



Τεχνητή Νοημοσύνη

18η διάλεξη (2025-26)

Ίων Ανδρουτσόπουλος

<http://www.aueb.gr/users/ion/>

Οι διαφάνειες αυτής της διάλεξης βασίζονται στο βιβλίο *Artificial Intelligence – A Modern Approach* των S. Russel και P. Norvig, 2^η και 4^η έκδοση, Prentice Hall, 2003 και 2020. Τα περισσότερα σχήματα των διαφανειών προέρχονται από αντίστοιχες διαφάνειες του ίδιου βιβλίου.

Τι θα ακούσετε σήμερα

- Ευφυής συμπεριφορά βασισμένη σε λογικούς συλλογισμούς.
- Προτασιακή λογική:
 - Σύνταξη και σημασιολογία.
 - Μοντέλα και ταυτολογική συνεπαγωγή.
 - Ορθότητα και πληρότητα αλγορίθμων εξαγωγής συμπερασμάτων.
 - Εξαγωγή συμπερασμάτων με αναζήτηση μοντέλων.

Υπενθύμιση από την 1^η διάλεξη: Τεχνητή Νοημοσύνη

Συστήματα που σκέφτονται όπως οι άνθρωποι.	Συστήματα που σκέφτονται ορθολογικά.
Συστήματα που συμπεριφέρονται όπως οι άνθρωποι.	Συστήματα που συμπεριφέρονται ορθά.



Τι δέντρο είναι αυτό; Εξήγησε τον τρόπο σκέψης σου πριν απαντήσεις.



Ανάλυση ▾

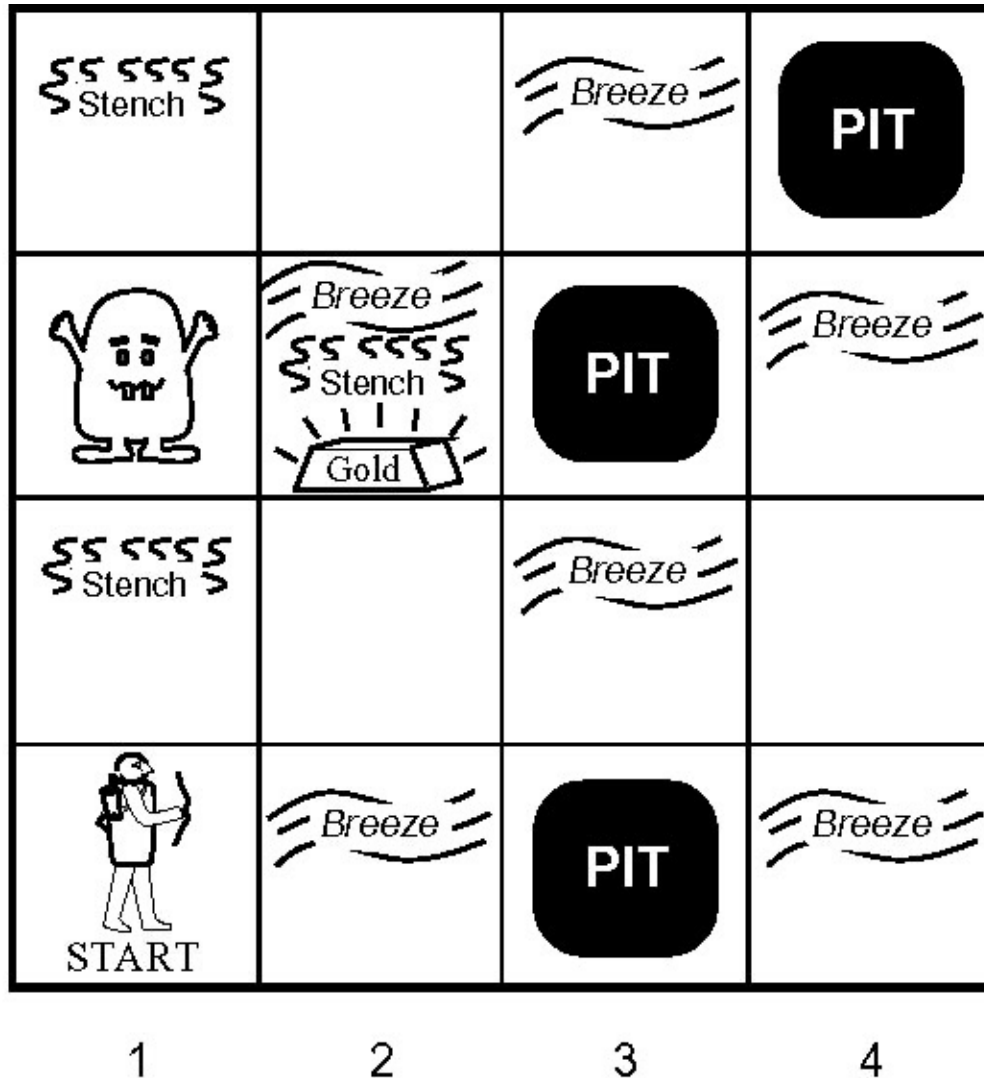
Αυτή είναι μια πολύ ενδιαφέρουσα ερώτηση! Για να προσδιορίσω το δέντρο στην εικόνα, θα ακολουθήσω τα εξής βήματα:

1. **Εξέταση των χαρακτηριστικών του δέντρου:**

- **Φύλλωμα:** Τα φύλλα φαίνονται να είναι μικρά, ωοειδή, με ομαλές άκρες και γυαλιστερή υφή. Φαίνονται να είναι σκούρα πράσινα στην επάνω πλευρά και πιο ανοιχτά στην κάτω. Το φύλλωμα είναι πυκνό.
- **Κορμός και κλαδιά:** Ο κορμός είναι αρκετά χοντρός, με φλοιό που φαίνεται να είναι τραχύς και ρωγμώδης, με καφετί-γκρι χρώμα. Τα κλαδιά είναι

Οι «συλλογισμοί» των LLMs δεν ακολουθούν γενικά κανόνες λογικής.
Ερευνητικός (ακόμα) στόχος: συνδυασμός LLMs και λογικών συλλογισμών.

