



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

Τεχνητή Νοημοσύνη

Ενότητα 7: Μηχανική μάθηση

Αν. καθηγητής Στεργίου Κωνσταντίνος

kstergiou@uowm.gr

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

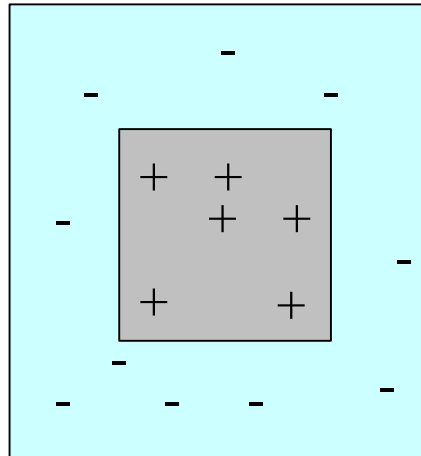
- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ψηφιακά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Μηχανική Μάθηση (Machine Learning) (1/4)



Μηχανική Μάθηση (Machine Learning) (2/4)

- Μέχρι τώρα έχουμε υποθέσει ότι όλη η “ευφυΐα” ενός πράκτορα παρέχεται στον πράκτορα από τον σχεδιαστή του.
 - Μετά ο πράκτορας εκμεταλλευόμενος την ευφυΐα που του δόθηκε προσπαθεί να επιτύχει τους στόχους του σε κάποιο περιβάλλον.
- Όταν όμως ο σχεδιαστής δεν έχει πλήρη γνώση του περιβάλλοντος στο οποίο θα λειτουργήσει ο πράκτορας τότε απαιτείται η δυνατότητα της **μάθησης** (*learning*):
 - Ικανότητα πρόσκτησης επιπλέον γνώσης κατά την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον.
 - Ικανότητα βελτίωσης του τρόπου εκτέλεσης ενεργειών μέσω της επανάληψης.



Μηχανική Μάθηση (3/4)

- **Μηχανική Μάθηση** (*machine learning*) είναι ο τομέας της ΤΝ που ασχολείται με πράκτορες που μαθαίνουν από τις εμπειρίες τους.
- **Βασική ιδέα:** Ό,τι προσλαμβάνει ο πράκτορας από το περιβάλλον μπορεί να χρησιμοποιηθεί:
 - Για να αποφασίσει τι ενέργειες θα κάνει για να λύσει ένα συγκεκριμένο πρόβλημα,
 - ✓ ό,τι καλύψαμε μέχρι τώρα στο μάθημα,
 - και για να μάθει να κάνει καλύτερες ενέργειες μελλοντικά.
- Η μάθηση είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης του πράκτορα και του γύρω κόσμου.

