



Θεμελιώδη Θέματα Επιστήμης Υπολογιστών

Τεχνητή Νοημοσύνη

Αναπαράσταση γνώσης και αυτόματη συλλογιστική

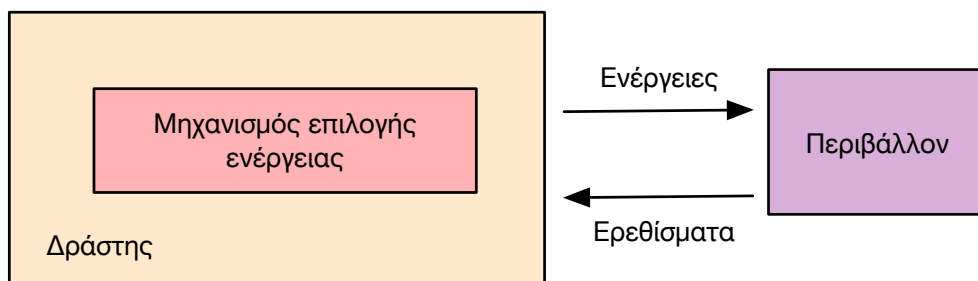
Γιώργος Στάμου

ΤΝ και ανάπτυξη ευφυών δραστήων



2

Ορθολογικός δράστης





Ευριστικά κριτήρια και αποφάσεις

3

Πρόβλημα

Φτάνεις σε ένα εστιατόριο για φαγητό.
Αποφάσισε αν θα περιμένεις για τραπέζι ή θα φύγεις.

Παράγοντες που επηρεάζουν την απόφαση

Εναλλακτικές: υπάρχει κάποιο εστιατόριο κοντά;
Ποιότητα αναμονής: υπάρχει άνετος χώρος αναμονής (πχ. μπαρ);
Ημέρα: Είναι σήμερα ΣΚ ή κάποια γιορτή;
Πείνα: Είσαι πολύ πεινασμένος;
Πληρότητα: Πόσοι τρώνε στο εστιατόριο (κανείς, αρκετοί, είναι γεμάτο);
Τιμή: πόσο ακριβό είναι το εστιατόριο (φτηνό, μέσο, ακριβό);
Καιρικές συνθήκες: Βρέχει έξω;
Κράτηση: Έχεις κάνει κράτηση;
Είδος εστιατορίου: Ινδικό, πιτσαρία, γκουρμέ;
Εκτίμηση αναμονής: εκτίμηση σε λεπτά (0-10, 10-30, 30-60, >60);



Προτασιακή λογική

4

Δηλώσεις στη φυσική γλώσσα

- ▶ Είμαι πολύ πεινασμένος.
- ▶ Το εστιατόριο είναι γεμάτο.
- ▶ Το εστιατόριο είναι πολυσύχναστο.
- ▶ Δεν έχω κάνει κράτηση στο εστιατόριο.

Δηλώσεις σε συμβολική γλώσσα

- ▶ πεινασμένος(Γιώργος)
- ▶ γεμάτο(Σεϋχέλλες)
- ▶ πολυσύχναστο(Σεϋχέλλες)
- ▶ δεν-έχει-κράτηση(Γιώργος, Σεϋχέλλες)

Πρόταση είναι μία αληθής ή ψευδής έκφραση



Προτάσεις

5

Σταθερές και κατηγορήματα

- ▶ **Σταθερά** είναι ένα μη λογικό σύμβολο (συμβολοσειρά) που χρησιμοποιείται ως προσδιοριστικό (όνομα) ενός συγκεκριμένου αντικειμένου.
- ▶ **Κατηγόρημα** είναι ένα μη λογικό σύμβολο που χρησιμοποιείται ως όνομα μίας ιδιότητας (κατηγορίας) ενός αντικειμένου ή μίας σχέσης μεταξύ δύο ή περισσότερων αντικειμένων.

Ατομικές προτάσεις

- ▶ Ατομική φόρμουλα ή ατομική έκφραση ή απλά **άτομο** είναι μια δήλωση της μορφής:

$$p(c_1, c_2, \dots, c_n)$$

c_1, c_2, \dots, c_n σταθερές

p κατηγορημα (τάξης n)



