

Ενδιάμεσος κώδικας

(i)

- Λόγοι ύπαρξης
 - Διευκολύνει το έργο της μετάφρασης
 - Διευκολύνει τη βελτιστοποίηση
 - Διευκολύνει την κατάτμηση σε εμπρόσθιο και οπίσθιο τμήμα

Ενδιάμεσος κώδικας

(ii)

- Μετάφραση οδηγούμενη από τη σύνταξη (syntax-directed translation)
 - Για κάθε δομή της γλώσσας προσδιορίζεται ο αντίστοιχος ενδιάμεσος κώδικας
 - Διευρύνεται ο συντακτικός αναλυτής με σημασιολογικές ρουτίνες που παράγουν ενδιάμεσο κώδικα
- Σχέδιο παραγωγής ενδιάμεσου κώδικα
- Μεταβλητές ιδιοτήτων (attributes) για κάθε σύμβολο της γραμματικής

Ενδιάμεση γλώσσα

(i)

- Τετράδες (quadruples)

$n: op, x, y, z$

- Παράδειγμα:

$b*b-4*a*c$

1: *, b, b, \$1

2: *, 4, a, \$2

3: *, \$2, c, \$3

4: -, \$1, \$3, \$4

Ενδιάμεση γλώσσα

(ii)

- Τριάδες (triples)

$n: op, x, y$

- Παράδειγμα:

$b*b-4*a*c$

1: *, b, b

2: *, 4, a

3: *, (2), c

4: -, (1), (3)

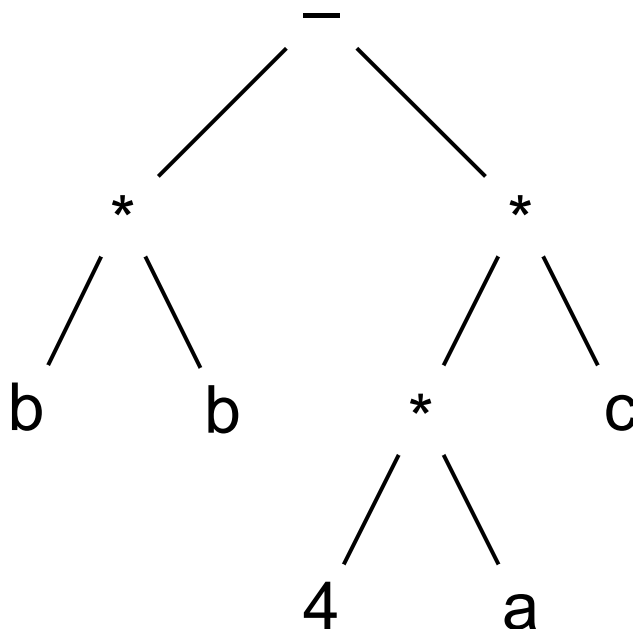
Ενδιάμεση γλώσσα

(iii)

- Αφηρημένα συντακτικά δέντρα
(abstract syntax trees)

- Παράδειγμα:

`b*b-4*a*c`



Ενδιάμεση γλώσσα

(iv)

- Προθεματικός και επιθεματικός κώδικας (prefix/postfix code)

- Παράδειγμα:

$b*b-4*a*c$

— * b b * * 4 a c

προθεματικός

b b * 4 a * c * —

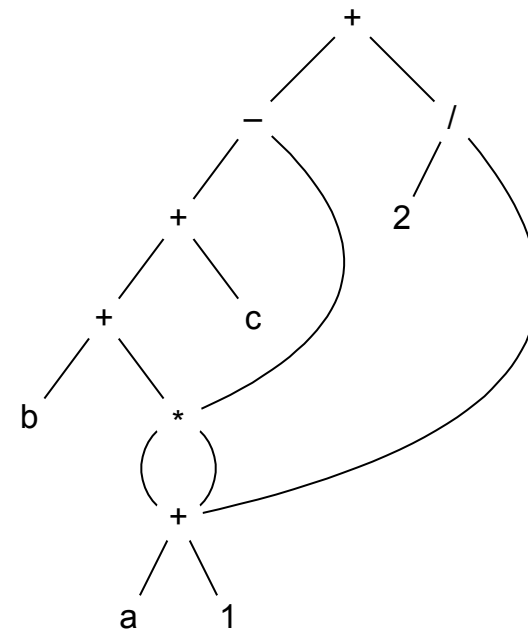
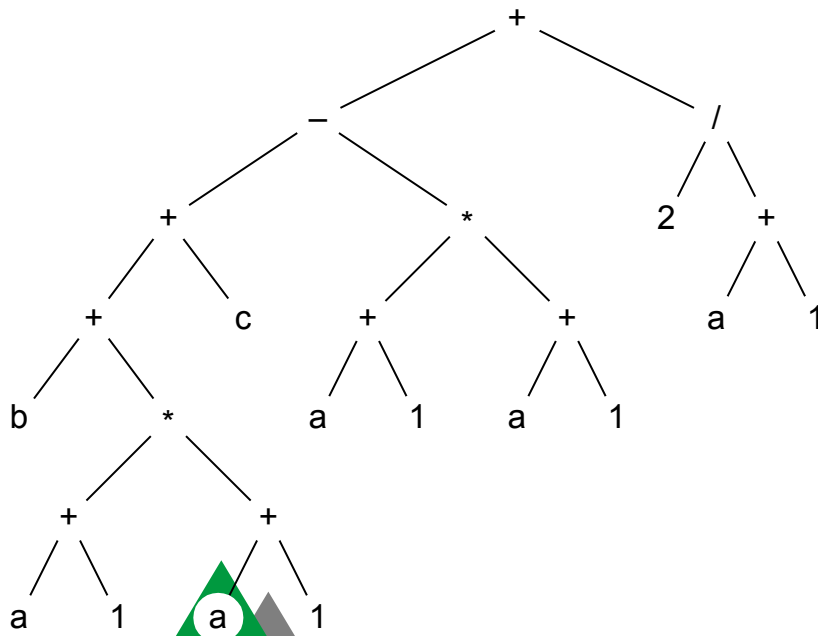
επιθεματικός

