

Τεχνητή νοημοσύνη και συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών

Κ. Στεφανάκης και Λ. Τσούλος

*Τομέας Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π.
Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 80 Αθήνα*

1. Εισαγωγή

Το πεδίο των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) είναι ένας γνωστικός χώρος σχετικά νέος και αναπτυσσόμενος με αξιοσημείωτο ρυθμό. Τα αντικείμενα εφαρμογής των ΣΓΠ είναι αναρίθμητα, οι διαδικασίες όμως υλοποίησής τους είναι χρονοβόρες και δεν αξιοποιούν πλήρως τις δυνατότητες των επί μέρους τεχνολογιών που υπεισέχονται στην υλοποίηση των εφαρμογών. Αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές όταν αντιμετωπίζονται σύνθετα προβλήματα όπως η λήψη αποφάσεων και η αυτοματοποίηση διαδικασιών με ελάχιστη παρέμβαση του χρήστη. Τα προβλήματα αυτά εκτιμάται ότι μπορούν να αντιμετωπισθούν αποτελεσματικά μέσω της αξιοποίησης των δυνατοτήτων της τεχνητής νοημοσύνης και ειδικότερα των έμπειρων συστημάτων. Στην εργασία αυτή αναπτύσσονται τα χαρακτηριστικά των εμπειρών συστημάτων και προσεγγίζεται η μεθοδολογία της αξιοποίησής τους σε συνδυασμό με τα ΣΓΠ.

2. Τεχνητή νοημοσύνη

Ο όρος *Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence)* χαρακτηρίζει τεχνικές, που έχουν αναπτυχθεί σε περιβάλλον συστήματος υπολογιστή με σκοπό τη διαχείριση προβλημάτων, τα οποία ο άνθρωπος, τη δεδομένη στιγμή, αντιμετωπίζει περισσότερο αποτελεσματικά (Rich και Knight, 1991). Ο ορισμός αυτός χαρακτηρίζεται ως εφήμερος, αφού αναφέρεται στις τωρινές δυνατότητες των υπολογιστών. Επίσης δεν καλύπτει τις περιοχές όπου, υπολογιστής και άνθρωπος, αδυνατούν να δώσουν λύσεις. Ο ορισμός όμως αυτός, προσφέρει μια καλή γενική εικόνα για το αντικείμενο της τεχνητής νοημοσύνης, αποφεύγοντας συγχρόνως την ανάλυση εννοιών με φιλοσοφική διάσταση, όπως είναι οι έννοι-

ες του τεχνητού και της νοημοσύνης. Τα έμπειρα συστήματα είναι ένα υποσύνολο των εφαρμογών της τεχνητής νοημοσύνης.

2.1. Έμπειρα συστήματα

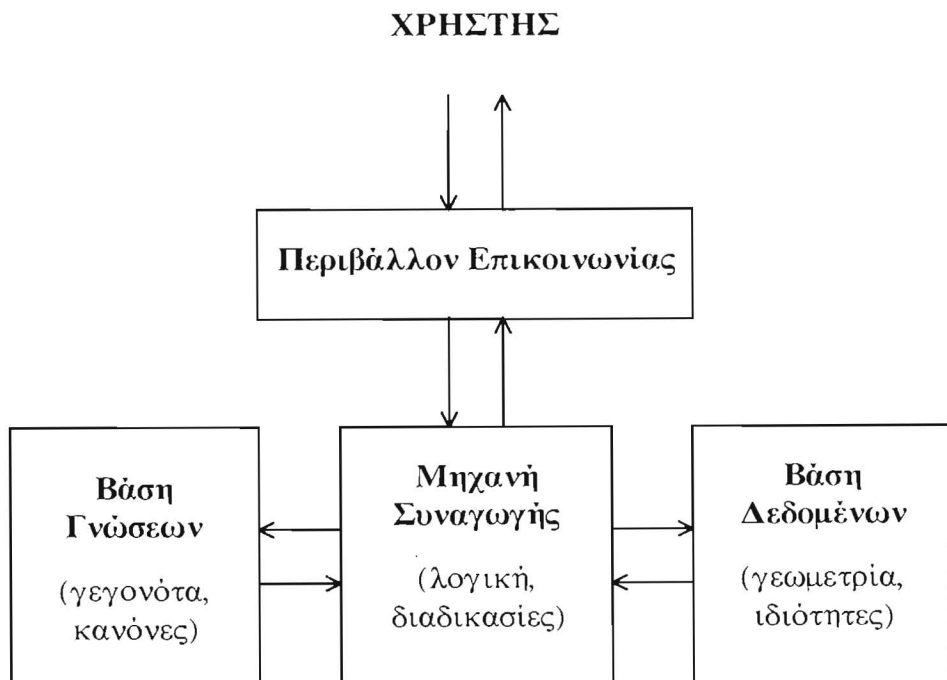
Ένα έμπειρο σύστημα (*expert system*) ορίζεται αρχικά ως ένα σύστημα λογισμικού ικανό να εκτελεί σε ορισμένη περιοχή εφαρμογών λειτουργίες, που διαφορετικά θα εκτελούνταν από έναν εμπειρογνώμονα (Σελλής, 1992). Η ιδιότητα του εμπειρογνώμονα (*expert*) αποδίδεται σε άτομα που κατέχουν ειδικές γνώσεις, σε κάποιο συγκεκριμένο τομέα. Το γεγονός αυτό τους επιτρέπει, όποτε είναι απαραίτητο, να επεξεργάζονται τα δεδομένα ενός προβλήματος και να καταλήγουν σε ορισμένα συμπεράσματα.

Ο όρος έμπειρα συστήματα θα χρησιμοποιείται στην συνέχεια ως γενικός και θα περιλαμβάνει όλα εκείνα τα προγράμματα που θα μπορούσαν με μεγαλύτερη ακρίβεια να χαρακτηριστούν σαν συστήματα κανόνων (*rule based systems*), συστήματα γνώσης (*knowledge based systems*). Τα κύρια χαρακτηριστικά των προγραμμάτων αυτών που τα διαφοροποιούν από τα συμβατικά αλγοριθμικά προγράμματα είναι (Forrest, 1993):

- χρησιμοποιούν πληροφορίες για απλά γεγονότα (*facts*) και κανόνες (*rules*), που αφορούν ένα θέμα και προσομοιώνουν τη μέθοδο επίλυσης που θα εφαρμόζε ένας εμπειρογνώμονας.
- το σύστημα ευρίσκεται σε συνεχή διάλογο με το χρήστη, αλλά μόνο σε θέματα άμεσα συνδεδεμένα με την επίλυση του προβλήματος.
- το σύστημα εκτιμά το πιο πιθανό αποτέλεσμα ή την πιθανότερη σειρά ενεργειών ανάλογα με τις συνθήκες που ισχύουν.
- αβέβαια και ημιτελή συμπεράσματα είναι αποδεκτά και μπορεί να χρησιμοποιηθούν.
- έχουν τη δυνατότητα να επεξηγούν τις πράξεις τους και το πώς κατέληξαν στα εξαγόμενα συμπεράσματά τους.

Τα έμπειρα συστήματα διαθέτουν δομή η οποία διαφέρει σημαντικά από αυτή των συμβατικών προγραμμάτων, τα οποία συντίθενται από μία αυστηρά καθορισμένη σειρά εντολών και είτε παράγουν ένα έγκυρο αποτέλεσμα, είτε αποτυγχάνουν. Πρότυπη αρχιτεκτονική για τα έμπειρα συστήματα δεν υπάρχει. Σύμφωνα με τις υλοποιήσεις και τις προτάσεις που έχουν πραγματοποιηθεί τα έμπειρα συστήματα αποτελούνται από τρία βασικά τμήματα: τη βάση γνώσεων (*knowledge base*), τη μηχανή

συναγωγής (*inference engine*) και το περιβάλλον επικοινωνίας (*user interface*) (Σχ. 1). Για την εφαρμογή του συστήματος στην περιοχή των γεωγραφικών εφαρμογών είναι επίσης σημαντική η σύνδεσή του με μια βάση δεδομένων γεωγραφικών στοιχείων. Για την ανάπτυξη ενός έμπειρου συστήματος η κύρια προσπάθεια επικεντρώνεται στην αναπαράσταση της γνώσης και στη μηχανή συναγωγής.



Σχ. 1. Αρχιτεκτονική ενός έμπειρου συστήματος για γεωγραφικές εφαρμογές.

2.2. Βάση γνώσεων

Μία από τις πρώτες βασικές διαπιστώσεις της έρευνας γύρω από την τεχνητή νοημοσύνη, που αφορά σε μεγάλο βαθμό και τα έμπειρα συστήματα ήταν, ότι η νοημοσύνη βασίζεται στη γνώση (*knowledge*). Η βάση γνώσεων (*knowledge base*) αποτελείται από ειδική γνώση ή γεγονότα (*facts*) και γενική γνώση ή κανόνες (*rules*). Η ειδική γνώση αντιστοιχεί στα συλλεχθέντα δεδομένα, όπως μετρήσεις ή γνωστά γεγονότα και συνήθως αποθηκεύεται σε δομημένη μορφή. Ένα έμπειρο σύστημα αποθηκεύει τα γεγονότα με δηλωτικό τρόπο, σε αντίθεση με τα συμβα-

τικά συστήματα όπου τα δεδομένα μπορεί να κρύβονται σε ένα τμήμα του κώδικα. Η γενική γνώση περιέχει γενικές αρχές, κανόνες και ευριστικές (εμπειρικές) τεχνικές επίλυσης προβλημάτων και αντιστοιχεί στη συσσωρευμένη εμπειρική ή τεχνική γνώση του εμπειρογνώμονα. Επίσης ένας σημαντικός παράγοντας της βάσης γνώσεων, που ονομάζεται *μετα-γνώση* (*meta-knowledge*), χρησιμοποιείται για να περιγράψει το σκοπό, την ακρίβεια, την αξιοπιστία, καθώς και άλλες ιδιότητες της αποθηκευμένης γνώσης. Στη συνέχεια παρατίθενται μερικά απλά παραδείγματα στοιχειωδών γεγονότων και κανόνων:

Στοιχειώδη γεγονότα:

- Η ιδιοκτησία είναι 5 στρέμματα.
- Η πόλη έχει σιδηροδρομική σύνδεση.
- Η θέση απέχει 6 χιλιόμετρα από το λιμάνι.

Κανόνες:

EAN (IF) η ιδιοκτησία είναι μεγαλύτερη από 2 στρέμματα ΚΑΙ (AND) η πόλη έχει σιδηρογραμική σύνδεση ΚΑΙ (AND) η θέση απέχει το πολύ 10 km από το λιμάνι ΤΟΤΕ (THEN) η ιδιοκτησία είναι κατάλληλη.

