



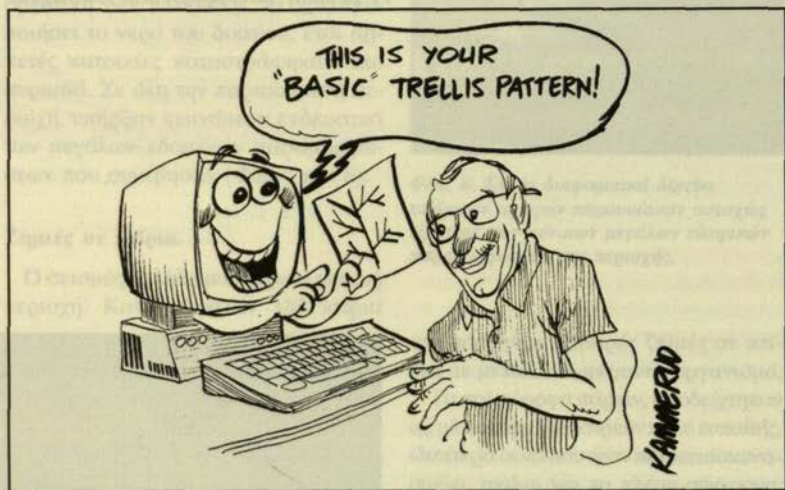
# Πώς η Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση Προσεγγίζει τη Νοημοσύνη του Φωτοερμηνευτή;

του Δ. Π. Αργιαλά

## 1. Εισαγωγή

Τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη και τεχνική που εξετάζει τις αρχές, μεθόδους και όργανα με τα οποία επιτυγχάνεται η από μακρυνά συλλογή, επεξεργασία, ανάλυση και ερμηνεία πληροφοριών που σχετίζονται με συγκεκριμένες ιδιότητες αντικειμένων ή φαινομένων. Προκειμένου για εφαρμογές της τηλεπισκόπησης στο φυσικό περιβάλλον πολλές φορές το τελικό αποτέλεσμα της ανάλυσης αποδίδεται σαν ένας θεματικός χάρτης που παρουσιάζει τις κατηγορίες ή ενότητες της συγκεκριμένης εφαρμογής.

Η τηλεπισκόπηση έχει εφαρμοσθεί στη γεωργία, δασολογία, γεωλογία, γεωμορφολογία, τεχνική φωτογεωμορφολογία, ωκεανογραφία, κλιματολογία, γεωγραφία, περιφερειακή ανάπτυξη και στη καταγραφή και παρακολούθηση των φυσικών και ανθρωπίνων διαθεσίμων γενικότερα (Αργιαλάς 1977, Μπαντέκας 1984, Ρόκος 1988). Χρησιμοποιεί δε οπτικές αλλά και ψηφιακές τεχνικές για την αναγνώ-



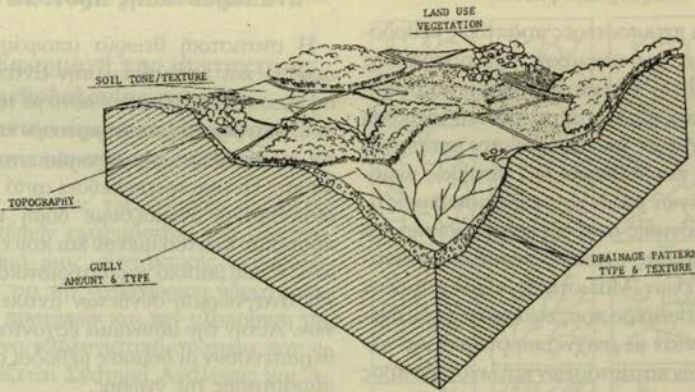
ριση αντικειμένων και την ταξινόμηση τηλεπισκοπικών απεικονίσεων στις θεματικές ενότητες του ενδιαφέροντος μας.

Οι μεν οπτικές τεχνικές βασίζονται στην στερεοσκοπική παρατήρηση και μελέτη αεροφωτογραφιών και τηλεπισκοπικών απεικονίσεων, οι δε ψηφιακές τεχνικές στηρίζονται κατά μεγάλο μέρος στην κατανομή των pixels σε συγκεκριμένες θεματικές κατηγορίες με βάση τη «φασματική εγγύτητα» των τιμών του κάθε pixel στην κάθε «κατηγορία».

Η έννοια της «κατηγορίας» καθώς και αυτή της «εγγύτητας» ορίζονται στην ψηφιακή τηλεπισκόπηση κυρίως με βάση τη θεωρία της στατιστικής ανάλυσης προτύπων. Η θεωρία της στατιστικής ανάλυσης προτύπων έχει μια ευρεία εφαρμογή στην ψηφιακή τηλεπισκόπηση σήμερα γι' αυτό διάφορες μέθοδοι της, όπως της ελάχιστης απόστασης, των παραλληλεπιπέδων και της μεγίστης πιθανοφάνειας συναντώνται συχνά στα εκπαιδευτικά και εμπορικά πακέτα ψηφιακής τηλεπισκόπησης (Αργιαλάς, 1994α). Αντίθετα τε-

*Ο Δ. Αργιαλάς είναι Ελικ. Καθηγητής στο Τμ. Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π.*





Adapted from D.Way: Terrain Analysis, 1978

Σχήμα 1. Ενδεικτικό διάγραμμα γεωμορφής με τα φωτογεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της.

χινικές που βασίζονται στη θεωρία της συντακτικής ανάλυσης προτύπων και της Τεχνητής Νοημοσύνης έχουν μόλις αρχίσει να εμφανίζονται σε ερευνητικό επίπεδο, φαίνεται δε ότι θα 'ναι μακρύς ο δρόμος τους προς την ευρεία και εμπορική χρήση (Αργιαλάς, 1994β).

Αυτή η ερευνητική εργασία παρουσιάζει τις μεθοδολογίες της *Συντακτικής Ανάλυσης Προτύπων* και των *Εμπειρων Συστημάτων* περιληπτικά, κατόπιν δε τις εφαρμογές τους σ'ένα συγκεκριμένο κλάδο εφαρμογής της Τηλεπισκόπησης, την *Τεχνική Φωτογεωμορφολογία*.

### 1.1. Τεχνική φωτογεωμορφολογία: αναγνώριση μορφών γης

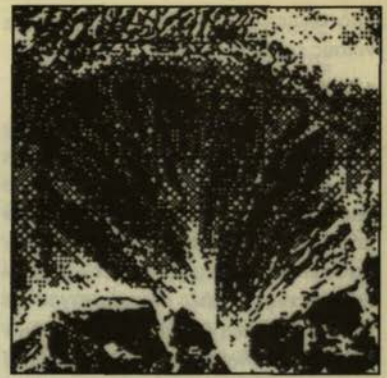
Η *Τεχνική Φωτογεωμορφολογία* περιλαμβάνει την συστηματική διερεύνηση των φωτοερμηνευτικών χαρακτηριστικών που σχετίζονται με τη γένεση, τη μορφολογική εξέλιξη και τη λιθολογική σύσταση των γεωμορφών και την χρήση τους στις κατασκευές τεχνικών έργων (Αργιαλάς and Narasimhan, 1988a).