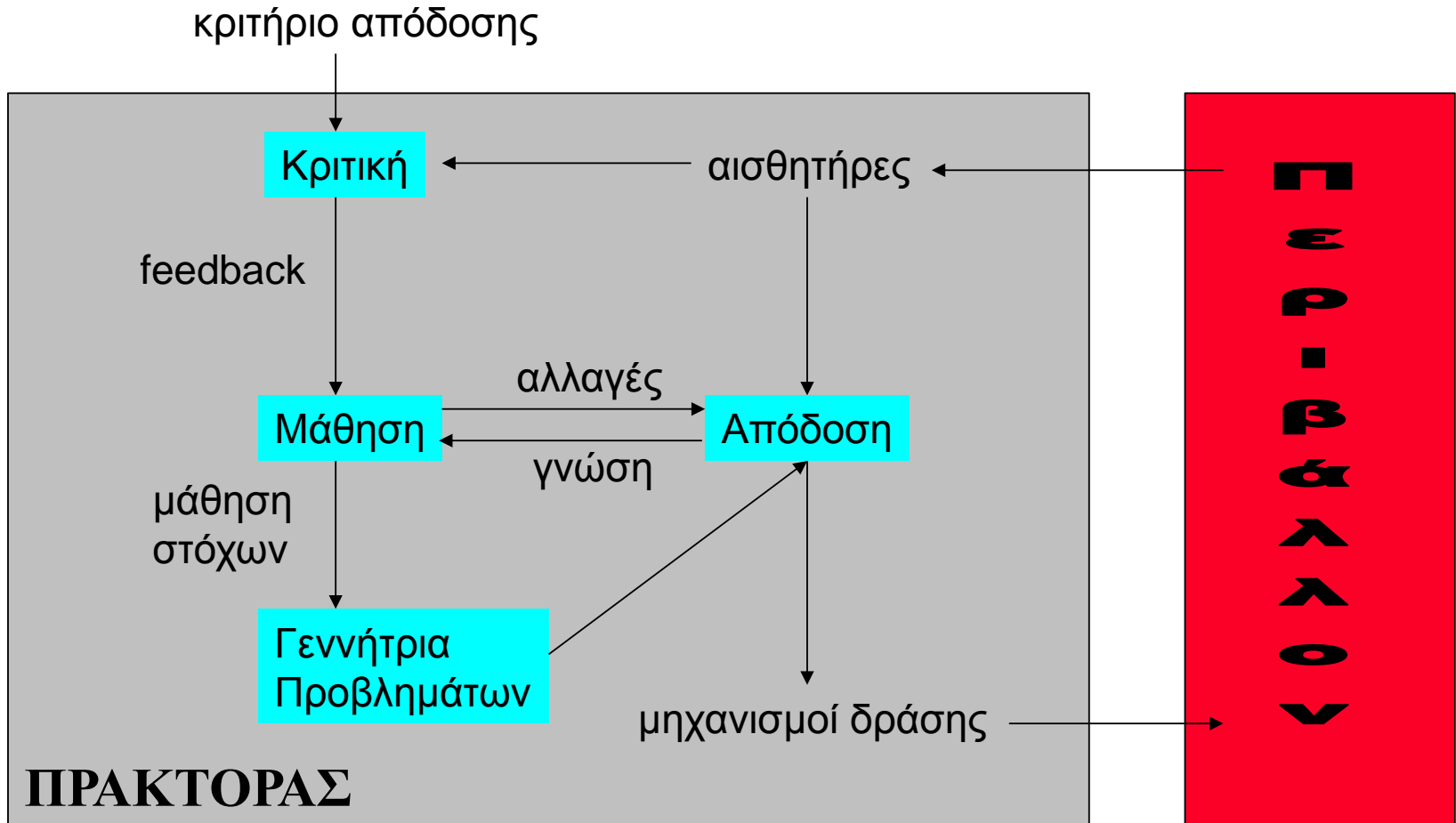


Πράκτορας Μάθησης (*Learning Agent*)

- Ένας πράκτορας μάθησης (*learning agent*) μπορεί να χωριστεί σε τέσσερα συστατικά:
 - **Τμήμα Μάθησης:**
 - ✓ υπεύθυνο να βελτιώνει στη συμπεριφορά του πράκτορα.
 - **Τμήμα Απόδοσης:**
 - ✓ επιλέγει τις ενέργειες.
 - **Τμήμα Κριτικής:**
 - ✓ λέει στο τμήμα μάθησης “πόσο καλά τα πάει” ο πράκτορας σύμφωνα με κάποιο εξωτερικό κριτήριο απόδοσης.
 - **Γεννήτρια προβλημάτων:**
 - ✓ προτείνει ενέργειες που θα οδηγήσουν σε νέες και διδακτικές εμπειρίες.



Πράκτορας Μάθησης



Πράκτορας Μάθησης – Παράδειγμα

- **Ο αυτοματοποιημένος οδηγός ταξί:**
 - Το **τμήμα απόδοσης** περιλαμβάνει όλη τη γνώση και τις μεθόδους που διαθέτει ο πράκτορας για να επιλέγει τις ενέργειες οδήγησης.
 - Το **τμήμα μάθησης** σχηματίζει στόχους μάθησης:
 - ✓ μάθε καλύτερους κανόνες που περιγράφουν τις συνέπειες του φρεναρίσματος,
 - ✓ μάθε τη γεωγραφία της περιοχής.
 - Το **τμήμα κριτικής** παρατηρεί τον κόσμο και δίνει πληροφορίες στο τμήμα μάθησης:
 - ✓ π.χ. παρατηρεί τις χειρονομίες άλλων οδηγών μετά από παραβίαση προτεραιότητας.
 - Η **γεννήτρια προβλημάτων** προτείνει ενέργειες:
 - ✓ πήγαινε από την λεωφόρο Χ αυτή τη φορά, να δούμε αν είναι πιο σύντομη.



