

Εισαγωγή στη Μηχανική Μάθηση

Μηχανική Μάθηση

ΔΠΜΣ Επιστήμη Δεδομένων και Μηχανική Μάθηση

Γιώργος Αλεξανδρίδης – gealexandri@islab.ntua.gr

Το πρόβλημα της Μάθησης

- Πως μπορούμε να προσεγγίσουμε ένα πρόβλημα με *υπολογιστικές* μεθόδους;
 - Κωδικοποιώντας ένα σύνολο σαφώς ορισμένων βημάτων, που είναι γνωστό ως αλγόριθμος
 - Παράδειγμα: Λύση δευτεροβάθμιας εξίσωσης $ax^2 + bx + c = 0, a \neq 0$
 - **Βήμα 1^ο**: Προσδιορισμός διακρίνουσας $\Delta = b^2 - 4ac$
 - **Βήμα 2^ο**: Αν $\Delta > 0$ τότε έχουμε δύο πραγματικές ρίζες, αν $\Delta = 0$ έχουμε μια διπλή φανταστική ρίζα και αν $\Delta < 0$ έχουμε δύο φανταστικές ρίζες
 - Ωστόσο, δεν μπορούν να κωδικοποιηθούν όλα τα προβλήματα με σαφώς ορισμένα βήματα
 - Παράδειγμα: Εύρεση αν μια δοσμένη εικόνα περιέχει την απεικόνιση μιας γάτας



Το πρόβλημα της Μάθησης: Τσιουάουα ή Muffin;



Συστήματα Μάθησης (Learning Systems)

- Δεν προγραμματίζονται για να λύσουν ένα συγκεκριμένο πρόβλημα
- Αντίθετα, *κατασκευάζουν τα ίδια* το «πρόγραμμα» που επιλύει το πρόβλημα που τους ζητείται, βασιζόμενα σε:
 1. Παραδείγματα **ορθής** συμπεριφοράς
 2. Συλλογή εμπειριών **δοκιμής και σφάλματος** (trial-and-error) κατά την διαδικασία επίλυσης του προβλήματος