Σ'αυτή την προσέγγιση γεωμορφές ορίζονται οι μορφολογικές ενότητες του αναγλύφου, οι οποίες έχουν προέλθει από φυσικές διεργασίες, και παρουσιάζουν προσδιορίσιμη λιθολογική σύσταση και τυπικά, ορατά και φυσικά χαρακτηριστικά που αποκαλούνται *Φωτογεωμορφολογικά Χαρακτηριστικά*. Στα Φωτογεωμορφολογικά Χαρακτηριστικά συμπεριλαμβάνονται η το-

πογραφική μορφή, η μορφή του υδρογραφικού δικτύου και η υψή του, ο τύπος και το πλήθος των διαβρωτικών χαραδρώσεων, ο φωτογραφικός τόνος του εδάφους, η χρήση γης και το είδος της βλάστησης (Σχήμα 1)

Μ'αυτό τον ορισμό υποθέτουμε ότι η γεωμορφή διατηρεί την αυτή λιθολογική σύσταση και τα αυτά φυσικά χαρακτηριστικά, ανεξάρτητα από τη γεωγραφική της θέση. Ειδικότερα υποθέτουμε ότι δύο οποιεσδήποτε γεωμορφές που έχουν προέλθει από το ίδιο μητρικό υλικό, ή που έχουν δημιουργηθεί με την ίδια φυσική διεργασία, και που κι οι δύο βρίσκονται κάτω από παρόμοιες κλιματικές συνθήκες θα παρουσιάζουν παρόμοια Φωτογεωμορφολογικά Χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, πεδία πλημμυρών (υπερχύλισης), αλλουβιακά ριπιδία, κουέστας και φακοειδείς λιθονολόφοι θα έχουν παρόμοια Φωτογεωμορφολογικά Χαρακτηριστικά οπουδήποτε στον κόσμο κάτω φυσικά από τις ίδιες κλιματικές συνθήκες. Τα Σχήματα 2, 3 και 4 παρουσιάζουν παραδείγματα αεροφωτογραφιών που αντιστοιχούν σε αλλουβιακό ριπιδίο, αιολικό ηλιώδες πέτρωμα και ψαμίτιο υγρού κλίματος.

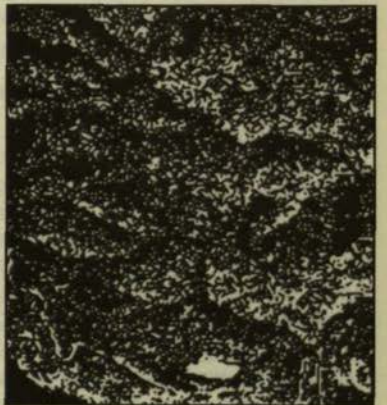
Η Τεχνική Φωτογεωμορφολογία παρέχει τη δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων που αφορούν τη γεωλογική δομή των γεωμορφών, την ομοιογένεια της λιθολογικής τους σύστασης και τη τεχνική τους συμπεριφορά και έτσι α-



Σχήμα 2. Αεροφωτογραφία με τυπική γεωμορφή αλλουβιακού ριπιδίου.



Σχήμα 3. Αεροφωτογραφία με τυπική γεωμορφή αιολικού ηλιώδους πέτρωματος.



Σχήμα 4. Αεροφωτογραφία με τυπική γεωμορφή ψαμίτιο υγρού κλίματος.



ποδεικνύεται χρησιμότερη στους μηχανικούς τεχνικών έργων.

## 1.2. Θεωρητικές επιδιώξεις και πρακτικά οφέλη αυτής της έρευνας

Η Τεχνική Φωτογεωμορφολογία είναι χρονοβόρα και με αρκετά υψηλό κόστος εργασίας μια που απαιτεί πείρα που αποκτάται μόνο μετά από εκτεταμένες σπουδές και μακροχρόνια πρακτική εμπειρία. Μπορεί δε ακόμα να χαρακτηριστεί πλιότερο σαν τέχνη παρά σαν επιστήμη μια που έχει έλλειψη μιας μεθοδικής θεωρίας. Η υπάρχουσα σε βιβλία και εγχειρίδια γνώση είναι περιγραφική και μάλλον ασαφής χωρίς συγκεκριμένη αναφορά στη στρατηγική διαδικασία (ή πορεία επίλυσης) που ενδείκνυται να ακολουθηθεί για να οδηγηθεί ένας άπειρος φωτοερμηνευτής στην αναγνώριση μιας γεωμορφής. Απ' την άλλη πλευρά, υπάρχουν εκπαιδευμένοι και ειδικευμένοι έμπειροι φωτοερμηνευτές που με επιδεξιότητα επιτελούν καθημερινά τέτοιες διαδικασίες. Προφανώς η υπονοούμενη Φωτογεωμορφολογική γνώση υποβοηθά κατά κάποιο τρόπο τους έμπειρους ερμηνευτές να αναγνωρίζουν άμεσα ή να ερμηνεύουν έμμεσα τις γεωμορφές.

Έτσι είναι ευνόητο ότι υπάρχει ανάγκη για τη τυποποίηση αφ' ενός και για την αυτοματοποίηση αφ' ετέρου της υπονοούμενης Φωτογεωμορφολογικής στρατηγικής διαδικασίας, με χρήση σύγχρονων τεχνικών και εκπαιδευτικού λογισμικού, που θα επιτρέπει διαλογική επικοινωνία με τον υπολογιστή και κατά τρόπον που θα υποβοηθά άπειρους ή αρχάριους φωτοερμηνευτές στην ανάλυση και ερμηνεία γεωμορφών μέσω στερεοσκοπικής παρατήρησης αεροφωτογραφιών και άλλων τηλεπισκοπικών απεικονίσεων.

Η πρόοδος στις επιστήμες της Συνακτικής Αναγνώρισης Προτύπων, της Τεχνητής Νοημοσύνης και της Γεωμορφομετρίας παρέχουν τις δυνατότητες αναπαράστασης της σχετικής με τις γεωμορφές γνώσης, που θα μπορούσε να οδηγήσει και στην αναγνώριση τους. Μια εκτεταμένη ανάλυση αυτών των τεχνικών στις ευρύτερες εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης έχει δοθεί από τους Argialas και Harlow (1990).

## 1.3. Οι περιορισμοί της στατιστικής θεωρίας αποφάσεων

Οι περισσότερες πρακτικές μεθοδολογίες της ψηφιακής τηλεπισκόπησης κατά την τελευταία εικοσαετία στηρίχθηκαν πάνω στη στατιστική ανάλυση προτύπων και αφορούσαν επεξεργασίες και ταξινομήσεις συνήθως μεμονωμένων pixels μιας τηλεπισκοπικής απεικόνισης αντί της αναγνώρισης και ερμηνείας ενιαίων, περιπλόκων αντικειμένων. Μάλιστα δε, είχαν εστιάσει περισσότερο προς εφαρμογές που σχετίζονταν με ανίχνευση στόχων και αλλαγών καταστάσεων και λιγότερο προς εφαρμογές αναγνώρισης σύνθετων αντικειμένων και φαινομένων που απαιτούν την εξαγωγή συμπερασμάτων με βάση κανόνες συλλογισμού. Για παράδειγμα, περισσότερες πρακτικές εφαρμογές έχουν γίνει για τον προσδιορισμό των χρήσεων γης, παρά για την αναγνώριση επιφανειακών υλικών, γεωλογικών δομών, ρηγματώσεων και γεωμορφών.