Ενδιάμεση γλώσσα

(v)

- Κατευθυνόμενοι ακυκλικοί γράφοι (directed acyclic graphs)
- Παράδειγμα:

$b + (a + 1) * (a + 1) + c - (a + 1) * (a + 1) + 2 / (a + 1)$



Γλώσσα τετράδων

- Μορφή τετράδας:

$n: op, x, y, z$

όπου:

- n : ετικέτα τετράδας (φυσικός αριθμός)
 - op : τελεστής
 - x, y, z : τελούμενα
- Ανάλογα με το είδος του τελεστή, κάποια τελούμενα ενδεχομένως παραλείπονται

Τελούμενα

(*i*)

- Σταθερά
 - ακέραια, πραγματική, λογική
 - χαρακτήρας, συμβολοσειρά, nil
- Όνομα
 - μεταβλητή, παραμέτρος, υποπρόγραμμα
- Προσωρινή μεταβλητή: $\$n$
- Αποτέλεσμα συνάρτησης: $\$\$$
- Αποδεικτοδότηση: $[x]$ x απλό τελούμενο
- Διεύθυνση: $\{x\}$ x απλό τελούμενο

Τελούμενα

(ii)

- Ετικέτα
 - εντολής στο αρχικό πρόγραμμα
 - τετράδας
- Τρόπος περάσματος
 - V : κατ' αξία
 - R : κατ' αναφορά
 - RET : θέση αποτελέσματος συνάρτησης
- Κενό : —
- Προσωρινά κενό : * (για backpatching)

Τελεστές

(i)

- **unit**, I , $-$, $-$
- **endu**, I , $-$, $-$
αρχή και τέλος δομικής μονάδας
- **op**, x , y , z $op \in \{+, -, *, /, \%\}$
 $z := x \text{ op } y$
- **:=**, x , $-$, z
 $z := x$
- **array**, x , y , z
 $z :=$ η διεύθυνση του στοιχείου $x[y]$

Τελεστές

(ii)

- op, x, y, z $op \in \{=, <>, >, <, >=, <= \}$
αν $x op y$ τότε πήγαινε στην τετράδα z
- $ifb, x, -, z$
αν η λογική τιμή x είναι αληθής τότε πήγαινε στην τετράδα z
- $jump, -, -, z$
πήγαινε στην τετράδα z
- $label, I, -, -$
 $jumpI, -, -, I$
ορισμός ετικέτας και άλμα προς αυτήν

Τελεστές

(iii)

- **call**, $-$, $-$, I
κάλεσε τη δομική μονάδα I
- **par**, x , m , $-$
πέρασε την πραγματική παράμετρο x με τρόπο περάσματος m
- **ret**, $-$, $-$, $-$
επιστροφή από την τρέχουσα δομική μονάδα



Μεταβλητές ιδιοτήτων

- *PLACE*: θέση όπου βρίσκεται αποθηκευμένη η τιμή μιας l-value ή μιας r-value
- *TYPE*: τύπος μιας l-value ή μιας r-value
- *NEXT*: λίστα από ετικέτες τετράδων που περιέχουν άλματα στην επόμενη εντολή
- *TRUE, FALSE*: λίστες από ετικέτες τετράδων που περιέχουν άλματα στον κώδικα που πρέπει να εκτελεστεί αν μια συνθήκη είναι αληθής ή ψευδής

Βοηθητικές υπορουτίνες (i)

- NEXTQUAD()
Επιστρέφει τον αριθμό της επόμενης τετράδας
- GENQUAD(op, x, y, z)
Γεννά την επόμενη τετράδα op, x, y, z
- NEWTEMP(t)
Δημιουργεί μια νέα προσωρινή μεταβλητή τύπου t
- EMPTYLIST()
Δημιουργεί μια κενή λίστα ετικετών τετράδων

Βοηθητικές υπορουτίνες (ii)

- $\text{MAKELIST}(x)$
Δημιουργεί μια λίστα ετικετών τετράδων που περιέχει **μόνο το στοιχείο** x
- $\text{MERGE}(l_1, \dots, l_n)$
Συνένωση των λιστών ετικετών τετράδων $l_1 \dots l_n$
- $\text{BACKPATCH}(l, z)$
Αντικαθιστά σε όλες τις τετράδες που περιέχονται στην l την άγνωστη ετικέτα τετράδας με τη z (**backpatching**)

Αριθμητικές εκφράσεις

■ Ακέραιες σταθερές

$\langle \text{r-value} \rangle ::= \langle \text{integer-const} \rangle \{ P_1 \}$

$P_1 : \{ \langle \text{r-value} \rangle . PLACE = \langle \text{integer-const} \rangle; \}$