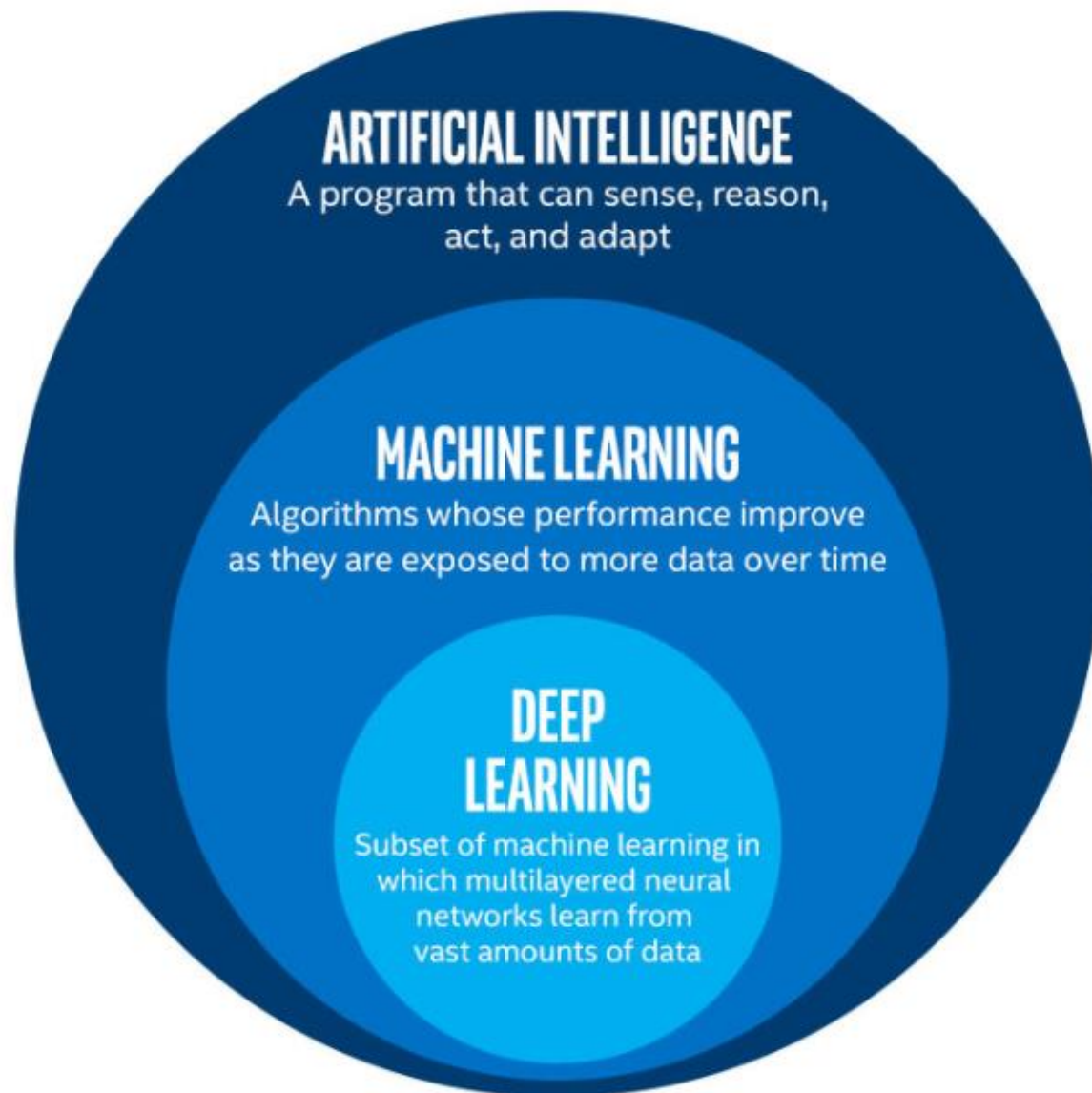
Μηχανική Μάθηση

- **Arthur Samuel** (1901 – 1990)
- *Η Μηχανική Μάθηση είναι εκείνο το πεδίο της έρευνας το οποίο δίνει τη δυνατότητα στους υπολογιστές να μαθαίνουν χωρίς να προγραμματίζονται άμεσα.*
(1959)
- Σημαντική συνεισφορά και στον τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης
- Έφτιαξε ένα από τα πρώτα «αυτό-εκπαιδευόμενα» (self learning) προγράμματα για το παιχνίδι της ντάμας



Μηχανική Μάθηση

- **Tom M. Mitchell** (1951 -)
- *Ένα πρόγραμμα υπολογιστή λέγεται ότι μαθαίνει από ένα σύνολο εμπειριών E σε σχέση με ένα σύνολο εργασιών T και έναν τρόπο μέτρησης της απόδοσης P , αν η απόδοσή του σε εργασίες του συνόλου T , όπως μετριούνται από το P , βελτιώνεται με την εμπειρία E (1998)*
- Καθηγητής στο Carnegie Mellon University
- Πως μπορούμε να ορίσουμε τα E , T και P στο παιχνίδι της ντάμας;



Συσχέτιση
με Τεχνητή
Νοημοσύνη

Μηχανική Μάθηση

- Δίνει τη δυνατότητα στους υπολογιστές να μαθαίνουν από άγνωστα δεδομένα και περιβάλλοντα, καθώς και να ανακαλύπτουν *πρότυπα* και *μοντέλα* στα δεδομένα αυτά
- **Μοντέλο** (model)
 - Απλοποιημένη αφαιρετική εκδοχή του περιβάλλοντος που παράγεται από **επαγωγή** (induction)
 - Επαγωγή: λειτουργία εκείνη του ανθρώπινου λογισμού, κατά την οποία οι προτάσεις (εικασίες ή υποθέσεις) ενός επιχειρήματος υποστηρίζουν το συμπέρασμα αλλά δεν το κατοχυρώνουν.
- **Πρότυπα** (patterns)
 - Δομές που οργανώνουν και συσχετίζουν τις εμπειρίες και τις παραστάσεις ενός ατόμου
- **Μηχανική μάθηση** (machine learning)
 - Δημιουργία μοντέλων ή προτύπων από ένα σύνολο δεδομένων

Γνωστικά Συστήματα (Cognitive Systems)

- Συστήματα επεξεργασίας πληροφοριών με **δυνατότητες αντίληψης, μάθησης, συλλογισμού, λήψης απόφασης** κλπ
- Η *έννοια της μάθησης* σε ένα γνωστικό σύστημα έχει να κάνει με:
 - Την ικανότητα να **αποκτά γνώση** κατά την *αλληλεπίδρασή* του με το περιβάλλον
 - Την ικανότητα να **βελτιώνει** τον τρόπο που εκτελεί μια ενέργεια σε κάθε *επανάληψη*

Κυριότερα είδη Μηχανικής Μάθησης

1. Επιβλεπόμενη Μάθηση (Supervised learning)

- Γνωστή και ως μάθηση με παραδείγματα (learning by examples)
- Το σύστημα καλείται να μάθει την περιγραφή του μοντέλου από ένα *επιγεγραμμένο* (labelled) σύνολο δεδομένων
 - Αποτελείται από δείγματα δεδομένων για τα οποία **γνωρίζουμε** την επιθυμητή έξοδο

2. Μη-επιβλεπόμενη Μάθηση (Unsupervised learning)

- Δεν υπάρχουν επιγεγραμμένα δεδομένα (επιθυμητή έξοδος)
- Το σύστημα καλείται να ανακαλύψει συσχετίσεις και ενδιαφέροντα πρότυπα ανάμεσα στα δεδομένα

3. Αυτό-ενισχυόμενη Μάθηση (Reinforcement Learning)

