



Τμήμα Πληροφορικής με Εφαρμογές στη Βιοϊατρική
Σχολή Θετικών Επιστημών
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ

Εισαγωγικό Μάθημα

Αριστείδης Γ. Βραχάτης, Dipl-Ing, M.Sc, PhD

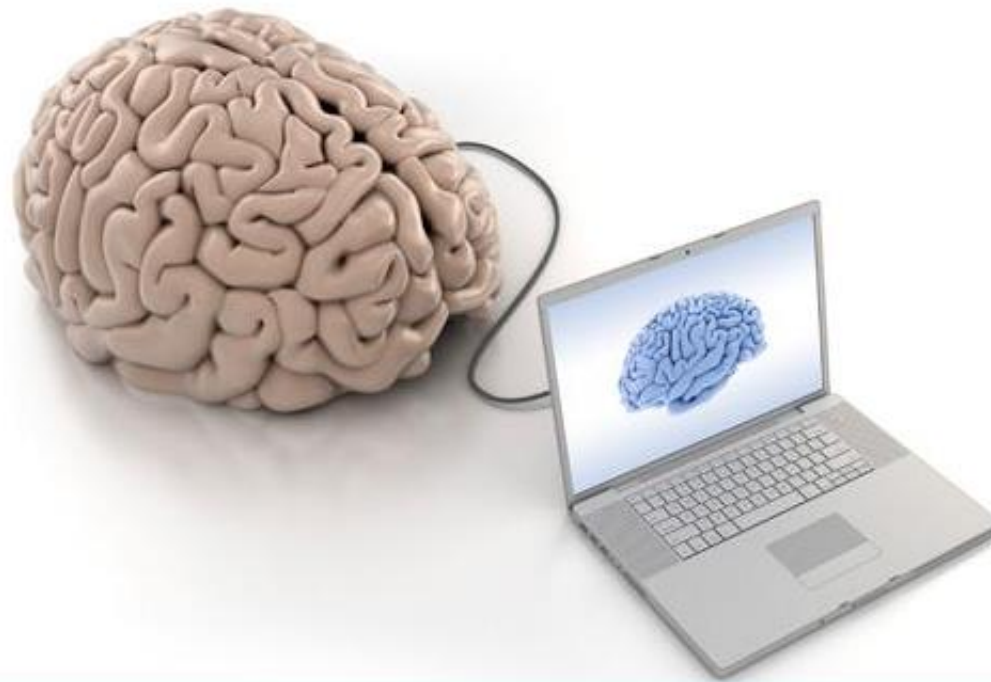
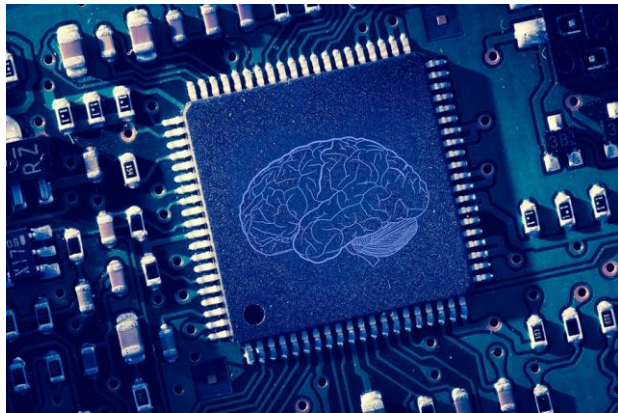
Adjunct Lecturer

Στοιχεία για το Μάθημα

- Μάθημα: Αναγνώριση Προτύπων - 6ΕΠ02
- Ύλη
 - Βασικές έννοιες
 - Προ-επεξεργασία Δεδομένων
 - Ομαδοποίηση
 - Ταξινόμηση
 - Παλινδρόμηση
- Εργαστήριο
 - 1 ώρα (σε ορισμένες Διαλέξεις)
 - Εφαρμογές Αναγνώρισης Προτύπων σε MATLAB
- Εργασία (Project)
 - Προαιρετική
 - Bonus !!! στο Βαθμό (εως 3 μονάδες)

Εισαγωγή

- Οι υπολογιστές μπορούν να επιδείξουν αληθινή ευφυΐα ???

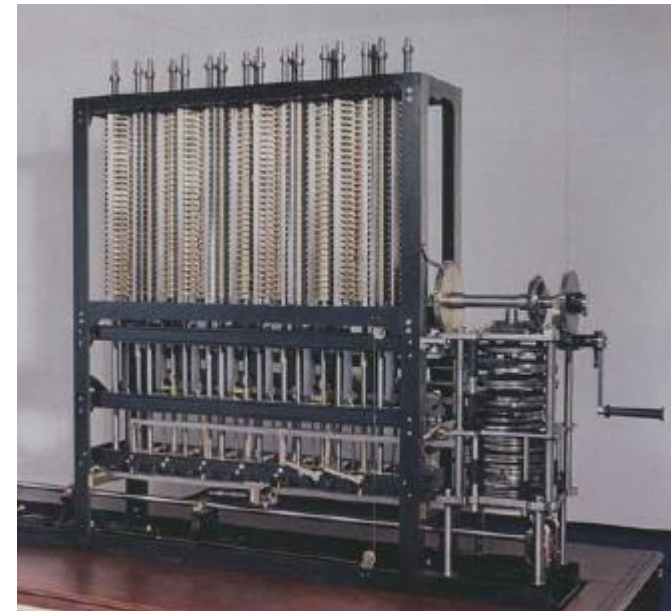


Εισαγωγή

- « Η Αναλυτική Μηχανή δεν έχει αξίωση για το από πού πηγάζει κάτι...Μπορεί να εκτελέσει οτιδήποτε εμείς γνωρίζουμε να τη διατάξουμε πώς να το εκτελέσει...»
Ada Lovelace, 1843



- Η παραπάνω άποψη αναφέρεται σχετικά με το σχεδιασμό ενός αρχικού, μηχανικού υπολογιστή που καλούνταν Αναλυτική Μηχανή (Analytical Engine)
- Η Lovelace συνήθως περιγράφεται σαν η πρώτη προγραμματίστρια υπολογιστή εξαιτίας της σημαντικής της διορατικότητας σχετικά με την Αναλυτική Μηχανή

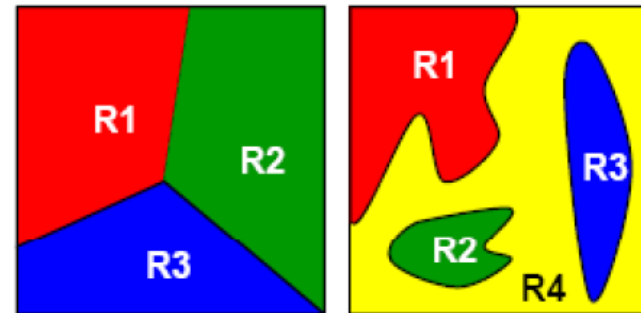
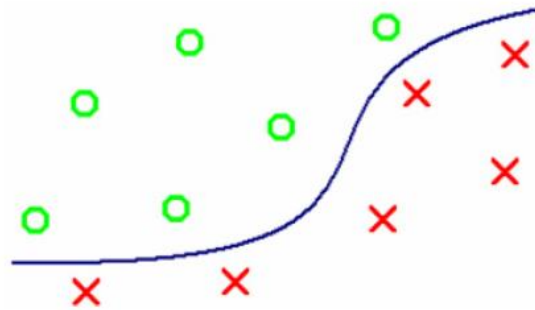