2.3. Μέθοδοι αναπαράστασης της γνώσης

Η αναπαράσταση της γνώσης αφορά την μέθοδο με την οποία η γνώση μπορεί να περιγραφεί και να αξιοποιηθεί στο περιβάλλον του υπολογιστή. Η γνώση μπορεί να αναπαρασταθεί με τρεις γενικά μεθόδους (Robinson και Frank, 1987):

- Με την εφαρμογή *τύπων κατηγορικού λογισμού πρώτης τάξης* (*first order predicate logic*), που αποτελεί τη βάση του *λογικού προγραμματισμού* (*logic programming languages*). Η μέθοδος αυτή μπορεί να υποστηρίξει την αναπαράσταση στοιχειωδών γεγονότων και κανόνων. Η γλώσσα Prolog είναι η πιο διαδεδομένη για την υλοποίηση λογικού προγραμματισμού.
- Με την εφαρμογή *σημασιολογικών δικτύων* (*semantic nets*). Τα σημασιολογικά δίκτυα προσομοιώνουν τη μέθοδο συσχέτισης στην ανθρώπινη μνήμη. Τα αντικείμενα απεικονίζονται με κόμβους σε ένα γράφημα και οι σχέσεις μεταξύ τους με συνδέσεις που φέρουν κάποια ετικέττα. Ένα από τα πλεονεκτήματα των σημασιολογικών δικτύων είναι οι ευρητηριακές τους δυνατότητες. Το δίκτυο μπορεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε, αντικείμενα που συνδέονται συχνά με υπολογι-

σμούς, ή αντικείμενα που είναι συγγενή εννοιολογικά, να απεικονίζονται με κοντινούς κόμβους στο δίκτυο.

- Με την εφαρμογή *πλαισίων (frames)*. Τα πλαίσια μπορούν να παρομοιαστούν με δομές δεδομένων, όπου οι γνώσεις που σχετίζονται με κοινά αντικείμενα να καταχωρούνται μαζί. Επειδή η γνώση οργανώνεται καλύτερα, η προσπέλασή της επιταγχύνεται.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των σημασιολογικών δικτύων και πλαισίων σε βάρος του κατηγορικού λογισμού πρώτης τάξης είναι ότι οι πληροφορίες που αφορούν κοινά στοιχεία συγκεντρώνεται μαζί. Αυτή η ιδιότητα βελτιώνει την προσπέλαση και διαχείριση της πληροφορίας. Η επιλογή μιας μεθόδου αναπαράστασης έναντι των υπολοίπων φαίνεται να εξαρτάται κύρια από τη φύση του προβλήματος. Ορισμένα συστήματα, όπως το KBGIS, εφαρμόζουν υβριδική μέθοδο αναπαράστασης της γνώσης, μίξη των μεθόδων των σημασιολογικών δικτύων και πλαισίων.

Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι οι τρεις μέθοδοι αναπαράστασης της γνώσης είναι γενικά ισοδύναμες. Η επιλογή μίας μεθόδου ίσως διαφοροποιεί τα χαρακτηριστικά της απόδοσης του συστήματος, όχι όμως και τη δύναμη λογικής του.

2.4. Ιδιότητες της γνώσης

Μπορούν να σημειωθούν τα ακόλουθα εγγενή χαρακτηριστικά που αφορούν την περιγραφή της γνώσης:

- Καταλαμβάνει μεγάλο όγκο.
- Είναι δύσκολο να περιγραφεί με ακρίβεια.
- Αναπτύσσεται και μεταβάλλεται με το χρόνο.
- Διαφοροποιείται από τα δεδομένα, επειδή οργανώνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να συμφωνεί με τις μεθόδους που εφαρμόζεται.

Η γνώση που θα ενσωματωθεί σε ένα σύστημα τεχνητής νοημοσύνης, λόγω των εγγενών της χαρακτηριστικών, πρέπει να σχεδιαστεί με τήρηση των ακόλουθων ιδιοτήτων:

- *Γενίκευση της γνώσης*. Δεν είναι απαραίτητο να περιλαμβάνεται στο σύστημα κάθε ιδιαίτερη κατάσταση. Αντίθετα, καταστάσεις όπου μοιράζονται σημαντικές ιδιότητες πρέπει να ομαδοποιούνται. Η γνώση που δεν συνοδεύεται από την ιδιότητα αυτή, έχει ανάγκη από μεγάλο μέγεθος μνήμης και απαιτεί χρονοβόρες διαδικασίες ενημέρωσης. Κα-

ταστάσεις που δεν διαπνέονται από την ιδιότητα της γενίκευσης, αποτελούν μάλλον δεδομένα (data) και όχι γνώση.

- *Κατανοητή έκφραση της γνώσης.* Σε πολλές εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης, το κύριο μέρος της γνώσης εισάγεται άμεσα από τους εμπειρογνώμονες. Η γνώση θα πρέπει να μπορεί να εκφραστεί με κατανοητό τρόπο.
- *Τροποποίηση της γνώσης.* Η γνώση που εμπεριέχεται σε ένα σύστημα πρέπει να τροποποιείται εύκολα. Η τροποποίηση της γνώσης μπορεί να αφορά είτε τη διόρθωση λαθών, είτε την έκφραση αλλαγών που συμβαίνουν στον πραγματικό κόσμο ή στο μοντέλο του πραγματικού κόσμου που εφαρμόζεται.
- *Πολλαπλή εφαρμογή της γνώσης.* Η γνώση ενός συστήματος θα είναι ικανή να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο αριθμό προβλημάτων ακόμα και αν δεν είναι απόλυτα ακριβής ή ολοκληρωμένη για κάθε περίπτωση.
- *Ευέλικτη γνώση.* Για αντιστάθμιση του μεγάλου όγκου της, η γνώση πρέπει να ανακτάται εύκολα και να συμβάλλει ακόμα και η ίδια σε αυτή την κατεύθυνση.

Μολονότι οι μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης πρέπει να τηρούν τις προηγούμενες συνθήκες, υπάρχει κάποιος βαθμός ανεξαρτησίας μεταξύ των προβλημάτων και των τεχνικών που τα επιλύουν. Είναι δυνατό, για παράδειγμα, να επιλυθούν ορισμένα προβλήματα τεχνητής νοημοσύνης, χωρίς την εφαρμογή μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης (μολονότι λύσεις που δίνονται σε αυτή την περίπτωση παρουσιάζουν αδυναμίες). Όπως επίσης, μπορούν να εφαρμοστούν μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης για επίλυση προβλημάτων που δεν ανήκουν στην κατηγορία των προβλημάτων της τεχνητής νοημοσύνης, όμως μοιράζονται ορισμένα χαρακτηριστικά.

2.5. Μηχανή συναγωγής

Η *μηχανή συναγωγής (inference engine)* είναι σημαντικός συντελεστής για τη λειτουργία του έμπειρου συστήματος. Στη μονάδα αυτή εκτελούνται οι συλλογισμοί και ερευνάται η βέλτιστη λύση μεταξύ αριθμού πιθανών επιλογών. Οι βασικότεροι μηχανισμοί εξαγωγής συμπερασμάτων που χρησιμοποιούνται είναι:

- η *επαγωγή (deduction)*, σχηματικά απεικονίζεται ως $(P ; P \rightarrow R) \Rightarrow R$. Η έκφραση αυτή σημαίνει ότι, όταν το στοιχειώδες γεγονός P είναι αληθές και ο κανόνας $P \rightarrow R$ είναι αληθής, το στοιχειώδες γεγονός R είναι επίσης αληθές.

- η *απαγωγή (abduction)*, σχηματικά απεικονίζεται ως $(R ; P \rightarrow R) \Rightarrow P$. Όταν το γεγονός R είναι αληθές και ο κανόνας $P \rightarrow R$ είναι αληθής, το γεγονός P είναι αληθές.
- η *συναγωγή (induction)*, σχηματικά απεικονίζεται ως $(P ; R) \Rightarrow (P \rightarrow R)$. Όταν τα γεγονότα P και R είναι σύγχρονα αληθή, υπάρχει ένας ο κανόνας που τα συνδέει, δηλαδή ο κανόνας $P \rightarrow R$ είναι αληθής.
- η *μετάβαση (transitivity)*, σχηματικά απεικονίζεται ως $(P \rightarrow Q ; Q \rightarrow R) \Rightarrow (P \rightarrow R)$. Όταν υπάρχουν δύο κανόνες, όπου ο πρώτος υποδηλώνει το Q , ενώ ο δεύτερος έχει σαν εισαγωγή το Q , τότε ένας νέος κανόνας μπορεί να σχεδιαστεί που θα έχει σαν εισαγωγή την εισαγωγή του πρώτου κανόνα και θα υποδηλώνει ότι υποδηλώνει ο δεύτερος κανόνας, δηλαδή $P \rightarrow R$.

Οι συνηθισμένοι τρόποι για την εκτέλεση συλλογισμών με τη βάση γνώσης, οι οποίοι βασίζονται στους τέσσερις μηχανισμούς που έχουν ήδη αναφερθεί, είναι (Σελλής, 1992):

- *Με χρήση αλυσίδων προς τα εμπρός (forward chaining)*. Με αυτό τον τρόπο δοθείσης μίας αρχικής κατάστασης και ενός στόχου, το σύστημα βρίσκει μία ακολουθία κανόνων που αν εφαρμοστούν στην αρχική κατάσταση θα οδηγήσουν στο στόχο. Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται κυρίως μηχανισμοί επαγωγής και σχηματίζονται αλυσίδες με την εφαρμογή μηχανισμών μετάβασης (Σχ. 2).
- *Με χρήση αλυσίδων προς τα πίσω (backward chaining)*. Αυτή είναι η αντίστροφη μέθοδος από την προηγούμενη. Σ' αυτή το σύστημα προσπαθεί να αποδείξει το στόχο πραγματοποιώντας ανάλυση. Χρησιμοποιούνται κυρίως μηχανισμοί απαγωγής και σχηματίζονται αλυσίδες επίσης με την εφαρμογή μηχανισμών μετάβασης (Σχ. 2).
- *Με χρήση αλυσίδων δύο κατευθύνσεων (bidirectional chaining)*. Αυτός είναι ένας συνδυασμός των παραπάνω, όπου η εκτέλεση συλλογισμών μπορεί να γίνει και προς τις δύο κατευθύνσεις επιτυγχάνοντας ταχύτερη επεξεργασία.

