255	255	255	255	255
4	152	154	157	170	179	195	237	255	255	255	255	255	255	246
5	163	162	162	159	159	170	203	246	255	255	255	255	254	227
6	162	151	167	171	163	152	163	195	226	251	255	255	242	210
7	147	147	167	191	181	159	159	179	208	231	255	255	238	194
8	138	146	170	216	215	184	175	181	184	211	231	238	226	187
9	136	154	200	224	227	202	194	199	186	179	181	200	200	178
10	149	183	223	210	202	194	202	219	207	162	149	165	176	171
11	186	218	213	184	170	171	203	237	221	173	159	152	157	162
12	223	229	197	170	157	159	208	240	218	186	183	168	155	149
13	226	219	191	171	168	175	207	219	197	179	183	184	176	163
14	211	213	187	173	189	192	191	187	179	175	176	181	187	183
15	195	186	178	189	211	215	197	186	179	175	176	187	195	187
16	199	179	178	203	219	224	218	221	211	186	181	191	197	192
17	189	187	197	211	215	221	237	255	255	210	181	187	191	203
18	179	192	208	208	207	215	237	255	255	221	170	178	183	211
19	199	200	199	200	200	211	219	255	255	200	152	168	181	211
20	216	215	200	195	202	211	216	218	194	155	146	175	195	211
21	218	219	211	191	184	203	213	189	159	139	144	186	237	237
22	219	221	203	184	179	187	186	175	149	136	162	224	255	255
23	219	202	184	181	181	171	165	155	147	159	210	255	255	255
24	199	171	170	178	176	157	146	138	159	218	255	255	248	255
25	170	157	168	175	167	146	131	141	191	255	255	255	223	215
26	159	170	167	168	154	138	141	170	223	255	255	253	202	173
27	165	175	167	163	149	141	157	199	221	255	255	231	189	159
28	163	173	179	173	147	159	197	218	224	234	226	210	191	181

29	165	184	208	192	167	176	215	227	224	229	226	210	207	218
30	191	229	243	215	183	176	194	207	208	227	238	237	237	246

Το σύνολο των ψηφιακών τιμών μιας ψηφιακής δορυφορικής εικόνας αποτελεί στη γλώσσα της στατιστικής έναν πληθυσμό. Είναι δυνατή μια γραφική αναπαράσταση της κατανομής των ψηφιακών τιμών φωτεινότητας ενός καναλιού σε ένα ιστόγραμμα, όπου ο οριζόντιος άξονας παρουσιάζει τις ψηφιακές τιμές και ο κατακόρυφος το πλήθος τους. Αν και από τα ιστογράμματα των εικόνων μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την ποιότητά τους, θεωρείται, πολλές φορές, αναγκαίο να γίνει μια περαιτέρω συμπύκνωση των στοιχείων και να αντικατασταθούν, τελικά, με ορισμένες στατιστικές παραμέτρους. Τέτοιες παράμετροι μπορεί να είναι:

Η Μικρότερη τιμή φωτεινότητας (Min).

Η Μεγαλύτερη τιμή φωτεινότητας (Max).

Η Μέση τιμή (Mean): είναι το άθροισμα των τιμών φωτεινότητας όλων των εικονοστοιχείων, δια του πλήθους των εικονοστοιχείων..

Η Διάμεση τιμή (Median) : Αν το πλήθος n των ψηφιακών τιμών φωτεινότητας είναι περιττός αριθμός, τότε ως διάμεσος τιμή λαμβάνεται η κεντρική τιμή της διάταξης από τη μικρότερη προς τη μεγαλύτερη τιμή, δηλαδή η τιμή που βρίσκεται στη $(n+1)/2$ θέση της διάταξης. Αν το n είναι άρτιος, τότε ως διάμεσος τιμή λαμβάνεται η μέση τιμή των δύο κεντρικών τιμών της διάταξης, δηλαδή των τιμών που βρίσκονται στις θέσεις $(n/2)$ και $(n/2)+1$.

Η Επικρατούσα τιμή (Mode): Είναι η ψηφιακή τιμή φωτεινότητας με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης.

Διασπορά (variance): Είναι ο μέσος όρος των τετραγώνων των αποκλίσεων των τιμών φωτεινότητας, δηλ. η ποσότητα:

$$Var = \frac{\sum_{i=1}^N [BV_i - M(BV)]^2}{N}$$

BV_i είναι οι τιμή φωτεινότητας του εικονοστοιχείου υπ. αριθμ. i , $M(BV)$ είναι η μέση τιμή φωτεινότητας και N είναι το πλήθος των εικονοστοιχείων.

Τυπική απόκλιση (standard deviation): Είναι η τετραγωνική ρίζα της διασποράς, δηλ. η ποσότητα:

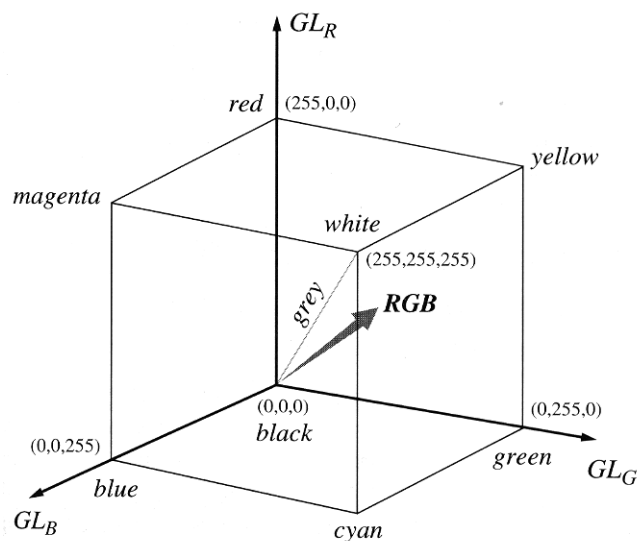
$$stdev = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [BV_i - M(BV)]^2}{N}}$$

Από τις παραπάνω παραμέτρους κατανομής, η σημαντικότερη είναι η τυπική απόκλιση. Το εύρος της τυπικής απόκλισης μας δείχνει το πόσο διασπαρμένες γύρω από τη μέση τιμή είναι οι τιμές φωτεινότητας της εικόνας. Όσο μεγαλύτερη είναι η τυπική απόκλιση, τόσο πιο διασπαρμένες είναι οι

τιμές φωτεινότητας. Αυτό πρακτικά σημαίνει, ότι μπορούμε να διακρίνουμε στην εικόνα περισσότερα χαρακτηριστικά. Την ίδια φυσική σημασία έχει και η διασπορά.