Ο κόσμος του Wumpus



- Δίπλα στο Wumpus μυρίζει.
- Δίπλα στα ορύγματα υπάρχει ρεύμα αέρος.
- Ο χρυσός λάμπει στο τετράγωνό του.
- Κάθε φορά ξεκινάμε με τυχαία θέση του Wumpus, ορυγμάτων, χρυσού.
- Σε τετράγωνα ζωντανού Wumpus και ορυγμάτων ο πράκτορας πεθαίνει.
- Ενέργειες: κίνηση ένα τετράγωνο εμπρός, στροφή 90° αριστερά ή δεξιά, συλλογή αντικειμένου, εκτόξευση βέλους εμπρός.
- Το βέλος (ή ντομάτα) σκοτώνει (λερώνει) το Wumpus, οπότε ακούγεται κραυγή παντού (αποσύρεται).
- Ένα μόνο βέλος (ντομάτα).

Γνώσεις και κινήσεις του πράκτορα

1,4	2,4	3,4	4,4
1,3	2,3	3,3	4,3
1,2	2,2	3,2	4,2
1,1 A OK	2,1 OK	3,1	4,1

(a)

Δεν υπάρχει ούτε μυρωδιά ούτε ρεύμα στο (1,1). Άρα τα (1,2) και (2,1) είναι ασφαλή. Πηγαίνει π.χ. στο (2,1).

A = Agent
B = Breeze
G = Glitter, Gold
OK = Safe square
P = Pit
S = Stench
V = Visited
W = Wumpus

1,4	2,4	3,4	4,4
1,3	2,3	3,3	4,3
1,2 OK	2,2 P?	3,2	4,2
1,1 V OK	2,1 A B OK	3,1 P?	4,1

(b)

Στο (2,1) υπάρχει ρεύμα. Άρα όρυγμα στο (2,2) ή το (3,1). Υπάρχει μόνο ένα σίγουρο τετράγωνο στο οποίο δεν έχει πάει, το (1,2). Πηγαίνει εκεί μέσω σίγουρων τετραγώνων.

Γνώσεις και κινήσεις του πράκτορα

- Δεν υπάρχει ρεύμα στο (1,2). Άρα δεν μπορεί να υπάρχει όρυγμα στο (2,2). Ξέρουμε, όμως, ότι υπάρχει όρυγμα στο (2,2) ή το (3,1). **Άρα το όρυγμα είναι στο (3,1).**
- Στο (1,2) μυρίζει. Άρα το Wumpus βρίσκεται στο (1,3) ή στο (2,2). Αλλά αν βρισκόταν στο (2,2), θα το είχαμε μυρίσει στο (2,1). **Άρα το Wumpus είναι στο (1,3).**

1,4	2,4	3,4	4,4
1,3 W!	2,3	3,3	4,3
1,2 A S OK	2,2 OK	3,2	4,2
1,1 V OK	2,1 B V OK	3,1 P!	4,1

Γνώσεις και εξαγωγή συμπερασμάτων

- **Βάση γνώσης (ΒΓ) του πράκτορα.**
 - Περιέχει **τύπους** μια **γλώσσας παράστασης γνώσεων** (π.χ. προτάσεις προτασιακής λογικής).
 - Το **συντακτικό** της γλώσσας καθορίζει τους τύπους που ανήκουν στη γλώσσα και άρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν.
 - Οι τύποι παριστάνουν τις γνώσεις του πράκτορα.
- **Αλγόριθμοι εξαγωγής συμπερασμάτων.**
 - Παράγουν νέους τύπους από αυτούς που βρίσκονται στη ΒΓ.
 - Οι νέοι τύποι παριστάνουν συμπεράσματα.
- **Προσθήκη γνώσεων στη ΒΓ.**
 - Νέα δεδομένα (π.χ. αισθητήρες) ή συμπεράσματα.
- **Ερωτήσεις προς τη ΒΓ.**
 - Π.χ. είναι ασφαλές να πάω στο (2,2);

Σημασιολογία και μοντέλο

- Η **σημασιολογία** μιας γλώσσας ορίζει τη σημασία κάθε τύπου της γλώσσας σε κάθε **κόσμο**.
 - Στην κλασική **λογική**, σε έναν κόσμο η σημασία ενός τύπου μπορεί να είναι **αληθές** ή **ψευδές**.
 - Π.χ. έστω ότι χρησιμοποιούμε τα **x** και **y** για να παραστήσουμε τους αριθμούς των φοιτητών και φοιτητριών, αντίστοιχα, και ότι τα **+** και **=** έχουν τη συνηθισμένη αριθμητική σημασία.
 - Για να αποφανθούμε αν ο τύπος **$x + y = 4$** είναι αληθής σε έναν κόσμο, πρέπει να ξέρουμε πόσοι είναι οι φοιτητές και οι φοιτήτριες στον κόσμο αυτό (τις **τιμές των x και y**).
 - Δεδομένων των τιμών των **x** και **y** σε έναν κόσμο, η **σημασιολογία** της αριθμητικής γλώσσας καθορίζει αν ο τύπος **$x + y = 4$** είναι αληθής ή ψευδής σε αυτόν τον κόσμο.
- **Μοντέλο** του κόσμου.
 - **Αφηρημένη παράσταση του κόσμου**, που παρέχει τις πληροφορίες που μας χρειάζονται για να υπολογίσουμε τη σημασία κάθε τύπου (στο παράδειγμα, τις τιμές των **x** και **y**).

