

Επεξεργασία πολυφασματικών δορυφορικών δεδομένων με χρήση νευρωνικών δικτύων.

† Μ. Μουτσούλας*, Ε. Χάρου**, Ν. Βασιλάς**, Σ. Περαντώνης** και
Σ. Βαρουφάκης**

* Τομέας Γεωγραφίας - Κλιματολογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών
157 84 Αθήνα

** ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», 153 10 Αγία Παρασκευή, Αττική

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια, με τις προόδους στη μεθοδολογία και τεχνολογία της τηλενίχνευσης, και την τροχιοδρόμηση πολλών νέων δορυφόρων συσσωρεύεται ένα τεράστιος όγκος πληροφοριών σχετικών με την επιφάνεια και την ατμόσφαιρα της Γης. Η συχνότητα, με την οποία μεταβιβάζονται στη Γη οι δορυφορικές εικόνες και άλλες μετρήσεις, καθιστούν επιτακτική την ανάγκη εύρεσης νέων, ταχύτερων και, κατά το δυνατόν, αυτοματοποιημένων μεθόδων αξιοποίησης αυτών των δεδομένων. Στην κατεύθυνση αυτή βρίσκεται η χρησιμοποίηση των νευρωνικών δικτύων για την ταξινόμηση πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων. Στην εργασία αυτή γίνεται μια γενική εισαγωγή στα Νευρωνικά Δίκτυα και στην λειτουργία τους ως ταξινομητών. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται μια εφαρμογή στην ταξινόμηση σε 4 κατηγορίες χρήσεων γης πολυφασματικής Landsat TM δορυφορικής εικόνας της περιοχής Λέσβου.

Abstract

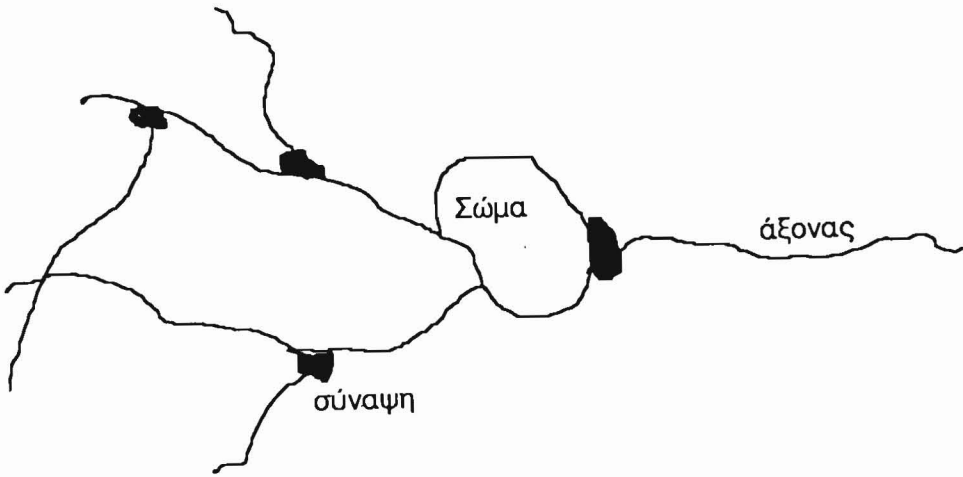
Within the last decade, advances in space and computer technology and the launch of new satellites have made it possible to amass large amounts of data about the earth and its environment. There is a strong demand in finding new, fast and, if possible, automatic methods to extract information from these data. In this research work artificial neural network (ANN) techniques, operating on raw image data (pixel values) of multispectral satellite images, were used for land-use classification.