Σύνθετα αντικείμενα, πλούσια σε δομή και εμπειροχόμη γνώση, όπως οι γεωμορφές και τα υδρογραφικά δίκτυα δεν μπορούν να αναγνωρισθούν επαρκώς με την στατιστική αναγνώριση προτύπων και μόνο. Για παράδειγμα, ούτε μηχανή ούτε άνθρωπος μπορεί να αναγνωρίσει ρηγάματα, ηφαίστεια, αλλουβιακά ριπιδία και υδρογραφικές μορφές μόνο με την επεξεργασία τόνων και χρωμάτων. Για την αναγνώριση του σχήματος του υδρογραφικού δικτύου είναι απαραίτητο να περιγραφεί η δομή του δικτύου μέσω των επιμέρους στοιχείων του, των ιδιοτήτων του και των αναγκαίων σχέσεων των (Argialas et al., 1988). Για την φωτοερμηνεία των αλλουβιακών ριπιδίων, απαιτείται όχι μόνο η αναγνώριση του συνήθη ανοικτού τόνου τους, αλλά και αυτή του σχήματος τους, που συχνά είναι ημικωνικό στο χώρο ή σαν βεντάλια στην οριζοντιογραφία του. Πέραν τούτου η ερμηνεία των αλλουβιακών ριπιδίων δεν μπορεί ποτέ να είναι απόλυτη αν δεν εξετασθούν παράλληλα και οι γεωμορφολογικές διεργασίες σχηματισμού τους που περιλαμβάνουν την αλλουβιακή απόθεση υλικού από ποταμούς που εκχύνονται απότομα από υψηλότερες ορεινές περιοχές σε μια πλατεία κοιλάδα ή πεδιάδα (Σχήμα 2).

## 2. Δομικές μέθοδοι αναπαράστασης προτύπων

Η στατιστική θεωρία αποφάσεων αρχίζει και καταλήγει στην αντιπροσωπεία ενός πρότυπου μόνο με το τυπικό διάγραμμα χαρακτηριστικών και έτσι παρουσιάζει την αδυναμία να μη μπορεί να αντιπροσωπεύσει αυτό που διαισθητικά ονομάζουμε δομή ενός προτύπου ή αντικειμένου και που είναι ίσως το πιο βασικό χαρακτηριστικό για την αναγνώριση σύνθετων αντικειμένων. Αυτήν την αδυναμία έρχονται να θεραπεύσουν οι δομικές μέθοδοι αναπαράστασης της γνώσης.

Ως *δομή* μιας περίπλοκης οντότητας ορίζεται η αρχή οργάνωσης της ή το πρότυπο συσχέτισης μεταξύ των επιμέρους στοιχείων ή συνιστωσών της. Όμως, δεν φαίνεται ότι υπάρχει τίποτα στη φύση που από μόνο του έχει μια κάποια δομή. Η δομή ενός προτύπου φαίνεται να έχει να κάνει περισσότερο με την οργάνωση των επιμέρους στοιχείων του που προσδίδεται από τον ειδικό εμπειρογνώμονα και που έχει περισσότερο νόημα από την απλή συνάθροιση τους. Για παράδειγμα, ενώ ένα πρότυπο εμφανιζόμενο σε μια εικόνα έχει την δυνατότητα να θεωρηθεί ότι έχει μια κάποια δομή, η πραγματική όμως σύλληψη αυτής της δομής αποδίδεται από έναν εμπειρογνώμονα φωτοερμηνευτή.

Έτσι μια σειρά από μεθοδολογίες έχουν δημιουργηθεί όπως η δομική, συντακτική, γραμματική και γλωσσολογική, που παρέχουν την δυνατότητα αφ' ενός μεν της αναπαράστασης της δομικής πληροφορίας διαφόρων προτύπων αφ' ετέρου δε και της αναγνώρισης τους. Ο κοινός παρονομαστής όλων αυτών των μεθόδων είναι ότι η *δομή ενός αντικειμένου* μπορεί να περιγραφεί σαν μια οργάνωση των επιμέρους προτύπων ή στοιχειωδών αντικειμένων του. Ένα επιμέρους πρότυπο μπορεί πάλι να περιγραφεί μέσω της οργάνωσης δικών του προτύπων και ούτω καθ' εξής. Η οργάνωση ενός προτύπου υποδηλώνει ένα σύνολο πολυσύνθετων συσχέτισεων που εμπεριέχονται μεταξύ των επιμέρους προτύπων ή στοιχειωδών αντικειμένων του. Έτσι μια μέθοδος αναγνώρισης ενός δομικού προτύπου έγκειται στο να ψάξουμε και να βρούμε την προκαθορισμένη

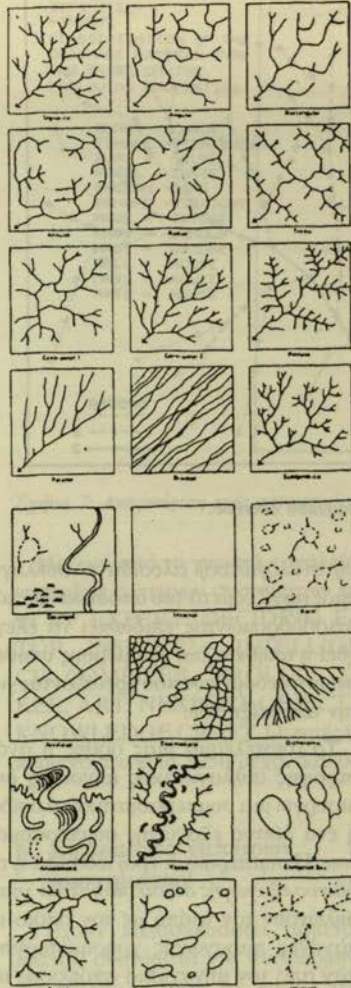


οργάνωση που εκφράζει τις συσχετίσεις των επιμέρους αντικειμένων του.

### 3. Εφαρμογή της συντακτικής μεθοδολογίας στην αναγνώριση της μορφής του υδρογραφικού δικτύου

Η μέθοδος της δομικής ανάλυσης προτύπων εφαρμόστηκε για τον σχεδιασμό μιας συντακτικής μεθοδολογίας για την αναγνώριση υδρογραφικών προτύπων και την υλοποίησή της σε ένα υπολογιστικό σύστημα που ονομάζεται Σύστημα Ανάλυσης και Αναγνώρισης της Μορφής του Υδρογραφικού Δικτύου (DPA) (Argialas 1985, Argialas 1986, Argialas et al. 1988). Πρώτα σχεδιάστηκε ένα μοντέλο της δομής του προτύπου με βάση τις τοπολογικές και γεωμετρικές σχέσεις των επιμέρους στοιχείων του. Ακολούθησε δε η κατάτμηση, περιγραφή, ανάλυση και ταξινόμηση του. Οκτώ είδη προτύπων υδρογραφικού δικτύου περιγράφηκαν και αναγνωρίστηκαν: δενδριτικό, παράλληλο, φερωτό, δικτυωτό, ορθογώνιο, γωνιακό, ακτινικό και δακτυλιοειδές. Το σύνολο των μορφών του υδρογραφικού δικτύου που αναφέρονται στην βιβλιογραφία ξεπερνά τα 25 (Σχήμα 5).

Το δομικό μοντέλο περιέγραφε ένα υδρογραφικό δίκτυο από τα επιμέρους τμήματά του (παραποτάμους του), τις ιδιότητές τους και τις συσχετίσεις μεταξύ τους, όπως αυτές εκφράζονται στις εμπειρικές περιγραφές αυτών των δικτύων. Το υδρογραφικό δίκτυο κατατμήθηκε ιεραρχικά στα σημασιολογικά αντικείμενα του, στις επιμέρους τάξεις του (κατά Strahler), στα γραμμικά ευθύγραμμα στοιχεία του και στους σημειακούς κόμβους του. Σε κάθε επίπεδο αυτής της ιεραρχίας, τα αντίστοιχα στο επίπεδο αυτό αντικείμενα, περιγράφηκαν με μια σειρά από ιδιότητες που τα χαρακτηρίζουν και που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διαδικασία κατάτμησης του προτύπου. Σχεδιάστηκαν ακόμη ιδιότητες του δικτύου που αφορούσαν τα σημασιολογικά αντικείμενα του και τις μεταξύ τους σχέσεις. Ένα δένδρο αποφάσεων κατασκευάστηκε για την αναγνώριση ενός τυχαίου προτύπου σε μια από τις οκτώ κατηγορίες. Σε κάθε κόμβο του δένδρου αποφάσεων γινόταν μια σειρά α-



Σχήμα 5. Διάφορες μορφές υδρογραφικού δικτύου.