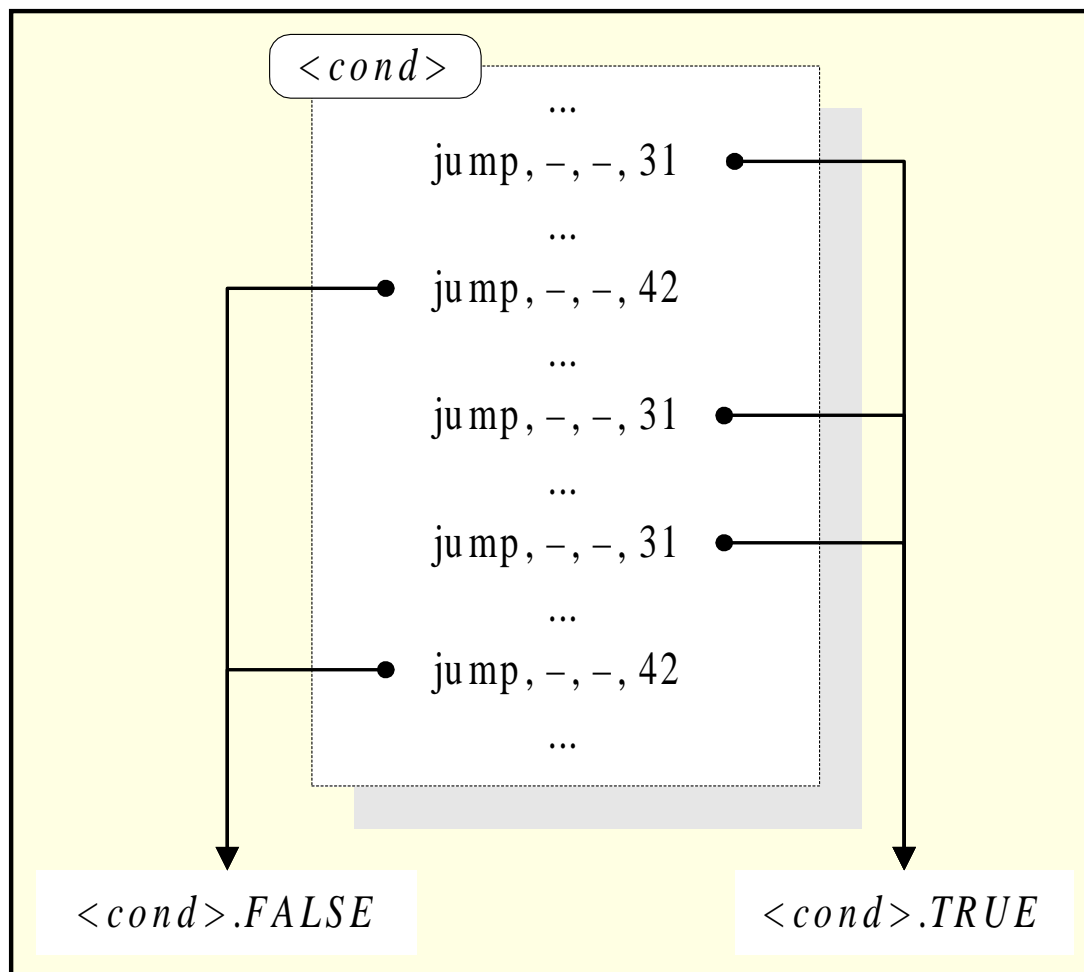
■ Τελεστές με δύο τελούμενα

$\langle \text{r-value} \rangle ::= \langle \text{expr} \rangle \langle \text{binop} \rangle \langle \text{expr} \rangle \{ P_{14} \}$

$P_{14} : \{ W = \text{NEWTEMP}(\langle \text{r-value} \rangle . TYPE);$
 $\text{GENQUAD}(\langle \text{binop} \rangle . NAME,$
 $\langle \text{expr} \rangle^1 . PLACE,$
 $\langle \text{expr} \rangle^2 . PLACE, W);$
 $\langle \text{r-value} \rangle . PLACE = W; \}$

Λογικές εκφράσεις

(i)

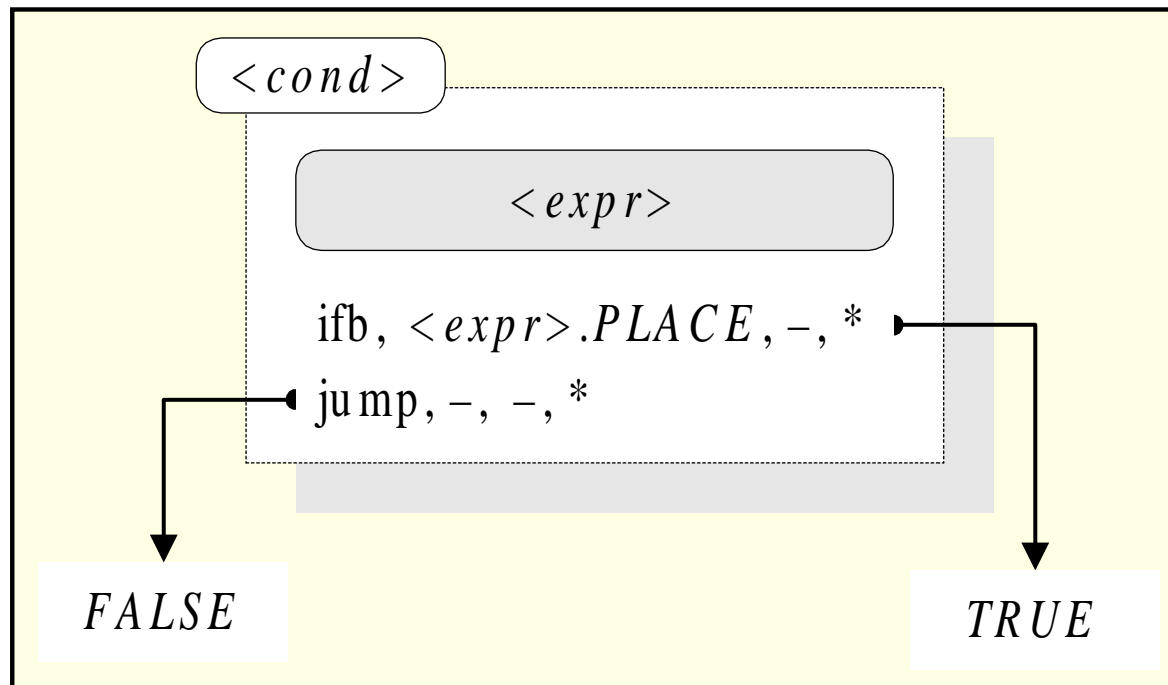


Λογικές εκφράσεις

(ii)

