



ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ &  
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

# Διαφάνειες διαλέξεων

Ψηφιακή Εικόνα – Αναγνώριση Προτύπων (DIP:  
Computer Vision – Pattern Recognition)

7ο εξάμηνο  
Χειμερινό 2018-2019  
Σειρά 4

## Πηγές:

- **Σ. Φωτόπουλος** Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας.
- **Ν. Παπαμάρκος:** Ψηφιακή Επεξεργασία και Ανάλυση Εικόνας.
- **R. C. Gonzalez, R. E. Woods,** Digital Signal Processing. (Ελληνική Έκδοση)
- **Σέργιος Θεοδωρίδης – Κωνσταντίνος Κουτρομπάς:** Αναγνώριση προτύπων.
- **R. O. Duda, P. E. Hart, and D. G. Stork,** *Pattern Classification:* Wiley, 2012.

# Ψηφιακή Εικόνα – Αναγνώριση Προτύπων

(DIP: Computer Vision – Pattern Recognition)



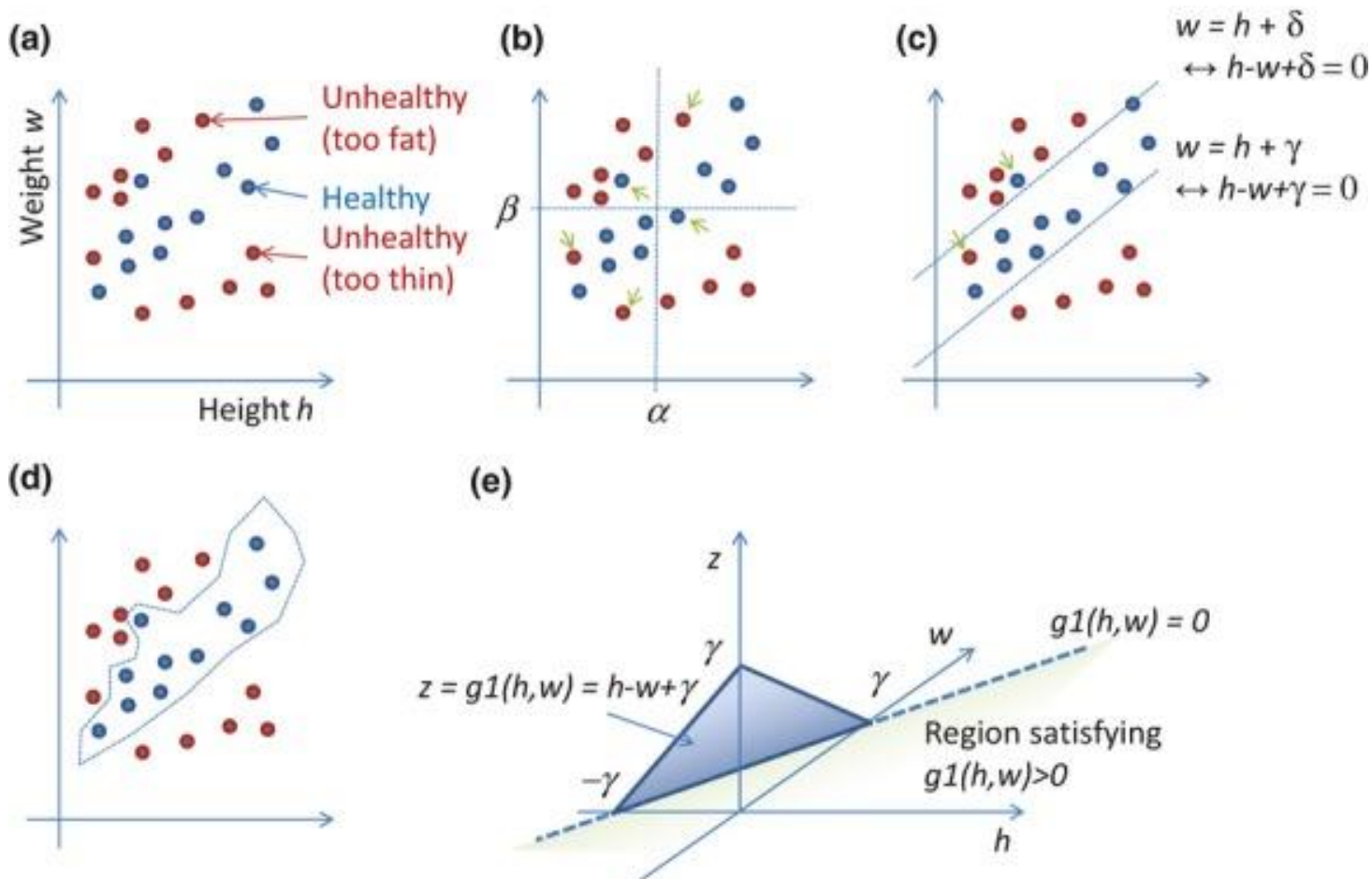
Χειμερινό εξάμηνο

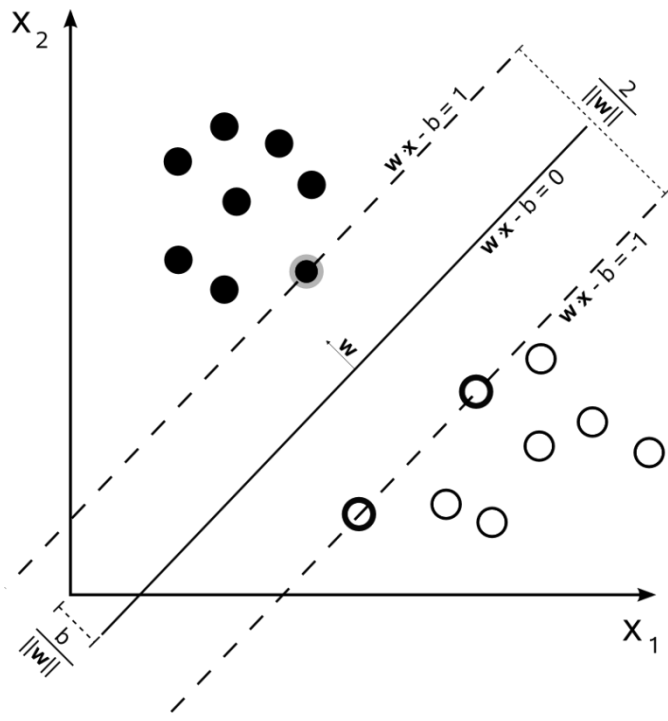
2018-2019

# Αναγνώριση Προτύπων

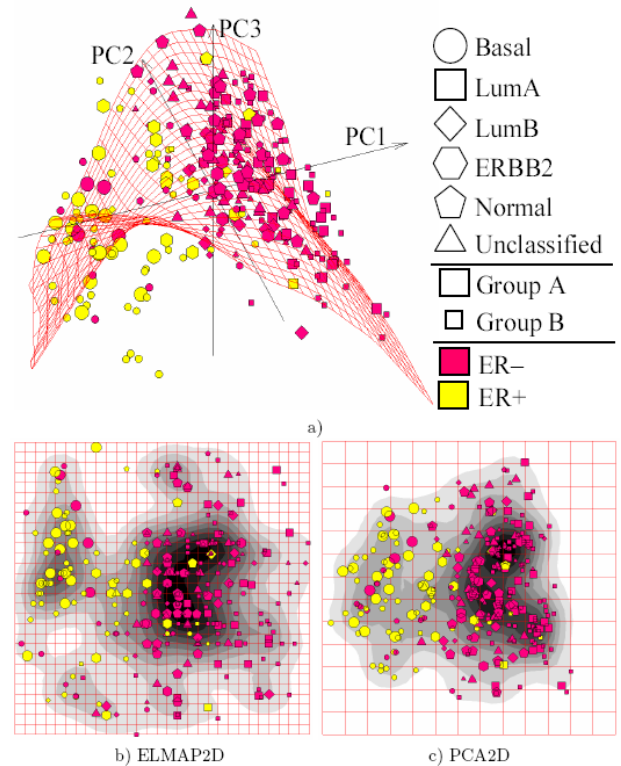
## *Pattern Recognition*

### *(PR)*





(PR)



Η επιστημονική περιοχή της αναγνώρισης προτύπων ασχολείται με την αυτόματη ανακάλυψη των υποκείμενων κανονικοτήτων στα δεδομένα με τη χρήση αλγορίθμων έτσι ώστε να πάρει αποφάσεις, όπως η ταξινόμηση των δεδομένων σε διαφορετικές κατηγορίες.

# Αναγνώριση Προτύπων - PR

- **Η Αναγνώριση Προτύπων (ΑΠ, PR)** ορίζεται ως η διαδικασία της αυτοματοποιημένης αναγνώρισης των προτύπων και κανονικοτήτων στα δεδομένα-πληροφορία.
- **Pattern recognition (PR) - machine learning (ML) - artificial intelligence (AI).**
  - Η **PR** προσεγγίζεται με **ML** τεχνικές.
  - Η **AI** προσεγγίζεται μέσω της **PR**.

# Pattern Recognition



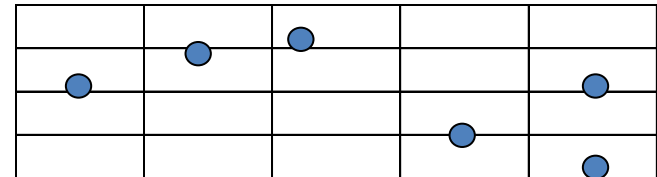
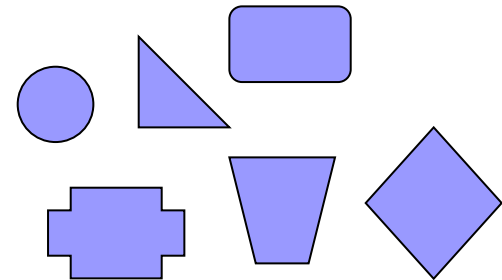
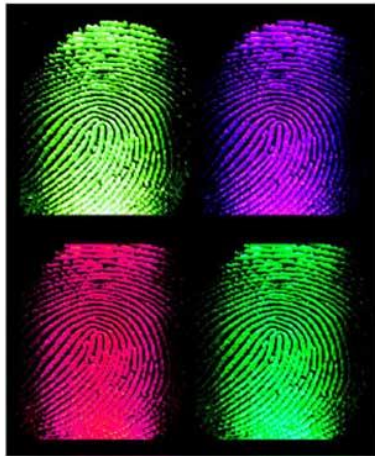
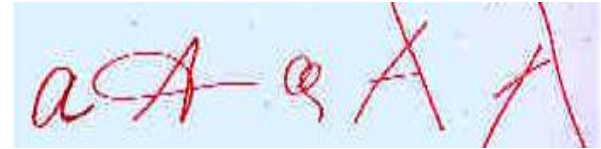
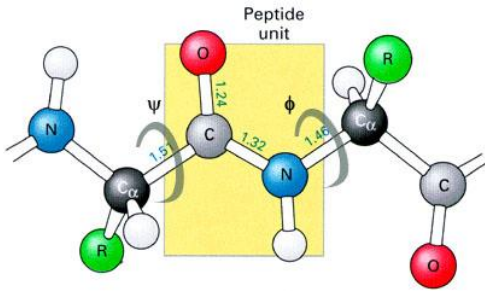
- Η αντιστοίχιση ενός φυσικού αντικείμενου ή ενός συμβάντος σε μία από ένα σύνολο προκαθορισμένων κατηγοριών. (*Duda & Hart*)
- Ένα πρότυπο μπορεί να είναι ένα αντικείμενο, διαδικασία ή συμβάν
- Μια κλάση (ή κατηγορία) είναι ένα σύνολο μοτίβων (προτύπων) που έχουν κοινό χαρακτηριστικό (χαρακτηριστικά) συνήθως από την ίδια πηγή πληροφοριών.
- Κατά τη διάρκεια της αναγνώρισης (ή ταξινόμηση) οι κατηγορίες αποδίδονται στα αντικείμενα.
  - Ένας ταξινομητής (classifier) είναι ένα σύστημα το οποίο εκτελεί μια τέτοια εργασία

# Τι είναι ένα πρότυπο



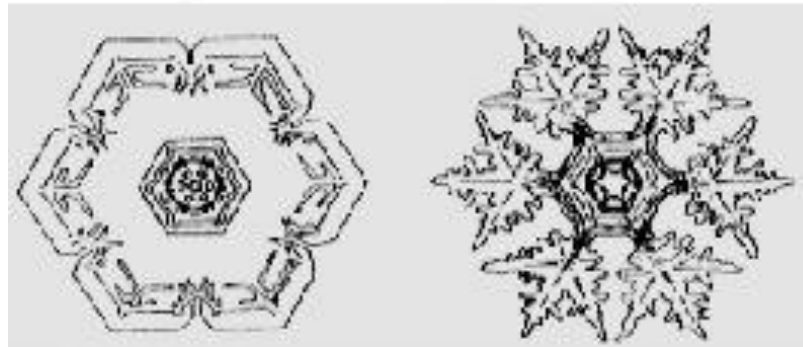
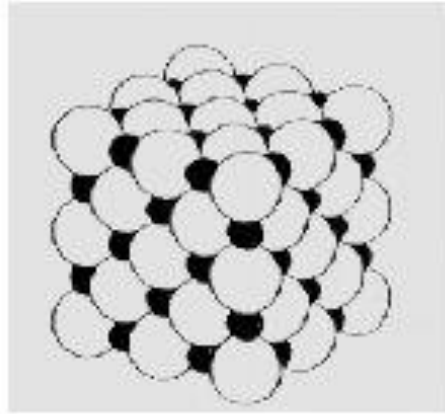
- Ένα πρότυπο είναι το αντίθετο του χάους!
- Είναι μια οντότητα η οποία ορίζεται αόριστα και η οποία θα μπορούσε να λάβει ένα όνομα.