πό ελέγχους ιδιοτήτων του υδρογραφικού δικτύου που καθοδηγούσε την πορεία ταξινόμησης. Το Σχήμα 6 δείχνει τα αποτελέσματα της αναγνώρισης ενός δενδριτικού υδρογραφικού δικτύου που χαρακτηρίζει τον ψαμμίτη του Σχήματος 4 ενώ το Σχήμα 7 δείχνει τα αποτελέσματα της αναγνώρισης ενός φερωτού υδρογραφικού δικτύου που χαρακτηρίζει το αιολικό ηλώδες πέτρωμα του Σχήματος 3. Μια μεθοδολογία βασισμένη στα εμπειρικά συστήματα εφαρμόστηκε για το ίδιο πρόβλημα από τον Hadipriono et al. (1990).

### 4. Μέθοδοι αναπαράστασης και επεξεργασίας της γνώσης

Η πρόοδος στην επιστήμη της Τεχνητής Νοημοσύνης και η ελλείθουσα πρόοδος των Έμπειρων Συστημάτων συνέτειναν στην δημιουργία μιας μεθοδολογίας και μιας σειράς εργαλείων για την ανάπτυξη τεχνικών αλλά και λογισμικού που μπορεί να αντιπροσωπεύσει την δομική πληροφορία του φυσικού περιβάλλοντος και την γνώση των εμπειρογνομόνων σε εφαρμογές ερμηνείας προτύπων απο τηλεπισκοπικές απεικονίσεις. Σίγουρα αυτή η αντιπροσώπηση της γνώσης είναι δυνατή και με προγραμματισμό στις συνηθισμένες διαδικαστικές γλώσσες (FORTRAN, PASCAL, C), όμως τα εργαλεία των έμπειρων συστημάτων προσφέρονται για μια πιο σαφή, εύληπτη και δηλωτική αναπαράσταση της γνώσης.

Τα Έμπειρα Συστήματα περιλαμβάνουν μεθόδους αναπαράστασης της γνώσης και επίλυσης προβλημάτων όπως μεθόδους συμπερασματικής λογικής και στρατηγικών ελέγχου της. Οι πιο γνωστές τεχνικές αναπαράστασης της γνώσης περιλαμβάνουν τα σημασιολογικά δίκτυα, τους κανόνες παραγωγής και τα πλαίσια. Στις τεχνικές συμπερασματικής λογικής περιλαμβάνονται ο τρόπος του θέτιου, η αρχή της απόφασης, οι μέθοδοι χειρισμού αβεβαιότητας και ασάφειας και άλλες. Στρατηγικές ελέγχου της συμπερασματικής λογικής επιτελούνται ή με την ορθή συλλογιστική αλυσίδα ή με την αναστροφική συλλογιστική αλυσίδα. Επιπροσθέτως η έρευνα του χώρου υποθέσεων και συμπερασμάτων μπορεί να γίνει ή κατά βάθος ή κατά πλάτος.

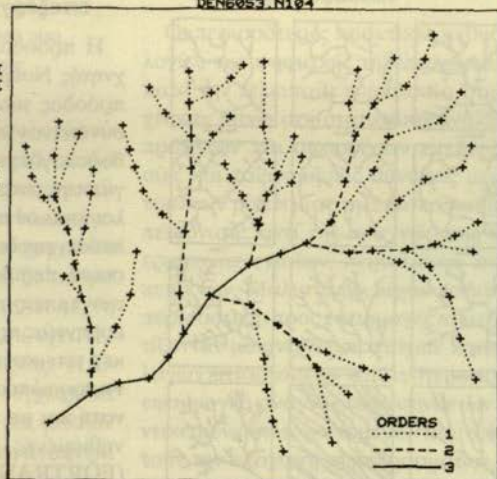
#### 4.1. Συστήματα παραγωγής

Ο πιο συνηθής τρόπος αναπαράστασης της γνώσης είναι το σύστημα παραγωγής. Ένα σύστημα παραγωγής αποτελείται από την βάση γνώσης και τον μηχανισμό εξαγωγής αποφάσεων ή συμπερασμάτων. Η βάση γνώσης αποτελείται από δεδομένα (γεγονότα) και από κανόνες παραγωγής. Τα γεγονότα αποθηκεύονται στην μνήμη εργασίας η οποία αποτελεί μια βάση συμβολικών δεδομένων, γεγονότων και των εκάστοτε αποδεδειγμένων υποθέσεων. Οι κανόνες παραγωγής αποτελούν την ουσία της διαδικαστικής γνώ-



THE PATTERN TYPE IS DEFINITELY DENDRITIC CLASSIFICATION OF THE DRAINAGE PATTERN TYPE WAS BASED ON THE FOLLOWING PROPERTIES:

RANMT = LARGE  
TSHAPE = STRAIGHT  
BRTYPE = TWOSIDED  
RJAU = SACUTE  
RBRBL = LARGE  
BRELOH = SHORT  
MAOL = OBTUSE  
MACB = OBTUSE  
MAOT = OBTUSE  
MALL = ACUTE  
MABL = ACUTE  
MATB = ACUTE



Σχήμα 6. Αναγνώριση ενός δένδριτικού υδρογραφικού δικτύου.

σης η οποία και αποθηκεύεται στην μνήμη παραγωγής. Κάθε κανόνας παραγωγής έχει την μορφή

EAN «δεδομένα ή προϋπόθεση»

TOTE «αποτέλεσμα, συμπεράσμα ή δράση»

και συνίσταται από μια προϋπόθεση που αποτελείται από μια ή περισσότερες λογικές προτάσεις και την δράση ή το αποδεικτέο που μπορεί να δημιουργεί ή να αλλάξει τα εκάστοτε στοιχεία της μνήμης εργασίας.

Η μηχανή εξαγωγής συμπερασμάτων αποφασίζει για το ποιό κανόνες είναι κατάλληλοι να ενεργοποιηθούν και δυναμικά να εκτυρωσκροτήσουν σε μια ορισμένη σύνθεση της μνήμης εργασίας (δεδομένων) και τους τοποθετεί στο λεγόμενο ανταγωνιστικό σύνολο κανόνων. Η μηχανή εξαγωγής συμπερασμάτων χρησιμοποιεί, κατόπιν τούτου, μια στρατηγική επίλυσης αντιθέσεων ώστε να επιλέξει και να εκτυρωσκροτήσει ένα κανόνα από το ανταγωνιστικό σύνολο κανόνων.

Υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους οι κανόνες παραγωγής μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Ο ένας λέγεται ορθή συλλογιστική αλυσίδα και ο άλλος λέγεται ανάστροφη συλλογιστική αλυσίδα. Κατά την ορθή συλλογιστική αλυσίδα ελέγχεται η αντιστοίχιση των υποθέσεων των κανόνων παραγωγής μετά των δεδομένων της μνήμης εργασίας ώστε να αρχίσει η συλλογιστική αλυσίδα. Κατά την ανάστρο-

φη συλλογιστική αλυσίδα ο συλλογισμός αρχίζει μετά του αποδεικτέου και οπισθοδρομώντας επιδιώκει να ελεγχθεί η αλήθεια των επιμέρους υποθέσεων ή δεδομένων που χρειάζονται για την απόδειξη του.