Εισαγωγή

- Αναγνώριση Προτύπων (Pattern Recognition)
 - η επιστήμη που προσπαθεί να αναγνωρίσει με αυτόματο τρόπο χρήσιμες κανονικότητες σε θορυβώδη και πολύπλοκα περιβάλλοντα.
 - η διαδικασία του να κάνουμε τους υπολογιστές να λειτουργούν «έξυπνα» σε δεδομένα εισόδου που περιέχουν μεγάλες διακυμάνσεις/ποικιλομορφία
- Ερευνητικό ενδιαφέρον
 - δεκαετία του 1960
 - πρώτη περίοδος ανάπτυξης της πληροφορικής και της τεχνητής νοημοσύνης.
- Ευφυείς οργανισμοί (πχ. Άνθρωπος)
 - έχουν την ικανότητα να ταυτοποιούν πραγματικά δεδομένα χρησιμοποιώντας τις αισθήσεις τους και την αντιληπτική τους ικανότητα προκειμένου να λάβουν τις κατάλληλες αποφάσεις
 - ώστε να **επιβιώσουν** στο περιβάλλον τους.
- Μηχανές (πχ. Υπολογιστής)
 - πρέπει να εκπαιδευθεί κατάλληλα ώστε να αναγνωρίζει πρότυπα (patterns) και να τα κατηγοριοποιεί αυτόματα σε κατηγορίες.

Αναγνώριση Προτύπων \Leftrightarrow Πρόβλημα Ταξινόμησης

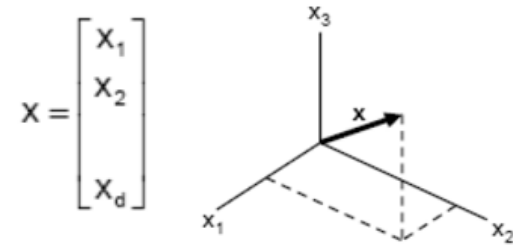
- Συνήθης προσέγγιση
 - υποθέτουμε ότι τα δεδομένα προς επεξεργασία χωρίζονται σε λογικές ομάδες (δείγματα) και καθένα από αυτά ανήκει σε μία από ένα καθορισμένο σύνολο πιθανών κλάσεων
- Παραδείγμα
 - Ιατρική διάγνωση κάποιας ασθένειας όπου οι 2 κλάσεις μπορεί να είναι “υγιής” και “ασθενής” και το δείγμα δεδομένων μπορεί να περιέχει όλα τα αποτελέσματα εργαστηριακών εξετάσεων για έναν ασθενή (π.χ., αρτηριακή πίεση, βάρος, ακτινογραφίες, κτλ...)
- Στόχος του υπολογιστή είναι
 - να επεξεργαστεί νέα δείγματα δεδομένων που δεν έχει ξαναδεί και να ταξινομήσει κάθε δείγμα σε μία (από πολλές πιθανές κλάσεις)



Εισαγωγή

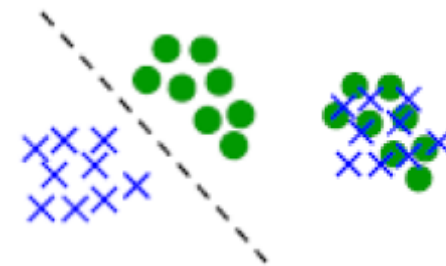
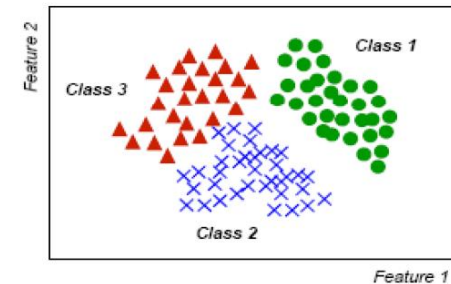
– Πρότυπο

- Πρότυπο είναι μία σύνθεση χαρακτηριστικών
- Κατά την ταξινόμηση το πρότυπο είναι ένα ζεύγος μεταβλητών $\{x, \omega\}$ όπου
 - $X \rightarrow$ μια συλλογή χαρακτηριστικών (feature vector)
 - $\Omega \rightarrow$ η έννοια της παρατήρησης (label)

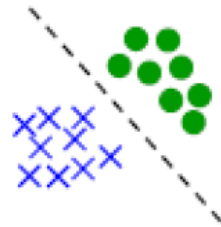


– Χαρακτηριστικά (feature)

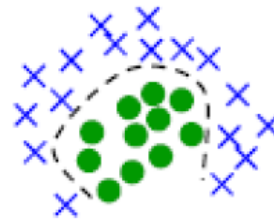
- Πρόκειται για μετρήσιμες ποσότητες που λαμβάνονται από τα προς ταξινόμηση αντικείμενα. Η διαδικασία της ταξινόμησης βασίζεται στις αντίστοιχες τιμές τους.
- Μπορεί να είναι συμβολικά (π.χ. χρώμα) ή αριθμητικά (π.χ. ύψος)
- Ο συνδυασμός κάποιων χαρακτηριστικών αποτελεί το διάνυσμα χαρακτηριστικών (feature vector)
- Ο n-διάστατος χώρος που ορίζεται από το feature vector ονομάζεται χώρος χαρακτηριστικών (feature space)
- Τι κάνει ένα διάνυσμα χαρακτηριστικών «καλό»?



