ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά μαθήματα ΠΠ

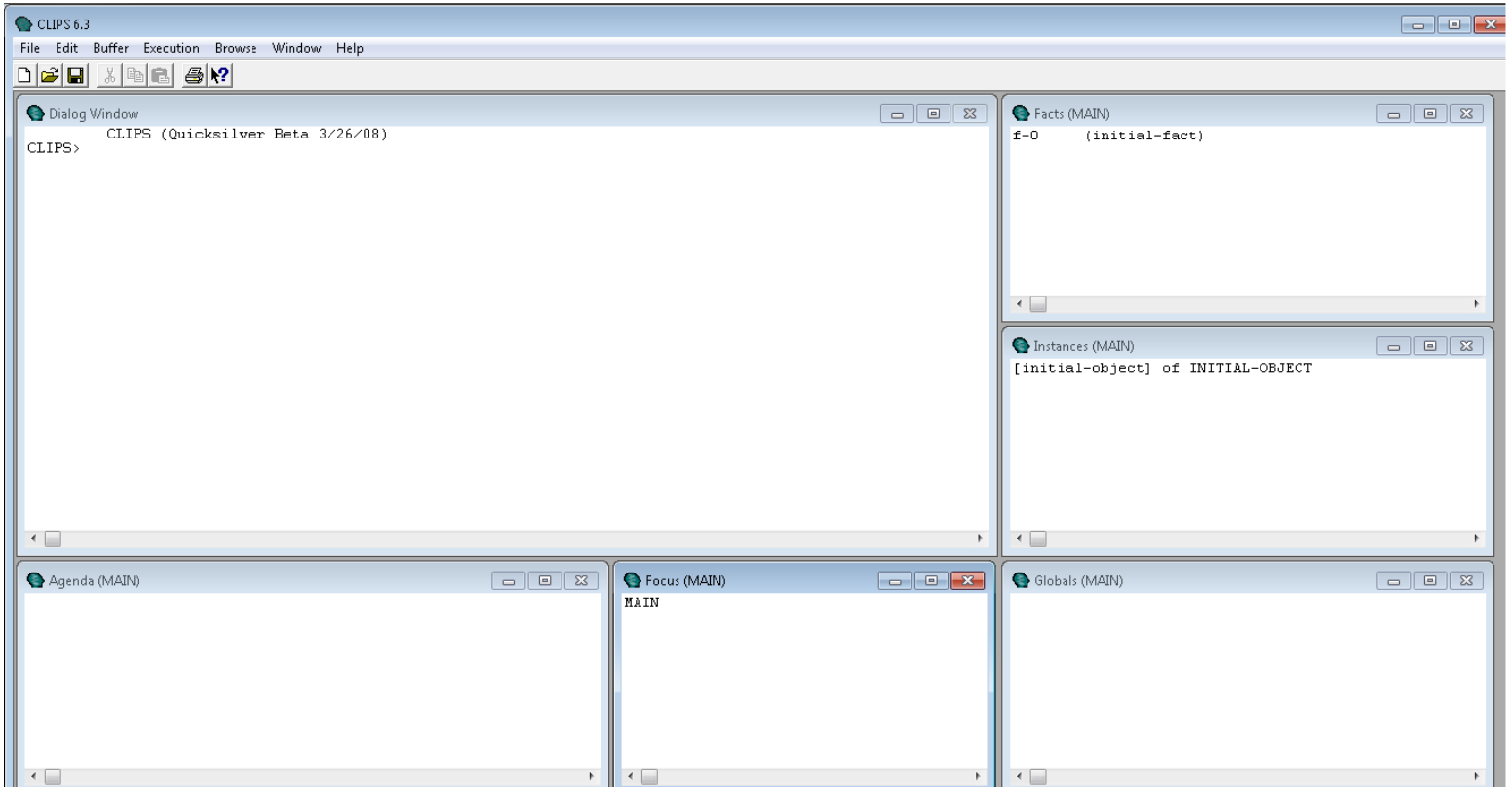
# Ευφυής Προγραμματισμός

## Ενότητα 14: CLIPS

Ιωάννης Χατζηλυγερούδης
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής

# CLIPS

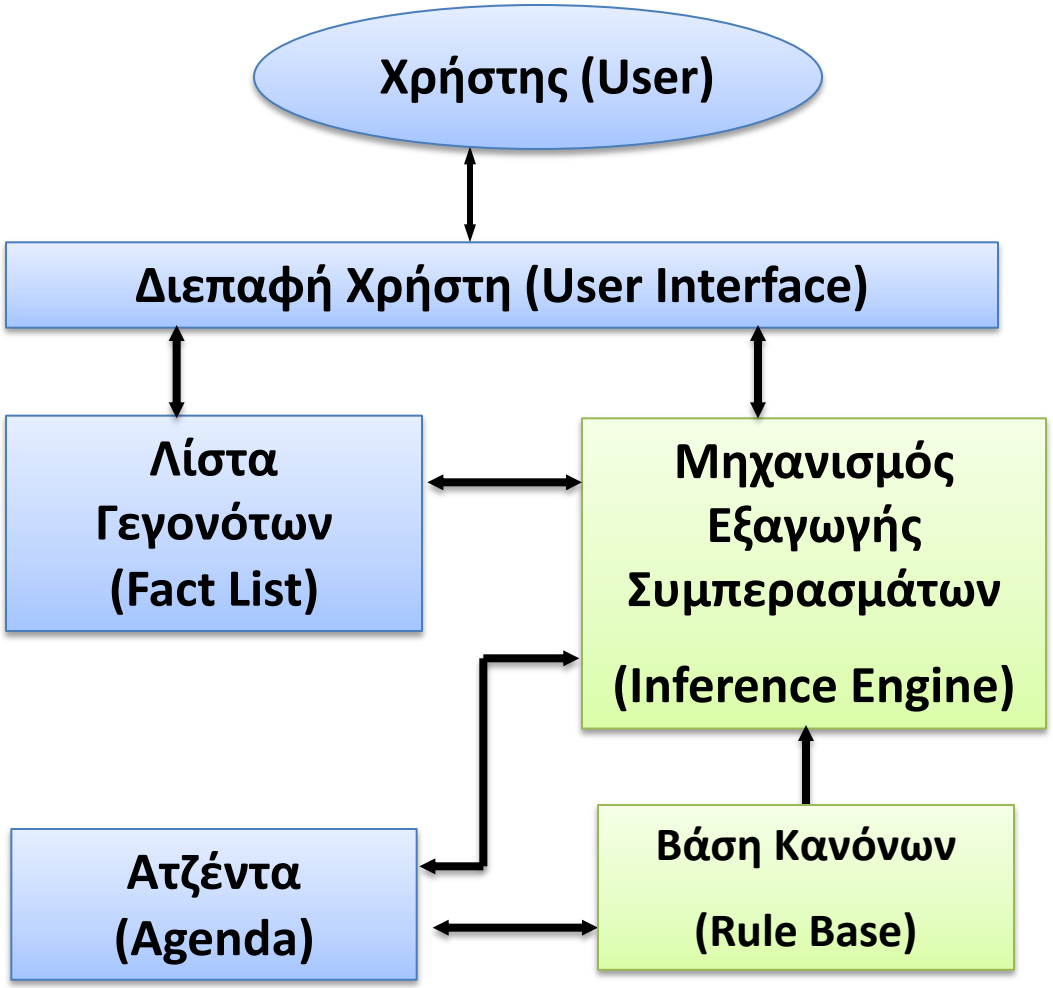
# Το Περιβάλλον της CLIPS



# CLIPS

- Το CLIPS μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα γενικό εργαλείο ανάπτυξης συστημάτων λογισμικού.
- Το CLIPS εμπεριέχει ένα κέλυφος έμπειρου συστήματος, διότι διαθέτει τα βασικά μέρη ενός έμπειρου συστήματος
  - *Λίστα γεγονότων (fact-list)*
  - *Βάση κανόνων (rule-base)*
  - *Μηχανισμός εξαγωγής συμπερασμάτων*
  - *(inference engine)*