4. Έγχρωμα σύνθετα

Η ασπρόμαυρη εικόνα 1 αποτυπώνει τη γήινη επιφάνεια σε μια μόνο περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, ή αλλιώς σε μια μόνο *φασματική ζώνη* (spectral band). Ωστόσο, το ίδιο σύστημα τηλεπισκόπησης μπορεί να παράγει *πολυφασματικές εικόνες* (multispectral images) μιας περιοχής, στις οποίες η ίδια περιοχή της γήινης επιφάνειας αποτυπώνεται σε διαφορετικές φασματικές ζώνες (φυσικού μπλε, πράσινου, ερυθρού, υπέρυθρου και άλλων ζωνών). Σε μια πολυφασματική εικόνα, το κάθε εικονοστοιχείο δεν έχει μόνο μια τιμή φωτεινότητας, αλλά ένα πλήθος τιμών, ίσο με το πλήθος των φασματικών ζωνών.



Σχ. 1. Ο κύβος RGB (Schowengerdt, 1997)

Το *έγχρωμο σύνθετο* (color composite) δημιουργείται από το συνδυασμό τριών μονοφασματικών (ασπρόμαυρων) εικόνων (καναλιών) που τοποθετούνται σ' ένα χρωματικό συνδυασμό, χρησιμοποιώντας τα τρία βασικά χρώματα κόκκινο, πράσινο και μπλε, σύμφωνα με τον κύβο του RGB που παρουσιάζεται στο σχ. 1.

Η επιλογή των φασματικών καναλιών γίνεται με βάση το αντικείμενο έρευνας. Και το έγχρωμο σύνθετο μπορεί να παράσχει περισσότερες πληροφορίες στο φωτοερμηνευτή για δύο βασικούς λόγους:

α) διότι η φασματική πληροφορία λαμβάνεται από τρεις διαφορετικές εικόνες, που αντιστοιχούν σε διαφορετικές φασματικές ζώνες

β) διότι καθίσταται πιο εύκολη η ανάλυση και ερμηνεία των απεικονιζόμενων δεδομένων, καθώς το ανθρώπινο μάτι είναι πιο ευαίσθητο στις χρωματικές αλλαγές

Στις εικόνες 2, 3 και 4 παρουσιάζεται δορυφορική εικόνα Landsat της Ν. Ζακύνθου, στις ζώνες φυσικού μπλε, φυσικού πράσινου και φυσικού ερυθρού, αντίστοιχα. Το ίδιο εικονοστοιχείο, έχει γενικά διαφορετικές τιμές φωτεινότητας στις τρεις ζώνες. Από το συνδυασμό των τριών εικόνων, παράγεται το έγχρωμο σύνθετο της εικόνας 5, που είναι μια έγχρωμη εικόνα της Ζακύνθου, στα φυσικά χρώματα. Μια τέτοια εικόνα, σε μια πιο τεχνική ορολογία, ονομάζεται εικόνα RGB 321, με την έννοια ότι για τη δημιουργία της συνδυάστηκε η ζώνη φυσικού μπλε (ζώνη 1 του δορυφόρου

Landsat), στην οποία αποδόθηκε το μπλε χρώμα, η ζώνη φυσικού πράσινου (ζώνη 2) στην οποία αποδόθηκε το πράσινο και η ζώνη φυσικού ερυθρού (ζώνη 3), στην οποία αποδόθηκε το κόκκινο.

Στην εικόνα 6 παρουσιάζεται ένα έγχρωμο σύνθετο RGB 432 (η ζώνη 4 εγγύς υπερέυθρου αποδίδεται με κόκκινο, η ζώνη 3 ερυθρού με πράσινο και η ζώνη 2 πράσινου με μπλε). Παρατηρούμε ότι η βλάστηση εκδηλώνεται με ερυθρές αποχρώσεις, λόγω του ότι ανακλά έντονα στο εγγύς υπέρυθρο.



Εικ. 2. Εικόνα Landsat TM από Ν. Ζάκυνθο, ζώνη φυσικού μπλε



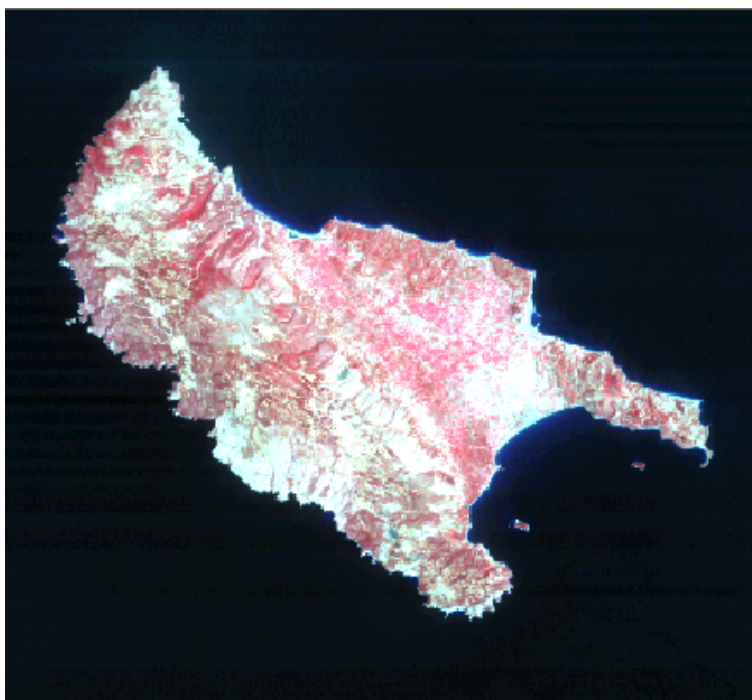
Εικ. 3. Εικόνα Landsat TM από Ν. Ζάκυνθο, ζώνη φυσικού πράσινου



Εικ. 4. Εικόνα Landsat TM από Ν. Ζάκυνθο, ζώνη φυσικού ερυθρού



Εικ. 5. Έγχρωμη RGB εικόνα Landsat TM, που παράγεται από το συνδυασμό των ζωνών ερυθρού, πράσινου και μπλε



Εικ. 6. Εικόνα RGB 432 του θεματικού χαρτογράφου Landsat από τη Ν. Ζάκυνθο.