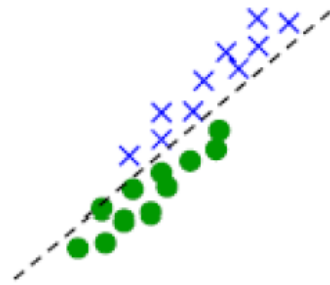
Διαχωρισμός Χαρακτηριστικών



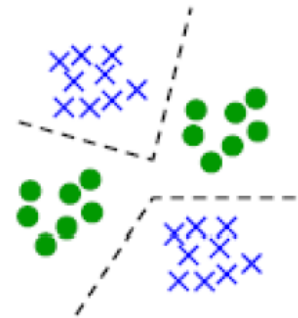
Γραμμικός διαχωρισμός



Μη-γραμμικός διαχωρισμός



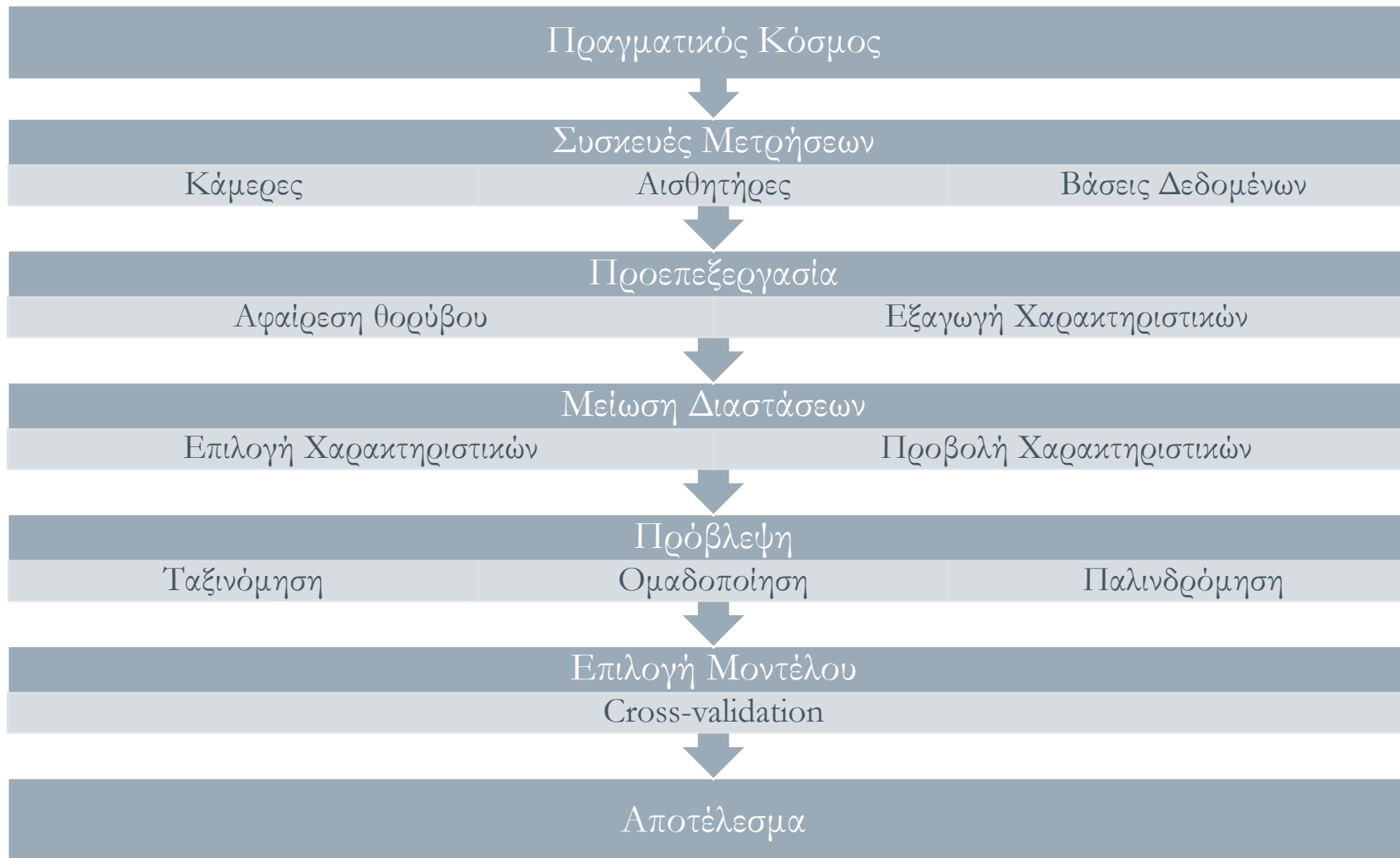
Υψηλός συσχετισμός



Πολυτροπικός

Συστήματα Αναγνώρισης Προτύπων

- Τυπική δομή ενός συστήματος ταξινόμησης προτύπων



Περιοχές Εφαρμογής Αναγνώρισης Προτύπων

- Υπολογιστική όραση (Computer vision)
- Αναγνώριση χαρακτήρων (Character recognition (OCR))
- Ιατρική διάγνωση υποβοηθούμενη από Η/Υ(Computer aided medical diagnosis)
- Αναγνώριση ομιλίας (Speech recognition)
- Αναγνώριση προσώπου (Face recognition)
- Ανάσυρση εικόνων από Βάσεις Δεδομένων (Image Data Base retrieval)
- Εξόρυξη δεδομένων (Data mining)
- Βιοπληροφορική (Bionformatics)

Το πρόβλημα:

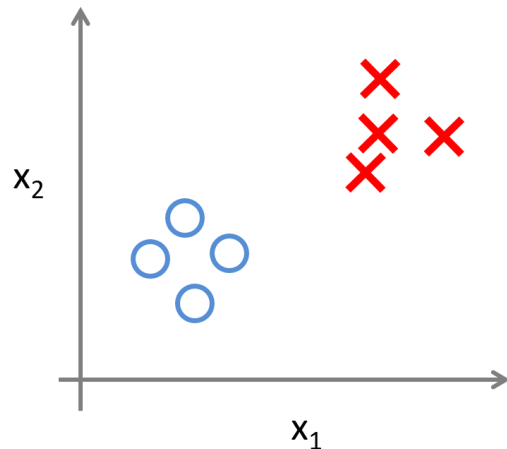
Καταχώρηση άγνωστων αντικειμένων – προτύπων – στη σωστή κατηγορία (κλάση).

Το πρόβλημα είναι γνωστό ως ταξινόμηση (classification).

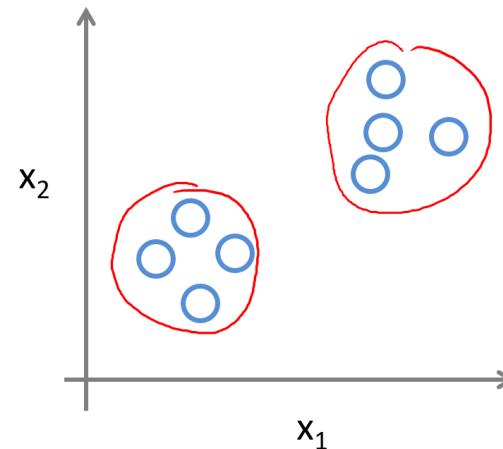
Βασικές Κατηγορίες Αναγνώρισης Προτύπων

- Με επίβλεψη (Supervised):
 - Γνωστός αριθμός κλάσεων (κατηγοριών)
 - Διαθέσιμα αντικείμενα για τα οποία είναι γνωστή η κλάση στην οποία ανήκουν.
- Χωρίς επίβλεψη (Unsupervised):
 - Άγνωστος αριθμός κλάσεων (γενικά).
 - Διαθέσιμα αντικείμενα για τα οποία δεν είναι γνωστή οποιαδήποτε πληροφορία σχετική με κλάση.

Supervised Learning



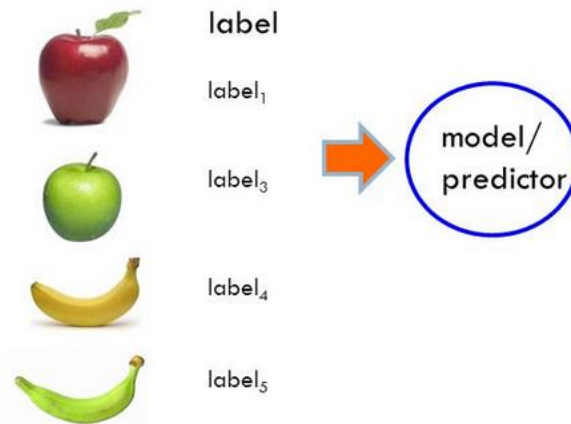
Unsupervised Learning



Βασικές Κατηγορίες Αναγνώρισης Προτύπων

- Με επίβλεψη (Supervised):
 - Γνωστός αριθμός κλάσεων (κατηγοριών)
 - Διαθέσιμα αντικείμενα για τα οποία είναι γνωστή η κλάση στην οποία ανήκουν.
- Χωρίς επίβλεψη (Unsupervised):
 - Άγνωστος αριθμός κλάσεων (γενικά).
 - Διαθέσιμα αντικείμενα για τα οποία δεν είναι γνωστή οποιαδήποτε πληροφορία σχετική με κλάση.