# Τι είναι ένα πρότυπο

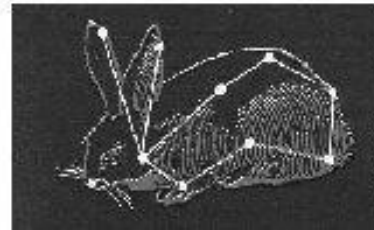


# Πρότυπα: Παράδειγμα

Κρυσταλλικά: ατομικά ή μοριακά



# Πρότυπα: Παράδειγμα



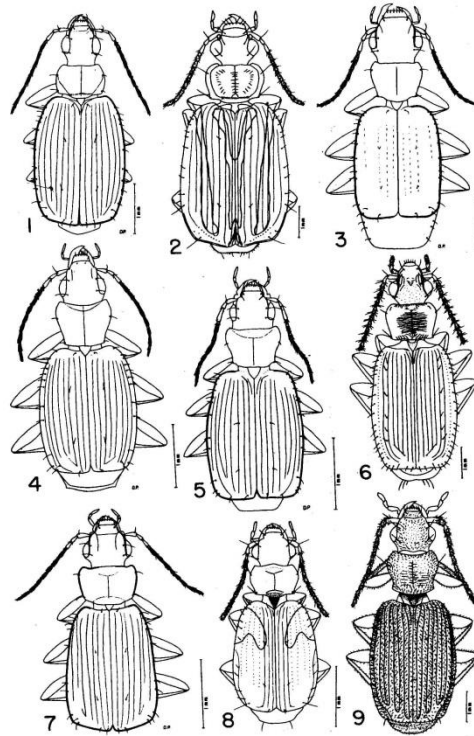
## Πρότυπα Αστερισμών



- Τα πρότυπα των αστερισμών αντιπροσωπεύονται από 2D γραφήματα.
  - Η ανθρώπινη αντίληψη έχει έντονη τάση να βρει πρότυπα από οτιδήποτε.
  - Βλέπουμε πρότυπα από ακόμη και τυχαίο θόρυβο
  - Είναι πολύ πιο πιθανό να πιστέψουμε ένα «κρυφό πρότυπο» από το να το αρνηθούμε όταν ο κίνδυνος (ανταμοιβή) για την απώλεια (ανακάλυψη) ενός προτύπου είναι συχνά υψηλός.

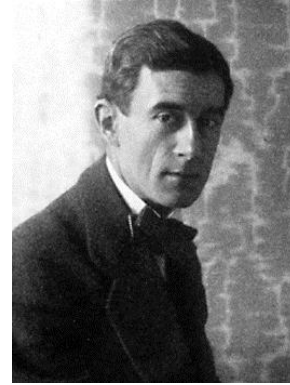
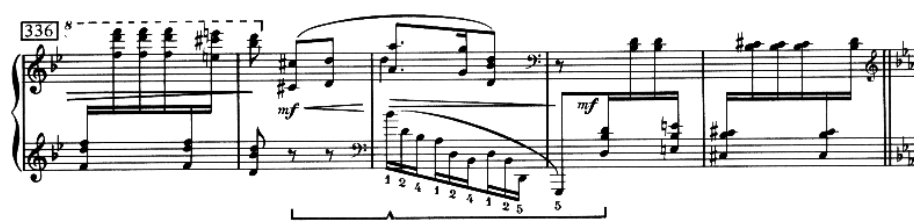
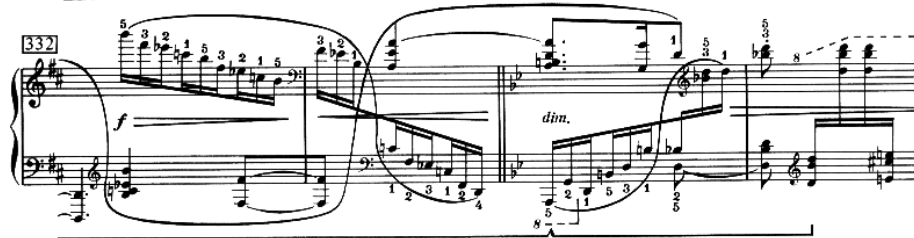
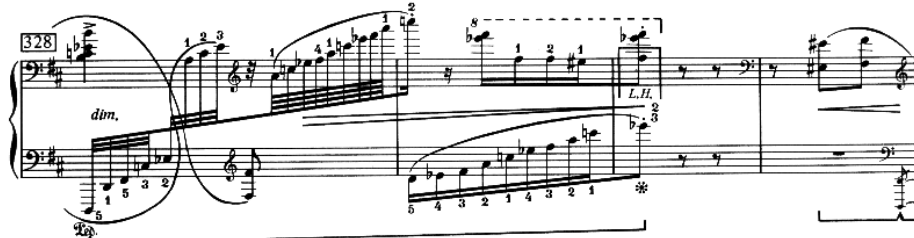
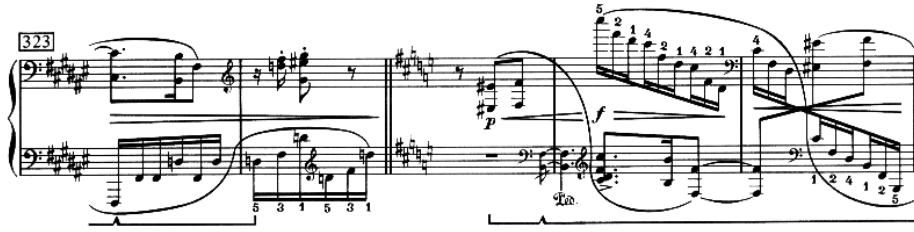
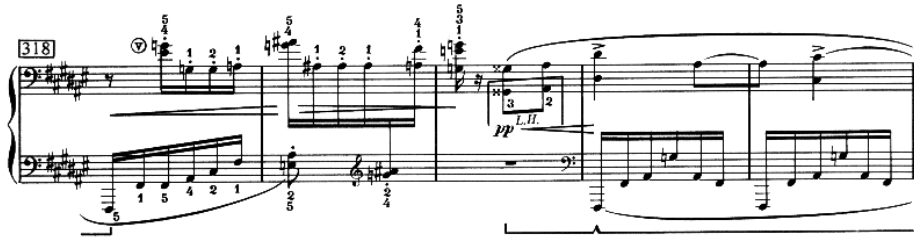
# Πρότυπα: Παράδειγμα

## Βιολογικά πρότυπα



# Πρότυπα: Παράδειγμα

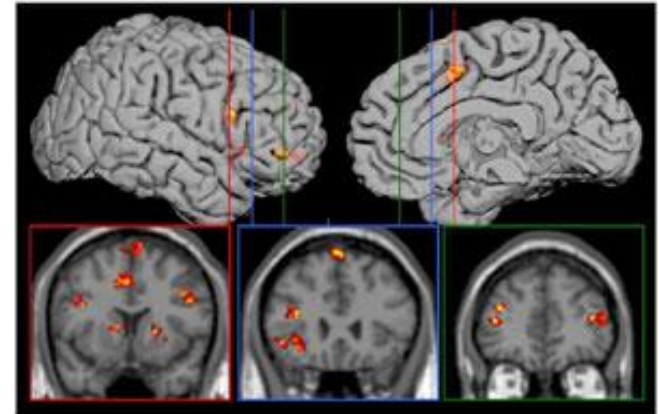
## Μουσικά πρότυπα



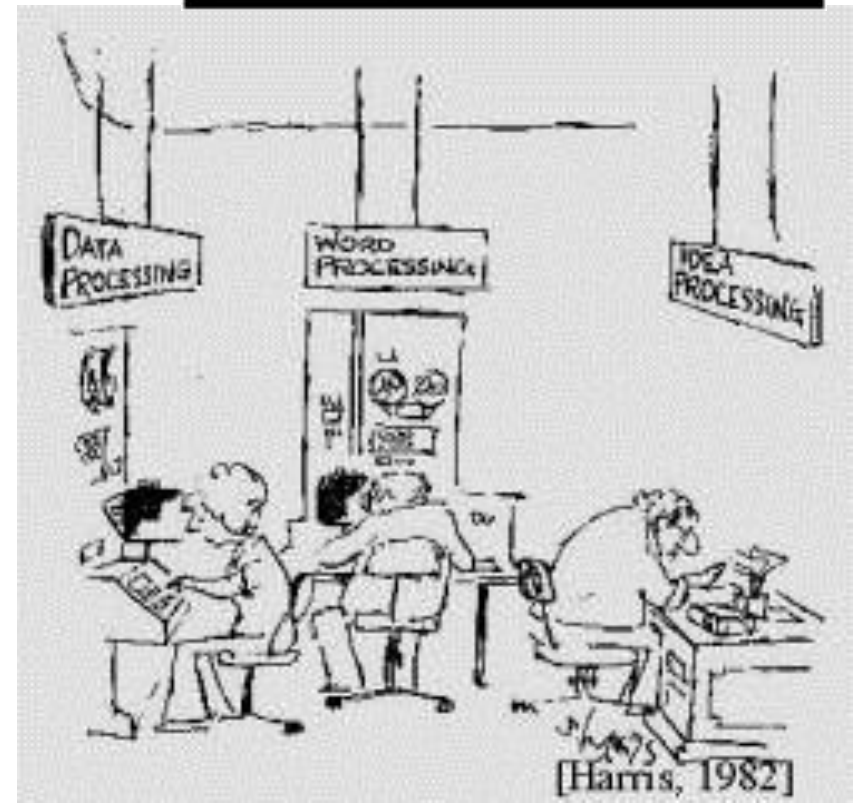
# Πρότυπα: Παράδειγμα

## Patterns Behavior

### People Recognition



### Funny, Funny



# Πρότυπα: Παράδειγμα

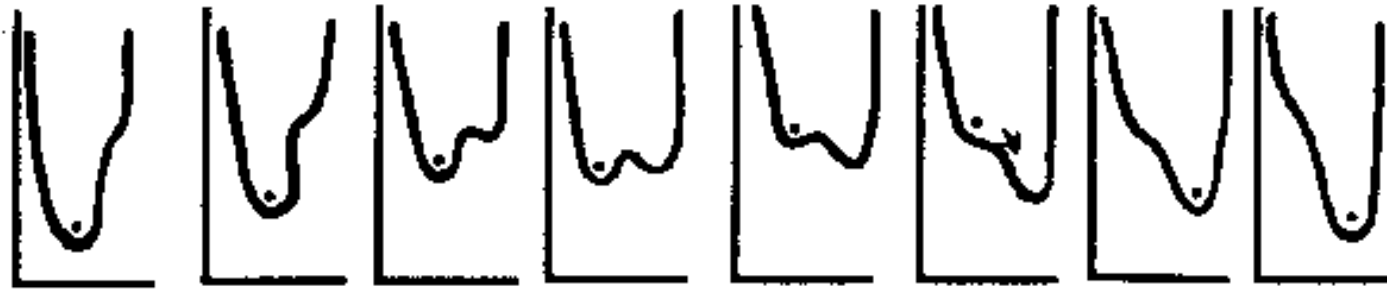
## Ανακάλυψη και σχέση των προτύπων



- Οι στατιστικές δείχνουν συνδέσεις μεταξύ του σχήματος του προσώπου (ενήλικες) και του χαρακτήρα του.
- Υπάρχουν επίσης ενδείξεις ότι το περίγραμμα του προσώπου των παιδιών σχετίζεται με την κατάχρηση οινοπνεύματος κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης.

# Πρότυπα: Παράδειγμα

## Ανακάλυψη και σχέση των προτύπων



R 1



R 2



R 3



R 4



R 5



R 6



R 7



R 8

Οι στατιστικές δείχνουν συνδέσεις μεταξύ του σχήματος του προσώπου (ενήλικες) και του χαρακτήρα του

# Πρότυπα: Παράδειγμα

## Εγκεφαλική λειτουργία: Πρότυπα



Μπορούμε να κατανοήσουμε τα πρότυπα της εγκεφαλικής δραστηριότητας και να βρούμε σχέσεις μεταξύ των δραστηριοτήτων του εγκεφάλου, όπως γνώση και συμπεριφορών

# Πρότυπα: Παράδειγμα

## Πρότυπα Μεταβολών:

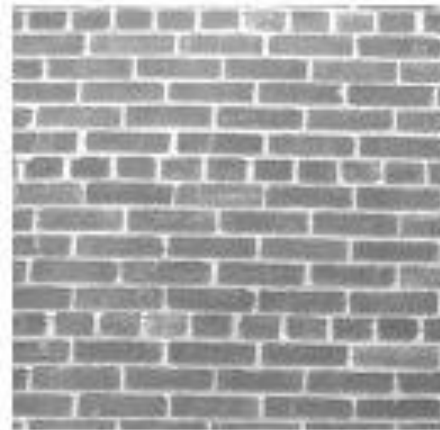
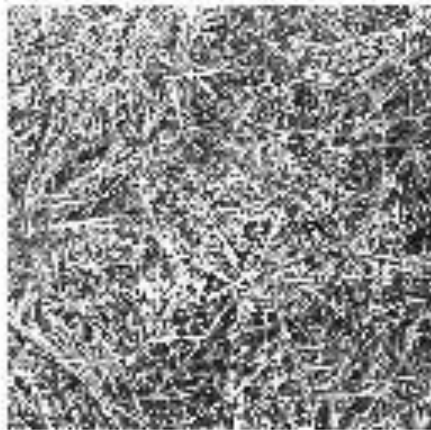
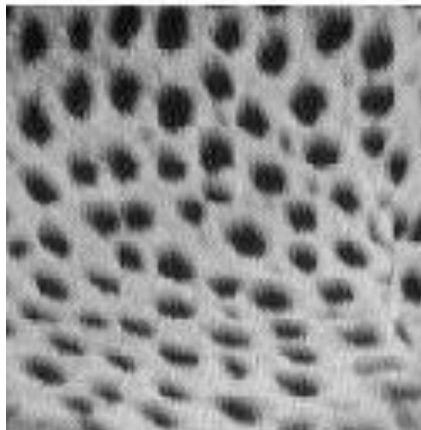
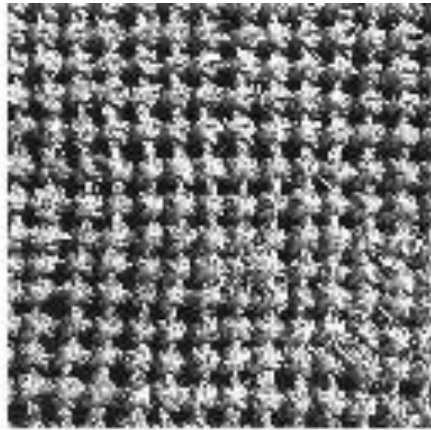
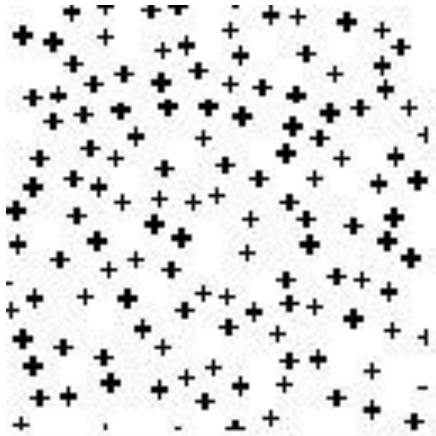
1. **Expression** – geometric deformation
2. **illumination**--- Photometric deformation
3. **Transformation** –3D pose 3D
4. **Noise and Occlusion**