Ταυτολογική συνεπαγωγή

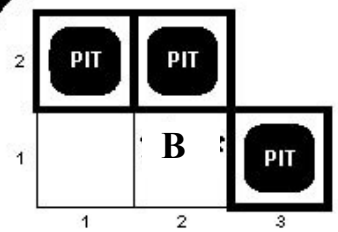
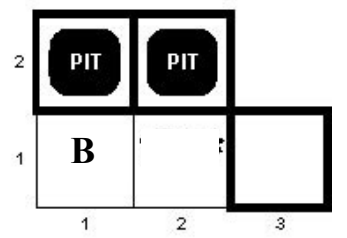
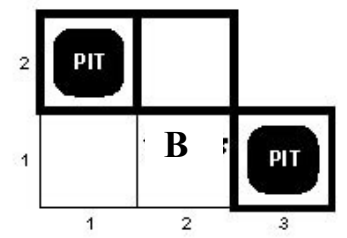
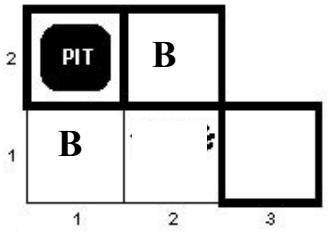
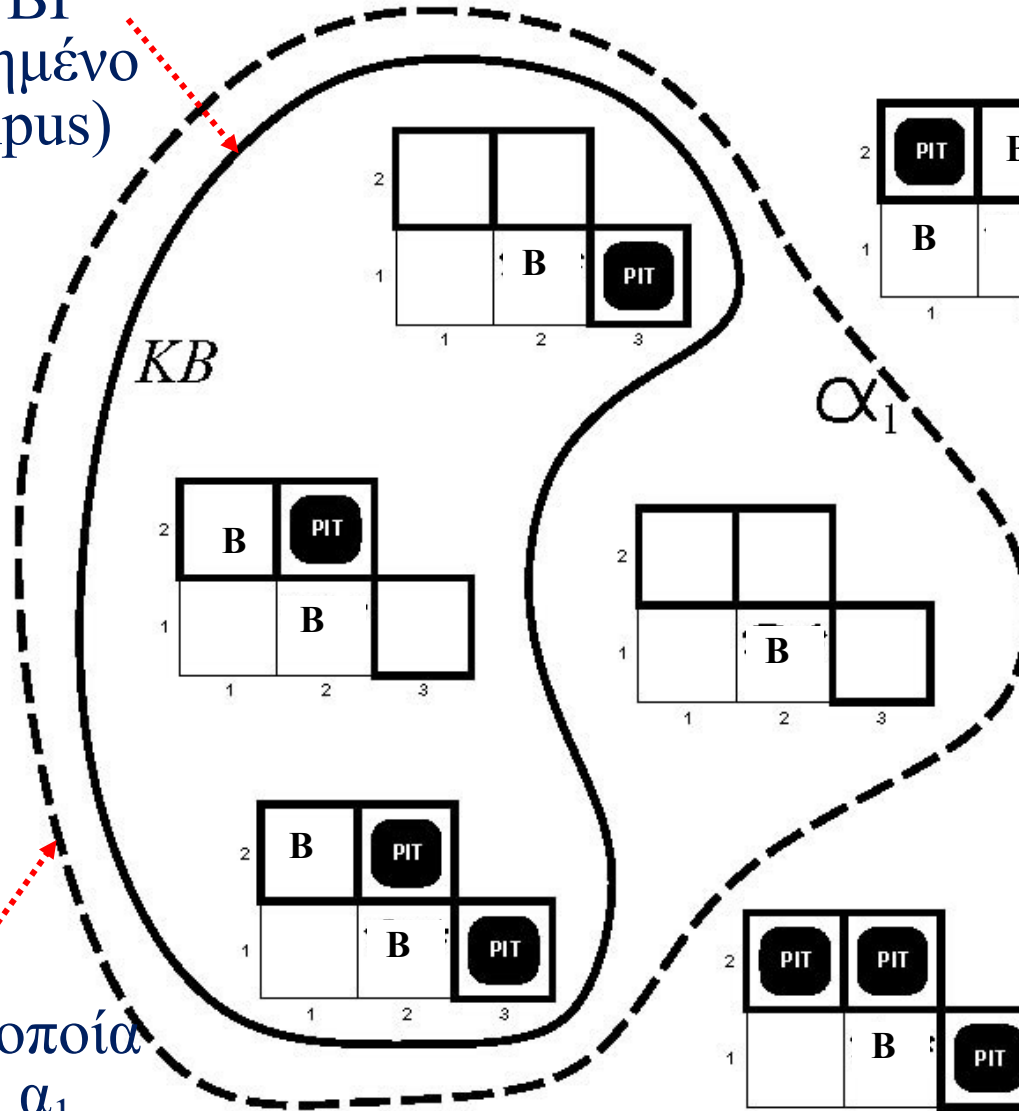
- $\alpha \models \beta$ σημαίνει: σε κάθε μοντέλο όπου είναι αληθής ο τύπος α , είναι αληθής και ο τύπος β .
 - Όποτε είναι αληθής ο α , είναι και ο β .
 - $(x + y = 4) \models (4 = x + y)$, γιατί σε οποιοδήποτε μοντέλο στο οποίο αληθεύει $(x + y = 4)$, αληθεύει και $(4 = x + y)$.
- $B\Gamma \models \beta$ σημαίνει: σε κάθε μοντέλο όπου είναι αληθής η $B\Gamma$, είναι αληθής και ο τύπος β .
 - Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι όλοι οι τύποι της $B\Gamma$ μαζί αποτελούν ένα μεγάλο τύπο (μια μεγάλη σύζευξη).
 - Όποτε είναι αληθής η $B\Gamma$, είναι και ο β .
 - Άρα αν η $B\Gamma$ είναι αληθής στον κόσμο όπου βρίσκομαι, είναι αληθής και ο τύπος β .
 - Άρα αν πιστεύω ότι είναι αληθής η $B\Gamma$ στον κόσμο όπου βρίσκομαι, πρέπει να πιστεύω ότι είναι αληθής και ο β .