Μηχανική Μάθηση (4/4)

- Έχουν προταθεί πολλές τεχνικές για την επίλυση προβλημάτων μηχανικής μάθησης.
 - Δηλ. πολλές τεχνικές για την υλοποίηση του τμήματος μάθησης ενός πράκτορα μάθησης.
- Η διαφοροποίηση συνίσταται:
 - Στον τρόπο με τον οποίο γίνεται η **μάθηση**:
 - ✓ σε ποια στοιχεία του τμήματος απόδοσης επιδρά.
 - Στον τρόπο **αναπαράστασης** της γνώσης.
 - Στο **feedback** που είναι διαθέσιμο.
 - Στην ύπαρξη ή όχι **αρχικής γνώσης**.



Μηχανική Μάθηση με Επίβλεψη

- Το τμήμα απόδοσης μπορεί να περιγραφεί μαθηματικά ως μια συνάρτηση. Π.χ:
 - Πληροφορία για τον τρόπο που εξελίσσεται ο κόσμος μπορεί να περιγραφεί ως μια συνάρτηση από μια κατάσταση του κόσμου στην επόμενη κατάσταση του.
 - Ένας στόχος μπορεί να περιγραφεί σαν μια συνάρτηση από μια κατάσταση σε μια Boolean τιμή (0 ή 1) αναλόγως με το αν η κατάσταση ικανοποιεί τον στόχο.
- **Μπορούμε να δούμε τη διαδικασία μάθησης γενικά ως τη διαδικασία μάθησης της αναπαράστασης μιας συνάρτησης.**



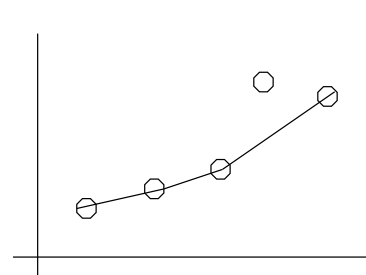
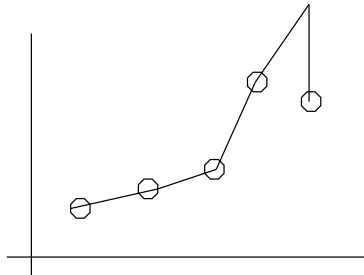
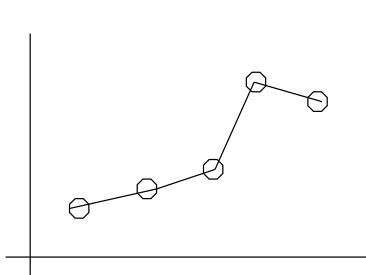
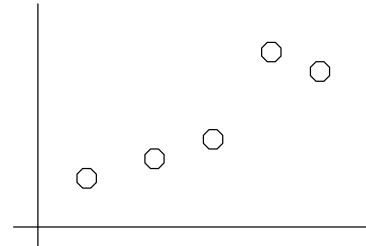
Επαγωγική Μάθηση (1/4)

- **Επαγωγική Μάθηση** (*inductive learning*) είναι η μάθηση μιας έννοιας (δηλ. μιας συνάρτησης) μέσω ενός συνόλου παραδειγμάτων.
 - Ένα **παράδειγμα** είναι μια δυάδα $(x, f(x))$, όπου f είναι μια συνάρτηση, το x είναι η είσοδος, και το $f(x)$ η έξοδος της συνάρτησης όταν εφαρμόζεται στο x .
- Με άλλα λόγια ο στόχος της επαγωγικής μάθησης είναι ο εξής:
 - **Δοθέντος ενός συνόλου παραδειγμάτων μιας συνάρτησης f , βρες μια συνάρτηση h που προσεγγίζει την f .**
- Η συνάρτηση h ονομάζεται **υπόθεση**:
 - Μια καλή υπόθεση θα πρέπει να **γενικεύεται** (δηλ. να προβλέπει σωστά παραδείγματα που δεν έχει εξετάσει ακόμα).
 - Το πρόβλημα εύρεσης μια καλής υπόθεσης είναι δύσκολο...



Επαγωγική Μάθηση – Παράδειγμα

- Έχουμε 5 παραδείγματα (σημεία) και η πραγματική f είναι άγνωστη. Υπάρχουν πολλές επιλογές για την h .
- **Ockham's razor:** Η πιο πιθανή υπόθεση είναι η απλούστερη που είναι και συνεπής με όλες τις παρατηρήσεις.