# Πρότυπα: Παράδειγμα

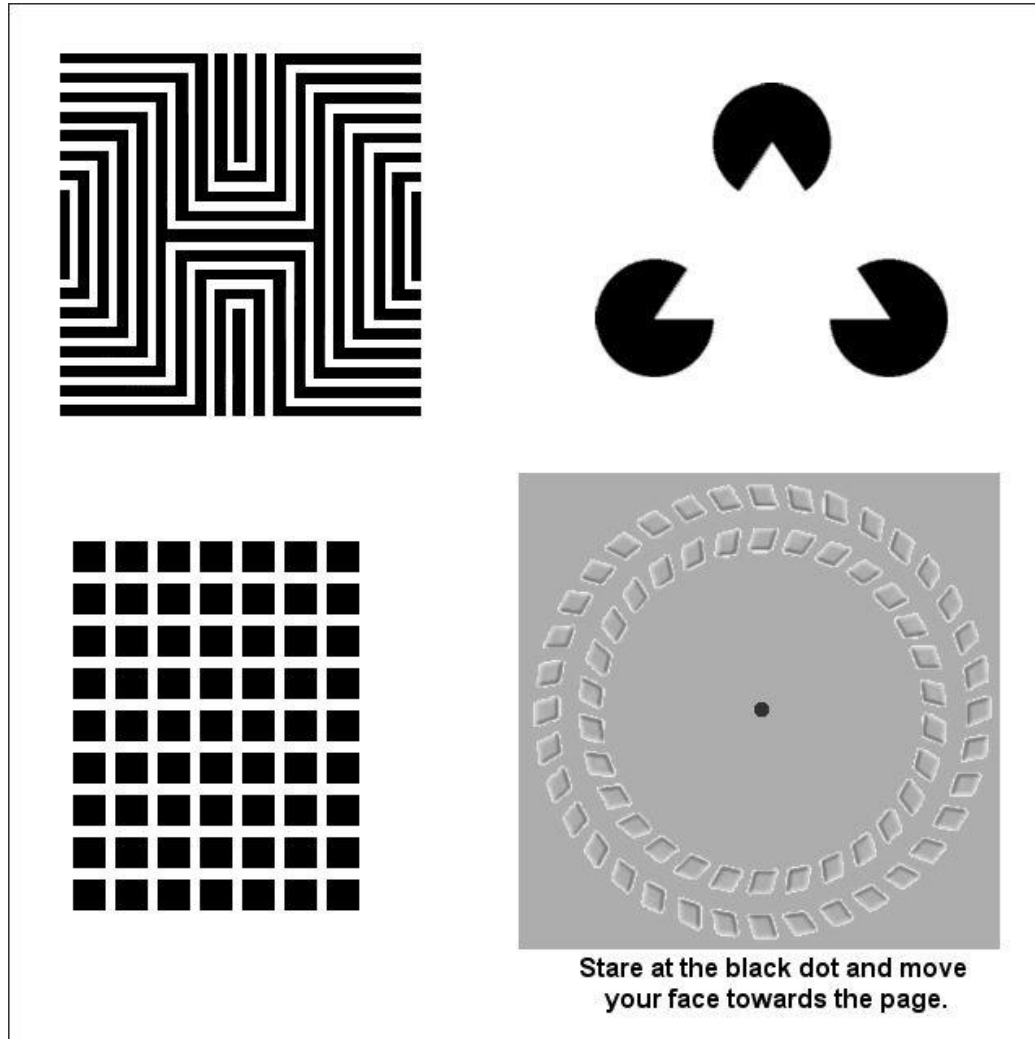
Εικόνες υφής:

Δημιουργία από στοχαστικές διαδικασίες.



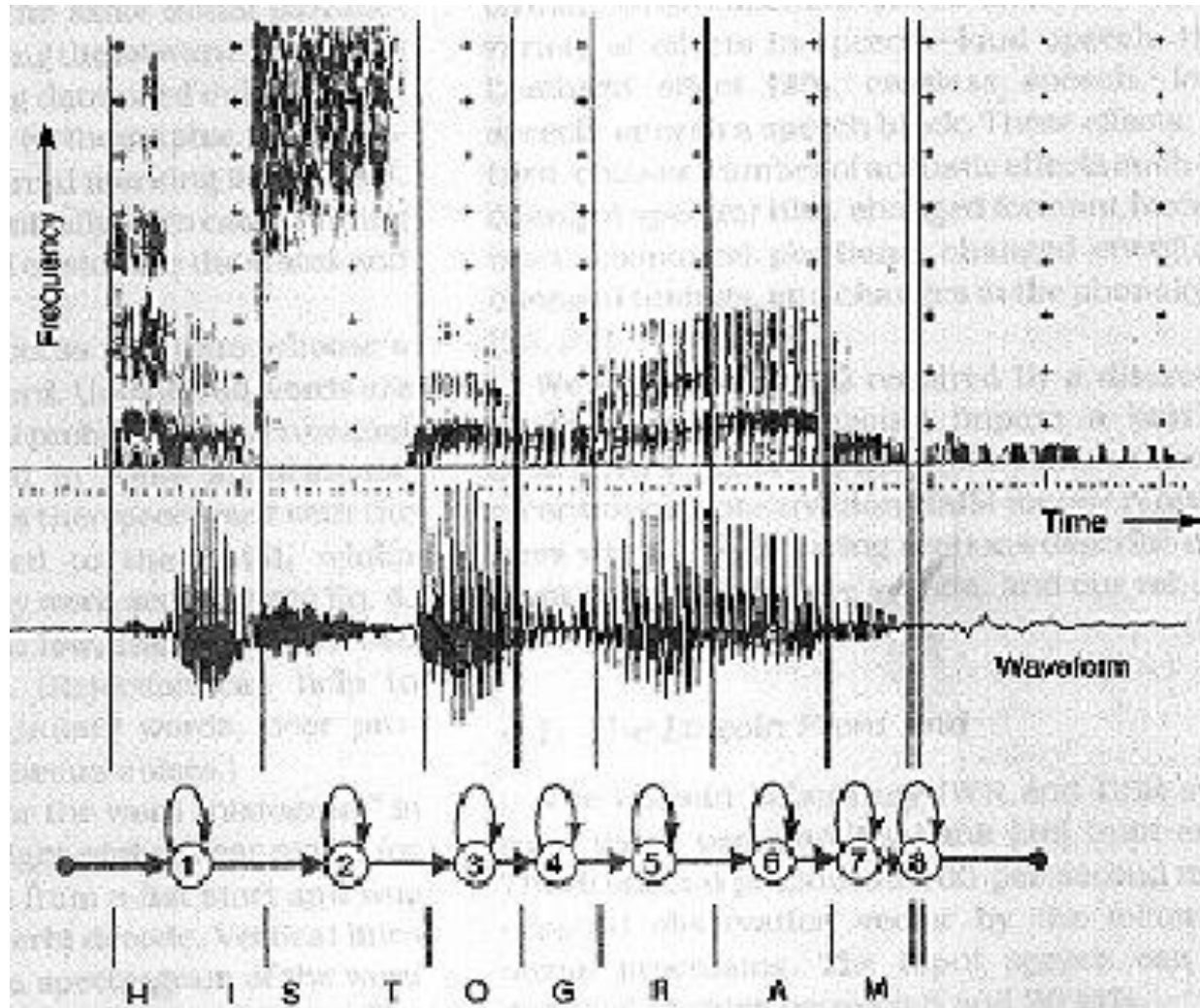
# Πρότυπα: Παράδειγμα

Πώς αντιπροσωπεύονται αυτά τα πρότυπα στο ανθρώπινο μυαλό;



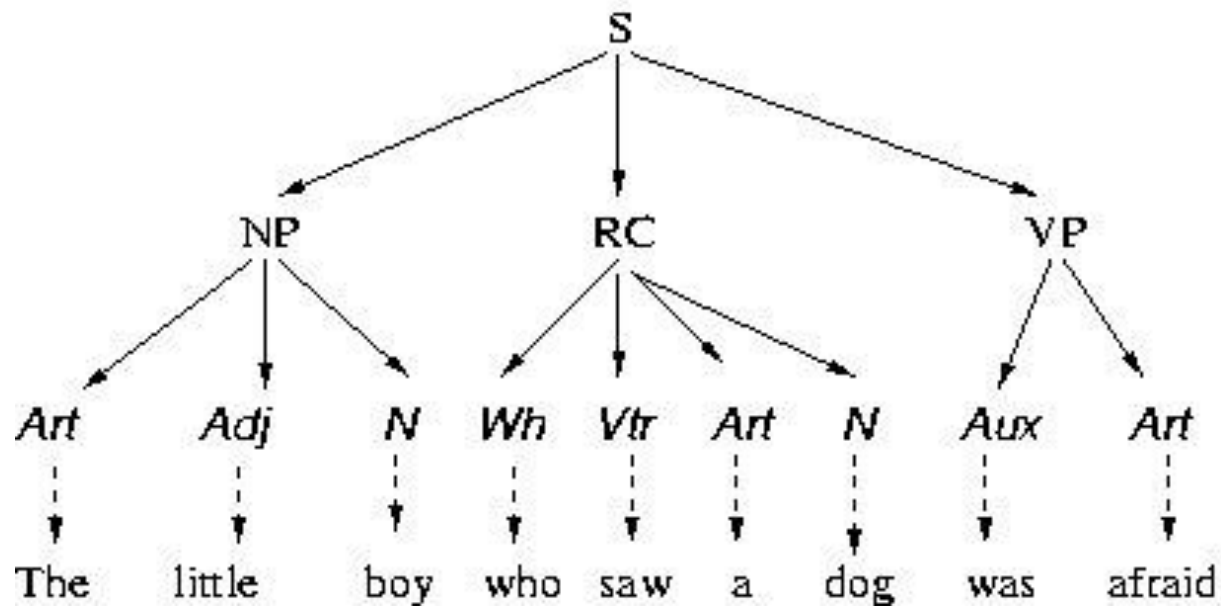
# Πρότυπα: Παράδειγμα

Σήματα ήχου και Hidden Markov models



# Πρότυπα: Παράδειγμα

Natural Language and stochastic grammar.



# Πρότυπα: Παράδειγμα

## Object Recognition



Patterns everywhere ?

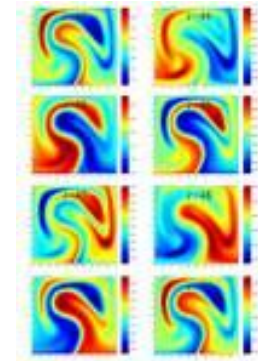
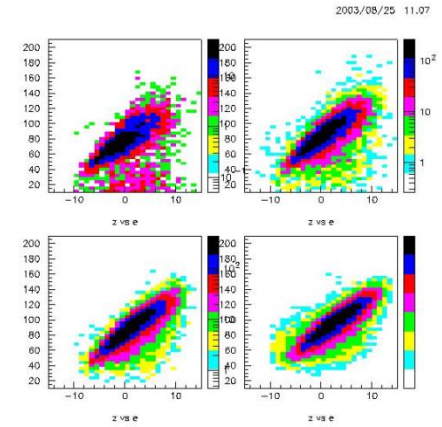


# Πρότυπα: Παράδειγμα

## Maps Recognition

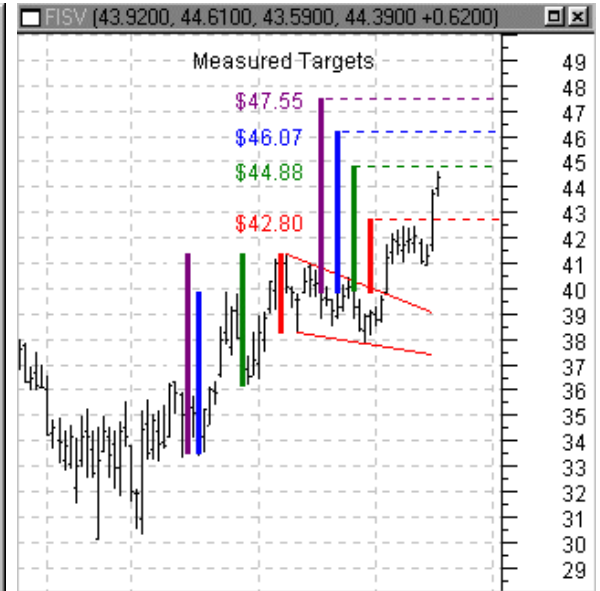
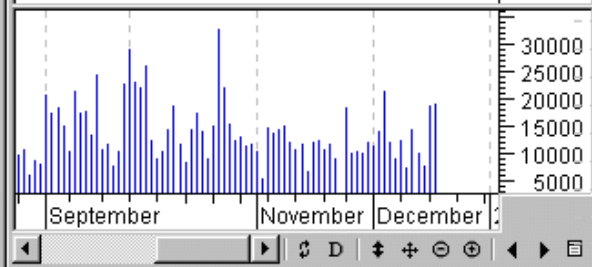
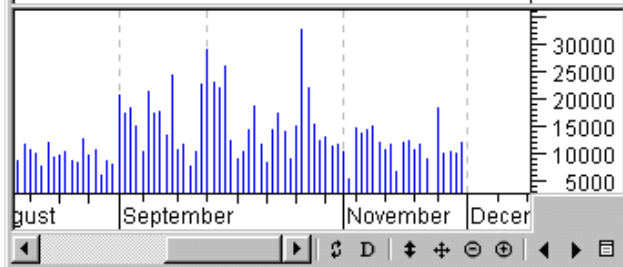


Patterns of Global Warming ?



