



ΚΕΣ 03 – Αναγνώριση προτύπων και ανάλυση εικόνας

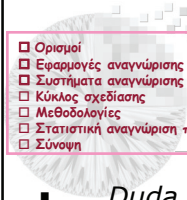


Εισαγωγή στα συστήματα αναγνώρισης προτύπων

Νικόλας Τσαπατσούλης

Επίκουρος Καθηγητής Π.Δ.407/80
Τμήμα Επιστήμη και Τεχνολογίας
Τηλεπικοινωνιών

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου



- Ορισμοί
- Εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων
- Συστήματα αναγνώρισης προτύπων
- Κύκλος σχεδίασης
- Μεθοδολογίες
- Στατιστική αναγνώριση προτύπων
- Σύνοψη

Βιβλιογραφία Ενότητας



- *Duda [2004]: Chapter 1*
- *Theodoridis [2006]: Chapter 1*
- *Bow [2002]: Chapter 1*
- *Introduction to Pattern Recognition, Godfried Toussaint, School of Computer Science, McGill University McConnell.*
- *Statistical Pattern Recognition: A Review, Anil Jain, Michigan State University.*

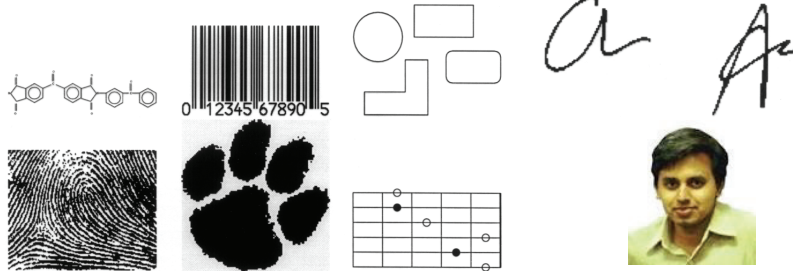
- ★ Ορισμοί
- ☐ Εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων
- ☐ Συστήματα αναγνώρισης προτύπων
- ☐ Κύκλος σχεδίασης
- ☐ Μεθοδολογίες
- ☐ Στατιστική αναγνώριση προτύπων
- ☐ Σύνοψη

Εισαγωγή - Ορισμοί



- **Πρότυπο** ονομάζουμε την ποσοτική ή δομική περιγραφή ενός αντικειμένου (π.χ. εξάρτημα ενός αυτοκινήτου) ή μιας οντότητας ενδιαφέροντος (π.χ. οικονομικοί δείκτες μιας χώρας)

- Παραδείγματα προτύπων:



- **Κλάση προτύπου ή κατηγορία** ονομάζουμε ένα σύνολο προτύπων τα οποία μοιράζονται κάποιες κοινές ιδιότητες (π.χ. χειρόγραφες αναπαραστάσεις του γράμματος 'α').

© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

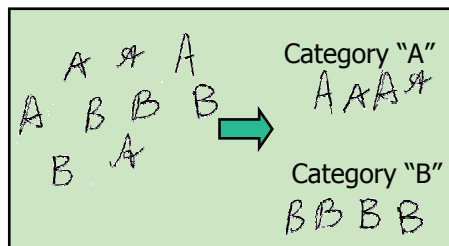
- ★ Ορισμοί
- ☐ Εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων
- ☐ Συστήματα αναγνώρισης προτύπων
- ☐ Κύκλος σχεδίασης
- ☐ Μεθοδολογίες
- ☐ Στατιστική αναγνώριση προτύπων
- ☐ Σύνοψη

Εισαγωγή - Ορισμοί (II)

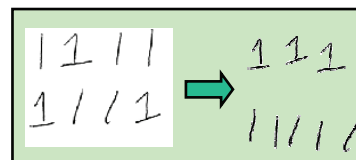


- **Αναγνώριση προτύπου:**

- Ταυτοποίηση προτύπου ως μέλος μιας κατηγορίας που ήδη γνωρίζουμε ή με την οποία είμαστε ήδη εξοικειωμένοι
- Ταξινόμηση (γνωστές κατηγορίες - ετικέτες κατηγοριών)
- Ομαδοποίηση (δημιουργία νέων κατηγοριών)