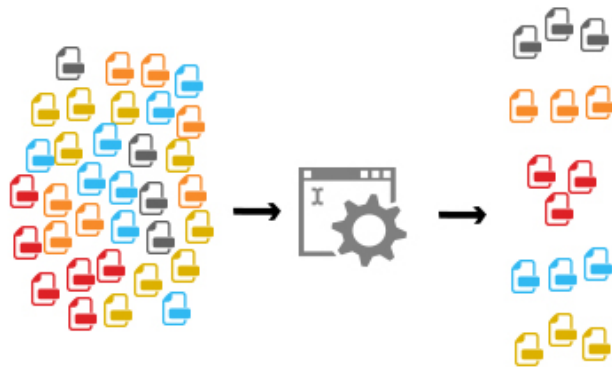
Supervised Learning



Βασικές Κατηγορίες Αναγνώρισης Προτύπων

- Με επίβλεψη (Supervised):
 - Γνωστός αριθμός κλάσεων (κατηγοριών)
 - Διαθέσιμα αντικείμενα για τα οποία είναι γνωστή η κλάση στην οποία ανήκουν.
- Χωρίς επίβλεψη (Unsupervised):
 - Άγνωστος αριθμός κλάσεων (γενικά).
 - Διαθέσιμα αντικείμενα για τα οποία δεν είναι γνωστή οποιαδήποτε πληροφορία σχετική με κλάση.

Unsupervised Learning



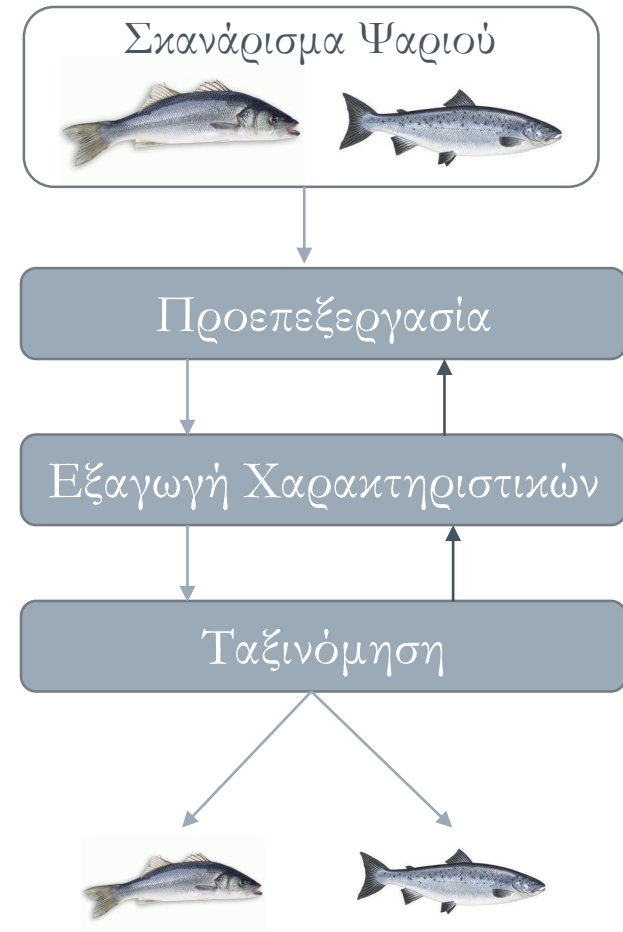
Αναγνώριση Προτύπων - Παράδειγμα

- “Ταξινόμηση ψαριών σε ένα ταινιόδρομο σύμφωνα με το είδος, με χρήση ενός οπτικού αισθητηρίου”

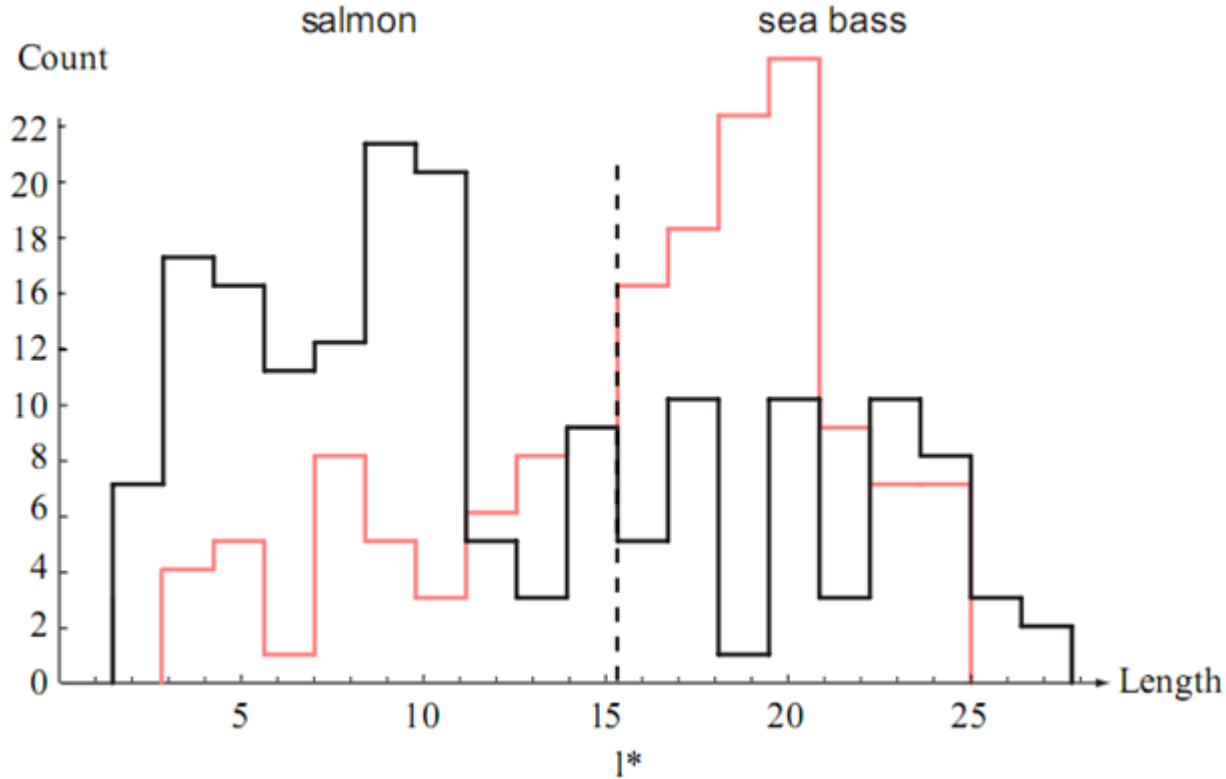


Ανάλυση του Προβλήματος

- Τοποθετούμε την κάμερα για την λήψη ορισμένου αριθμού εικόνων οι οποίες στέλνονται στον εξαγωγέα χαρακτηριστικών (feature extractor) ο οποίος ελαττώνει τα δεδομένα σε ένα μικρό αριθμό χαρακτηριστικών (features).
 - Μήκος
 - Φωτεινότητα
 - Πλάτος
 - Αριθμός και σχήμα των πτερυγίων
 - Θέση του στόματος, κτλ...
- Αυτό είναι ένα μικρό σύνολο ιδιοτήτων οι τιμές των οποίων δίδονται ως είσοδοι στη μονάδα του ταξινομητή (classifier).

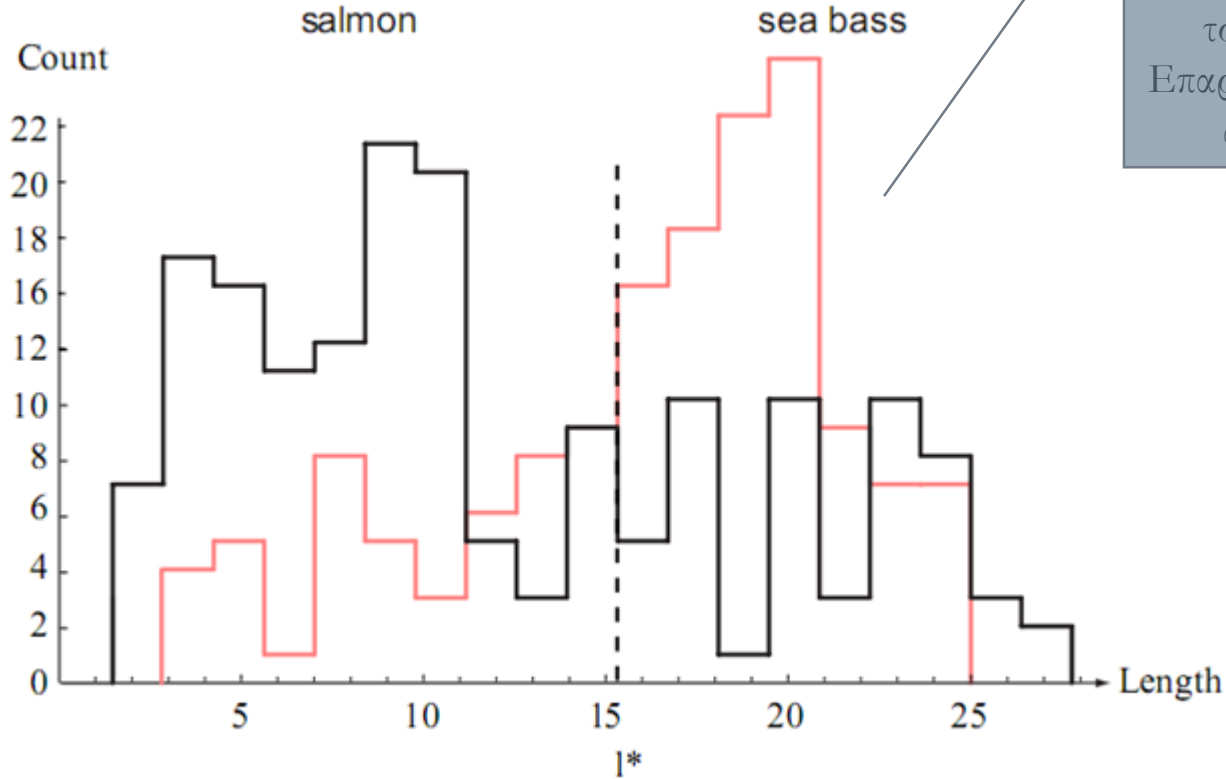


Ιστογράμμα Μήκους



- Ιστογράμματα του μήκους για τις δύο κατηγορίες.
- Δεν υπάρχει μία κρίσιμη τιμή μήκους που να μπορεί να διαχωρίζει ξεκάθαρα τις δύο κατηγορίες.
- Η χρήση μόνο του μήκους δημιουργεί σφάλματα.
- Η τιμή l^* δημιουργεί το μικρότερο αριθμό λαθών κατά μέσο όρο.

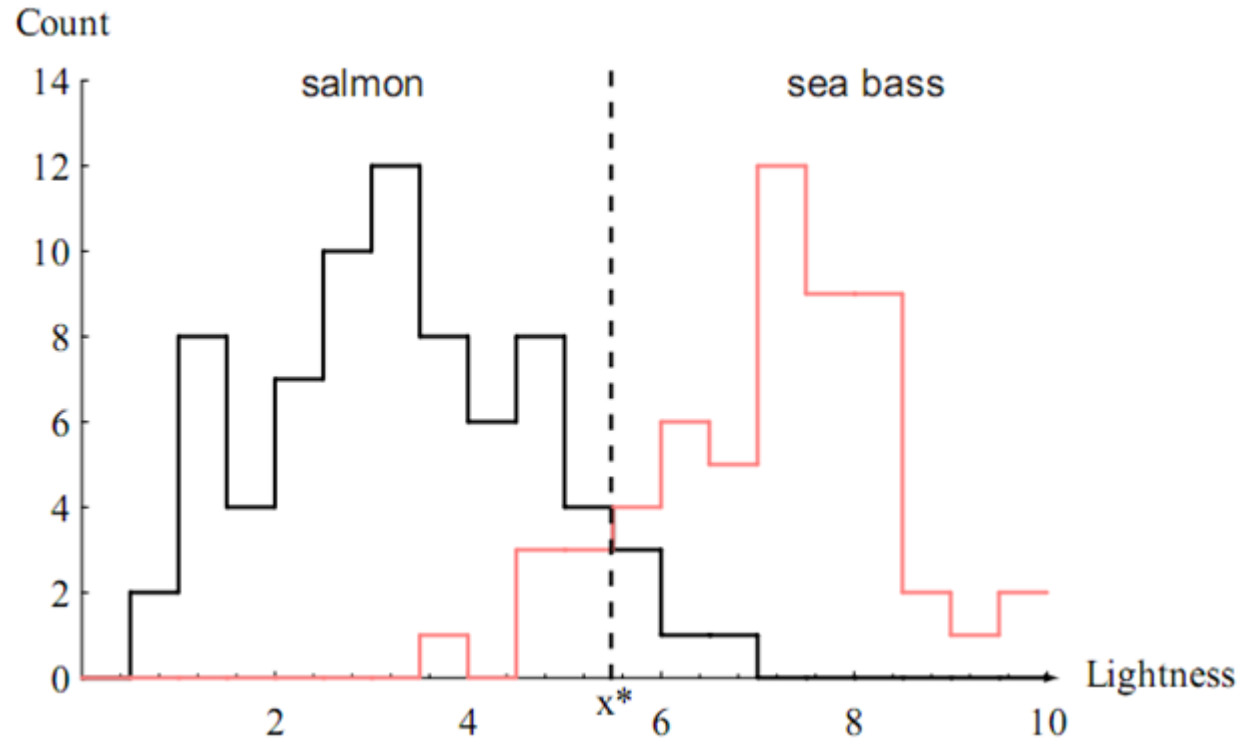
Ιστογράμμα Μήκους



Είναι εμφανές ότι από μόνο του το μήκος δεν είναι επαρκές χαρακτηριστικό για ακριβή ταξινόμηση.

- Ιστογράμματα του μήκους για τις δύο κατηγορίες.
- Δεν υπάρχει μία κρίσιμη τιμή μήκους που να μπορεί να διαχωρίζει ξεκάθαρα τις δύο κατηγορίες.
- Η χρήση μόνο του μήκους δημιουργεί σφάλματα.
- Η τιμή l^* δημιουργεί το μικρότερο αριθμό λαθών κατά μέσο όρο.

Ιστογράμμο Φωτεινότητας



- Ιστογράμμοτα της φωτεινότητας για τις δύο κατηγορίες.
- Όπως και στην περίπτωση χρήσης του μήκους, δεν υπάρχει μία κρίσιμη τιμή φωτεινότητας που να μπορεί να διαχωρίζει ξεκάθαρα τις δύο κατηγορίες.
- Η τιμή I^* δημιουργεί το μικρότερο αριθμό λαθών κατά μέσο όρο.

Έννοια του Κόστους

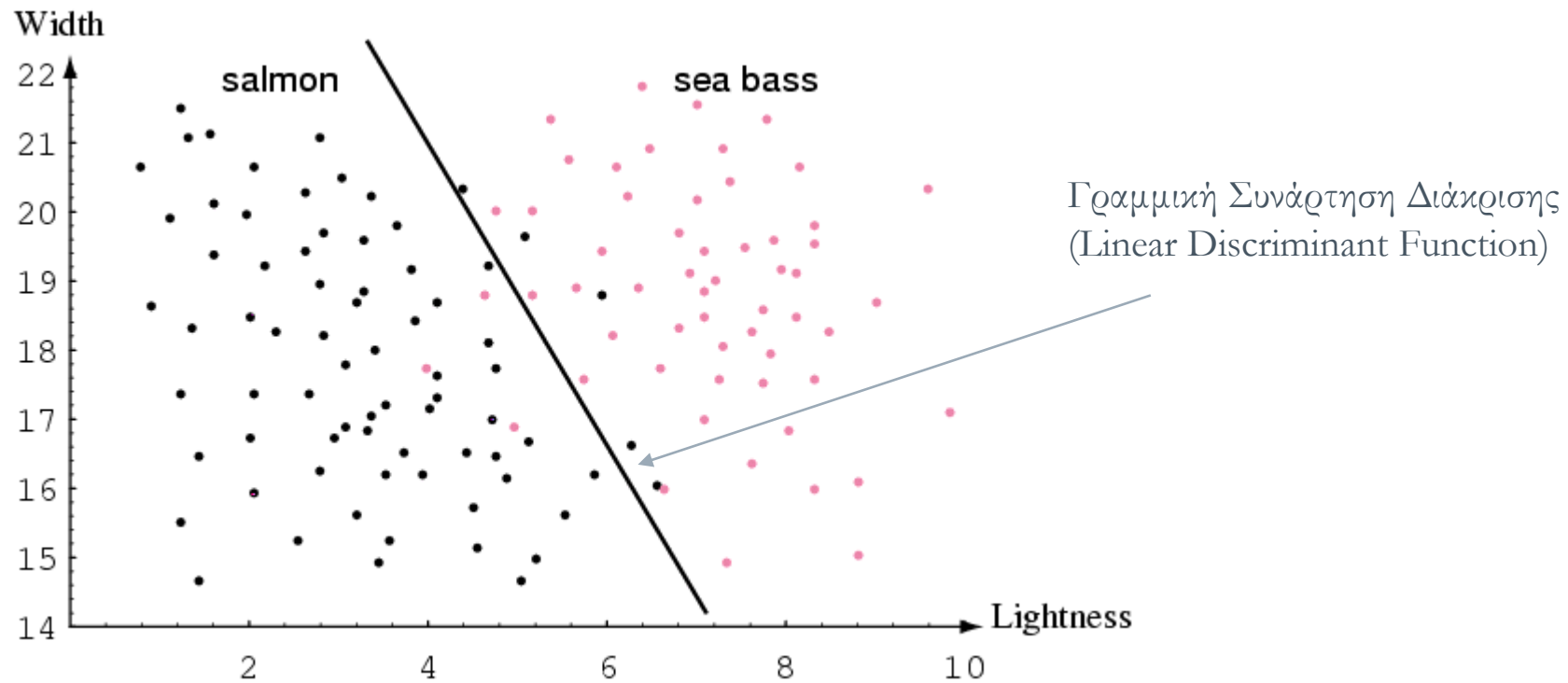
- Εμφανής η σχέση μεταξύ της επιλογής της κρίσιμης τιμής (threshold) και του κόστους της λάθος ταξινόμησης.
- Στον πραγματικό κόσμο, διαφορετικά λάθη συνδέονται με διαφορετικά κόστη.
- Στο πρόβλημα διαχωρισμού σολομού από λαβράκι, το κόστος λανθασμένης ταξινόμησης λαβρακίου ως σολομού είναι μεγαλύτερο από αυτό της λανθασμένης ταξινόμησης σολομού ως λαβρακίου!
- Συνεπώς μετακίνησε το σύνορο απόφασης σε πιο χαμηλές τιμές (μήκους ή φωτεινότητας), ώστε να μειωθεί ο αριθμός των λαβρακίων που λανθασμένα ταξινομούνται ως σολομοί!!
- Αυτό είναι δουλειά της Στατιστικής Θεωρίας Αποφάσεων (Decision Theory).

Διάνυση Χαρακτηριστικών

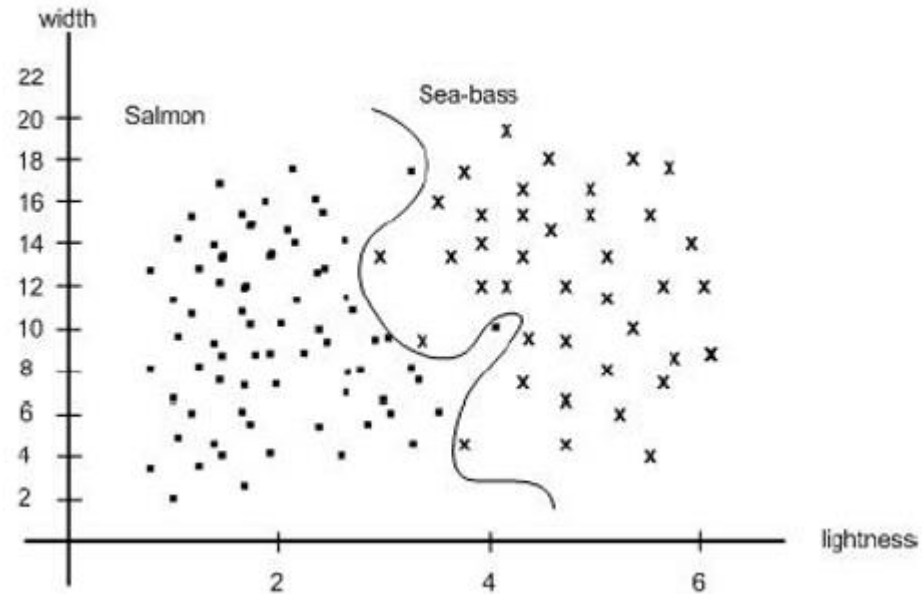
- Χρήση φωτεινότητας και μήκους για ταξινόμηση:

