

Τεχνητή Νοημοσύνη

Κανόνες - Αβέβαιος Συλλογισμός

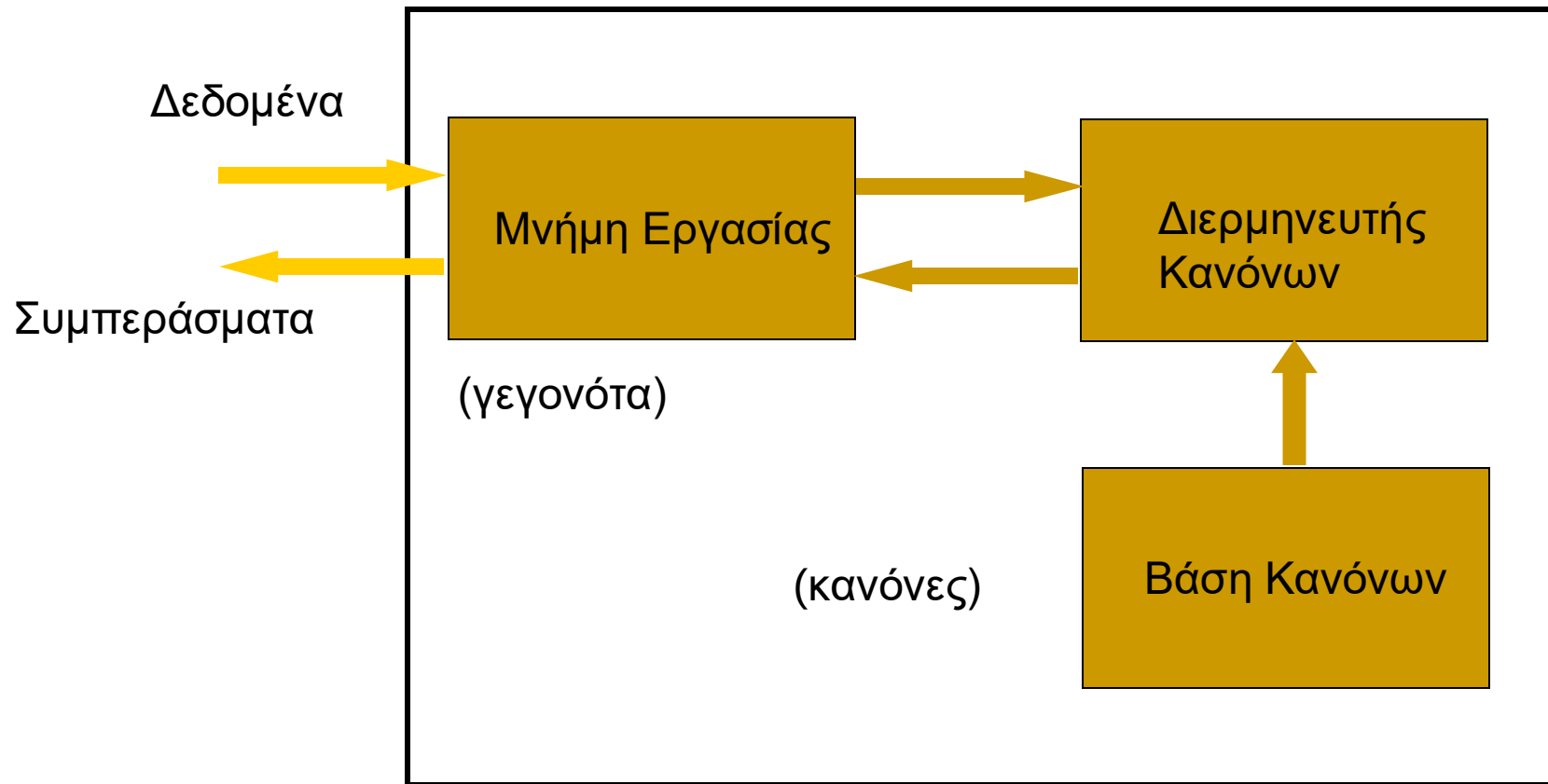
Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής
Πανεπιστήμιο Πατρών