1. Εισαγωγή

Τηλανίχνευση είναι η επιστήμη και η τεχνική με την οποία τόσο οι μηχανές όσο και ο άνθρωπος μπορούν από μακριά να ανιχνεύσουν, να μετρήσουν και να καταγράψουν τις διάφορες μεταβολές των δομικών, φυσικών, χημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών των αντικειμένων στο χώρο και το χρόνο [1]. Η τηλανίχνευση βρίσκει εφαρμογές σε μια σειρά από επιστημονοτεχνικές περιοχές όπως οι Γεωλογία, Υδρολογία, Εδαφολογία, Δασολογία, Οικολογία, Γεωργία, Χωροταξία, Κτηματολόγιο, Γεωγραφία, Κοινωνικές επιστήμες κ.ά. Οι τηλεπισκοπικές απεικονίσεις μπορούν να αναλυθούν είτε από τον ειδικευμένο φωτοερμηνευτή στην αναλογική τους μορφή είτε από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή στην ψηφιακή τους μορφή. Οι αναλογικές μέθοδοι υστερούν έναντι των ψηφιακών διότι το ανθρώπινο μάτι ευαισθητοποιείται μόνο στη ορατή περιοχή του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, αδυνατεί να αντιληφθεί μικρές διαφορές τόνου ενώ δεν μπορεί να αναλύει συγχρόνως περισσότερες από μία εικόνες. Οι ψηφιακές μέθοδοι βέβαια δεν μπορούν να συναγωνιστούν τον άνθρωπο σε θέματα αντίληψης και κατανόησης στην αναγνώριση των προτύπων και των μεταξύ τους σχέσεων και αλληλεπιδράσεων. Το μειονέκτημα αυτό προσπαθούμε να το αντιμετωπίσουμε με την εφαρμογή μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης (Artificial Intelligence). Μία από τις εφαρμογές των τηλανιχνευτικών δεδομένων είναι στον σχεδιασμό των χρήσεων γης ώστε να επιτυγχάνεται ανάπτυξη για το συμφέρον της ανθρωπότητας.

2. Νευρωνικά δίκτυα

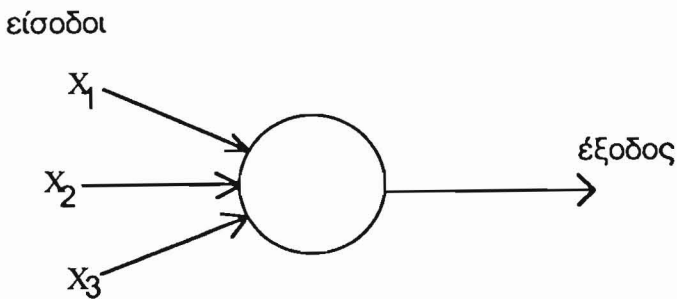
Ο ανθρώπινος εγκέφαλος και η λειτουργία του είναι ένα από τα πιό σύνθετα προβλήματα που έχουν απασχολήσει τους επιστήμονες και οι μέχρι σήμερα γνώσεις και κατανόηση των διάφορων εγκεφαλικών λειτουργιών βρίσκονται σε χαμηλό επίπεδο. Παρ' όλα αυτά η βασική δομή και στοιχειώδης λειτουργία του είναι γνωστή σε ικανοποιητικό βαθμό. Υπολογίζεται ότι ο ανθρώπινος εγκέφαλος περιέχει περίπου 10 δισεκατομμύρια βασικές μονάδες που ονομάζονται νευρώνια (Σχ. 1). Κάθε ένα από αυτά συνδέεται μέσω ειδικών χημικών συνδέσεων, των συνάψεων ή συναπτικών βαρών (synaptic weights) με περίπου 10.000 άλλα νευρώνια. Για να ενεργοποιηθεί ένα νευρώνιο πρέπει το σύνολο των ερεθισμάτων που θα φθάσουν μέσω των συνάψεων στην είσοδό του να υπερβαίνει κάποιο εσωτερικό κατώφλιο (threshold).



Σχ. 1. Τα βασικά χαρακτηριστικά του βιολογικού νευρωνίου.

Τα Τεχνητά Νευρωνικά δίκτυα ανήκουν στην ευρύτερη περιοχή της τεχνητής νοημοσύνης [12], [13]. Είναι υπολογιστικά συστήματα που η δομή και η λειτουργία τους εμπνέονται από τις τρέχουσες γνώσεις μας για τον ανθρώπινο εγκέφαλο και τα νευροβιολογικά συστήματα.