Παράδειγμα

- Έστω ότι η **BΓ** περιέχει:
 - Όχι ρεύμα ούτε όρυγμα στο (1,1).
 - Ρεύμα στο (2,1).
 - Τους κανόνες του κόσμου (π.χ. πάντα ρεύμα στα γειτονικά τετράγωνα ορυγμάτων).
- Έπονται ταυτολογικά από τη **BΓ** τα ακόλουθα;
 - α_1 : Όχι όρυγμα στο (1,2).
 - α_2 : Όχι όρυγμα στο (2,2).
- Προκύπτει ότι: $B\Gamma \models \alpha_1$ αλλά $B\Gamma \not\models \alpha_2$.
 - Με έλεγχο όλων των μοντέλων (πιθανών κόσμων).
 - Σε όλα τα μοντέλα όπου αληθεύει η **BΓ** αληθεύει και ο α_1 .
 - Υπάρχουν όμως μοντέλα όπου αληθεύει η **BΓ** αλλά όχι ο α_2 .

$B\Gamma \models \alpha_1$ ← Όχι όρυγμα στο (1,2).

μοντέλα στα οποία αληθεύει η $B\Gamma$ (για απλοποιημένο κόσμο Wumpus)

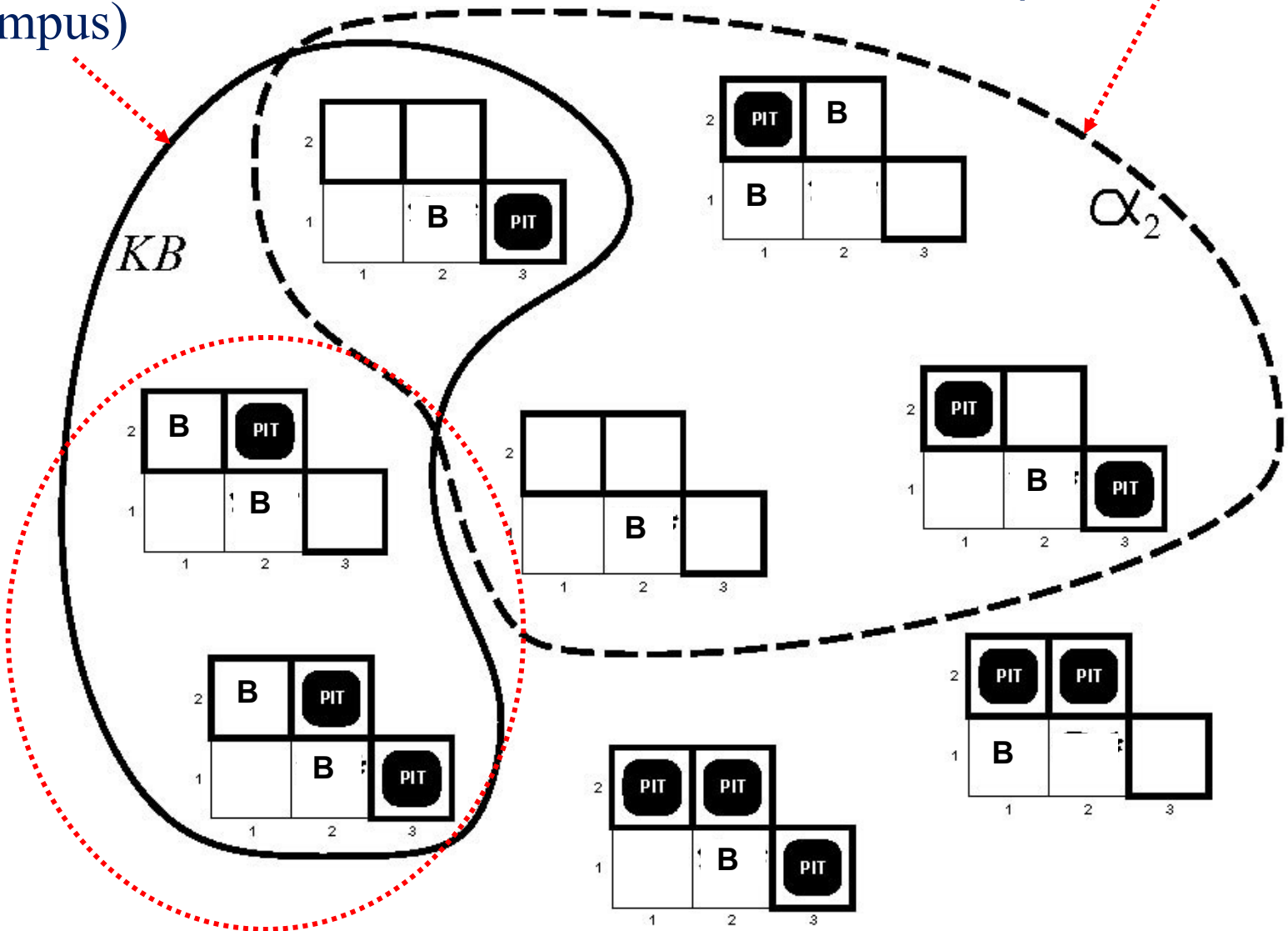


μοντέλα στα οποία αληθεύει ο α_1

μοντέλα στα οποία αληθεύει η ΒΓ (για απλοποιημένο κόσμο Wumpus)

