ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΣΕΡΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Αναγνώριση Προτύπων - Νευρωνικά Δίκτυα

Δρ. Χαράλαμπος Π. Στρουθόπουλος
Αναπληρωτής Καθηγητής

Τομέας Υπολογιστικών Τεχνικών & Συστημάτων

ΣΕΡΡΕΣ 2003

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή

2. Περιγραφή προτύπων και ορισμοί

2.1 Διανυσματική περιγραφή

3. Βασικά μαθηματικά μεγέθη, συμβολισμοί και σχέσεις

3.1 Πίνακας στήλης

3.2 Εσωτερικό γινόμενο

3.3 Στατιστικά χαρακτηριστικά του χώρου των προτύπων.

4. Μέθοδοι αναγνώρισης – εκπαίδευση με επόπτη

4.1 Αναγνώριση με βάση τα κέντρα των κλάσεων.

4.2 Αναγνώριση με γραμμικές διακριτικές συναρτήσεις.

4.2.1 Επαυξημένα διανύσματα

4.3 Γραμμικοί ταξινομητές

4.4 Εκπαίδευση γραμμικών ταξινομητών δυο κλάσεων

4.5 Γραμμικοί ταξινομητές πολλών επιπέδων

4.6 Μη γραμμικοί ταξινομητές – ΝΔ Back propagation

5. Μέθοδοι αναγνώρισης – εκπαίδευση χωρίς επόπτη

5.1 Προσδιορισμός των συγκεντρώσεων με την μέθοδο MAXIMIN.

5.2 Απεικόνιση αλυσίδας.

5.3 Νευρωνικό δίκτυο αυτο-οργανούμενου πίνακα

απεικόνισης χαρακτηριστικών.

6. Ανάλυση χαρακτηριστικών

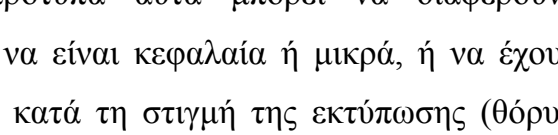
6.1 Ανάλυση χαρακτηριστικών στην εκπαίδευση με επόπτη

6.2 Ανάλυση χαρακτηριστικών στην εκπαίδευση χωρίς επόπτη

1. Εισαγωγή

Η λέξη *αναγνώριση* στην καθομιλουμένη σημαίνει την εύρεση της ταυτότητας ενός όντος (π.χ. ανθρώπου, ζώου, αντικειμένου, εικόνας ήχου, ιδέας, πρότασης κ.λ.π.) και χρησιμοποιείται συνήθως όταν η ταυτότητα αυτή δεν είναι άμεσα αντιληπτή. Σε τέτοιες περιπτώσεις μάλιστα η αναγνώριση βασίζεται σε ειδικά χαρακτηριστικά του όντος (π.χ. ο διαρρήκτης ήταν αριστερόχειρας). Με την λέξη ταυτότητα εννοούμε ένα σημαντικό, μοναδικό ίσως χαρακτηριστικό του όντος που το ξεχωρίζει από τα υπόλοιπα ή το εντάσσει σε μια κατηγορία ομοειδών του (π.χ. οι πεζοί αναγνώρισαν πως το αυτοκίνητο που παραβίασε τον κόκκινο φωτεινό σηματοδότη ήταν σπορ, ένας από αυτούς κατέγραψε τον αριθμό κυκλοφορίας του και η τροχαία εντόπισε, δηλαδή αναγνώρισε, τον παραβάτη). Η αναγνώριση είναι μια ικανότητα που έχουν κυρίως τα έμβια όντα και αποτελεί βασική λειτουργία της νοημοσύνης. Οι «νοήμονες» μηχανές που θα διαδεχθούν τις «έξυπνες» θα πρέπει να διαθέτουν την ικανότητα της αναγνώρισης. Ένα ον θα το αποκαλούμε στο εξής και ως *πρότυπο*. ***Αναγνώριση Προτύπων*** (*Pattern Recognition)* είναι ο επιστημονικός κλάδος που ασχολείται με την εύρεση μεθόδων για την ταξινόμηση (classification) των όντων (προτύπων) σε κατηγορίες. Τις κατηγορίες αυτές θα τις ονομάζουμε *κλάσεις* ή *τάξεις* (*classes*).