# Δομή Κελύφους ΕΣ του CLIPS



# Κύκλος Λειτουργίας Εξαγωγής Συμπερασμάτων

Ο κύκλος λειτουργίας είναι ο τυπικός κύκλος λειτουργίας ενός συστήματος παραγωγής:

1. **Εύρεση όλων των κανόνων των οποίων οι συνθήκες ικανοποιούνται και προσθήκη τους στην ατζέντα (agenda - conflict set).**
2. **Αν η ατζέντα είναι κενή ή ο μέγιστος αριθμός πυροδοτήσεων έχει συμπληρωθεί τότε η εκτέλεση τερματίζεται.**
3. **Διάταξη των κανόνων στην ατζέντα με βάση τη στρατηγική επίλυσης συγκρούσεων (conflict resolution).**
4. **Πυροδότηση του πρώτου κανόνα στην ατζέντα.**
5. **Επιστροφή στο βήμα 1, εκτός αν υπάρχει εντολή τερματισμού (halt).**

**(Το CLIPS ακολουθεί την ορθή αλυσίδωση σαν μέθοδο εξαγωγής συμπερασμάτων.)**

# Βασικά Στοιχεία(1)

## 1. Τύποι δεδομένων

- Σύμβολα (symbols): Οποιαδήποτε ακολουθία εκτυπώσιμων χαρακτήρων που δεν ξεκινά από <, I , &, (, ), $, ?, +, - και δεν περιέχει κανένα από τους <, I , &, (, ), ;
- Αλφαριθμητικά (strings): Οποιαδήποτε ακολουθία εκτυπώσιμων χαρακτήρων ανάμεσα σε διπλά εισαγωγικά. Π.χ. "This is a program" , “2A”
- Αριθμοί (numbers): 23, -23, +23 (integers)
- 23.34, +23.0, 23e4, -23.2e-5 (floats)
- Σχόλια: από ";" μέχρι το τέλος της γραμμής

# Βασικά Στοιχεία (2)

2. Μεταβλητές

- *Μονότιμες (singlevalue) : ξεκινούν με ? (Π.χ.* ?x,?y ?months*).* Τιμές: 28, car34, john, “a32”,january
- *Πολλαπλών τιμών (multivalue) : ξεκινούν με* $?. *Π.χ.* $?months. Τιμές : (1 2 3 4 5), (jan feb march april may)

# Βασικά Στοιχεία (3)

## 2. Μεταβλητές (συν.)

- Καθολικές μεταβλητές (global variables)

  Προσπελάσιμες από παντού:

  (defglobal ?*<σύμβολο>* = <έκφραση>)

  Π.χ. (defglobal ?*y* = 0)

- Τοπικές μεταβλητές (local variables)

  Προσπελάσιμες μόνο μέσα από τη δομή (π.χ. κανόνας, συνάρτηση) που χρησιμοποιούνται

# Βασικά Στοιχεία (3)

## 3. Γεγονότα (facts)

- Διατεταγμένα: Λίστες από τιμές, που παριστάνουν σχετικά απλά γεγονότα, όπου η σειρά των τιμών παίζει ρόλο: (car opel 4), (person John), (class “A” 2015)
- Μη διατεταγμένα ή προτύπου: Ονοματοποιημένες λίστες που περιέχουν λίστες δύο στοιχείων, οι οποίες σχετίζονται με αντίστοιχο πρότυπο γεγονότων (fact template), και παριστάνουν πιο σύνθετα γεγονότα: (student (age 24) (year a) (sex male) (place Patra))

# Βασικά Στοιχεία (4)

4. Κανόνες (rules)

- Δομές της μορφής: if *(συνθήκες)* then *(ενέργειες)* που αναπαριστούν ευρετική γνώση (heuristic knowledge) στη βάση γνώσης.