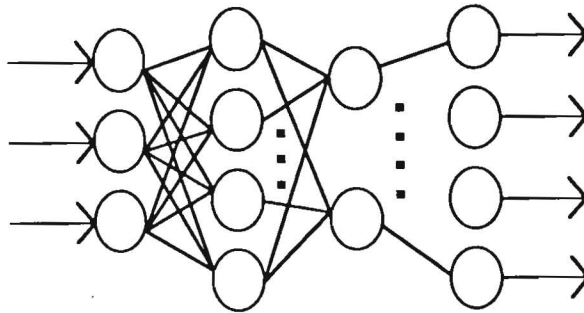
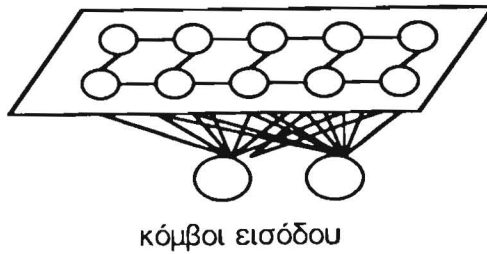
Κατ'αναλογία με το βιολογικό νευρώνιο, το κάθε ένα από τα τεχνητά νευρώνια i (Σχ. 2) υπολογίζει την στάθμη ενεργοποίησής του V_i σαν συνάρτηση των εισόδων του και των συναπτικών βαρών του. Η έξοδος O_i του κάθε νευρωνίου i είναι συνήθως μία μη γραμμική συνάρτηση της στάθμης ενεργοποίησής του.



Σχ. 2. Τα βασικά χαρακτηριστικά του τεχνητού νευρωνίου.

Ο τρόπος με τον οποίο θα συνδεθούν τα νευρώνια μεταξύ τους καθορίζει τον τύπο του νευρωνικού δικτύου (Σχ. 3). Ένα παράδειγμα είναι το πολυστρωματικό δίκτυο πρόσω διάδοσης (multi-layered feedforward

network) το οποίο αποτελείται από ένα επίπεδο με τους κόμβους εισόδου, ενδιάμεσα επίπεδα με τους «κρυφούς» κόμβους και ένα επίπεδο με τους κόμβους εξόδου, όπου κάθε κόμβος συνδέεται μόνο με κόμβους από το προηγούμενο επίπεδο. Άλλο παράδειγμα είναι το μονοστρωματικό δίκτυο το οποίο αποτελείται μόνο από κόμβους εισόδων και εξόδων.



Σχ. 3. Μονοστρωματικό και Πολυστρωματικό δίκτυο.

Η λύση ενός προβλήματος με την βοήθεια των νευρωνικών δικτύων πραγματοποιείται σε δύο φάσεις. Κατά την φάση εκπαίδευσης (training phase) εφοδιάζουμε το νευρωνικό δίκτυο με ένα εκπαιδευτικό δείγμα της σχέσης που πρέπει να μάθει. Η μάθηση συνίσταται στην διόρθωση των συναπτικών βαρών σύμφωνα με κάποιο αλγόριθμο μάθησης ώστε να μπορέσει το δίκτυο να αντιδρά σωστά σε κάθε παράδειγμα που έρχεται στην είσοδό του. Αν το εκπαιδευτικό δείγμα αποτελείται από τα δεδομένα μαζί με το επιθυμητό αποτέλεσμα τότε η εκπαίδευση λέγεται «καθοδηγούμενη» (supervised). Αν η εκπαίδευση γίνεται χωρίς να εφοδιάζουμε το δίκτυο με τα επιθυμητά αποτελέσματα αφήνοντάς το έτσι να ανακαλύψει «μόνο» του τους συσχετισμούς που ενδεχόμενα υπάρχουν στα παραδείγματα του εκπαιδευτικού δείγματος τότε λέγεται «μή καθοδηγούμενη» (unsupervised) εκπαίδευση.

Όταν η φάση εκπαίδευσης ολοκληρωθεί, σταθεροποιούνται τα συναπτικά βάρη και αρχίζει η **φάση ελέγχου** κατά την οποία η εμπειρία του νευρωνικού δικτύου που αποκτήθηκε κατά την εκπαίδευσή του αξιολογείται με χρήση ενός συνόλου νέων δεδομένων. Η ικανότητα αυτή να αντιδρά σωστά σε νέα, άγνωστα δεδομένα λέγεται επίσης και γενικευτική ικανότητα του δικτύου.