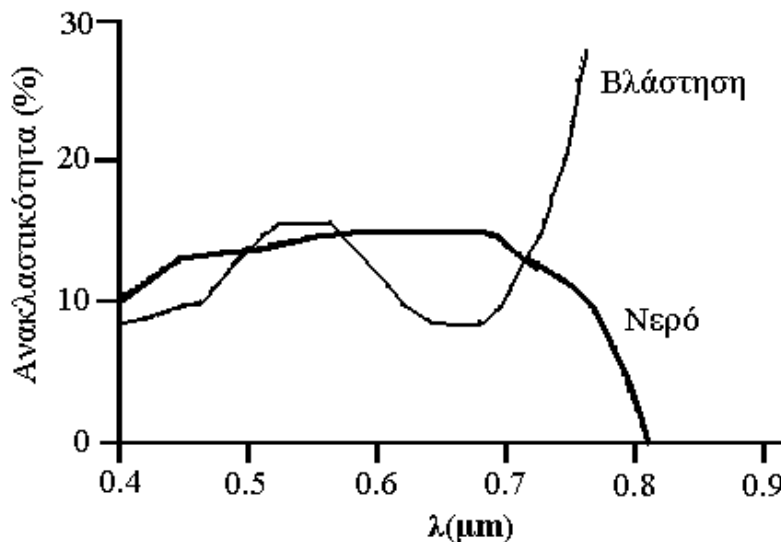
Σε μια πολυφασματική εικόνα, στο βαθμό που ένα αντικείμενο αποτυπώνεται σε διαφορετικές ζώνες μηκών κύματος, μπορεί να αποδοθεί ως ένα βαθμό η *φασματική υπογραφή* (spectral signature) του αντικειμένου.

Η έννοια της φασματικής υπογραφής έχει να κάνει με το ότι κάθε αντικείμενο του περιβάλλοντος έχει το δικό του τρόπο να αντανακλά ή να απορροφά την ακτινοβολία που προσπίπτει επάνω του, αλλά και να εκπέμπει ακόμη ακτινοβολία, ανάλογα με την απόλυτη θερμοκρασία του.

Ο τρόπος με τον οποίο ακτινοβολεί ένα σώμα, κάτω από ορισμένες συνθήκες, εξαρτάται τόσο από τις συνθήκες αυτές, όσο και από την υφή και τη φυσική κατάσταση του σώματος. Η ανακλώμενη καθώς και η εκπεμπόμενη ακτινοβολία ενός σώματος, στις διάφορες περιοχές του ΗΜ φάσματος και κυρίως στο υπέρυθρο, εγκλείουν πληροφορίες για τη φυσική και χημική κατάσταση του σώματος, που το χαρακτηρίζουν και το καθορίζουν μονοσήμαντα. Η μονοσήμαντη αυτή ακτινοβολία, που εκπέμπεται και ανακλάται από κάθε σώμα και που προσδιορίζει την ταυτότητά του, ονομάζεται *φασματική υπογραφή* του σώματος.

Όσο περισσότερες είναι οι φασματικές ζώνες, και όσο μεγαλύτερο τμήμα του φάσματος καλύπτουν αυτές, τόσο πληρέστερα αποδίδεται η φασματική υπογραφή. Σε μια πολυφασματική εικόνα των 4 ή επτά φασματικών ζωνών, η φασματική υπογραφή αποδίδεται ελλιπώς. Σε μια *υπερφασματική* (hyperspectral) εικόνα των εκατοντάδων φασματικών ζωνών, η φασματική υπογραφή αποδίδεται πολύ πιο ικανοποιητικά.

Η φασματική υπογραφή αναπαριστάνεται γραφικά ως μια καμπύλη μεταβολής της ανακλαστικότητας, ή της θερμικής ακτινοβολίας στη ζώνη θερμικού υπέρυθρου, ως προς το μήκος κύματος, όπως φαίνεται στο Σχ. 2.



Διαγρ. 2. Φασματικές υπογραφές βλάστησης και νερού στην περιοχή ορατού-εγγύς υπέρυθρου (προσαρμογή από <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>).

5. Δορυφορικά συστήματα τακτικής λήψης εικόνων από τη γήινη επιφάνεια

Η πρώτη δορυφορική φωτογραφία της Γης ελήφθη το 1959 κατά τη σύντομη πτήση του Mark II Reentry Vehicle. Στη συνέχεια, στη δεκαετία που ακολούθησε, οι δορυφόροι της σειράς Tiros και Nimbus ήταν οι πρόδρομοι της σύγχρονης δορυφορικής μετεωρολογίας τεκμηριώνοντας, από ημέρα σε ημέρα, τη μεγάλη χρησιμότητα της συστηματικής χρησιμοποίησης των μέσων διαστημικής τηλεπισκόπησης. Παράλληλα, ετίθετο στη διάθεση των επιστημόνων μια σειρά φωτογραφιών της επιφάνειας της Γης από τις πρώτες επανδρωμένες πτήσεις των διαστημικών προγραμμάτων "ΕΡΜΗΣ", "ΔΙΔΥΜΟΙ" και "ΑΠΟΛΛΩΝ".