Επαγωγική Μάθηση (2/4)

- Μια υπόθεση ονομάζεται **συνεπής** (*consistent*) όταν συμφωνεί με όλα τα δεδομένα.
- Για να βρούμε μια συνεπή υπόθεση πρέπει να ψάξουμε στο χώρο των πιθανών υποθέσεων:
 - πως ορίζεται αυτός ο χώρος;
 - πολύ μεγάλος χώρος υποθέσεων => πολύ μεγάλος χώρος αναζήτησης => υψηλή πολυπλοκότητα.
 - αν ο χώρος αναζήτησης είναι μικρός υπάρχει περίπτωση να μην εμπεριέχει την λύση.
 - ✓ **ανέφικτο** πρόβλημα.
 - απαιτείται ισορροπία.



Επαγωγική Μάθηση (3/4)

Ένας απλός αντιδραστικός πράκτορας μάθησης:

$global\ examples \leftarrow \{\}$

function Reflex-Performance-Element (*percept*) returns an action

 if (*percept*, *a*) in *examples* then return *a*

 else

$h \leftarrow \text{Induce}(\text{examples})$

 return $h(\text{percept})$

procedure Reflex-Learning-Element (*percept*, *action*)

 inputs: *percept*, feedback *percept*

action, feedback *action*

$examples \leftarrow examples \cup \{(percept, action)\}$



Επαγωγική Μάθηση (4/4)

- Πως αναπαριστάται η γνώση;
- Η επιλογή του τρόπου αναπαράστασης είναι η πιο σημαντική απόφαση που πρέπει να πάρει ο σχεδιαστής του συστήματος μάθησης. Επηρεάζει:
 - αλγόριθμους μάθησης,
 - απόδοση.
- Όπως στη συλλογιστική έτσι και στη μάθηση υπάρχει trade-off μεταξύ **εκφραστικότητας** της γλώσσας και **απόδοσης**.
 - γλώσσες λογικής;



Δέντρα Απόφασης (1/5)

- Η επαγωγή με **δέντρα απόφασης** (*decision trees*) είναι μια από τις απλούστερες και πιο πετυχημένες μορφές αλγορίθμων μάθησης.
- Ένα δέντρο μάθησης παίρνει ως είσοδο ένα αντικείμενο ή μια κατάσταση που περιγράφονται από ένα σύνολο ιδιοτήτων και επιστρέφει μια *ναι ή όχι* “απόφαση”:
 - τα δέντρα απόφασης αναπαριστούν Boolean συναρτήσεις,
 - κάθε εσωτερικός κόμβος αντιστοιχεί σε τεστ της τιμής μιας από τις ιδιότητες.



Δέντρα Απόφασης – Παράδειγμα (2/5)

- Το πρόβλημα ζητάει να αποφασίσουμε αν θα περιμένουμε για τραπέζι σε ένα restaurant.
 - Στόχος είναι να μάθουμε τον ορισμό του κατηγορήματος WillWait, εκφρασμένο σαν δέντρο απόφασης.
- Έχουμε τα παρακάτω ορίσματα (*attributes*):
 - *Alternate*:
 - ✓ αν υπάρχει εναλλακτικό restaurant κοντά.
 - *Bar*:
 - ✓ αν υπάρχει χώρος αναμονής στο bar.
 - *Fri/Sat*:
 - ✓ αν είναι Παρασκευή ή Σάββατο.
 - *Hungry*:
 - ✓ αν πεινάμε.