Το αποτέλεσμα μιας ορθής ή αναστροφής συλλογιστικής αλυσίδας δημιουργεί μια συμπερασματική αλυσίδα ή ένα δίκτυο εξαγωγής συμπερασμάτων. Η συμπερασματική αλυσίδα ή το δίκτυο εξαγωγής συμπερασμάτων υποδηλώνουν τον τρόπο με τον οποίο οι κανόνες παραγωγής χρησιμοποιήθηκαν από τον μηχανισμό απόφασης ώστε να εξαχθούν τα τελικά συμπεράσματα του συστήματος.

Οι κανόνες παραγωγής κρίνονται κατάλληλοι για αναπαράσταση της κατά την διάρκεια της φωτοερμηνείας χρησιμοποιούμενης συμπερασματικής λογικής μια που ένα μεγάλο μέρος της σχετικής φωτοερμηνευτικής γνώσης είναι εμπειρική και έτσι μπορεί να εκφραστεί αρκετά ικανοποιητικά με ευρετικούς κανόνες. Από την άλλη πλευρά, ένα μεγάλο σύνολο ασύνδετων και μη δομημένων κανόνων παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα. Για παράδειγμα, τυχόν υπάρχουσες ιεραρχικές δομές μεταξύ αντικειμένων ή εννοιών, όπως του συνόλου-υποσυνόλου, του γένους-είδους ή ακόμη του όλου-μέρους δεν μπορούν εύκολα να εκφραστούν με κανόνες παραγωγής. Τα πλαίσια προσφέρουν αυτή την δυνατότητα και

έτσι χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τους κανόνες παραγωγής.

## 4.2. Στρατηγικές ελέγχου της διαδικασίας αποφάσεων

Στον σχεδιασμό ενός έμπειρου συστήματος, εκτός από την μέθοδο παράστασης της γνώσης και την μέθοδο εξαγωγής συμπερασμάτων, υπεισέρχεται και το θέμα του ελέγχου της διαδικασίας αποφάσεων. Γενικώς στα έμπειρα συστήματα, αλλά και ειδικότερα σε αυτά που αφορούν την κατανόηση και την ερμηνεία εικόνων, τρεις στρατηγικές ελέγχου χρησιμοποιούνται. Η πορεία λύσης μπορεί να είναι

- (1) ορθή ή εκ των κάτω προς τα άνω δηλαδή να ξεκινά από τα δεδομένα και αλυσιδωτά να προχωρεί μέχρις ότου καταλήξει σε μια εύλογη ερμηνεία ή
- (2) ανάστροφη ή εκ των άνω προς τα κάτω, δηλαδή να ξεκινά από τον ποθούμενο στόχο και αλυσιδωτά να προχωρεί επιζητώντας κατάλληλες επί μέρους υποθέσεις ή δεδομένα που να εγκαθιδρύουν τον ζητούμενο στόχο ή
- (3) αμφίδρομη, δηλαδή, να ξεκινάει συγχρόνως από δεδομένα και τους ποθούμενους στόχους και να προχωρεί επιζητώντας κατάλληλες επί μέρους υποθέσεις ή δεδομένα που να εγκαθιδρύουν τους ζητούμενους στόχους ή να ξεκινά από τα δεδομένα και αλυσιδωτά να προχωρεί μέχρις ότου καταλήξει σε μια εύλογη ερμηνεία.

## 4.3. Αβέβαιη συλλογιστική

Τα έμπειρα συστήματα χρησιμοποιούνται σε πεδία εφαρμογών στα οποία τα δεδομένα, οι κανόνες και κατά συνέπεια τα εξαγόμενα συμπεράσματα είναι συχνά αβέβαια, ασαφή ή ανακριβή. Συνεπώς, μέθοδοι αβέβαιης και ασαφούς λογικής έχουν προταθεί και έχουν ενσωματωθεί, κατά κάποιο βαθμό, μέσα στις μεθόδους αναπαράστασης της γνώσης και τους μηχανισμούς της συμπερασματικής λογικής.

Γενικώς αυτές οι τεχνικές αντιπροσωπεύουν τις αβεβαιότερες μεμονωμένων γεγονότων, συνδυασμών γεγονότων, συμπερασμάτων κανόνων και γεγονότων που υποστηρίζονται ανεξάρτητα από πολλούς κανόνες. Για παράδειγμα, στα συστήματα κανόνων παραγωγής μπορούν να υπεισέλθουν και



μέθοδοι αντιπροσώπευσης του βαθμού βεβαιότητας κάθε γεγονότος καθώς και μέθοδοι ή διαδικασίες που υπολογίζουν την αβεβαιότητα των συμπερασμάτων που βασίζονται σε αβέβαια γεγονότα και αβέβαιους κανόνες. Συνήθως σε κάθε γεγονός που προσθέτει ο χρήστης στην βάση γνώσης προσδιορίζει και ένα βαθμό ή συντελεστή βεβαιότητας που μπορεί να μεταβάλλεται, για παράδειγμα, από -3 μέχρι +3. Ο βαθμός ή συντελεστής βεβαιότητας εκφράζει το κατά πόσο το δεδομένο γεγονός είναι βέβαιο. Το -3 συνήθως υποδηλώνει ότι το γεγονός είναι εντελώς ψευδές, ενώ το +3 ότι είναι εντελώς αληθές.

Μερικές από τις προταθείσες τεχνικές για τον χειρισμό της ασάφειας βασίζονται σε ευρετικές τεχνικές, που κατά κάποιο βαθμό προσομοιάζουν το θεώρημα του Bayes για τον υπολογισμό μεταγενέστερων πιθανοτήτων, με βάση προγενέστερες. Επιπρόσθετες τεχνικές αβέβαιης συλλογιστικής είναι η ασαφής λογική, η συλλογιστική με πιθανότητες και η θεωρία της μαρτυρίας.

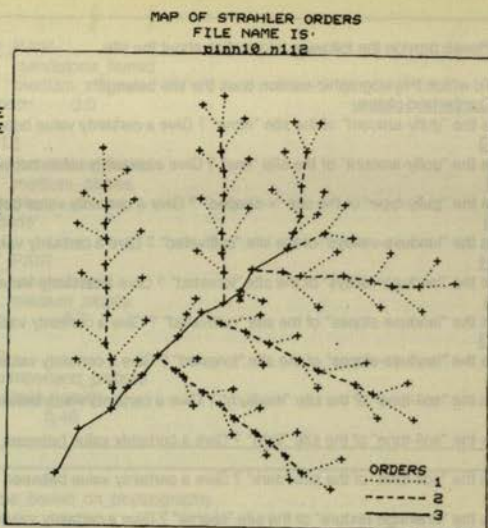
## 5. Εργαλεία ανάπτυξης εμπειρων συστημάτων

Τα λογισμικά πακέτα που είναι σχεδιασμένα για την ανάπτυξη εμπειρων συστημάτων καλούνται εργαλεία ανάπτυξης εμπειρων συστημάτων. Διαφέρουν δε από τις συμβατές γλώσσες προγραμματισμού στο ότι προσφέρουν μεθόδους αναπαράστασης συμβολικής γνώσης όπως τα γεγονότα, οι κανόνες παραγωγής, τα πλαίσια, τα σημασιολογικά δίκτυα, οι μέθοδοι αβέβαιης συλλογιστικής καθώς δε και μια μηχανή αποφάσεων που συμπεριλαμβάνει μεθόδους συμπερασματικής λογικής και στρατηγικής ελέγχου για την επεξεργασία της γνώσης.

Υπάρχουν πολλών ειδών εργαλεία ανάπτυξης εμπειρων συστημάτων το καθένα με τα δικά του χαρακτηριστικά αναπαράστασης της γνώσης και περιβάλλον ανάπτυξης και υποστήριξης. Η πρωτεύουσα θεώρηση για την επιλογή του κατάλληλου εργαλείου είναι η αντιστοιχία μεταξύ των χαρακτηριστικών του δεδομένου προβλήματος και εκείνων που προσφέρονται από το προς επιλογή εργαλείο.

