

Κεφάλαιο 12

Αναπαράσταση του Χρόνου

Τεχνητή Νοημοσύνη - Β' Έκδοση

Ι. Βλαχάβας, Π. Κεφαλάς, Ν. Βασιλειάδης, Φ. Κόκκορας, Η. Σακελλαρίου



Χρόνος και Κλασική Λογική

- ❖ Στην κλασική λογική δεν μπορεί να γίνει αναπαράσταση του χρόνου. Κάποιο γεγονός είναι αληθές ή ψευδές αλλά δεν υπάρχει καμία ένδειξη:
 - για το πότε ίσχυε αυτό,
 - για το αν εξακολουθεί να ισχύει ή θα ισχύει στο μέλλον,
 - για το ποια είναι η απόλυτη διάρκειά του ή η διάρκεια της ισχύος του σε σχέση με άλλα.

- ❖ Η δυνατότητα συμπερασμού με βάση το χρόνο είναι απαραίτητη στην TN.



Το Πρόβλημα του Πλαισίου (*frame problem*)

- ❖ Αφορά τη χρονική διάρκεια μέσα στην οποία είναι αληθές ένα γεγονός και τους παράγοντες που το επηρεάζουν με την πάροδο του χρόνου.
 - ❑ Στον κόσμο των κύβων, "εάν ένας κύβος *A* είναι κόκκινος πριν τοποθετηθεί πάνω στον κύβο *B*, τι χρώμα θα έχει μετά";
- ❖ Το πρόβλημα του πλαισίου, εκφράζει το "τι δεν προκαλεί μια ενέργεια";
- ❖ Τρόποι αντιμετώπισης του προβλήματος:
 - ❑ για κάθε ιδιότητα του κόσμου να εκφραστεί με σαφήνεια ότι μία ενέργεια δεν επηρεάζει τον κόσμο σε δύο διαδοχικές καταστάσεις
 - ❑ να οριστούν κάποιες ιδιότητες και καταστάσεις ως *πρωταρχικές (primitive)*, υπό την έννοια ότι όλες οι άλλες ιδιότητες και καταστάσεις προκύπτουν από αυτές
 - ❑ να δηλωθεί ρητά ότι κάθε φορά που συμβαίνει μια αλλαγή κατάστασης, τότε πρέπει απαραίτητα να έχει συμβεί κάποια συγκεκριμένη ενέργεια
- ❖ Η πολυπλοκότητα που εισάγουν οι παραπάνω λύσεις τις κάνει μη-πρακτικές.
- ❖ Δύο εναλλακτικοί τρόποι αναπαράστασης του χρόνου είναι η **χρονική λογική** και η **λογική των χρονικών διαστημάτων**.

Χρονική Λογική

- ❖ Είναι μία τροπική μορφή λογικής (modal logic). Έστω μία πρόταση p , τότε:
 - ❑ $\Box p$ σημαίνει ότι *οπωσδήποτε* (*necessarily*) η p είναι αληθής στο μέλλον, δηλαδή *για πάντα* (*always*),
 - ❑ $\Diamond p$ σημαίνει ότι *πιθανά* (*possibly*) η p είναι αληθής στο μέλλον, δηλαδή *μερικές φορές* (*sometimes*).
- ❖ Το συντακτικό της χρονικής λογικής για σύνολο προτάσεων $Prop$, ορίζεται ως εξής:
 - ❑ Αν $p \in Prop$, τότε p είναι έκφραση της χρονικής λογικής.
 - ❑ Αν p_1 και p_2 είναι εκφράσεις, τότε $\neg p_1$ και $p_1 \vee p_2$ είναι επίσης εκφράσεις.
 - ❑ Αν p είναι έκφραση, τότε $\Box p$ και $\Diamond p$ είναι επίσης εκφράσεις.
- ❖ Για τους τελεστές \Diamond και \Box ισχύει:
 - ❑ $\Box p \Leftrightarrow \neg \Diamond \neg p$, δηλαδή κάτι είναι πάντα αληθές στο μέλλον εάν και μόνο εάν δεν είναι πιθανό να μην ισχύει μερικές φορές, και
 - ❑ $\Diamond p \Leftrightarrow \neg \Box \neg p$, δηλαδή κάτι είναι μερικές φορές αληθές στο μέλλον εάν και μόνο εάν δεν ισχύει πάντα.
- ❖ Η χρονική λογική χρησιμεύει στην εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν στην **εξέλιξη** του κόσμου ενός προβλήματος.