Προτάσεις

6

Σύνθετες προτάσεις

- ▶ **Σύνθετη πρόταση** ή απλά **πρόταση** είναι μια δήλωση p που σχηματίζεται ως εξής:

$$p : a \mid \neg p_1 \mid p_1 \wedge p_2 \mid p_1 \vee p_2 \mid p_1 \Rightarrow p_2$$

a ατομική πρόταση p_1, p_2 σύνθετες προτάσεις

$\neg, \wedge, \vee, \Rightarrow$ λογικοί σύνδεσμοι

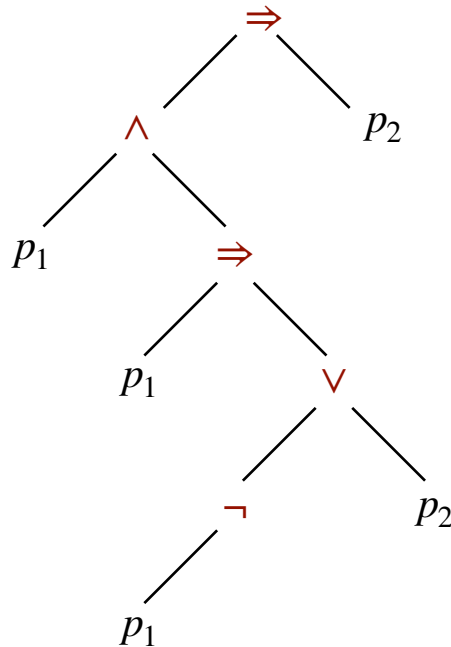
- ▶ Ένα πεπερασμένο σύνολο προτάσεων ονομάζεται **βάση γνώσης** ή απλά **γνώση**
- ▶ Το σύνολο των μη-λογικών συμβόλων (ονομάτων) που περιέχεται σε μία πρόταση (γνώση) λέγεται υπογραφή της πρότασης (γνώσης) και συμβολίζεται με $\text{sig}(p)$ ($\text{sig}(K)$)



Δένδρα αναπαράστασης προτάσεων

7

$$p_1 \wedge (p_1 \Rightarrow (\neg p_1 \vee p_2)) \Rightarrow p_2$$



Αποτίμηση προτάσεων

8

- ▶ **Αποτίμηση** μιας πρότασης p είναι μια απεικόνιση της p στο σύνολο των τιμών αληθείας. Γράφουμε

$$\text{val}(p) = \text{T} \quad (\text{val}(p) = \text{F})$$

και εννοούμε ότι η πρόταση p είναι αληθής (ψευδής)

- ▶ Η αποτίμηση των σύνθετων προτάσεων στηρίζεται στη σημασία των λογικών συνδέσμων, που ορίζεται από τους **Πίνακες Αληθείας**:

$\text{val}(p)$	$\text{val}(q)$	$\text{val}(\neg p)$	$\text{val}(p \wedge q)$	$\text{val}(p \vee q)$	$\text{val}(p \Rightarrow q)$
F	F	T	F	F	T
F	T	T	F	T	T
T	F	F	F	T	F
T	T	F	T	T	T

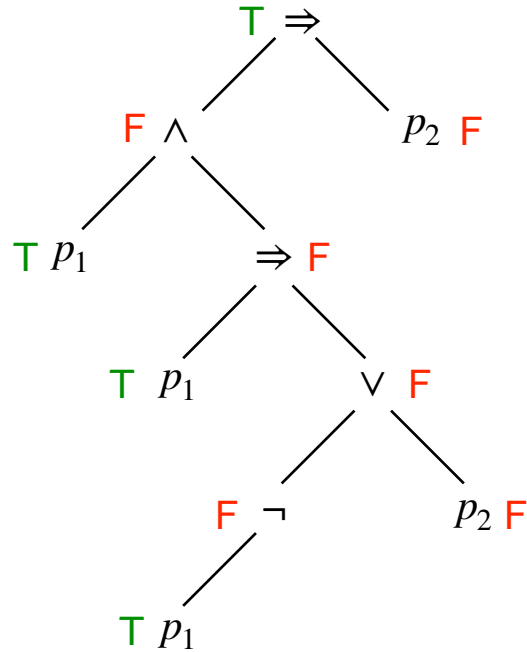


Αποτίμηση προτάσεων - Παράδειγμα

9

$$\text{val}(p_1) = T \quad \text{val}(p_1 \wedge (p_1 \Rightarrow (\neg p_1 \vee p_2)) \Rightarrow p_2) = ?$$

$$\text{val}(p_2) = F$$



Αποτίμηση προτάσεων - Παράδειγμα

10

$$\text{val}(p_1) = ? \quad \text{val}(p_1 \wedge (p_1 \Rightarrow (\neg p_1 \vee p_2)) \Rightarrow p_2) = T$$