$B\Gamma \not\models \alpha_2$

Όχι όρυγμα στο (2,2).
μοντέλα στα οποία αληθεύει ο α_2



Αλγόριθμοι εξαγωγής συμπερασμάτων

- $\alpha \vdash_i \beta$: Ο αλγόριθμος i «παράγει» από τον τύπο α τον β .
 - Μπορεί να δίνουμε συγκεκριμένους τύπους α και β και να ρωτάμε αν $\alpha \vdash_i \beta$ (ερώτηση).
 - Μπορεί να δίνουμε συγκεκριμένο τύπο α και να θέλουμε να μας **απαριθμήσει** όλους τους τύπους β για τους οποίους $\alpha \vdash_i \beta$.
- «Ο i είναι **ορθός**»: Αν $\alpha \vdash_i \beta$, τότε $\alpha \models \beta$.
 - Οι τύποι που παράγει έπονται **πράγματι** ταυτολογικά από τον α .
- «Ο i είναι **πλήρης**»: Αν $\alpha \models \beta$, τότε $\alpha \vdash_i \beta$.
 - Παράγει **όλους** τους τύπους που έπονται ταυτολογικά από τον α .

Συντακτικό προτασιακής λογικής

Ορισμός με γραμματική χωρίς συμφραζόμενα:

πρόταση \rightarrow ατομική-πρόταση | σύνθετη-πρόταση

ατομική-πρόταση \rightarrow True | False | σύμβολο

σύμβολο \rightarrow B | P | S | ... | B_{1,1} | P_{2,1} | ...

σύνθετη-πρόταση \rightarrow \neg πρόταση

| (πρόταση \wedge πρόταση)

| (πρόταση \vee πρόταση)

| (πρόταση \Rightarrow πρόταση)

| (πρόταση \Leftrightarrow πρόταση)

Τα σύμβολα « \vdash » και « \vDash » δεν είναι σύμβολα της γλώσσας. Δεν περιέχονται ποτέ σε τύπους της γλώσσας. Τα χρησιμοποιούμε εμείς για να συζητάμε για τους τύπους της γλώσσας (ανήκουν σε μια μετα-γλώσσα).