- Το σύστημα αλληλεπιδρά με το περιβάλλον
- Εκτελεί μια δράση/ενέργεια και λαμβάνει μια ανταμοιβή από το περιβάλλον
- Μοντελοποιεί τον τρόπο με τον οποίο με τον οποίο λειτουργούν τα νοήμονα όντα

Επιβλεπόμενη Μάθηση

Supervised Learning

Ταξινόμηση και Παλινδρόμηση

- **Ταξινόμηση (Classification)**

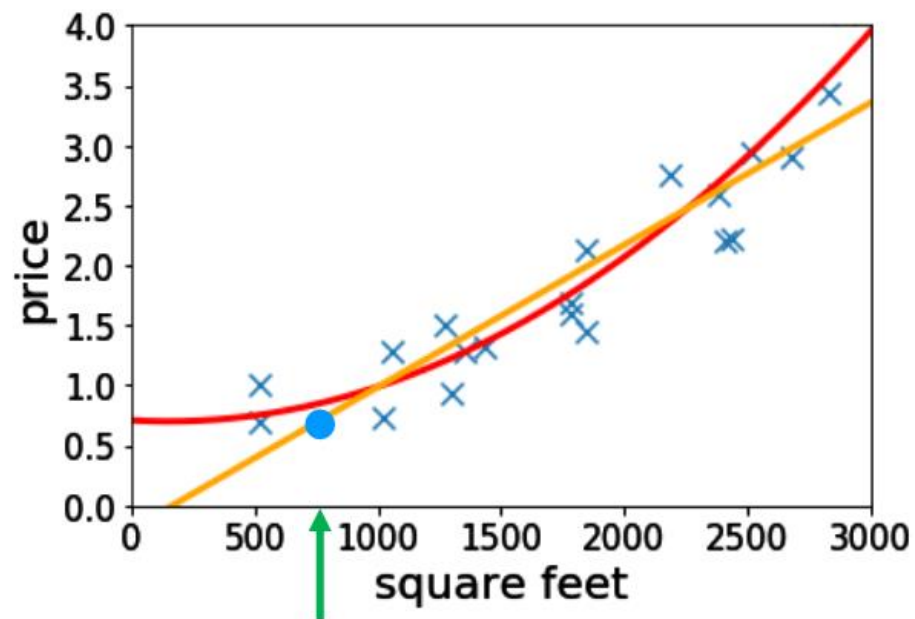
- Η επιθυμητή έξοδος εντάσσεται σε *μια* ή *περισσότερες* διακριτές μεταξύ τους κατηγορίες
- Ειδικές περιπτώσεις
 - **Μια κατηγορία:** Προβλήματα αναζήτησης έκτοπων τιμών (outlier detection)
 - λχ έχει ένα δείγμα δεδομένων χαρακτηριστικά που το κάνουν να «ξεχωρίζει» από όλα τα υπόλοιπα;
 - **Δυο κατηγορίες:** Προβλήματα δυαδικής (binary) ταξινόμησης
 - λχ από τη μαγνητική τομογραφία προκύπτει αν ο ασθενής έχει καρκίνο ή όχι;

- **Παλινδρόμηση (Regression)**

- Η επιθυμητή έξοδος έχει ένα *συνεχές* πεδίο τιμών
- λχ δεδομένης της σημερινής ισοτιμίας δολαρίου και ευρώ, ποια θα είναι η αυριανή ισοτιμία;

Πρόβλεψη τιμής ακινήτων

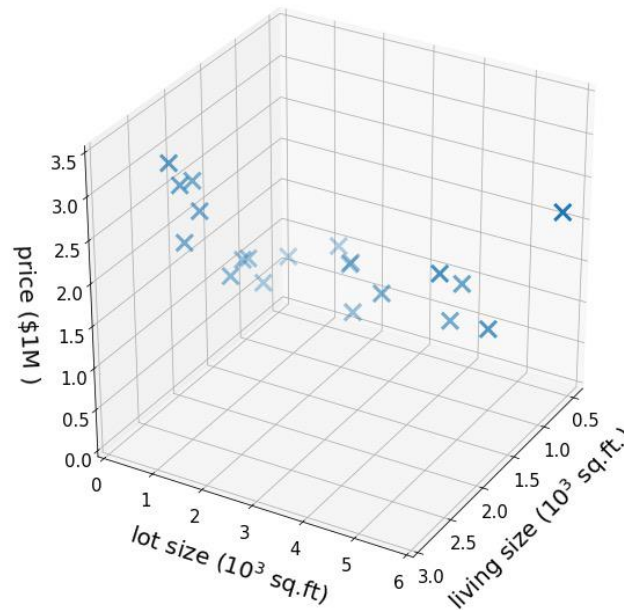
- Έχουμε διαθέσιμο σύνολο δεδομένων n παραδειγμάτων $(x^{(1)}, y^{(1)}), \dots, (x^{(n)}, y^{(n)})$
- Ζητούμενο
 - Αν μια οικία έχει επιφάνεια x τετραγωνικά, *ποια* μπορεί να είναι η *τιμή* της;
- Ερώτηση
 - Τι πρόβλημα είναι; Ταξινόμησης ή παλινδρόμησης;



$$x = 800$$
$$y = ?$$

Πρόβλεψη τιμής ακινήτων (συνέχεια)