Στο Σχ. 2 τα γεγονότα της αρχικής κατάστασης είναι τα A, B, C, D, E και τα γεγονότα του στόχου τα X, Y . Οι κανόνες, οι οποίοι εκφράζονται με χρήση των συνθηκών του Boole με τις πράξεις AND και OR, είναι:

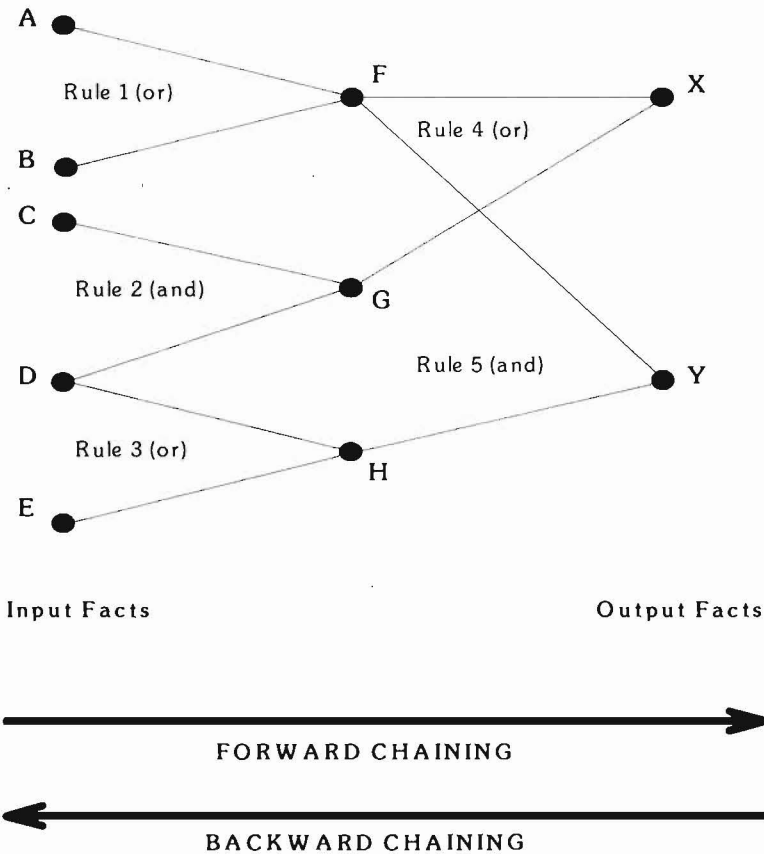
Rule 1 : $A \text{ or } B \rightarrow F$

Rule 2 : $C \text{ and } D \rightarrow G$

Rule 3 : $D \text{ or } E \rightarrow H$

Rule 4 : $F \text{ or } G \rightarrow X$

Rule 5 : $F \text{ and } H \rightarrow Y$



Σχ. 2. Σύνδεση γεγονότων με κανόνες (Laurini and Thompson, 1992).

3. Μεθοδολογία εμπλουτισμού των έμπειρων συστημάτων

Τα έμπειρα συστήματα έχουν δυναμικό σχήμα, όσον αφορά τη βάση γνώσεων που χρησιμοποιούν. Η αρχιτεκτονική τους επιτρέπει τη συνεχή ενημέρωση και διεύρυνση της βάσης γνώσεων. Ο μηχανικός που σχεδιάζει το έμπειρο σύστημα χαρακτηρίζεται ως *μηχανικός γνώσης (knowledge engineer)*. Ο μηχανικός γνώσης εκφράζει τις εξειδικευμένες γνώσεις του εμπειρογνώμονα σε ένα σύνολο κανόνων, οι οποίοι στη συνέχεια εισάγονται στο έμπειρο σύστημα. Η άντληση της γνώσης μπορεί να γίνει είτε άμεσα με τη μορφή συνέντευξης του εμπειρογνώμονα από το μηχανικό γνώσης, ή έμμεσα με τη συμπλήρωση ερωτηματολογίου, είτε με την εφαρμογή αυτοματοποιημένου συστήματος εξαγωγής γνώσης μέσα από ένα έμπειρο περιβάλλον επικοινωνίας.

Για την εξαγωγή της γνώσης συχνά εφαρμόζεται η μέθοδος της συνέντευξης. Στη συνέντευξη που πραγματοποιείται αναπτύσσονται σημαντικές και πολύπλοκες πτυχές του προβλήματος και καταγράφονται οι σχετικές προτάσεις και τα σχόλια του εμπειρογνώμονα. Οι προτάσεις αυτές στη συνέχεια μεταφράζονται σε κανόνες στη βάση γνώσεων. Ο μηχανικός γνώσεων πρέπει να χαρακτηρίζεται από υπομονή και επιμονή, όπως επίσης να έχει υπόβαθρο γνώσεων σχετικό με το πρόβλημα, ώστε να μπορεί να επικοινωνεί αποτελεσματικά με τον εμπειρογνώμονα. Η μέθοδος της συνέντευξης είναι χρονοβόρα και επίπονη διαδικασία.

Ενώ πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα εξαγωγής γνώσης δεν έχει ακόμα υλοποιηθεί, υπάρχει ένας αριθμός προγράμμάτων που μπορούν να εφαρμοστούν αποτελεσματικά για το σκοπό αυτό. Τα προγράμματα αλληλεπιδρούν με το χρήστη-εμπειρογνώμονα για την άντληση της γνώσης του και αναλαμβάνουν τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Εισαγωγή της γνώσης.
- Διατήρηση της συνέπειας (consistency) στη βάση γνώσεων.
- Εξασφάλιση της πληρότητας (completeness) στη βάση γνώσεων.

Τα πιο αποτελεσματικά προγράμματα αυτής της κατηγορίας περιορίζονται σε ένα συγκεκριμένο πρόβλημα, όπως π.χ. είναι η διάγνωση. Είναι σημαντικό το σύστημα να αναλύει τους ρόλους που μπορεί να έχει η γνώση στη διαδικασία επίλυσης. Για παράδειγμα, αν το σύστημα έχει σχεδιαστεί για προβλήματα διάγνωσης, το πρόγραμμα θα δομεί τη βάση γνώσεων σε συμπτώματα, υποθέσεις και αίτια συμπτωμάτων. Τότε το πρόγραμμα θα μπορεί να προσδιορίζει τα συμπτώματα, στα οποία ο εμπειρογνώμονας δεν έχει προσδιορίσει ακόμα τα αίτια. Επίσης αν κάποιο σύμπτωμα αντιστοιχεί σε περισσότερα από ένα αίτια, το πρόγραμμα θα μπορεί να ερωτήσει τον εμπειρογνώμονα για το πιο αίτιο είναι περισσότερο πιθανό από τα άλλα.

Η διαδικασία εξαγωγής γνώσης παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα, ανεξάρτητα από τη μέθοδο που εφαρμόζεται για την άντλησή της. Οι εμπειρογνώμονες, οι οποίοι αποτελούν την κύρια πηγή άντλησης γνώσης, συχνά αντιμετωπίζουν δυσκολία έκφρασης με σαφήνεια των κανόνων που εφαρμόζουν. Επίσης συχνά παραλείπουν λεπτομέρειες χαμηλού επιπέδου που αφορούν τη μεθοδολογία που εφαρμόζουν και κυρίως αδυνατούν να παρέχουν πληροφορίες που αφορούν στατιστικά στοιχεία. Για αντιστάθμιση των προβλημάτων αυτών, μεγάλο ενδιαφέρον έχει δημιουργηθεί για τη σχεδίαση συστημάτων, τα οποία αυτόματα θα μπορούν να εξάγουν τη γνώση (κανόνες).

Τα συστήματα αυτόματης εξαγωγής γνώσης θα επισκοπούν τις καταστάσεις που αντιμετωπίστηκαν από τους ειδικούς, καθώς και τις λύσεις που

προτάθηκαν. Εφαρμόζοντας μια τέτοια τεχνική ο εμπειρογνώμονας θα προσφέρει μόνο το γενικό εννοιολογικό πλαίσιο για την επίλυση ενός προβλήματος, όπως επίσης και ένα σύνολο αντιπροσωπευτικών παραδειγμάτων.

Σε ένα τέτοιο πλαίσιο ας εξεταστεί ο σχεδιασμός ενός έμπειρου συστήματος που θα επιλύει το πρόβλημα της χωροθέτησης κέντρων παροχής υπηρεσιών. Η κλασική μέθοδος θα υπαγόρευε για την εξέταση ειδικών με την μορφή συνέντευξης σχετικά με το συγκεκριμένο πρόβλημα. Η εναλλακτική μέθοδος θα ήταν η επισκόπηση των λύσεων που ήδη έχουν δοθεί σε παρόμοια προβλήματα χωροθέτησης και η προσπάθεια αυτόματης εξαγωγής κανόνων.

Στατιστικές τεχνικές, που αφορούν ανάλυση πολυωνύμων, προσφέρουν εναλλακτικές δυνατότητες για την κατασκευή έμπειρων συστημάτων. Όμως οι μέθοδοι αυτές δεν παράγουν περιεκτικούς κανόνες αντιληπτούς από τους χρήστες. Η εξαγωγή συμπερασμάτων μέσα από τέτοιες τεχνικές είναι πολύ δύσκολο να ελεγχθεί και να επεξηγηθεί.

4. Έμπειρα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών

Οι Robinson και Frank (1987) προσδιόρισαν τέσσερις βασικές περιοχές εφαρμογής των έμπειρων συστημάτων στα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών:

- Παραγωγή αποδεκτών χαρτογραφικών προϊόντων.
- Εξαγωγή οντοτήτων και ιδιοτήτων.
- Διαχείριση χωρικών βάσεων δεδομένων.
- Λήψη αποφάσεων σε γεωγραφικές εφαρμογές.

4.1. Έμπειρα συστήματα για την παραγωγή χαρτογραφικών προϊόντων

Η παραγωγή χαρτογραφικών προϊόντων πραγματοποιείται συχνά μέσα από το περιβάλλον ΣΓΠ. Επίσης προϊόντα της γεωγραφικής ανάλυσης απεικονίζονται στις περισσότερες εφαρμογές γραφικά με τη μορφή χαρτών. Όμως η παραγωγή προϊόντων που πληρούν χαρτογραφικές προδιαγραφές ποιότητας είναι χρονοβόρα και δαπανηρή διαδικασία και απαιτεί τη συμβολή ενός εμπειρογνώμονα χαρτογράφου. Η εφαρμογή των έμπειρων συστημάτων προς αυτή τη κατεύθυνση έγινε με στόχο να προσομοιάσουν, κατά το δυνατό, την εμπειρία του χαρτογράφου.

Τα έμπειρα συστήματα που μελετώνται για την υποστήριξη της χαρτογραφικής παραγωγής, εστιάζουν κυρίως στις ακόλουθες περιοχές:

- τη χαρτογραφική απόδοση και συμβολισμό
- τη χαρτογραφική γενίκευση
- την απόδοση ονοματολογίας.

Επίσης έχουν αναπτυχθεί έμπειρα συστήματα που αντιμετωπίζουν επιμέρους προβλήματα, όπως είναι:

- η σχεδίαση πλαισίων χαρτών
- ο προσδιορισμός και η τοποθέτηση ένθετων χαρτών
- η επιλογή κατάλληλης χαρτογραφικής προβολής.

Το *CES* είναι χαρτογραφικό έμπειρο σύστημα το οποίο σχεδιάστηκε αρχικά για την υπηρεσία Ενέργειας και Φυσικών Πόρων του Καναδά (Muller, Johnson, Vanzella, 1986). Το σύστημα αυτό εξαγει προδιαγραφές για την απόδοση θεματικών πληροφοριών. Κύρια έμφαση για την ανάπτυξη του συστήματος δόθηκε στη σχεδίαση ενός μοντέλου για την αναπαράσταση της χαρτογραφικής γνώσης. Το μοντέλο αποτελείται από δύο επίπεδα ιεραρχίας της γνώσης. Το ένα αφορά την είσοδο ή τις ανάγκες του χάρτη και το άλλο την έξοδο ή τις προδιαγραφές του χάρτη. Υπάρχουν εννέα κατηγορίες εισόδου, οι οποίες αποτελούνται από 40 στοιχεία και 55 στοιχεία εξόδου τα οποία κατηγοριοποιούνται σε δέκα κατηγορίες.