Ταξινόμηση



Ομαδοποίηση

© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- ★ Ορισμοί
- ☐ Εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων
- ☐ Συστήματα αναγνώρισης προτύπων
- ☐ Κύκλος σχεδίασης
- ☐ Μεθοδολογίες
- ☐ Στατιστική αναγνώριση προτύπων
- ☐ Σύνοψη

Εισαγωγή - Ορισμοί (III)



- Αναγνώριση προτύπων:
 - Δεδομένου ενός προτύπου στην είσοδο πάρε μια απόφαση σχετικά με τη κατηγορία ή κλάση στην οποία ανήκει το πρότυπο
- Η αναγνώριση προτύπων είναι μια πολύ ευρεία περιοχή με πολλές εφαρμογές. Στο πλαίσιο του μαθήματος θα εξετάσουμε την αναγνώριση προτύπων ως το τελικό στάδιο ανάλυσης εικόνων για την ταξινόμηση οπτικών αναπαραστάσεων από αντικείμενα.

- ★ Ορισμοί
- ☐ Εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων
- ☐ Συστήματα αναγνώρισης προτύπων
- ☐ Κύκλος σχεδίασης
- ☐ Μεθοδολογίες
- ☐ Στατιστική αναγνώριση προτύπων
- ☐ Σύνοψη

Κατηγορίες ή κλάσεις προτύπων



- Κατηγορία ή κλάση προτύπου: Μια συλλογή από «παρόμοια» (όχι υποχρεωτικά ίδια) αντικείμενα ή οντότητες
 - Μια κατηγορία ορίζεται από ένα σύνολο από δείγματα (paradigms, exemplars, prototypes)
- Μοντέλο μιας κατηγορίας προτύπων είναι συνήθως μια μαθηματική περιγραφή του πληθυσμού των δειγμάτων της κατηγορίας που την απαρτίζουν
 - Η ταξινόμηση ενός προτύπου εισόδου γίνεται με την εύρεση του μοντέλου με το οποίο ταυτίζεται σε μεγαλύτερο βαθμό.
- Δυο βασικά ζητήματα τα οποία άπτονται της αποτελεσματικότητας στην ταξινόμηση προτύπων
 - Εντός-κλάσης διακύμανση
 - Διακύμανση μεταξύ κλάσεων

- ★ Ορισμοί
- Εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων
- Συστήματα αναγνώρισης προτύπων
- Κύκλος σχεδίασης
- Μεθοδολογίες
- Στατιστική αναγνώριση προτύπων
- Σύνοψη

Εντός-κλάσης διακύμανση



Το γράμμα "Τ" σε διάφορες εκτυπώσεις



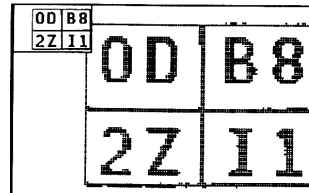
Ίδιο πρόσωπο σε διαφορετικές εκφράσεις και πόζες

- ★ Ορισμοί
- Εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων
- Συστήματα αναγνώρισης προτύπων
- Κύκλος σχεδίασης
- Μεθοδολογίες
- Στατιστική αναγνώριση προτύπων
- Σύνοψη

Ομοιότητα μεταξύ κλάσεων



Ομοζυγωτικοί δίδυμοι



Χαρακτήρες οι οποίοι μοιάζουν

ΚΕΣ Ο6: Αναγνώριση προτύπων και ανάλυση εικόνας

- Ορισμοί
- ★ Εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων
- Συστήματα αναγνώρισης προτύπων
- Κύκλος σχεδίασης
- Μεθοδολογίες
- Στατιστική αναγνώριση προτύπων
- Σύνοψη

Εφαρμογές συστημάτων αναγνώρισης προτύπων



Πρόβλημα	Είσοδος	Έξοδος
Αναγνώριση ομιλίας	Κυματομορφές ομιλίας	Λέξεις, ταυτότητα ομιλητή
Μη καταστροφικός έλεγχος	Υπέρηχος, δινορεύματα, ακτινοβολία ακουστικών κυματομορφών	Παρουσία / απουσία ελαττώματος, τύπος βλάβης
Εντοπισμός και ανίχνευση ασθένειας	EKG, EEG κυματομορφές	Τύποι καρδιακών συνθηκών, κλάσεις εγκεφαλικών συνθηκών
Ταυτοποίηση φυσικών πόρων	Πολυφασματικές εικόνες	Μορφολογία εδάφους, βλάστηση
Εξερεύνηση από αέρα	Εικόνικες οπτικού φασματος, υπέρυθρες, εικόνες από ραντάρ	Εντοπισμός αρμάτων μάχης, αεροδρομίων κλπ.
Αναγνώριση χαρακτήρων (αναγνώστες σελίδων, κωδικών zip, πινακίδων)	Εικόνα από οπτική σάρωση (σκαννάρισμα)	Αλφαριθμητικοί χαρακτήρες

© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

ΚΕΣ Ο6: Αναγνώριση προτύπων και ανάλυση εικόνας

- Ορισμοί
- ★ Εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων
- Συστήματα αναγνώρισης προτύπων
- Κύκλος σχεδίασης
- Μεθοδολογίες
- Στατιστική αναγνώριση προτύπων
- Σύνοψη

Εφαρμογές συστημάτων αναγνώρισης προτύπων (II)



Πρόβλημα	Είσοδος	Έξοδος
Αναγνώριση και καταμέτρηση κυττάρων	Διαφάνειες δειγμάτων αίματος, μικρο-τμήματα κυτταρικών ιστών	Είδος κυττάρων
Επιθεώρηση – έλεγχος (πλακέτες PC, πρωτότυπα ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, textiles)	Σαρωμένη (σκανναρισμένη) εικόνα (ορατό, υπέρυθρο φάσμα)	Αποδεκτό / μη αποδεκτό
Κατασκευές	3-D εικόνες (δομημένου φωτός, laser, στέρεο)	Αναγνώριση αντικειμένων, στάσης, συναρμολόγηση
Αναζήτηση στο παγκόσμιο ιστό (Web)	Λέξεις κλειδιά ορισμένες από το χρήστη	Κείμενο συσχετισμένο με τις επιθυμίες του χρήστη
Ταυτοποίηση δακτυλικών αποτυπωμάτων	Εικόνες από αισθητήρες σύλληψης αποτυπωμάτων	Κάτοχος αποτυπώματος, κατηγορία
Αναγνώριση χειρογράφων	Σκανναρισμένη εικόνα από χειρόγραφο	Λέξεις / κείμενο

© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- ☑ Ορισμοί
- ☑ Εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων
- ★ Συστήματα αναγνώρισης προτύπων
- ☐ Κύκλος σχεδίασης
- ☐ Μεθοδολογίες
- ☐ Στατιστική αναγνώριση προτύπων
- ☐ Σύνοψη

Συστήματα αναγνώρισης προτύπων

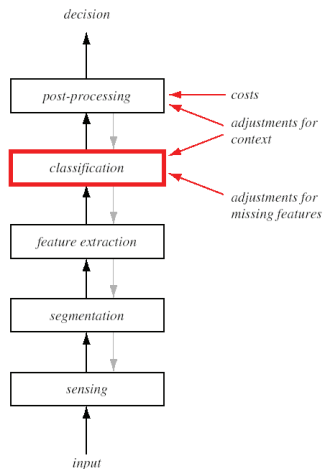


FIGURE 1.7. Many pattern recognition systems can be partitioned in such as the ones shown here. A sensor converts images or sounds or inputs into signal data. The segmentor isolates sensed objects from the from other objects. A feature extractor measures object properties that classification. The classifier uses these features to assign the sensed of gory. Finally, a post processor can take account of other considerator effects of context and the costs of errors, to decide on the appropriate ac this description stresses a one-way or “bottom-up” flow of data, some s feedback from higher levels back down to lower levels (gray arrows). Frc Duda, Peter E. Hart, and David G. Stork, *Pattern Classification*. Copyrig John Wiley & Sons, Inc.

© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- ☑ Ορισμοί
- ☑ Εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων
- ☑ Συστήματα αναγνώρισης προτύπων
- ★ Κύκλος σχεδίασης
- ☐ Μεθοδολογίες
- ☐ Στατιστική αναγνώριση προτύπων
- ☐ Σύνοψη

Συστήματα αναγνώρισης προτύπων (II)

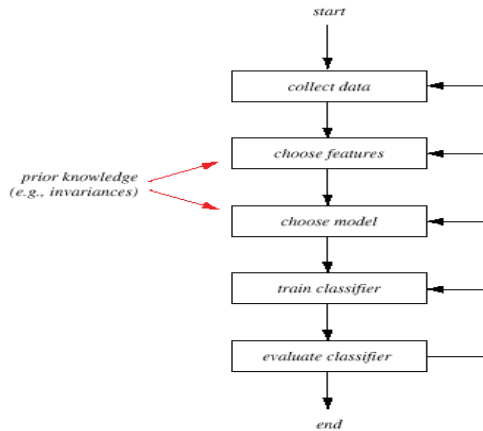


- Καταγραφή (Sensing)
 - Χρήση μετατροπέα (π.χ. κάμερα ή μικρόφωνο)
 - Τα συστήματα αναγνώρισης προτύπων εξαρτώνται από εύρος ζώνης, τη διακριτική ικανότητα και την ευαισθησία του μετατροπέα
- Κατάτμηση και ομαδοποίηση (Segmentation and grouping)
 - Τα πρότυπα πρέπει να είναι καλά διαχωριζόμενα και μη επικαλυπτόμενα
- Εξαγωγή χαρακτηριστικών
 - Χαρακτηριστικά με διακριτική ικανότητα
 - Χαρακτηριστικά αμετάβλητα σε μετατόπιση, στροφή και αλλαγή κλίμακας του αντικειμένου.
- Ταξινόμηση
 - Κατηγοριοποίηση του προτύπου με βάση το διάνυσμα χαρακτηριστικών του
- Μετεπεξεργασία
 - Εκμετάλλευση πληροφοριών σχετικών με συγκεκριμένο (context), π.χ., πεδίο εφαρμογής, συνθήκες καταγραφής, για βελτίωση της απόδοσης του συστήματος ταξινόμησης

© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- ☑ Ορισμοί
- ☑ Εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων
- ☑ Συστήματα αναγνώρισης προτύπων
- ★ Κύκλος σχεδίασης
- ☐ Μεθοδολογίες
- ☐ Στατιστική αναγνώριση προτύπων
- ☐ Σύνοψη

Σχεδίαση συστημάτων αναγνώρισης προτύπων



Η σχεδίαση συστημάτων αναγνώρισης προτύπων περιλαμβάνει τα κάτωθι στάδια:

- Συλλογή δεδομένων
- Επιλογή χαρακτηριστικών
- Επιλογή μοντέλου για την αναπαράσταση των στατιστικών ιδιοτήτων των χαρακτηριστικών
- Εκπαίδευση
- Αξιολόγηση επίδοσης
- Μείωση της υπολογιστικής πολυπλοκότητας

© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- ☑ Ορισμοί
- ☑ Εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων
- ☑ Συστήματα αναγνώρισης προτύπων
- ★ Κύκλος σχεδίασης
- ☐ Μεθοδολογίες
- ☐ Στατιστική αναγνώριση προτύπων
- ☐ Σύνοψη

Σχεδίαση συστημάτων αναγνώρισης προτύπων (II)



- Συλλογή δεδομένων
 - Πως μπορούμε να μάθουμε αν έχουμε συλλέξει ικανό αριθμό δεδομένων και αντιπροσωπευτικά δείγματα για την εκπαίδευση και αξιολόγηση του συστήματος
- Επιλογή χαρακτηριστικών
 - Εξαρτάται από τις ιδιαιτερότητες του προβλήματος. Επιθυμητές ιδότητες είναι η ευκολία εξαγωγής, ανεξαρτησία από μετασχηματισμού, αναισθησία σε θόρυβο.
- Επιλογή μοντέλου
 - Μοντελοποίηση με διαφορετικά χαρακτηριστικά, διαφορετικές μεθοδολογίες (π.χ. συντακτική ή στατιστική) κλπ.
- Εκπαίδευση
 - Χρήση παραδειγμάτων για την εκτίμηση των παραμέτρων του ταξινομητή

© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- Ορισμοί
- Εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων
- Συστήματα αναγνώρισης προτύπων
- Κύκλος σχεδίασης
- Μεθοδολογίες
- Στατιστική αναγνώριση προτύπων
- Σύνοψη

Σχεδίαση συστημάτων αναγνώρισης προτύπων (III)