- Λογικές εκφράσεις σε συμβολισμό 0/1

$\langle \text{cond} \rangle ::= \langle \text{expr} \rangle$



Λογικές εκφράσεις

(iii)

- Λογικές εκφράσεις σε συμβολισμό 0/1

$\langle \text{cond} \rangle ::= \langle \text{expr} \rangle \{ P_{21} \}$

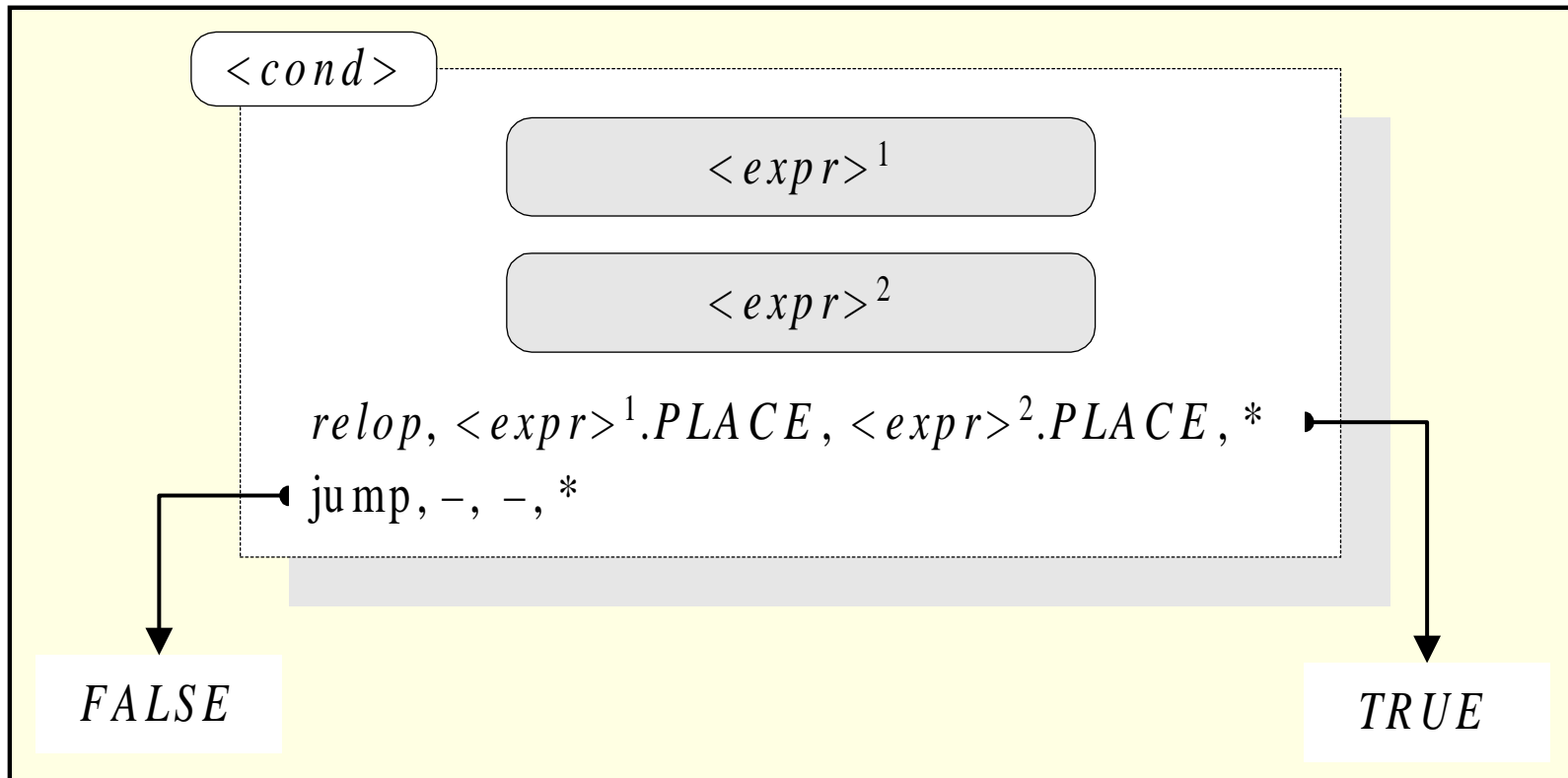
$P_{21} : \{ \langle \text{cond} \rangle . \text{TRUE} = \text{MAKELIST}(\text{NEXTQUAD}());$
 $\text{GENQUAD}(\text{ifb}, \langle \text{expr} \rangle . \text{PLACE}, -, *);$
 $\langle \text{cond} \rangle . \text{FALSE} = \text{MAKELIST}(\text{NEXTQUAD}());$
 $\text{GENQUAD}(\text{jump}, -, -, *); \}$

Λογικές εκφράσεις

(iv)

■ Τελεστές σύγκρισης

$\langle \text{cond} \rangle ::= \langle \text{expr} \rangle^1 \langle \text{relop} \rangle \langle \text{expr} \rangle^2$



Λογικές εκφράσεις

(v)

■ Τελεστές σύγκρισης

$\langle \text{cond} \rangle ::= \langle \text{expr} \rangle^1 \langle \text{relop} \rangle \langle \text{expr} \rangle^2 \{ P_{23} \}$