- Έστω ότι γνωρίζουμε και την επιφάνεια των θέσεων στάθμευσης
 - Επιπρόσθετο **χαρακτηριστικό** (feature)
- Σύνολο δεδομένων n χαρακτηριστικών
 - $(x^{(1)}, y^{(1)}), \dots, (x^{(n)}, y^{(n)})$, όπου $x = (x_1^{(i)}, x_2^{(i)})$
- Ζητούμενο
 - Εύρεση *απεικόνισης* (συνάρτησης) από τον χώρο των *χαρακτηριστικών* (είσοδος) στον χώρο των *ετικετών* (έξοδος)
 - (size, lot size) \rightarrow (price)
 - (size, lot size): **χαρακτηριστικά** (features) ή **είσοδος** (input)
 - price: **ετικέτα** (label) ή **έξοδος** (output)

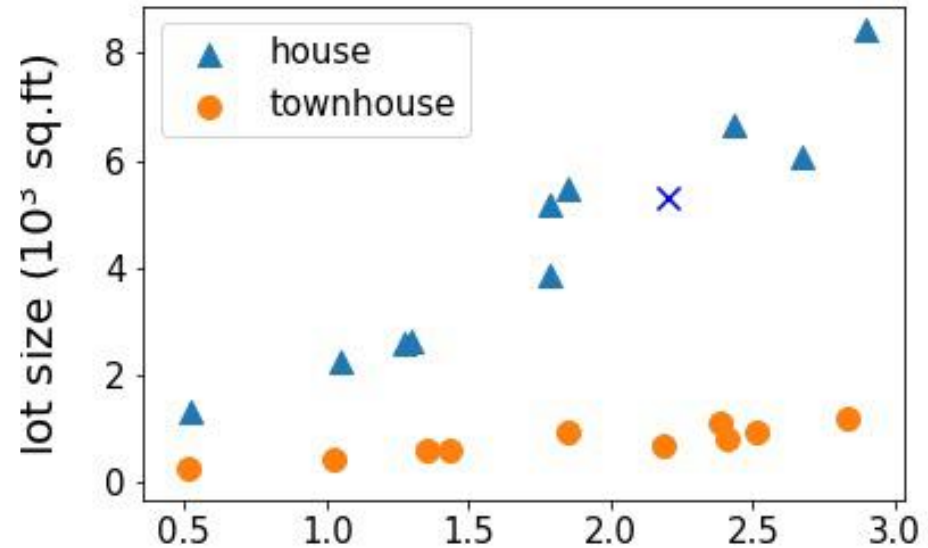


Δεδομένα υψηλών διαστάσεων

- Στο προηγούμενο παράδειγμα τα δεδομένα εισόδου είχαν διάσταση 2
 - (size, lot size) ή $x = (x_1^{(i)}, x_2^{(i)})$ ή $x \in \mathbb{R}^2$
- Στην πράξη, οι διαστάσεις μπορεί να είναι *πάρα πολλές*
 - (size, lot size, living room size, number of rooms, number of floors, ...)
 - $x = (x_1^{(i)}, x_2^{(i)}, \dots, x_d^{(i)})$ ή $x \in \mathbb{R}^d$
- **«Κατάρρα της διαστατικότητας»** (curse of dimensionality)
 - Θεωρητικά, οι διαστάσεις μπορούν να γίνουν *απεριόριστες*
 - Όσο μεγαλύτερη είναι η διάσταση, τόσο πιο *«αραιά»* γίνονται τα δεδομένα μάθησης, άρα και πιο *δύσκολη* η μάθηση
 - πχ πυκνότητα 10 δειγμάτων μάθησης σε μια γραμμή 1 cm, ένα τετράγωνο 1 cm² και έναν κύβο 1 cm³
- Τεχνικές **μείωσης διαστατικότητας** (dimensionality reduction)
- Τεχνικές **επιλογής χαρακτηριστικών** (feature selection)

Αστική μονοκατοικία ή οικία στα προάστια;

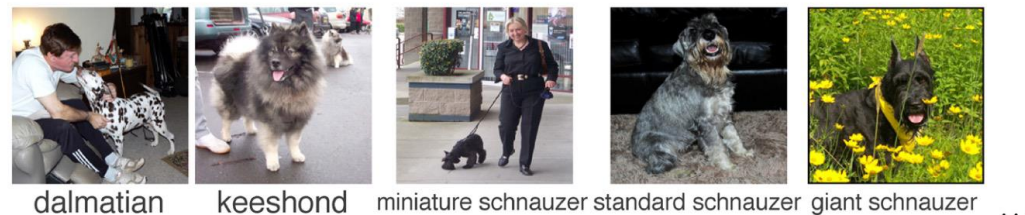
- Σύνολο δεδομένων n δειγμάτων
 - $(x^{(1)}, y^{(1)}), \dots, (x^{(n)}, y^{(n)})$, όπου $x = \begin{pmatrix} x_1^{(i)} \\ x_2^{(i)} \end{pmatrix}$
- Ζητούμενο
 - Αν μια οικία έχει επιφάνεια x_1 τετραγωνικά και θέση στάθμευσης x_2 , τι είναι το πιθανότερο να είναι; *Αστική μονοκατοικία ή οικία στα προάστια;*
- Ερώτηση
 - Τι πρόβλημα είναι; Ταξινόμησης ή παλινδρόμησης;