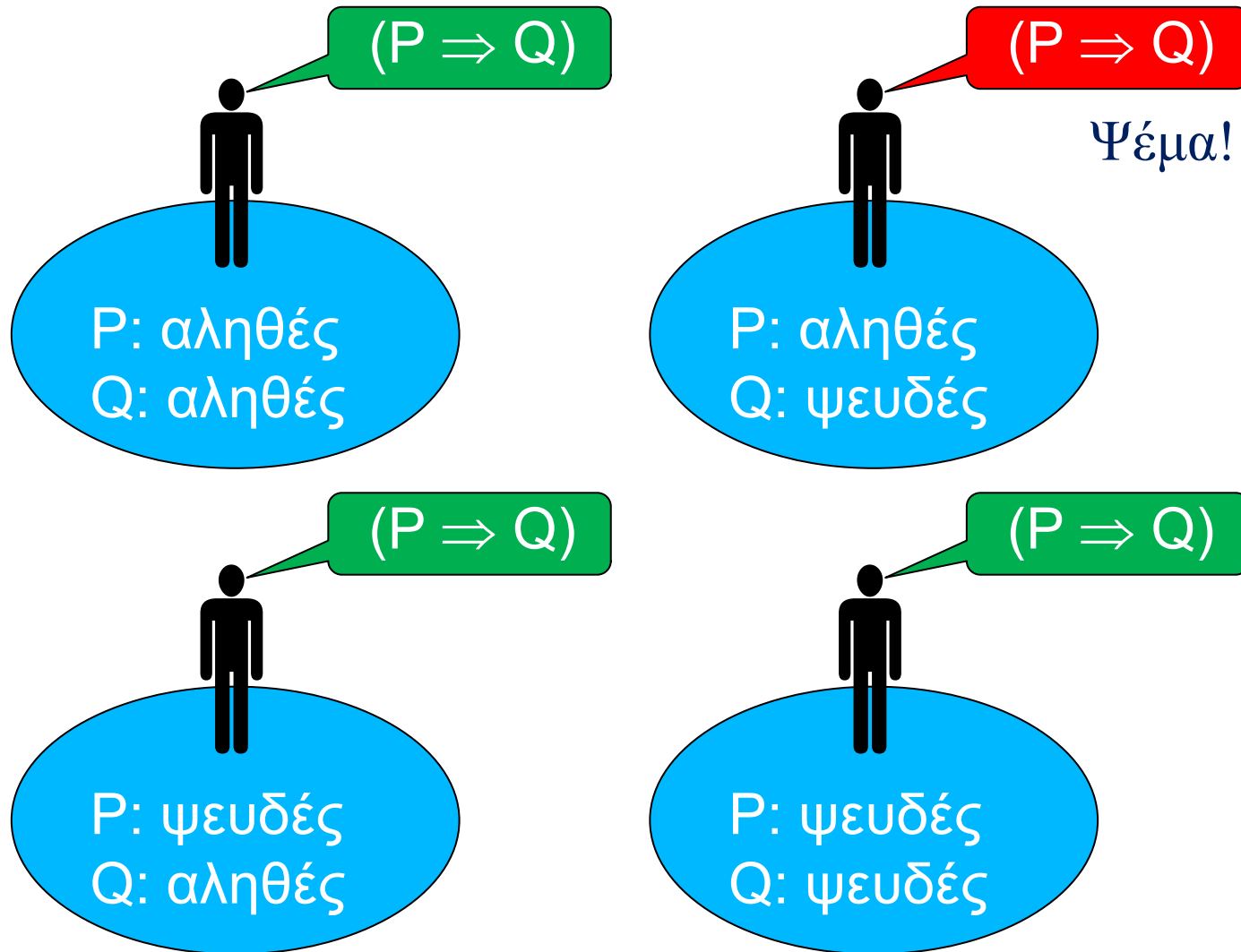
Σημασιολογία προτασιακής λογικής

- Η σημασία των True και False είναι πάντα αληθές και ψευδές αντίστοιχα.
- Η σημασία κάθε **συμβόλου** καθορίζεται από το **μοντέλο**.
- Η σημασία των **σύνθετων προτάσεων** καθορίζεται από τη σημασία των συστατικών τους και τον πίνακα:

P	Q	$\neg P$	$P \wedge Q$	$P \vee Q$	$P \Rightarrow Q$	$P \Leftrightarrow Q$
<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>true</i>
<i>false</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>false</i>
<i>true</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>false</i>
<i>true</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>true</i>

Διαισθητικά ο τύπος λέει «Αν η σημασία του P στο συγκεκριμένο κόσμο είναι αληθές, τότε και η σημασία του Q στο συγκεκριμένο κόσμο είναι αληθές». Αυτή η δήλωση είναι αληθής σε όλους τους κόσμους, εκτός από εκείνους όπου P αληθές και Q ψευδές (τρίτη γραμμή).

Πότε λέει ψέματα;



Παράδειγμα

- Ας θεωρήσουμε τον φ : $((\neg B_{1,1} \wedge (B_{1,1} \Rightarrow (P_{1,2} \vee P_{2,1}))) \Rightarrow \neg P_{1,2})$

α/α	$B_{1,1}$	$P_{1,2}$	$P_{2,1}$	$(\neg B_{1,1} \wedge (B_{1,1} \Rightarrow (P_{1,2} \vee P_{2,1})))$	$\neg P_{1,2}$	φ
1	T	T	T	F	F	T
2	T	T	F	F	F	T
3	T	F	T	F	T	T
4	T	F	F	F	T	T
5	F	T	T	T	F	F
6	F	T	F	T	F	F
7	F	F	T	T	T	T
8	F	F	F	T	T	T

- Ο φ δεν αληθεύει στα μοντέλα των γραμμών 5, 6, όπου αληθεύει το αριστερό αλλά όχι το δεξί. Αληθεύει σε όλα τα άλλα μοντέλα.
- Επίσης, $(\neg B_{1,1} \wedge (B_{1,1} \Rightarrow (P_{1,2} \vee P_{2,1}))) \not\equiv \neg P_{1,2}$, γιατί στα μοντέλα των γραμμών 5, 6 αληθεύει το αριστερό αλλά όχι το δεξί.

Άλλο παράδειγμα

- Ας θεωρήσουμε $\psi: ((B_{1,1} \wedge (B_{1,1} \Rightarrow (P_{1,2} \vee P_{2,1}))) \Rightarrow (P_{1,2} \vee P_{2,1}))$

α/α	$B_{1,1}$	$P_{1,2}$	$P_{2,1}$	$(B_{1,1} \wedge (B_{1,1} \Rightarrow (P_{1,2} \vee P_{2,1})))$	$(P_{1,2} \vee P_{2,1})$	ψ
1	T	T	T	T	T	T
2	T	T	F	T	T	T
3	T	F	T	T	T	T
4	T	F	F	F	F	T
5	F	T	T	F	T	T
6	F	T	F	F	T	T
7	F	F	T	F	T	T
8	F	F	F	F	F	T

- Ο ψ αληθεύει σε όλα τα μοντέλα (γραμμές). Είναι «ταυτολογία».
- Επίσης, $(B_{1,1} \wedge (B_{1,1} \Rightarrow (P_{1,2} \vee P_{2,1}))) \models (P_{1,2} \vee P_{2,1})$, γιατί σε όσες γραμμές (μοντέλα) αληθεύει το αριστερό, αληθεύει και το δεξί.
- Γενικότερα $\alpha \models \beta$ αν και μόνο αν («ανν») ο τύπος $(\alpha \Rightarrow \beta)$ είναι αληθής σε όλα τα μοντέλα δηλ. ανν ο $(\alpha \Rightarrow \beta)$ είναι ταυτολογία.

Η σχέση των \models και \Rightarrow

- Παρατηρήστε ότι παρ' όλο που ο τύπος $((\neg B_{1,1} \wedge (B_{1,1} \Rightarrow (P_{1,2} \vee P_{2,1}))) \Rightarrow \neg P_{1,2})$ αληθεύει σε μερικά μοντέλα, έχουμε:
 $((\neg B_{1,1} \wedge (B_{1,1} \Rightarrow (P_{1,2} \vee P_{2,1}))) \not\models \neg P_{1,2},$
που συμφωνεί με τη διαίσθησή μας ότι το $\neg P_{1,2}$ **δεν προκύπτει ως συμπέρασμα** από το αριστερό μέρος.
- Ενώ ο $((B_{1,1} \wedge (B_{1,1} \Rightarrow (P_{1,2} \vee P_{2,1}))) \Rightarrow (P_{1,2} \vee P_{2,1}))$ αληθεύει σε όλα τα μοντέλα (ταυτολογία) και επίσης:
 $(B_{1,1} \wedge (B_{1,1} \Rightarrow (P_{1,2} \vee P_{2,1}))) \models (P_{1,2} \vee P_{2,1}),$
που συμφωνεί με τη διαίσθησή μας ότι το $(P_{1,2} \vee P_{2,1})$ **προκύπτει ως συμπέρασμα** από το αριστερό μέρος.