Δομή Kripke

❖ Η αναπαράσταση της χρονικής εξέλιξης των καταστάσεων ενός κόσμου ονομάζεται *δομή Kripke* και ορίζεται ως μια τριάδα (Q, R, L) :

- ❑ Q είναι ένα μη-κενό σύνολο από καταστάσεις,
- ❑ R είναι μία σχέση μεταξύ των καταστάσεων που δείχνει ποια κατάσταση έπεται ποιας, οπότε $R \subseteq Q \times Q$
- ❑ L είναι μία *συνάρτηση ανάθεσης αληθείας (truth assignment function)*, η οποία καθορίζει ποια γεγονότα αληθεύουν σε κάθε κατάσταση

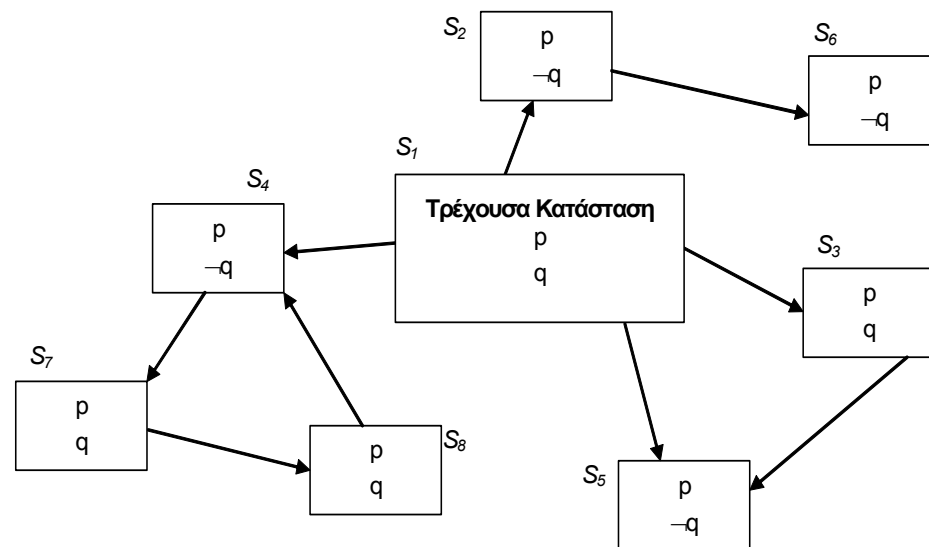
❖ $Q = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8\}$

❑ $R = \{ (S_1, S_2), (S_1, S_3), (S_1, S_4), (S_1, S_5), (S_2, S_6), (S_4, S_7), (S_7, S_8), (S_8, S_1), (S_3, S_5), (S_5, S_1) \}$

❑ $L = \{ S_1 \rightarrow \{p, q\}, S_2 \rightarrow \{p, \neg q\}, S_3 \rightarrow \{p, q\}, S_4 \rightarrow \{p, \neg q\}, S_5 \rightarrow \{p, \neg q\}, S_6 \rightarrow \{p, \neg q\}, S_7 \rightarrow \{p, q\}, S_8 \rightarrow \{p, q\} \}$

❖ Ισχύουν $\Box p$ και $\Diamond q$

❖ Μία σειρά καταστάσεων χωρίς διακλαδώσεις ονομάζεται *χρονικό μονοπάτι*.



Παράδειγμα: Περιγραφή Καταστάσεων

- ❖ Έστω ένα αεροδρόμιο με αυτοκινούμενα οχήματα που χειρίζονται τη φόρτωση και εκφόρτωση των αποσκευών από και προς το αεροπλάνο.
- ❖ $S = \{ \text{Φορτωμένο, Έτοιμο για φόρτωση, Χωρίς φορτίο, Έτοιμο για εκφόρτωση, Κινούμενο προς αεροπλάνο, Κινούμενο προς πύλη αεροδρομίου} \}$