- Αξιολόγηση επίδοσης
 - Μέτρηση του σφάλματος ταξινόμησης σε ένα σύνολο δεδομένων ελέγχου - Αλλαγή του συνόλου των χαρακτηριστικών που χρησιμοποιούνται αν χρειαστεί.
- Μείωση της υπολογιστικής πολυπλοκότητας
 - Ποιο είναι το κόστος της αυξημένης αποτελεσματικότητας σε σχέση με την υπολογιστική πολυπλοκότητα;
 - Πως συμπεριφέρεται ο αλγόριθμος σε αλλαγή στον αριθμό των χαρακτηριστικών, προτύπων ή κατηγοριών;

- Ορισμοί
- Εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων
- Συστήματα αναγνώρισης προτύπων
- Κύκλος σχεδίασης
- Μεθοδολογίες
- Στατιστική αναγνώριση προτύπων
- Σύνοψη

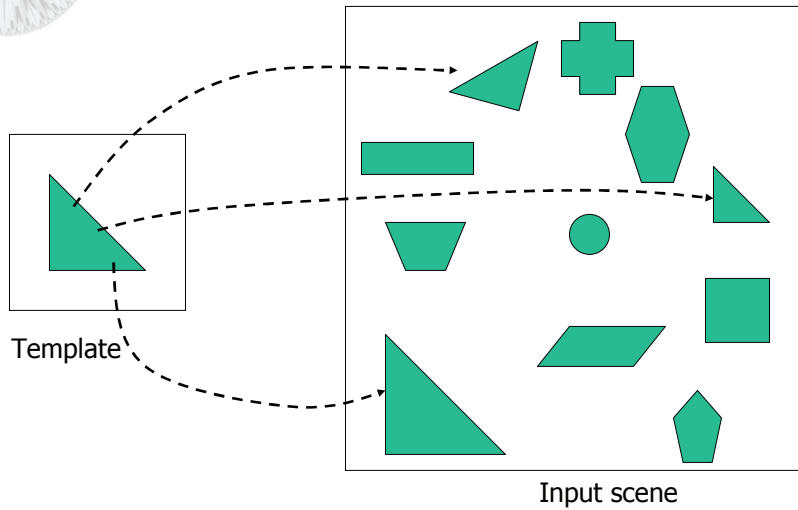
Μεθοδολογίες αναγνώρισης προτύπων



- Ταύτιση με υπόδειγμα (template matching)
- Στατιστική (ή γεωμετρική) προσέγγιση
- Συντακτική (ή δομική) προσέγγιση
- Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (βασισμένα σε βιολογικό ανάλογο;)
- Υβριδικές προσεγγίσεις

- Ορισμοί
- Εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων
- Συστήματα αναγνώρισης προτύπων
- Κύκλος σχεδίασης
- * Μεθοδολογίες
- Στατιστική αναγνώριση προτύπων
- Σύνοψη

Ταύτιση με υπόδειγμα



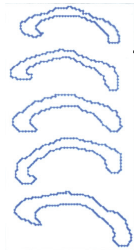
© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- Ορισμοί
- Εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων
- Συστήματα αναγνώρισης προτύπων
- Κύκλος σχεδίασης
- * Μεθοδολογίες
- Στατιστική αναγνώριση προτύπων
- Σύνοψη

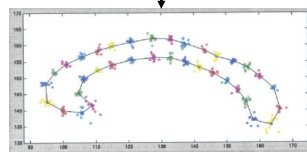
Ταύτιση με παραμορφώσιμα υπόδειγματα



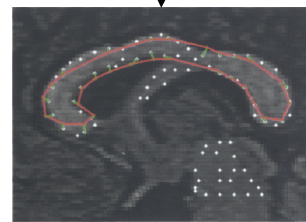
Σύνολο εκπαίδευσης



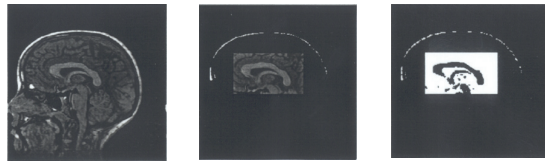
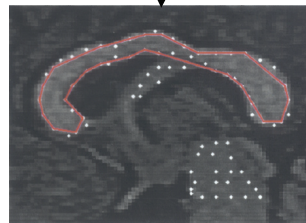
Πρότυπο και εκμάθηση παραλλαγών