Το *MAPEX* είναι έμπειρο σύστημα το οποίο έχει σχεδιαστεί για την εκτέλεση αυτόματης χαρτογραφικής γενίκευσης (Nickerson and Freeman, 1986). Το σύστημα έχει χρησιμοποιηθεί στη *Γεωλογική Υπηρεσία των Η.Π.Α (U.S. Geological Survey - U.S.G.S.)* για την γενίκευση των γραμμικών χαρτογραφικών στοιχείων κλίμακας από 1:24.000 σε κλίμακα 1:250.000. Το σύστημα *MAPEX* χρησιμοποιεί κανόνες και ευριστικές τεχνικές για την εκτέλεση της γενίκευσης.

Ένα άλλο παράδειγμα έμπειρου συστήματος που επιλύει χαρτογραφικά προβλήματα είναι το *AUTONAP* (Freeman and Ahn, 1984). Το πρόγραμμα αυτό έχει σχεδιαστεί για την απόδοση ονομάτων σε χάρτες με αναφορά σημειακές, γραμμικές και επιφανειακές οντότητες. Το πρόβλημα της απόδοσης ονοματολογίας είναι πολύπλοκο και αφορά θέματα της οπτικής αντίληψης και αισθητικής. Το σύστημα *AUTONAP* χρησιμοποιεί περίπου 30 κανόνες οι οποίοι κύρια εκφράζουν ευριστικές τεχνικές. Στο χάρτη τοποθετούνται πρώτα τα ονόματα με επιφανειακή αναφορά, στη συνέχεια τα ονόματα με γραμμική και τέλος τα ονόματα με σημειακή αναφορά. Υπάρχει δηλαδή μία πρόοδος από τις δυσκολότερες περιπτώσεις στις ευκολότερες. Το σύστημα *AUTONAP* χαρακτηρίζεται ως το καλύτερο στο είδος του.

Ένα σημαντικό πρόβλημα, που αντιμετωπίζει η εφαρμογή των έμπειρων συστημάτων στη χαρτογραφία, πηγάζει από το γεγονός, ότι η χαρ-

τογραφική γνώση είναι πολύ δύσκολο να εκφραστεί με κανόνες. Υπάρχει επίσης, ένας αριθμός χαρτογραφικών προβλημάτων (π.χ. η χαρτογραφική γενίκευση) τα οποία δεν διέπονται από αντικειμενικούς κανόνες. Η μετάδοση της γνώσης στη χαρτογραφία συνήθως πραγματοποιείται με παράθεση παραδειγμάτων και συνοπτικές οδηγίες.

4.2. Έμπειρα συστήματα για την εξαγωγή οντοτήτων και ιδιοτήτων

Η αυτόματη αναγνώριση οντοτήτων και ιδιοτήτων από γεωγραφικά δεδομένα είναι βασική λειτουργία των ΣΓΠ. Για παράδειγμα, έχοντας ένα αρχείο σημείων που περιγράφουν το ανάγλυφο μιας περιοχής, το ΣΓΠ μπορεί να εφαρμοστεί για τον προσδιορισμό οντοτήτων της επιφάνειας, οι οποίες έχουν σημασία για την επίλυση ενός προβλήματος. Το ίδιο σύνολο δεδομένων μπορεί να εφαρμοστεί για την εξαγωγή διάφορων οντοτήτων. Όμως για κάθε περίπτωση υπάρχει η ανάγκη ενός εμπειρογνώμονα.

Ο *Palmer (1984)* περιέγραψε την εξαγωγή επιφανειακών οντοτήτων με χρήση λογικού προγραμματισμού. Με εφαρμογή δικτύου τριγώνων, περιέγραψε πως κοιλάδες, ρέματα και κορυφογραμμές θα μπορούσαν αυτόματα να αναγνωριστούν.

Το *Forestry Expert System (FES)* πραγματοποιεί ανάλυση εικόνων Landsat, διαφορετικών χρονικών περιόδων, για την κατηγοριοποίηση της δασοκάλυψης και τον εντοπισμό αλλαγών. Το σύστημα χρησιμοποιεί χρονική βάση δεδομένων εικόνων Landsat και συνάγει τη φύση των αλλαγών στη δασοκάλυψη, όπως επίσης ορίζει και ένα μέτρο αξιοπιστίας των συμπερασμάτων του.

4.3. Έμπειρα συστήματα για τη διαχείριση χωρικών βάσεων δεδομένων

Τα έμπειρα συστήματα και οι βάσεις δεδομένων έχουν ένα κοινό γνώρισμα: την επεξεργασία στοιχειωδών δεδομένων και γενικών κανόνων, προκειμένου να πετύχουν τους στόχους τους. Τα έμπειρα συστήματα και τα συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων κατασκευάστηκαν για την εξυπηρέτηση διαφορετικών σκοπών, με αποτέλεσμα το καθένα να έχει ορισμένα πλεονεκτήματα έναντι του άλλου. Τα έμπειρα συστήματα διαθέτουν ισχυρούς μηχανισμούς επεξεργασίας λογικών προτάσεων και μειονεκτούν στην προσπέλαση στοιχειωδών γεγονότων. Ενώ αντίθετα τα συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων διαθέτουν ισχυρούς μηχανισμούς προσπέλασης και δεν διαθέτουν, γενικά, μηχανισμούς

επεξεργασίας λογικών προτάσεων. Το γεγονός ότι τα μειονεκτήματα των έμπειρων συστημάτων και των συστημάτων διαχείρισης βάσεων δεδομένων αλληλοαναιρούνται, οδήγησε στην ιδέα της ενοποίησης των δύο συστημάτων σε ένα.

Η εισαγωγή των έμπειρων συστημάτων στα ΣΓΠ απέφερε στην ανάπτυξη αποδοτικότερων λειτουργιών διαχείρισης και ανάκτησης δεδομένων. Για παράδειγμα το *σύστημα KBGIS II*, το οποίο αναπτύχθηκε από τους Smith και Peuquet (1987), έχει βελτιωμένες λειτουργίες αναζήτησης σε χωρικές βάσεις δεδομένων μεγάλης κλίμακας, οι οποίες είναι οργανωμένες σε πολλαπλά επίπεδα. Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή βάσης γνώσεων χωρικών στοιχείων και την απεικόνιση των δεδομένων σε μορφή τετραδικών δένδρων (quad-tree), η οποία είναι αποδοτική μέθοδος οργάνωσης δεδομένων. Με την εφαρμογή των μεθόδων αυτών στρατηγικής αναζήτησης, οι υπολογισμοί μειώνονται στο ελάχιστο. Το σύστημα περιλαμβάνει επίσης ένα υποσύστημα εκμάθησης το οποίο αναπτύσσει μετα-κανόνες, ή διαφορετικά γνώση που αφορά τη γνώση. Το υποσύστημα αυτό έχει επίσης τη δυνατότητα να προσδιορίζει νέες χωρικές σχέσεις με εισαγωγή παραδειγμάτων.

4.4. Έμπειρα συστήματα για τη λήψη αποφάσεων σε γεωγραφικές εφαρμογές

Οι τεχνικές έμπειρων συστημάτων έχουν ενσωματωθεί σε μεγάλο αριθμό σύγχρονων ΣΓΠ με σκοπό την υποστήριξη λήψης αποφάσεων σε χωρικά προβλήματα. Ειδικότερα οι τεχνικές αυτές είναι προσανατολισμένες στην επίλυση προβλημάτων χωροθετήσεων και σχεδιασμού. Για την ανάπτυξη έμπειρων συστημάτων που να υποστηρίζουν τη λήψη αποφάσεων στο γεωγραφικό χώρο, πρέπει να προηγηθεί η διατύπωση της θεωρίας και της πρακτικής, που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό. Το έμπειρο σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών, που έχει εμπλουτιστεί με γνώση εμπειρογνώμωνων, μπορεί να συνάγει συνεπείς και ανεπηρέαστες αποφάσεις.

Το *GEODEX* είναι έμπειρο σύστημα σχεδιασμένο, για να υποστηρίζει ειδικούς στην αξιολόγηση της καταλληλότητας περιοχών για χρήσεις γης. Οι κανόνες που εφαρμόζει έχουν αντληθεί από εμπειρογνώμονες στο σχεδιασμό χρήσεων γης. Το *GEODEX* εκτελεί συλλογισμούς με χρήση αλυσίδων προς τα εμπρός και εφαρμόζει χωρικούς περιορισμούς που εξάγει από τη βάση γνώσεων. Σε περιπτώσεις όπου οι περιορισμοί είναι αυστηροί με αποτέλεσμα καμία περιοχή να μην τους πληρεί, το πρόγραμμα προσφέρει τη δυνατότητα αναθεώρησης των περιορισμών.

Το *AVL 2000* είναι σύστημα εντοπισμού θέσης και αυτόματης οδήγησης οχήματος (Karimi et al., 1987). Χρησιμοποιεί επεξεργαστή 68000, οθόνη υψηλής ανάλυσης και δεδομένα GPS πραγματικού χρόνου. Η βάση δεδομένων του συστήματος περιλαμβάνει το οδικό δίκτυο. Το *AVL 2000* υπολογίζει τη βέλτιστη διαδρομή και απεικονίζει πάνω στο ψηφιακό χάρτη τη θέση του οχήματος. Στο δυναμικό χάρτη εμφανίζονται οδηγίες σε μορφή κειμένου.

Το *URBSYS* (Tanic, 1986) είναι σύστημα σχεδιασμένο για πολεοδομικό σχεδιασμό και ανάλυση. Τα προβλήματα που αντιμετωπίζονται από τους πολεοδόμους περιγράφονται σαν σύνθετο σύστημα από στοιχεία που πρέπει να αναλύονται σύμφωνα με τους αντικειμενικούς στόχους του σχεδιασμού. Το *URBSYS* χρησιμοποιεί βάση γνώσεων εμπλουτισμένη με στατιστικούς δείκτες και μετρήσεις, που εφαρμόζονται στη διαδικασία πολεοδομικού σχεδιασμού.

Τέλος πρέπει να αναφερθεί η δυναμική που δημιουργείται από την ενσωμάτωση τεχνικών που βασίζονται στη θεωρία της *ασαφούς λογικής (fuzzy logic)* στα συστήματα που υποστηρίζουν τη λήψη αποφάσεων. Η θεωρία της ασαφούς λογικής αναπτύχθηκε, για να εκφράσει κατ' εξοχήν ασαφείς ποσοτικές έννοιες με μαθηματικά μοντέλα. Επειδή οι εφαρμογές των ΣΓΠ συχνά εμπεριέχουν μη ακριβείς έννοιες, η θεωρία της ασαφούς λογικής βελτιώνει σημαντικά τη μοντελοποίηση των ποσοτικών δεδομένων.

5. Συμπεράσματα

Τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών αντιμετωπίζουν σήμερα έναν αριθμό προβλημάτων, των οποίων λύση μπορεί να δοθεί μέσα από την εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης. Η ενσωμάτωση τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης στα ΣΓΠ, πέρα από την επίλυση κάποιων συγκεκριμένων προβλημάτων, μπορεί να δημιουργήσει τη δυναμική ανάπτυξης των ΣΓΠ επόμενης γενιάς.