Ένα σύνολο ομοίων προτύπων, όχι αναγκαστικά πανομοιότυπων, ορίζει μία *σύλληψη* (*concept*). Τα νοήμονα έμβια παρατηρούν και μαθαίνουν τα όντα (πρότυπα) του περιβάλλοντος κόσμου και δημιουργούν γι αυτά συλλήψεις. Για παράδειγμα το σύνολο των αλόγων που γνωρίσατε σας έμαθε την γενική σύλληψη (ιδέα) άλογο (κάντε συσχετισμούς με τον κόσμο των ιδεών του Πλάτωνα). Στον χώρο των γραμμάτων της Ελληνικής γλώσσας υπάρχουν 24 συλλήψεις που είναι τα 24 γράμματα της Ελληνικής αλφαβήτου. Κάθε γράμμα της Ελληνικής γλώσσας που γράφτηκε είναι ένα πρότυπο και αποτελεί μία πραγματοποίηση ή συμβάν (event) μιας από τις 24 συλλήψεις. Για παράδειγμα οι μορφές



αποτελούν συμβάντα (πρότυπα) των συλλήψεων των γραμμάτων ΒΗΤΑ και ΔΕΛΤΑ. Τα πρότυπα αυτά μπορεί να διαφέρουν στο μέγεθος, την γραμματοσειρά, να είναι κεφαλαία ή μικρά, ή να έχουν μικροδιαφορές που δημιουργήθηκαν κατά τη στιγμή της εκτύπωσης (θόρυβος). Είναι προφανές πως οι συλλήψεις και τα οικεία πρότυπά τους πρέπει να διαθέτουν χαρακτηριστικά που να τις διακρίνουν από άλλες συλλήψεις και πρότυπα. Η εύρεση και μέτρηση τέτοιων χαρακτηριστικών (features) των προτύπων είναι πρωταρχικής σημασίας για την περιγραφή και την αναγνώρισή τους.

Η αναγνώριση προτύπων από μηχανές μπορεί να αντικαταστήσει πληθώρα επίπονων ανθρώπινων εργασιών, να βελτιώσει το εργασιακό περιβάλλον και να αυξήσει την παραγωγικότητα. Για παράδειγμα η μετατροπή τυπωμένων εγγράφων σε ηλεκτρονική μορφή με κωδικοποίηση κατά ASCII, μπορεί να γίνει από τον άνθρωπο δακτυλογράφο που διαβάζει το κείμενο, αναγνωρίζει τους χαρακτήρες και τους πληκτρολογεί, μπορεί όμως να γίνει και από μία μηχανή που θα σαρώνει- φωτογραφεί ψηφιακά (scanning) το έγγραφο υπό μορφή εικονοστοιχείων (pixels) στην μνήμη του υπολογιστή και με κατάλληλο πρόγραμμα οπτικής αναγνώρισης χαρακτήρων (*OCR: Optical Character Recofgnition*) θα αναγνωρίζεται η ψηφιακή μορφή κάθε χαρακτήρα σύμφωνα με το σύμβολο του ASCII που αντιστοιχεί στην σύλληψή του και θα του αποδίδεται ο αντίστοιχος κωδικός.