Προσαρμογή του υποδείγματος στην κατατημένη εικόνα

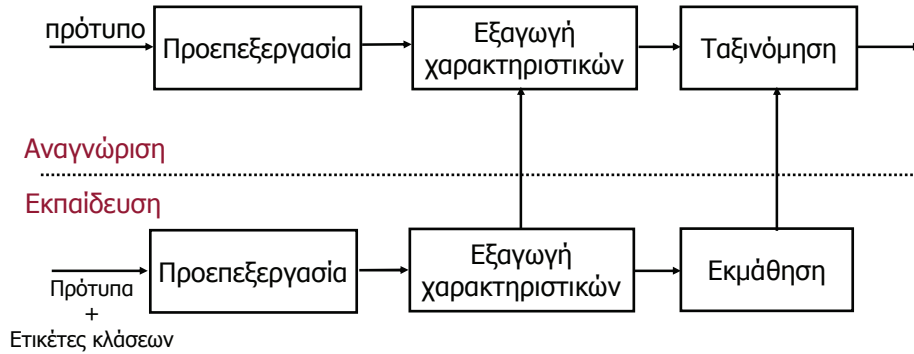


Παραμόρφωση υποδείγματος



- Ορισμοί
- Εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων
- Συστήματα αναγνώρισης προτύπων
- Κύκλος σχεδίασης
- * Μεθοδολογίες
- Στατιστική αναγνώριση προτύπων
- Σύνοψη

Στατιστική αναγνώριση προτύπων



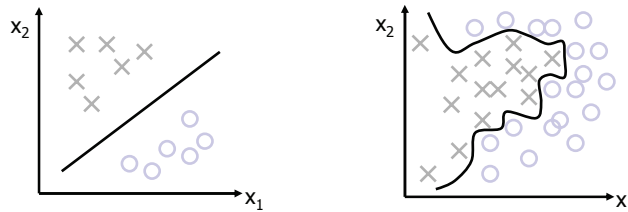
© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- Ορισμοί
- Εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων
- Συστήματα αναγνώρισης προτύπων
- Κύκλος σχεδίασης
- * Μεθοδολογίες
- Στατιστική αναγνώριση προτύπων
- Σύνοψη

Αναπαράσταση προτύπου με χαρακτηριστικά



- Κάθε πρότυπο αναπαρίσταται ως σημείο στο d -διάστατο χώρο
- Τα χαρακτηριστικά εξαρτώνται από το πεδίο της εφαρμογής και είναι επιθυμητό να είναι *αμετάβλητα* (*invariant*) στη μετατόπιση, στροφή και αλλαγή κλίμακας (μέγεθος)



- Καλή αναπαράσταση \equiv μικρή εντός-κλάσης διακύμανση, μεγάλη διαχωριστική ικανότητα μεταξύ κλάσεων, απλοί κανόνες απόφασης

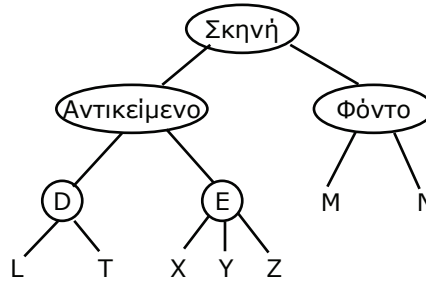
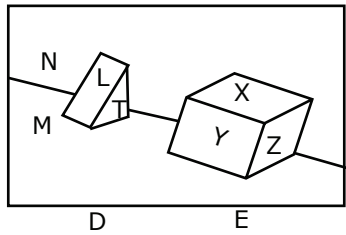
© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- Ορισμοί
- Εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων
- Συστήματα αναγνώρισης προτύπων
- Κύκλος σχεδίασης
- * Μεθοδολογίες
- Στατιστική αναγνώριση προτύπων
- Σύνοψη