3. Ταξινόμηση με χρήση Νευρωνικών Δικτύων

Μία από τις περιοχές όπου βρίσκουν εφαρμογή τα Νευρωνικά Δίκτυα είναι η ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων σε τύπους εδαφοκάλυψης [2]-[11], [21]. Μία τέτοια εφαρμογή αναπτύχθηκε για την ταξινόμηση ενός τμήματος 512×512 pixels δορυφορικής εικόνας Landsat TM περιοχής Λέσβου. Χρησιμοποιήθηκαν 3 κανάλια (TM1, TM2, TM3) της εικόνας με στόχο την ταξινόμηση της εικόνας στις εξής κατηγορίες εδαφοκάλυψης α) δάσος β) θάλασσα γ) αγροτικές περιοχές και δ) βραχώδεις περιοχές, άγονες ή εκτάσεις με λιγότερο από 10% βλάστηση.

Για την εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν δύο νευρωνικοί ταξινομητές. Ένα πολυστρωματικό δίκτυο με αλγόριθμο μάθησης ALECO (παραλλαγή του αλγορίθμου back error propagation) [17]-[20] και ένα μονοστρωματικό νευρωνικό δίκτυο με αλγόριθμο μάθησης LVQ (Learning Vector Quantization) [14]-[16].

Για την φάση εκπαίδευσης των δικτύων χρησιμοποιήθηκαν οι φασματικές υπογραφές 1187 σημείων που ανήκαν στις 4 κατηγορίες εδαφοκάλυψης που προαναφέρθηκαν. Κατά την φάση ελέγχου τα νευρωνικά δίκτυα κατέταξαν καθένα από τα 512×512 σημεία της εικόνας σε μια από αυτές τις 4 κατηγορίες. Στο τέλος του κειμένου παραθέτουμε την αρχική εικόνα LANDSAT TM (bands 1, 2, 3) και τα αποτελέσματα που έδωσαν οι δύο νευρωνικοί ταξινομητές LVQ και ALECO. Επίσης, για συγκριτικούς λόγους παραθέτουμε και το αποτέλεσμα της ταξινόμησης της ίδιας αρχικής εικόνας με την χρησιμοποίηση ενός από τους πλέον χρησιμοποιούμενους στατιστικούς ταξινομητές του k-NN (k-πλησιέστερων γειτόνων).

Συμπεράσματα - Προοπτικές

Η ποιότητα των αποτελεσμάτων, όπως φαίνεται από τις εικόνες στο τέλος του κειμένου κρίνεται ικανοποιητική. Δυστυχώς, δεν κατέστη δυνατή ποσοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων λόγω έλλειψης ερμηνευ-

μένης από ειδικούς φωτοερμηνευτές εικόνας. Ενδεικτικά όμως, παραθέτουμε στον Πίνακα 1 τα αποτελέσματα επί ενός μικρού συνόλου 847 pixels για τα οποία ήταν γνωστή η κατηγορία που ανήκαν και ήταν διαφορετικά από αυτά που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκπαίδευση των δικτύων.

		Σύνολο	Κατηγ. 1 Δάσος	Κατηγ. 2 Θάλασσα	Κατηγ. 3 Αγροτ. Περιοχές	Κατηγ. 4 Βραχώ- δεις κ.λπ.
LVQ	Δείγμα Εκπ/σης	97.6	95.5	99.8	96.3	100
	Δείγμα Ελέγχου	92.2	98.1	100	78.0	98.4
ALECO	Δείγμα Εκπ/σης	97.5	94.8	100	96.7	100
	Δείγμα Ελέγχου	92.0	97.5	100	78.7	95.3

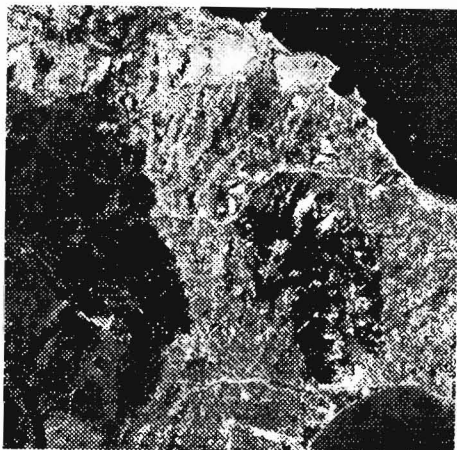
ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Ποσοστιαία επίδοση νευρωνικών ταξινομητών.