5. Συναρτήσεις (functions)

- Τμήματα προγράμματος για την αναπαράσταση διαδικαστικής γνώσης (procedural knowledge). Συνήθως επιστρέφουν κάποια τιμή, ως πλευρικό αποτέλεσμα.

# Γεγονότα

Εισαγωγή γεγονότων

**assert:** Εισαγωγή ενός γεγονότος

(assert <fact>)

Πχ.:

(assert (glass empty))

(assert (john 24))

# Γεγονότα

- **deffacts:** Εισαγωγή πολλών γεγονότων

```
(deffacts <όνομα>
  [“<σχόλιο>”]
   <fact1>
   <fact2>
     …
   <factn>)
```

Πχ.

```
(deffacts pref-cars
   (car AlfaRomeo 156 1600 16 nai idrayliki 22910)
   (car AudiA4 1600 8 nai idrayliki 25700)
   (car FordMondeo 1800 16 nai idrayliki 19289)
   (car NissanPrimera 1600 16 oxi idrayliki 17990)
   (car VWPassat 1600 8 oxi idrayliki 18910))
```

# Γεγονότα

- **Διαγραφή γεγονότων**
- **retract:** Διαγραφή ενός ή όλων των γεγονότων

  **Πχ.** (retract 2)
- Συνήθως όμως, σ' ένα κανόνα δεν ξέρουμε τον αριθμό του γεγονότος. Τότε χρησιμοποιούμε τον τελεστή '<-'.
- **Πχ.**?x <- (car AudiA4 1600 8 nai idravliki 25700)

  (retract ?x)

(retract <fact-index>)

(retract *)

# Πρότυπα γεγονότων (1)

- Ορισμός:

```
(deftemplate <όνομα προτύπου>
   (slot/multislot <slot-name1> <constraint-form>*)
   (slot/multislot <slot-name2> <constraint-form>*)
                        …
   (slot/multislot <slot-namen> <constraint-form>*))
```

# Πρότυπα γεγονότων (2)

Constraint forms

- Τύπου

  (type <type>) , όπου <type> ∈ {SYMBOL, STRING, LEXEME, INTEGER, FLOAT, NUMBER,?VARIABLE}

- Απαρίθμησης τιμών

  (allowed-<type> <value1> … <valuen>) , όπου <type> ∈ {symbols, strings, lexems, integers, floats, numbers, values} και τα <valuei> είναι αντίστοιχου τύπου.

# Πρότυπα γεγονότων (3)

- Constraint forms:
  - Περιοχής τιμών
  - (range <init-val> <final-val>) , όπου <init-val>, <final-val> μπορεί να είναι ?VARIABLE (για ανοικτό κάτω, πάνω όριο)
  - Εξ' ορισμού/Προκαθορισμένης τιμής
  - (default <value>) , όπου <value> συγκεκριμένη τιμή ή ?DERIVE ή ?NONE (απαιτεί την εισαγωγή τιμής)
  - Πλήθους τιμών
  - (cardinality <min> <max>) , ελάχιστος και μέγιστος αριθμός τιμών μιας multislot.

# Πρότυπα γεγονότων (4)

Παράδειγμα

```
(deftemplate student
   (slot name (type STRING) (default ?NONE))
   (slot sex (type SYMBOL) (allowed-symbols m f))
   (slot age (type INTEGER) (range 18 50))
    (slot place (type STRING))
   (multislot courses (type SYMBOL) (cardinality 1
    5)))
```

# Πρότυπα Γεγονότων (5)

- **Εισαγωγή γεγονότων**
- Παραδείγματα
- (assert (student (name “john papadakis”) (sex m) (age 19) (place “Patra”)))
- (assert (student (name “john papadakis”) (sex m) (place “Patra”)
  (courses artificial database)))
- (assert (student (sex f) (age 20))) → ERROR!!!
  (λόγω name)
- Επίσης και με deffacts κατά παρόμοιο τρόπο εισάγουμε πολλά γεγονότα μαζί.