$$\Psi\acute{\alpha}\rho\iota \rightarrow X^T = [X_1, X_2]$$

↙ ↘
Φωτεινότητα Μήκος

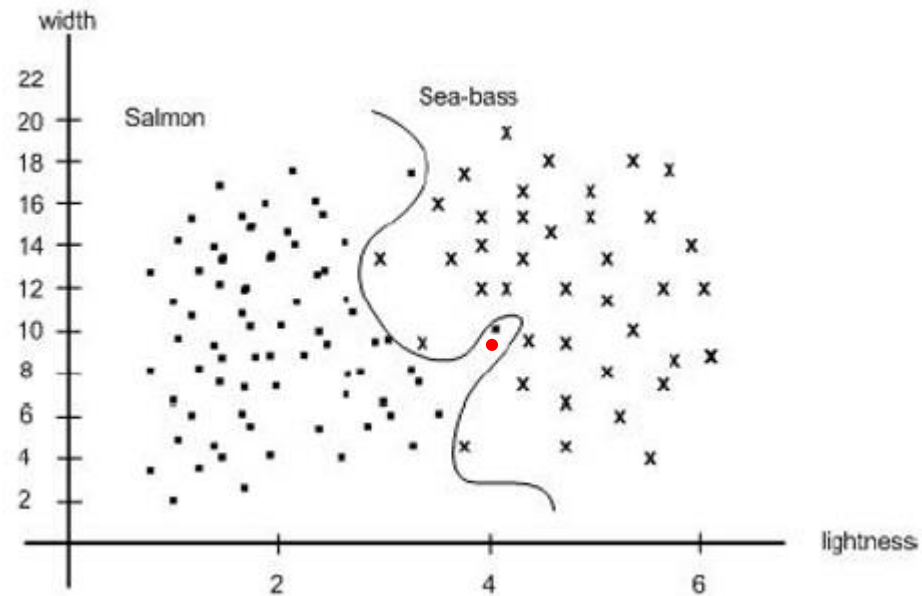


Μη-γραμμικές Συναρτήσεις Διάκρισης



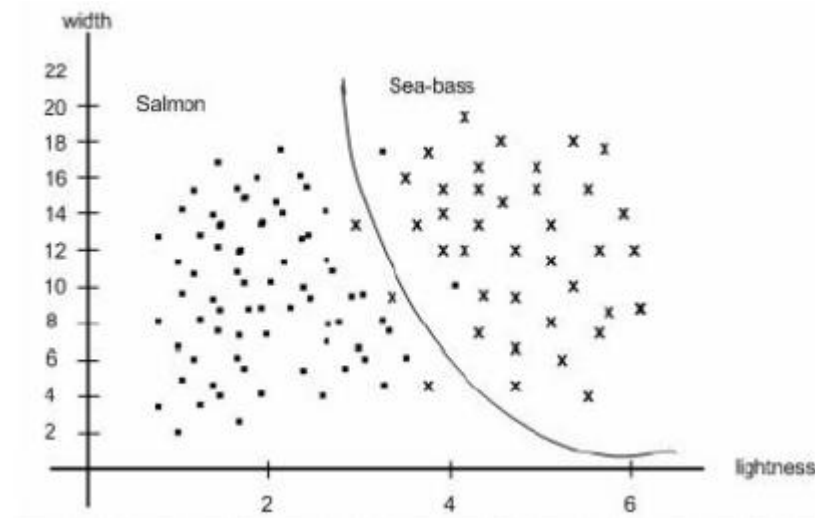
- Σύνθετα μοντέλα για το ψάρι οδηγούν σε περίπλοκα σύνορα απόφασης:
- Μία τέτοια επιλογή βασίζεται και οδηγεί σε τέλεια ταξινόμηση των δειγμάτων με εκ των προτέρων γνωστή κλάση (που εκπαιδεύουν τον ταξινομητή) αλλά μπορεί να οδηγεί σε κακή ταξινόμηση νέων προτύπων.

Μη-γραμμικές Συναρτήσεις Διάκρισης



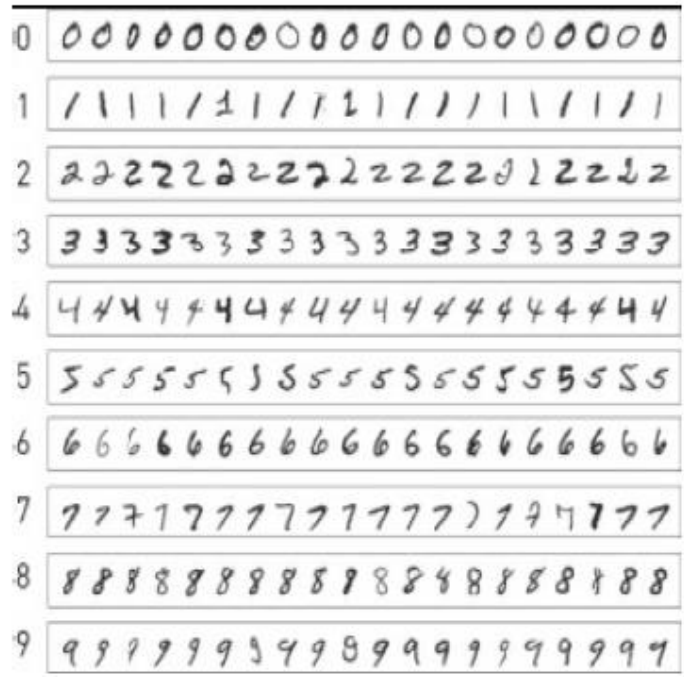
- Π.χ., το νέο σημείο ?
 - Είναι προφανώς λαβράκι με μεγάλη πιθανότητα, αλλά η συνάρτηση διάκρισης οδηγεί στην ταξινόμησή του ως σολομός.
- **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ**
 - Η τέλεια ταξινόμηση στο σύνολο εκπαίδευσης (training set) δεν είναι απαραίτητα καλή!

Γενίκευση της Σχεδίασης του Ταξινομητή



- Η συνάρτηση διάκρισης πρέπει να συμβιβάζει την ανάγκη για όσο το δυνατό καλύτερη ταξινόμηση των δειγμάτων εκπαίδευσης του συστήματος με την ανάγκη για απλούς ταξινομητές.
- Ακολουθώντας αυτήν την αρχή πετυχαίνουμε την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια στην ταξινόμηση νέων δειγμάτων

Παραδείγμα - Αναγνώριση χειρόγραφων ψηφίων...