Βιβλιογραφία

- Egenhofer, M.J., Frank, A.U. (1990). *Lobster: Combining AI and Database Techniques for G.I.S., Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, No. 6, pp. 919-926.
- Fischer, M.M. (1994). *Expert Systems and Artificial Neural Networks for Spatial Analysis and Modelling, Geographical Systems*, Vol. 1, pp. 221-235.

- Forrest, D. (1993). Expert Systems and Cartographic Design, *The Cartographic Journal*, Vol. 30, No. 2, pp. 143-147.
- Freeman, H., Ahn, J., 1984. AUTONAP - An Expert System for Automatic Map Name Placement, *Proceedings 1st International Symposium on Spatial Data Handling*, pp. 554-571.
- Hayes-Roth, F., Jacobstein, N. (1994). The State of Knowledge-Based Systems, *Communications of the ACM*, Vol. 37, No. 3, pp. 27-39.
- Karimi, H.A., Krakiwsky, E.J., Harris, C., Craig, G., Goss, R. (1987). A Relational Database Model for an AVL System and an Expert System for Optimal Route Selection, *Proceedings Autocarto 8*, pp. 584-593.
- Laurini, R., Thompson, D. (1992). *Fundamentals of Spatial Information Systems*, Academic Press, pp. 639-670.
- Müller, J.C., Johnson, R.D., Vanzella, L.R. (1986). A Knowledge-Based Approach for Developing Cartographic Expertise, *Proceedings 2nd International Symposium on Spatial Data Handling*, pp. 557-571.
- Nickerson, B.G., Freeman, H. (1986). Development of a Rule-Based System for Automatic Map Generalisation, *Proceedings 2nd International Symposium on Spatial Data Handling*, pp. 537-556.
- Palmer, B. (1984). Symbolic Feature Analysis and Expert Systems, *Proceedings 1st International Symposium on Spatial Data Handling*, pp. 465-478.
- Rich, E., Knight, K. (1991). *Artificial Intelligence*, McGraw-Hill Edition, pp. 547-557.
- Robinson, V.B., Frank, A.U. (1987). Expert Systems for Geographic Information Systems, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 53, No. 10, pp. 1435-1441.
- Σελλής, Τ. (1992). Έμπειρα Συστήματα Βάσεων Δεδομένων, Έκδοση της Ε.Π.Υ., *Ειδικά Θέματα Βάσεων Δεδομένων*, σελ. 105-123.
- Smith, T., Peuquet, D., Menon, S., Agarwal, P. (1987). KBGIS II: A Knowledge-Based Geographical Information System, *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 1, No. 2, pp. 149-172.
- Smith, T.R., Jiang, Y.E. (1991). Knowledge-Based Approaches in G.I.S., in Maguire, D.J., Goodchild, M.F. and Rhind, D.W. (eds.) *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, London: Longmans, pp. 413-425.
- Srinivasan, A., Richards, J.A. (1993). Analysis of G.I.S. Spatial Data Using Knowledge-Based Methods, *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 7, No. 6, pp. 479-500.
- Tanic, E. (1986). Urban Planning and Artificial Intelligence: The URBSYS System, Computers, *Environment and Urban Systems*, Vol. 10, No. 3/4, pp. 135-146.

Βασικές αρχές ανάλυσης στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

Χ. Χαλκιάς

*Τομέας Γεωγραφίας -Κλιματολογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών,
157 84 Αθήνα.*

Περίληψη

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) παρέχουν δυνατότητες ανάλυσης πολλών χωρικών και μη πληροφοριών σε πολλαπλά θεματικά επίπεδα με την εφαρμογή αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

Αφού γίνει μια συνοπτική αναφορά στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και της έννοιας της Τοπολογίας, αναπτύσσονται οι λογικές λειτουργίες σύζευξη, διάζευξη, άρνηση καθώς και οι συνδυασμοί τους, που χρησιμοποιούνται κατά τις αναλυτικές διαδικασίες μέσω των ΓΣΠ.

Τέλος γίνεται μια παρουσίαση εφαρμογών των παραπάνω, με πραγματικά δεδομένα από θεματικά επίπεδα του νομού Λακωνίας, μέσα από παραδείγματα γεωεπιστημονικού προσανατολισμού.

Abstract

This paper describes the analytical capabilities of Geographical Information Systems in spatial data and attributes.

First a few general issues (definitions, types of data, topology, etc) are described, and then the principles of logic (logical operations AND, OR, NOT, XOR) that can be applied by GIS are approached.

Finally, examples of these concepts are presented from data of Lakonia region, southern Greece.

Τι είναι και απο τι αποτελείται ένα ΓΣΠ

Η εποχή μας έχει χαρακτηριστεί –και δίκαια– ως εποχή της πληροφορίας. Ιδιαίτερα την τελευταία 20ετία –με την ανάπτυξη των Η/Υ– οι πληροφορίες άρχισαν να οργανώνονται σε μεγάλες πληροφοριακές βά-

σεις. Για μεγάλο πλήθος ανθρώπινων δραστηριοτήτων και ιδιαίτερα στο σχεδιασμό τα πληροφοριακά αυτά δεδομένα συνδέονται άμεσα με χωρικές πληροφορίες. Επομένως η δημιουργία μιας πληροφορικής βάσης για τον σχεδιασμό, πρέπει αναγκαστικά να περιλαμβάνει όχι μόνο το είδος (περιγραφική πληροφορία), αλλά και τη γεωγραφική θέση της πληροφορίας (χωρική πληροφορία).

Αυτή η διαπίστωση οδήγησε τα τελευταία χρόνια, σε μια έντονη προσπάθεια ανάπτυξης αυτοματοποιημένων τρόπων για την αποτελεσματικότερη αποθήκευση, ανάλυση και παρουσίαση γεωγραφικών στοιχείων, που να ικανοποιούν την ολοένα αυξανόμενη ζήτηση για πληροφορίες χωρικής φύσης. Τις ανάγκες αυτές καλύπτουν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.

Θα μπορούσαμε γενικά να πούμε ότι τα ΓΣΠ επιτυγχάνουν με τη βοήθεια των υπολογιστών την ανάπτυξη και το χειρισμό μιας βάσης δεδομένων στην οποία τα τελευταία είναι γεωγραφικά ή κατά χώρο προσανατολισμένα. Σύμφωνα με μια πιο γενική θεώρηση τα ΓΣΠ είναι *συστήματα εξομοίωσης του πραγματικού χώρου*.

Στην ουσία ένα ΓΣΠ αποτελείται από μια σειρά πληροφοριακών επιπέδων τα οποία αφορούν την ίδια γεωγραφική περιοχή. Το καθένα από αυτά τα επίπεδα – που καλούνται θεματικά επίπεδα – περιλαμβάνει είτε μη επεξεργάσιμα δεδομένα (π.χ. τοπογραφία, δορυφορικά κ.τ.λ.) είτε θεματικές πληροφορίες (π.χ. είδος βλάστησης, τύπος εδαφών, κλίση και έκθεση του αναγλύφου, αποτελέσματα ταξινόμησης δορυφορικών δεδομένων κ.τ.λ.). Όλα όμως τα παραπάνω είναι προσανατολισμένα σ' ένα κοινό γεωγραφικό σύστημα, ώστε να καθίσταται δυνατός ο συνδιασμός ορισμένων από αυτά ανάλογα με τις επιθυμίες του χρήστη. Σημειώνεται στην εργασία αυτή οι αναφορές γίνονται για διανυσματικό δυσδιάστατο ΓΣΠ. Θα πρέπει να γίνει κατανοητό ότι όλα τα δεδομένα καθώς και οι πληροφορίες είναι σε ψηφιακή μορφή και η επεξεργασία τους γίνεται με ειδικά προγράμματα, έτσι ώστε να εκμεταλλευόμαστε τις δυνατότητες και τα πλεονεκτήματα που παρέχει η πληροφορική. Τα πλεονεκτήματα αυτά αφορούν κυρίως την ταχύτητα επεξεργασίας, τη δυνατότητα εκτέλεσης πολύπλοκων λειτουργιών, την ευκολία ανάκτησης και αναθεώρησης των δεδομένων, το μέγεθος των αποθηκευτικών δυνατοτήτων κ.λπ.

Ένας άλλος ορισμός που θα μπορούσαμε να δώσουμε για ένα ΓΣΠ είναι ότι αποτελεί μια ειδική περίπτωση πληροφοριακού συστήματος, όπου η πληροφοριακή βάση αποτελείται από παρατηρήσεις για χωρικά κατανεμημένα χαρακτηριστικά, δραστηριότητες ή γεγονότα που καθορίζονται στο χώρο σαν σημεία, γραμμές ή επιφάνειες. Έτσι ένα ΓΣΠ επεξεργάζεται στοιχεία γι' αυτά τα σημεία, γραμμές ή επιφάνειες, δημιουρ-

γώντας τις αναγκαίες πληροφορίες για την απάντηση χωρικών ερωτημάτων και αναλύσεων.

Γενικά για την ύπαρξη ενός ΓΣΠ είναι απαραίτητα τα παρακάτω στοιχεία:

- Το κατάλληλο υπολογιστικό σύστημα (Hardware) και τα περιφερειακά του.
- Το σύνολο προγραμμάτων, λογισμικό (Software) που θα καταστήσει ικανό το υπολογιστικό σύστημα (Hardware) να επεξεργαστεί το σύνολο δεδομένων
- Τα δεδομένα (data) που θα εισαχθούν στο ΓΣΠ.

Από τη στιγμή που είναι διαθέσιμα τα παραπάνω, ο επιστήμονας διαθέτει ένα πολύ ισχυρό εργαλείο περιγραφής και ανάλυσης του χώρου. Κάθε εφαρμογή με τη χρήση των ΓΣΠ ακολουθεί τα παρακάτω στάδια:

Σχεδιασμός μεθοδολογιών και καθορισμός στόχων. Σε αυτό το στάδιο καθορίζονται τα δεδομένα, οι προδιαγραφές τους, οι στόχοι της εφαρμογής, καθώς και η μεθοδολογία προσέγγισης των στόχων αυτών.

Εισαγωγή δεδομένων (input). Περιλαμβάνει διαδικασίες όπως τη ψηφιοποίηση και τη σάρωση χαρτών την εισαγωγή περιγραφικής πληροφορίας κ.λπ.

Επεξεργασία δεδομένων (processing). Περιλαμβάνει τις διαδικασίες τροποποίησης της εισαχθείσας πληροφορίας, τις αναλυτικές διαδικασίες κ.λπ.

Εξαγωγή αποτελεσμάτων (output). Είναι το τελευταίο στάδιο κατά το οποίο έχουμε την παραγωγή των τελικών προϊόντων (χαρτών, πινάκων γραφημάτων ή αναφορών, ψηφιακών προϊόντων κ.λπ.).