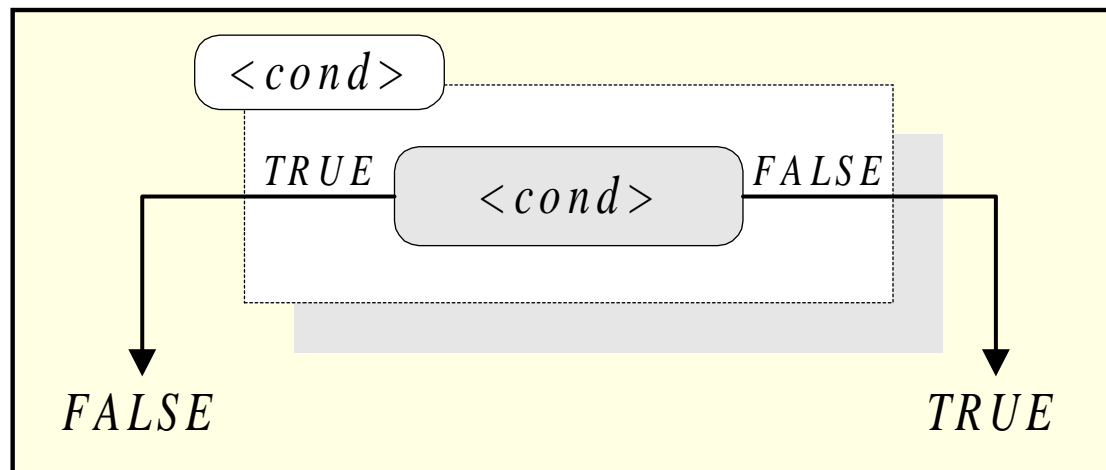
$P_{23} : \{ \langle \text{cond} \rangle . \text{TRUE} = \text{MAKELIST}(\text{NEXTQUAD}());$
 $\text{GENQUAD}(\langle \text{relop} \rangle . \text{NAME},$
 $\langle \text{expr} \rangle^1 . \text{PLACE},$
 $\langle \text{expr} \rangle^2 . \text{PLACE}, *);$
 $\langle \text{cond} \rangle . \text{FALSE} = \text{MAKELIST}(\text{NEXTQUAD}());$
 $\text{GENQUAD}(\text{jump}, -, -, *); \}$

Λογικές εκφράσεις

(vi)

■ Άρνηση

$\langle \text{cond} \rangle ::= \text{"not"} \langle \text{cond} \rangle$

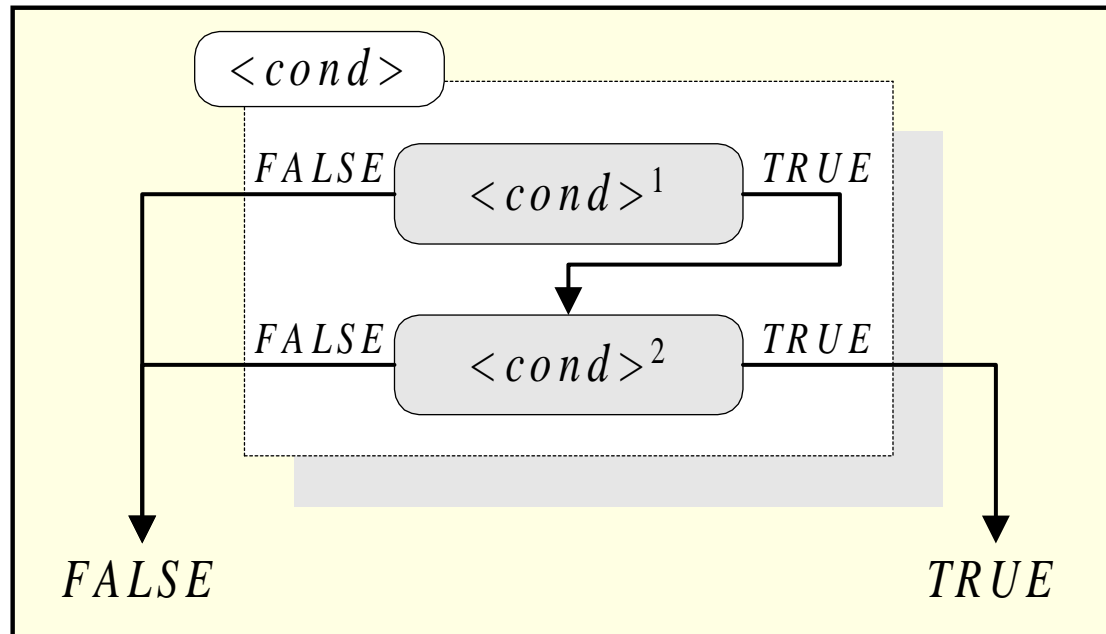


Λογικές εκφράσεις

(vii)

■ Σύζευξη

$\langle \text{cond} \rangle ::= \langle \text{cond} \rangle^1 \text{ "and" } \langle \text{cond} \rangle^2$



Λογικές εκφράσεις

(viii)

■ Σύζευξη

$\langle \text{cond} \rangle ::= \langle \text{cond} \rangle_1 \text{ “and” } \{ P_{25} \} \langle \text{cond} \rangle_2 \{ P_{26} \}$

$P_{25} : \{ \text{BACKPATCH}(\langle \text{cond} \rangle^1.\text{TRUE}, \text{NEXTQUAD}()); \}$

$P_{26} : \{ \langle \text{cond} \rangle.\text{FALSE} = \text{MERGE}(\langle \text{cond} \rangle^1.\text{FALSE}, \langle \text{cond} \rangle^2.\text{FALSE}); \}$
 $\langle \text{cond} \rangle.\text{TRUE} = \langle \text{cond} \rangle^2.\text{TRUE}; \}$