Ιωάννης Χατζηλυγερούδης, Β. Μεγαλοοικονόμου

Κανόνες - Συστήματα Παραγωγής

- Έννοια του συστήματος παραγωγής, ως ψυχολογικό μοντέλο περιγραφής της ανθρώπινης συμπεριφοράς (GPS, Newell & Simon, αρχές '70).
 - Η γνώση για τη λύση ενός προβλήματος υπό μορφή διακεκριμένων γνωστικών μονάδων (= παραγωγές ή κανόνες παραγωγής)
 - Οι παραγωγές περιέχουν τον τρόπο αντίδρασης (= ενέργειες) του ανθρώπου σε εξωτερικά ερεθίσματα.
- Ομοιότητες με ψυχολογική θεωρία της νόησης - δύο στάδια μνήμης:
 - βραχυπρόθεσμη ή μικρής διάρκειας-short term memory
 - μακροπρόθεσμη ή μακράς διάρκειας-long term memory)

Κανόνες - Βασική Αρχιτεκτονική



Κανόνες - Σύνταξη

Βασική δομή:

if <συνθήκες/υποθέσεις>
then <ενέργειες/συμπεράσματα>

Βασική σύνταξη-1:

<rule> := **if** <conditions> **then** <conclusions>
<conditions> := <condition> {**and** <condition>}*
<conclusions> := <conclusion> {**and** <conclusion>}*
<condition> := <variable> <l-predicate> <constant>
<conclusion> := <variable> <r-predicate> <constant>
<l-predicate> := **is** / **isnot** / **>** ...
<r-predicate> := **is**
<fact> := <variable> <predicate> <constant>

Π.χ. **if** shape **is** long **and**
color **is** yellow
then fruit **is** banana

Κανόνες - Σύνταξη (2)

Βασική σύνταξη-2:

<rule> := **if** <conditions> **then** <conclusions>
<conditions> := <condition> {**and** <condition>}*
<conclusions> := <conclusion> {**and** <conclusion>}*
<condition> := <predicate> (<variable> , <constant>)
<conclusion> := <action> (<variable>, <constant>)
<predicate> := **is** / **isnot** / **>**
<action> := **assert** / **retract**
<fact> := (<variable>, <constant>)

Π.χ. **if is**(shape, long) **and**
 is(color, yellow)
 then assert(fruit, banana)

Κανόνες - Σύνταξη (3)

Δυνατότητα για διάζευξη στις συνθήκες:

<conditions> := <disjunction> {**and** <disjunction>}*

<disjunction> := <condition> {**or** <condition>}*

if **is**(shape, long) **and**
is(color, yellow)
then assert(fruit, banana)

if **is**(shape, long) **and**
is(color, green)
then assert(fruit, banana)

if **is**(shape, long) **and**
(**is**(color, yellow) **or**
is(color, green))
then assert(fruit, banana)

Μέθοδοι Συλλογισμού με Κανόνες

Μέθοδοι Συλλογισμού (Reasoning methods) I:

- Ορθός συλλογισμός (forward reasoning) ή Οδηγούμενος από τα δεδομένα (data-driven reasoning)
- Ανάστροφος συλλογισμός (backward reasoning) ή Οδηγούμενος από το στόχο (goal-driven reasoning)

Αφορούν την οργάνωση της γνώσης στους κανόνες (επίπεδο σχεδίασης)

Μέθοδοι Συλλογισμού (Reasoning methods) II:

- Συνεπαγωγικός συλλογισμός (deductive reasoning)
- Απαγωγικός συλλογισμός (abductive reasoning)

Αφορούν το βαθμό βεβαιότητας του συλλογισμού (επίπεδο σημασιολογίας)

Μέθοδοι Συλλογισμού με Κανόνες - Παραδείγματα

- Συνεπαγωγικός - Οδηγούμενος από το στόχο (ανάστροφος) συλλογισμός

Εάν έχω γρίπη

τότε έχω πυρετό

και πονοκέφαλο

(βέβαιος συλλογισμός)

- Απαγωγικός - Οδηγούμενος από τα δεδομένα (ορθός) συλλογισμός

Εάν έχω πυρετό

και πονοκέφαλο

τότε έχω γρίπη

(αβέβαιος συλλογισμός)

Μέθοδοι Εξαγωγής Συμπερασμάτων - (Inference methods)

- **Προς τα εμπρός αλυσίδωση (forward chaining)**
 - Ξεκινά από τις υποθέσεις ενός κανόνα και αν είναι αληθείς προχωρά στην εξαγωγή του συμπεράσματος του κανόνα
- **Ανάστροφη αλυσίδωση (backward chaining)**
 - Ξεκινά από το συμπέρασμα ενός κανόνα και προχωρά στη διερεύνηση της αλήθειας των υποθέσεων. Αν οι υποθέσεις είναι αληθείς εξάγεται το συμπέρασμα.