THE PATTERN TYPE IS DEFINITELY PINNATE CLASSIFICATION OF THE DRAINAGE PATTERN TYPE WAS BASED ON THE FOLLOWING PROPERTIES:

RANMT = LARGE  
TSHAPE = STRAIGHT  
RJAW = ACUTE  
RBREL = LARGE  
BRELOH = LONG  
BSHAPE = STRAIGHT  
MAOL = OBTUSE  
MAOB = UNKNOWN  
MAOT = OBTUSE  
MALL = ACUTE  
MABL = ACUTE  
MATB = ACUTE



Σχήμα 7. Αναγνώριση ενός φτερωτού υδρογραφικού δικτύου.

Μερικά από τα γνωστά εργαλεία ανάπτυξης εμπειρων συστημάτων είναι τα VP EXPERT, DECIDING FACTOR, INSIGHT2+, INTELLIGENCE COMPILER, PROLOG, KES, KEE, ART, NEXPERT-OBJECT και KNOWLEDGE CRAFT. Οι τιμές τους κειμούνται από \$250 μέχρι \$20,000.

## 6. Εφαρμογές εμπειρων συστημάτων

Έχουν κατασκευαστεί αρκετά εμπειρα συστήματα για φωτοερμηνεία και τηλεπισκόπηση, αν και τα περισσότερα έχουν ανακαινωθεί σαν προγράμματα-πilotοί. Οι Argialas και Harlow επιμελήθηκαν ενός τόμου που περιείχε μια σειρά από εμπειρα συστήματα για τηλεπισκόπηση που δημοσιεύθηκαν, έπειτα από πρόσκληση της American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) που οργάνωσε ο υπογράφων σαν προεδρεύων της τότε επιτροπής Έμπειρων Συστημάτων και Τηλεπισκόπησης της ASPRS (Argialas και Harlow, 1990α). Στο άρθρο των Argialas και Harlow (1990) στον ίδιο τόμο δίνεται μια εκτενέστερη αναφορά σε παρόμοιες τεχνικές καθώς και πολλές βιβλιογραφικές παραπομπές. Δεν μας επιτρέπει εδώ ο χώρος να αναφερθούμε σε περισσότερες εφαρμογές ή λεπτομέρειες. Εφαρμογές εμπειρων συστημάτων στη φωτοερμηνεία γεωμορφολο-

γικών σχηματισμών περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια.

### 6.1. Το Έμπειρο Σύστημα TAX-1

Η κατασκευή ενός εμπειρου συστήματος περιλαμβάνει τα εξής γενικά στάδια: (1) τοποθέτηση του προβλήματος, (2) κατάλληλη σύλληψη του προβλήματος, (3) φορμαλισμό ή τυποποίηση του προβλήματος σε αρμόζουσες δομές γνώσης, (4) προγραμματισμό σε ένα κατάλληλο εργαλείο και (5) έλεγχο και αξιολόγηση του συστήματος.

#### 6.1.1. Τοποθέτηση του Έμπειρου Συστήματος TAX-1

Ο TAX-1 (Terrain Analysis eXpert) είναι ένα εμπειρο σύστημα στη περιοχή της Τεχνικής Φωτογεωμορφολογίας που εστιάζει στην αναγνώριση γεωμορφών, όπως ασβεστόλιθων, σχιστόλιθων, ψαμμιτών, αλλουβιακών ριτιδίων και άλλων (Argialas and Narasimhan, 1988a, 1988b). Το πρόγραμμα ενεργεί σαν σύμβουλος που καθοδηγεί έναν αρχάριο φωτοερμηνευτή, βήμα προς βήμα, στην αναγνώριση αυτών των σχηματισμών.

#### 6.1.2. Σύλληψη της Δομής του TAX-1

Η βάση γνώσης του TAX-1 περιλαμβάνει περιγραφικά δεδομένα γεωμορφών καθώς και μια στρατηγική φωτοερμηνευτικής λογικής που επενεργεί επί των περιγραφικών δεδομένων για να βγάλει συμπεράσματα.



Please provide the following information about the site.

To which Physiographic-section does the site belong?

Cumberland-plateau

Is the "gully-amount" of the site "none" ? Give a certainty value between -3 to 3

-3

Is the "gully-amount" of the site "few" ? Give a certainty value between -3 to 3

1

Is the "gully-type" of the site "v-shaped" ? Give a certainty value between -3 to 3

3

Is the "landuse-valleys" of the site "cultivated" ? Give a certainty value between -3 to 3

-1

Is the "landuse-valleys" of the site "forested" ? Give a certainty value between -3 to 3

3

Is the "landuse-slopes" of the site "cultivated" ? Give a certainty value between -3 to 3

-3

Is the "landuse-slopes" of the site "forested" ? Give a certainty value between -3 to 3

3

Is the "soil-tone" of the site "medium" ? Give a certainty value between -3 to 3

1

Is the "soil-tone" of the site "light" ? Give a certainty value between -3 to 3

0

Is the "soil-tone" of the site "dark" ? Give a certainty value between -3 to 3

0

Is the "drainage-texture" of the site "coarse" ? Give a certainty value between -3 to 3

3

Is the "drainage-type" of the site "internal" ? Give a certainty value between -3 to 3

-2

Is the "drainage-type" of the site "angular" ? Give a certainty value between -3 to 3

2

Is the "topography" of the site "steep-slopes" ? Give a certainty value between -3 to 3

3

Is the "gully-amount" of the site "many" ? Give a certainty value between -3 to 3

-2

The site appears to be \*\*\*\*\* sandstone-humid \*\*\*\*\*

The certainty associated with this result is

\*\*\*\*\* 0.99 \*\*\*\*\*

Σχήμα 8. Τυπικός διάλογος κατά την συμβουλευτική διαδικασία του εμπειρού οπτημάτος TAX-1 (ARGIALAS and NARASIMHAN, 1988b).

Τα περιγραφικά δεδομένα γεωμορφών εκφράζουν συσχετίσεις μεταξύ φυσιογραφικών περιοχών και αναμενόμενων σε αυτές γεωμορφών, καθώς και συσχετίσεις μεταξύ γεωμορφών και των χαρακτηριστικών τους στοιχείων. Χαρακτηριστικά στοιχεία γεωμορφών θεωρούνται η τοπογραφική τους μορφή, το σχήμα και η υφή του υδρογραφικού δικτύου, ο τύπος των χαραδρώσεων, ο φωτογραφικός τόνος και η υφή του, το είδος της βλάστησης και η χρήση γής. Τα περιγραφικά δεδομένα γεωμορφών αντιπροσωπεύτηκαν με την τριπλέτα αντικείμενο-ιδιότητα-τιμή, οι δε συσχετίσεις μεταξύ τους εκφράστηκαν με κατάλληλα επιλεγμένες δεσμευμένες πιθανότητες.

Η *οπτηματική της φωτοερμηνευτικής λογικής* εκφράστηκε με την μορφή κανόνων παραγωγής. Οι κανόνες παραγωγής είχαν την μορφή

Hypothesis (H) IF evidence (E) with LS, LN

Υπόθεση (H) EAN μαρτυρία (E) με LS, LN

Δηλαδή κάθε γεωμορφολογικό χαρακτηριστικό θεωρήθηκε σαν μια μαρτυρία (E) που συνέβαλε στην ενίσχυση ή εξασθένηση μιας υπόθεσης (H) για μια συγκεκριμένη γεωμορφή με βάση δύο μέτρα LS και LN. Το LS εξέφραζε το μέτρο επάρκειας μιας παρατήρησης στην εγκαθίδρυση της δεδομένης γεωμορφής και το LN εξέφραζε το μέτρο αναγκαιότητας της ύπαρξης του εκάστοτε χαρακτηριστικού στοιχείου χωρίς την παρουσία του οποίου η συγκεκριμένη υπόθεση έπρεπε να απορριφθεί.