Η χρησιμοποίηση της διαστημικής τηλεπισκόπησης για τη μελέτη της Γης προς ανίχνευση και εντοπισμό του επίγειου πλούτου, από σημαντικό αριθμό επιστημόνων που καλύπτουν έναν ευρύτατο χώρο εξειδικεύσεων, άρχισε από το 1972 με την εκτόξευση του πρώτου αμερικανικού δορυφόρου ERTS (Earth Resource Technology Sattelite) που αργότερα μετονομάστηκε Landsat. Ο δορυφόρος τέθηκε σε τροχιά που είχε ύψος 917 km από την επιφάνεια της Γης, με κλίση 81° ως προς το επίπεδο του ισημερινού. Για πρώτη φορά οι γεωεπιστήμονες είχαν στη διάθεση τους ενιαίες εικόνες που κάλυπταν μεγάλες περιοχές της γήινης επιφάνειας. Η χωρική διακριτική ικανότητα των πρώτων αυτών εικόνων ήταν 80 μέτρα. Οι εικόνες αποθηκεύονταν σε ψηφιακές κασέτες υψηλής πυκνότητας και στη συνέχεια μεταδίδονταν σε επίγειους σταθμούς λήψης.

Παράλληλα με αυτό το Αμερικανικό πρόγραμμα παρακολούθησης της Γης αναπτύχθηκε και το πρόγραμμα των Ρωσικών δορυφόρων Resurs-F. Αρχικά ξεκίνησε ως στρατιωτικό πρόγραμμα το 1973 και μετεξελίχθηκε σε πρόγραμμα παρακολούθησης της γης για επιστημονικούς σκοπούς το 1979.

Η συνεχής βελτίωση της τεχνολογίας των καμερών αλλά και των τηλεπικοινωνιών είχε ως αποτέλεσμα τη σταδιακή βελτίωση της χωρικής διακριτικής ικανότητας των δορυφορικών δεκτών. Έτσι, το 1982 ο δορυφόρος Landsat 4 έφερε ένα νέο δέκτη, το Θεματικό Χαρτογράφο (Thematic Mapper, TM) και είχε χωρική διακριτική ικανότητα 30 μέτρων. Το 1986 ο Γαλλικός δορυφόρος SPOT έφερε την πρώτη σημαντική βελτίωση της χωρικής ανάλυσης παρουσιάζοντας παγχρωματικές

εικόνες με χωρική διακριτική ικανότητα 10 μέτρων. Ακολούθησε το 1995 ο Ινδικός δορυφόρος IRS-1C με παγχρωματικές εικόνες με χωρική διακριτική ικανότητα 5.8 μέτρων. Η πραγματική επανάσταση στο χώρο της δορυφορικής τηλεπισκόπησης πραγματοποιήθηκε το 1999 με την εκτόξευση του δορυφόρου IKONOS. Για πρώτη φορά εμπορικός δορυφόρος διέθετε μία παγχρωματική ζώνη με χωρική διακριτική ικανότητα ενός μέτρου (παγχρωματικό) και τέσσερις πολυφασματικές ζώνες με χωρική διακριτική ικανότητα τεσσάρων μέτρων.

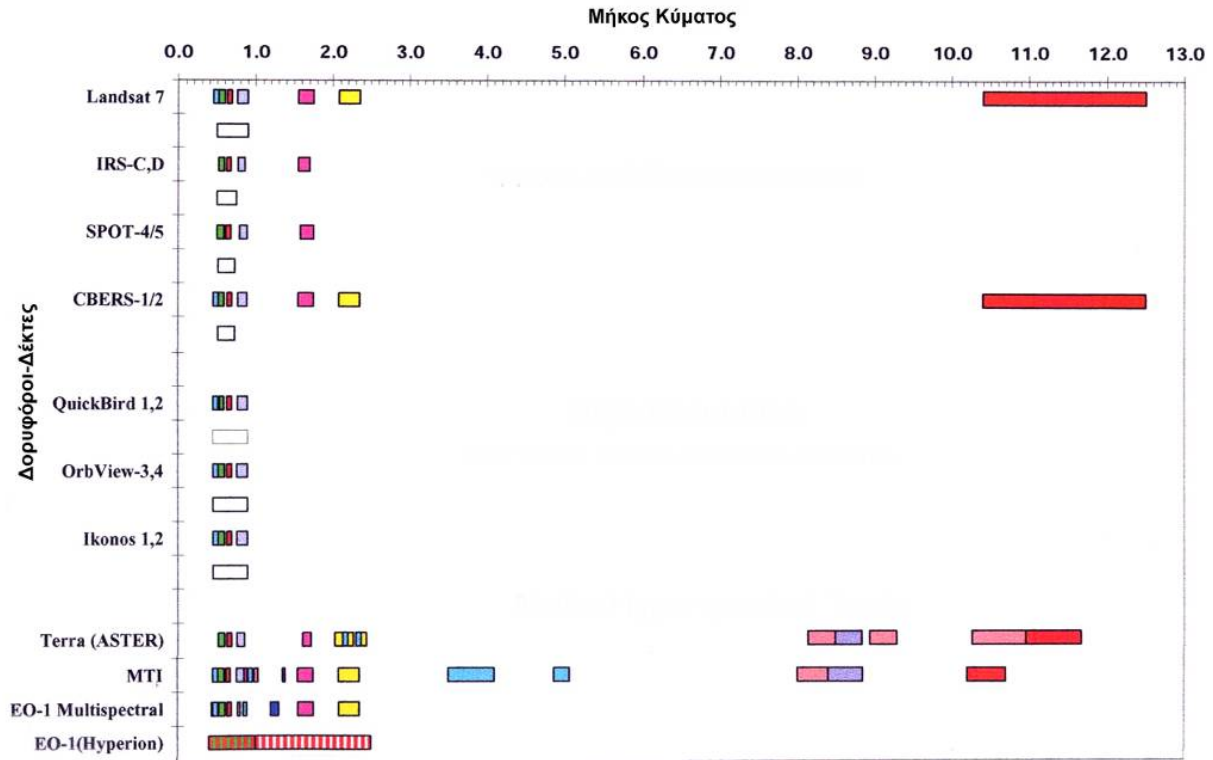
Η ταχύτατη εξέλιξη της τεχνολογίας κατά την τελευταία δεκαετία κατέστησε πλέον δυνατή τη λήψη εικόνων με χωρική διακριτική ικανότητα 50 εκατοστών (Geoeye, Worldview 2) και τον προγραμματισμό νέων δεκτών που στο εγγύς μέλλον θα λαμβάνουν εικόνες με χωρική διακριτική ικανότητα 25 εκατοστών. Πλέον οι μόνοι περιορισμοί τίθενται για λόγους ασφαλείας από τις κυβερνήσεις.