Παράδειγμα στον κόσμο του Wumpus

- $\neg P_{1,1}$
 - Δεν υπάρχει όρυγμα στο (1,1).
- $(B_{1,1} \Rightarrow (P_{1,2} \vee P_{2,1}))$
 - Αν ρεύμα στο (1,1), τότε όρυγμα στα (1,2) ή (2,1).
- $(B_{2,1} \Rightarrow (P_{1,1} \vee P_{2,2} \vee P_{3,1}))$
 - Χρειάζεται αντίστοιχη πρόταση για κάθε τετράγωνο!
- $\neg B_{1,1}$
 - Δεν υπάρχει ρεύμα στο (1,1).
- $B_{2,1}$
 - Υπάρχει ρεύμα στο (2,1). μερικοί από τους τύπους της Βάσης Γνώσης («ΒΓ», «ΚΒ»)
- **Συμπεράσματα** για ορύγματα στα (1,2) και (2,2);
 - Ισχύουν τα $B\Gamma \models P_{1,2}$, $B\Gamma \models \neg P_{1,2}$, $B\Gamma \models P_{2,2}$, $B\Gamma \models \neg P_{2,2}$;

Συμπεράσματα με αναζήτηση μοντέλων

– Ισχύουν τα $BΓ \models P_{1,2}$, $BΓ \models \neg P_{1,2}$, $BΓ \models P_{2,2}$, $BΓ \models \neg P_{2,2}$;

$B_{1,1}$	$B_{2,1}$	$P_{1,1}$	$P_{1,2}$	$P_{2,1}$	$P_{2,2}$	$P_{3,1}$	KB
<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>
<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>
<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<u><i>true</i></u>
<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<u><i>true</i></u>
<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<u><i>true</i></u>
<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
<i>true</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>false</i>

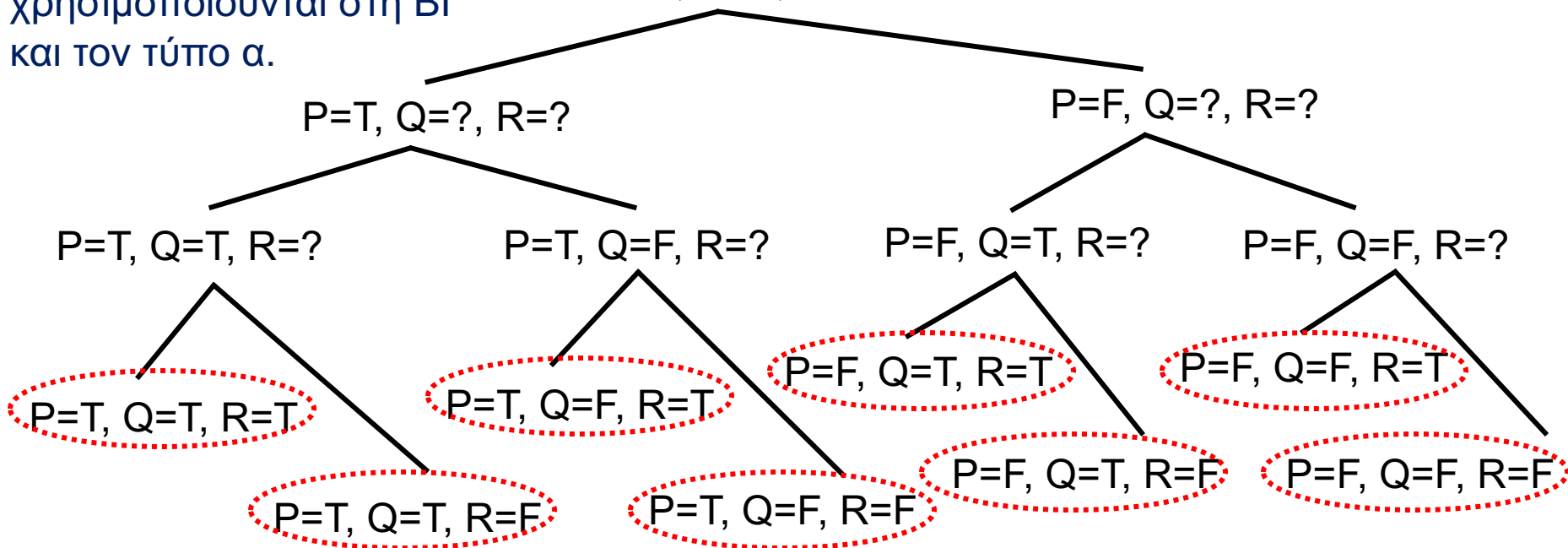
Συμπεράσματα με αναζήτηση μοντέλων

- Σε όλα τα μοντέλα όπου αληθεύει η ΒΓ, αληθεύει και ο $\neg P_{1,2}$. Επομένως $B\Gamma \models \neg P_{1,2}$ και $B\Gamma \not\models P_{1,2}$.
- Για το $P_{2,2}$ δεν μπορούμε να εξαγάγουμε συμπέρασμα.
 - Δεν ισχύει ούτε $B\Gamma \models P_{2,2}$ ούτε $B\Gamma \models \neg P_{2,2}$.
 - Δηλαδή $B\Gamma \not\models P_{2,2}$ και $B\Gamma \not\models \neg P_{2,2}$.
- Αν χρησιμοποιούμε μόνο 7 σύμβολα, υπάρχουν $2^7 = 128$ μοντέλα.
 - Γενικότερα χρειάζεται να ελέγξουμε $O(2^n)$ μοντέλα (γραμμές του πίνακα αληθείας), όπου n ο αριθμός των συμβόλων που χρησιμοποιούνται.