### 6.1.3. Τυποποίηση της Γνώσης στο TAX-1

Τα περιγραφικά δεδομένα και οι κανόνες παραγωγής απετέλεσαν την βάση γνώσης, η οποία δομήθηκε στην συμβολική γλώσσα προγραμματισμού OPS5, που παρέχει μια μηχανή αποφάσεων της οποίας η συλλογιστική πορεύεται από τα δεδομένα προς τις υποθέσεις. Πάνω σε αυτή την μηχανή οικοδομήθηκαν *επιρόδοτοι μηχανισμοί απόφασεων*: (1) ένας μηχανισμός

ανάστροφης συλλογιστικής πορείας για να εκμαιεύει από τον χρήστη τα χαρακτηριστικά στοιχεία της υπό μελέτη περιοχής και (2) ένας μηχανισμός αβέβαιης συλλογιστικής με βάση πιθανότητες δεδομένων και υποθέσεων.

Μέσω της σχεδιασθείσας *ανάστροφης συλλογιστικής διαδικασίας*, ο TAX-1 πρώτα εκμαιεύει από τον χρήστη δεδομένα που αφορούν την φυσιογραφική ζώνη που ανήκει η υπό μελέτη περιοχή, βάση των οποίων παράγει εύλογες υποθέσεις για την ύπαρξη συγκεκριμένων γεωμορφών. Κατόπιν συνεχίζει να εκμαιεύει τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά των γεωμορφών ώστε να εγκαθιδρύσει ή απορρίψει, με κάποιο βαθμό βεβαιότητας, μια ή όλες τις εύλογες υποθέσεις γεωμορφών.

Όλα τα χαρακτηριστικά στοιχεία των γεωμορφών που παρείχε ο χρήστης στο TAX-1 είχαν *προσαρτημένο ένα βαθμό βεβαιότητας*, οι τιμές του οποίου κειμενόνταν μεταξύ -3 και +3 και εξέφραζε την σιγουριά του χρήστη για την παρουσία αυτού του χαρακτηριστικού όπως εκείνος το ερμήνευε από την αεροφωτογραφία. Το Σχήμα 8 περιλαμβάνει ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα επικοινωνίας με τον χρήστη από την συμβουλευτική διαδικασία του TAX-1.

### 6.1.4. Προγραμματισμός του TAX-1

Η σχεδιασθείσα *βάση γνώσης* περιείχε δυο ξεχωριστά τμήματα. Το ένα αφορούσε συγκεκριμένη *δηλωτική γνώση* περί φυσιογραφικών περιοχών, γεωμορφών και των χαρακτηριστικών τους στοιχείων, η οποία αποθηκεύτηκε υπό μορφήν γεγονότων (αντικείμενο-χαρακτηριστικό-τιμή) (Σχήμα 9). Το άλλο αφορούσε την *διαδικαστική γνώση*, δηλαδή την μέθοδο εξαγωγής συμπερασμάτων, η οποία έλαβε την μορφή κανόνων παραγωγής που επιτελούσαν την αβέβαιη συλλογιστική διαδικασία (Σχήμα 9).

Ένας τέτοιος *διαχωρισμός της βάσης γνώσης σε γεγονότα και κανόνες παραγωγής*, που το πρώτο δηλώνει το τι είναι γνωστό και το δεύτερο το πως χρησιμοποιείται αυτό που είναι γνωστό επιτρέπει αφ' ενός μια εύληπτη ανασκόπηση της γνώσης από έμπειρους φωτοερμηνευτές και χρήστες, αφ' ετέρου δε παρέχει την δυνατότητα μιας



εύκολης προσαύξησης της βάσης γνώσης. Αυτή η προσαύξηση της βάσης γνώσης, με αποτέλεσμα να περιλάβει περισσότερες γεωμορφές, μπορεί να γίνει απλά και μόνο προσάπτοντας επιπρόσθετα δεδομένα που αφορούν τις σχέσεις των γεωμορφών μετά των χαρακτηριστικών τους στοιχείων.

## 6.2. Μεταγενέστερες Προσπάθειες

Μια νέα σύλληψη του ίδιου θέματος έγινε με την μορφή πλαισίων (Argialas, 1989). Πλαίσια σχεδιάστηκαν για την αναπαράσταση των σχετικών τάξεων και αντικειμένων όπως π.χ. των φυσιογραφικών ζωνών, γεωμορφών και των χαρακτηριστικών τους. Ιδιότητες των αντικειμένων εκφράστηκαν διαμέσου των υποδοχών των πλαισίων. Με σχεδιασμό κατάλληλων κληρονομικών ιεραρχιών, επιτεύχθηκε η μεταβίβαση ιδιοτήτων αλλά και διαδικασιών από γενικευμένες παραστάσεις αντικειμένων στις ειδικευμένες τους. Διαδικαστική γνώση που αφορούσε το κάθε αντικείμενο αποθήκευτηκε υπό μορφήν προσαρτημένων κανόνων στις υποδοχές του πλαισίου, οι οποίοι μέσω κατάλληλης ορθής ή ανατροφής συλλογιστικής, έφεραν στο προσκήνιο άλλους κανόνες προς ολοκλήρωση του αναγκαίου συμπερασματικού δικτύου.

Μια πιο πρόσφατη σύλληψη του παραπάνω προβλήματος έγινε με βάση την Θεωρία των Ασαφών Συνόλων και την θεωρία της Μαρτυρίας των Dempster- Shafer (Narasimhan και Argialas 1988b, Narasimhan και Argialas 1989). Πολλοί τοπογραφικοί και γεωμορφολογικοί όροι περιγράφονται με ποιοτικές εκφράσεις και ειδικότερα με γλωσσολογικούς όρους, όπως «ήπιο ή ομαλό ανάγλυφο» και «μερικώς τετραγωνικό, μερικώς δενδριτικό υδρογραφικό πρότυπο» οι οποίοι δεν είναι σαφείς και ακριβείς. Η θεωρία των ασαφών συνόλων προσφέρει μια μεθοδολογία για την έκφραση τέτοιων γλωσσολογικών περιγραφών. Μ' αυτή έγινε μια προσπάθεια εφαρμογής της στην μοντελοποίηση μερικών από τους ασαφείς γλωσσολογικούς όρους, που χρησιμοποιούνται ευρέως στην γεωμορφολογική φωτοερμηνεία.

## 7. Επίλογος

Η περιγραφή, ανάλυση, αναγνώριση και ερμηνεία σύνθετων προτύπων και

```
LANDFORM_TOPOGRAPHY_PAIR
^landform_type      sandstone_humid
^topography          medium_slopes
^landform_topography_penoth  0.0
```

```
TOPOGRAPHY_OF_THE_SITE
^landform_type      sandstone_humid
^topography          medium_slopes
^certainty_value_of_topography  +2
^status             done
```

```
LANDFORM_TOPOGRAPHY_PAIR
^landform_type      shale-humid
^topography          medium_slopes
^landform_topography_peh  0.7
```

```
SECTION_LANDFORM_PAIR
^section             cumberland_plateau
^landform            shale-humid
^section_landform_prob  0.45
```

(P hypothesize\_a\_landform\_type\_based\_on\_physiography

```
(section_landform_pair
  ^section_name      <section_value>
  ^landform_type     <landform_value>
  ^section_landform_prob <probability_value>
)
-->
(make_landform_of_the_site
  ^landform_type     <landform_value>
  ^probability        <probability_value>
)
)
```

Σχήμα 9. Τυπικές τριπλές αντικείμενο-ιδιότητα-τιμή καθώς και ένας κανόνας παραγωγής στη συμβολική γλώσσα OPS5 που χρησιμοποιήθηκε στο έμπειρο σύστημα TAX 1 (ARGIALAS and NARASIMHAN, 1988b).