Στο (σχ. 9) παρουσιάζονται οι φασματικές ζώνες στις οποίες είναι ευαίσθητοι οι δέκτες διαφόρων δορυφορικών συστημάτων τηλεπισκόπησης. Η επιλογή φασματικών ζωνών στις οποίες λειτουργεί ο κάθε δορυφορικός δέκτης καταγραφής της γήινης επιφάνειας, καθορίζεται από δυο βασικά κριτήρια: α) η ακτινοβολία της κάθε φασματικής ζώνης να μην αλληλεπιδρά έντονα με τα μόρια της ατμόσφαιρας (κυρίως να αποφεύγονται φαινόμενα έντονης σκέδασης και απορρόφησης) β) η κάθε φασματική ζώνη να παρέχει πληροφορίες είτε για τη φυσική κατάσταση είτε για τη χημική σύσταση των αντικειμένων της γήινης επιφάνειας, από το οποίο ανακλάται ή εκπέμπεται ακτινοβολία.

Απεναντίας, σε έναν μετεωρολογικό δορυφορικό δέκτη που καταγράφει την κατάσταση της ατμόσφαιρας, η κάθε φασματική ζώνη επιδιώκεται να αλληλεπιδρά με ορισμένα συστατικά ή στρώματα της ατμόσφαιρας.

Τα συστήματα τηλεπισκόπησης μπορούν να χωριστούν σε δυο ευρείες κατηγορίες: στα *ενεργητικά* και στα *παθητικά*. Τα παθητικά συστήματα λαμβάνουν ηλιακή ακτινοβολία, η οποία προηγουμένως έχει προσπέσει στην επιφάνεια της Γης και έχει ανακλαστεί ή επανεκπεμφθεί από αυτήν. Τα προαναφερθέντα δορυφορικά συστήματα Landsat, SPOT, Ikonos, Geoeye και πολλά άλλα, συμπεριλαμβανομένων των δορυφόρων που εμφανίζονται στο σχ. 3, εντάσσονται στην κατηγορία των παθητικών συστημάτων. Απεναντίας, τα ενεργητικά συστήματα εκπέμπουν από μόνα τους ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η οποία προσπίπτει στο έδαφος και ένα μέρος της επιστρέφει στο δέκτη τηλεπισκόπησης. Τα συστήματα ραντάρ εντάσσονται στην κατηγορία των ενεργητικών συστημάτων.

ΕΥΡΟΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ ΤΩΝ ΠΙΟ ΓΝΩΣΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΚΤΩΝ



Σχ. 2. Γνωστοί δορυφορικοί δέκτες και τμήμα του φάσματος που καλύπτουν. (ASPRS, 2009)

Παρακάτω παρουσιάζονται οι επτά φασματικές ζώνες του θεματικού χαρτογράφου του δορυφόρου Landsat και γίνεται αναφορά στο πού μπορεί να αξιοποιηθεί η κάθε μία.

Χαρακτηριστικά και εφαρμογές των φασματικών καναλιών του Θεματικού Χαρτογράφου TM του δορυφόρου Landsat.

Φασματική ζώνη 1: 0,45 - 0,52 μm (μπλε - πράσινο).

Επιτρέπει τη μέγιστη διείσδυση στις υδάτινες μάζες και χρησιμοποιείται στη βαθυμετρία, στην ανάλυση της χρήσης γης, στο διαχωρισμό εδαφών και βλάστησης και στη διάκριση κωνοφόρων-φυλλοβόλων.

Φασματική ζώνη 2: 0,52 - 0,60 μm (πράσινο).

Η φασματική ζώνη αυτή έχει τη μέγιστη ανακλαστικότητα χλωροφύλλης και χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό της υγιούς από την άρρωστη βλάστηση.

Φασματική ζώνη 3: 0,63 - 0,69 μm (κόκκινο).

Πρόκειται για την ερυθρή ζώνη απορρόφησης από τη χλωροφύλλη, στην περίπτωση υγιούς βλάστησης και αποτελεί τη σημαντικότερη φασματική ζώνη για τη διάκριση των διαφόρων φυτικών τύπων.

Φασματική ζώνη 4: 0,76 - 0,90 μm (ανακλώμενο υπέρυθρο).

Η φασματική ζώνη αυτή έχει πολύ καλή απόκριση για το σύνολο της βιομάζας που υπάρχει σε μία εικόνα. Επίσης, βοηθάει στη διάκριση έδαφος-υδάτινες μάζες.

Φασματική ζώνη 5: 1,55 - 1,75 μm (ανακλώμενο υπέρυθρο).

Η φασματική ζώνη αυτή είναι ευαίσθητη στο ποσό του νερού που υπάρχει στα φυτά. Επιπλέον, η φασματική αυτή ζώνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διάκριση μεταξύ χιονιού, νεφών και πάγου.

Φασματική ζώνη 6: 10,4 - 12,4 μm (θερμικό υπέρυθρο).

Η φασματική αυτή ζώνη μετράει το ποσό της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τις διάφορες επιφάνειες. Είναι χρήσιμη για τον εντοπισμό περιοχών με γεωθερμική δραστηριότητα, στις γεωλογικές έρευνες, στην ταξινόμηση της βλάστησης και στη μελέτη της εδαφικής υγρασίας.

Φασματική ζώνη 7: 2,08 - 2,35 μm (ανακλώμενο υπέρυθρο).