Απλές εντολές

■ Κενή εντολή

$\langle \text{stmt} \rangle ::= \epsilon \{ P_{29} \}$

$P_{29} : \{ \langle \text{stmt} \rangle.NEXT = \text{EMPTYLIST}(); \}$

■ Εντολή ανάθεσης

$\langle \text{stmt} \rangle ::= \langle \text{l-value} \rangle \text{ “:=” } \langle \text{expr} \rangle \{ P_{30} \}$

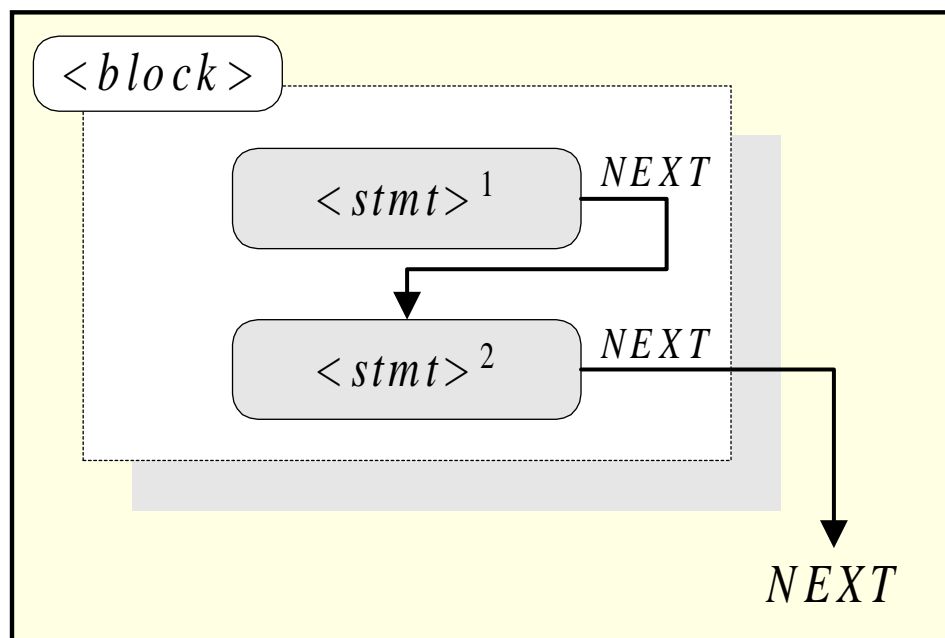
$P_{30} : \{ \text{GENQUAD}(\text{“:=”}, \langle \text{expr} \rangle.PLACE, -, \langle \text{l-value} \rangle.PLACE); \langle \text{stmt} \rangle.NEXT = \text{EMPTYLIST}(); \}$

Σύνθετη εντολή

(i)

$\langle \text{stmt} \rangle ::= \langle \text{block} \rangle$

$\langle \text{block} \rangle ::= \text{“begin” } \langle \text{stmt} \rangle (\text{“;” } \langle \text{stmt} \rangle)^* \text{“end”}$



Σύνθετη εντολή

(ii)

$\langle \text{stmt} \rangle ::= \langle \text{block} \rangle \{ P_{34} \}$

$P_{34} : \{ \langle \text{stmt} \rangle.NEXT = \langle \text{block} \rangle.NEXT; \}$

$\langle \text{block} \rangle ::= \text{“begin”} \langle \text{stmt} \rangle^1 \{ P_{35} \}$
 $(\text{“;”} \{ P_{36} \} \langle \text{stmt} \rangle^2 \{ P_{37} \})^* \text{“end”} \{ P_{38} \}$