Μία άλλη σημαντική παράμετρος ήταν ο ελάχιστος χρόνος που απαιτήθηκε τόσο για την εκπαίδευση των δικτύων όσο και για την ταξινόμηση της εικόνας όπως φαίνεται από τον Πίνακα 2. Επίσης, στον Πίνακα 2 παραθέτουμε ενδεικτικά τον χρόνο ταξινόμησης που απαιτήθηκε από τον συμβατικό ταξινομητή k -NN.

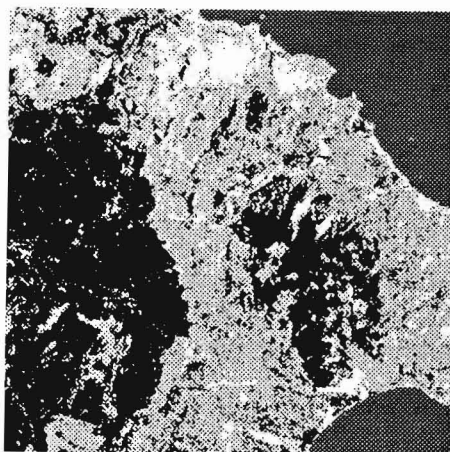
	χρόνος εκπαίδευσης	χρόνος ταξινόμησης
ταξινομητής LVQ	11 sec	43 sec
ταξινομητής ALECO	58 sec	66 sec
ταξινομητής k -NN	—	17 min 55 sec

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Χρόνοι εκπαίδευσης/ταξινόμησης.

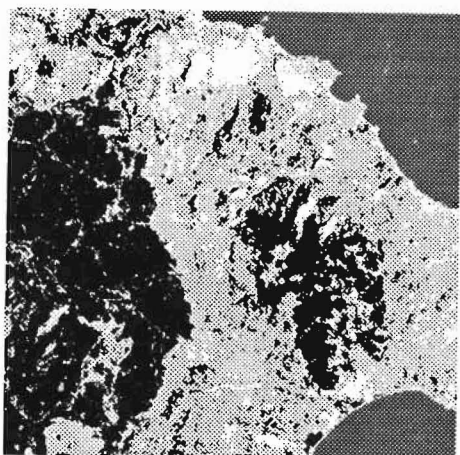
Από τα παραπάνω φαίνεται ότι τα νευρωνικά δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιούνται σαν **αποτελεσματικοί και ταχύτατοι** ταξινομητές δορυφορικών εικόνων.



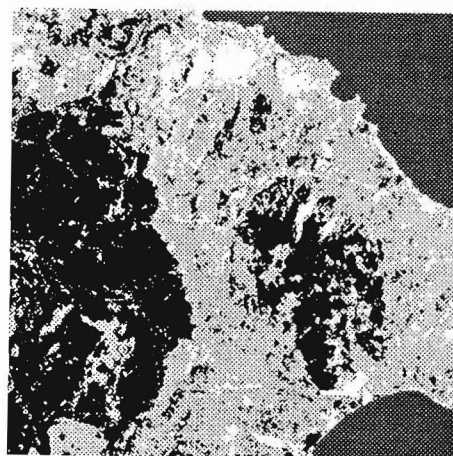
Φωτ. 1. LANDSAT TM περιοχής Λέσβου.



Φωτ. 2. Αποτελέσματα του ταξινομητή k-NM.



Φωτ. 3. Αποτελέσματα του ταξινομητή LVQ.



Φωτ. 4. Αποτελέσματα του ταξινομητή ALECO.