Πρόκειται για μία φασματική ζώνη που βοηθάει στη διάκριση των γεωλογικών σχηματισμών και στον εντοπισμό ζωνών υδροθερμικής εξαλλοίωσης στα πετρώματα.

6. Επεξεργασία εικόνας

Η ψηφιακή εικόνα είναι προϊόν της αλληλεπίδρασης μεταξύ ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, γήινης επιφάνειας, ατμόσφαιρας και συστήματος καταγραφής της ακτινοβολίας. Στο βαθμό που οι στόχοι ενδιαφέροντος είναι σχηματισμοί πάνω στην επιφάνεια της γης, οι οποίοι είναι επιθυμητό να εμφανιστούν στην εικόνα ευκρινώς και με τονικότητες όσο το δυνατόν απαλλαγμένες από εξωτερικές επιδράσεις, ανακύπτει η ανάγκη για επεξεργασία της εικόνας. Η επεξεργασία εικόνας αποσκοπεί στο να εξαλειφθεί, κατά το δυνατόν, η ατμοσφαιρική επίδραση που μπορεί να αλλοιώσει το σήμα που εκπέμπεται από τη γήινη επιφάνεια, να εξαλειφθούν παραμορφώσεις και επιδράσεις που έχουν να κάνουν με τη σχετική κίνηση της πλατφόρμας ως προς τη γη και με τη διαδικασία λήψης της ΗΜ ακτινοβολίας, να ενισχυθεί το σήμα που αντιστοιχεί στους στόχους ενδιαφέροντος και να ανακτηθεί η χρησιμότητα για τον φωτοερμηνευτή πληροφορία.

Αναφερόμενοι, κυρίως, σε εικόνες που προέρχονται από παθητικούς δείκτες τηλεπισκόπησης και από ζώνες μηκών κύματος στο ορατό και στο υπέρυθρο μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, μπορούμε να πούμε ότι τα στάδια επεξεργασίας ψηφιακών δεδομένων τηλεπισκόπησης είναι, με συντομία, τα ακόλουθα:

6.1 Προεπεξεργασία εικόνας (αποκατάσταση εικόνας, image restoration)

6.1.1 Αποκατάσταση χαμένων ή κατεστραμμένων γραμμών σάρωσης

Σε ορισμένες περιπτώσεις, δεν καταγράφονται τα δεδομένα από μια γραμμή σάρωσης, με αποτέλεσμα, η συγκεκριμένη αυτή γραμμή, να εκδηλώνεται στην εικόνα ως μια μαύρη λωρίδα, κατά μήκος της οποίας η ένταση έχει την τιμή μηδέν ή κάποια τιμή που διαφέρει πολύ από την αναμενόμενη.

Η αποκατάσταση των χαμένων αυτών τιμών γίνεται αντικαθιστώντας την τιμή φωτεινότητας του «ελαττωματικού» εικονοστοιχείου με μια μέση τιμή, που υπολογίζεται από τις τιμές έντασης των εικονοστοιχείων της ίδιας στήλης τα οποία βρίσκονται στην προηγούμενη και στην επόμενη γραμμή σάρωσης.

6.1.2 Φιλτράρισμα τυχαίου θορύβου

Ο τυχαίος θόρυβος εκδηλώνεται ως μεμονωμένα εικονοστοιχεία με ιδιαίτερα υψηλές ή χαμηλές τιμές έντασης σε σχέση με το περιβάλλον τους. Η διαδικασία απομάκρυνσης του θορύβου είναι η παρακάτω:

Για κάθε εικονοστοιχείο υπολογίζουμε τη μέση τιμή της έντασης, παίρνοντας τιμές από τα γειτονικά εικονοστοιχεία. Αν η μέση τιμή διαφέρει από την τιμή του εικονοστοιχείου κατά ένα ποσό μεγαλύτερο από μια ορισμένη τιμή κατωφλίου, τότε η νέα τιμή της έντασης του εικονοστοιχείου είναι η μέση τιμή. Στην αντίθετη περίπτωση το εικονοστοιχείο διατηρεί την αρχική του τιμή.

6.1.3 Απομάκρυνση ζωνωτού θορύβου (dstriping)

Ο ζωνωτός θόρυβος οφείλεται σε σφάλματα στη διαδικασία καταγραφής της φωτεινότητας των λωρίδων του εδάφους και εκδηλώνεται ως παράλληλες φωτεινές γραμμές. Ο θόρυβος αυτός μπορεί να απομακρυνθεί με τεχνικές που βασίζονται στην ανάλυση συχνοτήτων.

6.1.4 Απομάκρυνση της ατμοσφαιρικής επίδρασης

Η διαδικασία απομάκρυνσης της ατμοσφαιρικής επίδρασης αποσκοπεί στο να περιοριστεί, κατά το δυνατόν, η παρεμβολή των μορίων της ατμόσφαιρας στη λήψη σήματος, ώστε στη διορθωμένη εικόνα το κάθε εικονοστοιχείο να αποτυπώνεται με τη φωτεινότητα που θα αντιστοιχούσε συνθήκες απουσίας ατμόσφαιρας.

6.1.5 Γεωμετρικές διορθώσεις

Οι γεωμετρικές διορθώσεις αποσκοπούν στην εξάλειψη φαινομένων παραμόρφωσης της εικόνας που οφείλονται στην καμπυλότητα της γήινης επιφάνειας και στην κίνηση του δορυφόρου και του δέκτη ως προς τη Γη

6.1.6 Γεωαναφορά (georeference)

Με τη γεωαναφορά, αποδίδονται γεωγραφικές συντεταγμένες στο κάθε pixel της εικόνας.

6.1.7 Συγχώνευση εικόνας (image fusion)

Με τη συγχώνευση, συνδυάζεται η πολυφασματική εικόνα σχετικά χαμηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας με μια άλλη εικόνα από την ίδια περιοχή με υψηλότερη διακριτική ικανότητα. Το αποτέλεσμα είναι να παραχθεί μια πολυφασματική εικόνα που να διατηρεί, κατά το δυνατόν, το φασματικό περιεχόμενο της αρχικής εικόνας, έχοντας όμως τώρα την υψηλή διακριτική ικανότητα της άλλης εικόνας, με την οποία έγινε η συγχώνευση.