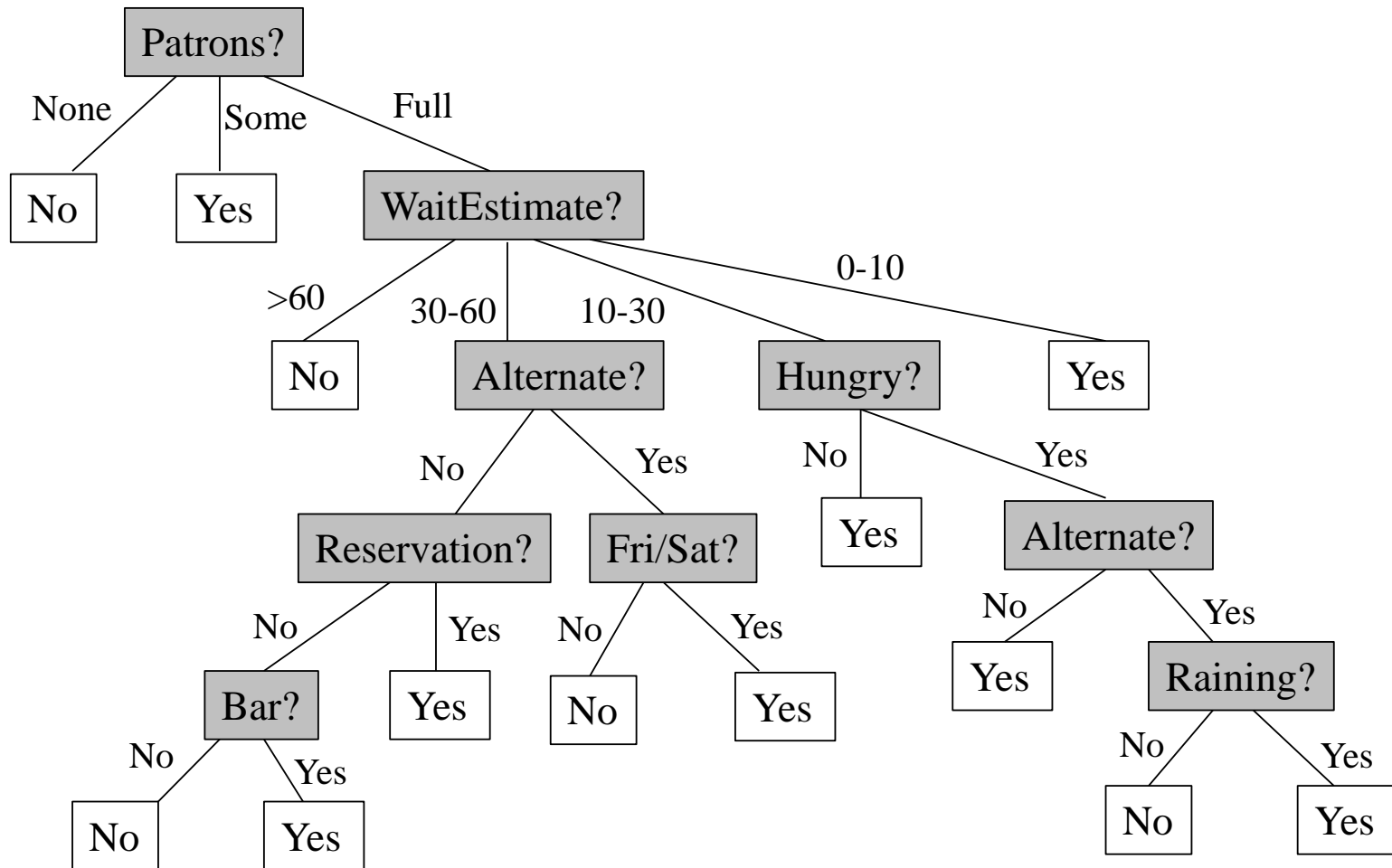


Δέντρα Απόφασης – Παράδειγμα (3/5)

- *Patrons:*
 - πόσοι άλλοι είναι στο restaurant (*None, Some, Full*).
- *Price:*
 - η τιμές όπου κυμαίνεται το restaurant.
- *Raining:*
 - αν βρέχει έξω.
- *Reservation:*
 - αν έχουμε κάνει κράτηση.
- *Type:*
 - το είδος του restaurant (*French, Italian, Chinese, Mexican*).
- *WaitEstimate:*
 - εκτίμηση για την ώρα αναμονής (*0-10 λεπτά, 10-30, 30-60, >60*).



Δέντρα Απόφασης – Παράδειγμα (4/5)



Δέντρα Απόφασης (5/5)

- Πόσο εκφραστικά είναι τα δέντρα απόφασης;
 - Κάθε δέντρο απόφαση μπορεί να περιγράψει μόνο ένα αντικείμενο.
 - Μπορούν να εκφράσουν **πλήρως** την προτασιακή λογική:
 - $\forall s \text{ WillWait}(s) \Leftrightarrow (P_1(s) \vee P_2(s) \vee \dots \vee P_n(s))$.
 - Δε μπορούν να εκφράσουν πλήρως πιο περίπλοκες γλώσσες:
 - π.χ. first order logic.
 - $\exists r_2 \text{ Nearby}(r_2, r) \wedge \text{Price}(r, p) \wedge \text{Price}(r_2, p_2) \wedge \text{Cheaper}(p_2, p)$
 - μπορεί να εκφραστεί με δέντρο απόφασης;



Εξαγωγή Δέντρων

Απόφασης από Παραδείγματα (1/6)

- Ένα **παράδειγμα** περιγράφεται από τις τιμές των ορισμάτων και την τιμή που παίρνει το κατηγορήμα στόχου:
 - Η τιμή του κατηγορήματος στόχου ονομάζεται **κατηγοριοποίηση** (*classification*) του παραδείγματος.
 - Αν είναι true, το παράδειγμα είναι **θετικό**.
 - Αν είναι false, το παράδειγμα είναι **αρνητικό**.
 - Το πλήρες σύνολο παραδειγμάτων ονομάζεται **σύνολο εκπαίδευσης** (*training set*).