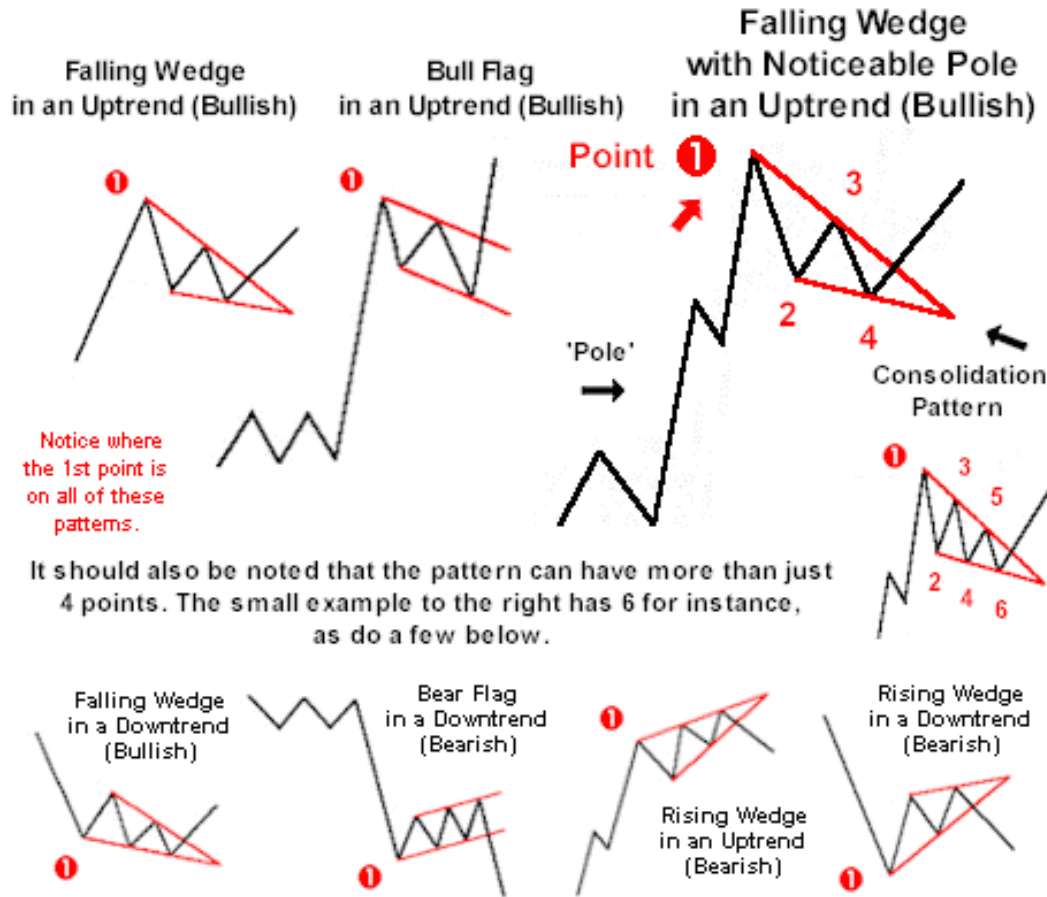
# Πρότυπα: Παράδειγμα

## Χρηματιστήριο - Οικονομία



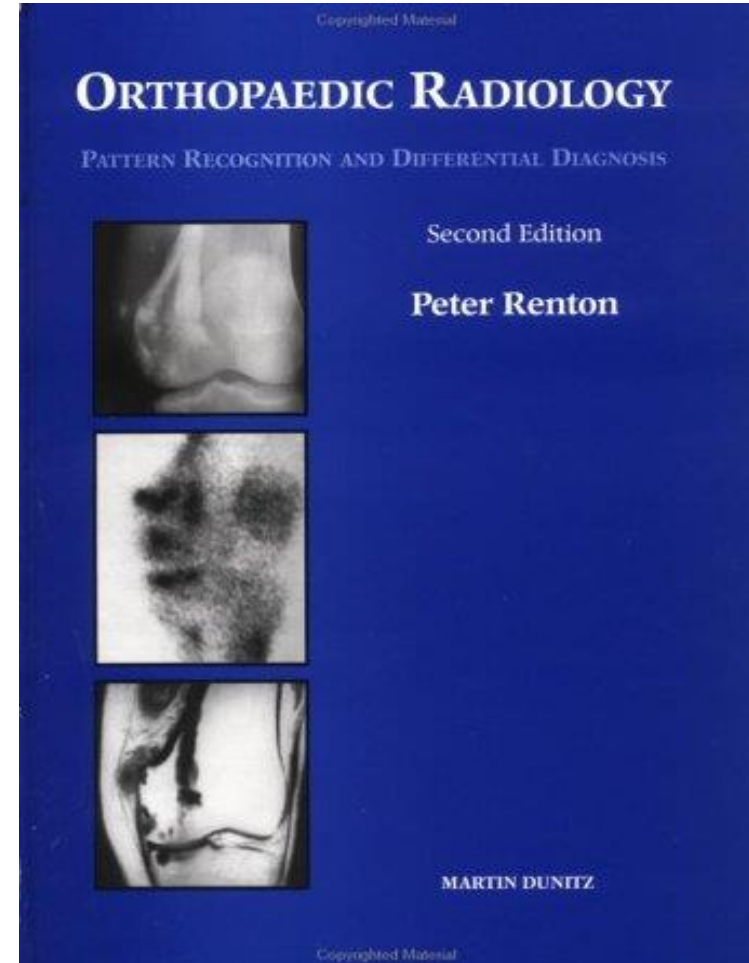
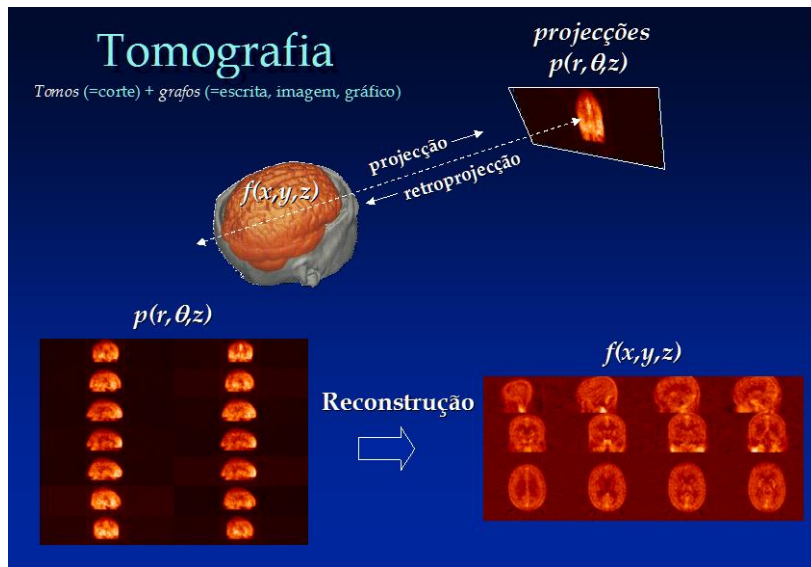
# Πρότυπα: Παράδειγμα

How to Trade Chart Patterns ?



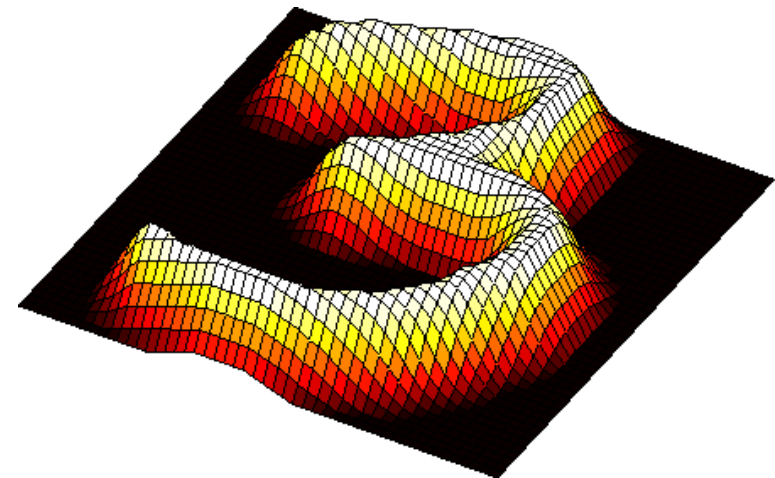
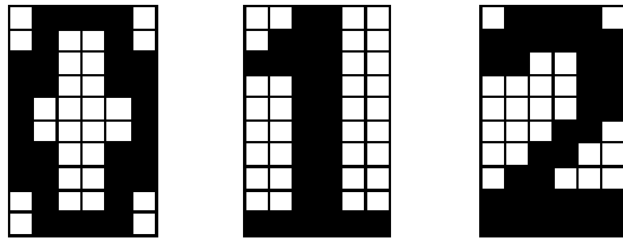
# Πρότυπα: Παράδειγμα

## Ιατρική διάγνωση και ΑΠ



# Πρότυπα: Παράδειγμα

## Οπτική αναγνώριση Χαρακτήρων Optical Character Recognition

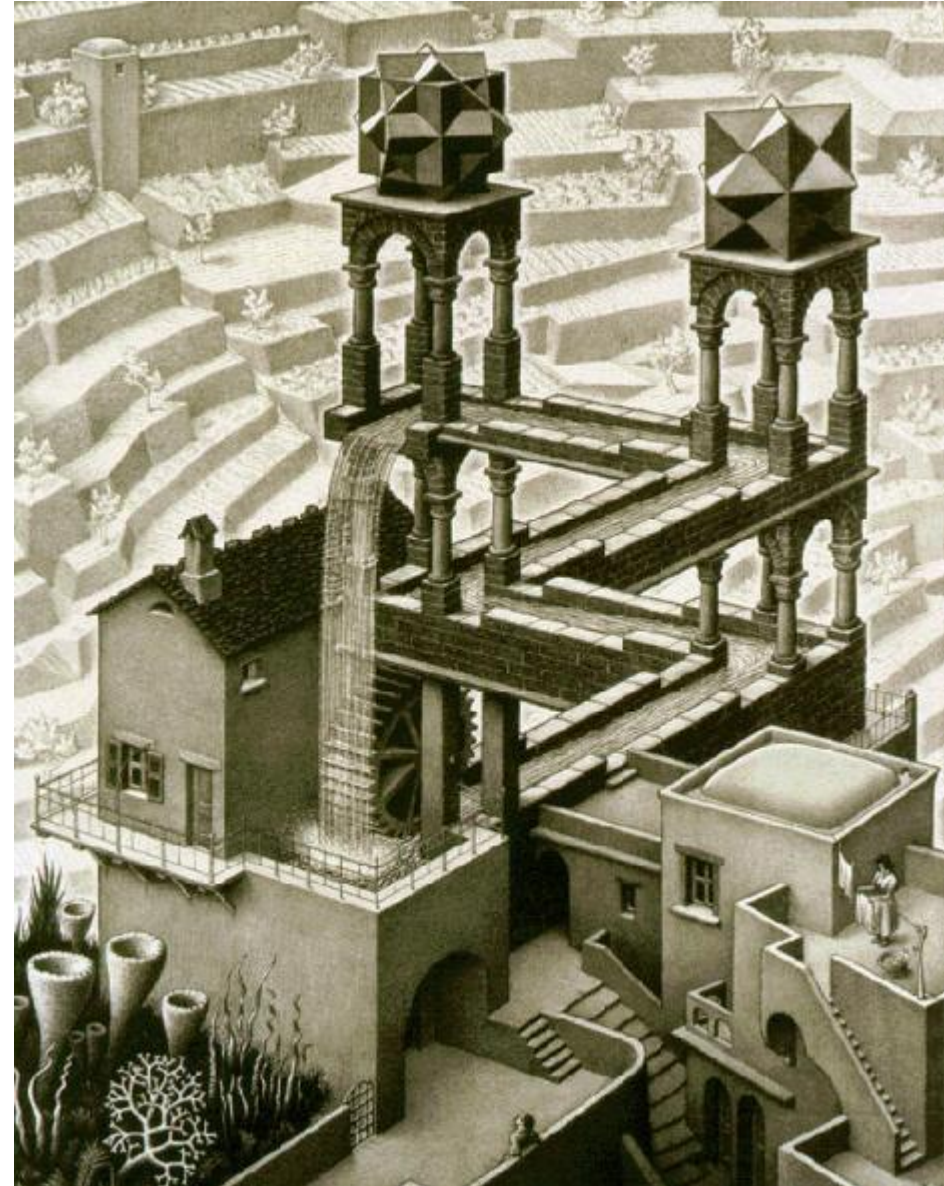


# Πρότυπα: Παράδειγμα



Graphic Arts

Escher

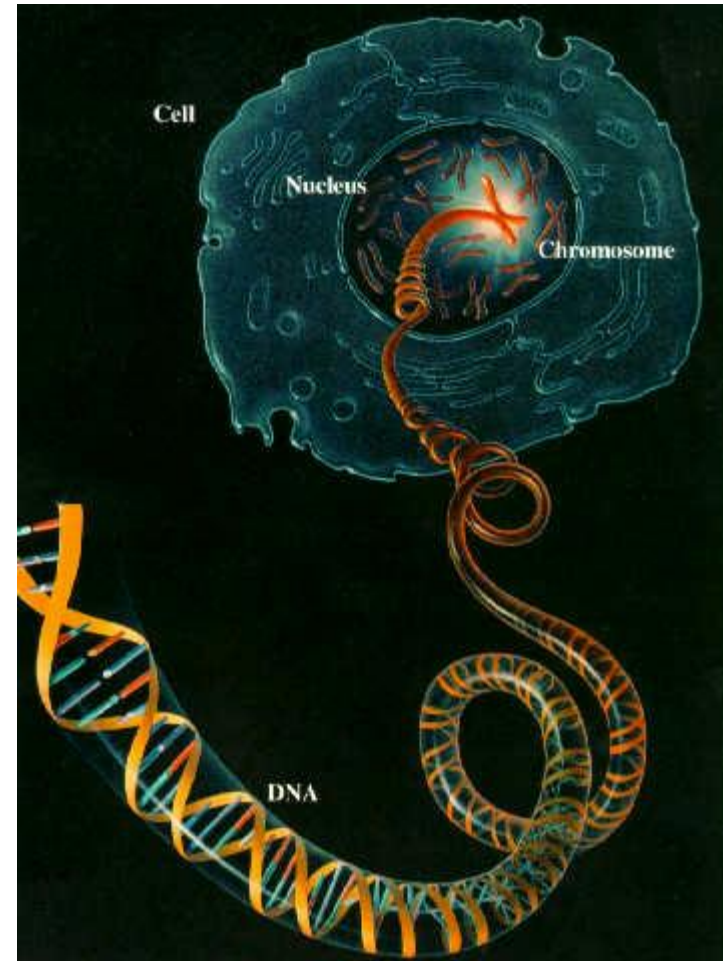


# Πρότυπα: Παράδειγμα

## Human Genome



Beautiful Patterns!