6.1.8 Τοπογραφικές διορθώσεις και ορθοαναγωγή

Με τις τοπογραφικές διορθώσεις επιχειρείται η απομάκρυνση φαινομένων σκίασης σε εικονοστοιχεία, εξαιτίας του ανάγλυφου της περιοχής. Με την ορθοαναγωγή εξαλείφεται η μετατόπιση της κορυφής ενός αντικειμένου μεγάλου ύψους ως προς τη βάση του, οπότε παράγεται μια κάτοψη της απεικονιζόμενης επιφάνειας.

6.2 Βελτίωση εικόνας (image enhancement)

6.2.1 Βελτίωση αντίθεσης φωτεινότητας

Η βελτίωση αντίθεσης φωτεινότητας γίνεται διευρύνοντας το ιστόγραμμα της αρχικής εικόνας, ώστε να υπάρχουν εικονοστοιχεία με πολύ χαμηλή και πολύ υψηλή τονικότητα. Με το τρόπο αυτό αποτυπώνονται ευκρινέστερα οι διαφορετικοί επιφανειακοί σχηματισμοί.

6.2.2 Ανίχνευση ορίων επιφανειακών σχηματισμών

Όταν ενδιαφέρει τον φωτοερμηνευτή να αποτυπωθεί ευκρινώς το περίγραμμα του επιφανειακού σχηματισμού, εφαρμόζονται φίλτρα που επιτρέπουν την ανίχνευση ορίων σε συγκεκριμένες διευθύνσεις ή προς όλες τις διευθύνσεις.

6.2.3 Εφαρμογή φίλτρων διαύγασης (sharpening) και εξομάλυνσης (smoothing)

Εφαρμόζοντας φίλτρο διαύγασης αυξάνεται η αντίθεση φωτεινότητας μεταξύ γειτονικών εικονοστοιχείων. Απεναντίας, η αντίθεση φωτεινότητας μειώνεται με την εφαρμογή φίλτρου εξομάλυνσης.

6.2.4 Διαμέριση πυκνότητας (density slicing)

Με την τεχνική αυτή το ιστόγραμμα της εικόνας διαμερίζεται σε διαστήματα τιμών φωτεινότητας, σε κάθε ένα από τα οποία αποδίδεται ένα χρώμα. Με τον τρόπο αυτό, η αρχική ασπρόμαυρη εικόνα μιας φασματικής ζώνης γίνεται έγχρωμη, καθώς το κάθε εικονοστοιχείο εμφανίζεται με το χρώμα εκείνο που αντιστοιχεί στο διάστημα τιμών στο οποίο βρίσκεται η τιμή φωτεινότητάς του.

6.2.5 Σύνθεση απλών εικόνων για παραγωγή ψηφιακών μωσαϊκών. Δημιουργία στερεοσκοπικών εικόνων.

Το μωσαϊκό είναι μια «συγκόλληση» εικόνων από γειτονικές περιοχές, ώστε να παραχθεί μια ενιαία εικόνα της ευρύτερης περιοχής έρευνας. Η στερεοσκοπική εικόνα παράγεται από ένα ζεύγος επικαλυπτόμενων –δηλαδή με κοινή περιοχή κάλυψης- εικόνων. Οι εικόνες τοποθετούνται η μια δίπλα στην άλλη, έχοντας κοινή την περιοχή επικάλυψης. Παρατηρώντας αυτό το ζεύγος με κατάλληλη οπτική συσκευή (στερεοσκόπιο), προκαλείται ένα τρισδιάστατο οπτικό αποτέλεσμα.

6.3 Εξαγωγή πληροφοριών (information extraction)

Η εξαγωγή των πληροφοριών ακολουθεί τα εξής στάδια :

6.3.1 Σχηματισμός λόγου φασματικών ζωνών

Διαιρώντας, για κάθε εικονοστοιχείο, την τιμή φωτεινότητας σε μια φασματική ζώνη δια αυτής σε άλλη, παράγεται η εικόνα του λόγου φασματικών ζωνών, που μπορεί να παράσχει πληροφορίες για τη φυτοκάλυψη της περιοχής έρευνας, ή ακόμα για την παρουσία κοιτασμάτων υδροθερμικής προέλευσης.

6.3.2 Ανάλυση κυρίων συνιστωσών (PCA : Principal Component Analysis)

Η ανάλυση κυρίων συνιστωσών αποσκοπεί στο να συμπιεστεί το σύνολο των δεδομένων, αναπαριστώντας τις τιμές φωτεινότητας σε ένα ορθοκανονικό σύστημα συντεταγμένων, η διάσταση του οποίου είναι ίση με τον αριθμό των φασματικών ζωνών καταγραφής της ακτινοβολίας. Το χαρακτηριστικό αυτού του ορθοκανονικού συστήματος είναι ότι οι νέες συνιστώσες (κύριες συνιστώσες) έχουν τις διευθύνσεις μέγιστης διασποράς τιμών φωτεινότητας. Η πρώτη κύρια συνιστώσα περνάει από την περιοχή με τη μεγαλύτερη διασπορά, η δεύτερη, κάθετη στην πρώτη, περνάει από τη δεύτερη σε διασπορά περιοχή κ.ο.κ. Κάθε εικονοστοιχείο, στο νέο σύστημα, έχει γενικά διαφορετικές τιμές φωτεινότητας από τις αρχικές.

Για μια αξιόπιστη απεικόνιση της διαθέσιμης πληροφορίας, συνήθως αρκούν οι πρώτες δύο ή τρεις κύριες συνιστώσες, οπότε ελαττώνεται σημαντικά το πλήθος των δεδομένων που χρειάζεται να αποθηκευτούν.