Εξαγωγή Δέντρων

Απόφασης από Παραδείγματα (2/6)

Example	Alt	Bar	Fri/Sat	...	Res	Type	Est	Goal WillWait
X_1	<i>Yes</i>	<i>No</i>	<i>No</i>	<i>...</i>	<i>Yes</i>	<i>French</i>	<i>0-10</i>	<i>Yes</i>
X_2	<i>Yes</i>	<i>No</i>	<i>No</i>	<i>...</i>	<i>No</i>	<i>Chin</i>	<i>30-60</i>	<i>No</i>
X_3	<i>No</i>	<i>Yes</i>	<i>No</i>	<i>...</i>	<i>No</i>	<i>Mex</i>	<i>0-10</i>	<i>Yes</i>
<i>...</i>	<i>...</i>	<i>...</i>	<i>...</i>	<i>...</i>	<i>...</i>	<i>...</i>	<i>...</i>	<i>...</i>
X_{10}	<i>Yes</i>	<i>Yes</i>	<i>Yes</i>	<i>...</i>	<i>Yes</i>	<i>Italian</i>	<i>10-30</i>	<i>No</i>
X_{11}	<i>No</i>	<i>No</i>	<i>No</i>	<i>...</i>	<i>No</i>	<i>Chin</i>	<i>0-10</i>	<i>No</i>
X_{12}	<i>Yes</i>	<i>Yes</i>	<i>Yes</i>	<i>...</i>	<i>No</i>	<i>Mex</i>	<i>30-60</i>	<i>Yes</i>



Εξαγωγή Δέντρων

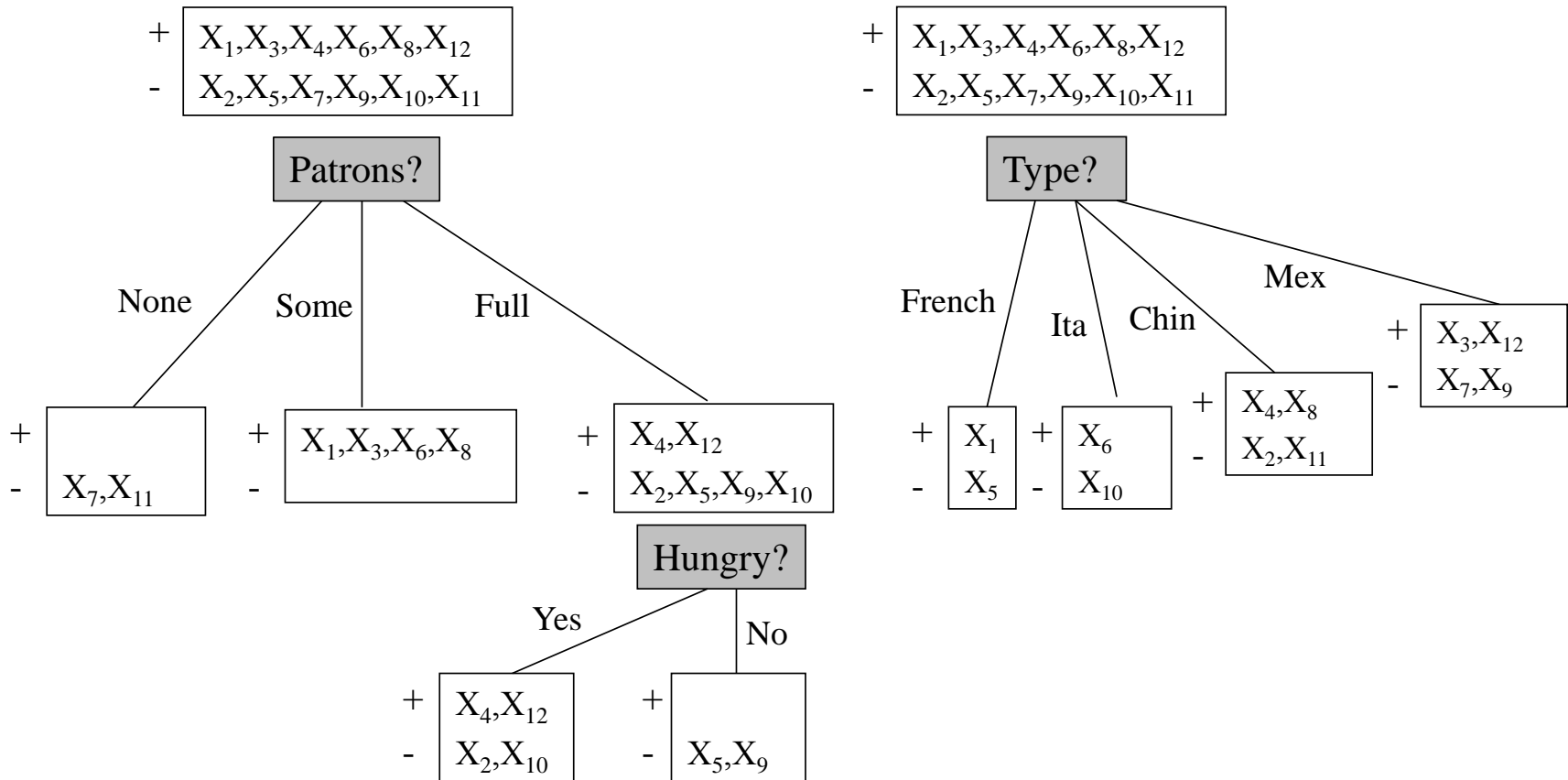
Απόφασης από Παραδείγματα (3/6)