# Πρότυπα Γεγονότων (6)

**Τροποποίηση γεγονότων**

- (modify <fact-index> (<slot> <new-value>)*)

(αφαιρεί το παλιό γεγονός και εισάγει το νέο)

- Παράδειγμα

  ?x <- (student (name ?y) (age 20))

  (modify ?x (courses (math ai db)))

# Κανόνες (1)

```
(defrule <rule-name>
   “<comments>”
        (condition-1)
        (condition-2)
         …
        (condition-n)
    =>
        (command-1)
         …
        (command-m)
```

# Κανόνες (2)

- **Τύποι Συνθηκών**

**1. Προτύπου (pattern)**

- Το πρώτο στοιχείο είναι πάντα ένα σύμβολο που καθορίζει αν η συνθήκη προτύπου εφαρμόζεται σε διατεταγμένα γεγονότα ή γεγονότα προτύπου.
- Στα υπόλοιπα μπορούν να χρησιμοποιηθούν
  - σταθερές τιμές
  - τα ?, $? σαν wildcards
  - μεταβλητές (μονότιμες ή πολλαπλών τιμών)
  - περιορισμοί λογικής σύνδεσης ( &, |, ~ )
  - περιορισμοί κατηγορήματος ( :<κλήση-συνάρτησης> )
  - περιορισμοί επιστρεφόμενης τιμής ( = <κλήση-συνάρτησης> )

# Κανόνες (3)

**2. Διεύθυνσης προτύπου**

Ανατίθεται η τιμή της διεύθυνσης ενός γεγονότος σε μια μεταβλητή:

<μεταβλητή> <- <συνθήκη προτύπου>

**3. Εκτιμήσιμες**

Για περιπτώσεις που έχουμε ως υποθέσεις συγκρίσεις αριθμητικών τιμών:

(test <κλήση-συνάρτησης>)

**4. Λογικά Συνδεόμενες**

Χρήση των λογικών συνδετικών (and, or, not) για δημιουργία σύνθετων συνθηκών.

# Κανόνες (4)

```
(deftemplate  person “personal
    data”
  (slot name)
  (slot age)
  (multislot friends))

(deffacts people “data”
  (person (name kostas) (age 20))
  (person (name john) (age 20))
  (person (name eleni) (age 30))
  (person (name niki) (age 35)
          (friends maria fotini)))
```

- (person (name paul))
- (person (name paul) (age 20))
- (person (name ?) (age 20))
- (person (name ?y&~paul) (age 20))
- (person (name paul) (age ?z&:(> ?z 20)))

# Κανόνες (5)

```
(deftemplate  person “personal
    data”
  (slot name)
  (slot age)
  (multislot friends))

(deffacts people “data”
  (person (name kostas) (age 20))
  (person (name john) (age 20))
  (person (name eleni) (age 28))
  (person (name niki) (age 35)
          (friends maria fotini)))
```

```
(defrule example-1
  (person (name eleni) (age ?y))
  (test (> ?y 20))
  =>
  (printout t “this eleni is “ ?y crlf)

(defrule example-2
  (person (name eleni) (age ?x))
  (person (name ?y) (age ?z&:(>
    ?z ?x)))
  =>
  (printout t ?y “is older than
    eleni“ crlf))
```

# Συναρτήσεις CLIPS (1)

- Η κλήση μιας συνάρτησης γίνεται με την δήλωση:

(<όνομα-συνάρτ.> όρισμα1 όρισμα2 .. όρισμαΝ).

- Για παράδειγμα αν μέσα σε ένα πρόγραμμα CLIPS υπάρχει η εντολή
- (assert (The average of grades is (/ (+ 2 3) 2))) τότε το γεγονός το οποίο θα αποθηκευτεί στη μνήμη θα είναι το
- (The average of grades is 2.5)

# Συναρτήσεις του CLIPS (2)

- Αριθμητικές
  - +, -, *, /
- Σύγκρισης
  - <, >, =, >=, <=, <>
- Λογικές
  - and, or, not, eq, neq
- Ελέγχου τύπου
  - numberp, symbolp, floatp, integerp, stringp

# Συναρτήσεις του CLIPS (3)

- Χειρισμού Πολλαπλών Τιμών
  - (create$ <values>) : Δημιουργεί πολλαπλή τιμή, που μπορεί να ανατεθεί σε μεταβλητή πολλαπλής τιμής.