αντικειμένων είναι ένα πολύ δύσκολο πρόβλημα. Η φωτοερμηνεία ενός σύνθετου αντικειμένου συνίσταται σε κάτι περισσότερο από την ανάγνωση και την επεξεργασία pixels σε μια εικόνα. Περιλαμβάνει επιπλέον και την κατανόηση του προτύπου, η οποία μπορεί να γίνει κατόπιν μιας ανάλυσης και ολοκλήρωσης χωρικών, εικονικών, γεωγραφικών, εννοιολογικών και όχι μόνο, πληροφοριών που αφορούν το πρότυπο σαν ενιαία οντότητα. Τα ευρετικά τεχνάσματα του έμπειρου φωτοερμηνευτή πρέπει να αναζητηθούν και ν' αναπαρασταθούν. Για να επιτευχθεί όμως αυτό απαιτείται μια ολοκληρωμένη αναπαράσταση πολλαπλών, πολλές φορές φαινομενικά άσχετων πληροφοριών.

Δομικές μορφές αναπαράστασης προτύπων καθώς επίσης και εκείνες που βασίζονται στη σημασιολογική ανάλυση και συμπερασματική λογική προσφέρουν υποσχέσεις και δυνατότητες για υλοποίηση των αναλογικών μεθόδων των συγκλινουσών ενδείξεων

και της παραγωγικής, επαγωγικής και απαγωγικής λογικής μέσα σε υπολογιστικό περιβάλλον. Η μεθοδολογία της στατιστικής θεωρίας αποφάσεων και εκείνες του χαμηλού επιπέδου κατάρτισης θα χρησιμοποιούνται σαν το πρώτο βήμα και θα καθοδηγούνται από λογικές διαδικασίες υψηλού επιπέδου.

Βρισκόμαστε ακόμα στο αρχικό στάδιο χρήσης τεχνικών βασισμένων στη γνώση για αυτόματη φωτοερμηνεία και λόγω της δυσκολίας του όλου προβλήματος της τεχνητής όρασης, η πρόοδος θα επέλθει σε αρκετά μικρούς βηματισμούς. Όσο για τα έμπειρα συστήματα θα πρέπει να τονίσουμε ότι ακόμη στερούνται κοινής λογικής και δημιουργικότητας και έτσι ίσως ποτέ να μην αντικαταστήσουν τον ειδικό εμπειρογνώμονα παραμένοντας μόνον σαν εργαλεία για αρχάριους ή μη εξειδικευμένους φωτοερμηνευτές.

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά την Μαρίνα Τρουμπούνη και τον επίκουρο καθηγητή Νί-



κο Αλβέρτο για τις εύστοχες παρατηρήσεις τους επι του αρχικού κειμένου. Οποιαδήποτε παράληψη ή ασάφεια βαρύνει τον συγγραφέα.

## 8. Βιβλιογραφικές παραπομπές

1. Argialas, D. (1989a): A Frame-based Approach to Modeling Terrain Analysis Knowledge. Technical Paper, Annual Convention of American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol 3, pp. 311-319, April 2-7, 1989, Baltimore, Maryland.
2. Argialas, D. (1989b): Teaching Expert Systems Techniques at Louisiana State University. Chapter 3 in «American Society of Civil Engineers Monograph: Expert Systems for Civil Engineers - Education» Drs. M. Maher and S. Mohan editors, American Society of Civil Engineers (ASCE).
3. Argialas, D. (1988): Methodologies of Expert Systems for Terrain Analysis Problem Solving. Technical Paper, Annual Convention of American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 3, pp. 76-85, St. Louis, Missouri, March 13-19, 1988.
4. Argialas, D. and Narasimhan, R. 1988 a. TAX: A Prototype Expert System for Terrain Analysis. Journal of Aerospace Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol. 1, No. 3, July, pp. 151-170.
5. Argialas, D. and Narasimhan, R. 1988 b. A Production System Model for Terrain Analysis Knowledge Representation. Microcomputers in Civil Engineering, Elsevier Science Pub. Co., Vol. 3, No. 1, June, pp.-55-73.
6. Argialas, D., (1985): A Structural Approach Towards Drainage Pattern Recognition, Ph.D Dissertation, The Ohio State University, Columbus, Ohio.
7. Argialas, D., (1986): Computer-Assisted Recognition of Drainage Patterns. Technical Paper, Annual Convention of American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 4:435-444.
8. Argialas, D., (1990): Knowledge-Based Image Interpretation: Techniques and Applications. Technical Paper, Annual Convention of American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Denver, Colorado, Vol4, pp. 33-42.
9. Argialas, D., and C. Harlow, 1990. Computational Image Interpretation Models: An Overview and a Perspective, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 56, No 6, June, pp. 871-886.
10. Argialas, D., and C. Harlow, 1990a (editors). Special Issue: Knowledge-Based Expert Systems. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 56, No 6, June, pp. 871-886.
11. Argialas, D., and O. Mintzer, 1992. The potential of hypermedia to photointerpretation education and training, In «International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing», Vol. XXIX, part B, Commission VI, pp. 375-381, L. Fritz and J. Lucas Editors, XVII ISPRS Congress, Washington D.C. August 2-14, 1992
12. Argialas, D., Lyon, J. and Mintzer, O. 1988. Quantitative Description and Classification of Eight Drainage Pattern Types. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 54, No. 4, April, pp. 505-509.
13. Αργιαλάς, Δ., (1977): Φωτοερμηνευτική Διερεύνηση Φυσικών Διαθεσμών. Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Σχολή Αγρ. Τοπογρ. Μηχ.
14. Αργιαλάς, Δ., (1994α): Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση. Σημειώσεις, ΕΜΠ, Σχολή Αγρ. Τοπογρ. Μηχ.
15. Αργιαλάς, Δ., (1994β): Εμπειρα Συστήματα και Τηλεπισκόπηση. Διήμερο Ψηφιακή Χαρτογραφία, Φωτογραμμαμετρία, Τηλεπισκόπηση, Τεχνολογίες Αυχμής, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 10-11 Φεβρουαρίου 1994
16. Hadipriono, F., Lyon, G., Li, T. and Argialas, D. P. 1990. The Development of a Knowledge-based Expert System for Analysis of Drainage Patterns, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 56, No. 6, pp. 905-909.
17. Μπαντέκας, Γ. (1984). Φωτοερμηνεία-Τηλεπισκόπηση. Σημειώσεις ΟΕΔΒ. ΕΜΠ, Σχολή Αγρ. Τοπογρ. Μηχ.
18. Narasimhan, R. and Argialas, D. 1988b. Representation of Terrain Units in Frames. Technical Paper, Fall Convention of American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Virginia Beach, VA, September 12-16, 1988.
19. Narasimhan, R. and Argialas, D. 1989. Computational Approaches for Handling Uncertainties in Terrain Analysis. Technical Paper, Annual Convention of American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol 3, pp. 302-310, April 2-7, 1989, Baltimore, Maryland.
20. Narasimhan, R. and Argialas, D. 1988 a. A Production System Approach for Terrain Analysis. Technical Paper, Annual Convention of American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 3, pp. 66-75, St. Louis, Missouri, March 13 -19, 1988.
21. Ρόκος, Δ. (1988). Φωτοερμηνεία-Τηλεπισκόπηση. Σημειώσεις, ΕΜΠ, Σχολή Αγρ. Τοπογρ. Μηχ.