$P_{35} : \{ L = \langle \text{stmt} \rangle^1.NEXT; \}$

$P_{36} : \{ \text{BACKPATCH}(L, \text{NEXTQUAD}()); \}$

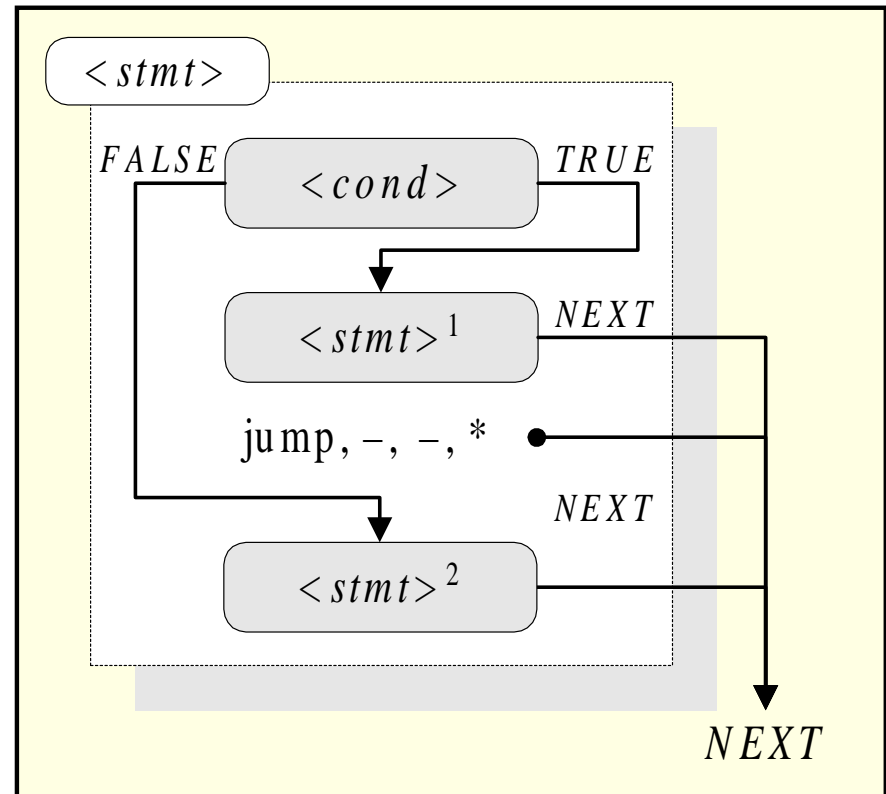
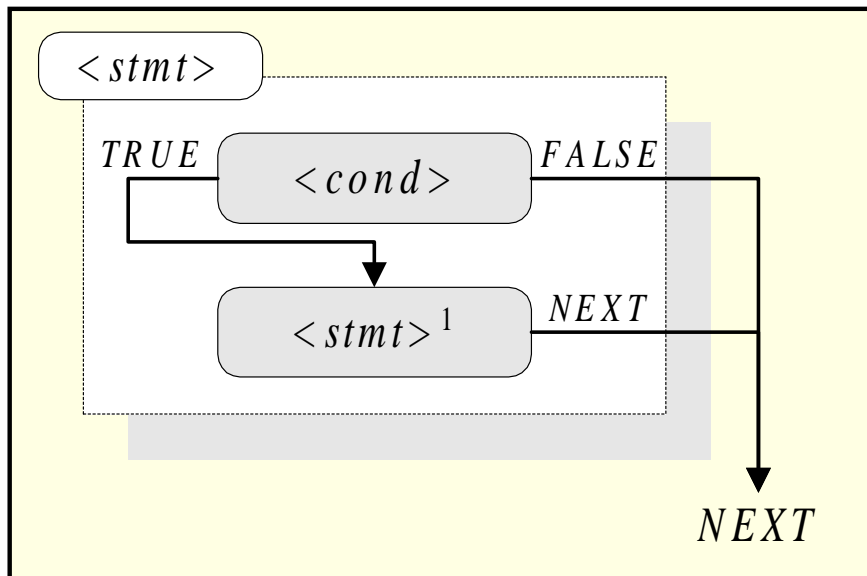
$P_{37} : \{ L = \langle \text{stmt} \rangle^2.NEXT; \}$

$P_{38} : \{ \langle \text{block} \rangle.NEXT = L; \}$

Εντολή *if*

(i)

$\langle \text{stmt} \rangle ::= \text{“if” } \langle \text{cond} \rangle \text{ “then” } \langle \text{stmt} \rangle [\text{“else” } \langle \text{stmt} \rangle]$



Εντολή *if*

(ii)

$\langle \text{stmt} \rangle ::= \text{“if” } \langle \text{cond} \rangle \{ P_{39} \} \text{“then” } \langle \text{stmt} \rangle^1$
 $\quad [\text{“else” } \{ P_{40} \} \langle \text{stmt} \rangle^2 \{ P_{41} \}] \{ P_{42} \}$

$P_{39} : \{ \text{BACKPATCH}(\langle \text{cond} \rangle.\text{TRUE}, \text{NEXTQUAD}());$
 $\quad L_1 = \langle \text{cond} \rangle.\text{FALSE};$
 $\quad L_2 = \text{EMPTYLIST}(); \}$

$P_{40} : \{ L_1 = \text{MAKELIST}(\text{NEXTQUAD}());$
 $\quad \text{GENQUAD}(\text{jump}, -, -, *);$
 $\quad \text{BACKPATCH}(\langle \text{cond} \rangle.\text{FALSE}, \text{NEXTQUAD}()); \}$

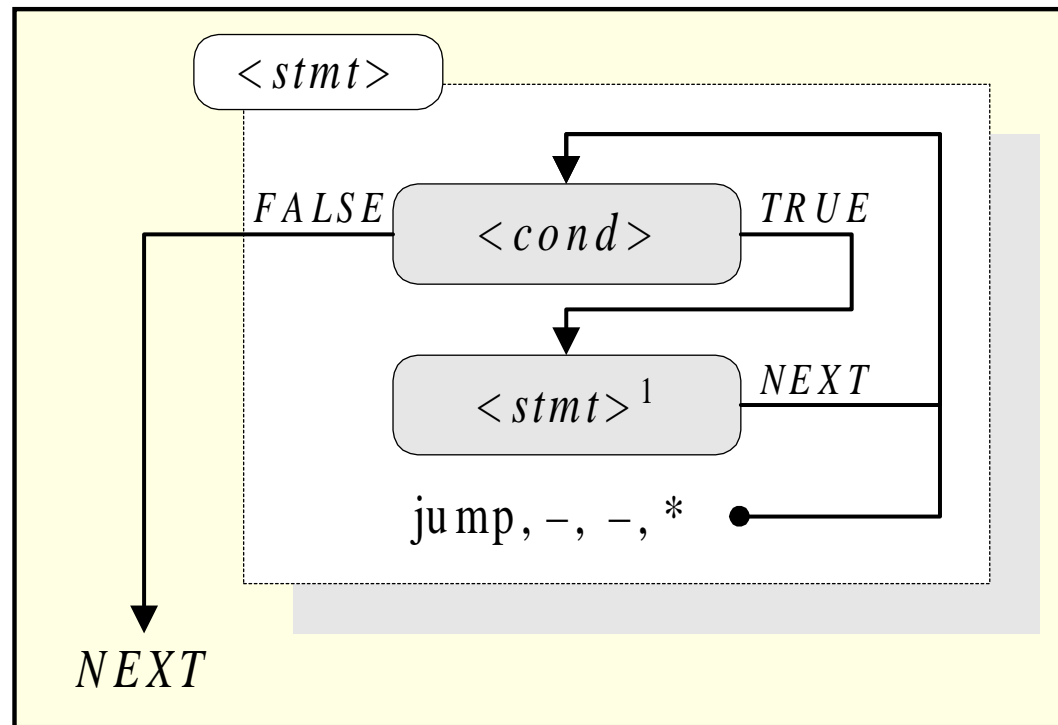
$P_{41} : \{ L_2 = \langle \text{stmt} \rangle^2.\text{NEXT}; \}$