    Π.χ. (create$ a b c) → (a b c)

    (create$ (* 4 3) (+ 2 3) (/ 16 2)) → (12 5 8.0)
  - (explode$ <string>):Δημιουργεί πολλαπλή τιμή από αλφαριθμητικό.

    Π.χ. (explode$ "open the window") →(open the window)

# Συναρτήσεις του CLIPS (4)

- Χειρισμού Πολλαπλών Τιμών
  - **(implode$ <multivalue>):**Επιστρέφει το αντίστοιχο αλφαριθμητικό από μια πολλαπλή τιμή.

  Π.χ. (implode$ (create$ open  the window) ) →"open the window"

  - **(nth$ N <multivalue>) :**Επιστρέφει το N-οστό πεδίο μιας πολλαπλής τιμής.

  Π.χ. (nth$ 2 (create$ a b c) ) → b

# Συναρτήσεις του CLIPS (5)

- **(member$ <symbol> <multivalue>):** Επιστρέφει τη θέση του στοιχείου <symbol> μέσα στην πολλαπλή τιμή <multivalue> εφόσον αυτό υπάρχει. Εάν δεν υπάρχει επιστρέφει FALSE.

  Π.χ. (member$ c (create$ a b c)) → 3

- **(first$ <multivalue>) :** Επιστρέφει το πρώτο στοιχείο μιας πολλαπλής τιμής μέσα σε λίστα.

Πχ.(first$ (create$ a b c d e f )) → (a)

- **(rest$ <multivalue>) :**Επιστρέφει τα στοιχεία της πολλαπλής τιμής, πλην του πρώτου στοιχείου, σαν λίστα.

  Πχ. (rest$ (create$ a b c d e f)) → (b c d e f)

# Συναρτήσεις του CLIPS (4)

- **Εξόδου**

  (printout <συσκευή> <έκφραση>)

  Π.χ. (printout t “The car is” ?type crlf) The car is fast

  Η μεταβλητή ?type έχει την τιμή ‘fast’
- **Εισόδου:** (read) περιμένει είσοδο από το πληκτρολόγιο
- **Ανάθεσης**
- (bind <μεταβλητή> <τιμή>)
- Π.χ. (bind ?name (read))

  John

  (printout t ?name crlf) → John

# Συναρτήσεις του CLIPS (5)

- Ελέγχου Ροής
  - (while (συνθήκη) do
    (εντολή 1)
    …
    (εντολή ν))
  - (if (συνθήκη)
    then (εντολή 1) … (εντολή ν)
    else (εντολή 1) … (εντολή μ))

# Συναρτήσεις του CLIPS (6)

- Ορισμός Συνάρτησης
  - (deffunction <όνομα-συν> (<μεταβλητές>)

    (εντολή 1)

    …

    (εντολή ν))

# Συναρτήσεις του CLIPS (7)

- Παράδειγμα Ορισμού Συνάρτησης

```
(deffunction findmax3 (?x ?y ?z)
        (if (> ?x ?y)
            then if (> ?x ?z)
                    then (return ?x)
                    else (return ?z)
           else if (> ?y ?z)
                    then (return ?y)
                    else (return ?z)))
```

- Κλήση Συνάρτησης

```
(findmax3   4 5 6)
```

# Επίλυση Συγκρούσεων (1)

- Αναφέρεται στην επιλογή ενός κανόνα από το σύνολο των κανόνων (σύνολο σύγκρουσης: conflict set) που βρίσκεται σε κάθε βήμα στη στοίβα υποψηφίων για πυροδότηση κανόνων (agenda).
- Η επιλογή στηρίζεται (α) στην προτεραιότητα κάθε κανόνα και (β) στη στρατηγική επίλυσης σύγκρουσης που έχει επιλεγεί
- Στην πραγματικότητα, ο κανόνας αυτός είναι πάντα ο πρώτος στην agenda