# Παραδείγματα

- **Optical Character Recognition (OCR)** →

- Handwritten: sorting letters by postal code, input device for PDA's.
- Printed texts: reading machines for blind people, digitalization of text documents.

- **Biometrics** →

- Face recognition, verification, retrieval.
- Fingerprint recognition.
- Speech recognition. Handwriting

- **Diagnostic systems** →

- Medical diagnosis: X-Ray, EKG analysis.
- Machine diagnostics, waster detection.

- **Military applications** →

- Automated Target Recognition (ATR).
- Image segmentation and analysis (recognition from aerial or satelite photographs).



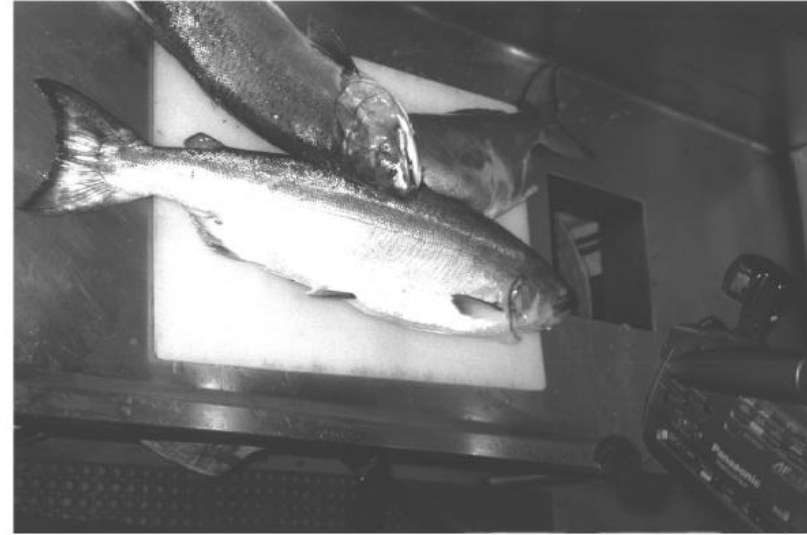
# Προσεγγίσεις στην ΑΠ

- **Στατιστική (Statistical) PR:** Βασίζεται σε υποκείμενα στατιστικά μοντέλα για την περιγραφή των πρότυπων και των τάξεών τους.
- **Νευρωνικά δίκτυα (Neural networks):** Ο ταξινομητής απεικονίζεται ως ένα δίκτυο από μικρές αυτόνομες μονάδες που επιτελούν ένα μικρό αριθμό από συγκεκριμένες πράξεις- «κύτταρα» που μιμούνται τους νευρώνες του ανθρώπινου εγκεφάλου.
- **Δομική-Συντακτική PR:** Οι τάξεις αναπαριστώνται μέσω τυπικών δομών όπως γραμματική, automata, strings.

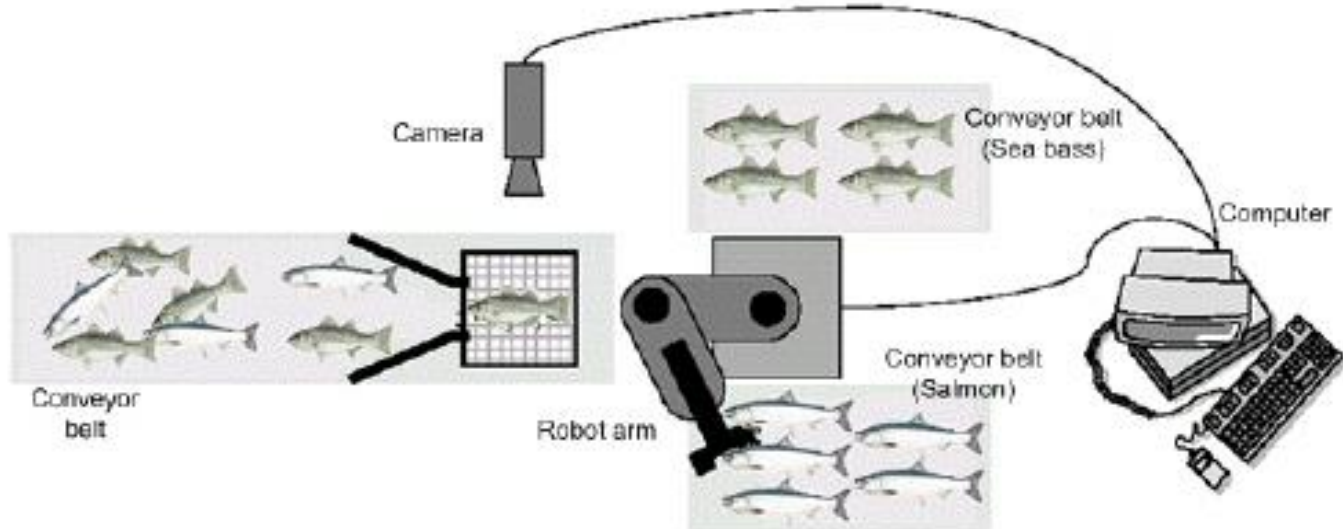


# Ένα παράδειγμα της ΑΠ

Ταξινόμηση των ψαριών σε δύο κατηγορίες: σολομός και λαβράκι δια μέσου μιας μεθόδου διαχωρισμού (discriminative method)

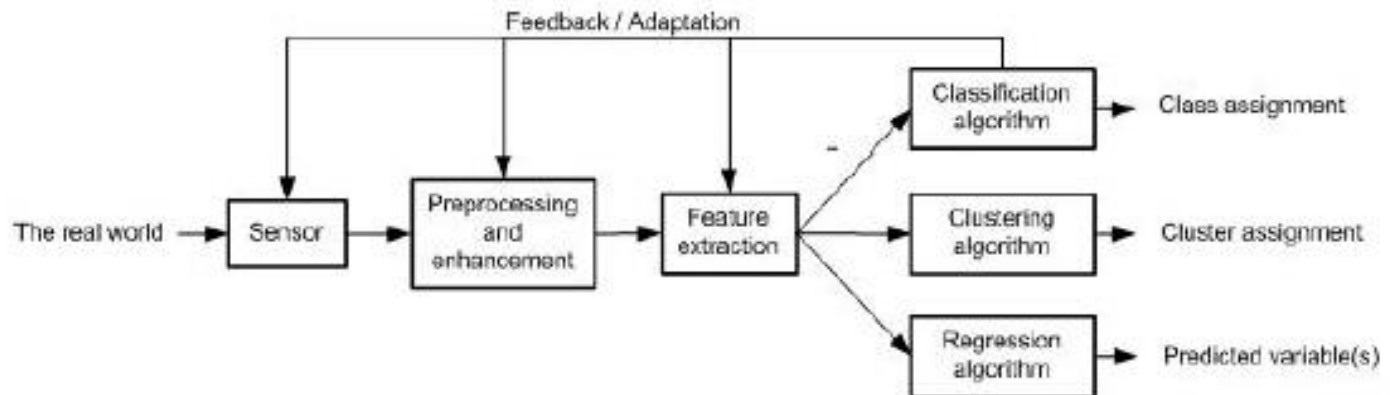


**Ταξινόμηση** ενός εισερχόμενου ιχθύος, ανάλογα με το είδος του, σε μια κονσέρβα με χρήση ενός οπτικού αισθητήρα.



# Τα βασικά στάδια της ΑΠ

- Προ-επεξεργασία των αρχικών δεδομένων (raw data) από την κάμερα.
- Τμηματοποίηση εικόνας ψαριού.
- Εξαγωγή χαρακτηριστικών από κάθε ψάρι (μήκος, πλάτος, βάρος, φρύδια, φωτεινότητα)
- Ταξινόμηση του κάθε ψαριού.



# Τα βασικά στάδια της ΑΠ

- Προ-επεξεργασία (preprocessing)
  - Χρήση ενός αλγορίθμου κατάτμησης (**segmentation**) για την απομόνωση των ψαριών (**προσκήνιο**) από το παρασκήνιο.
- Η εικόνα – πληροφορία του ψαριού μεταβιβάζεται σε ένα εξαγωγέα χαρακτηριστικών.
  - Ελάττωση διαστάσεων μετρώντας – απεικονίζοντας την αρχική εικόνα-πληροφορία σε ένα μετρήσιμο χώρο.
- Μεταβίβαση των χαρακτηριστικών στον ταξινομητή. (**classifier**)

- Ταξινόμηση (classification)

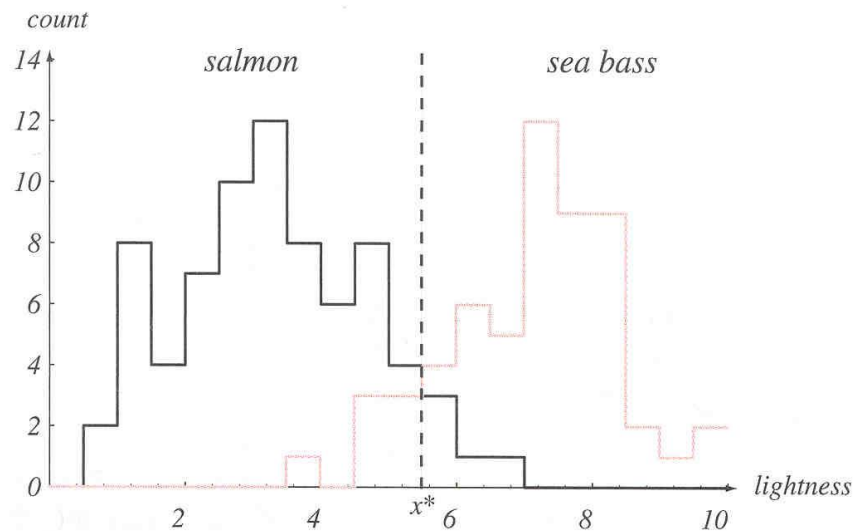
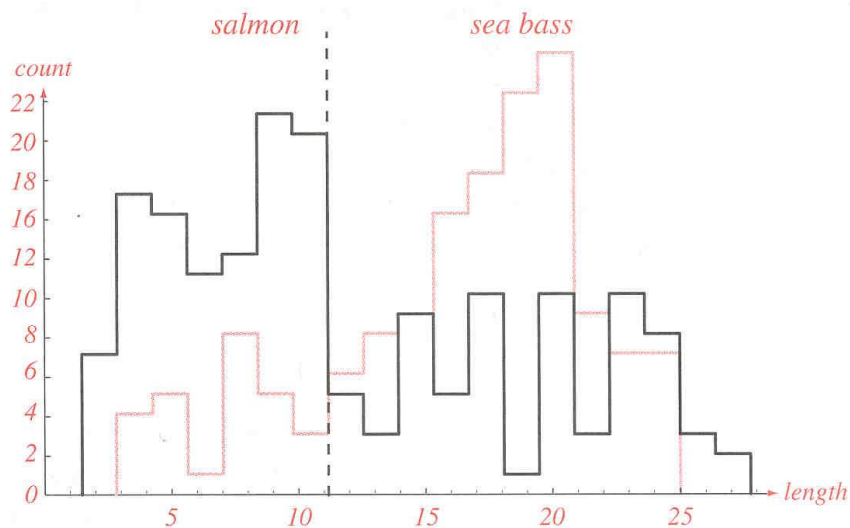
- Επιλέξατε το μήκος του ψαριού ως ένα πιθανό ποιοτικό χαρακτηριστικό για διαχωρισμό.

- Προσοχή: Ακολουθεί σκληρή εικόνα



**F HD**

# Χαρακτηριστικά - Κατανομές



Το μήκος (**length**) φαίνεται να είναι ένα φτωχό χαρακτηριστικό αν χρησιμοποιηθεί μόνο του!

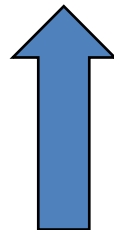
Επιλογή της φωτεινότητας (**lightness**) ως ένα πιθανό χαρακτηριστικό.