$$\text{val}(p_2) = ?$$

$$\text{val}(p_1) = T \quad T$$

$$\text{val}(p_2) = F$$

$$\text{val}(p_1) = T \quad T$$

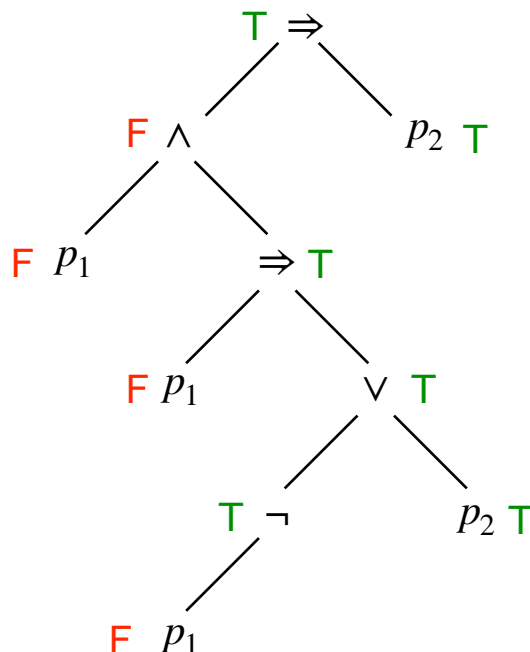
$$\text{val}(p_2) = T$$

$$\text{val}(p_1) = F \quad T$$

$$\text{val}(p_2) = F$$

$$\text{val}(p_1) = F \quad T$$

$$\text{val}(p_2) = T$$





Ερμηνείες προτάσεων και γνώσης

11

- ▶ Ονομάζουμε **ερμηνεία** μίας πρότασης p κάθε απεικόνιση:

$$I : \text{sig}(p) \rightarrow \{T, F\}$$

- ▶ Ονομάζουμε **ερμηνεία** μίας γνώσης K κάθε απεικόνιση:

$$I : \text{sig}(K) \rightarrow \{T, F\}$$

- ▶ Παράδειγμα

$$K = \{q_1, q_2\} \quad \begin{array}{l} q_1 : p_1 \wedge (p_1 \Rightarrow (\neg p_1 \vee p_2)) \Rightarrow p_2 \\ q_2 : (p_1 \wedge p_2) \Rightarrow (p_3 \vee p_4) \end{array}$$

$$I_1 = \{p_1 \rightarrow T, p_2 \rightarrow F, p_3 \rightarrow F, p_4 \rightarrow T\} \quad \begin{array}{l} \text{val}(q_1) = T \\ \text{val}(q_2) = T \end{array}$$

$$I_2 = \{p_1 \rightarrow T, p_2 \rightarrow T, p_3 \rightarrow F, p_4 \rightarrow F\} \quad \begin{array}{l} \text{val}(q_1) = T \\ \text{val}(q_2) = F \end{array}$$



Ερμηνείες προτάσεων και γνώσης

12

- ▶ Μία ερμηνεία I **ικανοποιεί** μία πρόταση p , όταν για την ερμηνεία αυτή αποτιμάται ως αληθής. Τότε η I είναι **μοντέλο** της p .
- ▶ Μία πρόταση p ονομάζεται **ταυτολογία** αν και μόνο αν την ικανοποιεί κάθε ερμηνεία της.
- ▶ Μία πρόταση p ονομάζεται **συνεπής** αν και μόνο αν υπάρχει τουλάχιστον μία ερμηνεία που την ικανοποιεί, αλλιώς ονομάζεται **αντίφαση**.
- ▶ Μία πρόταση p **συνεπάγεται** μία πρόταση q αν και μόνο αν όλες οι ερμηνείες της γνώσης που περιέχει τις δύο προτάσεις και ικανοποιούν την p ικανοποιούν και την q .
- ▶ Δύο προτάσεις p και q είναι **ισοδύναμες**, αν και μόνο αν η μία ικανοποιεί την άλλη.



Ερμηνείες προτάσεων και γνώσης

13

- ▶ Μία ερμηνεία I **ικανοποιεί** μία γνώση K αν και μόνο αν ικανοποιεί όλες τις προτάσεις της. Τότε η I είναι **μοντέλο** της K .
- ▶ Μία γνώση K ονομάζεται **συνεπής** αν και μόνο αν υπάρχει τουλάχιστον μία ερμηνεία που ικανοποιεί την K , αλλιώς ονομάζεται **ασυνεπής**.
- ▶ Μία γνώση K **συνεπάγεται** μία πρόταση p αν και μόνο αν όλα τα μοντέλα της K ικανοποιούν την p .