6.3.3 Μετασχηματισμοί χρώματος

Ένας τέτοιος μετασχηματισμός είναι, π.χ., από το σύστημα RGB - Red, Green, Blue στο σύστημα IHS (Intensity, Hue, Saturation). Μέσω του μετασχηματισμού αυτού, προσδιορίζονται για κάθε εικονοστοιχείο τρεις τιμές: ένταση (intensity), χροιά (hue) και κορεσμός (saturation). Ενισχύοντας την αντίθεση τιμών κορεσμού μεταξύ των εικονοστοιχείων και εφαρμόζοντας στη συνέχεια έναν αντίστροφο μετασχηματισμό IHS, μπορεί να προκύψει μια εικόνα με πιο φωτεινά χρώματα και πιο ευδιάκριτους σχηματισμούς.

6.3.4 Δημιουργία εικόνων μεταβολής χαρακτηριστικών ως προς το χρόνο

Συγκρίνοντας δύο ή περισσότερες εικόνες μιας περιοχής, που ελήφθησαν σε διαφορετικό χρόνο, μπορούν να εντοπιστούν μεταβολές στην κατάσταση της γήινης επιφάνειας (αλλαγές στις χρήσεις γης, απογύμνωση εδαφών αποβλάστηση, μεταβολές ακτογραμμής και άλλες διαφοροποιήσεις). Στη συνέχεια, μπορεί να παραχθεί μια νέα εικόνα στην οποία να αποτυπώνονται οι περιοχές όπου σημειώθηκαν μεταβολές και οι περιοχές που έμειναν αναλλοίωτες.

6.3.5 Ανάλυση υψής

Με την ανάλυση υψής, ή αλλιώς με τη μελέτη χωρικής μεταβολής της φωτεινότητας των εικονοστοιχείων, επιχειρείται, με στατιστικές μεθόδους, να προσδιοριστούν περιοχές με έντονες ή με μικρές μεταβολές στις τονικότητες γειτονικών εικονοστοιχείων, καθώς επίσης να βρεθεί το πώς συνδέονται οι διαφορές στην τιμή φωτεινότητας μεταξύ δυο εικονοστοιχείων ως προς τη μεταξύ τους απόσταση.

6.3.6 Ταξινόμηση εικόνας

Με την ταξινόμηση ψηφιακής πολυφασματικής εικόνας, επιχειρείται η κατηγοριοποίηση των εικονοστοιχείων σε ομάδες, ή τάξεις, με κοινά χαρακτηριστικά, από πλευράς φασματικής απόκρισης ή/και υψής. Οι τάξεις αυτές μπορούν να εκφράζουν λιθολογικές ενότητες, τύπους φυτοκάλυψης, χρήσεις γης και άλλες οντότητες γεωλογικού, εδαφολογικού, χωροταξικού ή φυσικογεωγραφικού χαρακτήρα.

Ο παραπάνω κατάλογος δεν καλύπτει το σύνολο των εφαρμοζόμενων τεχνικών ψηφιακής επεξεργασίας (ανάλυσης) εικόνας. Ούτε επίσης ο φωτοερμηνευτής εφαρμόζει στην εργασία του όλες τις τεχνικές στη σειρά που εμφανίζονται. Ωστόσο, ο αναγνώστης μπορεί να σχηματίσει μια πρώτη εικόνα για τη διαδικασία επεξεργασίας δεδομένων τηλεπισκόπησης. Για μια πληρέστερη ενημέρωση είναι αναγκαία η μελέτη της βιβλιογραφίας πάνω στην τηλεπισκόπηση και στην ψηφιακή επεξεργασία εικόνας, καθώς και η εξοικείωση με κάποιο λογισμικό επεξεργασίας πολυφασματικών εικόνων.

Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών 2014. Γεώργιος Σκιάνης.
«Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Αρχές Τηλεπισκόπησης. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
<http://opencourses.uoa.gr/courses/GEOL5/>

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Διατήρηση Σημειωμάτων

- Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:
- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων

- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα

Εικόνα 1, Σελίδα 5: Η Πανεπιστημιούπολη, όπως απεικονίστηκε από τον ινδικό δορυφόρο IRS / Copyright ISRO / Πηγή: Indian Space Research Organisation (Indian Remote Sensing) / Σύνδεσμος: <http://www.isro.gov.in>

Σχήμα 1, Σελίδα 8: Ο κύβος RGB / Copyright 1997 by Academic Press / Πηγή: Robert A. Schowengerdt "Remote Sensing: Models and methods for image processing"

Εικόνα 2, Σελίδα 9: Zakynthos-nasa / Public Domain / Σύνδεσμος: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zakynthos-nasa.png> / Πηγή: NASA World Wind

Εικόνες 3-4, Σελίδα 10: Zakynthos-nasa / Public Domain / Σύνδεσμος: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zakynthos-nasa.png> / Πηγή: NASA World Wind

Εικόνες 5-6, Σελίδα 11: Zakynthos-nasa / Public Domain / Σύνδεσμος: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zakynthos-nasa.png> / Πηγή: NASA World Wind

Διάγραμμα 1, Σελίδα 12: Spectral curve showing interactions with vegetation and water / Copyright CCRS/CCT (The reproduction is a copy of an official work that is published by the Government of Canada and that the reproduction has not been produced in affiliation with, or with the endorsement of the Government of Canada) / Σύνδεσμος: http://gis-lab.info/docs/books/ccrs-fundament/fundamentals_e.pdf (Page 18) / Πηγή: "Fundamentals of Remote Sensing" (A Canada Centre for Remote Sensing, Remote Sensing Tutorial)

Σχήμα 2, Σελίδα 14: Γνωστοί δορυφορικοί δέκτες και τμήμα του φάσματος που καλύπτουν / Σύνδεσμος: <http://www.asprs.org/a/conference-archive/baltimore09/index.html> / Πηγή: Διάλεξη που πραγματοποιήθηκε στο American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), 2009 Annual Conference

Πίνακες

Πίνακας 1, Σελίδα 6: Τμήμα της ψηφιακής εικόνας της πανεπιστημιούπολης / Άγνωστης προέλευσης πίνακας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.

- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