Είδη δεδομένων

Όπως αναφέρθηκε, ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) εναποθηκεύει και αναλύει και χαρτογραφικά-χωρικά (spatial) και περιγραφικά (attributes) δεδομένα. Τα χωρικά δεδομένα χαρακτηρίζονται αποκλειστικά από τη θέση τους στο χώρο σε σχέση με κάποιο σύστημα συντεταγμένων, ενώ τα περιγραφικά δεδομένα περιγράφουν τα χαρακτηριστικά ή τις ιδιότητες αυτής χωρικής θέσης. Για παράδειγμα ένα ρήγμα που παριστάνεται σ' ένα χάρτη σα γραμμή είναι ένα χωρικό δεδομένο, ενώ ο χαρακτηρισμός τους ως «ενεργό» ή ως «μη ενεργό» είναι περιγραφική πληροφορία.

Τα *χωρικά δεδομένα (spatial data)* διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: τα σημειακά, τα γραμμικά, και τα επιφανειακά.

Σημειακά δεδομένα: Αυτά αφορούν οντότητες οι οποίες παριστώνται σαν σημεία. Η αναπαράσταση αυτή είναι συνάρτηση της κλίμακας παρατήρησης. Για παράδειγμα ένας οικισμός σ' ένα χάρτη μπορεί να σημειωθεί ως σημείο ή ως πολύγωνο ανάλογα με την κλίμακα. Τα σημειακά δεδομένα ορίζονται με ζευγάρια συντεταγμένων χ, ψ. Άλλα παραδείγματα σημειακών δεδομένων είναι οι θέσεις δειγματοληψίας, τα ακραία σημεία ενός γραμμικού στοιχείου κ.λπ.

Γραμμικά δεδομένα: Τα δεδομένα αυτά αφορούν γραμμικές οντότητες όπως δρόμους, χειμάρρους και ποταμούς, ρήγματα, διοικητικά όρια κ.λπ. Τα γραμμικά δεδομένα αποτελούνται από μία απλή σειρά σημειακών δεδομένων τα οποία έχουν διαφορετική αρχή και τέλος. Τα γραμμικά δεδομένα έχουν καταγεγραμμένη σαν εσωτερική πληροφορία το μήκος τους.

Πολυγωνικά δεδομένα: Είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά καταλαμβάνουν μια περιοχή η οποία περικλείεται και ορίζεται από γραμμικά δεδομένα. Σ' ένα πολυγωνικό θεματικό επίπεδο το κάθε πολύγωνο θεωρείται σαν ανεξάρτητη οντότητα. Έχει ιδιαίτερη σημασία να κατανοηθεί ότι αν ένα πολυγωνικό θεματικό επίπεδο θεωρηθεί σαν ένα σύνολο, τα στοιχεία αυτού του συνόλου είναι οι οντότητες «πολύγωνα». Τα επιφανειακά δεδομένα έχουν περίμετρο και έκταση. Η περίμετρος είναι το άθροισμα των μηκών των γραμμικών στοιχείων που περιγράφουν ένα πολυγωνικό, ενώ έκταση του πολυγώνου είναι το εμβαδό της κλειστής πολυγωνικής επιφάνειας που περιγράφουν οι γραμμικές αυτές οντότητες. Μια επιφάνεια μπορεί να αποδοθεί ακόμα και ως σημείο σε μικρής κλίμακας χάρτες.

Τα μη χωρικά ή περιγραφικά δεδομένα (attributes) μπορεί να είναι ποιοτικά ή ποσοτικά. Είναι οι ιδιότητες των χωρικών δεδομένων οι οποίες πρέπει να διαχειριστούν σ' ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών, αλλά δεν είναι χωρικές οι ίδιες κατά το είδος τους. Η εισαγωγή όλων αυτών των δεδομένων επιτυγχάνεται με τη βοήθεια αριθμών, λέξεων, κωδικών συμβόλων, χρωμάτων κ.λπ. Για παράδειγμα μια πολυγωνική οντότητα η οποία παριστά την εμφάνιση ενός γεωλογικού σχηματισμού διακρίνεται στο τμήμα της χωρικής πληροφορίας ενός ΓΣΠ με τη χρήση χρώματος, διαγράμμισης ή συμβόλου. Όταν ο χρήστης επιθυμεί να καταγράψει δεδομένα σχετικά με το πάχος του σχηματισμού, την ηλικία του, την εσωτερική του δομή, τη σύστασή του κ.λπ., είναι προφανές ότι πρέπει να συσχετίσει όλη αυτή την περιγραφική πληροφορία με τη συγκεκριμένη χωρική οντότητα. Ο συσχετισμός αυτός γίνεται με τη βοήθεια κωδικών. Έτσι δομείται βάση δεδομένων όπου για κάθε μια χωρική οντότητα έχουμε πλήθος περιγραφών. Σημειώνεται ότι οι περιγραφές αυτές μπορεί να είναι απλοί κωδικοί σύμβολα κ.λπ., αλλά ακόμα και λίστες ή αναφορές.

Τοπολογία

Είναι γνωστό πως ένας συμβατικός αναλογικός χάρτης είναι μια δυσδιάστατη απεικόνιση πολλών πληροφοριών για κάποιο συγκεκριμένο χώρο αναφοράς.

Ένας απλός «ηλεκτρονικός» χάρτης εκτός από τα παραπάνω μπορεί να παρέχει κάποιες επιπλέον δυνατότητες (όπως γραφικών απεικονίσεων, πολλαπλών αντιγράφων κ.λπ.).

Σε αυτό το επίπεδο οι χάρτες αποτελούν μια προσομοίωση του πραγματικού χώρου αλλά σε πολύ απλή μορφή, που περιορίζεται στη χαρτογραφική απόδοση μέσα από κάποιες συμβάσεις. Για να γίνει πιο πιστή η προσομοίωση των πραγματικών συνθηκών, είναι αναγκαία η δόμηση της *τοπολογίας* με την οποία επιτυγχάνεται μια αποκατάσταση χωρικών σχέσεων ανάμεσα στα γεωμετρικά στοιχεία του κάθε θεματικού επιπέδου, αλλά και στις περιγραφικές τους ιδιότητες. Έτσι μετά τη δόμηση της τοπολογίας ο χάρτης παύει να είναι ένα άναρχο σύνολο γραμμών και επιφανειών, αλλά αποτελείται από διακριτές και συσχετισμένες δομικές οντότητες (πολύγωνα, γραμμές) οι οποίες περιέχουν σαφώς καθορισμένες χωρικές και περιγραφικές ιδιότητες.

Η Τοπολογία είναι το μέρος εκείνο της Γεωμετρίας, το οποίο ασχολείται με ιδιότητες των γεωμετρικών σχημάτων οι οποίες διατηρούνται αναλλοίωτες κατά τις τοπολογικές απεικονίσεις. Σαν σχήμα εννοούμε ένα σημειοσύνολο ή αλλιώς μια συνάθροιση, σαφώς διακριτών οντοτήτων (είται πραγματικών, είτε νοητικών). Η κατάστρωση της Τοπολογίας σ' ένα ψηφιακό χάρτη είναι μια μαθηματική διαδικασία η οποία σκοπό έχει τη λεπτομερή καταγραφή των χωρικών σχέσεων των δομικών του οντοτήτων.

Η Τοπολογία συνεισφέρει στη οργανωμένη και γρήγορη διαχείριση της πληροφορίας, αλλά το σπουδαιότερο είναι ότι επιτρέπει λειτουργίες ανάλυσης και μοντελοποίησης της γεωγραφικής πληροφορίας.

Γενικά λέγοντας ότι ένα θεματικό επίπεδο περιέχει. Τοπολογία θεωρούμε ότι ισχύουν οι παρακάτω θεμελιώδεις αρχές:

- Συνέχεια των τόξων. Επιτυγχάνεται με την ταξινόμηση των τόξων και των κόμβων τους σε σειρές ζευγών χ , ψ , με την αρίθμηση τους, καθώς και με την καταγραφή πληροφορίας κατεύθυνσης από-προς.
- Ύπαρξη πληροφορίας προσδιορισμού επιφανειών. Η επιφάνεια ορίζεται σα σειρά τόξων που περιγράφουν κοινό πολύγωνο.
- Ύπαρξη πληροφορίας γειτνίασης πολυγώνων. Καθορίζει το δεξί και το αριστερό πολύγωνο του κάθε τόξου.

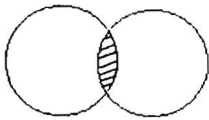
Γεωγραφική ανάλυση

Ο πραγματικός χώρος αποτελείται από πληθώρα πληροφοριών. Η τάση του ανθρώπου για ανάλυση του φυσικού του περιβάλλοντος καθώς και η αφαιρετική του ικανότητα τον οδήγησαν στο να επιμερίσει την πληροφορία αυτή. Ο βασικός τρόπος απεικόνισης του φυσικού χώρου είναι ο χάρτης. Σε κάθε χάρτη αναπαριστώνται ένα ή περισσότερα χαρακτηριστικά της περιοχής αναφοράς του. Εύλογο είναι ότι η αναπαράσταση αυτή περιέχει κάποιες παραδοχές και απλουστεύσεις.

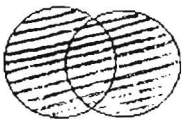
Με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών οι αναπαραστάσεις αυτές γίνονται πιο ρεαλιστικές λόγω της σύνδεσης χωρικής-περιγραφικής πληροφορίας, των δυνατοτήτων αναθεώρησης, των προσεγγίσεων δυναμικών φαινομένων κ.λπ. Τα ΓΣΠ επίσης υποστηρίζουν τις διαδικασίες γεωγραφικής ανάλυσης δηλ. την εφαρμογή και ανάπτυξη μοντέλων στο γεωγραφικό χώρο. Η υποστήριξη αυτή καθίσταται δυνατή μέσω συγκεκριμένων λογικών λειτουργιών, η ορθολογική χρήση των οποίων παράγει τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι αναλυτικές αυτές διαδικασίες ακολουθούν τις λογικές πράξεις «AND», «OR», «NOT», «XOR» και συνδυασμούς τους. Έτσι αν A και B είναι σύνολα οντοτήτων,

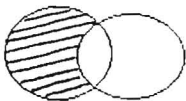
Βασικές σχέσεις Boolean άλγεβρας



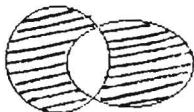
A AND B



A OR B

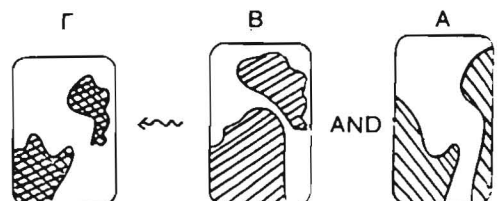
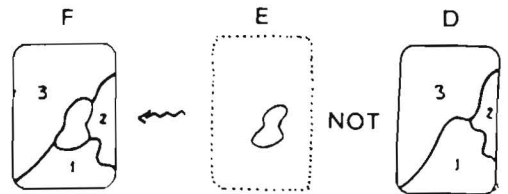
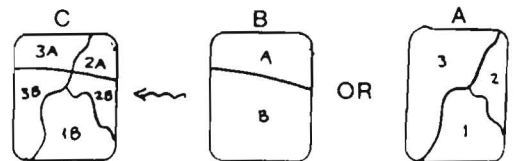