Βιβλιογραφία

- [1] Μουτσούλας, Μ. και Σ. Πιτέρη. (1993). «Εφαρμογές της Διαστημικής Επιστήμης και Τεχνολογίας», Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- [2] Benediktsson, P.H. Swain, and O.K. Ersoy. (1990). "Neural network approaches versus statistical methods in classification of multisource remote sensing data", *IEEE Trans. Geosc. Remote Sensing*, vol. GE-28, no. 4, pp. 540-552.
- [3] Bischof, H., W. Schneider, and A.J. Pinz. (1992). "Multispectral classification of Landsat-images using neural networks" *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. GE-30, no. 3, pp. 482-490.
- [4] Omatu, S. and T. Yosida. (1991). "Pattern classification for remote sensing using neural network", *Proc. IJCNN '91*, pp. 653-657, Singapore.
- [5] Kamata, S. and E. Kawaguchi. (1993). "A neural network classifier for multi-temporal Landsat images using spacial and spectral information", *Proc. IJCNN '93*, pp. 2199-2202, Nagoya, Japan.
- [6] Heermann, P.D. and N.Khazenie. (1992). "Classification of multispectral remote sensing data using a back propagation neural network", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. GE-30, no. 1, pp. 81-88.
- [7] Salu, Y. and J. Tilton. (1993). "Classification of multispectral image data by the binary diamond neural network and by nonparametric, pixel-by-pixel methods", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. GE-31, no. 3, pp. 606-617.
- [8] Szu, H.H., B.A. Telfer, and R.K. Kiang. (1993). "Neural network classification of multispectral data with contextual information", *Proc. World Congress on Neural Networks*, pp. 1117-1121, Oregon, USA.
- [9] Halounova, L. (1995). "Comparison of neural network and maximum likelihood classifications in an urban area", in *Proc. 14th EARSeL Symposium '94 (Sensors and Environmental Applications of Remote Sensing)*, J. Askne, Ed. Rotterdam: A.A. Balkema, Geteborg, pp. 463-468.
- [10] Cappellini, V., A. Chiuderi and S. Fini. (1995). "Neural networks in remote sensing multisensor data processing", in *Proc. 14th EARSeL Symposium '94 (Sensors and Environmental Applications of Remote Sensing)*, J. Askne, Ed. Rotterdam: A.A. Balkema, Geteborg, pp. 457-462.
- [11] Charou, E., N. Ampazis, N. Vassilas, S. Perantonis, C. Feizidis and S. Varoufakis. (1994). "Land-use classification of satellite images

- using artificial neural network techniques", *Proc. Integration, Automation and Intelligence in Photogrammetry, Remote Sensing and GIS-LIESMARS*, pp. 368-377, Wuhan, P.R. China.
- [12] Rumelhart, D.E., G.E. Hinton, and R.J. Williams. (1986). "Learning representations by back propagating errors," *Nature*, vol. 323, pp. 533-536.
- [13] Funahashi, K-I. (1989). "On the approximate realization of continuous mappings by neural networks", *Neural Networks*, vol. 2, pp. 183-192.
- [14] Kohonen, T. (1990). "Improved versions of learning vector quantization", *Proc. IJCNN '90*, pp 1545-1550, San Diego, California.
- [15] Kohonen, T. (1990). "Statistical pattern recognition revisited", *Advanced Neural Computers*, pp. 137-144.
- [16] LVQ-PAK: (1992). The Learning Vector Quantization Program Package. Helsinki GrHelveticaity of Technology, January.
- [17] Karras, D.A. and S. Perantonis. (1995). "Constrained optimization training algorithms for feedforward networks", *IEEE Trans. Neural Networks*, under review.
- [18] Perantonis, S.J. and D.A. Karras. (1993). "A fast constrained learning algorithm based on the construction of suitable internal representations", *Proc. IJCNN '93*, pp. 536-539, Nagoya, Japan.
- [19] Perantonis, S.J. and D.A. Karras. (1995). "An efficient constrained learning algorithm with momentum acceleration", *Neural Networks*, in print.
- [20] Karras, D.A. and S.J. Perantonis. (1993). "Comparison of the performance of learning algorithms in large scale networks and problems", *Proc. IJCNN '93*, pp. 532-535, Nagoya, Japan.
- [21] Hewitson, B.C. and R.G. Crane. (1994). *Neural Nets: Applications in Geography*. Kluwer Academic Publishers, Netherllands.