Συντακτική (δομική) αναγνώριση προτύπων



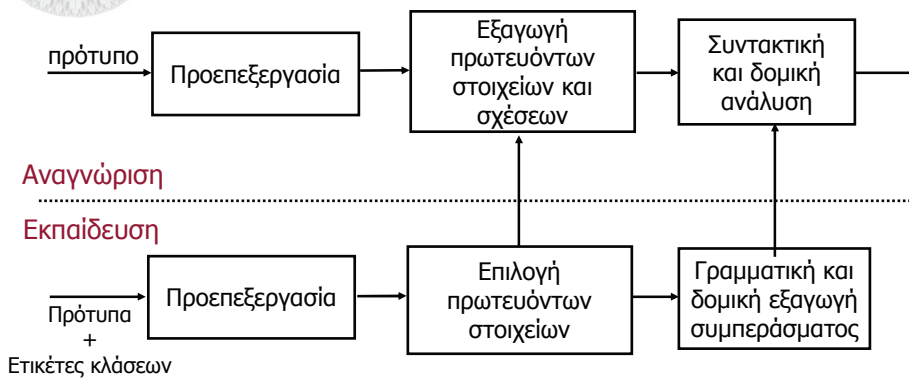
- Εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου χρειάζεται να ληφθεί απόφαση παρόλο που τα χαρακτηριστικά μέσω των οποίων αναπαρίσταται το πρότυπο είναι μη αριθμητικά
- Σύνθετα αντικείμενα ή ποσότητες περιγράφονται με πρωτογενή στοιχεία και δομικές συσχετίσεις



© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- Ορισμοί
- Εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων
- Συστήματα αναγνώρισης προτύπων
- Κύκλος σχεδίασης
- * Μεθοδολογίες
- Στατιστική αναγνώριση προτύπων
- Σύνοψη

Συντακτική (δομική) αναγνώριση προτύπων (II)



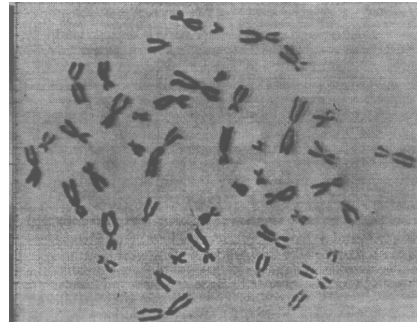
© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- Ορισμοί
- Εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων
- Συστήματα αναγνώρισης προτύπων
- Κύκλος σχεδίασης
- * Μεθοδολογίες
- Στατιστική αναγνώριση προτύπων
- Σύνοψη

Παράδειγμα: Γραμματικά στοιχεία χρωμοσωμάτων



- Πρωτεύοντα στοιχεία:
 $V_T = \{r, |, \cup, \sim\}$
- Ετικέτες στοιχεία:
 $V_N = \{A, B, C, D, E\}$
- Κλάσεις προτύπων



Ενδιάμεσο



Υποενδιάμεσο



Ακροκεντρικό



Τελοκεντρικό

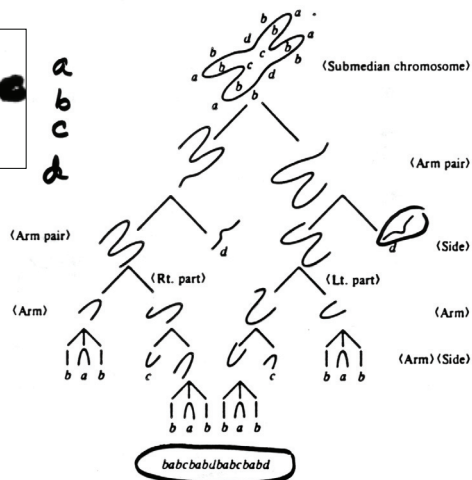
© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- Ορισμοί
- Εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων
- Συστήματα αναγνώρισης προτύπων
- Κύκλος σχεδίασης
- * Μεθοδολογίες
- Στατιστική αναγνώριση προτύπων
- Σύνοψη

Γραμματικά στοιχεία χρωμοσωμάτων (II)



Εικόνα ανθρώπινου χρωμοσώματος



Ιεραρχική περιγραφή ενός υποενδιάμεσου χρωμοσώματος

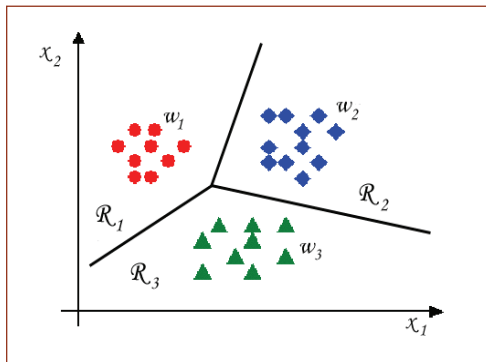
© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- ☑ Ορισμοί
- ☑ Εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων
- ☑ Συστήματα αναγνώρισης προτύπων
- ☑ Κύκλος σχεδίασης
- ☑ Μεθοδολογίες
- ★ Στατιστική αναγνώριση προτύπων
- Σύνοψη