Επιβλεπόμενη μάθηση στην Όραση Υπολογιστών (Computer Vision)

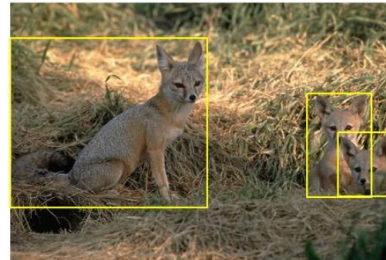
- Ταξινόμηση Εικόνων (Image Classification)
 - x τα pixel της εικόνας, y το αντικείμενο που απεικονίζεται

ILSVRC

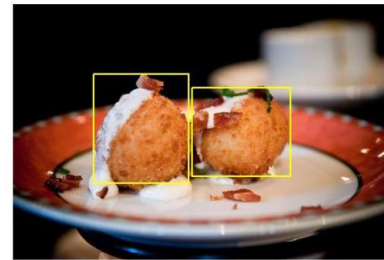


Επιβλεπόμενη μάθηση στην Όραση Υπολογιστών

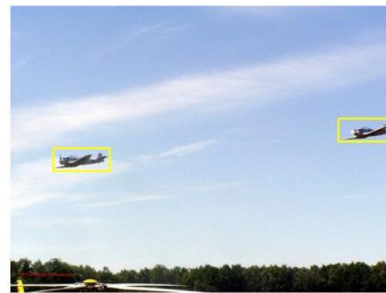
- Εντοπισμός αντικειμένων (object localization)
 - x τα pixel της εικόνας, y τα όρια του/των αντικειμένων εντός της εικόνας



kit fox



croquette



airplane

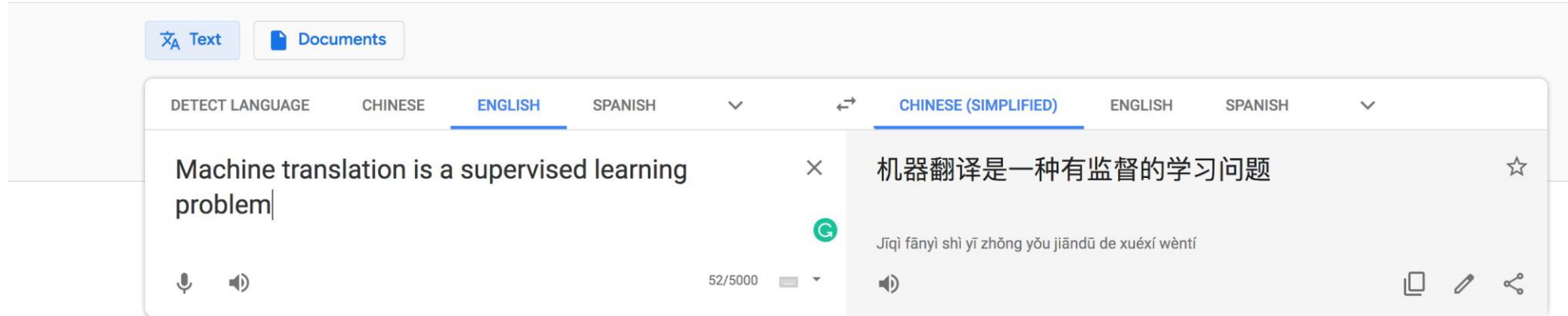


frog

Επιβλεπόμενη μάθηση στην Επεξεργασία Φυσικής Γλώσσας

- Μηχανική Μετάφραση (Machine Translation)
 - x οι λέξεις της γλώσσας πηγής, y οι λέξεις της γλώσσας προορισμού