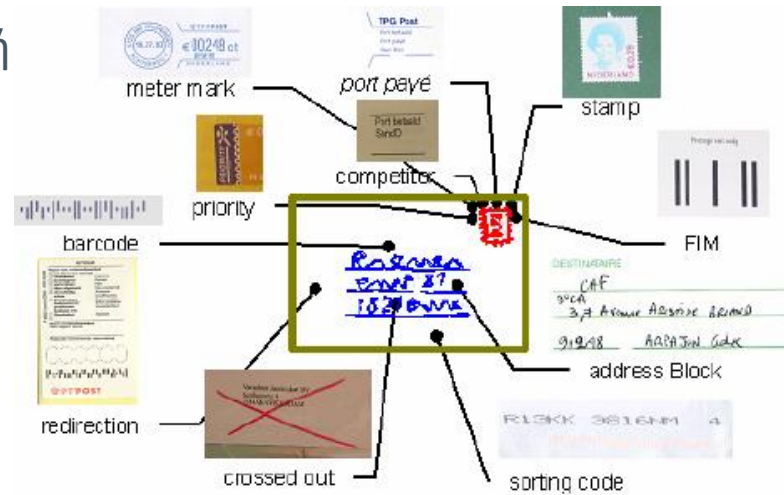
- Υπάρχουν ακριβώς 10 κλάσεις στο πρόβλημα αυτό: τα ψηφία 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, και 9
- Η αναγνώριση των χειρόγραφων ψηφίων συνίσταται στην ταξινόμηση δειγμάτων χειρόγραφων ψηφίων σε μία από αυτές τις 10 κλάσεις

Παραδείγματα - Αναγνώριση χειρόγραφων ψηφίων...

0	00000000000000000000
1	11111111111111111111
2	22222222222222222222
3	33333333333333333333
4	44444444444444444444
5	55555555555555555555
6	66666666666666666666
7	77777777777777777777
8	88888888888888888888
9	99999999999999999999

54148527411280980424
00840707237666373332
49762124958432569491
1198677249377006849
92347118416254517497
22988185671888972122
14867668460905650918
33519346923999573267
12300019781312726886
47304263020001414749
33316934920731113978
58077346251114366178
36714111701024485843
67766179572225098748
10938019147036449491
75800436593334815126
26027930170511054355
80918213184442427171
67413057036675324121
96171042325553692040

Εφαρμογή



- Πρόβλημα με μεγάλη πρακτική σημασία αφού η ταχυδρομική αλληλογραφία αποστέλλεται με βάση αριθμητικούς ταχυδρομικούς κωδικούς...
- αν ένας υπολογιστής μπορεί πολύ γρήγορα και με ακρίβεια να αναγνωρίσει τους ταχυδρομικούς κωδικούς, η αλληλογραφία μπορεί να ταξινομηθεί από μηχανές πολύ αποδοτικότερα από ό,τι από ανθρώπους...

Μάθηση με εκπαίδευση

- Οι υπολογιστές δεν μπορούν να γνωρίζουν πώς μοιάζει κάθε χειρόγραφο ψηφίο...
- Πρέπει να κάνουμε έναν υπολογιστή να “μάθει” αυτόματα πώς να ταξινομεί δείγματα...
 - Δίνουμε στον υπολογιστή μεγάλο πλήθος δεδομένων με ετικέτες, δηλ., δείγματα που έχουν ήδη κατηγοριοποιηθεί
 - Επειδή κάθε δείγμα έχει ετικέτα (δηλ., την κλάση του), ο υπολογιστής μπορεί να χρησιμοποιήσει διάφορες τεχνικές ανάλυσης για να εξάγει χαρακτηριστικά από κάθε κλάση
 - Όταν λάβει μη ταξινομημένα δεδομένα, ο υπολογιστής μπορεί να μαντέψει την κλάση τους επιλέγοντας αυτήν της οποίας τα χαρακτηριστικά μοιάζουν περισσότερο με αυτά των μη ταξινομημένων δεδομένων ...
- Η διαδικασία μάθησης των χαρακτηριστικών κάθε κλάσης καλείται “εκπαίδευση (training)” και τα ταξινομημένα δεδομένα καλούνται “δεδομένα εκπαίδευσης (training data)”

0	00000000000000000000
1	11111111111111111111
2	22222222222222222222
3	33333333333333333333
4	44444444444444444444
5	55555555555555555555
6	66666666666666666666
7	777177777177717771777
8	88888888888888888888
9	99999999999999999999

Φάσεις αναγνώρισης προτύπων

– Με λίγα λόγια, οι εργασίες αναγνώρισης προτύπων χωρίζονται σε δύο φάσεις:

I. Φάση εκπαίδευσης

- ✓ κατά την οποία ο υπολογιστής μαθαίνει για τις κλάσεις από δεδομένα εκπαίδευσης που φέρουν ετικέτες (δηλ., που έχουν κατηγοριοποιηθεί)

II. Φάση ταξινόμησης

- ✓ κατά την οποία ο υπολογιστής ταξινομεί νέα δείγματα δεδομένων χωρίς ετικέτες

0	00000000000000000000
1	11111111111111111111
2	22222222222222222222
3	33333333333333333333
4	44444444444444444444
5	55555555555555555555
6	66666666666666666666
7	77777777777777777777
8	88888888888888888888
9	99999999999999999999

5	4	1	4	8	5	2	7	8	2	1	2	8	0	9	8	0	1	2	4
0	0	8	4	0	7	0	7	2	3	1	6	6	6	3	7	3	3	3	2
4	9	7	6	2	1	2	4	9	5	8	4	3	2	9	6	9	4	9	1
1	1	9	0	6	7	7	2	4	9	3	7	7	7	0	0	6	8	4	9
9	1	3	4	7	1	1	8	4	1	6	2	5	9	5	9	7	9	9	7
2	2	9	5	8	1	8	5	6	7	1	8	8	8	9	7	2	1	2	2
1	4	8	6	3	6	6	8	4	6	0	9	0	5	6	5	0	9	1	8
3	3	5	1	9	3	4	6	9	2	3	9	9	9	5	7	3	2	6	7
1	2	3	0	0	0	1	7	8	1	3	1	7	2	5	8	8	6		
4	7	3	0	4	2	6	3	0	2	0	0	0	1	4	1	4	7	4	9
3	3	3	1	6	9	3	4	9	2	0	7	3	1	1	1	3	9	7	2
5	8	0	7	7	3	4	6	2	5	1	1	1	4	3	6	6	1	7	2
3	6	7	1	4	1	3	1	9	0	1	0	2	4	8	5	8	4	3	
6	9	4	6	6	1	9	9	5	7	2	2	2	5	0	9	8	7	4	8
1	0	9	3	8	0	9	1	4	7	0	3	6	4	4	9	4	9	1	
7	5	8	0	0	4	3	6	5	9	3	3	3	4	8	1	5	1	2	6
2	6	0	2	7	9	3	0	9	7	0	5	6	1	0	5	4	3	5	
8	0	9	1	8	2	9	3	1	8	4	4	4	2	4	2	7	1	7	1
6	7	4	1	3	0	5	7	0	3	6	6	7	5	3	2	4	1	2	1
9	6	1	7	1	0	4	2	3	2	5	5	5	3	6	9	2	0	4	0