Αφορούν τη διαδικασία παραγωγής συμπερασμάτων (επίπεδο υλοποίησης)

Εξαγωγή Συμπερασμάτων

Διαδικασία (κύκλος select-execute ή recognize-act):

1. Αρχικοποίηση της βάσης γεγονότων (ΒΓ) / μνήμης εργασίας (ΜΕ)
2. Εύρεση Κανόνων που ικανοποιούνται (Σύνολο Σύγκρουσης)
3. Επιλογή ενός Κανόνα
4. Εκτίμηση/Πυροδότηση του Κανόνα
5. Ενημέρωση της ΒΓ/ΜΕ
6. Αν κατάσταση λύσης, σταμάτα. Αλλιώς, πήγαινε στο βήμα 2

Προς τα εμπρός Αλυσίδωση - Παράδειγμα

R1: if C and D then F

R2: if F and G then E

R3: if F and H then I

R4: if B and G then H

R5: if A then C

R6: if B then D

ME = {A, B, G}

Στόχος: I

{A, B, G}

R4 $\rightarrow$ H {A, B, G, H}

R5 $\rightarrow$ C {A, B, G, H, C}

R6 $\rightarrow$ D {A, B, G, H, C, D}

R1 $\rightarrow$ F {A, B, G, H, C, D, F}

R2 $\rightarrow$ E {A, B, G, H, C, D, F, E}

R3 $\rightarrow$ I {A, B, G, H, C, D, F, E, I}



Ανάστροφη Αλυσίδωση - Παράδειγμα

R1: if C and D then F

R2: if F and G then E

R3: if F and H then I

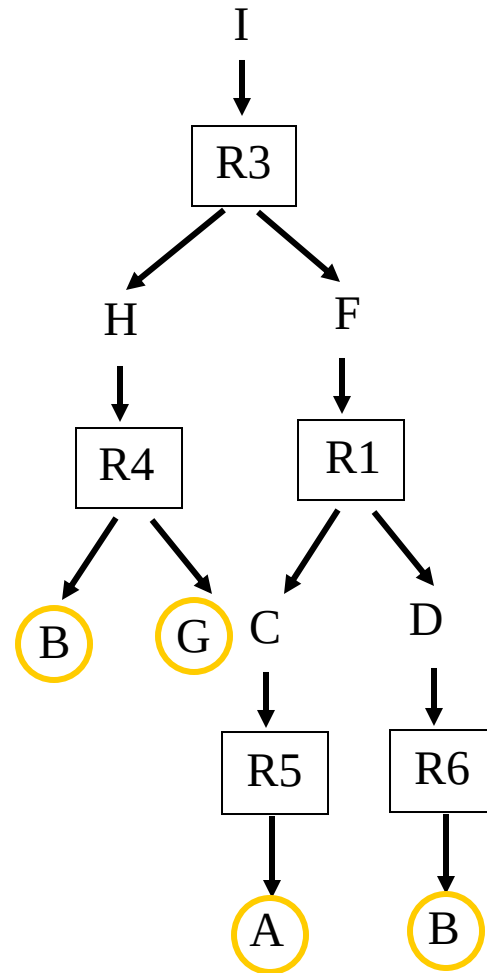
R4: if B and G then H

R5: if A then C

R6: if B then D

ME: {A, B, G}

Στόχος: I



{A, B, G, C, D, H, F, I}

{A, B, G, C, D, H, F}

{A, B, G, C, D}

{A, B, G}

Καταλληλότητα Μεθόδων

- **Προς τα εμπρός αλυσίδωση (forward chaining)**
 - Κατάλληλη για συστήματα χωρίς προκαθορισμένους ή πολλούς στόχους και μεγάλο αριθμό δεδομένων
- **Ανάστροφη αλυσίδωση (backwards chaining)**
 - Κατάλληλη για συστήματα με συγκεκριμένους, λίγους στόχους και μικρό αριθμό δεδομένων