Αυτόματη συλλογιστική - Προβλήματα

14

- ▶ Δίνεται μία πρόταση p
 - ▶ Είναι η p συνεπής;
 - ▶ Είναι η p ταυτολογία;
- ▶ Δίνεται μία γνώση K
 - ▶ Είναι η K συνεπής;
- ▶ Δίνεται δύο προτάσεις p και q
 - ▶ Συνεπάγεται η p την q ;
 - ▶ Είναι οι p, q ισοδύναμες;
- ▶ Δίνεται μία γνώση K και μία πρόταση p
 - ▶ Συνεπάγεται η K την p ;



Algorithm 1 SAT(p)

Input: Μία πρόταση p .

- 1: $E :=$ το σύνολο των ερμηνειών \mathcal{I} της p
- 2: **for all** $\mathcal{I} \in E$ **do**
- 3: **if** \mathcal{I} ικανοποιεί την p **then**
- 4: **return** YES
- 5: **end if**
- 6: **end for**
- 7: **return** NO



Algorithm 2 ENTAIL(\mathcal{K}, p)

Input: Μία γνώση \mathcal{K} και μία πρόταση p με $\text{sig}(p) \subseteq \text{sig}(\mathcal{K})$.

- 1: $E :=$ το σύνολο των ερμηνειών \mathcal{I} της \mathcal{K}
- 2: **for all** $\mathcal{I} \in E$ **do**
- 3: **if** \mathcal{I} ικανοποιεί την \mathcal{K} και δεν ικανοποιεί την p **then**
- 4: **return** $\mathcal{K} \not\models p$
- 5: **end if**
- 6: **end for**
- 7: **return** $\mathcal{K} \models p$



Λογική πρώτης τάξης

17

- ▶ Επέκταση αναφορών στα αντικείμενα του κόσμου με τη χρήση συναρτήσεων
ΑγαπημένοΕστιατόριοΤου(Γιώργος)
ΑγαπημένοΕστιατόριοΤου(ΣύζυγοςΤου(Γιώργος))
- ▶ Αναπαράσταση γνώσης που συνδέει τα κατηγορήματα (μπορούμε να διατυπώσουμε γνώση που αφορά ταυτόχρονα πολλά αντικείμενα του κόσμου)
Όταν κάποιο εστιατόριο είναι πολυσύχναστο είναι γεμάτο.
 $\forall x . P(x) \Rightarrow F(x) \quad \forall x \exists y . WK(x) \vee L(x, y) \Rightarrow F(x) \vee M(x, y)$

Παρατηρήσεις

- ▶ Η Λογική Πρώτης Τάξης είναι πολύ εκφραστική
- ▶ Δυστυχώς, η Λογική Πρώτης Τάξης είναι πολύ εκφραστική:
δεν υπάρχουν αποδοτικοί αλγόριθμοι αυτόματης συλλογιστικής



Λογικός Προγραμματισμός

18

- ▶ Περιορίζουμε τη σύνταξη της Λογικής Πρώτης Τάξης, ώστε να διατυπώνουμε μόνο γεγονότα και κανόνες (λογικά προγράμματα)
πεινασμένος(Γιώργος)
γεμάτο(ΑγαπημένοΕστιατόριοΤου(Γιώργος))
Μην καθίσεις σε ένα άδειο εστιατόριο που δεν γνωρίζεις.

Παρατηρήσεις

- ▶ Υπάρχουν αποδοτικά συστήματα αυτόματης συλλογιστικής, ειδικά όταν η γνώση αφορά ενέργειες που πρέπει να κάνουμε όταν ισχύουν κάποια γεγονότα
- ▶ Τα συστήματα συλλογιστικής για λογικά προγράμματα δεν είναι αποδοτικά σε προβλήματα ταξινόμησης
- ▶ Ο λογικός προγραμματισμός δεν είναι ιδιαίτερα εκφραστικός για την περιγραφή προβλημάτων ταξινόμησης



Περιγραφικές Λογικές

19

- ▶ Περιορίζουμε τη σύνταξη της Λογικής Πρώτης Τάξης, ώστε να διατυπώνουμε μόνο ταξινομήσεις αντικειμένων σε κατηγορίες ή σχέσεις μεταξύ δύο αντικειμένων ή να δηλώνουμε ότι μία κατηγορία είναι υποκατηγορία κάποιας άλλης
 - πεινασμένος(Γιώργος)
 - δεν-έχει-κράτηση(Γιώργος, Σευχέλλες)
- Τα ακριβά εστιατόρια έχουν χώρους αναμονής για τους πελάτες.

Παρατηρήσεις

- ▶ Οι Περιγραφικές Λογικές είναι κατάλληλες για την αναπαράσταση ορολογικής γνώσης (ορολογίες, θησαυρούς, λεξικά, ταξονομίες κλπ), όχι για την περιγραφή ενεργειών.
- ▶ Τα συστήματα συλλογιστικής για Περιγραφικές Λογικές είναι πολύ αποδοτικά στην πράξη.