$P_{42} : \{ \langle \text{stmt} \rangle.\text{NEXT} = \text{MERGE}(L_1, \langle \text{stmt} \rangle^1.\text{NEXT}, L_2); \}$

Εντολή *while*

(i)

$\langle \text{stmt} \rangle ::= \text{“while” } \langle \text{cond} \rangle \text{ “do” } \langle \text{stmt} \rangle$



Εντολή *while*

(ii)

$\langle \text{stmt} \rangle ::= \text{“while” } \{ P_{43} \} \langle \text{cond} \rangle \text{ “do” } \{ P_{44} \} \langle \text{stmt} \rangle^1 \{ P_{45} \}$

$P_{43} : \{ Q = \text{NEXTQUAD}(); \}$

$P_{44} : \{ \text{BACKPATCH}(\langle \text{cond} \rangle.\text{TRUE}, \text{NEXTQUAD}()); \}$

$P_{45} : \{ \text{BACKPATCH}(\langle \text{stmt} \rangle^1.\text{NEXT}, Q);$
 $\text{GENQUAD}(\text{jump}, -, -, Q);$
 $\langle \text{stmt} \rangle.\text{NEXT} = \langle \text{cond} \rangle.\text{FALSE}; \}$

Κλήση υποπρογραμμάτων (i)

$\langle \text{call} \rangle ::= \langle \text{id} \rangle \text{ “(” } [\langle \text{expr} \rangle (\text{ “,”} \langle \text{expr} \rangle)^*] \text{ “)”}$

$\langle \text{r-value} \rangle ::= \langle \text{call} \rangle$

$\langle \text{stmt} \rangle ::= \langle \text{call} \rangle$

- Πέρασμα παραμέτρων με τετράδες `par`
- Πέρασμα θέσης αποτελέσματος με τετράδα `par` αν πρόκειται για συνάρτηση
- Κλήση με τετράδα `call`

Κλήση υποπρογραμμάτων (ii)

$\langle \text{call} \rangle ::= \langle \text{id} \rangle \text{ “(” } \{ P_{46} \} [\langle \text{expr} \rangle^1 \{ P_{47} \} \\ (\text{ “,” } \langle \text{expr} \rangle^2 \{ P_{48} \})^*] \text{ “)” } \{ P_{49} \}$

$P_{46} : \{ N = 1; \}$

$P_{47} : \{ \text{GENQUAD}(\text{“par”}, \langle \text{expr} \rangle^1.PLACE, \\ \text{PARAMMODE}(\langle \text{id} \rangle, N), -); \\ N = N + 1; \}$

$P_{48} : \{ \text{GENQUAD}(\text{“par”}, \langle \text{expr} \rangle^2.PLACE, \\ \text{PARAMMODE}(\langle \text{id} \rangle, N), -); \\ N = N + 1; \}$

Κλήση υποπρογραμμάτων (iii)

$$\langle \text{call} \rangle ::= \langle \text{id} \rangle \text{ “(” } \{ P_{46} \} [\langle \text{expr} \rangle^1 \{ P_{47} \} \\ (\text{ “,” } \langle \text{expr} \rangle^2 \{ P_{48} \})^*] \text{ “)” } \{ P_{49} \}$$

(συνέχεια)

$$P_{49} : \{ \text{ if (ISFUNCTION}(\langle \text{id} \rangle)) \{ \\ \quad W = \text{NEWTEMP}(\text{FUNCRESET}(\langle \text{id} \rangle)); \\ \quad \text{GENQUAD}(\text{par}, \text{RET}, W, -); \\ \quad \langle \text{call} \rangle.PLACE = W; \\ \quad \} \\ \text{GENQUAD}(\text{call}, -, -, \langle \text{id} \rangle); \}$$

Κλήση υποπρογραμμάτων (iv)

- Κλήση συνάρτησης

$$\langle \text{r-value} \rangle ::= \langle \text{call} \rangle \{ P_{50} \}$$
$$P_{50} : \{ \langle \text{r-value} \rangle . PLACE = \langle \text{call} \rangle . PLACE; \}$$

- Κλήση διαδικασίας

$$\langle \text{stmt} \rangle ::= \langle \text{call} \rangle \{ P_{51} \}$$
$$P_{51} : \{ \langle \text{stmt} \rangle . NEXT = \text{EMPTYLIST}(); \}$$

Κλήση υποπρογραμμάτων (v)

- Επιστροφή από υποπρόγραμμα

$$\langle \text{stmt} \rangle ::= \text{“return”} [\langle \text{expr} \rangle \{ P_{52} \}] \{ P_{53} \}$$
$$P_{52} : \{ \text{GENQUAD}(\text{retv}, \langle \text{expr} \rangle.PLACE, -, -); \}$$
$$P_{53} : \{ \text{GENQUAD}(\text{ret}, -, -, -); \}$$

- Δήλωση υποπρογράμματος

$$\langle \text{body} \rangle ::= (\langle \text{local} \rangle)^* \{ P_{56} \} \langle \text{block} \rangle \text{“;”} \{ P_{57} \}$$
$$P_{56} : \{ \text{GENQUAD}(\text{unit}, I, -, -); \}$$
$$P_{57} : \{ \text{BACKPATCH}(\langle \text{block} \rangle.NEXT, \text{NEXTQUAD}()); \\ \text{GENQUAD}(\text{endu}, I, -, -); \}$$