- **Στόχος:** Να κατασκευάσουμε ένα δέντρο απόφασης από τα παραδείγματα σύμφωνα με το οποίο να μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε μελλοντικά παραδείγματα.
- **Εξαγωγή Προτύπων** (*pattern extraction*).
- **Ockham's razor:**
 - Η πιο πιθανή υπόθεση είναι η απλούστερη που είναι και συνεπής με όλες τις παρατηρήσεις.
 - Εύρεση του μικρότερου δέντρου απόφασης – intractable πρόβλημα!



Εξαγωγή Δέντρων

Απόφασης από Παραδείγματα (4/6)



Εξαγωγή Δέντρων

Απόφασης από Παραδείγματα (5/6)

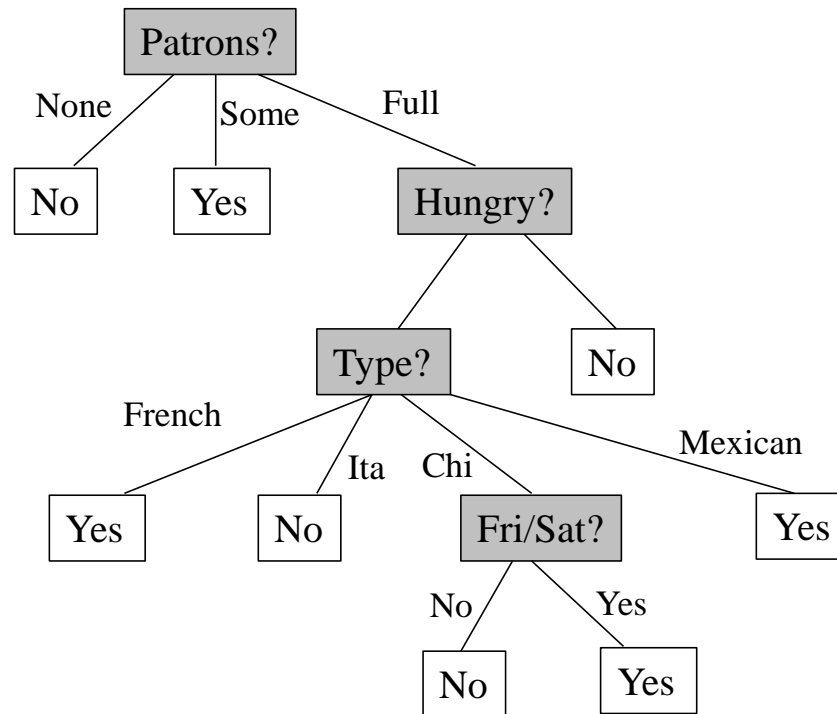
- **Πως κατασκευάζουμε το δέντρο;**
 - Αν υπάρχουν θετικά και αρνητικά παραδείγματα, διάλεξε το καλύτερο χαρακτηριστικό για να τα ξεχωρίσεις.
 - Αν όλα τα εναπομείναντα παραδείγματα είναι θετικά (ή αρνητικά), τελειώσαμε.
 - Αν δεν έχουν μείνει παραδείγματα, επιστρέφουμε μια προκαθορισμένη τιμή.
 - Αν δεν έχουν μείνει χαρακτηριστικά αλλά έχουν μείνει θετικά και αρνητικά παραδείγματα, έχουμε πρόβλημα!
 - ✓ **θόρυβος** (*noise*) στα δεδομένα ή ανεπαρκή χαρακτηριστικά.



Εξαγωγή Δέντρων

Απόφασης από Παραδείγματα (6/6)

- Το δέντρο είναι διαφορετικό από το αρχικό.
- Απέτυχε ο αλγόριθμος μάθησης;



Αλγόριθμος Μάθησης Δέντρων Απόφασης (1/3)

```
function Decision-Tree-Learning (examples, attributes, default)
  returns a decision tree
  inputs: examples, set of examples, attributes: set of attributes,
           default: default value for the goal predicate

  if examples is empty then return default
  else if all examples have the same classification
    then return the classification
  else if attributes is empty then return MajorityValue(examples)
  else
    best  $\leftarrow$  ChooseAttribute(attributes, examples)
    tree  $\leftarrow$  a new decision tree with root test best
    for each value  $v_i$  of best do
      examplesi  $\leftarrow$  {elements of examples with best =  $v_i$ }
      subtree  $\leftarrow$  Decision-Tree-Learning(examplesi,
                                             attributes-best, MajorityValue(examples))
      add a branch to tree with label  $v_i$  and subtree subtree
    end
  return tree
```



Αλγόριθμος Μάθησης Δέντρων Απόφασης (2/3)

- Ένας αλγόριθμος μάθησης είναι καλός αν παράγει υποθέσεις που προβλέπουν επιτυχώς την κατηγοριοποίηση καινούργιων παραδειγμάτων.
- ✓ Συνήθως, όσο περισσότερα παραδείγματα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μιας υπόθεσης τόσο πιο ακριβής είναι η υπόθεση στις προβλέψεις της.



Αλγόριθμος Μάθησης Δέντρων Απόφασης (3/3)

- **Μεθοδολογία εκτίμησης προβλέψεων**
 - Συγκέντρωσε ένα μεγάλο σύνολο παραδειγμάτων.
 - Χώρισε το σε δύο σύνολα: το **σύνολο εκπαίδευσης** και το **σύνολο τεστ**.
 - Τρέξε τον αλγόριθμο μάθησης με το σύνολο εκπαίδευσης ως παραδείγματα για να παράγεις μια υπόθεση H .
 - Μέτρησε το ποσοστό των παραδειγμάτων στο σύνολο τεστ που κατηγοριοποιούνται σωστά από την H .
 - Επανέλαβε τα βήματα 1 ως 4 με διαφορετικά μεγέθη συνόλων εκπαίδευσης και διαφορετικά τυχαία επιλεγμένα σύνολα τεστ.



Επεκτάσεις των Δέντρων Απόφασης

- Η μάθηση με δέντρα απόφασης μπορεί να επεκταθεί σε μεγαλύτερη ποικιλία προβλημάτων:
 - **Άγνωστα δεδομένα** (*missing data*):
 - ✓ Όταν λείπουν τιμές για ορισμένα attributes.
 - **Ορίσματα με πολλαπλές τιμές** (*multivalued attributes*):
 - ✓ π.χ. Όταν κάθε παράδειγμα δίνει διαφορετική τιμή για το attribute.
 - **Ορίσματα με συνεχή πεδία τιμών** (*continuous-valued attributes*):
 - ✓ π.χ. Ύψος, Βάρος.



Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Σημείωμα Αναφοράς

- Copyright Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, Στεργίου Κωνσταντίνος. «**Τεχνητή Νοημοσύνη**». Έκδοση: 1.0. Κοζάνη 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.uowm.gr/courses/ICTE103/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Όχι Παράγωγα Έργα Μη Εμπορική Χρήση 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Ως Μη Εμπορική ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

- Τεχνητή Νοημοσύνη, Μια σύγχρονη προσέγγιση, S. Russel, P. Norvig, Εκδόσεις Κλειδάριθμος