Στρατηγικές Επίλυσης Σύγκρουσης

- Μέθοδοι επιλογής ενός κανόνα από το **σύνολο σύγκρουσης**, με βάση κάποιο ή κάποια κριτήρια απόδοσης
- Κριτήρια απόδοσης
 - Ευαισθησία (Sensitivity) (ανταπόκριση σε αλλαγές)
 - Σταθερότητα (Stability) (στη γραμμή συλλογισμού)
- Τύποι Ελέγχου/Στρατηγικών
 - **Καθολικές:** ανεξάρτητες του πεδίου εφαρμογής, ενσωματωμένες στον Διερμηνευτή Κανόνων
 - **Τοπικές:** εξαρτώμενες από το πεδίο εφαρμογής, υπό μορφή μετα-κανόνων, (σχεδιάζεται από τον μηχανικό γνώσης)

Καθολικές Στρατηγικές

- Τυχαία επιλογή
- Σειρά αναγραφής (ο πρώτος στη σειρά)
- Διαθλαστικότητα (Refractoriness)
 - Δεν επιτρέπεται η πυροδότηση ενός κανόνα με ίδια δεδομένα περισσότερες από μια φορές
- Εξειδίκευση (Specificity)
 - Προτιμούνται κανόνες με περισσότερες συνθήκες
Π.χ. $ME = \{A, B, C\}$,
R1: if A and B and C then D, R2: if A and B then E.
Θα εκτελεστεί πρώτα ο R1 και μετά ο R2

Καθολικές Στρατηγικές (2)

- **Επικαιρότητα (Recency)**

- Προτιμούνται κανόνες που ενεργοποιούνται από πιο πρόσφατα δεδομένα (χρήση ετικετών χρόνου)
- Καλή σταθερότητα (πρόσφατα δεδομένα)
- Ευαισθησία υπό προϋποθέσεις (χρόνος εισαγωγής νέων δεδομένων)
- Αδυναμία: αγνόηση παλιών δεδομένων

Π.χ. $ME=\{A, B\}$,

R1: if A then C, R2: if B then D, R3: if C then E.

Αν εκτελεστεί ο R1 μετά θα εκτελεστεί ο R3, και όχι ο R2

- **Προτεραιότητα (Priority)**

- Δίνεται ένας βαθμός προτεραιότητας φανερά σε κάθε κανόνα
- Δυσκολία: ο καθορισμός των βαθμών προτεραιότητας

Πλεονεκτήματα Κανόνων

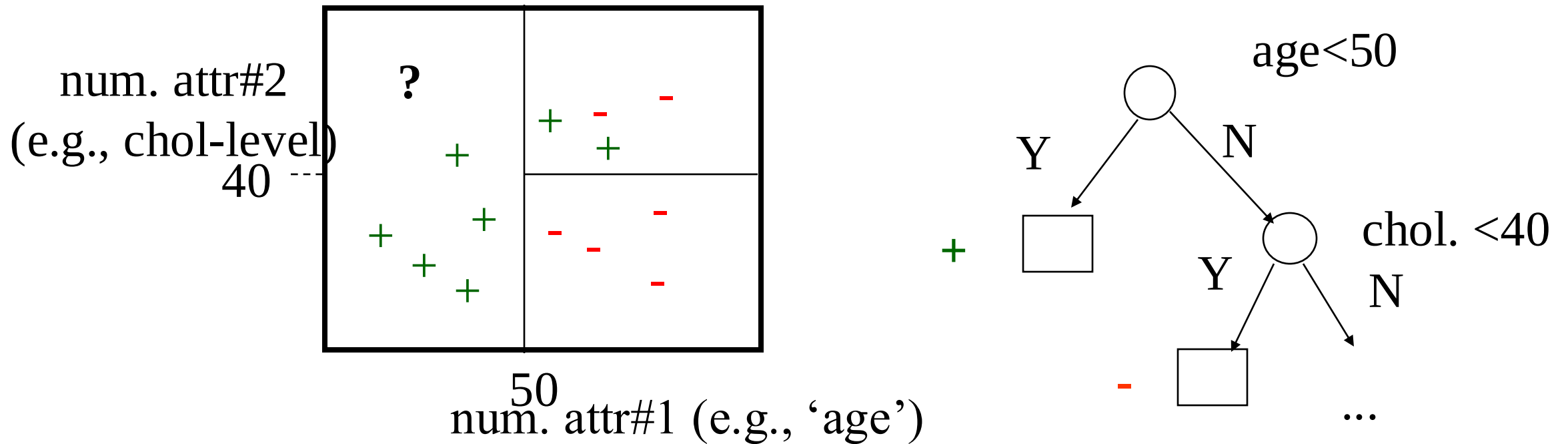
- **Ευελιξία-Τμηματικότητα**
 - κάθε κανόνας είναι μια ξεχωριστή μονάδα γνώσης που μπορεί να προστεθεί, μεταβληθεί ή αφαιρεθεί ανεξάρτητα από τους άλλους κανόνες του συστήματος
- **Ομοιομορφία και απλότητα** στην έκφραση της γνώσης
- **Φυσικότητα έκφρασης**
- **Εύκολη παροχή εξηγήσεων** ([Explainable AI](#))