Ο χώρος των μοντέλων

Όλα τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται στη ΒΓ και τον τύπο α .

$P=?$, $Q=?$, $R=?$



- Προσπαθούμε να ελέγξουμε αν $\mathbf{B}\Gamma \models \alpha$.
 - Έστω P, Q, R όλα τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται στη ΒΓ και τον α .
- Επιτρέπουμε και **ημιτελή μοντέλα** (στους κόμβους που δεν είναι φύλλα), τα οποία δεν δίνουν τιμές σε όλα τα σύμβολα.
- Θέλουμε να εξετάσουμε όλα τα **πλήρη μοντέλα** (τα φύλλα).
 - Πρέπει σε κάθε φύλλο είτε (i) να μην αληθεύει η ΒΓ είτε (ii) να αληθεύει και η ΒΓ και ο α .

Αναζήτηση στο χώρο των μοντέλων με DFS

- **Αρχική κατάσταση:** ημιτελές μοντέλο που δε δίνει καμία τιμή.
- **Μεταβάσεις:** αποκτά τιμή το αριστερότερο σύμβολο που δεν έχει.
- **Τελικές καταστάσεις:** όλα τα σύμβολα έχουν τιμές.
- Εξερευνούμε το δέντρο με **DFS**.
 - Δεν σταματάμε όταν συναντούμε τελική κατάσταση.
- **Ο αλγόριθμος** της επόμενης διαφάνειας καλείται αναδρομικά με **όρισμα έναν κόμβο** του δέντρου.
 - Δηλαδή ένα μοντέλο, πιθανώς ημιτελές, που αρχικά είναι η ρίζα.
 - Επιστρέφει **true** ανν σε κάθε φύλλο του υπο-δέντρου με ρίζα τον κόμβο ισχύει ότι: (i) δεν αληθεύει η ΒΓ ή (ii) αληθεύει και η ΒΓ και ο τύπος α .

Έλεγχος μοντέλων με DFS

function TT-ENTAILS?(KB, α) **returns** *true* or *false*

σύμβολα στα οποία δεν
δίνει τιμή το (ημιτελές)

$symbols \leftarrow$ a list of the proposition symbols in KB and α

μοντέλο

return TT-CHECK-ALL($KB, \alpha, symbols, []$)

το (ημιτελές)
μοντέλο

function TT-CHECK-ALL($KB, \alpha, symbols, model$) **returns** *true* or *false*

if EMPTY?($symbols$) **then**

if PL-TRUE?($KB, model$) **then** **return** PL-TRUE?($\alpha, model$)

else **return** *true*

Αληθεύει η ΒΓ στο μοντέλο;

else do

$P \leftarrow$ FIRST($symbols$); $rest \leftarrow$ REST($symbols$)

έλεγχος των δύο παιδιών

return TT-CHECK-ALL($KB, \alpha, rest, EXTEND(P, true, model)$) **and**

TT-CHECK-ALL($KB, \alpha, rest, EXTEND(P, false, model)$)

- Καλούμε την TT-Check-All για ένα συγκεκριμένο κόμβο (ημιτελές μοντέλο), αρχικά τη ρίζα.
- Επιστρέφουμε T αν σε κάθε φύλλο του υποδέντρου (πλήρες μοντέλο), (i) δεν αληθεύει η ΒΓ ή (ii) αληθεύουν η ΒΓ και ο α .

Χαρακτηριστικά του TT-Entails?

- Πολυπλοκότητα **χρόνου** $O(2^n)$, όπου n ο αριθμός των συμβόλων της ΒΓ και της πρότασης α .
 - Παράγουμε $2^1 + 2^2 + \dots + 2^n = O(2^n)$ κόμβους.
- Πολυπλοκότητα **χώρου** $O(n)$.
 - Ψάχνουμε το χώρο των ημιτελών μοντέλων με DFS. Έχουμε πάντα $b = 2$ και μέγιστο βάθος n .
- **Ορθός** (αν $B\Gamma \vdash_i \alpha$, τότε $B\Gamma \models \alpha$).
 - Για να απαντήσει « $B\Gamma \vdash_i \alpha$ », έχει βεβαιωθεί πρώτα ότι σε όλα τα φύλλα όπου αληθεύει η ΒΓ αληθεύει και η πρόταση α .
- **Πλήρης** (αν $B\Gamma \models \alpha$, τότε $B\Gamma \vdash_i \alpha$).
 - Με την έννοια ότι αν του δώσουμε συγκεκριμένη ΒΓ και α με $B\Gamma \models \alpha$, θα απαντήσει « $B\Gamma \vdash_i \alpha$ ». Θα διαπιστώσει ότι σε όλα τα φύλλα όπου αληθεύει η ΒΓ, αληθεύει και η α , οπότε θα απαντήσει « $B\Gamma \vdash_i \alpha$ ».
 - Δεν μπορεί, όμως, να απαριθμήσει όλα τα α για τα οποία ισχύει ότι $B\Gamma \models \alpha$.

Βιβλιογραφία

- Russel & Norvig (4η έκδοση): κεφ. 7 ως και ενότητα 7.4.
- Βλαχάβας κ.ά.: εισαγωγή κεφ. 9, ενότητα 9.1 (εκτός των υπο-ενοτήτων 9.1.1, 9.1.2).