Στατιστική αναγνώριση προτύπων



- Τα πρότυπα αναπαριστώνται με κάποια χαρακτηριστικά
- Ο στόχος είναι η ανάπτυξη στατιστικών μοντέλων που να περιγράφουν τη δημιουργία των προτύπων στο χώρο των χαρακτηριστικών

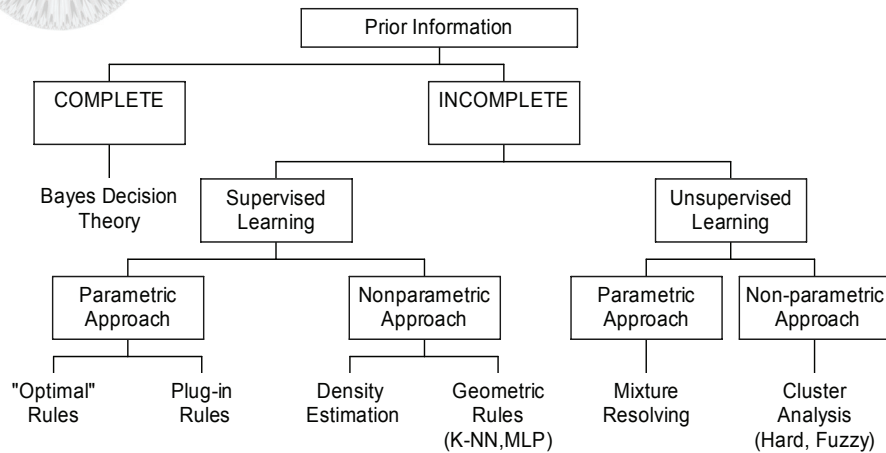


Με δεδομένο ένα σύνολο προτύπων που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση του συστήματος ώστε να καθίσταται δυνατός ο διαχωρισμός του χώρου των χαρακτηριστικών (που περιγράφουν τα πρότυπα).

© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- ☑ Ορισμοί
- ☑ Εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων
- ☑ Συστήματα αναγνώρισης προτύπων
- ☑ Κύκλος σχεδίασης
- ☑ Μεθοδολογίες
- ★ Στατιστική αναγνώριση προτύπων
- Σύνοψη

Τεχνικές στατιστικής αναγνώρισης προτύπων



© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- ❏ Ορισμοί
- ❏ Εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων
- ❏ Συστήματα αναγνώρισης προτύπων
- ❏ Κύκλος σχεδίασης
- ❏ Μεθοδολογίες
- ❏ Στατιστική αναγνώριση προτύπων
- ★ Σύνοψη

Σύνοψη



- Η αναγνώριση προτύπων είναι ένα ιδιαίτερο χρήσιμο εργαλείο για:
 - Την αυτόματη λήψη αποφάσεων
 - Υποβοήθηση των ανθρώπων στη λήψη αποφάσεων

- Εξαιρετικά δύσκολο και σύνθετο πρόβλημα
 - Επιτυχημένα συστήματα αναγνώρισης προτύπων έχουν αναπτυχθεί σε πολύ συγκεκριμένα πεδία εφαρμογών
 - Δεν υπάρχει μια απλή τεχνική / μοντέλο η οποία να είναι κατάλληλη για όλα τα προβλήματα αναγνώρισης προτύπων
 - Η μοντελοποίηση αντικείμενων, η χρήση περιορισμών και η εκμετάλλευση πληροφορίας συγκειμένου είναι απαραίτητα για την αναγνώριση σύνθετων προτύπων
 - Προσεκτική σχεδίαση των αισθητήρων για την απεικόνιση των προτύπων και εξαγωγή των κατάλληλων χαρακτηριστικών για την αναπαράστασή τους μπορούν να οδηγήσουν σε απλούς ταξινομητές