# Απόφαση /πληρωμή του τιμήματος

Customers do not want sea bass in their cans of salmon



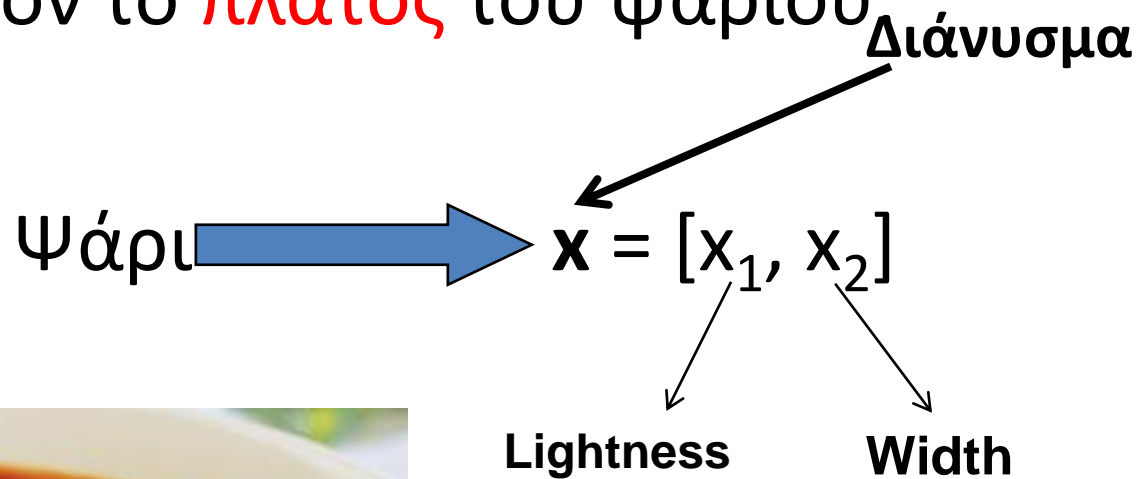
- Με βάση ένα κατώφλι αποφασίζουμε για το είδος του ψαριού και για το **«κόστος το οποίο θα πληρώσουμε»**
- Π.χ: αν μετακινήσουμε το όριο της απόφασης προς την πλευρά των μικρότερων τιμών θα ελαχιστοποιήσουμε το κόστος του ακόλουθου λάθους:
  - Αποφάσισε ότι το ψάρι είναι σολομός ενώ στην πραγματικότητα είναι λαυράκι.
  - Προφανώς το «λάθος» ψάρι = λαυράκι, ενώ κανονικά είναι σολομός αν και είναι λάθος έχει μικρότερο κόστος



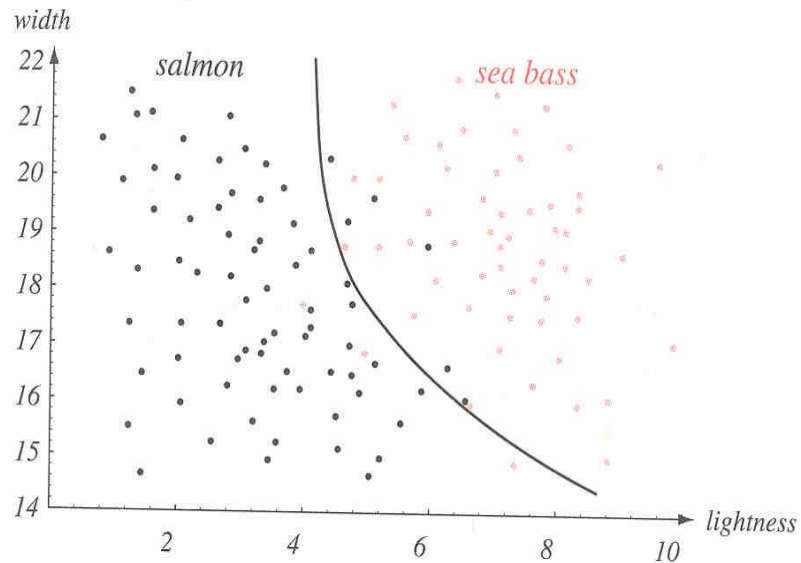
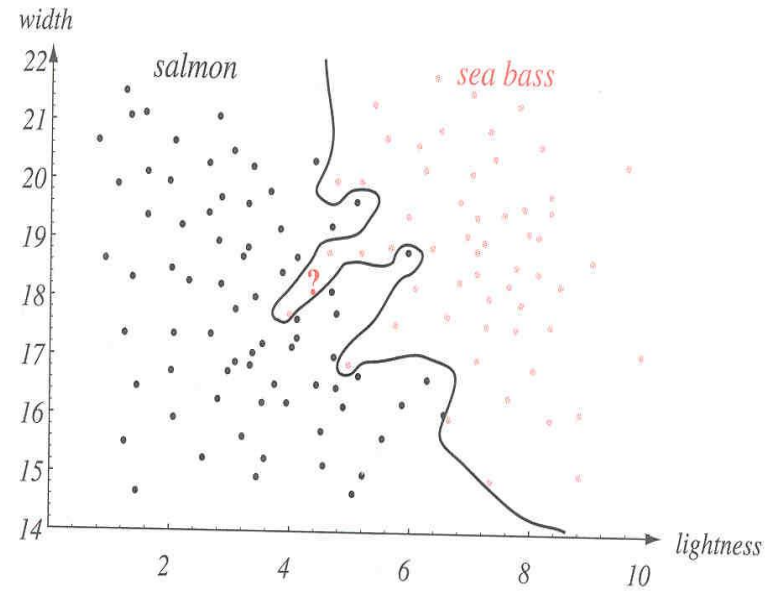
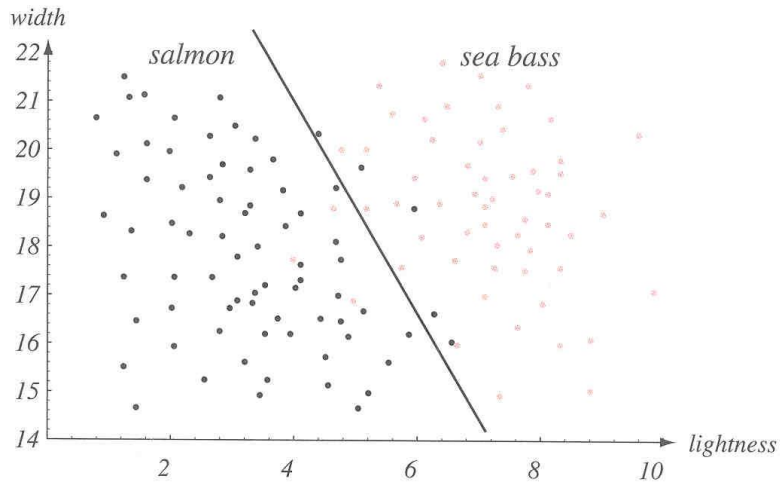
Αντικείμενο της θεωρίας αποφάσεων (decision theory)

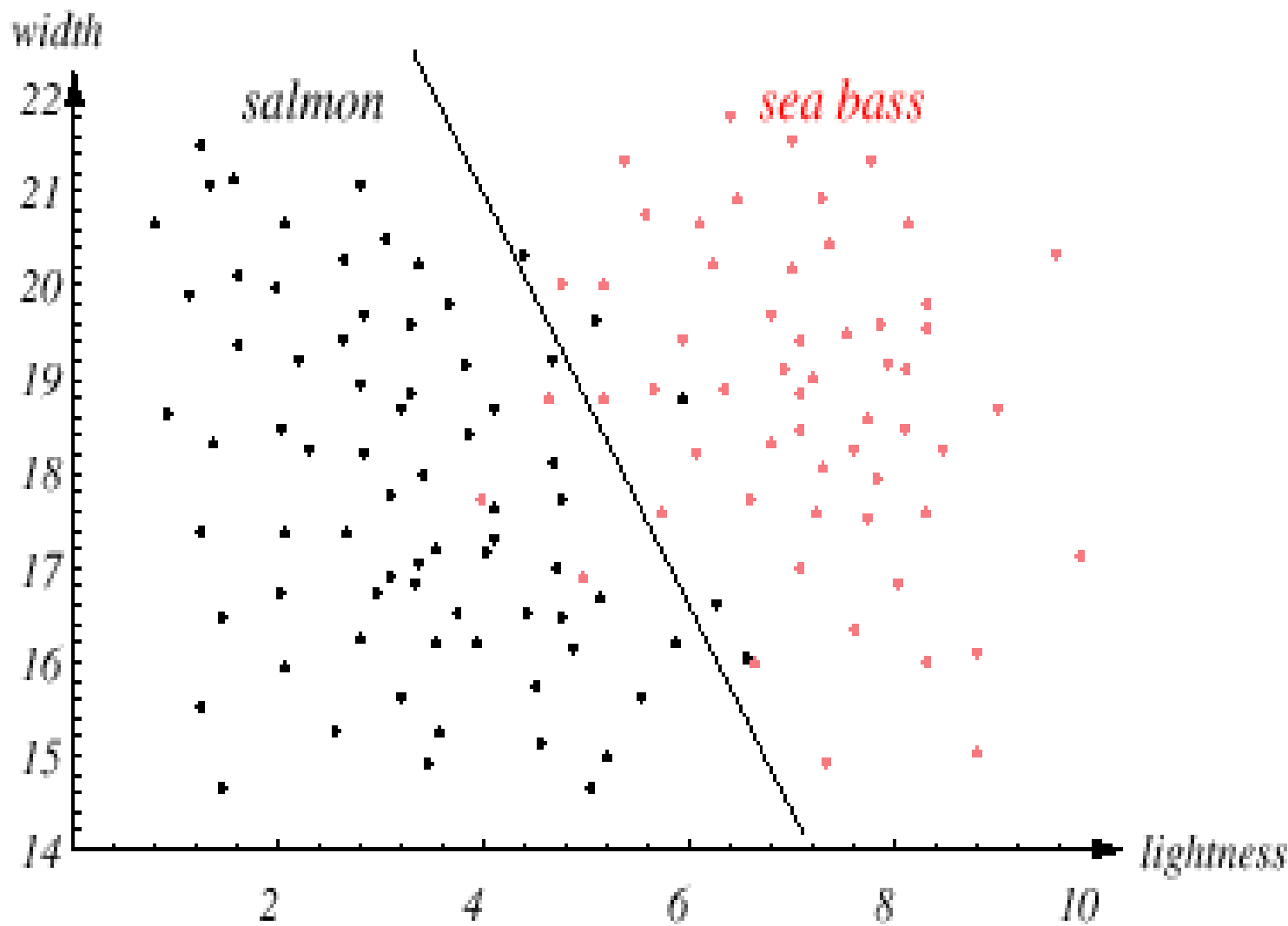
# Άλλη μια λύση

- Υιοθετούμε ως χαρακτηριστικό την **φωτεινότητα** και επιπλέον το **πλάτος** του ψαριού



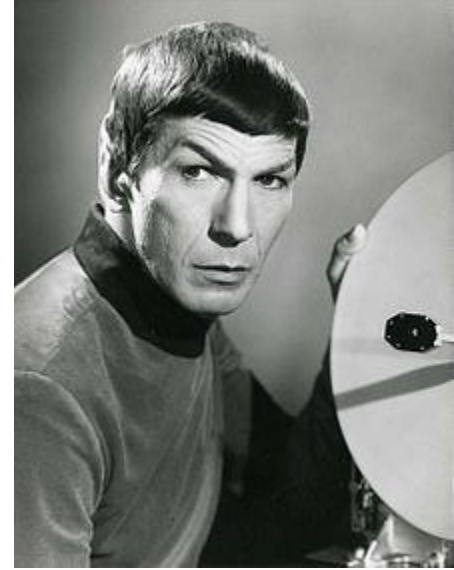
# Απόφαση / Ταξινόμηση Όρια;



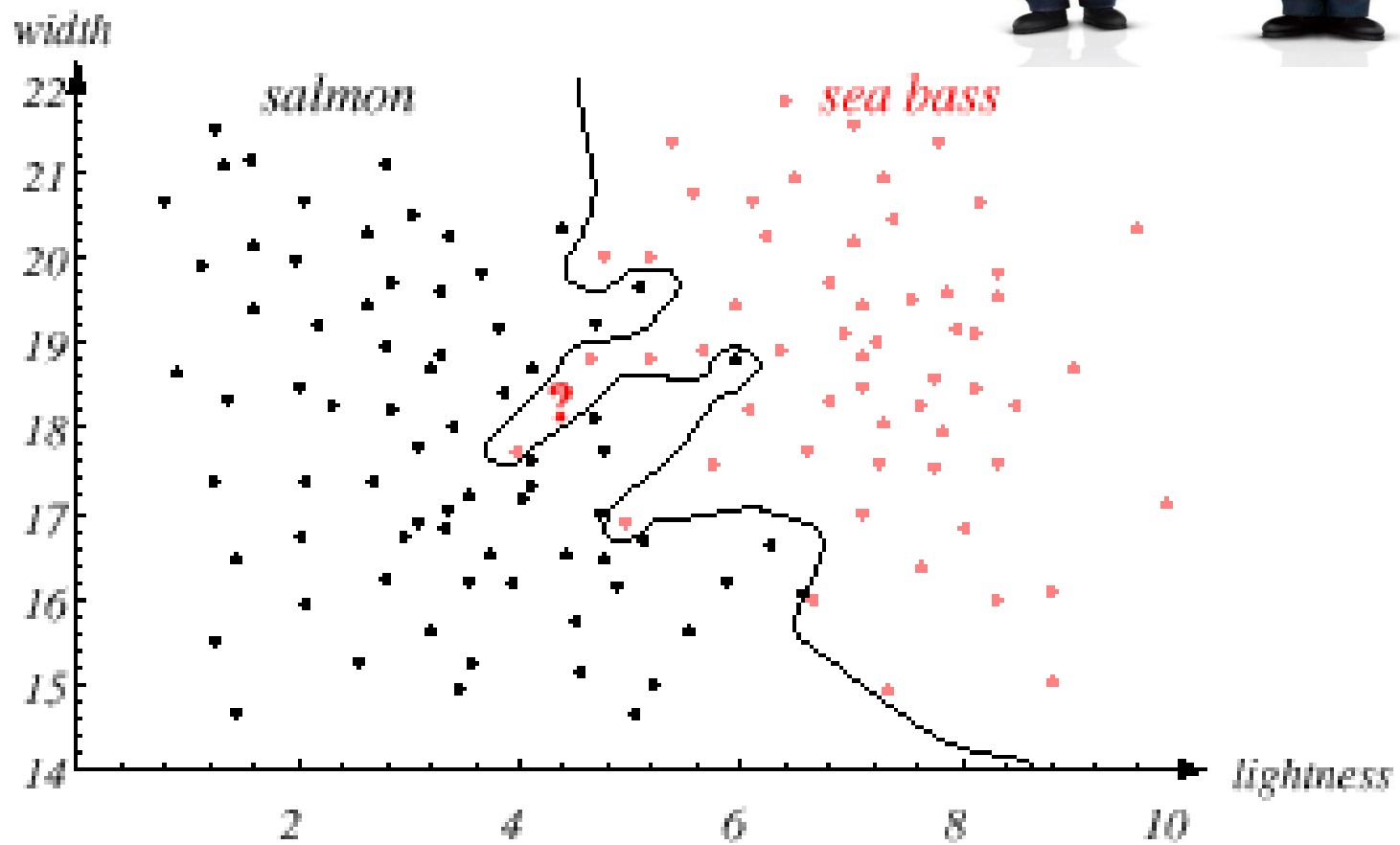
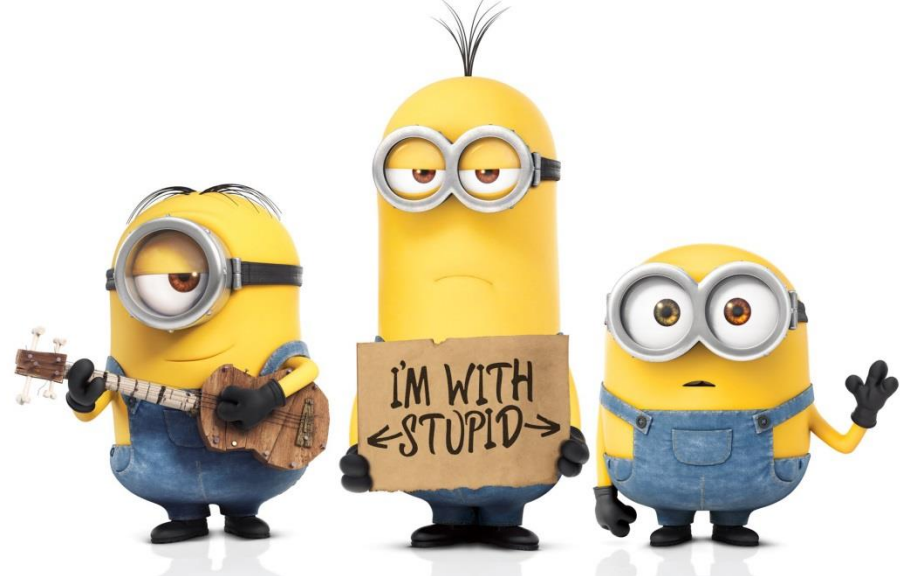


# Ανάλυση

(κύριε Σπόκ)



- Μπορούμε να προσθέσουμε και άλλα χαρακτηριστικά τα οποία δεν συσχετίζονται ισχυρά με αυτά που έχουμε ήδη. Πρέπει να ληφθεί μέριμνα ώστε να μην μειωθεί η απόδοση του συστήματος με την πρόσθεση τέτοιων «ενθόρυβων χαρακτηριστικών».
- Στην ιδανική περίπτωση, το βέλτιστο όριο απόφασης θα πρέπει να είναι εκείνο που παρέχει την «**καλύτερη**» απόδοση όπως αυτή απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα:



# Το ξουράφι του Όκαμ Occam's Razor



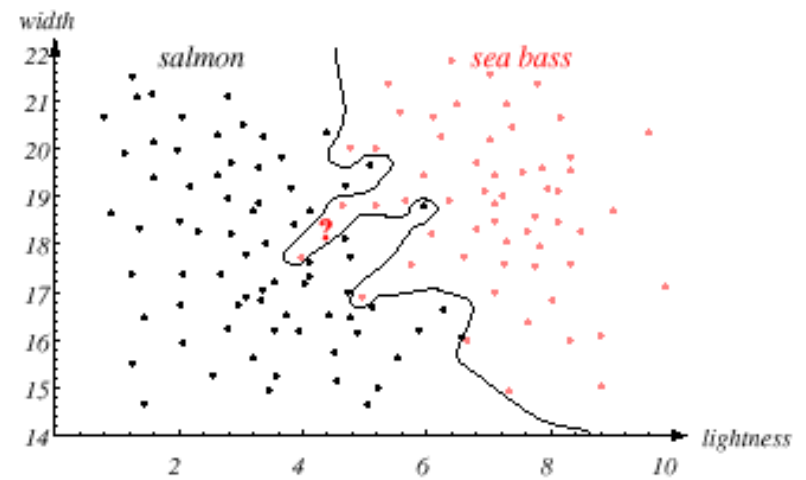
*Κανείς δεν θα πρέπει να προβαίνει σε περισσότερες εικασίες από  
όσες είναι απαραίτητες*

(Entities are not to be multiplied without necessity)

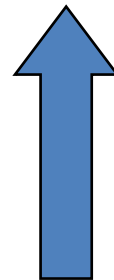


William of Occam

(1284-1347)

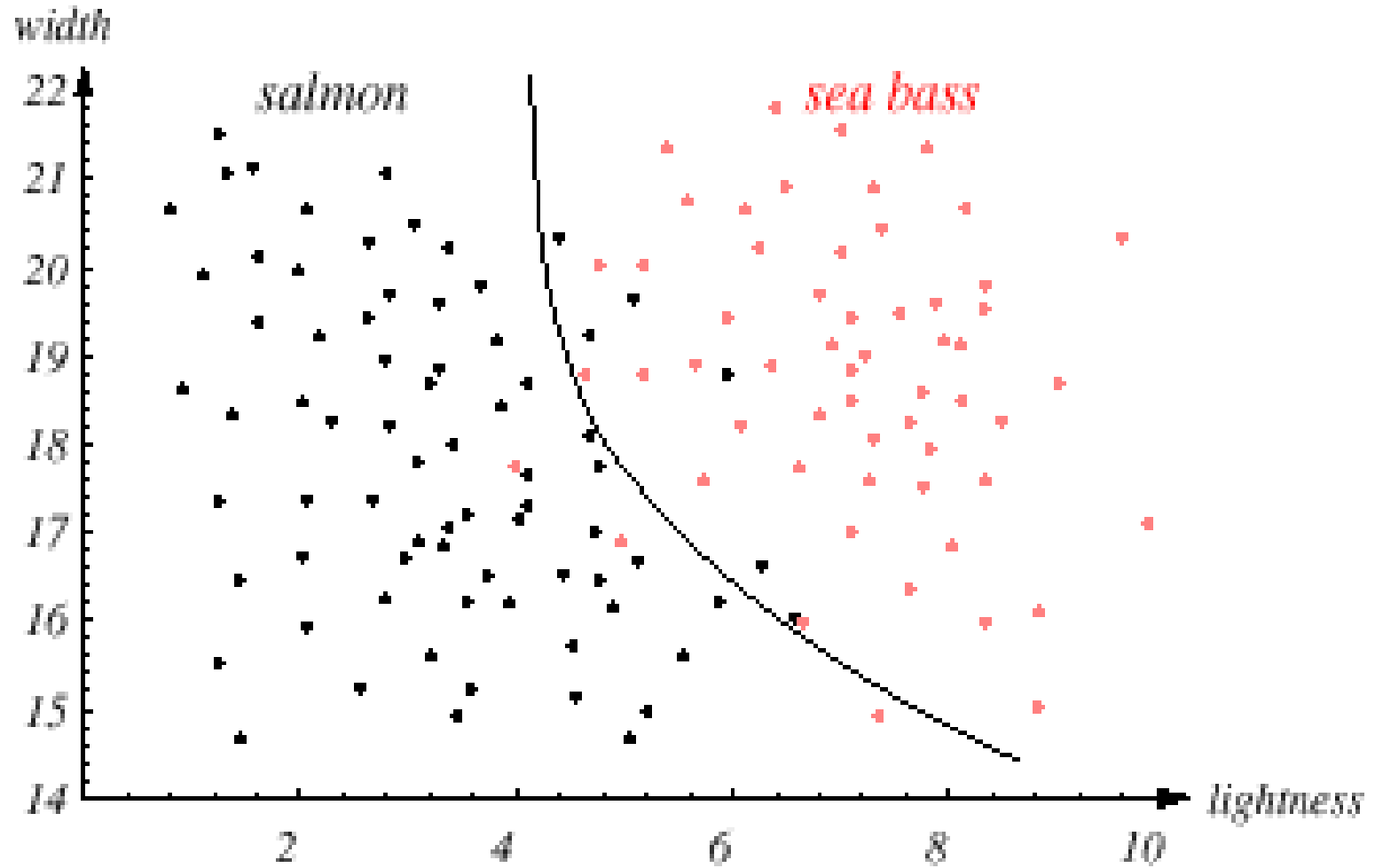


- Ωστόσο, η ικανοποίησή μας είναι μάλλον ατυχής, επειδή ο αντικειμενικός στόχος του σχεδιασμού ενός ταξινομητή είναι να ταξινομηθεί σωστά μια νέα είσοδος.

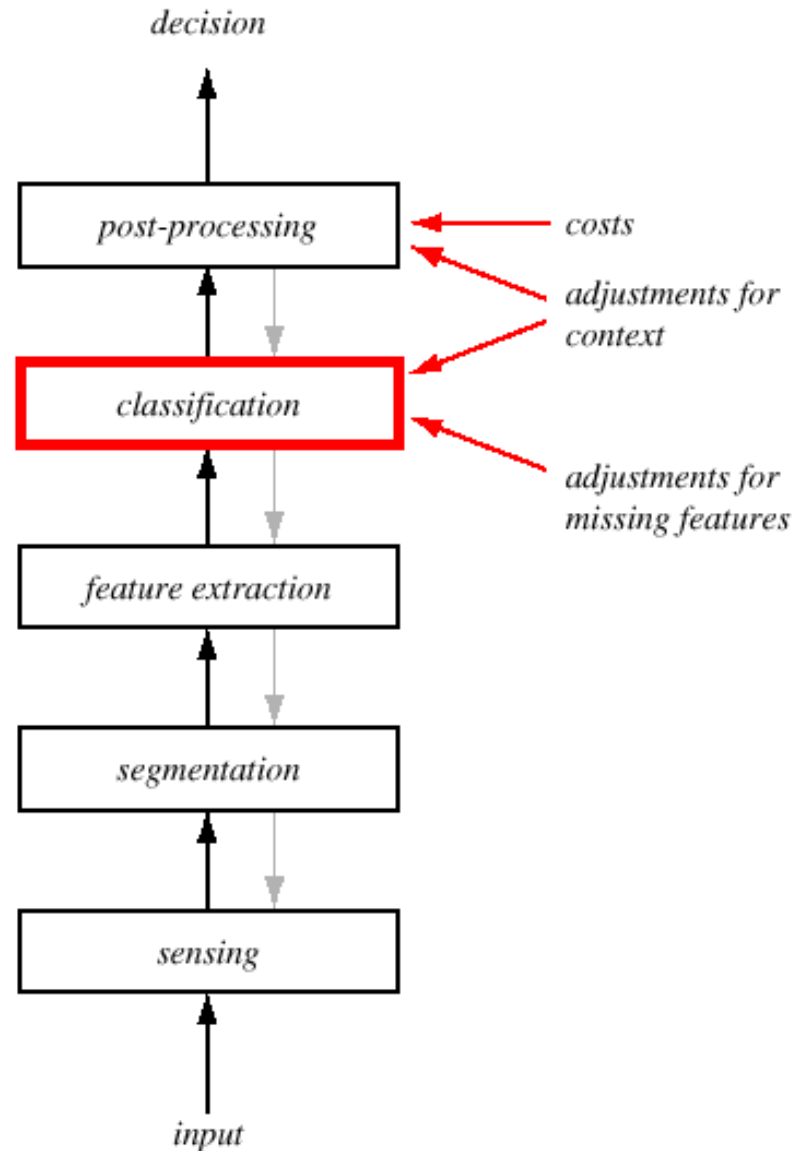


Issue of generalization!

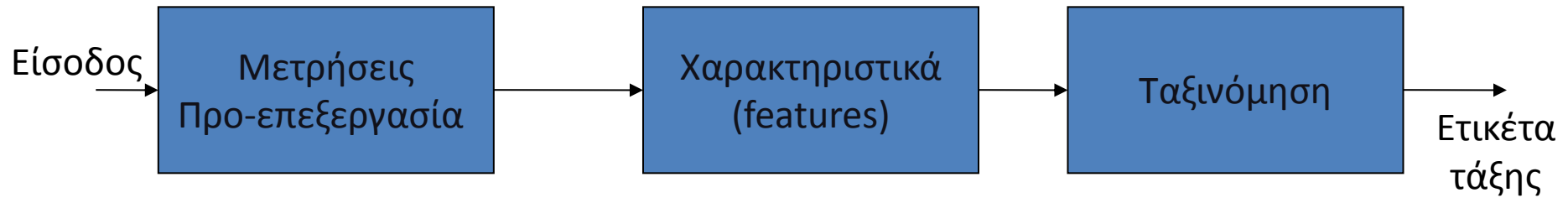
# Γενίκευση



# Ένα πλήρες PR σύστημα



# Διατύπωση προβλήματος (problem Formulation)



## Δομικά στοιχεία

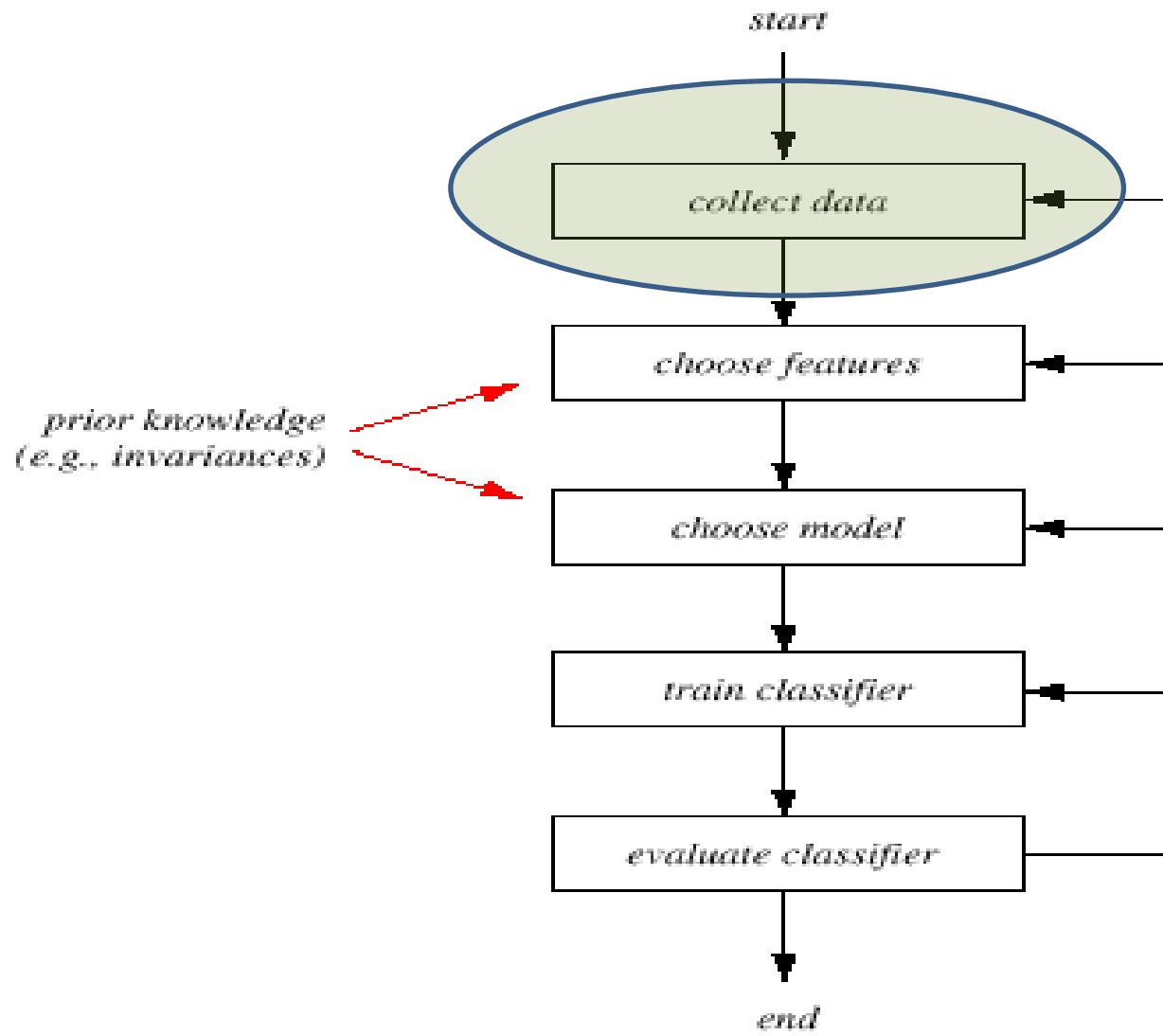
- Χώρος μέτρησης (e.g., image intensity, pressure)
- Χαρακτηριστικά (e.g., corners, spectral energy)
- Ταξινομητής - soft & hard
- Όριο απόφασης
- Δείγματα Εκπαίδευσης
- Πιθανότητα σφάλματος



# Φάση Σχεδιασμού

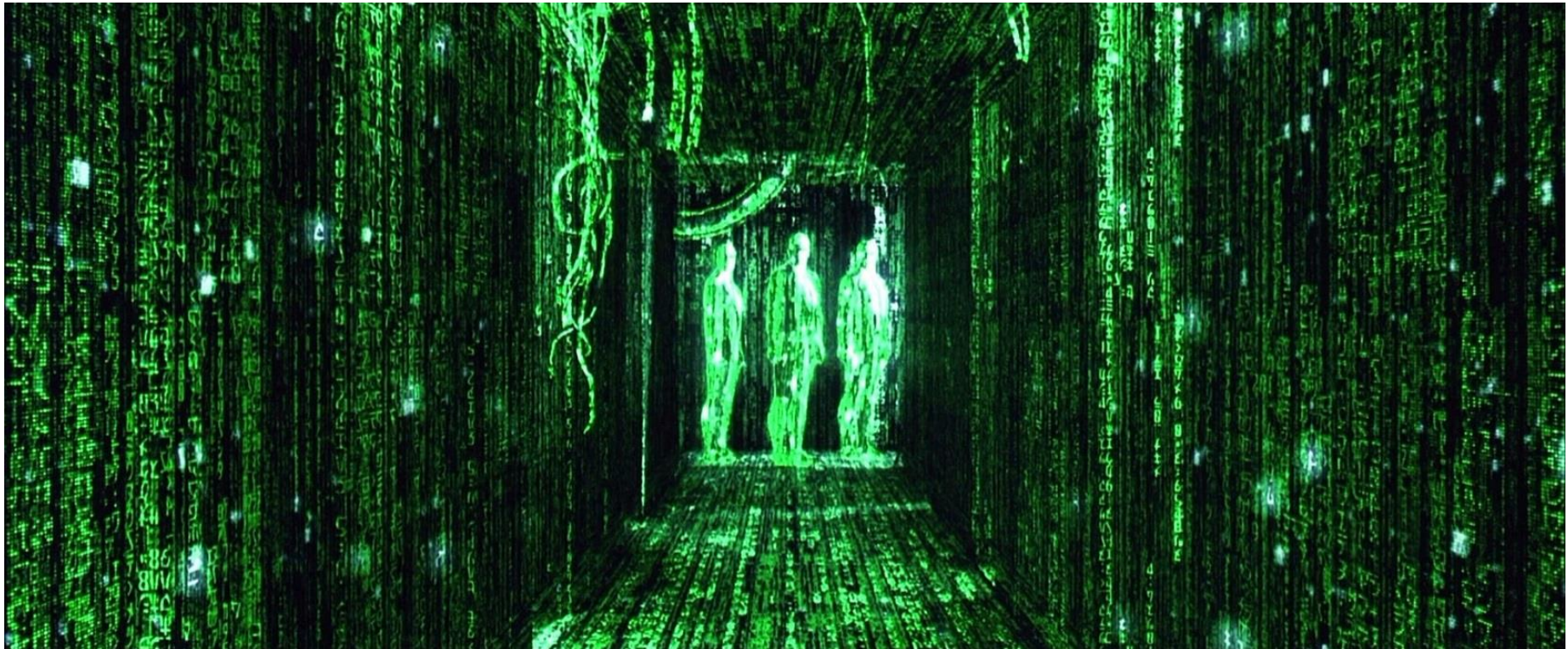


1. Επιλογή – εξαγωγή χαρακτηριστικών
  - Ποια είναι τα καλά χαρακτηριστικά;
2. Μοντελοποίηση – Μάθηση
3. Ελάττωση διαστάσεων
  - Πολυπλοκότητα μοντέλου
4. Αποφάσεις και ρίσκα – τίμημα.
5. Ανάλυση σφάλματος – επικύρωση (validation)
6. Όρια απόδοσης
7. Αλγόριθμος



- Συλλογή Δεδομένων

Πώς γνωρίζουμε ότι συλλέξαμε ένα επαρκώς μεγάλο και αντιπροσωπευτικό σύνολο παραδειγμάτων για τους σκοπούς της εκπαίδευσης και δοκιμής του συστήματος;



- **Επιλογή Χαρακτηριστικών**

Εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του προβλήματος:

Απλά στην εξαγωγή

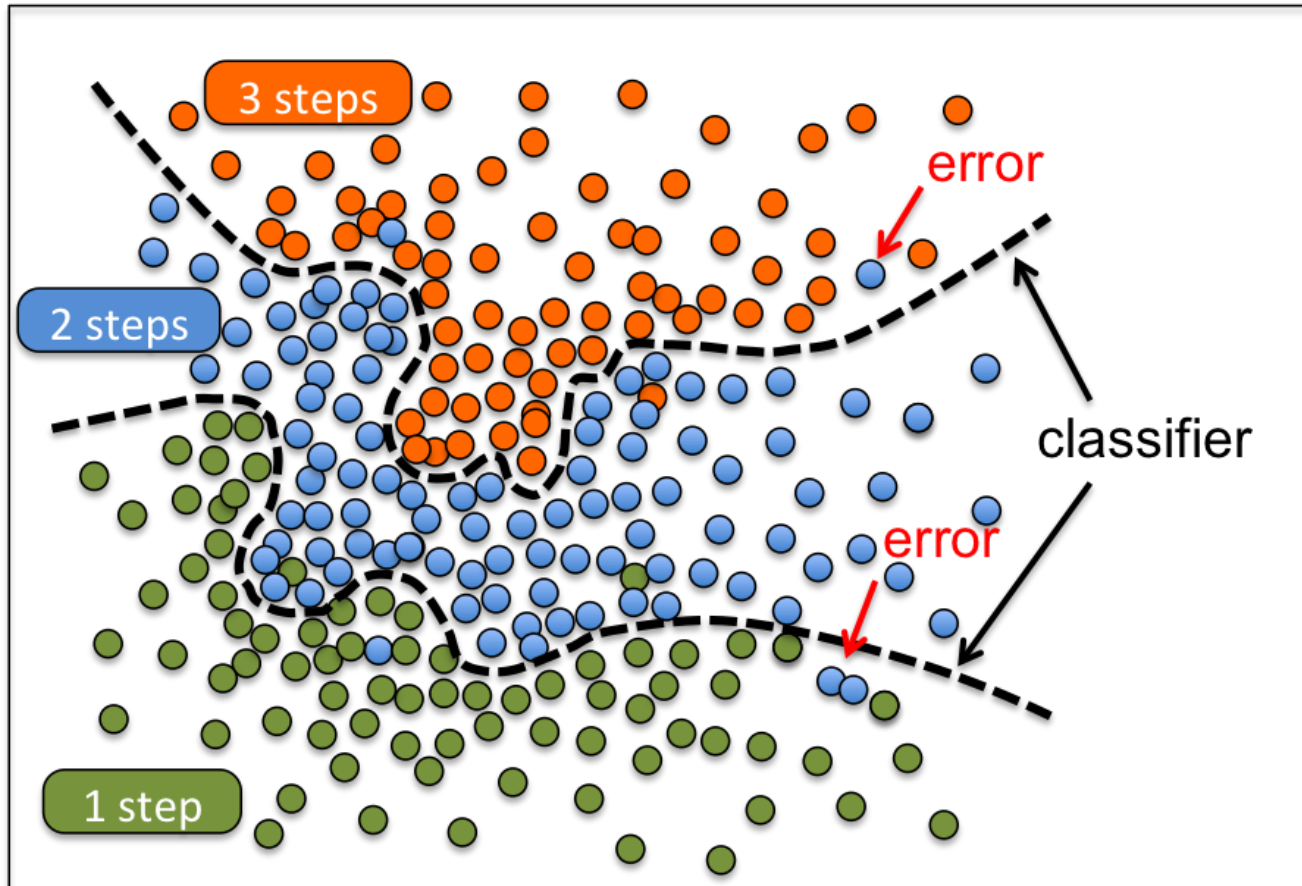
Αναλλοίωτα σε μετασχηματισμούς

Χαμηλή ευαισθησία στον θόρυβο.



## • Επιλογή μοντέλου

Μη ικανοποιητική απόδοση του γραμμικού ταξινομητή των ψαριών μας και επιθυμούμε την επιλογή άλλης κατηγορίας μοντέλου.



- Εκπαίδευση

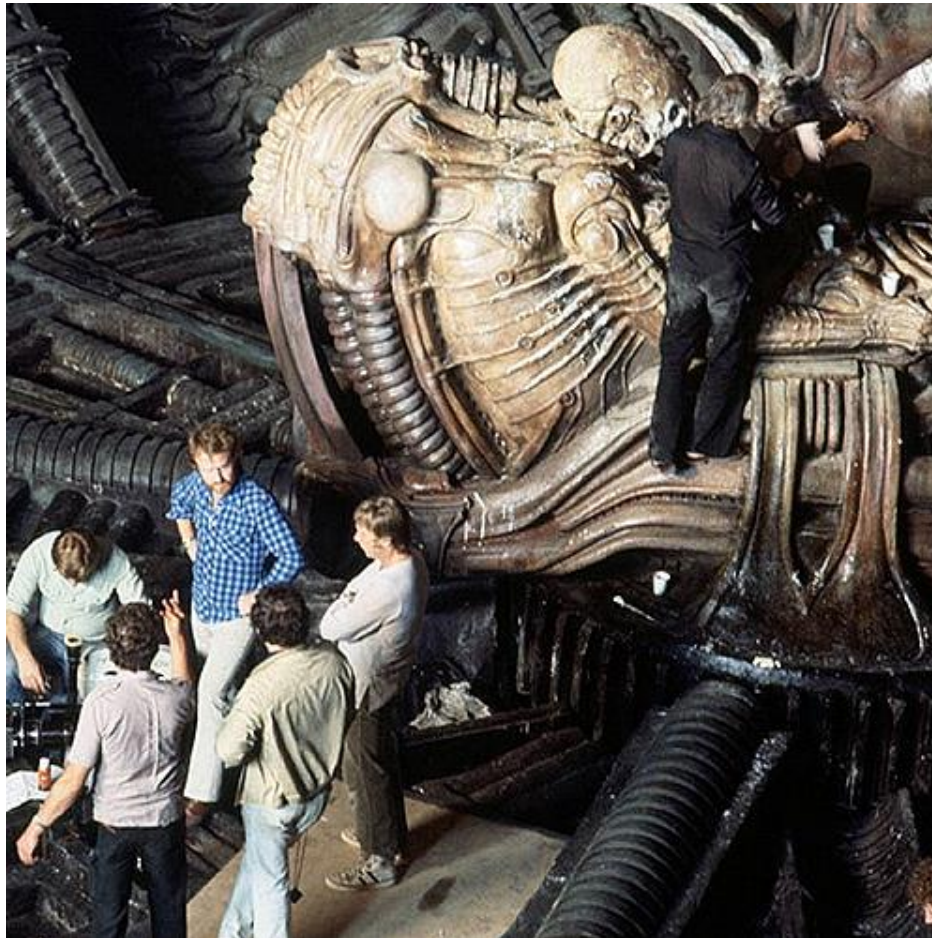
Χρησιμοποιήστε τα δεδομένα για να καθορίσετε τις παραμέτρους λειτουργίας του ταξινομητή.

Ύπαρξη πολλών διαφορετικών διαδικασιών για ταξινομητές και επιλογή μοντέλων



- Εκτίμηση απόδοσης

Μέτρηση της απόδοσης του σφάλματος (error rate) και εναλλαγή από ένα σύνολο χαρακτηριστικών και μοντέλων σε ένα άλλο.



# Υπολογιστική πολυπλοκότητα

- Υπάρχει ισορροπία (trade off) μεταξύ υπολογιστικής πολυπλοκότητας και απόδοσης;
- Πώς επηρεάζεται η επιλογή ενός αλγορίθμου ως συνάρτηση:
  - Του πλήθους των χαρακτηριστικών
  - Του πλήθους των δεδομένων εκπαίδευσης
  - Του πλήθους των κατηγοριών
  - ...

# Διάλλειμα