Μειονεκτήματα Κανόνων

- **Κίνδυνος δημιουργίας ατέρμωνων αλυσιδώσεων** μεταξύ κανόνων και γεγονότων (κυρίως με την προσθήκη νέων κανόνων)
- **Κίνδυνος δημιουργίας αντιφάσεων**
- **Μειωμένη αποδοτικότητα** (σε μεγάλες ΒΚ)
- **Αδιαφάνεια** (στις σχέσεις μεταξύ των κανόνων)
- **Δυσκολία κάλυψης πεδίων με πολλές παραμέτρους** και ευαίσθητη εξάρτηση των συμπερασμάτων από αυτές
- **Περιορισμένη εκφραστικότητα** αναπαράστασης

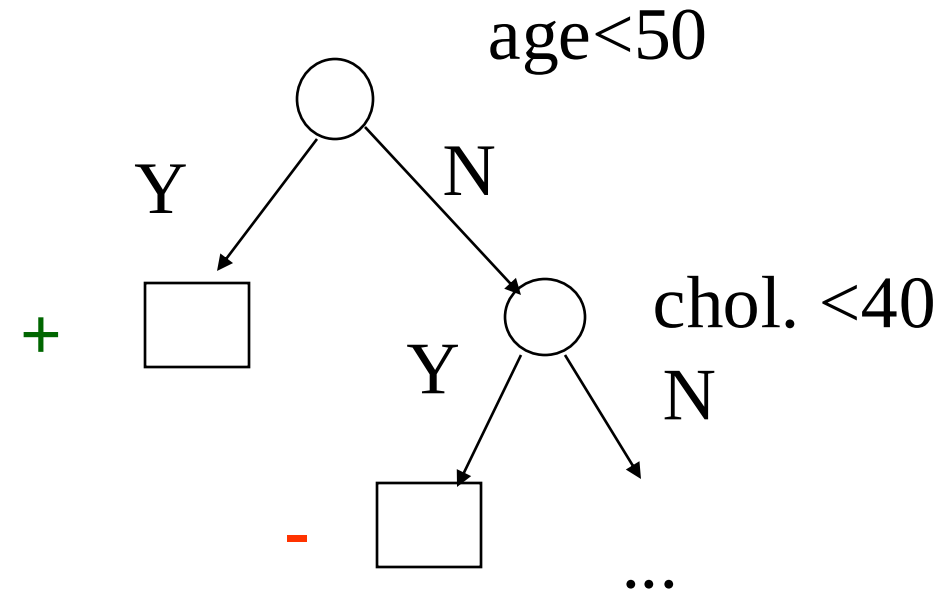
Εξαγωγή Κανόνων από Δένδρα Αποφάσεων

- Θυμηθείτε το δέντρο αποφάσεων (τον πρώτο μας κατηγοριοποιητή)