A NOT B

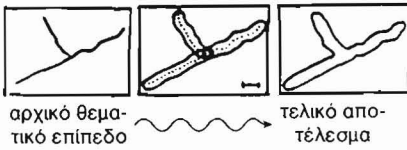


A XOR B

Λογικές πράξεις μεταξύ χαρτών



Δημιουργία ζωνών επιρροής



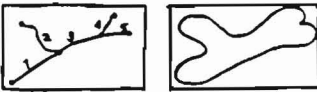
αρχικό θεμα-
τικό επίπεδο

τελικό απο-
τέλεσμα

σημείων



γραμμών

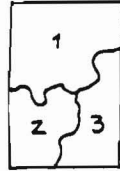


πολυγώνων



Ανάλυση με βάση περιγραφικά δεδομένα

Παράδειγμα:



A/A	ΚΩΔΙΚΟΣ A	ΚΩΔΙΚΟΣ B
1	0	D
2	0	D
3	0	F

ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΩΔΙΚΟΥ A = "0" AND
ΚΩΔΙΚΟΥ B = "F"



- το αποτέλεσμα της λογικής πράξης «A AND B» είναι το νέο σύνολο Γ το οποίο περιέχει τα κοινά στοιχεία των A και B.
- το αποτέλεσμα της λογικής πράξης «A OR B» είναι το νέο σύνολο Δ το οποίο περιέχει όλα τα στοιχεία των A και B.
- το αποτέλεσμα της λογικής πράξης «A NOT B» είναι το νέο σύνολο E το οποίο περιέχει όλα τα στοιχεία του συνόλου A εκτός από εκείνα που περιέχονται και στο B.
- το αποτέλεσμα της λογικής πράξης «A XOR B» είναι το νέο σύνολο Z το οποίο περιέχει όλα τα στοιχεία των A και B εκτός από τα κοινά τους.

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών λειτουργούν καλύτερα σε δεδομένα διακριτών κατηγοριών. Έτσι βασική εργασία του χρήστη είναι να καθορίσει πώς τα πρωτογενή δεδομένα μπορούν να υποστούν μια βέλτιστη κατηγοριοποίηση όταν εισάγονται σε μια βάση δεδομένων.

Μέσα από λογικές πράξεις μεταξύ χαρτών παρέχεται η δυνατότητα στον αναλυτή να συνδυάσει χωρικά τα θεματικά επίπεδα πληροφορίας. Το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή νέων θεματικών επιπέδων με νέες χωρικές σχέσεις και συνδυασμό περιγραφικής πληροφορίας. Οι συσχετισμοί αυτοί βασίζονται σε λογικά και υπολογιστικά κριτήρια.

Παρέχονται οι δυνατότητες για τοπολογικές επιθέσεις θεματικών επιπέδων, καθώς και γιατί η δημιουργία ζωνών επιρροής.

Με τις τοπολογικές επιθέσεις θεματικών επιπέδων παράγονται νέα δεδομένα από το συνδυασμό των επιτιθέμενων. Το εξαγόμενο αποτέλεσμα είναι ένας νέος χάρτης με νέα χωρικά χαρακτηριστικά και τοπολογία. Οι τοπολογικές αυτές επιθέσεις μπορεί να είναι επίθεση πολυγώνων σε πολύγωνα, επίθεση γραμμών σε πολύγωνα ή και επίθεση σημείων σε πολύγωνα.

Η δημιουργία ζώνης επιρροής είναι μια γεωγραφική πράξη με την οποία καθορίζεται η περιοχή που περιβάλλει κάποια γεωγραφική οντότητα. Η οντότητα αυτή μπορεί να είναι πολυγωνική, γραμμική ή και σημειακή.

Ένας άλλος τρόπος γεωγραφικής ανάλυσης, είναι μέσω κριτηρίων που έχουν να κάνουν με την περιγραφική πληροφορία των γεωγραφικών μονάδων του χάρτη. Έτσι είναι δυνατή η επιλογή από ένα θεματικό επίπεδο πληροφοριών που πληρούν κάποια συγκεκριμένα κριτήρια και η δημιουργία νέων θεματικών επιπέδων.

Οι εφαρμογές Γεωγραφικής ανάλυσης μέσω Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορίας ακολουθούν τα παρακάτω βήματα:

- Καθορισμός στόχων και κριτηρίων της ανάλυσης. Αυτός γίνεται με τη συνεργασία επιστημόνων με ειδικές γνώσεις με ειδικούς στην Τεχνολογία των ΓΣΠ.
- Προετοιμασία δεδομένων για χωρικές λειτουργίες. Προϋποθέτει την ύπαρξη κάποιων προτύπων που πρέπει να ισχύουν για τα δεδομένα εισαγωγής.
- Εκτέλεση χωρικών λειτουργιών.
- Προετοιμασία των δεδομένων για ανάλυση περιγραφικής πληροφορίας.
- Εκτέλεση αυτών των αναλύσεων.
- Εκτίμηση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων.
- Τροποποίηση (αν κριθεί σκόπιμο) των διαδικασιών ανάλυσης.
- Παραγωγή των τελικών χαρτών και αναφορών των αποτελεσμάτων.

Παραδείγματα Εφαρμογών

Για τα παραδείγματα εφαρμογής μεθόδων Γεωγραφικής ανάλυσης που ακολουθούν χρησιμοποιήθηκαν θεματικά επίπεδα της ευρύτερης περιοχής Σπάρτης του Νομού Λακωνίας. Τα θεματικά αυτά επίπεδα προήλθαν από ψηφιοποίηση χαρτών κλίμακας 1: 50.000 (χάρτης χρήσεων γης, εδαφολογικός χάρτης, γεωλογικός χάρτης), στον εξοπλισμό του Εργα-

στηρίου Τηλεανίχνευσης του Πανεπιστημίου Αθηνών. Επίσης στον εξοπλισμό του Εργαστηρίου έγινε και η επεξεργασία των ψηφιακών δεδομένων με τη χρήση του λογισμικού PC ARC/INFO®.

Παράδειγμα 1ο: Ένωση θεματικών επιπέδων

Με την ένωση των πολυγωνικής τοπολογίας θεματικών επιπέδων διάβρωσης-κλίσης εδάφους λαμβάνουμε ένα πιο σύνθετο θεματικό επίπεδο στο οποίο τα πολύγωνα φέρουν περιγραφική πληροφορία και για τη διάβρωση και για την κλίση του εδάφους. Σε αυτό το πιο σύνθετο θεματικό επίπεδο μπορούμε κατόπιν να επιλέξουμε τις περιοχές π.χ. με έντονη διάβρωση και μεγάλες κλίσεις.

Παράδειγμα 2ο: Τομή θεματικών επιπέδων

Ο στόχος μας είναι να βρούμε τις περιοχές έντονης διάβρωσης που βρίσκονται κοντά στο κύριο οδικό δίκτυο της περιοχής. Για το σκοπό αυτό έγινε μια προεργασία στα θεματικά επίπεδα του οδικού δικτύου και της διάβρωσης. Πιο συγκεκριμένα από το θεματικό επίπεδο του οδικού δικτύου, αρχικά επιλέχθηκαν με βάση τα περιγραφικά δεδομένα οι αφαλτοστρωμένοι δρόμοι. Έτσι δημιουργήθηκε νέο θεματικό επίπεδο το οποίο περιέχει μόνο τους κύριους δρόμους. Στο νέο αυτό θεματικό επίπεδο δημιουργήθηκε μια ζώνη επιρροής ακτίνας 250 μέτρων εκατέρωθεν των δρόμων. Έτσι δημιουργείται το θεματικό επίπεδο στο οποίο έχουμε τις περιοχές οι οποίες είναι γειτονικές (απόσταση 250 μ) από το κύριο οδικό δίκτυο.

Από το θεματικό επίπεδο διάβρωσης επιλέγουμε τις περιοχές με έντονη διάβρωση.

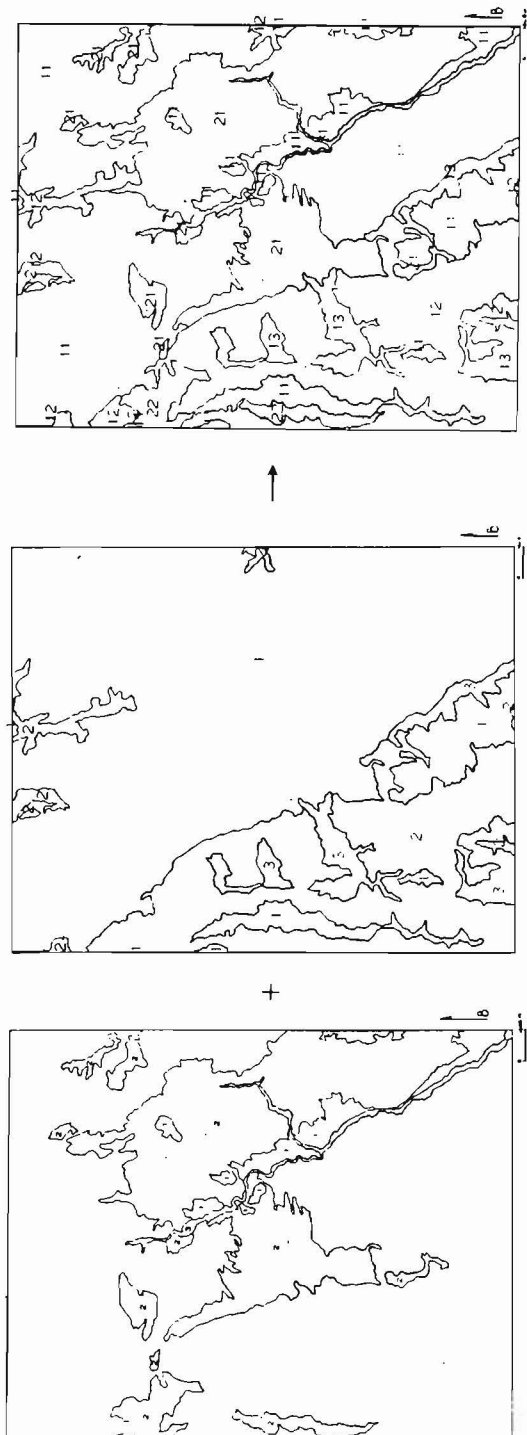
Η τομή των θεματικών επιπέδων έντονης διάβρωσης-περιοχών γειτονικών στο κύριο οδικό δίκτυο, δίνει ένα νέο θεματικό επίπεδο στο οποίο καταγράφονται όλες οι περιοχές έντονης διάβρωσης που βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη των 250μ. από το κύριο οδικό δίκτυο.