**Προτεραιότητα**

Σύνταξη: (declare (salience <number>))

# Επίλυση Συγκρούσεων (2)

**Προτεραιότητα**

Παράδειγμα

```
(defrule cartesian
   (declare (salience 30))
   (stoixeio ?a)
   (stoixeio ?b)
=>
   (printout t “Τα stoixeia: " ?a " " ?b crlf)).
```

# Στρατηγικές Επίλυσης Συγκρούσεων (1)

(1) depth: Οι «νέοι» κανόνες πάνω από τους «παλιούς». Π.χ. αν fact-1 ενεργοποιεί τους r1, r2 και fact-2 ενεργοποιεί τους r3 και r4 και fact-1 έχει εισαχθεί πριν από το fact-2 (δηλ. το fact-2 είναι πιο πρόσφατο) τότε οι r3, r4 τοποθετούνται πάνω από τους r1, r2. Μεταξύ τους οι r1, r2 και r3, r4 τοποθετούνται αυθαίρετα.

(2) breadth: Οι «παλιοί» κανόνες πάνω από τους «νέους». (το αντίστροφο από την depth).

# Στρατηγικές Επίλυσης Συγκρούσεων (2)

(3) simplicity: ένας νεοεισερχόμενος κανόνας τοποθετείται υψηλότερα από όλους με ίση ή μεγαλύτερη εξειδίκευση (specificity). Εξειδίκευση = αριθμός συγκρίσεων ή/και κλήσεων συναρτήσεων στο LHS. Π.χ. ο κανόνας

```
(defrule r-example
   (item ?x ?y ?x)
   (test (and (numberp ?x) (> ?x (+ 10 ?y)) (< ?x 100)))
=>)
```

έχει εξειδίκευση = 5.

# Στρατηγικές Επίλυσης Συγκρούσεων (3)

(4) complexity: ένας νεοεισερχόμενος κανόνας τοποθετείται υψηλότερα από όλους με ίση ή μικρότερη εξειδίκευση. (το αντίστροφο της simplicity)

(5) LEX: ένας νεοεισερχόμενος κανόνας με μεγαλύτερη επικαιρότητα (recency) τοποθετείται υψηλότερα. Σε περίπτωση ίδιας επικαιρότητας χρησιμοποιείται ως κριτήριο η εξειδίκευση.

(6) MEA: με βάση την επικαιρότητα της πρώτης συνθήκης μόνο. Σε περίπτωση σύμπτωσης χρησιμοποιείται η LEX.

(7) random: Ένας τυχαίος αριθμός χρησιμοποιείται για να ξεχωρίσουν κανόνες της ίδιας προτεραιότητας.

# Στρατηγικές Επίλυσης Συγκρούσεων (4)

- Ορισμός στρατηγικής:

(set-strategy <strategy>)

- Ανίχνευση τρέχουσας στρατηγικής:

(get-strategy)

# Βασικές Εντολές Περιβάλλοντος

- **Load** : «φορτωθεί» ένα πρόγραμμα CLIPS
- Σύνταξη:(load "<File_Name>")
- **Reset:** Αφαιρεί όλα τα γεγονότα από τη λίστα γεγονότων, εισάγει το γεγονός (intial-fact) και εισάγει τα γεγονότα από τις υπάρχουσες δηλώσεις deffacts του προγράμματος.
- Σύνταξη:(reset)
- **Run:** Ξεκινά την εκτέλεση των κανόνων που έχουν φορτωθεί στη μνήμη.
- Σύνταξη: (run)
- **Clear:** Καθαρίζει το περιβάλλον, δηλ. διαγράφει από τη μνήμη γεγονότα και κανόνες
- Σύνταξη:(clear)

# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την 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.

# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.

# Σημείωμα Αναφοράς



# Σημείωμα Αδειοδότησης

# 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.