Google Translate



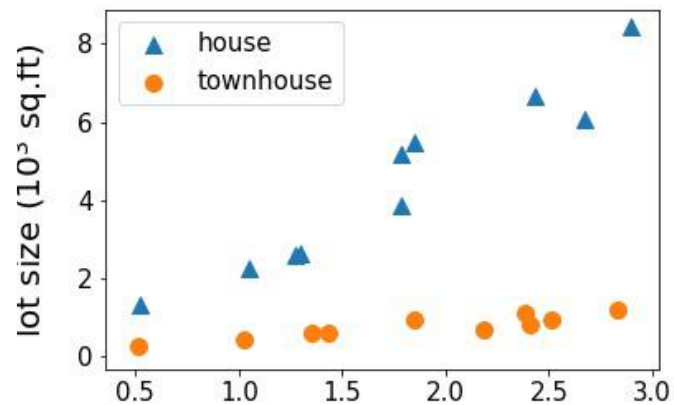
The screenshot shows the Google Translate interface. At the top, there are two tabs: 'Text' and 'Documents'. Below the tabs, there are two language selection menus. The first menu is set to 'ENGLISH' and the second to 'CHINESE (SIMPLIFIED)'. The input text in the English box is 'Machine translation is a supervised learning problem'. The output in the Chinese box is '机器翻译是一种有监督的学习问题'. Below the Chinese text, there is a pinyin transcription: 'Jīqì fānyì shì yī zhǒng yǒu jiāndū de xuéxí wèntí'. There are also icons for voice input/output, a character count (52/5000), and a 'Send feedback' link at the bottom right.

Μη-επιβλεπόμενη Μάθηση

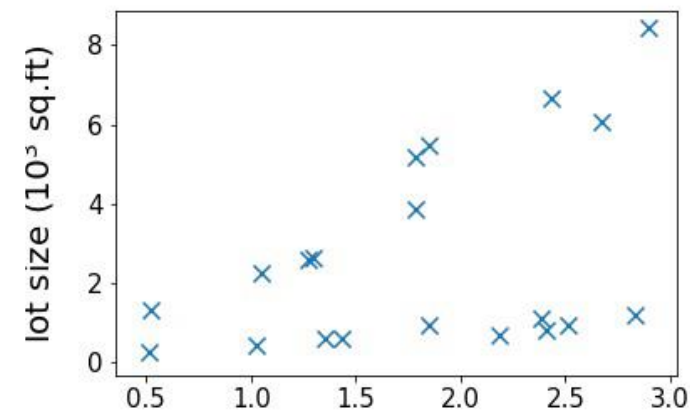
Unsupervised Learning

Μη-επιβλεπόμενη Μάθηση

- Σύνολο δεδομένων n δειγμάτων $x^{(1)}, \dots, x^{(n)}$ χωρίς ετικέτες
- Ζητούμενο
 - Εύρεση *ενδιαφέρουσας δομής* στα δεδομένα
 - Το ζητούμενο είναι κάπως *αόριστο*



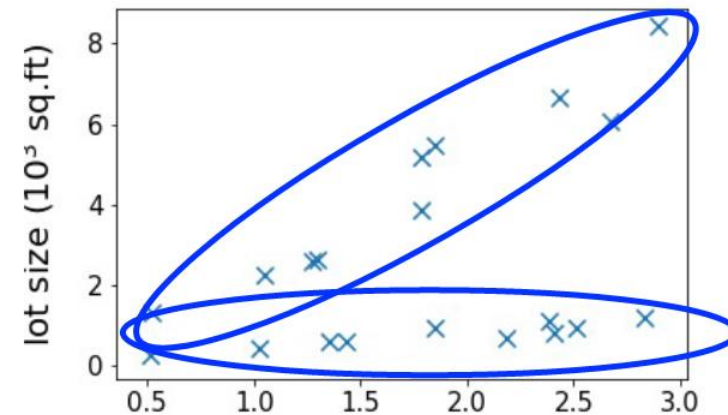
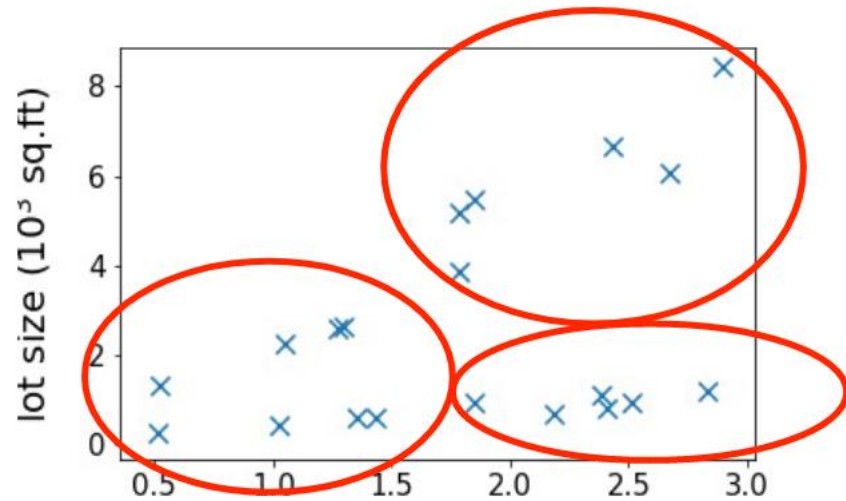
Επιβλεπόμενη Μάθηση



Μη-επιβλεπόμενη Μάθηση

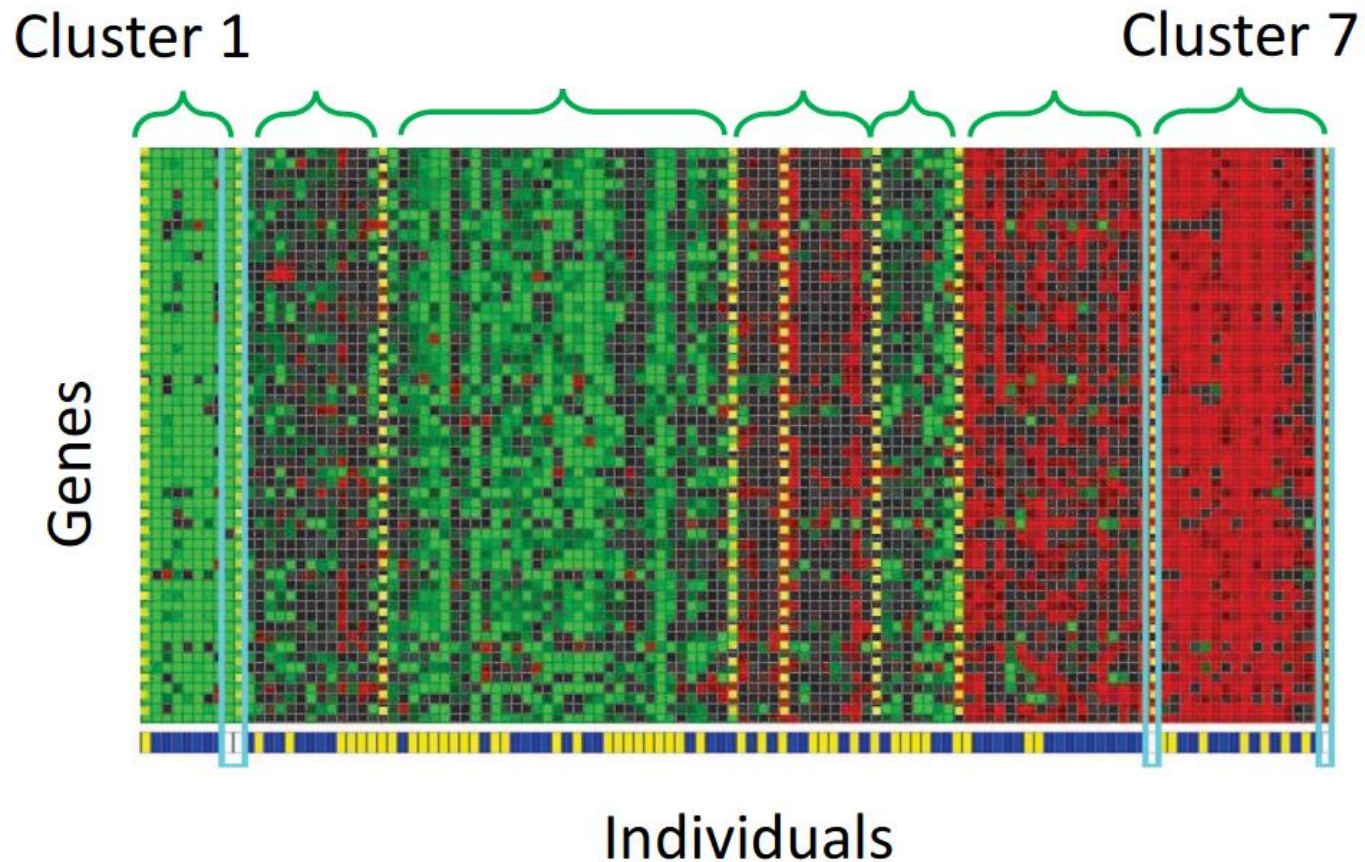
Συσταδοποίηση (Clustering)

- Ομαδοποίηση των σημείων σε συστάδες (clusters)
- Το πλήθος τους μας είναι άγνωστο
- Ποια από τις δύο παρακάτω συσταδοποιήσεις είναι η ορθότερη;



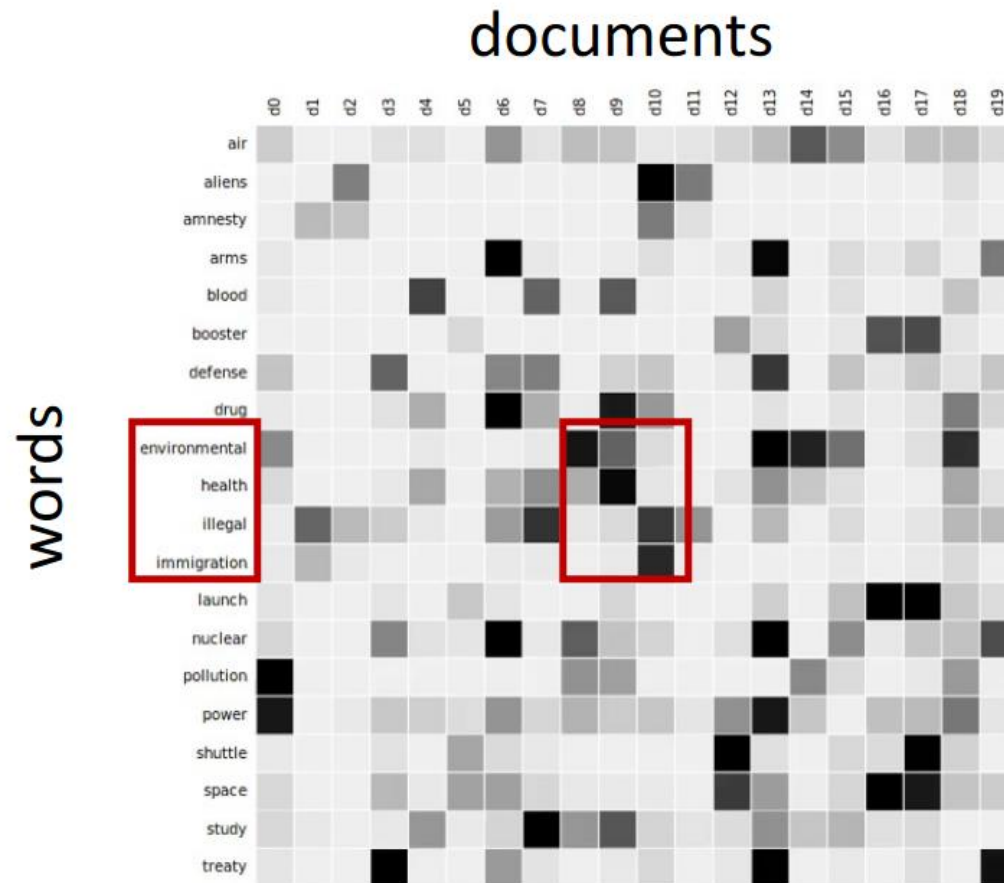
Συσταδοποίηση γονιδίων

- Εύρεση παθογόνων παραγόντων, γονιδιακών θεραπειών, κλπ



Συσταδοποίηση κειμένων

- Λανθάνουσα Σημασιολογική Ανάλυση (Latent Semantic Analysis)



Αυτοενισχυόμενη Μάθηση

Reinforcement Learning

Αυτοενισχυόμενη Μάθηση

- Εμπνευσμένη από τον **μπιχεβιορισμό** (*behaviorism*) και τον τρόπο που μαθαίνουν οι βιολογικοί οργανισμοί
- Δομικό στοιχείο αποτελεί ο **πράκτορας** (*agent*) και η αλληλεπίδρασή του με το **περιβάλλον** (*environment*)
- Περιβάλλον: Στοχαστικό ή όχι, πλήρως ή μερικώς παρατηρήσιμο, οι παρατηρήσεις μπορεί να είναι πολυδιάστατες,...
- **Βέλτιστη κατάσταση προσεγγίζεται με τη μορφή μικρών σωρευτικών ανταμοιβών** (*cumulative rewards*)
- Κατάλληλη για **ακολουθιακά προβλήματα λήψης αποφάσεων** (*sequential decision-making problems*), όπου το ορθό της απόφασης βασίζεται στην **πρότερη εμπειρία** (*past experience*)

Ευφυής δράστης/πράκτορας RL

- Μαθαίνει «καλές» συμπεριφορές
- Μάθηση μέσω **δοκιμής και σφάλματος** (*trial and error*)
- Δεν χρειάζεται να έχει πλήρη γνώση του περιβάλλοντος, αρκεί να *μπορεί να αλληλεπιδρά* με αυτό
 - Σε αντίθεση λχ με δυναμικό προγραμματισμό που απαιτεί πλήρη γνώση του περιβάλλοντος από πριν
- Online μάθηση
 - Ο πράκτορας μαθαίνει σε «πραγματικό» χρόνο ακολουθιακά, τη στιγμή που παρατηρεί το περιβάλλον
 - Μπορεί ωστόσο να συγκεντρώσει και την εμπειρία εκ των προτέρων \Rightarrow offline μάθηση, γνωστή και ως **batch RL** (μάθηση κατά δέσμες)

Atari (2015)

- Εκμάθηση τρόπου παιχνιδιού παιχνιδιών κονσόλας Atari εξετάζοντας μόνο τα pixels τους
- Αλγόριθμος DDQN – Double Q-Learning
 - <https://www.deepmind.com/open-source/dqn>
- Η εργασία δημοσιεύτηκε στο περιοδικό Nature το 2015
 - <https://www.nature.com/articles/nature14236>



AlphaGo (2016)

- Χρήση βαθιάς RL και Monte Carlo Tree Search για κατασκευή ευφυούς πράκτορα για το παιχνίδι Go
- Νίκησε τον Ευρωπαίο πρωταθλητή του Go Fan Hui και στις 5 παρτίδες που παίχτηκαν μεταξύ 5-9 Οκτωβρίου 2015.
- Η εργασία δημοσιεύτηκε στο περιοδικό Nature το 2016
 - <https://www.nature.com/articles/nature16961>