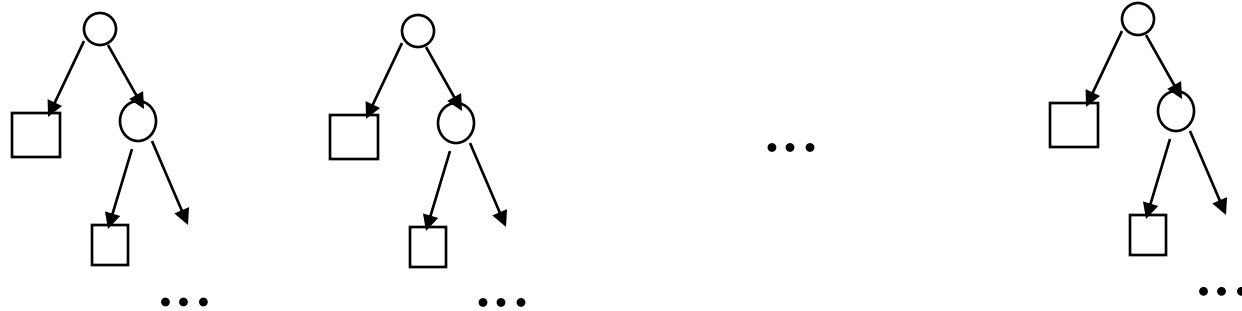
Εξαγωγή Κανόνων από Δένδρα Αποφάσεων

- Η εξαγωγή κανόνων γίνεται ακολουθώντας κάθε μονοπάτι από την ρίζα στα φύλλα του δέντρου
- Για παράδειγμα:
 - If age < 50 then +
 - If age ≥ 50 and chol. < 40 then -
 - If age ≥ 50 and chol. ≥ 40 then ..



Εξαγωγή Κανόνων από Δένδρα Αποφάσεων

- Όμως τι γίνεται όταν έχουμε ένα random forest δηλ. ένα σύνολο κατηγοριοποιητών/δέντρων αποφάσεων;



Συλλογισμός με Αβεβαιότητα

- Η ακριβής και πλήρης γνώση δεν είναι πάντα δυνατή!
- Οι εμπειρογνώμονες πολλές φορές παίρνουν αποφάσεις από αβέβαια, ημιτελή ή και αλληλοσυγκρουόμενα δεδομένα
- Η κλασσική λογική επιτρέπει μόνο ακριβή συλλογισμό (exact reasoning)
- Επομένως προκύπτει η ανάγκη για
 - αναπαράσταση αβέβαιης γνώσης
 - συλλογισμό από αβέβαιη γνώση

Κατηγορίες Μεθόδων Συλλογισμού με Αβεβαιότητα

- Πιθανοτικές μέθοδοι (Probabilistic methods)
 - **Θεωρήματα Bayes**
- Σχεδόν-πιθανοτικές μέθοδοι (Quasi-probabilistic methods)
 - Υποκειμενική μέθοδος Bayes (Subjective Bayesian method)
 - **Μέθοδος συντελεστών βεβαιότητας** (Certainty factors)
- Επεκτεταμένες πιθανοτικές μέθοδοι
 - Θεωρία Dempster-Shafer
- Δικτυακά Μοντέλα
- Μέθοδοι ασαφούς λογικής (fuzzy models)

Συντελεστές Βεβαιότητας

- Εμπειρική μέθοδος, δεν στηρίζεται στη θεωρία πιθανοτήτων
- **Συντελεστής βεβαιότητας** *cf* (*certainty factor*) είναι ένας αριθμός ($-1 \leq cf \leq 1$) που παριστάνει το βαθμό βεβαιότητας του εμπειρογνώμονα σε μια υπόθεση *h* δεδομένου ενός στοιχείου/γεγονότος *e*:

if <στοιχείο>

then <υπόθεση> (*cf*)

Συντελεστές Βεβαιότητας - Ορισμοί

- Κάθε συντελεστής βεβαιότητας βασίζεται σε δύο μεγέθη/συναρτήσεις:

- Μέτρο βεβαιότητας (measure of belief):

$$MB(h, e) = \begin{cases} 1, & \text{αν } p(h) = 1 \\ \max\{0, \frac{p(h|e) - p(h)}{1 - p(h)}\}, & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