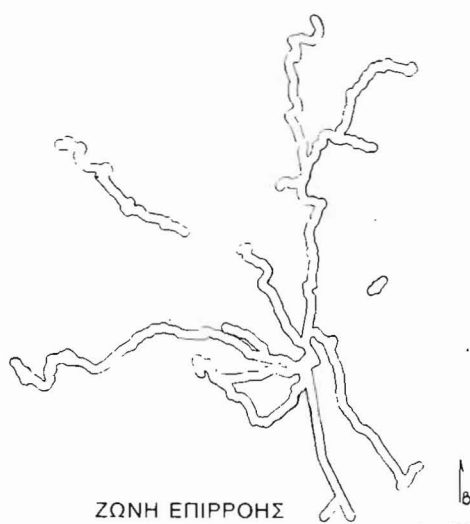
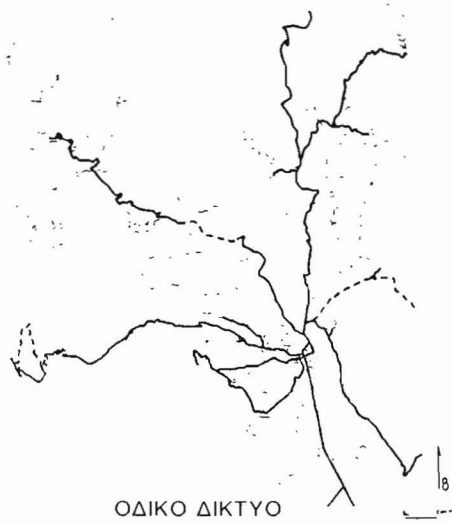
Παράδειγμα 3ο: Αφαίρεση από θεματικό επίπεδο οντοτήτων κοινών με άλλο θεματικό επίπεδο.

Στόχος είναι η παραγωγή ενός χάρτη ο οποίος να δείχνει τις οικολογικές ζώνες στα όρια του νομού Λακωνίας για την περιοχή ενδιαφέροντος.

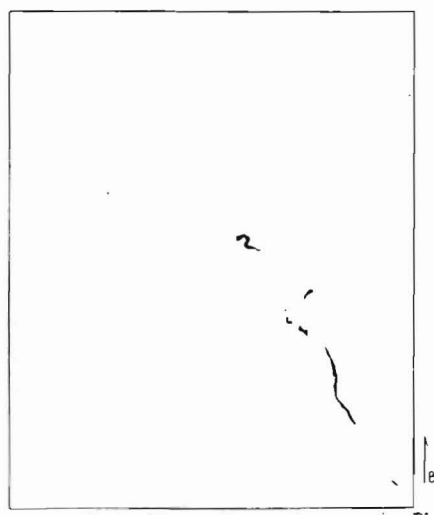
Από το συνδυασμό θεματικού επιπέδου οικολογικής περιοχής-θεματικού επιπέδου ορίων του Νομού, λαμβάνουμε νέο θεματικό επίπεδο το οποίο δείχνει τις οικολογικές ζώνες εντός του Νομού Λακωνίας.

Παράδειγμα 1ο





Παράδειγμα 2ο

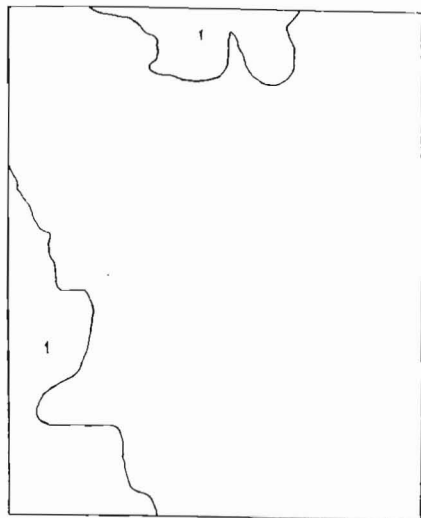


Παράδειγμα 3ο

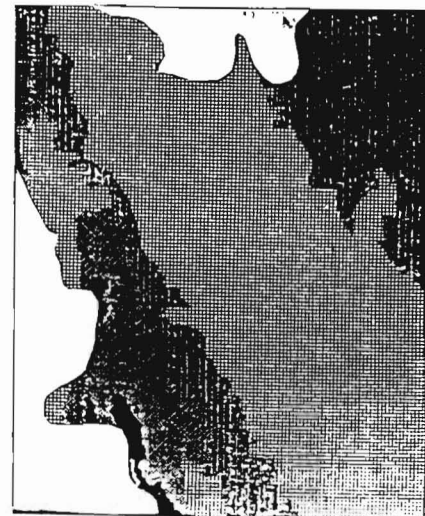


ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ

NOT

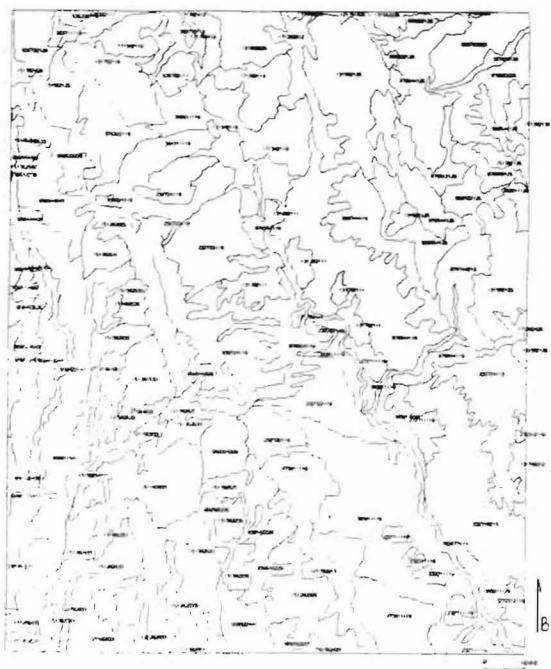


ΟΡΙΑ ΝΟΜΩΝ

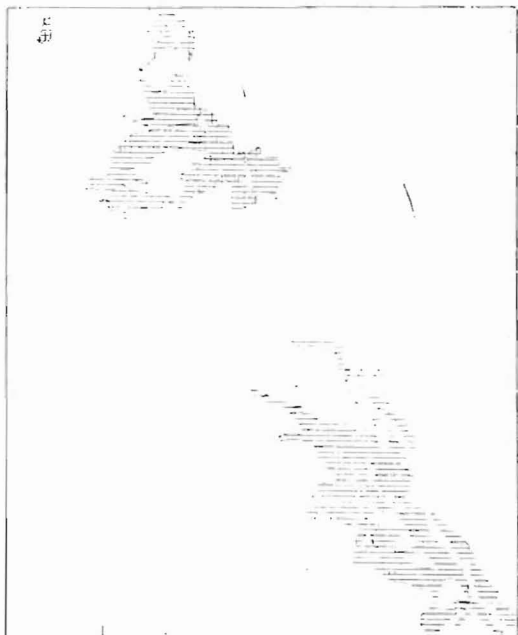


ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ
ΕΝΤΟΣ ΛΑΚΩΝΙΑΣ

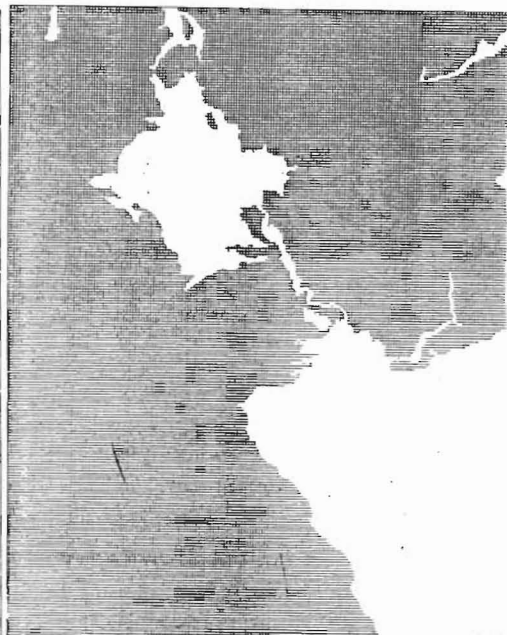
ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ



Παράδειγμα 5ο



Παράδειγμα 4ο



Παράδειγμα 4ο: Επιλογή με βάση περιγραφικά κριτήρια

Από το θεματικό επίπεδο μητρικού εδαφικού υλικού, επιλέγουμε τις περιοχές εδαφικού υλικού με μητρικό υλικό μεταλλικής προέλευσης.

Παράδειγμα 5ο: Επιλογή με βάση περιγραφικά κριτήρια

Από τον εδαφολογικό χάρτη επιλέγουμε τις περιοχές με μικρή κλίση και διάβρωση, με μεγάλο εδαφικό βάθος και με εδαφικό υλικό αλλουβιακής προέλευσης.

Συμπεράσματα

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών παρέχουν δυνατότητες εξομοίωσης και ανάλυσης του φυσικού περιβάλλοντος. Οι αναλυτικές τους δυνατότητες αξιοποιούνται μόνο όταν οι πληροφορίες που περιέχουν είναι διευθετημένες σε διακριτά θεματικά επίπεδα οντοτήτων με δομημένη τοπολογία και ορθολογικά σχεδιασμένη βάση πληροφοριών στην οποία αναφέρονται οι περιγραφικές πληροφορίες.

Οι διαδικασίες ανάλυσης, είτε αφορούν χωρικά, είτε αφορούν περιγραφικά δεδομένα, ακολουθούν τους βασικούς λογικούς κανόνες AND, OR, NOT, XOR ή και συνδυασμούς τους. Η γνώση και η χρήση αυτών των κανόνων είναι απαραίτητη στους χρήστες της τεχνολογίας των ΓΣΠ.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι αναλυτικές λειτουργίες των ΓΣΠ κρίνεται σκόπιμο να εφαρμόζονται από επιστήμονες με ειδικές γνώσεις που αφορούν την κάθε εφαρμογή, σε συνδυασμό με ειδικούς στην τεχνολογία των ΓΣΠ.

Επίσης θεωρείται απαραίτητος ο έλεγχος των αποτελεσμάτων της ανάλυσης με εργασίες πεδίου όπως και με τη βοήθεια της Τηλεανίχνευσης.

Βιβλιογραφία

- Burrough, P.A. (1986). Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment.
- ESRI, (1990). Understanding GIS, The ARC/INFO Method.
- Goodchild, M.F., Parks B.O., Steyaert, L.T. (1993). Environmental modeling with GIS.
- Maguire, D.J., Goodchild, M.F., and Rhind, D.W. (1991). Geographical information Systems principles and applications.

- Monkhouse, F.J. and Wilkinson, H.R. (1978). Maps and Diagrams.
- Parker, H.D. (1987). What is a geographic information system? GIS 87-
San Francisco.
- Εγκυκλοπαίδεια Μαθηματικών. (1971). Εκδόσεις Παγουλάτου.
- Κουτσόπουλος, Κ. (1982). Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών στην
Ελλάδα. ΕΜΠ.
- Καρτέρης, Μ.Α. (1991). Τηλεπισκόπηση φυσικών πόρων και γεωγραφικά
συστήματα πληροφοριών (Πανεπιστημιακές παραδόσεις).
- Μουτσούλας, Μ., Βαϊόπουλος, Δ. (1990). Σημειώσεις Μαθηματικής Γεω-
γραφίας. Πανεπιστήμιο Αθηνών.