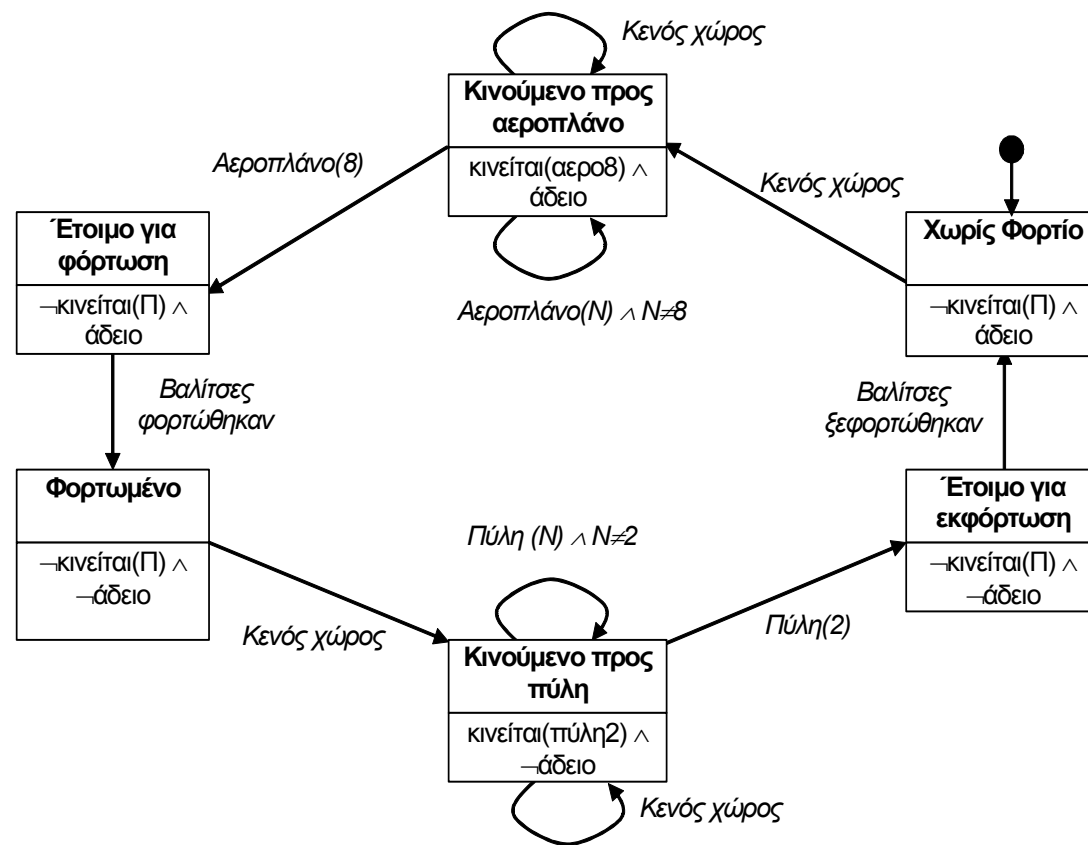
Κατάσταση	Προτάσεις
Φορτωμένο	\neg κινείται(Προορισμός) \wedge \neg άδειο
Έτοιμο για φόρτωση	\neg κινείται(Προορισμός) \wedge άδειο
Χωρίς φορτίο	\neg κινείται(Προορισμός) \wedge άδειο
Έτοιμο για εκφόρτωση	\neg κινείται(Προορισμός) \wedge \neg άδειο
Κινούμενο προς αεροπλάνο	κινείται(αεροπλάνο) \wedge άδειο
Κινούμενο προς πύλη αεροδρομίου	κινείται(πύλη) \wedge \neg άδειο

Παράδειγμα

❖ Δομή Kripke ενός οχήματος που βρίσκεται σε κατάσταση "Χωρίς φορτίο" και έχει ως στόχο να φορτώσει από το αεροπλάνο με αριθμό 8 και να ξεφορτώσει στην πύλη του αεροδρομίου με αριθμό 2.

□ π.χ. □ $[(\text{κινείται}(\text{πύλη}2) \wedge \neg \text{άδειο}) \vee (\text{κινείται}(\text{αερο}8) \wedge \text{άδειο}) \vee \neg \text{κινείται}(X)]$