- Μέτρο αβεβαιότητας (measure of disbelief):

$$MD(h, e) = \begin{cases} 0, & \text{αν } p(h) = 1 \\ \max\{0, \frac{p(h) - p(h|e)}{p(h)}\}, & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

Συντελεστές Βεβαιότητας - Ορισμοί (2)

$$cf(h, e) = \frac{MB(h, e) - MD(h, e)}{1 - \min\{MB(h, e), MD(h, e)\}}$$

$$-1 \leq cf(h, e) \leq 1$$

Σε πραγματικές εφαρμογές ο cf δίνεται απ'ευθείας από τον εμπειρογνώμονα

Αβέβαιη Παρατήρηση

- Κανόνας με ένα απλό στοιχείο

if e (cfe)
then h (cfh)

$$cf = cfe * cfh$$

- Κανόνας με σύνθετο στοιχείο

if e1(cf1)
and e2(cf2)
then h (cfh)

$$cfe = \min\{cf1, cf2\}$$

$$cf = cfe * cfh$$

if e1(cf1)
or e2(cf2)
then h (cfh)

$$cfe = \max\{cf1, cf2\}$$

$$cf = cfe * cfh$$

Αβέβαιη Παρατήρηση - Παράδειγμα

```
if is(sky,clear)
and is(forecast, sunny) (0.8)
then assert(action, 'leave-umbrella') (0.8)
```

$$cf1 = 1., \quad cf2 = 0.8, \quad cfh = 0.8$$

$$cfe = \min\{cf1, cf2\} = \min\{1., 0.8\} = 0.8$$

$$cf = cfe * cfh = 0.8 * 0.8 = 0.64$$

Συνδυασμός Κανόνων

- Κανόνες με ίδιο συμπέρασμα

$$\begin{array}{|l|l|} \hline \text{if } e1 \\ \text{then } h(cf1) \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|l|l|} \hline \text{if } e2 \\ \text{then } h(cf2) \\ \hline \end{array} \quad cf = \begin{cases} cf1 + cf2(1 - cf1), & \text{αν } cf1, cf2 > 0 \\ cf1 + cf2(1 + cf1), & \text{αν } cf1, cf2 < 0 \\ \frac{cf1 + cf2}{1 - \min\{|cf1|, |cf2|\}}, & \text{αν } cf1 * cf2 < 0 \end{cases}$$

- Διαδοχικοί κανόνες

$$\begin{array}{|l|l|} \hline \text{if } e1 \\ \text{then } e2(cf1) \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|l|l|} \hline \text{if } e2 \\ \text{then } h(cf2) \\ \hline \end{array} \quad cf = \max\{0, cf1\} * cf2$$

Συνδυασμός Κανόνων - Παράδειγμα

if is(today, rain)
then assert(tomorrow, rain) (0.5)

if is(today, rain)
and is(temperature, high)
then assert(tomorrow, rain) (0.7)

Επειδή $cfh1, cfh2 > 0$ είναι:

$$cf = cfh1 + cfh2 * (1 - cfh1) = 0.5 + 0.7 * (1 - 0.5) = 0.85$$

Πλεονεκτήματα Συντελεστών Βεβαιότητας

- Απλότητα υπολογιστικού μοντέλου
- Επιτρέπουν τη χρήση κανόνων παραγωγής ταυτόχρονα με την ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας
- Επιτρέπουν την παραγωγή επεξηγήσεων (μέσω των κανόνων παραγωγής)
- Ο προσδιορισμός των συντελεστών βεβαιότητας είναι σχετικά ευκολότερος από αυτόν των πιθανοτήτων

Μειονεκτήματα Συντελεστών Βεβαιότητας

- Όχι σημαντική συμβολή στο διαγνωστικό αποτέλεσμα
- Δεν έχουν αυστηρή θεωρητική θεμελίωση
- Η ενημέρωση της βάσης γνώσης με νέα γνώση οδηγεί σε αλλαγή των τιμών των συντελεστών βεβαιότητας
- Υπάρχει δυσκολία στην έκφραση γνώσης σε ορισμένες περιπτώσεις (μεγάλος αριθμός στοιχείων, ειδικές εξαρτήσεις μεταξύ αβέβαιων πεπτοιθήσεων)