Ένα σύστημα (αλγόριθμος) που αναγνωρίζει πρότυπα λέγεται *ταξινομητής* (*classifier*). Σε ένα ταξινομητή επιτελούνται δύο κύριες εργασίες που είναι η *εκπαίδευση* (*training*) και η *ταξινόμηση*. Κατά την εκπαίδευση προσδιορίζονται οι κλάσεις ή οι συγκεντρώσεις των προτύπων και ρυθμίζονται κατάλληλα οι παράμετροι του συστήματος ταξινόμησης με βάση τις οποίες θα είναι αυτό ικανό να ταξινομήσει τα πρότυπα σε σωστές κλάσεις. Με την ταξινόμηση αποδίδεται ένα πρότυπο σε μία κλάση ή σε μία συγκέντρωση. Συχνά, κατά την διαδικασία της εκπαίδευσης γίνονται ταξινομήσεις σε αρχικές

υποθετικές κλάσεις μέχρι ο ταξινομητής να προσδιορίσει ορθά τις κλάσεις ή τις συγκεντρώσεις των προτύπων με βάση κάποιο κριτήριο ορθότητας.

Τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση του ταξινομητή αποτελούν το *σύνολο εκπαίδευσης* (*training set*). Οι μέθοδοι εκπαίδευσης χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

Α) Εκπαίδευση με επόπτη (supervised learning) κατά την οποία είναι γνωστή η κλάση στην οποία ανήκει κάθε πρότυπο του συνόλου εκπαίδευσης και επιδιώκεται ο προσδιορισμός των κλάσεων.

Β) Εκπαίδευση χωρίς επόπτη (unsupervised learning) κατά την οποία δεν είναι γνωστή η κλάση στην οποία ανήκει κάθε πρότυπο του συνόλου εκπαίδευσης και αναζητούνται βασικά οι συγκεντρώσεις των προτύπων (clustering).

Προτιμότερο είναι η εκπαίδευση ενός ταξινομητή να μην εκτελείται μόνο μία αρχική φορά, αλλά να επαναλαμβάνεται ώστε η μηχανή να προσαρμόζεται στις αλλαγές των προτύπων που ταξινομεί. Οι ταξινομητές είναι ουσιαστικά το αντικείμενο με το οποίο θα ασχοληθούμε περαιτέρω και θα αναλυθούν διεξοδικά στα επόμενα κεφάλαια.

2. Περιγραφή προτύπων και ορισμοί

Θα αναφέρουμε παρακάτω δύο κυρίαρχες μεθόδους περιγραφής των προτύπων που είναι η διανυσματική περιγραφή και η συντακτική περιγραφή.

2.1. Διανυσματική περιγραφή

Για κάθε πρότυπο μετρούμε ένα πεπερασμένο πλήθος χαρακτηριστικών του (π.χ. βάρος, χρώμα, ύψος, πλάτος, μήκος). Για ένα ποιοτικό χαρακτηριστικό που δεν μετριέται άμεσα με αριθμητικές τιμές όπως για παράδειγμα το χρώμα, χρησιμοποιούμε κάποια κωδικοποίηση που αντιστοιχεί αριθμούς στις διάφορες μορφές του (π.χ. 0 για το μαύρο, 1 για το μπλε, 2 για το κόκκινο κ.λ.π.) Αν Ω είναι ένα σύνολο που αποτελείται από Κ το πλήθος πρότυπα Π_κ, κ=1,2,3,...,Κ, δηλαδή $\Omega=\{\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3 \ldots \Pi_\kappa, \ldots \Pi_K\}$ και μετρούμε Ν το πλήθος κοινά χαρακτηριστικά για κάθε πρότυπο, τότε το Π_κ πρότυπο μπορεί να περιγραφεί από ένα διάνυσμα - πίνακα στήλης $\mathbf{x}_\kappa$ σε ένα χώρο Ν διαστάσεων σύμφωνα με την σχέση

$$(2.1.1) \qquad \mathbf{x}_\kappa = \begin{vmatrix} x_{1\kappa} \\ x_{2\kappa} \\ \vdots \\ x_{\nu\kappa} \\ \vdots \\ x_{N\kappa} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x_{1\kappa} & x_{2\kappa} & \ldots & x_{\nu\kappa} & \ldots & x_{N\kappa} \end{vmatrix}^T$$

Κάθε πρότυπο θεωρείται ξεχωριστό από κάθε άλλο ακόμη και όταν όλες οι τιμές των αντίστοιχων χαρακτηριστικών τους είναι ίσες. Δηλαδή το πρότυπο Π_μ είναι άλλο στοιχείο του συνόλου Ω, από το πρότυπο Π_λ αν και $\mathbf{x}_\mu=\mathbf{x}_\lambda$ ($\mu, \lambda \in \{1,2,...,K\}$, και $\Pi_\mu, \Pi_\lambda \in \Omega$). Ως εκ τούτου το Ω είναι σύνολο με την μαθηματική έννοια. Όλους τους πίνακες θα τους συμβολίζουμε με παχιά γράμματα.

Αν N≤3 τότε μπορούμε να παραστήσουμε τα διανύσματα των προτύπων στον φυσικό χώρο. Ακολούθως θα δούμε ένα παράδειγμα προτύπων που είναι άτομα για τα οποία μετράμε δύο χαρακτηριστικά που είναι το βάρος και το

ύψος. Οι τιμές των χαρακτηριστικών για όλα τα πρότυπα που μετρήθηκαν δείχνονται στο ακόλουθο πίνακα 1.

Π (πρότυπο)	**Υ** (ύψος σε εκ.)	**Β** (βάρος σε κιλά)
Π1	185	85
Π2	185	82
Π3	182	115
Π4	180	80
Π5	178	78
Π6	175	112
Π7	171	114
Π8	160	58
Π9	160	55
Π10	155	62
Π11	150	85
Π12	150	82
Π13	145	84
Π14	143	80

Πίνακας 2.1-1

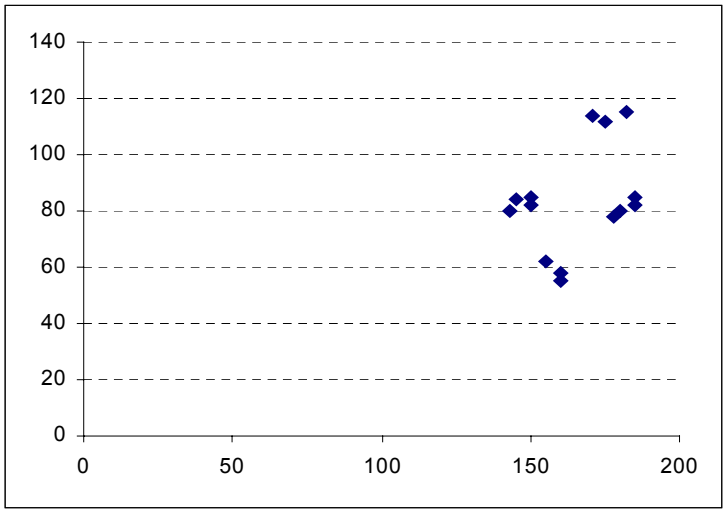
Τα αντίστοιχα διανύσματα των προτύπων ως πίνακες στήλης όπως παρακάτω:

$$\mathbf{x}_1 = \begin{bmatrix} 185 \\ 85 \end{bmatrix},\ \mathbf{x}_2 = \begin{bmatrix} 185 \\ 82 \end{bmatrix},\ \mathbf{x}_3 = \begin{bmatrix} 182 \\ 115 \end{bmatrix},\ \mathbf{x}_4 = \begin{bmatrix} 180 \\ 80 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{x}_5 = \begin{bmatrix} 178 \\ 78 \end{bmatrix},\ \mathbf{x}_6 = \begin{bmatrix} 175 \\ 112 \end{bmatrix},\ \mathbf{x}_7 = \begin{bmatrix} 171 \\ 114 \end{bmatrix},\ \mathbf{x}_8 = \begin{bmatrix} 160 \\ 58 \end{bmatrix}, \tag{2.1.2}$$

$$\mathbf{x}_9 = \begin{bmatrix} 160 \\ 55 \end{bmatrix}, \ldots,\ \mathbf{x}_{14} = \begin{bmatrix} 143 \\ 80 \end{bmatrix}$$

Στο Σχ.2.1-1 που ακολουθεί φαίνονται τα σημεία τέλους των διανυσμάτων που αντιστοιχούν σε κάθε πρότυπο.



Σχήμα 2.1-1

Έστω ότι επιθυμούμε να κατατάξουμε τα πρότυπα μας σε τάξεις ως εξής: Βαρείς αν Β>80, ελαφρούς αν Β≤80, ψηλούς αν Υ>170 και κοντούς αν Υ≤170. Παρατηρούμε ότι τα άκρα των διανυσμάτων των προτύπων συγκεντρώνονται σε ομάδες. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι τα όμοια πρότυπα γειτνιάζουν επειδή τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους έχουν κοντινότερες τιμές (ομόλογες συντεταγμένες των ανυσμάτων τους) σε σχέση με τις τιμές των χαρακτηριστικών των άλλων προτύπων. Για παράδειγμα η ευκλείδεια απόσταση D_{12} των προτύπων Π_1, Π_2 είναι

(2.1.3) $$D_{12} = \sqrt{(x_{11} - x_{12})^2 + (x_{21} - x_{22})^2} = \sqrt{(185-185)^2 + (85-82)^2} = 3$$

και η ευκλείδεια απόσταση D_{15} των προτύπων Π_1, Π_5 είναι

(2.1.4) $$D_{15} = \sqrt{(x_{11} - x_{15})^2 + (x_{21} - x_{25})^2} = \sqrt{(185-178)^2 + (85-78)^2} = 9\sqrt{2}$$

Άρα η απόσταση των ανυσμάτων των προτύπων είναι ένα μαθηματικό κριτήριο της ισότητας δύο προτύπων. Οι ομάδες που σχηματίζουν τα πρότυπα λέγονται *συγκεντρώσεις (clusters)*. Οι συγκεντρώσεις δημιουργούνται. από πρότυπα περίπου ίδια μορφολογικά. Στο παράδειγμα μας οι τέσσερις συγκεντρώσεις δημιουργήθηκαν από άτομα α) με Β>100 κ. β) με Β<70 κ. γ) με Υ<1.80μ και 70<Β<100 κ. και δ) με Υ>1.80μ και 70κ<Β<100κ.

Ο εντοπισμός των συγκεντρώσεων (clusters) προτύπων που δημιουργούνται στον χώρο των προτύπων είναι σημαντικός για την αναγνώριση προτύπων και αναφέρεται ως *πρόβλημα εύρεσης των συγεντρώσεων (clustering)*. Η σωστή επιλογή των χαρακτηριστικών που μετράμε για τα πρότυπα (*feature selection*) είναι καθοριστικής σημασίας για την εύρεση των ομάδων των προτύπων. Συχνά ενδιαφερόμαστε για πρότυπα που έχουν κάποια ιδιότητα και βρίσκονται σε περισσότερες από μία ομάδες. Για παράδειγμα τα πρότυπα των ατόμων με ύψος μεγαλύτερο από 1,70 μ ανήκουν σε δύο συγκεντρώσεις. Ανάλογα συμβαίνει και με τα πρότυπα των πεζών και κεφαλαίων γραμμάτων όπως των 'Α', 'α' ή 'Ω', 'ω' κ.α. Η εύρεση της ομάδας ή των ομάδων των προτύπων που έχουν μία τελική κοινή χαρακτηριστική ιδιότητα (ταυτότητα: label) αποτελεί την ταξινόμηση των προτύπων και οδηγεί στην αναγνώρισή τους. Στην γενική περίπτωση το πρόβλημα της ταξινόμησης είναι δύσκολο κυρίως λόγω α) κακής επιλογής των μετρούμενων χαρακτηριστικών, β) μεγάλης ποικιλομορφίας των προτύπων, γ) θορύβου, δ) ασάφειας των ορίων των κλάσεων στον χώρο των προτύπων.