□ π.χ. ◇ $[\neg \text{κινείται}(X) \wedge \neg \text{άδειο}]$



Λογική Υπολογιστικού Δένδρου

- ❖ Πέντε βασικοί χρονικοί τελεστές:
 - ❑ G (*globally*), όπου Gp σημαίνει ότι η πρόταση p είναι αληθής σε όλες τις καταστάσεις ενός χρονικού μονοπατιού,
 - ❑ F (*future*), όπου Fp σημαίνει ότι η πρόταση p είναι αληθής σε κάποια κατάσταση σε ένα χρονικό μονοπάτι,
 - ❑ X (*next time*), όπου Xp σημαίνει ότι η πρόταση p είναι αληθής στην επόμενη κατάσταση,
 - ❑ U (*until*), όπου pUq σημαίνει ότι η πρόταση p είναι αληθής μέχρι κάποια κατάσταση από την οποία μετά είναι αληθής η q , και
 - ❑ R (*release*), όπου pRq σημαίνει ότι η πρόταση p είναι αληθής μετά από κάποια κατάσταση ως την οποία είναι αληθής η q .
- ❖ Δύο ποσοδείκτες χρονικών μονοπατιών:
 - ❑ A , για όλα τα χρονικά μονοπάτια
 - ❑ E , για κάποια χρονικά μονοπάτια
- ❖ Οι βασικοί τελεστές συνδυάζονται με ποσοδείκτες: AG , EG , AF , EF , κτλ., π.χ.:
 - ❑ $G[(\text{κινείται}(\text{πύλη}2) \wedge \neg \text{άδειο}) \vee (\text{κινείται}(\text{αερο}8) \wedge \text{άδειο}) \vee \neg \text{κινείται}(X)]$
 - ❑ $F[\neg \text{κινείται}(X) \wedge \neg \text{άδειο}]$
 - ❑ $EG [\text{άδειο}]$



Εφαρμογές Χρονικής Λογικής

- ❖ Πιστοποίηση συστημάτων λογισμικού (software verification) μέσω ελέγχου μοντέλων.
 - ❑ Ο έλεγχος μοντέλων (model checking):

- ❖ Ευφυείς Πράκτορες (Intelligent Agents)
 - ❑ Διαχωρισμός της γνώσης από τις πεποιθήσεις (beliefs) ενός πράκτορα.
 - ❑ Περιγραφή της γνώσης των πρακτόρων για τον κόσμο ενός προβλήματος και εξαγωγή συμπερασμάτων για τη μετέπειτα εξέλιξή του
 - ❑ Περιγραφή αυτογνωσίας

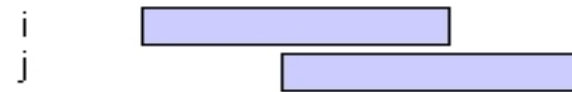
Λογική Χρονικών Διαστημάτων

- ❖ Η λογική χρονικών διαστημάτων (*time interval logic*) ασχολείται με τις σχέσεις που μπορεί να έχουν γεγονότα μεταξύ τους μέσα στο χρόνο.
- ❖ Ένα χρονικό διάστημα για το οποίο ισχύει ένα γεγονός μπορεί να αναπαρασταθεί σαν ένα τμήμα μιας χρονοσειράς (*timeline*) που περιορίζεται από δύο χρονικά σημεία, την αρχή t_1 και το τέλος t_2 , με $t_1 < t_2$.

- ❖ Για τα άκρα των διαστημάτων ισχύει:

- Επικαλύπτει (overlaps)*: $i_s < j_s < i_f < j_f$
- Προηγείται (precedes)*: $i_s < i_f < j_s < j_f$
- Συναντά (meets)*: $i_s < i_f = j_s < j_f$
- Αρχίζει (starts)*: $i_s = j_s < i_f < j_f$
- Τελειώνει (ends)*: $j_s < i_s < i_f = j_f$
- Στη διάρκεια (during)*: $j_s < i_s < i_f < j_f$
- Ισοδυναμεί (equals)*: $i_s = j_s < i_f = j_f$

Επικαλύπτει (O)



Τελειώνει (E)



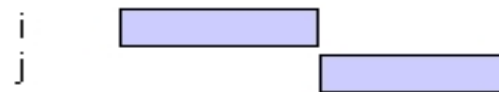
Προηγείται (P)



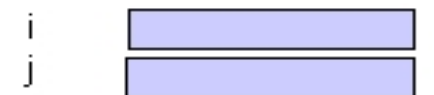
Στη Διάρκεια (D)



Συναντά (M)



Ισοδυναμεί (E)



Αρχίζει (S)





Χρονικές Στιγμές

- ❖ Το μοντέλο αναπαράστασης χρονικών διαστημάτων μπορεί να καλύψει και τις χρονικές στιγμές, δηλαδή διαστήματα με χρονική διάρκεια μηδέν.
- ❖ **Θεωρητικά**, κάτι τέτοιο είναι αδύνατο:
 - ❑ οσοδήποτε μικρό και να είναι ένα διάστημα δεν παύει να έχει κάποια διάρκεια
- ❖ **Πρακτικά**, στο πλαίσιο συγκεκριμένου προβλήματος, δεδομένα χρονικά διαστήματα μπορεί να θεωρηθούν ως χρονικές στιγμές: