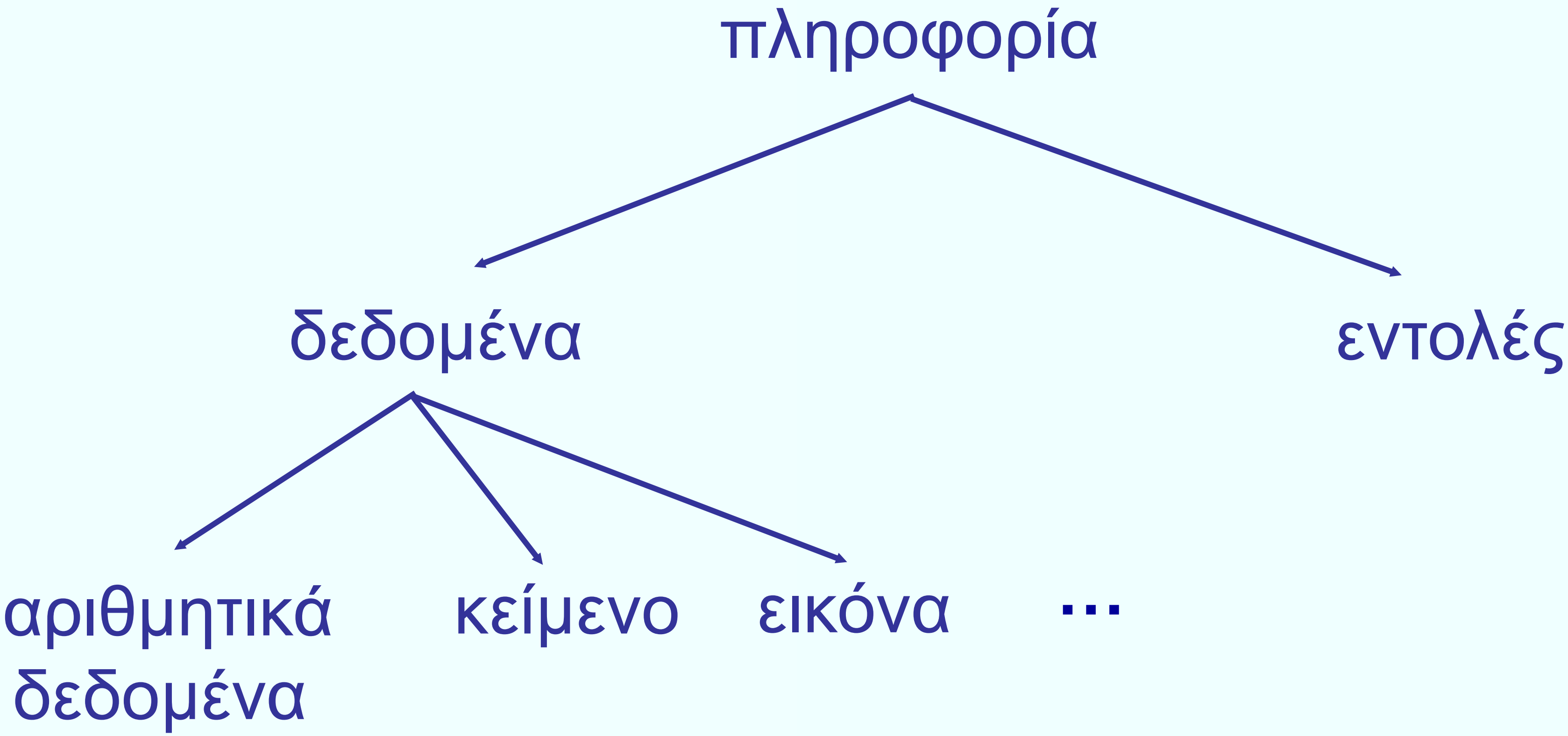
ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Κεφάλαιο 2

Οργάνωση και διαχείριση της Πληροφορίας στον Υπολογιστή

Δεδομένα και Εντολές



Επιλογή Αναπαράστασης Αριθμών

- Τα είδη των αριθμών που θα πρέπει να μπορούν να παρασταθούν, π.χ. ακέραιοι ή και πραγματικοί αριθμοί
- Τα μεγέθη των αριθμών που θα μπορούν να παρασταθούν
- Η ακρίβεια με την οποία θα μπορούν να παρασταθούν οι αριθμοί
- Το κόστος υλοποίησης αυτών των παραστάσεων

Αναπαράσταση Αριθμών στον Υπολογιστή

- Αναπαράσταση σταθερής υποδιαστολής (fixed point representation)
- Αναπαράσταση κινητής υποδιαστολής (floating point representation)

Αναπαράσταση σταθερής υποδιαστολής

Θετικός αριθμός σε παράσταση σταθερής υποδιαστολής και σε σύστημα αρίθμησης με βάση το β :

$$\alpha_{\nu\text{-}1}\alpha_{\nu\text{-}2} \ldots \alpha_1\alpha_0, \quad \text{με } \alpha_{\nu\text{-}1}, \alpha_{\nu\text{-}2}, \ldots, \alpha_0 < \beta$$

Που είναι η υποδιαστολή;

Ακέραιοι αριθμοί

$$\alpha_{\nu\text{-}1}\alpha_{\nu\text{-}2}\ \dots\ \alpha_1\alpha_0$$

Υποδιαστολή δεξιά του λιγότερο σημαντικού ψηφίου α_0

↓

Ελάχιστος αριθμός: **0**

Μικρότερος μη μηδενικός: 1

Παράσταση μέγιστου αριθμού:

$(\beta\text{-}1)\ \dots\ (\beta\text{-}1)(\beta\text{-}1)$

Ποιος είναι ο μέγιστος αριθμός;

Ακέραιοι αριθμοί

$$(\beta-1)\beta^{\nu-1} + \ldots + (\beta-1)\beta^{1} + (\beta-1)\beta^{0}$$

άθροισμα των ν πρώτων όρων γεωμετρικής προόδου $\Sigma = (\alpha_\nu \omega - \alpha_1)/(\omega-1)$

με $\omega = \beta$, $\alpha_1 = (\beta-1)\beta^0$ και $\alpha_\nu = (\beta-1)\beta^{\nu-1}$

→ μέγιστος αριθμός: $\beta^\nu-1$

Οι αριθμοί που μπορούν να παρασταθούν είναι ακέραιοι και βρίσκονται στην περιοχή:

$$0 \le N \le \beta^\nu-1$$

Κλασματικοί αριθμοί

$$\alpha_{\nu\text{-}1}\alpha_{\nu\text{-}2}\ \ldots\ \alpha_1\alpha_0$$

Υποδιαστολή πριν το πιο σημαντικό ψηφίο, $\alpha_{\nu\text{-}1}$:

$\Downarrow$

Οι αριθμοί που μπορούν να παρασταθούν είναι κλασματικοί

Κλασματικοί αριθμοί

$$\alpha_{\nu\text{-}1}\alpha_{\nu\text{-}2} \ldots \alpha_1\alpha_0$$

Υποδιαστολή πριν το πιο σημαντικό ψηφίο, $\alpha_{\nu\text{-}1}$ **:**

↓

Ελάχιστος αριθμός**:** 0

Μικρότερος μη μηδενικός αριθμός:

$$\beta^{-\nu}$$

Παράσταση μέγιστου αριθμού:

$$(\beta\text{-}1)(\beta\text{-}1) \ldots (\beta\text{-}1)$$

Ποιος είναι ο μέγιστος αριθμός;

Κλασματικοί αριθμοί

$$(\beta\text{-}1)\beta^{-1} + (\beta\text{-}1)\beta^{-2} + \dots +(\beta\text{-}1)\beta^{-\nu}$$

άθροισμα των ν πρώτων όρων γεωμετρικής προόδου $\Sigma = (\alpha_\nu\, \omega - \alpha_1)/\ \omega\text{-}1$

με $\omega = 1/\beta$, $\alpha_1 = (\beta\text{-}1)\ \beta^{-1}$ και $\alpha_\nu = (\beta\text{-}1)\ \beta^{-\nu}$

→ μέγιστος αριθμός: $1\text{-}\beta^{-\nu}$

Οι αριθμοί που μπορούν να παρασταθούν είναι κλασματικοί και βρίσκονται στην περιοχή:

$$0 \leq N \leq 1\text{-}\beta^{-\nu}$$

Ακέραιο και κλασματικό μέρος

$$\alpha_{\nu\text{-}1}\alpha_{\nu\text{-}2}\ \ldots\alpha_{\lambda+1}\ \alpha_{\lambda}\ \ldots\alpha_1\alpha_0$$

Δεκαδικό σημείο αριστερά του ψηφίου α_λ, με $0 \le \lambda \le \nu\text{-}1$

↓

Οι αριθμοί που μπορούν να παρασταθούν βρίσκονται στην περιοχή:

$$0 \le N \le \beta^{\nu-(\lambda+1)} - \beta^{-(\lambda+1)}$$

Ελάχιστος μη μηδενικός αριθμός: $\beta^{-(\lambda+1)}$

Αναπαράσταση σταθερής υποδιαστολής
Επίδραση της θέσης της υποδιαστολής

	Ακέραιοι αριθμοί των 4 δυαδικών ψηφίων	Αριθμοί με 3 ακέραια δυαδικά ψηφία και 1 κλασματικό	Αριθμοί με 2 ακέραια δυαδικά ψηφία και 2 κλασματικά	Κλασματικοί αριθμοί των 4 δυαδικών ψηφίων
Αναπαράσταση μέγιστης τιμής	1111	111,1	11,11	0,1111
Μέγιστη τιμή στο δεκαδικό	15	7,5	3,75	0,9375
αναπαράσταση του μικρότερου μη μηδενικού αριθμού	0001	000,1	00,01	0,0001
τιμή του μικρότερου μη μηδενικού αριθμού στο δεκαδικό	1	0,5	0,25	0,0625

Αναπαράσταση σταθερής υποδιαστολής

Οι αριθμοί που μπορούν να παρασταθούν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένοι στην περιοχή των αριθμών που μπορούν να παρασταθούν

Αναπαράσταση Αριθμών στον Υπολογιστή

Είναι δυνατόν όλοι οι αριθμοί να παρασταθούν ακριβώς εντός του υπολογιστή;

Περικοπή και στρογγυλοποίηση

Περικοπή (truncation)

» Σφάλματα περικοπής

Στρογγυλοποίηση (rounding)

» Σφάλματα στρογγυλοποίησης (round-off errors)

Περικοπή και στρογγυλοποίηση

Έχει νόημα η περικοπή και η στρογγυλοποίηση στην περίπτωση ακέραιων αριθμών;

Σφάλματα στρογγυλοποίησης

Αριθμητική πολλαπλής ακρίβειας

Δύο θέματα προς συζήτηση

- Μη δυαδικό αριθμητικό σύστημα
- Αναπαράσταση αρνητικών αριθμών

Αριθμητικά Συστήματα

- Δυαδικό αριθμητικό σύστημα
- Οκταδικό αριθμητικό σύστημα
- Δεκαεξαδικό αριθμητικό σύστημα
- Δεκαδικό αριθμητικό σύστημα

Δεκαδικοί αριθμοί

Κωδικοποίηση μέσω του δυαδικού

- Δυαδικά κωδικοποιημένοι δεκαδικοί αριθμοί (Binary Coded Decimal, BCD)

Δυαδική αναπαράσταση των δεκαδικών ψηφίων από 0 έως και 9

Δεκαδικό ψηφίο	Δυαδική παράσταση
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001

Δυαδικά κωδικοποιημένοι δεκαδικοί αριθμοί, BCD

- **Πλεονεκτήματα**

  Εύκολη μετατροπή από το δεκαδικό σε BCD και αντίστροφα

- **Μειονεκτήματα**

  απαιτούνται:

  ✓περισσότερα δυαδικά ψηφία για την αναπαράσταση του ίδιου πλήθους αριθμών

  ✓ειδικά κυκλώματα εκτέλεσης πράξεων ή διόρθωση αποτελεσμάτων με εκτέλεση εντολών

Πράξεις μεταξύ αριθμών σε BCD μορφή

- εντολές μετατροπής από BCD σε δυαδικό
- εντολές για επεξεργασία δεδομένων σε BCD μορφή
  - Υλοποίηση με ειδικά κυκλώματα
  - Υλοποίηση με κυκλώματα για δυαδικούς αριθμούς

Προσθέτοντας BCD αριθμούς ως δυαδικούς

	0 0 1 0	1 0 0 0	0 0 0 0	1 0 0 1	→	2809
+	0 0 0 1	0 1 1 1	0 0 1 0	1 0 0 1	→	1729
	0 0 1 1	1 1 1 1	0 0 1 1	0 0 1 0	→	; BCD

Πρόσθεση BCD αριθμών ως δυαδικών και διόρθωση αποτελέσματος

```
          0 0 1 0   1 0 0 0   0 0 0 0   1 0 0 1  →  2809
πρόσθ   + 0 0 0 1   0 1 1 1   0 0 1 0   1 0 0 1  →  1729
        -----------------------------------------
          0 0 1 1   1 1 1 1   0 0 1 1   0 0 1 0  →  ; BCD
διόρθ   + 0 0 0 0   0 1 1 0   0 0 0 0   0 1 1 0
        -----------------------------------------
          0 1 0 0   0 1 0 1   0 0 1 1   1 0 0 0  →  4538
```

Αναπαράσταση θετικών και αρνητικών αριθμών

Προσημασμένοι αριθμοί
-7
-6
-5
-4
-3
-2
-1
0
1
2
3
4
5
6
7
8

Αναπαράσταση με Πόλωση

Προσημασμένοι αριθμοί	Αναπαράσταση με πόλωση
-7	0000
-6	0001
-5	0010
-4	0011
-3	0100
-2	0101
-1	0110
0	0111
1	1000
2	1001
3	1010
4	1011
5	1100
6	1101
7	1110
8	1111

Αναπαράσταση με Πόλωση

- Βάση αριθμητικού συστήματος $\beta=2^{\tau}$
- Χρησιμοποιούμε ν δυαδικά ψηφία
- Πόλωση $\Pi=\beta^{\nu-1}-1$

➔ το πιο σημαντικό δυαδικό ψηφίο της παράστασης δηλώνει το πρόσημο του αριθμού

1: θετικός αριθμός

0: αρνητικός αριθμός

Αναπαράσταση με Πόλωση

- Πρόσθεση
- Αφαίρεση
- Πολλαπλασιασμός
- Διαίρεσης

Αναπαράσταση θετικών και αρνητικών αριθμών

- Αναπαράσταση προσημασμένου μεγέθους (sign-magnitude representation)
- Αναπαράσταση συμπληρώματος ως προς μειωμένη βάση ή αναπαράσταση συμπληρώματος ως προς β-1 (diminished - radix complement representation)
- Αναπαράσταση συμπληρώματος ως προς βάση ή αναπαράσταση συμπληρώματος ως προς β (radix complement representation)

Αναπαράσταση θετικών και αρνητικών αριθμών

- Αναγνώριση θετικών και αρνητικών αριθμών

Αναπαράσταση θετικών και αρνητικών αριθμών

$$N_{(\beta)} = \alpha_{\nu\text{-}1}\,\alpha_{\nu\text{-}2}\alpha_{\nu\text{-}3}\ \ldots\ \alpha_1\alpha_0,$$

- $\alpha_{\nu\text{-}1} < \beta/2 \ \Rightarrow$ θετικός αριθμός
- $\alpha_{\nu\text{-}1} \geq \beta/2 \ \Rightarrow$ αρνητικός αριθμός

Αναπαράσταση θετικών και αρνητικών αριθμών

Βάση αριθμητικού συστήματος $\beta=2^\tau$

- $\alpha_{\nu\text{-}1} = 0 \quad \Rightarrow$ θετικός αριθμός
- $\alpha_{\nu\text{-}1} = 1 \quad \Rightarrow$ αρνητικός αριθμός

Αναπαράσταση θετικών και αρνητικών αριθμών I

Αναπαράσταση προσημασμένου μεγέθους (sign-magnitude representation)

$N_{(\beta)} = \alpha_{\nu\text{-}1}\ \alpha_{\nu\text{-}2}\alpha_{\nu\text{-}3}\ \ldots\ \alpha_1\alpha_0,$

- $\alpha_{\nu\text{-}1} < \beta/2 \Rightarrow$ θετικός αριθμός
- $\alpha_{\nu\text{-}1} \geq \beta/2 \Rightarrow$ αρνητικός αριθμός
  - $|N_{(\beta)}| = \alpha_{\nu\text{-}1}\ \alpha_{\nu\text{-}2}\alpha_{\nu\text{-}3}\ \ldots\ \alpha_1\alpha_0 - (\beta/2)00\ldots0$

Αναπαράσταση θετικών και αρνητικών αριθμών I

Η πρόσθεση αριθμών σε παράσταση προσημασμένου μεγέθους απαιτεί:

- τη σύγκριση των προσήμων
- εάν έχουν διαφορετικά πρόσημα:
  - Σύγκριση μεγεθών

Αναπαράσταση θετικών και αρνητικών αριθμών ΙΙ

Αναπαράσταση συμπληρώματος ως προς μειωμένη βάση ή αναπαράσταση συμπληρώματος ως προς β-1 (diminished - radix complement representation)

$$N_{(\beta)} = \alpha_{\nu\text{-}1}\ \alpha_{\nu\text{-}2}\alpha_{\nu\text{-}3}\ \ldots\ \alpha_1\alpha_0,$$

$\alpha_{\nu\text{-}1} \geq \beta/2 \;\Rightarrow$ αρνητικός αριθμός $\Rightarrow$

$$|N_{(\beta)}| = \bar{\alpha}_{\nu-1}\ \bar{\alpha}_{\nu-2}\bar{\alpha}_{\nu-3}\ \ldots\ \bar{\alpha}_1\bar{\alpha}_0,$$

όπου $\bar{\alpha}_\lambda = (\beta\text{-}1) - \alpha_\lambda$ για $0 \leq \lambda \leq \nu\text{-}1$

Αναπαράσταση θετικών και αρνητικών αριθμών

Αναπαράσταση συμπληρώματος ως προς βάση ή αναπαράσταση συμπληρώματος ως προς β (radix complement representation)

$$N_{(\beta)} = \alpha_{\nu\text{-}1}\, \alpha_{\nu\text{-}2}\alpha_{\nu\text{-}3} \ldots \alpha_1\alpha_0,$$

$$\alpha_{\nu\text{-}1} \geq \beta/2 \;\Rightarrow \text{αρνητικός αριθμός} \Rightarrow$$

$$|N_{(\beta)}| = \bar{\alpha}_{\nu-1}\, \bar{\alpha}_{\nu-2}\bar{\alpha}_{\nu-3} \ldots \bar{\alpha}_1\bar{\alpha}_0 + [1]$$

όπου $\bar{\alpha}_\lambda = (\beta\text{-}1) - \alpha_\lambda$ για $0 \leq \lambda \leq \nu\text{-}1$

Αναπαράσταση θετικών και αρνητικών αριθμών

Αν σας δώσω ένα δεκαδικό αριθμό με πρόσημο και σας ζητήσω να τον γράψετε στο δυαδικό σε

✓αναπαράσταση προσημασμένου μεγέθους

✓αναπαράσταση συμπληρώματος ως προς 1 και

✓αναπαράσταση συμπληρώματος ως προς 2

όλες οι παραστάσεις θα είναι οι ίδιες ;

Αναπαράσταση θετικών και αρνητικών αριθμών

Σύγκριση αθροιστών για αριθμούς σε

✓αναπαράσταση συμπληρώματος ως προς 1 και
✓αναπαράσταση συμπληρώματος ως προς 2

Περιοχές ακεραίων και αναπαραστάσεις του μηδενός για δυαδική αριθμητική

Σύστημα Αναπαράστασης Προσημασμένων Αριθμών	Περιοχή Ακεραίων	Παραστάσεις Μηδενός
Προσημασμένου μεγέθους	$-(2^{v-1} - 1) \leq A \leq 2^{v-1} - 1$ $111\ldots1 \leq A \leq 011\ldots1$	00…0 και 100…0
Συμπληρώματος ως προς 1	$-(2^{v-1} - 1) \leq A \leq 2^{v-1} - 1$ $100\ldots0 \leq A \leq 011\ldots1$	00…0 και 11…1
Συμπληρώματος ως προς 2	$-2^{v-1} \leq A \leq 2^{v-1} - 1$ $100\ldots0 \leq A \leq 011\ldots1$	00…0

Ακέραιοι αριθμοί των 10 δυαδικών ψηφίων σε διάφορες αναπαραστάσεις

Αριθμός	Δυαδικό αριθμητικό σύστημα				Δεκαδικό αριθμητικό σύστημα			
	προσημα-σμένου μεγέθους	συμπλη-ρώματος ως προς 1	συμπληρώ-ματος ως προς 2	με πόλωση το 511	προσημα σμένου μεγέθους	συμπλη-ρώματος ως προς 9	συμπλη-ρώματος ως προς 10	με πόλω-ση το 500
+512	-	-	-	1111111111				
+511	0111111111	0111111111	0111111111	1111111110				
+499	0111110011	0111110011	0111110011	1111110010	499	499	499	999
+498	0111110010	0111110010	0111110010	…	498	498	498	998
…	…	…	…	…	…	…	…	…
+1	0000000001	0000000001	0000000001	1000000000	001	001	001	501
0	0000000000 1000000000	0000000000 1111111111	0000000000	0111111111	000 500	000 999	000	500
-1	1000000001	1111111110	1111111111	0111111110	501	998	999	499
…	…	…	…	…	…	…	…	…
-498	1111110010	1000001101	1000001110	0000001101	998	501	502	002
-499	1111110011	1000001100	1000001101	0000001100	999	500	501	001
-500	1111110100	1000001011	1000001100	…			500	000
-511	1111111111	1000000000	1000000001	0000000000				
-512			1000000000					

Σφάλμα αναπαράστασης

Αναπαράσταση σταθερής υποδιαστολής

- Οι αριθμοί είναι ισοκατανεμημένοι στην περιοχή των αριθμών που μπορούν να παρασταθούν

➔ Μέγιστο σφάλμα αναπαράστασης λόγω περικοπής σταθερό: $\beta^{-\lambda}$, όπου λ το πλήθος των ψηφίων δεξιά της υποδιαστολής

Σχετικό σφάλμα αναπαράστασης =
σφάλμα αναπαράστασης/τιμή αριθμού

Σφάλμα αναπαράστασης

X=0000 0000. 0000 1001

Y=1001 0000. 0000 0000

$\Sigma\Phi(X) = 2^{-8}/(9\times 2^{-8}) \cong 1/9$

$\Sigma\Phi(Y) = 2^{-8}/(9\times 2^{4}) \cong 1/(9\times 2^{12})$

Αναπαράσταση πολύ μεγάλων και πολύ μικρών αριθμών

X=0000 0000. 0000 1001

Y=1001 0000. 0000 0000

$X^2 = (9 \times 2^{-8})^2 = 81 \times 2^{-16}$

$Y^2 = (9 \times 2^{4})^2 = 81 \times 2^{8}$

Δυναμική περιοχή

Λόγος μεταξύ μεγαλύτερου και μικρότερου, μη μηδενικού αριθμού, που μπορεί να παρασταθεί

Μεγάλη δυναμική περιοχή σημαίνει ότι μπορούμε να παραστήσουμε πολύ μεγάλους και πολύ μικρούς αριθμούς

Δυναμική περιοχή

- Αναπαράσταση σταθερής υποδιαστολής ν+1 δυαδικών ψηφίων
- 1 δυαδικό ψηφίο για το πρόσημο
- λ δυαδικά ψηφία δεξιά της υποδιαστολής

$$\Delta\Pi_{\Sigma\Upsilon} = \frac{(2^{\nu} - 1)\cdot 2^{-\lambda}}{1\cdot 2^{-\lambda}} = 2^{\nu} - 1$$

Αναπαράσταση Κινητής Υποδιαστολής

Απαίτηση

Μεγάλη δυναμική περιοχή

Μικρό σχετικό σφάλμα αναπαράστασης για όλους τους αριθμούς που μπορούν να παρασταθούν

➔ Αναπαράσταση κινητής υποδιαστολής

Αναπαράσταση Κινητής Υποδιαστολής

Μορφή : $\alpha_{\nu-1}\alpha_{\nu-2} \ldots \alpha_1\alpha_0$

Ερμηνεία

Τρεις συνιστώσες:

πρόσημο π

συντελεστής Σ

εκθέτης Ε

τιμή: $Z = (-1)^{\pi} \times \Sigma \times B^{E}$,

όπου Β μία προκαθορισμένη βάση

Δυναμική περιοχή

- Αναπαράσταση ν+1 δυαδικών ψηφίων
- 1 δυαδικό ψηφίο για το πρόσημο
- μ δυαδικά ψηφία για το μέγεθος του συντελεστή και λ' δεξιά της υποδιαστολής
- ν-μ δυαδικά ψηφία για τον εκθέτη

$$\Delta\Pi_{K\Upsilon} = \frac{(\mu\acute{\varepsilon}\gamma\iota\sigma\tau\eta\ \tau\iota\mu\acute{\eta}\ \sigma\upsilon\nu\tau\varepsilon\lambda\varepsilon\sigma\tau\acute{\eta}) \cdot B^{\mu\acute{\varepsilon}\gamma\iota\sigma\tau\eta\ \tau\iota\mu\acute{\eta}\ \varepsilon\kappa\theta\acute{\varepsilon}\tau\eta}}{(\varepsilon\lambda\acute{\alpha}\chi\iota\sigma\tau\eta\ \tau\iota\mu\acute{\eta}\ \sigma\upsilon\nu\tau\varepsilon\lambda\varepsilon\sigma\tau\acute{\eta}) \cdot B^{\varepsilon\lambda\acute{\alpha}\chi\iota\sigma\tau\eta\ \tau\iota\mu\acute{\eta}\ \varepsilon\kappa\theta\acute{\varepsilon}\tau\eta}} =$$

$$= \frac{(2^{\mu} - 1) \cdot 2^{-\lambda'} \cdot 2^{2^{\nu-\mu}-1}}{1 \cdot 2^{-\lambda'} \cdot 2^{0}} = (2^{\mu} - 1) \cdot 2^{2^{\nu-\mu}-1}$$

Δυναμική περιοχή

- Αναπαράσταση ν+1 δυαδικών ψηφίων
- 1 δυαδικό ψηφίο για το πρόσημο
- μ δυαδικά ψηφία για το μέγεθος του συντελεστή και λ' δεξιά της υποδιαστολής
- ν-μ δυαδικά ψηφία για τον εκθέτη

$$\Delta\Pi_{\mathrm{K\Upsilon}} = (2^{\mu} - 1) \cdot 2^{2^{\nu-\mu} - 1}$$

Επίδραση της θέσης της υποδιαστολής;

Επίδραση του πλήθους των ψηφίων του εκθέτη;

Δυναμική περιοχή

$$\Delta\Pi_{\Sigma\Upsilon} = 2^{\nu} - 1$$

$$\Delta\Pi_{K\Upsilon} = (2^{\mu} - 1) \cdot 2^{2^{\nu-\mu}-1}$$

$\Delta\Pi_{\Sigma\Upsilon}=(2^{32}-1)\approx 4,3 \times 10^{9}$

$\Delta\Pi_{K\Upsilon}=(2^{24}-1)2^{256-1} \approx 9,7 \times 10^{83}$

Περισσότερες από μία παραστάσεις

Ένας αριθμός μπορεί να έχει περισσότερες από μία παραστάσεις στο ίδιο αριθμητικό σύστημα σε παράσταση κινητής υποδιαστολής

Παράδειγμα

$0.000003706 \times 10^{3}$,

0.0003706×10^{1}

0.3706×10^{-2}

Κανονικοποιημένη (normilized) παράσταση

Ο αριθμός είναι σε κανονικοποιημένη μορφή εάν το πιο σημαντικό ψηφίο του μεγέθους του συντελεστή είναι διάφορο του μηδενός (εκτός βέβαια της περίπτωσης της αναπαράστασης του αριθμού 0)

Παράδειγμα

$.000003706 \times 10^{3}$,

$.0003706 \times 10^{1}$

$.3706 \times 10^{-2}$

Κανονικοποιημένοι αριθμοί

Μικρότερη τιμή του συντελεστή:

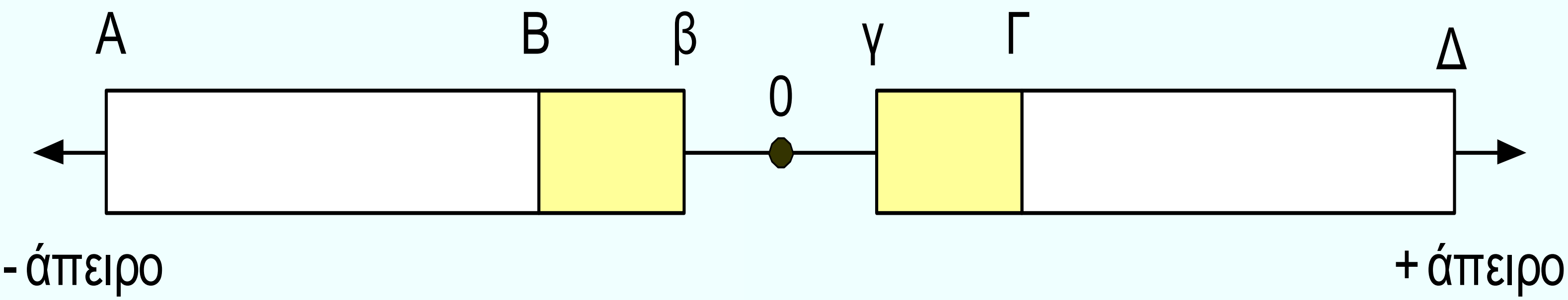
$$\overbrace{10\ \ldots\ 0\ ,\ \underbrace{00\ \ldots\ 0}_{\lambda}}^{\kappa} = \beta^{\kappa-1}/2^{\lambda} = \beta^{\kappa-\lambda-1}$$

και η μικρότερη τιμή του αριθμού κινητής

υποδιαστολής θα είναι:

$\beta^{\kappa-\lambda-1} \times B$ (ελάχιστη τιμή εκθέτη)

Περιοχές στην αναπαράσταση κινητής υποδιαστολής



[Α, Β] αρνητικοί αριθμοί κινητής υποδιαστολής κανονικοποιημένοι

[Γ, Δ] θετικοί αριθμοί κινητής υποδιαστολής κανονικοποιημένοι

(Β, β] και [γ, Γ) μη κανονικοποιημένοι αριθμοί κινητής υποδιαστολής

<Α ή > Δ υπερχείλιση

(β, 0) ή (0, γ) υπερχείλιση

Διερεύνηση της επίδρασης του μεγέθους των πεδίων

Σταθερό πλήθος δυαδικών ψηφίων

Επίδραση:

- πλήθος δυαδικών ψηφίων του συντελεστή
- πλήθος δυαδικών ψηφίων του εκθέτη

Διερεύνηση της επίδρασης του μεγέθους των πεδίων, B=2

Θεωρούμε

συντελεστής: 4 κλασματικά ψηφία

εκθέτης: 2 δυαδικά ψηφία σε παράσταση με πόλωση

➔ πόλωση $=2^{2-1}-1=1$ οπότε εκθέτης = - 1, 0, 1 ή 2

Αναπαραστάσεις κινητής υποδιαστολής, μόνο οι θετικοί αριθμοί (συντελεστής 4 κλασματικά ψηφία, εκθέτης 2 ψηφία, Β=2)

	2^E			
αναπαράσταση συντελεστή	1/2 (E=-1)	1 (E=0)	2 (E=1)	4 (E=2)
0,0000	0	0	0	0
0, 0001	1/32	1/16	1/8	1/4
0,0010	2/32	2/16=1/8	2/8=1/4	2/4
0,0011	3/32	3/16	3/8	3/4
0,0100	4/32	4/16=2/8=1/4	4/8	4/4=1
0,0101	5/32	5/16	5/8	5/4
0,0110	6/32	6/16	6/8	6/4
0,0111	7/32	7/16	7/8	7/4
0, 1000	8/32	8/16=4/8=2/4	8/8=1	8/4
0,1001	9/32	9/16	9/8	9/4
0, 1010	10/32	10/16	10/8	10/4
0, 1011	11/32	11/16	11/8	11/4
0, 1100	12/32	12/16	12/8	12/4
0, 1101	13/32	13/16	13/8	13/4
0, 1110	14/32	14/16	14/8	14/4
0, 1111	15/32	15/16	15/8	15/4

Διερεύνηση της επίδρασης του πλήθους δυαδικών ψηφίων του συντελεστή, B=2

Θεωρούμε

συντελεστής: 3 κλασματικά ψηφία

εκθέτης: 3 δυαδικά ψηφία σε παράσταση με πόλωση

➔ πόλωση $=2^{3-1}-1=3$

οπότε εκθέτης = - 3, -2, -1, 0, 1, 2, 3 και 4

Αναπαραστάσεις κινητής υποδιαστολής, μόνο οι θετικοί αριθμοί (συντελεστής 3 κλασματικά ψηφία, εκθέτης 3 ψηφία, B=2)

	2^E							
αναπαράσταση συντελεστή	1/8 (E = -3)	1/4 (E = -2)	1/2 (E = -1)	1 (E = 0)	2 (E = 1)	4 (E = 2)	8 (E = 3)	16 (E = 4)
0, 000	0	0	0	0	0	0	0	0
0, 001	1/64	1/32	1/16	1/8	1/4	1/2	1	2
0, 010	2/64= 1/32	2/32= 1/16	2/16= 1/8	2/8= 1/4	2/4= 1/2	2/2=1	2	4
0, 011	3/64	3/32	3/16	3/8	3/4	3/2	3	6
0, 100	4/64= 2/32	4/32= 2/16	4/16= 2/8	4/8= 2/4	4/4= 1	4/2=2	4	8
0, 101	5/64	5/32	5/16	5/8	5/4	5/2	5	10
0, 110	6/64= 3/32	6/32= 3/16	6/16= 3/8	6/8= 3/4	6/4= 3/2	6/2=3	6	12
0, 111	7/64	7/32	7/16	7/8	7/4	7/2	7	14

Παραστάσεις Κινητής Υποδιαστολής, μόνο οι θετικοί αριθμοί (συντελεστής 4 κλασματικά ψηφία, εκθέτης 2 ψηφία, Β=2)

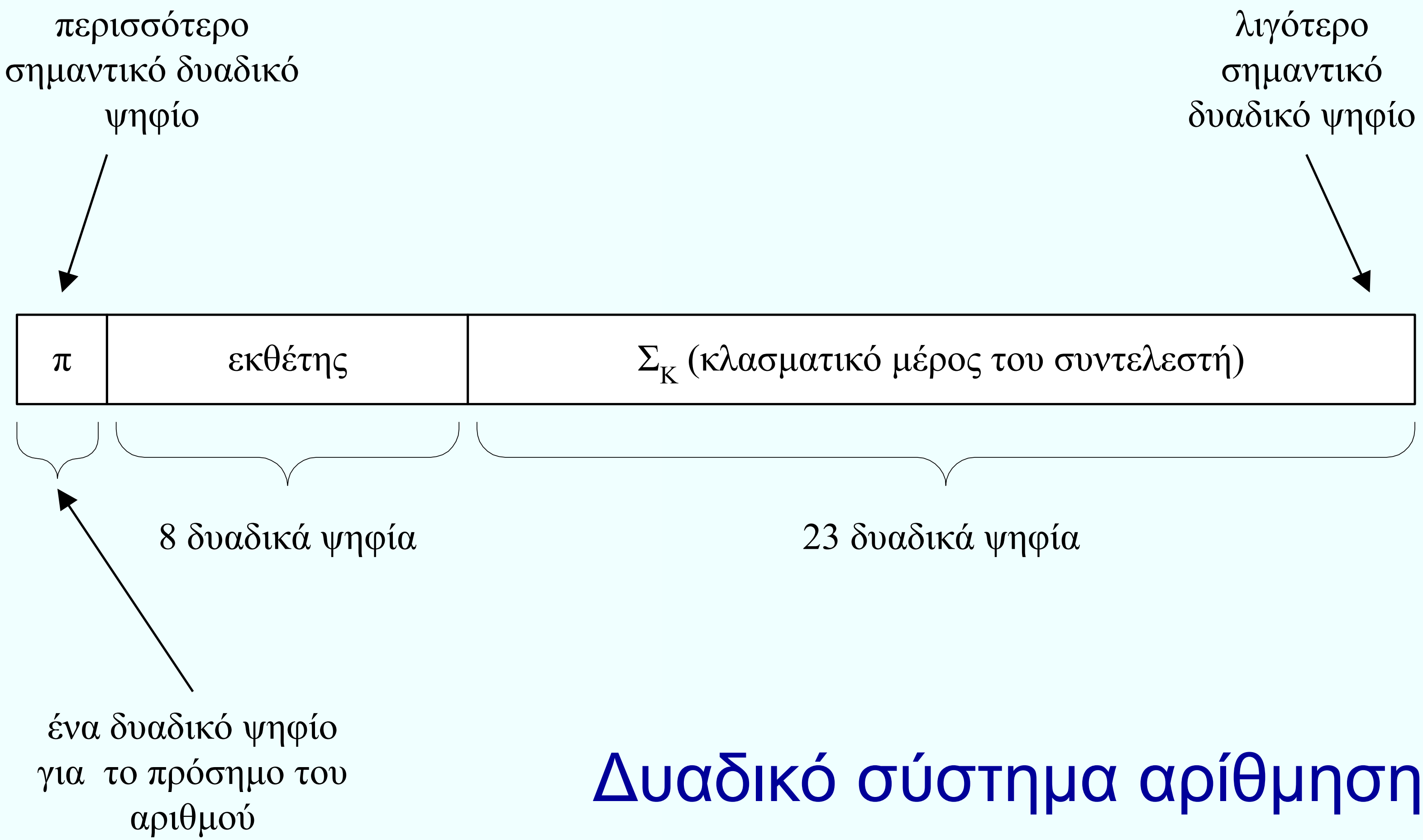
Συντελεστής: 4 κλασματικά δυαδικά ψηφία εκθέτης: 2 δυαδικά ψηφία B=2			Συντελεστής: 3 κλασματικά δυαδικά ψηφία εκθέτης: 3 δυαδικά ψηφία B=2		
Περιοχή αριθμών	Πλήθος αριθμών	Τιμή του εκθέτη	Περιοχή αριθμών	Πλήθος αριθμών	Τιμή του εκθέτη
0	1	-1	0	1	-3
1/32 ≤ X < 1/4	7	-1	1/64 ≤ X <1 /16	3	-3
			1/16 ≤ X < 1/8	4	-3
			1/8 ≤ X < 1/4	4	-2
1/4 ≤ X < 1/2	8	-1	1/4 ≤ X < 1/2	4	-1
1/2 ≤ X < 1	8	0	1/2 ≤ X < 1	4	0
1 ≤ X < 2	8	1	1 ≤ X < 2	4	1
2 ≤ X < 4	8	2	2 ≤ X < 4	4	2
			4 ≤ X < 8	4	3
			8 ≤ X =14	4	4

Αναπαραστάσεις κινητής υποδιαστολής, μόνο οι θετικοί αριθμοί (συντελεστής 3 κλασματικά ψηφία, εκθέτης 3 ψηφία, B=2)

	2^E							
αναπαράσταση συντελεστή	1/8 (E = -3)	1/4 (E = -2)	1/2 (E = -1)	1 (E = 0)	2 (E = 1)	4 (E = 2)	8 (E = 3)	16 (E = 4)
0, 000	0	0	0	0	0	0	0	0
0, 001	1/64	1/32	1/16	1/8	1/4	1/2	1	2
0, 010	2/64= 1/32	2/32= 1/16	2/16= 1/8	2/8= 1/4	2/4= 1/2	2/2=1	2	4
0, 011	3/64	3/32	3/16	3/8	3/4	3/2	3	6
0, 100	4/64= 2/32	4/32= 2/16	4/16= 2/8	4/8= 2/4	4/4= 1	4/2=2	4	8
0, 101	5/64	5/32	5/16	5/8	5/4	5/2	5	10
0, 110	6/64= 3/32	6/32= 3/16	6/16= 3/8	6/8= 3/4	6/4= 3/2	6/2=3	6	12
0, 111	7/64	7/32	7/16	7/8	7/4	7/2	7	14

4,5: δεν μπορεί να παρασταθεί

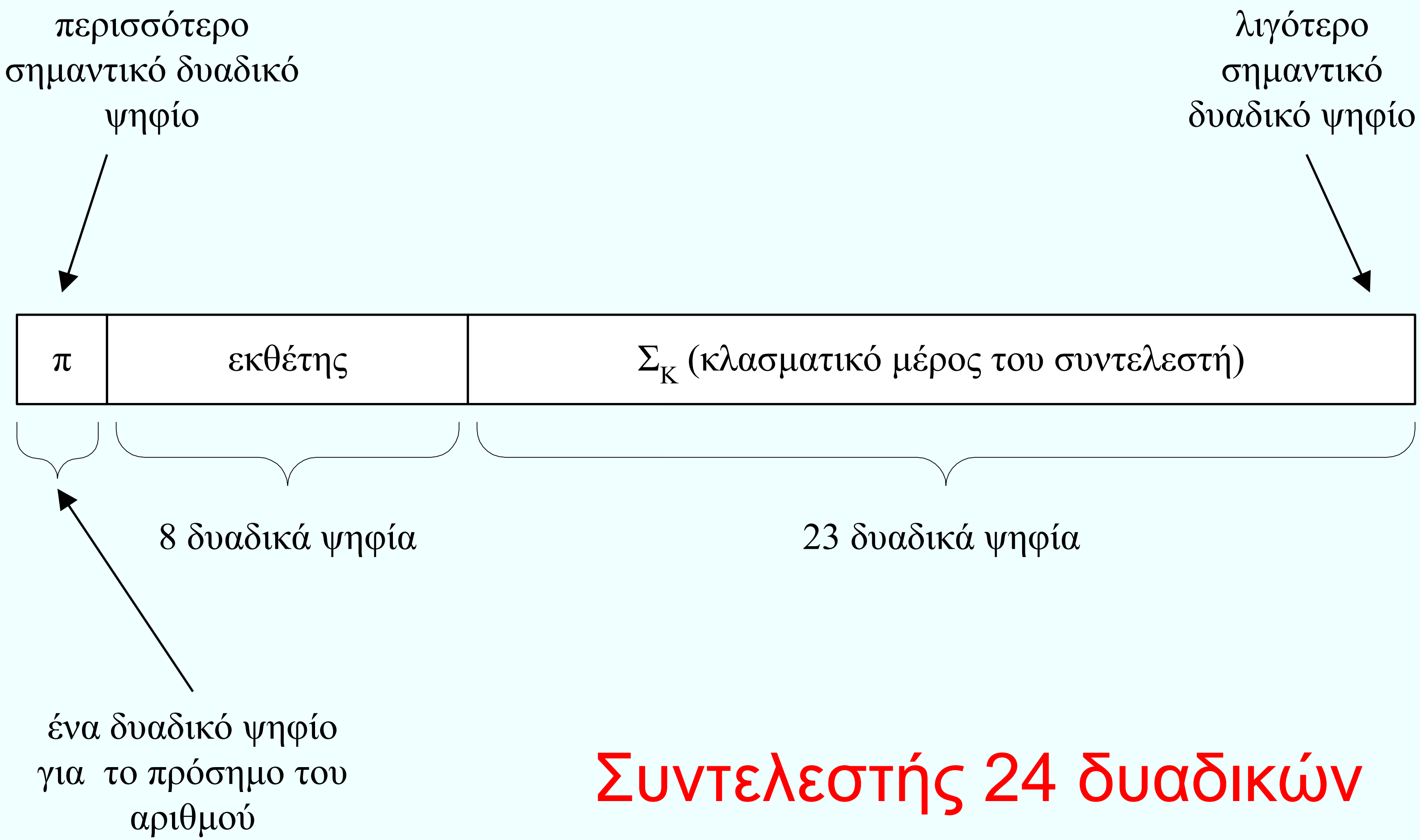
Πρότυπο κινητής υποδιαστολής IEEE 754



Δυαδικό σύστημα αρίθμησης

B = 2

Πρότυπο κινητής υποδιαστολής IEEE 754

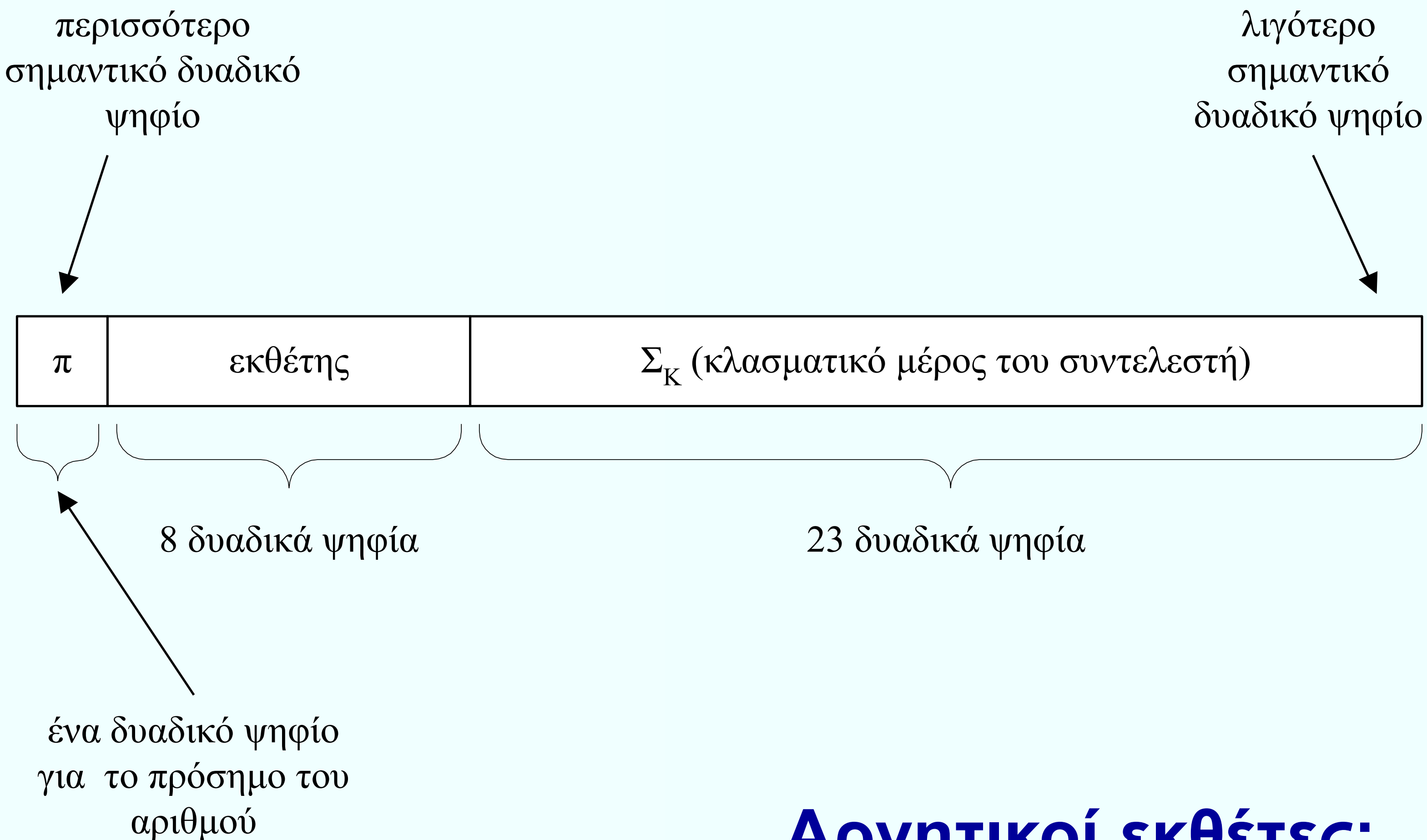


Συντελεστής 24 δυαδικών ψηφίων

Πρότυπο κινητής υποδιαστολής IEEE 754

Αναπαράσταση του 0;

Σύγκριση αριθμών κινητής υποδιαστολής



Αρνητικοί εκθέτες;

Εκθέτης σε μορφή συμπληρώματος ως προς δύο;

Παράδειγμα

Τότε οι αριθμοί 1.0 x 2^{-1} και 1.0 x 2^{+1} θα είχαν αντίστοιχα τις ακόλουθες δύο παραστάσεις :

0	1 1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 0 . . .

0	0 0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 . . .

Πόλωση εκθέτη

Προσθέτουμε στην τιμή του εκθέτη το 127 και μετά λαμβάνουμε την αναπαράστασή του

Παράδειγμα

Θεωρούμε τους αριθμούς 1.0×2^{-1} και $1.0 \times 2^{+1}$.

Για να πάρουμε την παράσταση κάθε εκθέτη προσθέτουμε στο –1 και στο +1 τον αριθμό 127 οπότε παίρνουμε αντίστοιχα τους αριθμούς $126_{(10)} = 01111110_{(2)}$ και $128_{(10)} = 10000000_{(2)}$.

Επομένως η παράσταση των αριθμών 1.0×2^{-1} και $1.0 \times 2^{+1}$ σύμφωνα με το στάνταρτ είναι :

0	0 1 1 1 1 1 1 0	0 0 0 0 . . .

0	1 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 . . .

Στάνταρτ κινητής υποδιαστολής IEEE 754

$N = (-1)^{\Pi} \times 2^{E-127} \times (1.\ \Sigma_K)$ $0 < E < 255$ (κανονικ.) ,

$N = (-1)^{\Pi} \times 2^{-126} \times (0.\ \Sigma_K)$ εάν $E = 0$ και $\Sigma_K \neq 0$ (μη καν.),

$N = NaN$ εάν $E = 255$ και $\Sigma_K \neq 0$,

$N = (-1)^{\Pi}\ \infty$ εάν $E = 255$ και $\Sigma_K = 0$,

$N = (-1)^{\Pi}\ 0$ εάν $E = 0$ και $\Sigma_K = 0$ (διπλή αναπαράσταση του μηδενός).

Αριθμητική κινητής υποδιαστολής διπλής ακρίβειας

π	11 bit εκθέτης	20 bit κλασμ. συντελεστής

32 bit συντελεστής συνεχίζεται

πόλωση = 1023

Στάνταρτ κινητής υποδιαστολής IEEE 754 διπλής ακρίβειας

$N = NaN$ εάν $E = 2047$ και $\Sigma_K \neq 0$,

$N = (-1)^{\Pi}\ \infty$ εάν $E = 2047$ και $\Sigma_K = 0$,

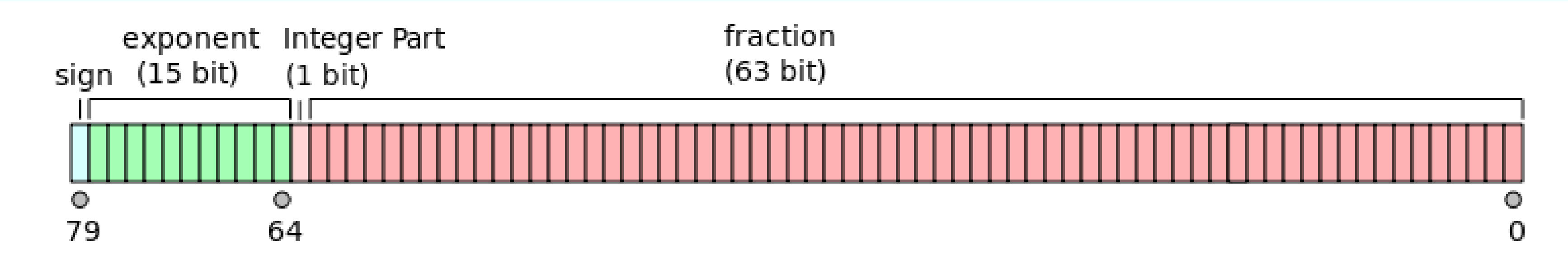
$N = (-1)^{\Pi} \times 2^{E-1023} \times (1.\ \Sigma_K)$ $0 < E < 2047$ (κανονικ.) ,

$N = (-1)^{\Pi} \times 2^{-1022} \times (0.\ \Sigma_K)$ εάν $E = 0$ και $\Sigma_K \neq 0$ (μη καν.),

$N = (-1)^{\Pi}\ 0$ εάν $E = 0$ και $\Sigma_K = 0$ (διπλή αναπαράσταση

του μηδενός).

x86 Extended Precision Format



Αλφαριθμητικά σύμβολα

- Αριθμοί
- Γράμματα του αλφάβητου
- Σημεία στίξης
- Ειδικά σύμβολα

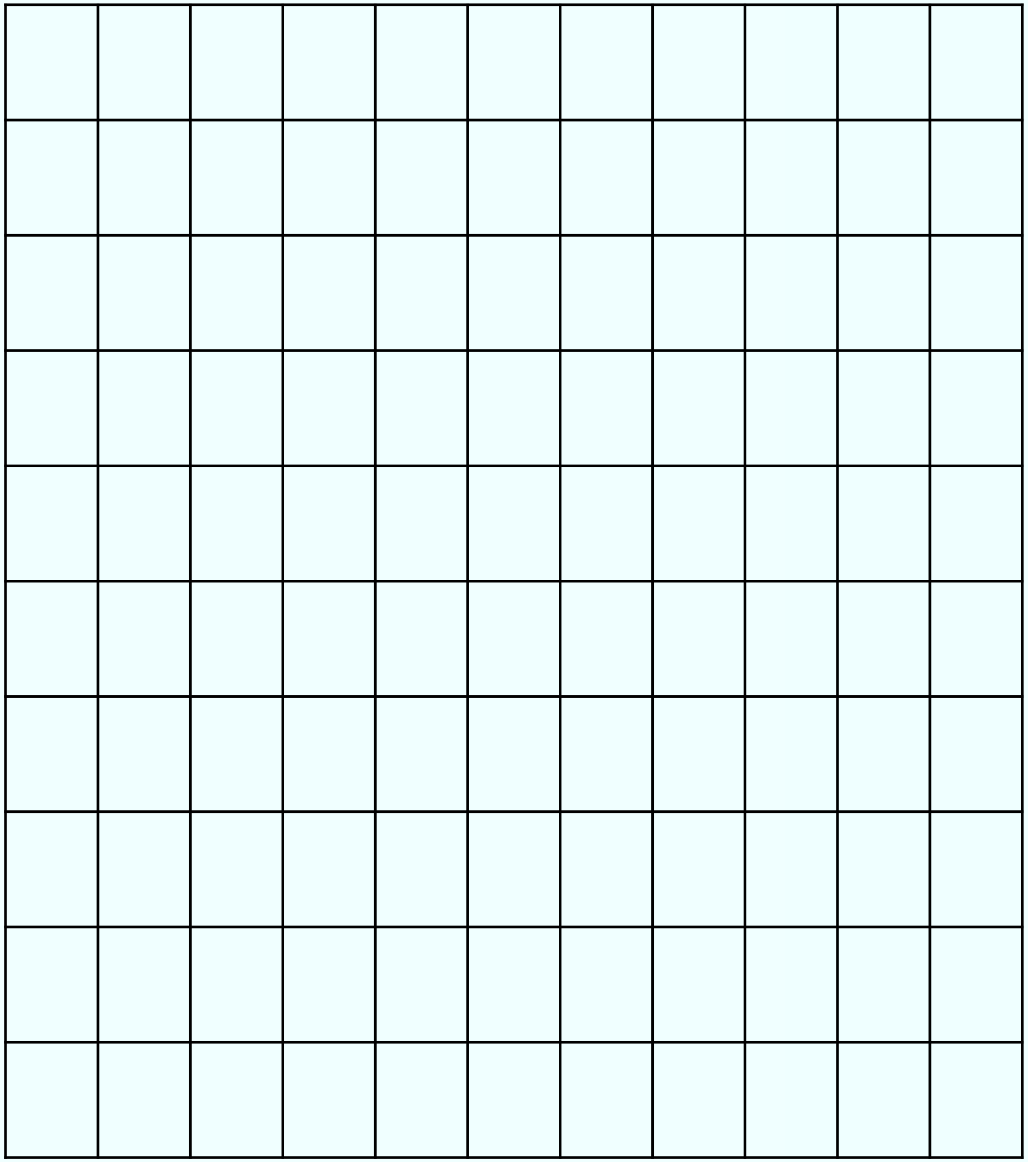
ASCII κώδικας

Bits	b7 b6 b5	000	001	010	011	100	101	110	111
b4 b3 b2b1	HEX	0	1	2	3	4	5	6	7
0 0 0 0	0	NUL	DLE	SP	0	@	P	`	p
0 0 0 1	1	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0 0 1 0	2	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0 0 1 1	3	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0 1 0 0	4	EOT	DC4	$	4	D	T	d	t
0 1 0 1	5	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0 1 1 0	6	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0 1 1 1	7	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1 0 0 0	8	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1 0 0 1	9	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1 0 1 0	A	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1 0 1 1	B	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1 1 0 0	C	FF	FS	‚	<	L	\	l	|
1 1 0 1	D	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1 1 1 0	E	SO	RS	.	>	N	^	n	~
1 1 1 1	F	SI	US	/	?	O	-	o	DEL

Στάνταρ Unicode

Χρησιμοποιεί 16 δυαδικά ψηφία για την αναπαράσταση κάθε χαρακτήρα

Αναπαράσταση ψηφιακής εικόνας



ψηφίδες,
εικονοστοιχεία,
pixels

Αναπαράσταση ψηφιακής εικόνας

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Ευκρίνεια (resolution)

ψηφίδες ανά τετραγωνικό εκατοστό

Ευκρίνεια ψηφιακής εικόνας

κανονικό μέγεθος

μεγέθυνση

Ασπρόμαυρες και Έγχρωμες ψηφιακές εικόνες

Ασπρόμαυρες 2 - 8 bit /pixel (bit depth=2 - 8)

Έγχρωμες 8 - 24 bit /pixel

κόκκινο - πράσινο - μπλέ

(16,7 εκατομμύρια χρώματα)

RGB(Red, Green, Blue)

CMYK(Cyan, Mangenta, Yellow, blacK)

Μέγεθος αρχείου εικόνας

για μία φωτογραφία των 2.048 x 3.072 ψηφίδων που

για τη δήλωση του χρώματος κάθε ψηφίδας

χρησιμοποιούνται 24 δυαδικά ψηφία απαιτούνται

(24 x 2.048 x 3.072)/8 = 18. 874.368 ψηφιολέξεις =

18 MB

τεχνικές συμπίεσης: (ITU-T.6 (lossless scheme)

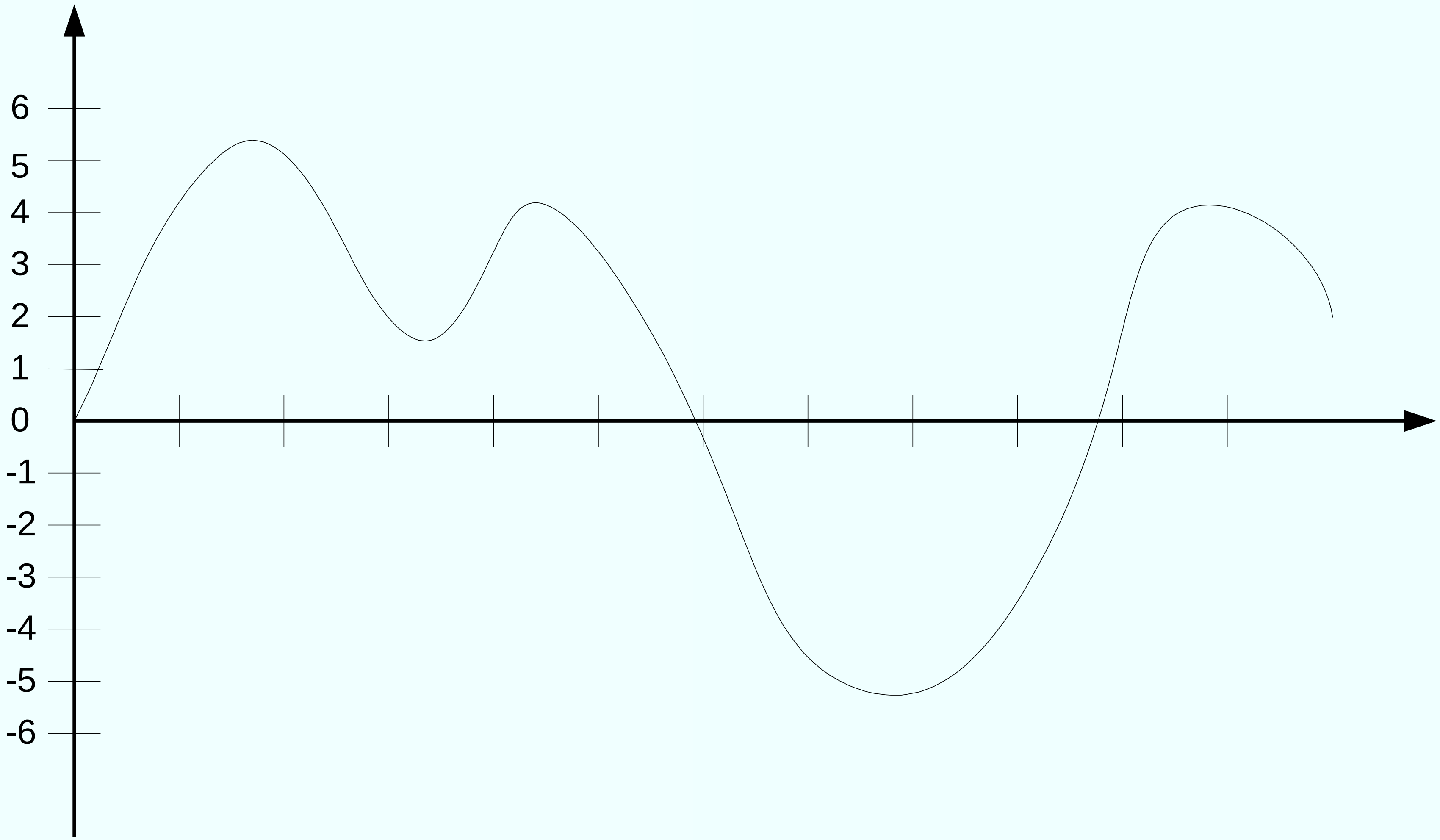
JPEG (lossy scheme) κλπ.)

Βίντεο

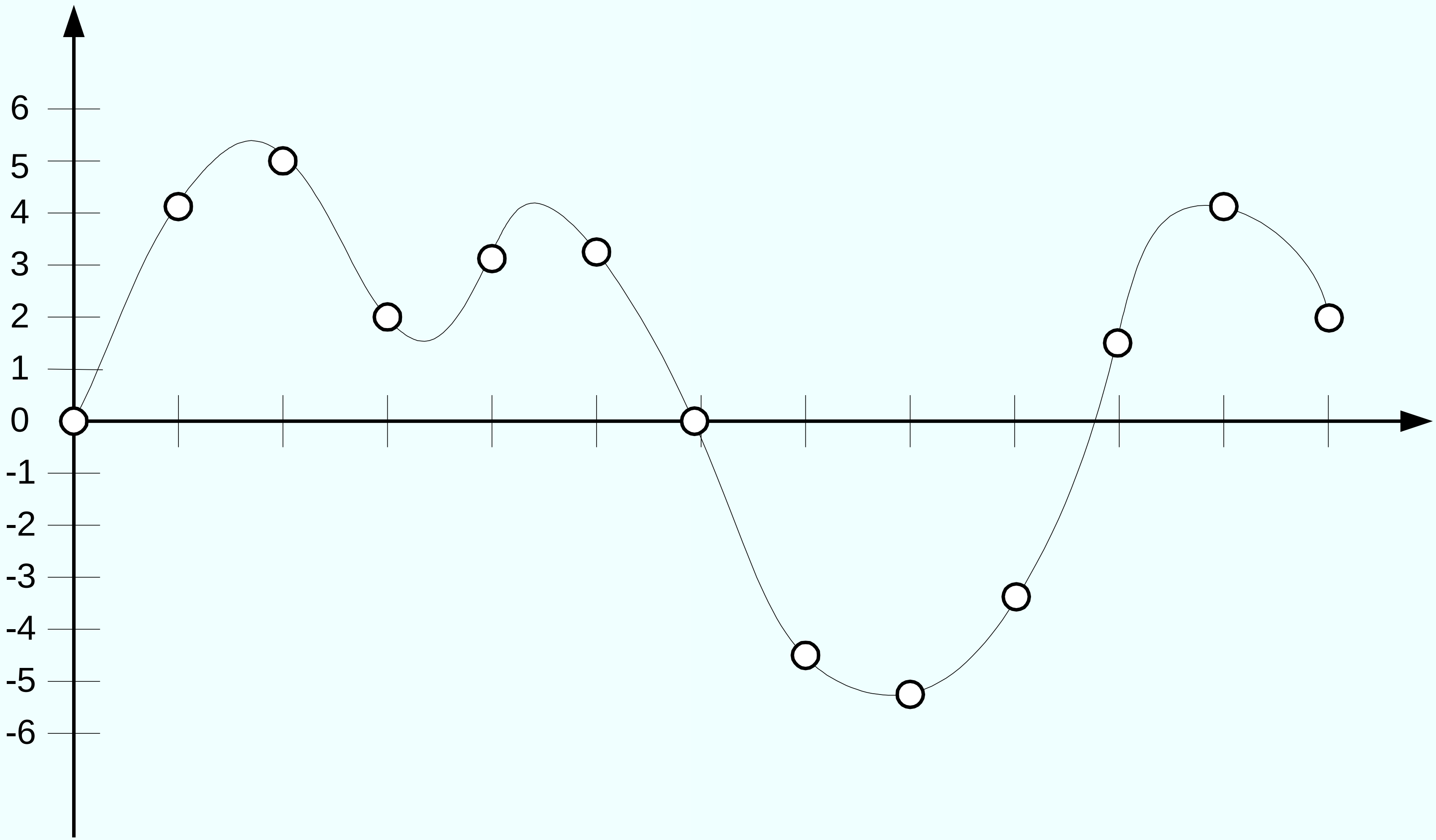
Σύγχρονα φιλμς:

24 frames / second

Ήχος

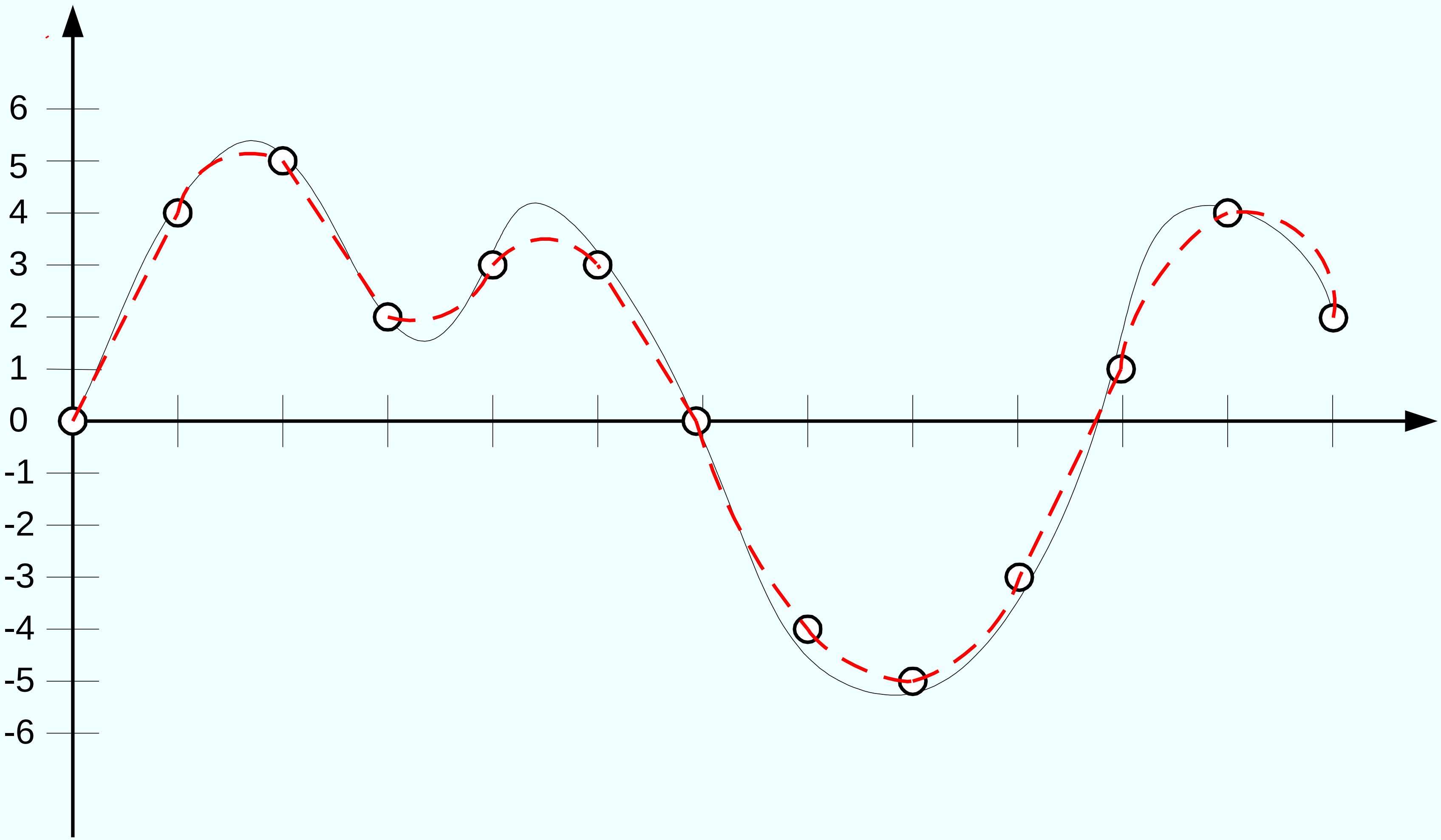


Δειγματοληψία αναλογικού σήματος



0, 4, 5, 2, 3, 3, 0, -4, -5, -3, 1, 4, 2

Δειγματοληψία αναλογικού σήματος



Δειγματοληψία αναλογικού σήματος

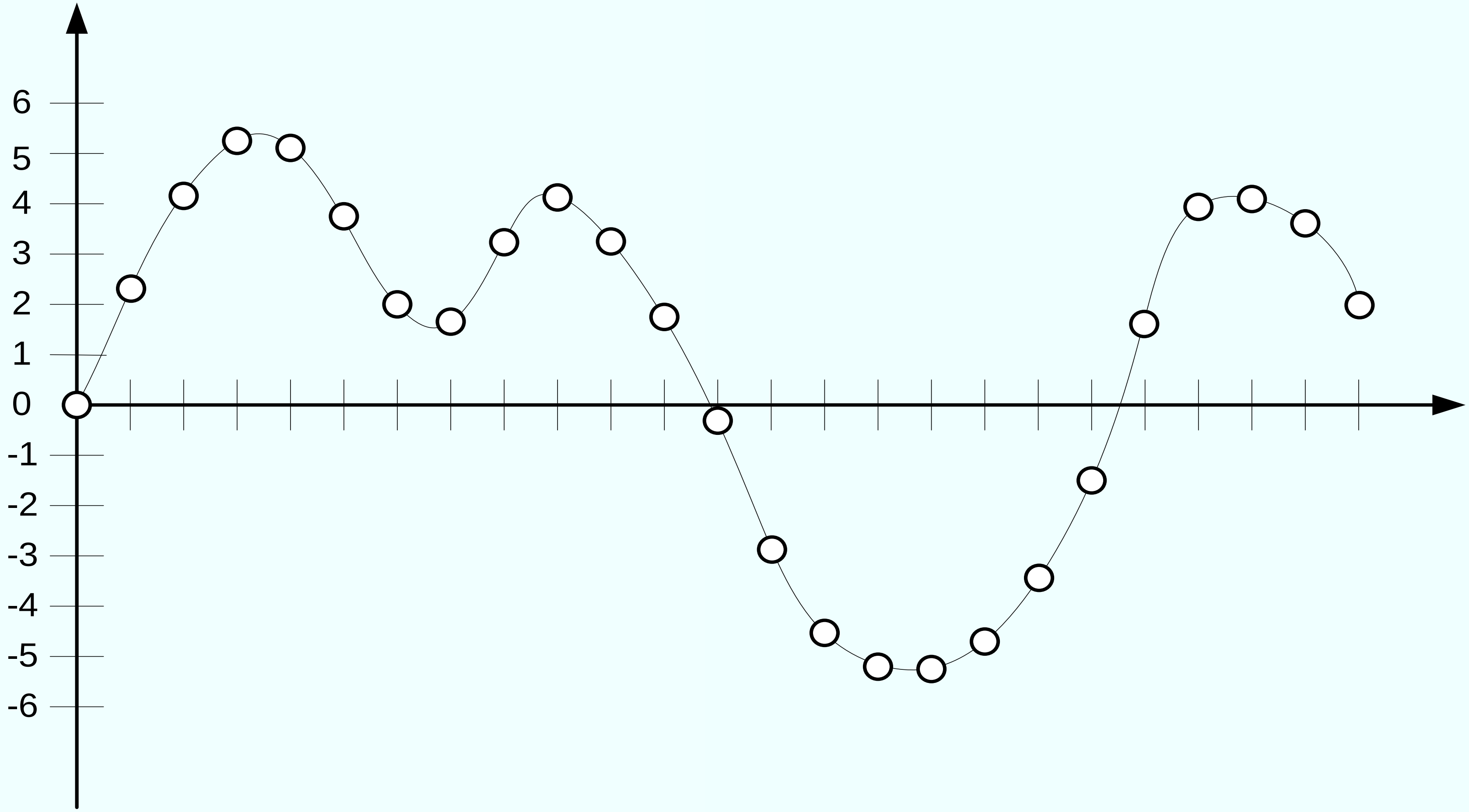
Η ακρίβεια του σήματος που αναπαράγεται σε σχέση με το αρχικό εξαρτάται από δύο παραμέτρους:

- τη συχνότητα της δειγματοληψίας,

  δηλαδή πόσο συχνά δειγματοληπτούμε

- την ακρίβεια της τιμής που καταγράφουμε

Δειγματοληψία αναλογικού σήματος



Δειγματοληψία αναλογικού σήματος

Θεώρημα δειγματοληψίας του Nyquist

Δειγματοληψία αναλογικού σήματος

Το ανθρώπινο αυτί ακούει από 20 Hz έως και 22 KHz

↓

συχνότητα δειγματοληψίας 44 KHz

(δηλαδή 44.000 δείγματα το δευτερόλεπτο)

Η μουσική ποιότητας CD παράγεται με συχνότητα δειγματοληψίας 44,1 KHz.

Μέγεθος αρχείου ήχου

Το πλήθος των δυαδικών ψηφίων που αποθηκεύονται για κάθε δευτερόλεπτο (bit rate) εξαρτάται από:

- το ρυθμό, συχνότητα δειγματοληψίας
- το πλήθος των δυαδικών ψηφίων που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση κάθε δειγματοληπτούμενης τιμής (bit resolution)

CD-ποιότητα ➔ 16 δυαδικά ψηφία ανά δείγμα

Μέγεθος αρχείου ήχου

1 δευτερόλεπτο CD-ποιότητας απαιτεί:

44.100 δείγματα ανά δευτερόλεπτο × 16 δυαδικά ψηφία ανά δείγμα =

705.600 δυαδικά ψηφία ή 705.600/8 ψηφιολέξεις = 88.200 ψηφιολέξεις = 86,1 KB.

Μέγεθος αρχείου ήχου

Στερεοφωνική μουσική (2 κανάλια):

Για ένα δευτερόλεπτο : 86,1 KB x 2 =172,2 KB.

Μία ώρα CD-ποιότητας στερεοφωνικής μουσικής απαιτεί :

172,2 KB x 3600 δευτερόλεπτα = 619.920 KB

περίπου 620 MB

↓

τεχνικές συμπίεσης της πληροφορίας

(RealAudio, MP3 κλπ.)

Εντολές γλώσσας μηχανής

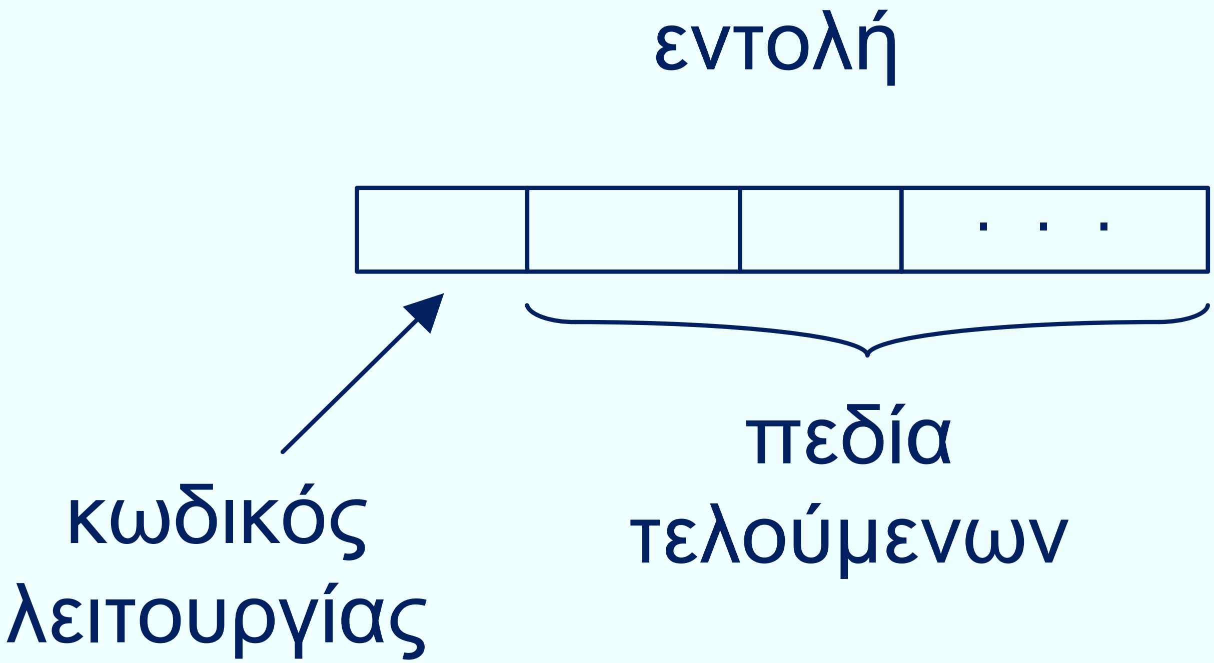
Στον υπολογιστή MIPS η εντολή

“πρόσθεσε τα περιεχόμενα των καταχωρητών 17 και 20 και τοποθέτησε το αποτέλεσμα στον καταχωρητή 9”

έχει την μορφή:

00000010001101000100100000100000

Πεδία εντολής γλώσσας μηχανής



Είδη εντολών γλώσσας μηχανής

- Εντολές μεταφοράς δεδομένων
- Αριθμητικές εντολές
- Εντολές λογικών πράξεων
- Εντολές ελέγχου της ροής του προγράμματος
- Εντολές εισόδου/εξόδου

Είδη και μέγεθος δεδομένων

Οι γλώσσες προγραμματισμού υψηλού επιπέδου υποστηρίζουν μια μεγάλη ποικιλία από είδη δεδομένων

Τα δεδομένα αποθηκεύονται στην μνήμη του υπολογιστή με ένα ενιαίο τρόπο

Έννοια της λέξης

Είδη και μέγεθος δεδομένων

- χαρακτήρες (8 δυαδικά ψηφία)
- ακέραιοι 8 δυαδικών ψηφίων (μια ψηφιολέξη)
- ακέραιοι 16 δυαδικών ψηφίων (μισή λέξη)
- ακέραιοι 32 δυαδικών ψηφίων (μια λέξη)
- ακέραιοι 64 δυαδικών ψηφίων (διπλή λέξη)
- αριθμοί 32 δυαδικών ψηφίων κινητής υποδιαστολής απλής ακρίβειας
- αριθμοί 64 δυαδικών ψηφίων κινητής υποδιαστολής διπλής ακρίβειας

Οργάνωση της κύριας μνήμης

Μια ψηφιολέξη ανά θέση μνήμης

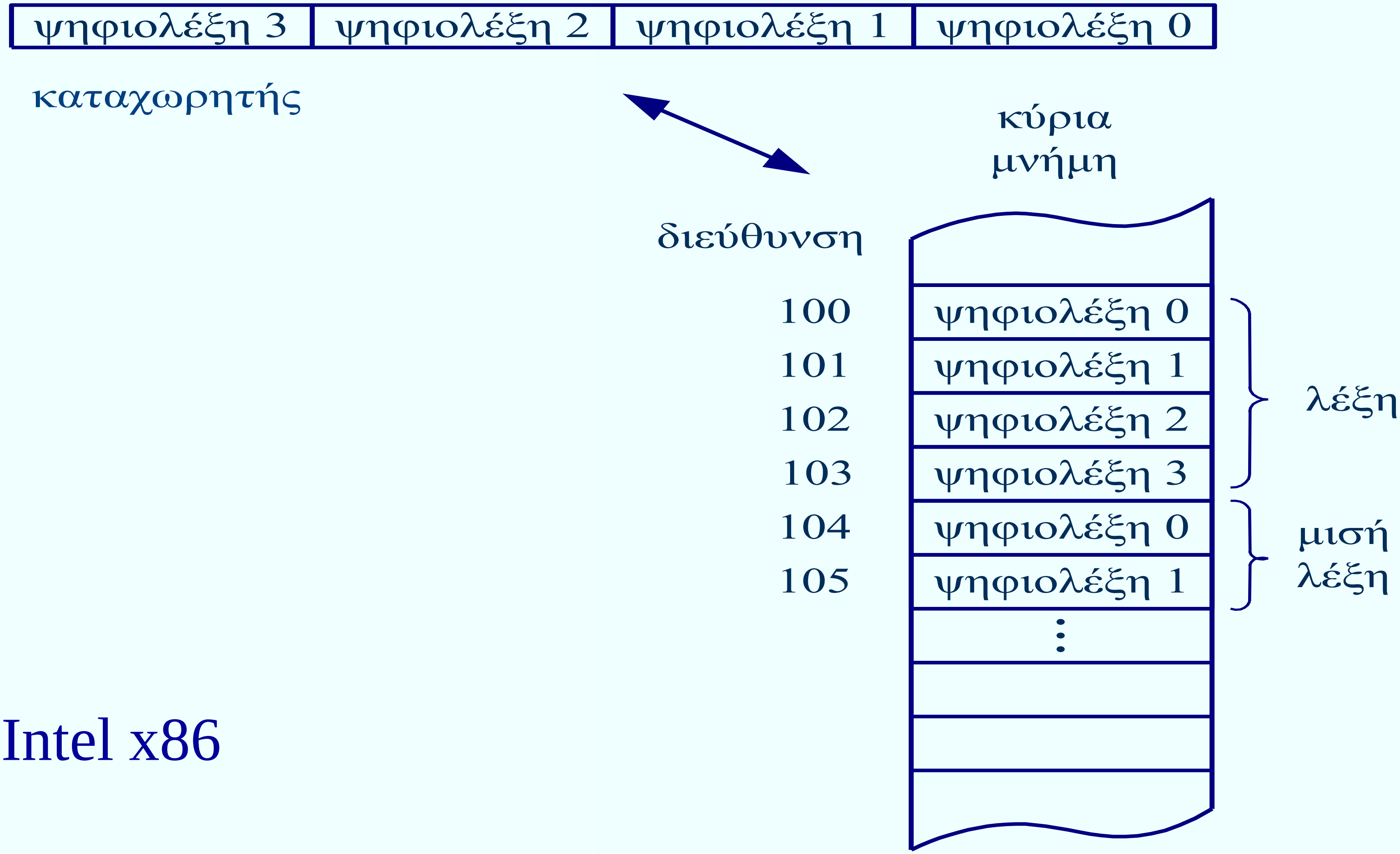
Οργάνωση της πληροφορίας στον καταχωρητή

καταχωρητής	ψηφιολέξη 3	ψηφιολέξη 2	ψηφιολέξη 1	ψηφιολέξη 0
	ψ_{31} ... ψ_{24}	ψ_{23} ... ψ_{16}	ψ_{15} ... ψ_{8}	ψ_{7} ... ψ_{0}
	ΠΣΨ			ΛΣΨ

Απεικόνιση ;


ψηφιολέξη 3
ψηφιολέξη 2
ψηφιολέξη 1
ψηφιολέξη 0
καταχωρητής
κύρια μνήμη
διεύθυνση
100
101
102
103
104
105
λέξη
μισή λέξη

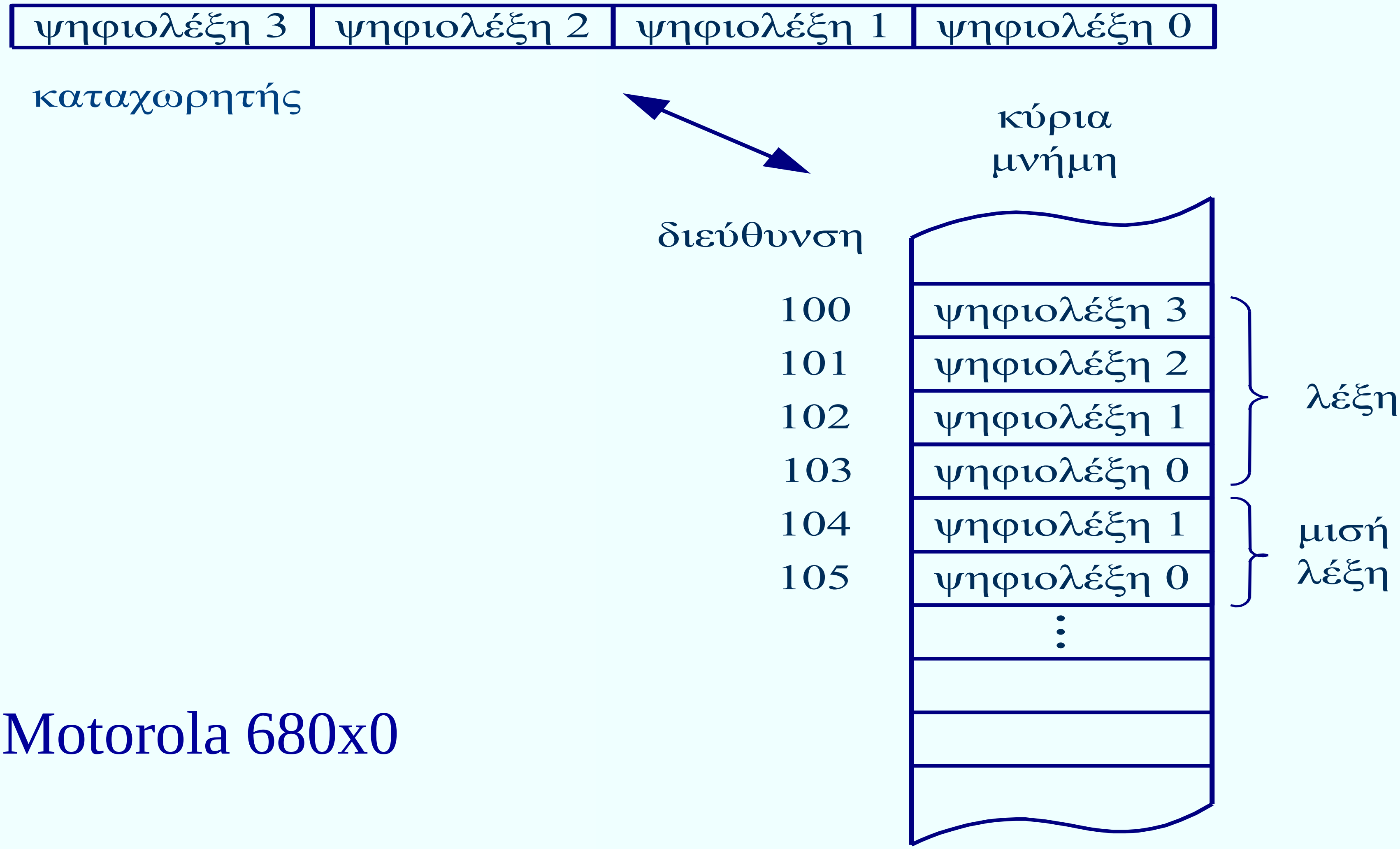
Απεικόνιση ανάλογη του μεγέθους



Intel x86

απεικόνιση ανάλογη του μεγέθους
(little endian)

Απεικόνιση αντιστρόφως ανάλογη του μεγέθους



Motorola 680x0

απεικόνιση αντιστρόφως ανάλογη του μεγέθους (big endian)

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε τρόπου απεικόνισης

Μεταφορά μεταξύ κύριας μνήμης και καταχωρητή

Μεταφραστής

Αποθήκευση χειρονακτικά

Ανάγνωση δεδομένων από αρχείο

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε τρόπου απεικόνισης

Ανάλογη του μεγέθους

Βασική διεύθυνση	**+0**	**ψηφιολέξη 0**
Βασική διεύθυνση	**+1**	**ψηφιολέξη 1**
Βασική διεύθυνση	**+2**	**ψηφιολέξη 2**
Βασική διεύθυνση	**+3**	**ψηφιολέξη 3**

Αντιστρόφως ανάλογη του μεγέθους

Βασική διεύθυνση	**+0**	**ψηφιολέξη 3**
Βασική διεύθυνση	**+1**	**ψηφιολέξη 2**
Βασική διεύθυνση	**+2**	**ψηφιολέξη 1**
Βασική διεύθυνση	**+3**	**ψηφιολέξη 0**

Ευθυγραμμισμένες διευθύνσεις (data allignment)

Όταν η φυσική διεύθυνση της κύριας μνήμης στην οποία είναι αποθηκευμένο κάθε δεδομένο είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του μήκους του δεδομένου (το μήκος του δεδομένου το μετράμε σε πολλαπλάσια του μήκους της θέσης μνήμης), τότε λέμε ότι οι διευθύνσεις των δεδομένων στην κύρια μνήμη είναι ευθυγραμμισμένες (data alignment)

Ευθυγραμμισμένες διευθύνσεις (data allignment)

Τελούμενο	Μήκος τελούμενου σε ψηφιολέξεις	Τιμή των 4 λιγότερο σημαντικών δυαδικών ψηφίων της διεύθυνσης
ψηφιολέξη	1	xxxx
Μισή λέξη	2	xxx0
λέξη	4	xx00
Διπλή λέξη	8	x000
Τετραπλή λέξη	16	0000

Ευθυγραμμισμένες διευθύνσεις (data allignment)

```
struct S1 {
 double a;          /* διπλή λέξη*/
 char b;            /* ψηφιολέξη*/
 int c;             /* λέξη*/
 short d;           /* μισή λέξη */
} example1;
```

διεύθυνση	μεταβλητή
X00000	a
X00001	
X00010	
X00011	
X00100	
X00101	
X00110	
X00111	
X01000	b
X01001	
X01010	
X01011	
X01100	c
X01101	
X01110	
X01111	
X10000	d
X10001	
X10010	
X10011	

Ευθυγραμμισμένες διευθύνσεις (data allignment)

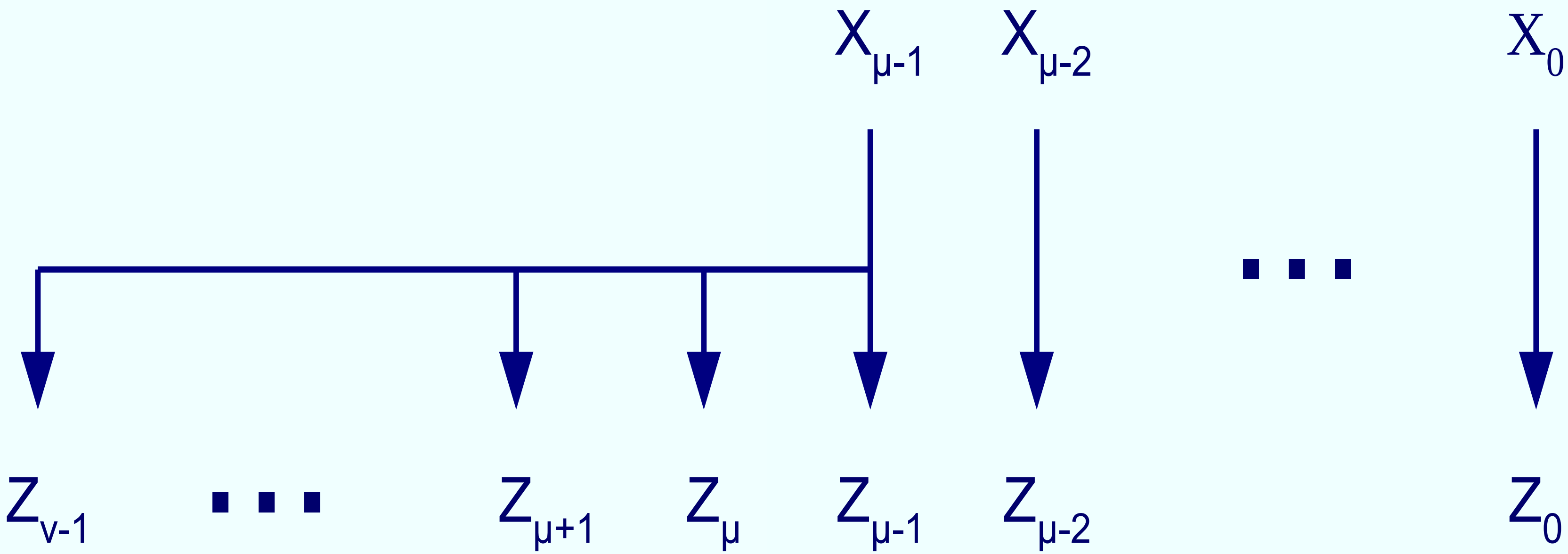
```
struct S2 {
 double a;              /* διπλή λέξη*/
 char b;                /* ψηφιολέξη*/
 short d;               /* μισή λέξη */
 int c;                 /* λέξη*/
 } example2;
```

<table>
<tr><th>διεύθυνση</th><th>μεταβλητή</th></tr>
<tr><td>X00000</td><td rowspan="8">a</td></tr>
<tr><td>X00001</td></tr>
<tr><td>X00010</td></tr>
<tr><td>X00011</td></tr>
<tr><td>X00100</td></tr>
<tr><td>X00101</td></tr>
<tr><td>X00110</td></tr>
<tr><td>X00111</td></tr>
<tr><td>X01000</td><td>b</td></tr>
<tr><td>X01001</td><td></td></tr>
<tr><td>X01010</td><td rowspan="2">d</td></tr>
<tr><td>X01011</td></tr>
<tr><td>X01100</td><td rowspan="4">c</td></tr>
<tr><td>X01101</td></tr>
<tr><td>X01110</td></tr>
<tr><td>X01111</td></tr>
</table>

Υποστήριξη δεδομένων διαφόρων μεγεθών

Αριθμητικές μονάδες;

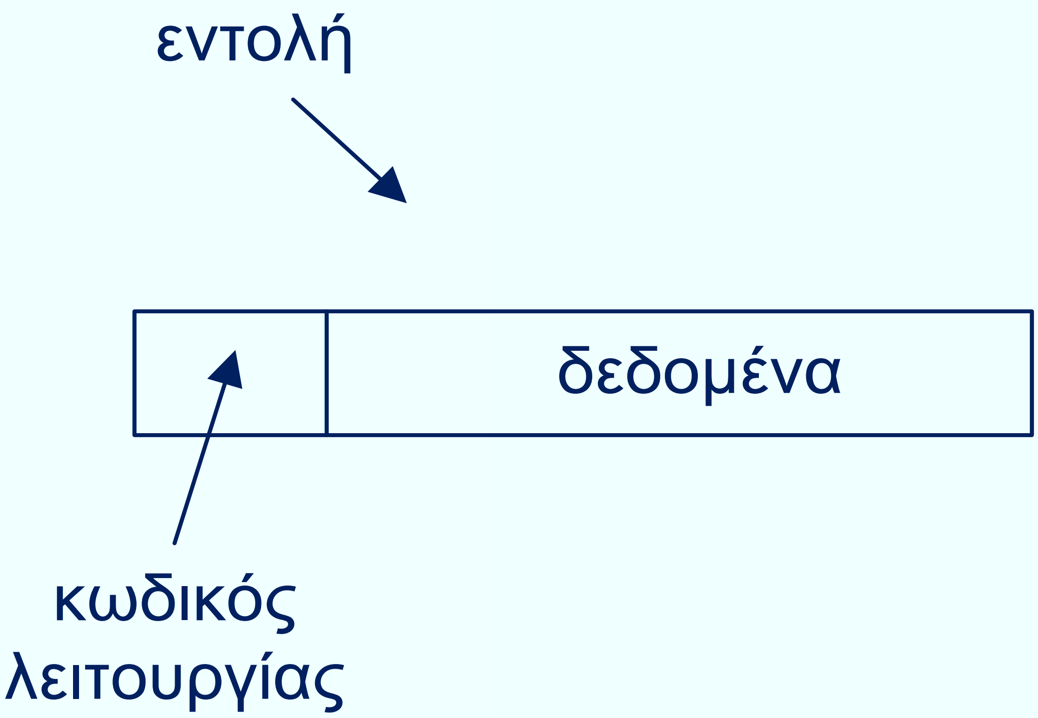
Επέκταση ορίων δεδομένου σε παράσταση συμπληρώματος ως προς 2



Τρόποι διευθυνσιοδότησης της κύριας μνήμης (Addressing Modes)

- Άμεσος τρόπος διευθυνσιοδότησης
  (Immediate Addressing Mode)
- Κατ' ευθείαν τρόπος διευθυνσιοδότησης
  (Direct Addressing Mode)
  - Μνήμης
  - Καταχωρητή
- Έμμεσος τρόπος διευθυνσιοδότησης
  (Indirect Addressing Mode)
  - Με χρήση καταχωρητή
  - Με χρήση της κύριας μνήμης
- Σχετική διευθυνσιοδότηση
  (relative addressing mode)

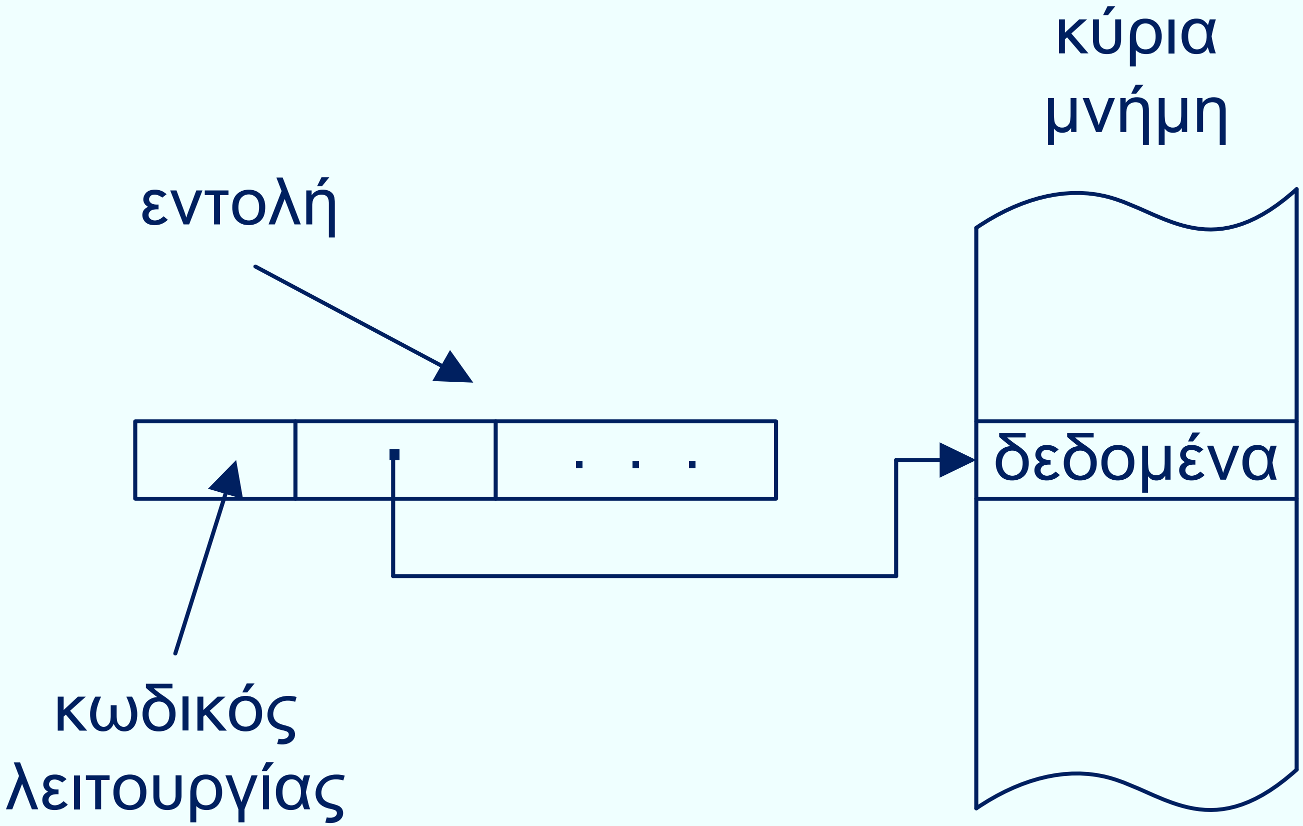
Άμεσος τρόπος διευθυνσιοδότησης



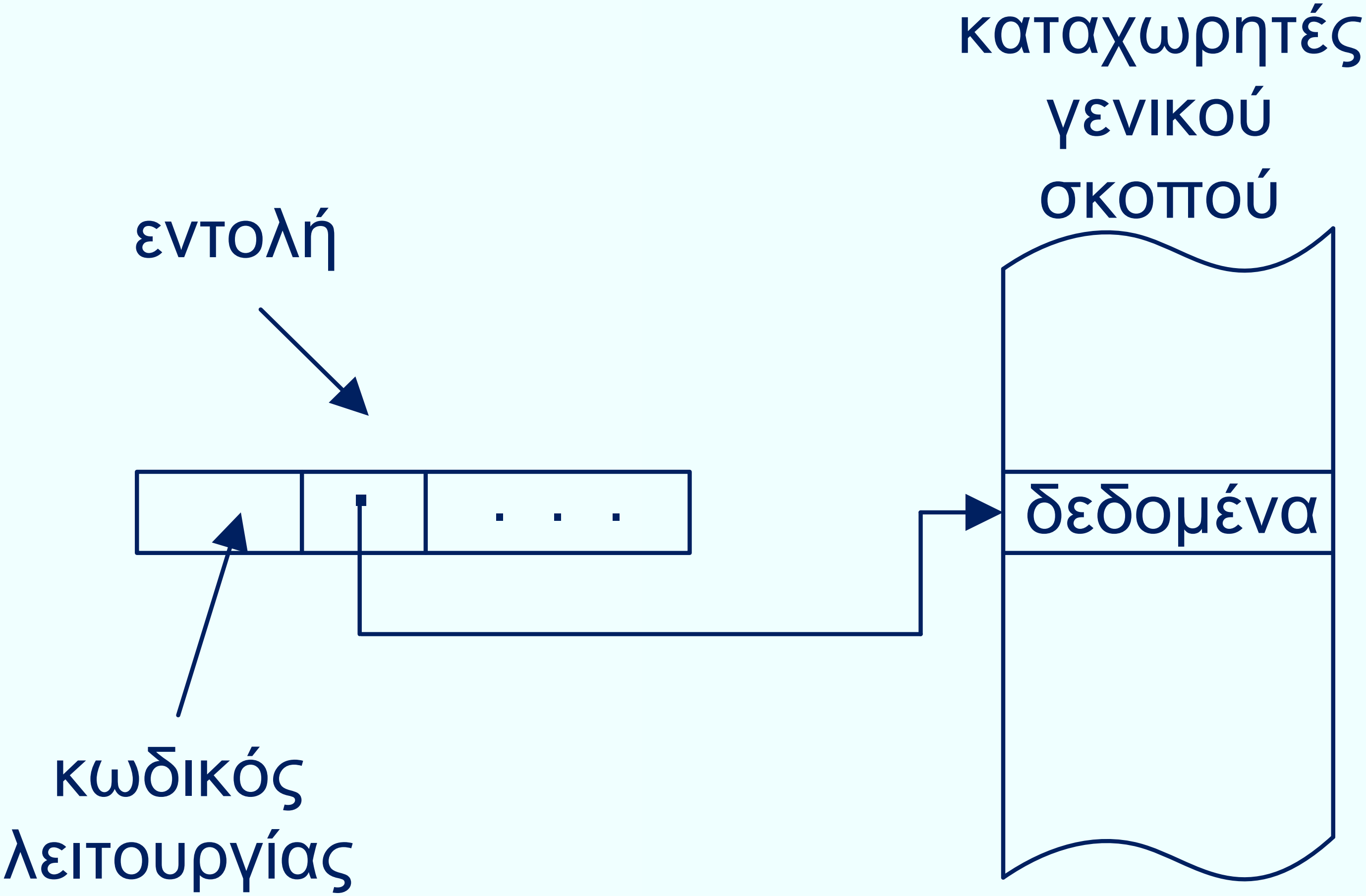
Κατ' ευθείαν τρόπος διευθυνσιοδότησης (Direct Addressing Mode)

- Κατ' ευθείαν τρόπος διευθυνσιοδότησης
  - » Μνήμης
  - » Καταχωρητή

Κατ' ευθείαν τρόπος διευθυνσιοδότησης θέσης μνήμης



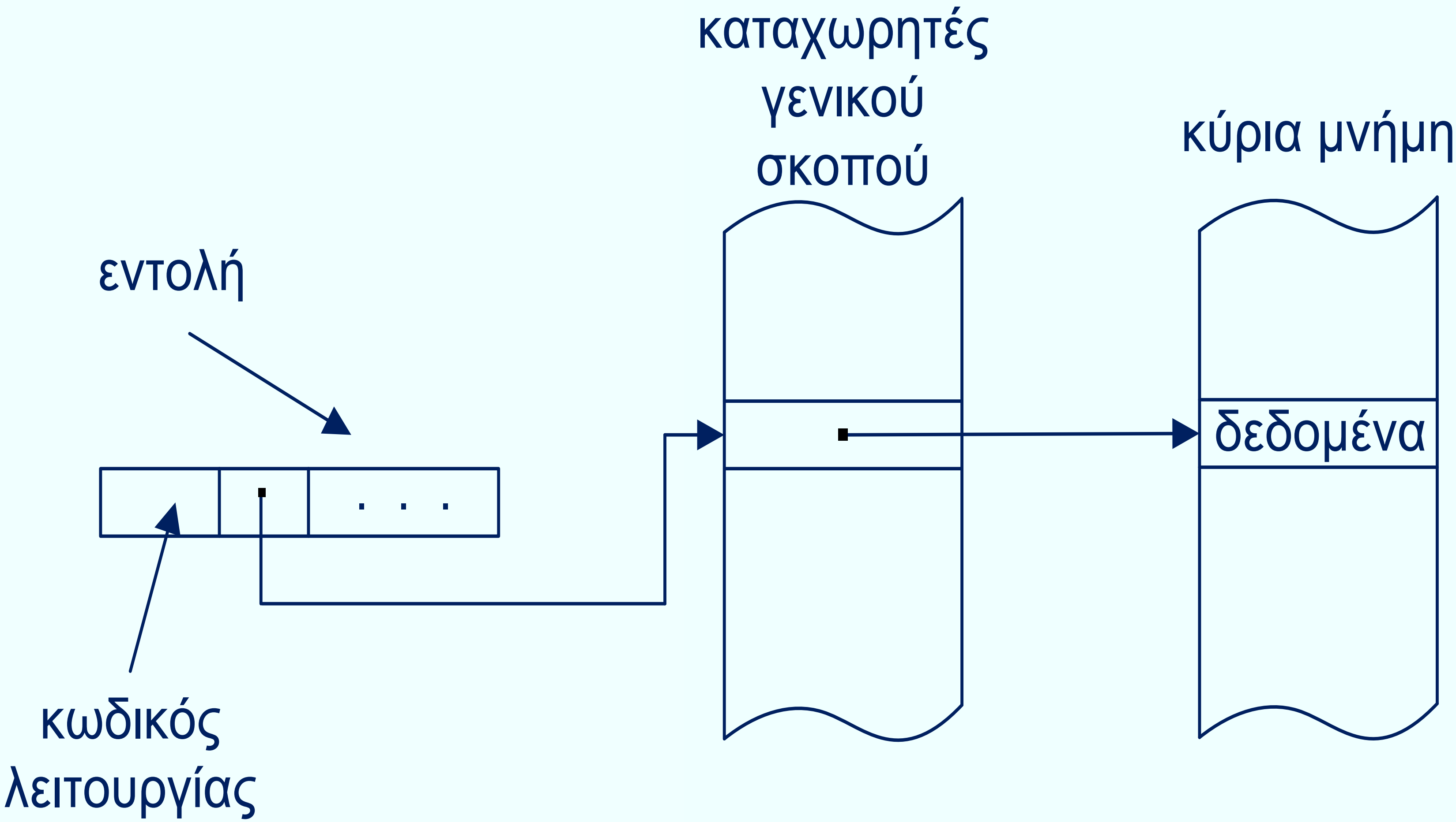
Κατ' ευθείαν τρόπος διευθυνσιοδότησης καταχωρητή



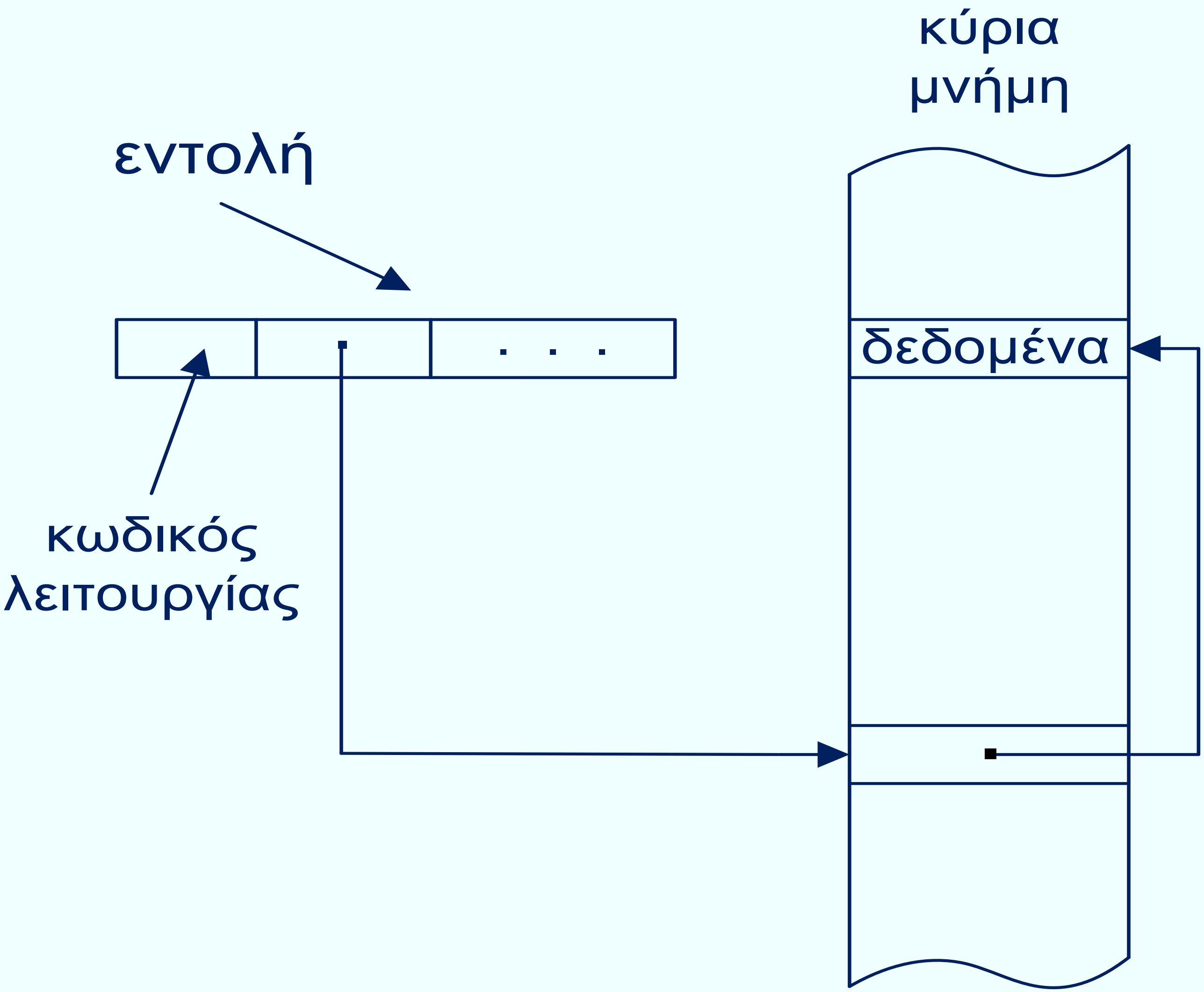
Έμμεσος τρόπος διευθυνσιοδότησης (Indirect Addressing Mode)

- Έμμεσος τρόπος διευθυνσιοδότησης
  - » με χρήση καταχωρητή
  - » με χρήση της κύριας μνήμης

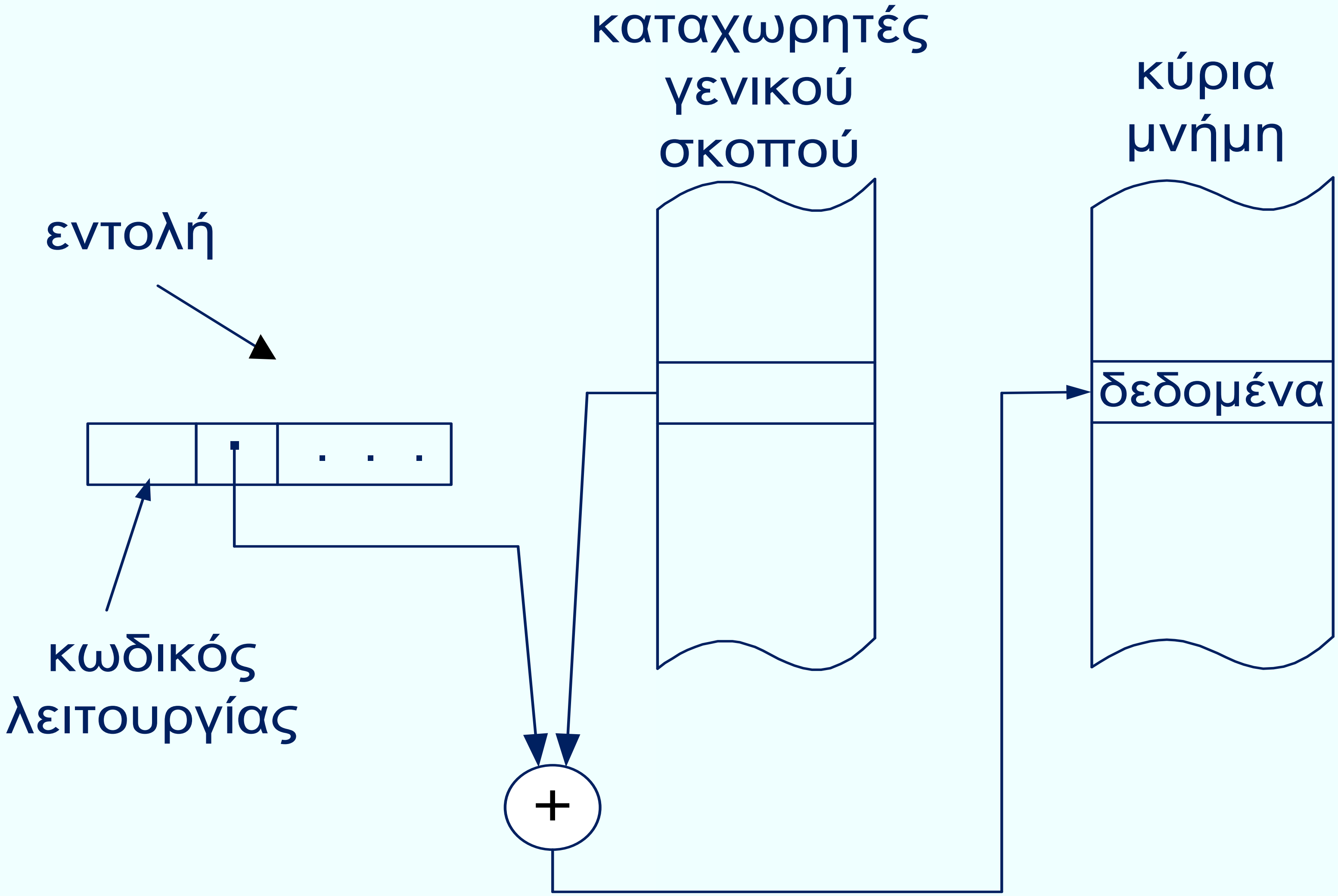
Έμμεσος τρόπος διευθυνσιοδότησης με χρήση καταχωρητή



Έμμεσος τρόπος διευθυνσιοδότησης με χρήση θέσης μνήμης



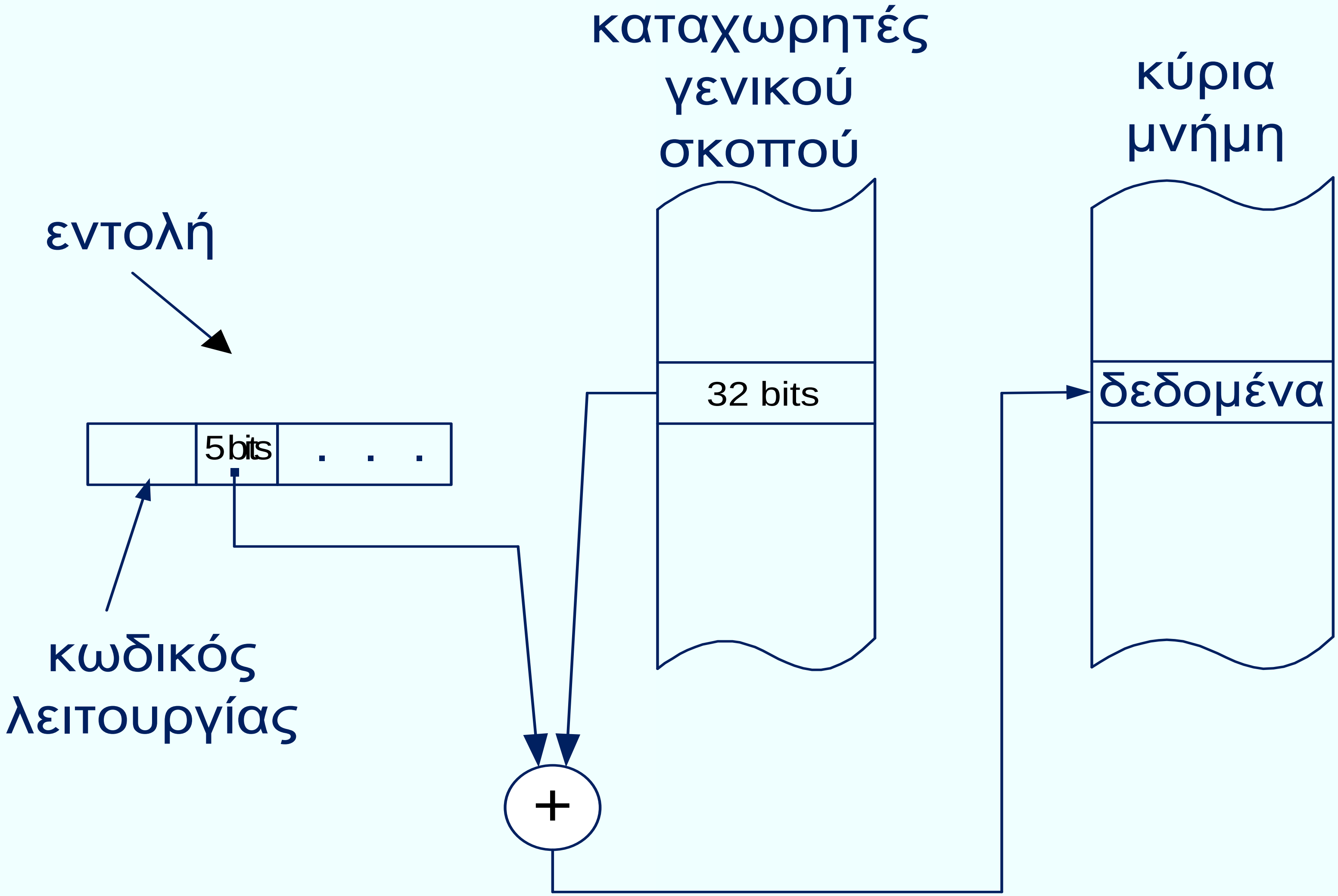
Σχετική διευθυνσιοδότηση



Σχετική διευθυνσιοδότηση

- Επειδή ολόκληρη η διεύθυνση δεν χρειάζεται να υπάρχει στο πεδίο του τελούμενου της εντολής, το μήκος της εντολής μπορεί να ελαττωθεί

Σχετική διευθυνσιοδότηση



Σχετική διευθυνσιοδότηση

- Επειδή ολόκληρη η διεύθυνση δεν χρειάζεται να υπάρχει στο πεδίο του τελούμενου της εντολής, το μήκος της εντολής μπορεί να ελαττωθεί
- Είναι δυνατόν να έχουμε προγράμματα σε εκτελέσιμη μορφή που μπορούν να εκτελεστούν σωστά σε οποιαδήποτε περιοχή της κύριας μνήμης και αν φορτωθούν (statically position independent programs)

Σχετική διευθυνσιοδότηση

…

ADD r1, r2, r3

MULT r1, r4, r5

BRE r3, r5, d

SUB r6, r5, r8

…

Σχετική διευθυνσιοδότηση

- Επειδή ολόκληρη η διεύθυνση δεν χρειάζεται να υπάρχει στο πεδίο του τελούμενου της εντολής, το μήκος της εντολής μπορεί να ελαττωθεί
- Είναι δυνατόν να έχουμε προγράμματα σε εκτελέσιμη μορφή που μπορούν να εκτελεστούν σωστά σε οποιαδήποτε περιοχή της κύριας μνήμης και αν φορτωθούν (statically position independent programs)
- Αλλάζοντας το περιεχόμενο του καταχωρητή A ο επεξεργαστής μπορεί να αλλάξει τις απόλυτες διευθύνσεις που αναφέρονται από μία ομάδα εντολών B (relocatability of programs and data segments)

Σχετική διευθυνσιοδότηση

r10 | 100

…

102 MULT r1, r4, r5

104 JME r3, r5, 52, r10

106 STORE c, r5

…

152 DIV r5, r6, r8

…

r10 | 500

…

502 MULT r1, r4, r5

504 JME r3, r5, 52, r10

506 STORE c, r5

…

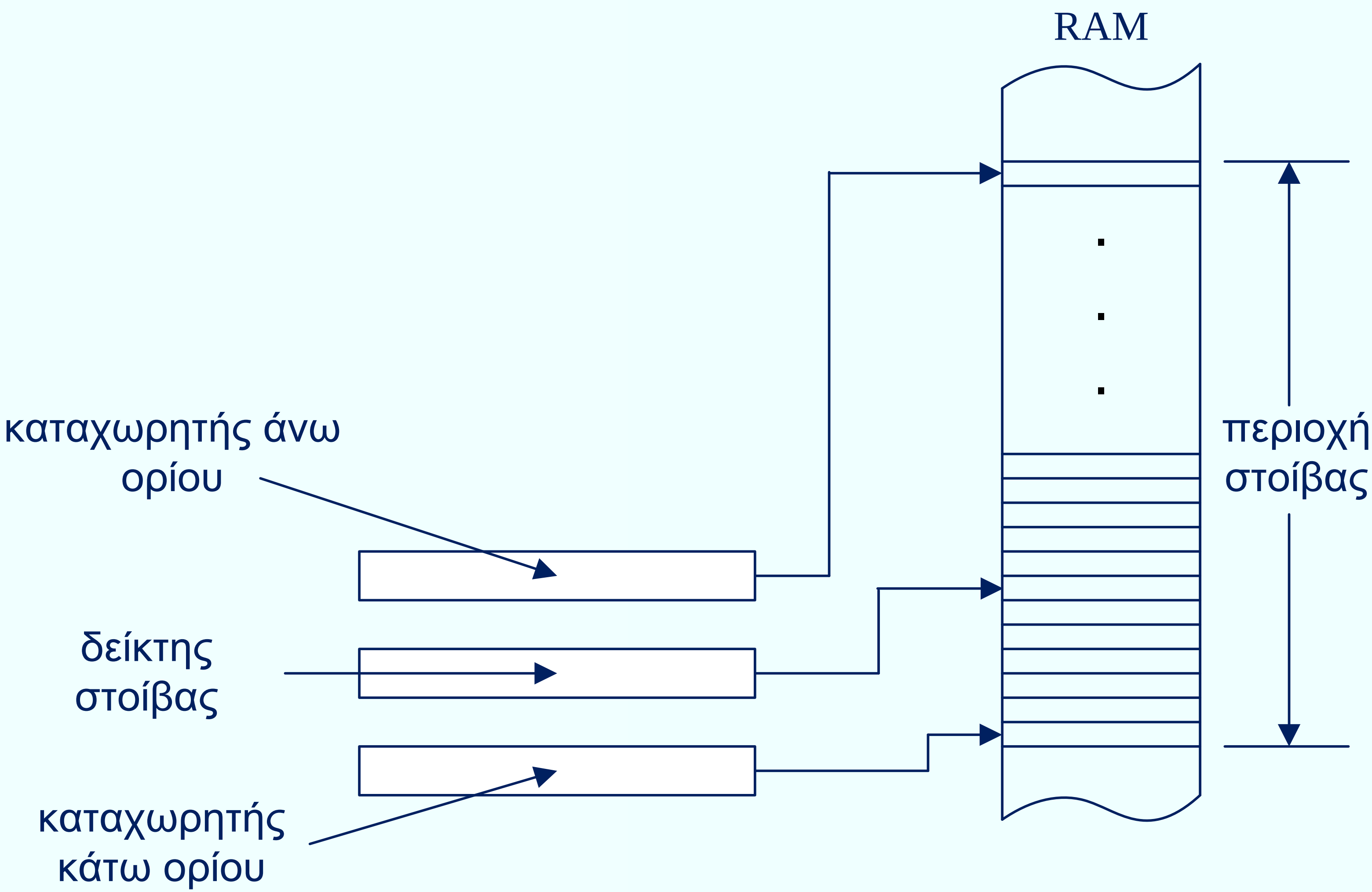
552 DIV r5, r6, r8

…

Σχετική διευθυνσιοδότηση

- Επειδή ολόκληρη η διεύθυνση δεν χρειάζεται να υπάρχει στο πεδίο του τελούμενου της εντολής, το μήκος της εντολής μπορεί να ελαττωθεί
- Είναι δυνατόν να έχουμε προγράμματα σε εκτελέσιμη μορφή που μπορούν να εκτελεστούν σωστά σε οποιαδήποτε περιοχή της κύριας μνήμης και αν φορτωθούν (statically position independent programs)
- Αλλάζοντας το περιεχόμενο του καταχωρητή A ο επεξεργαστής μπορεί να αλλάξει τις απόλυτες διευθύνσεις που αναφέρονται από μία ομάδα εντολών B (relocatability of programs and data segments)
- Ο καταχωρητής A μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση δεικτών ώστε να διευκολυνθεί η επεξεργασία δεδομένων με δείκτες

Μηχανισμός στοίβας (stack)



Ταξινόμηση βάσει του συνόλου εντολών

Αρχιτεκτονικές που βασίζονται στη χρήση:

- του μηχανισμού στοίβας (stack architectures)
- του συσσωρευτή (accumulator architectures)
- καταχωρητών γενικού σκοπού

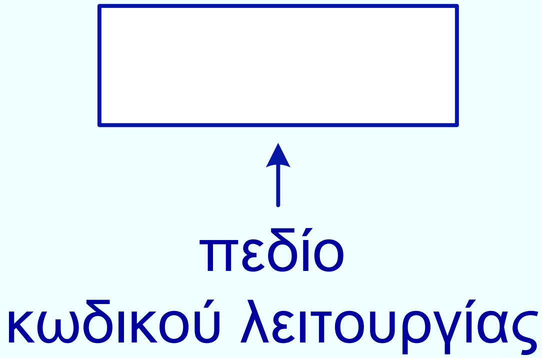
  (general-purpose register architectures)

  » καταχωρητή-μνήμης

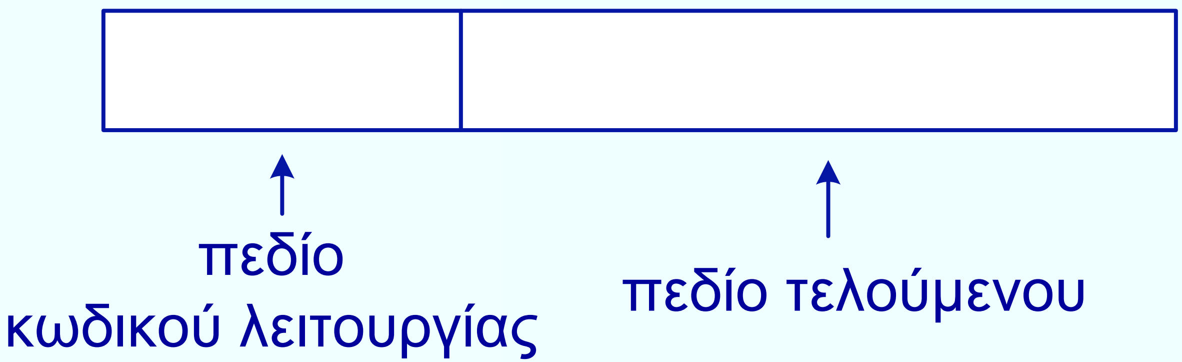
  » καταχωρητή –καταχωρητή

Αρχιτεκτονική μηχανισμού στοίβας: μορφή εντολών

μορφή εντολής εκτέλεσης
αριθμητικής ή λογικής πράξης



μορφή εντολής PUSH X ή POP X

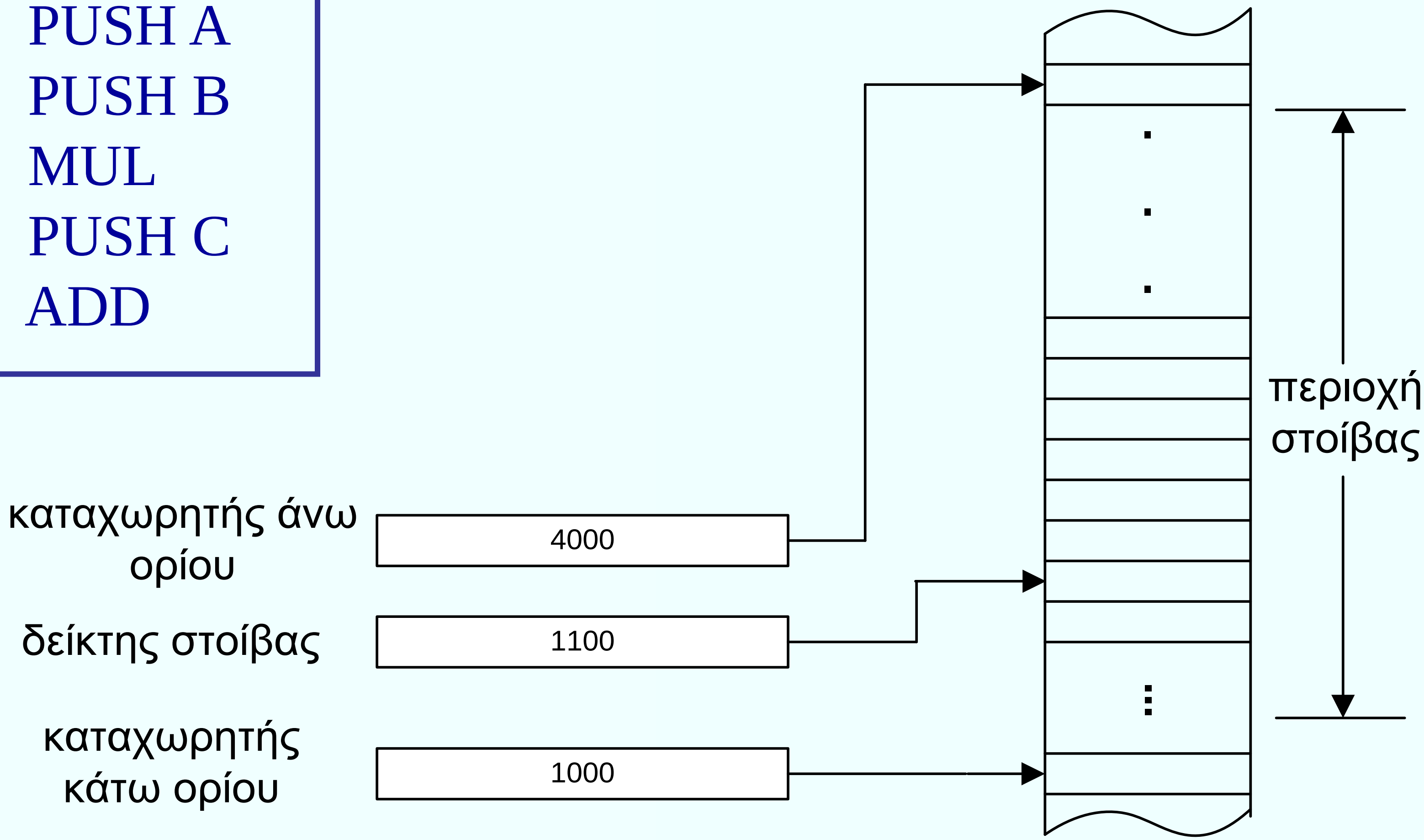


Εκτέλεση προγράμματος σε μηχανή που βασίζεται στη χρήση του μηχανισμού στοίβας

Αρχική κατάσταση

Πρόγραμμα

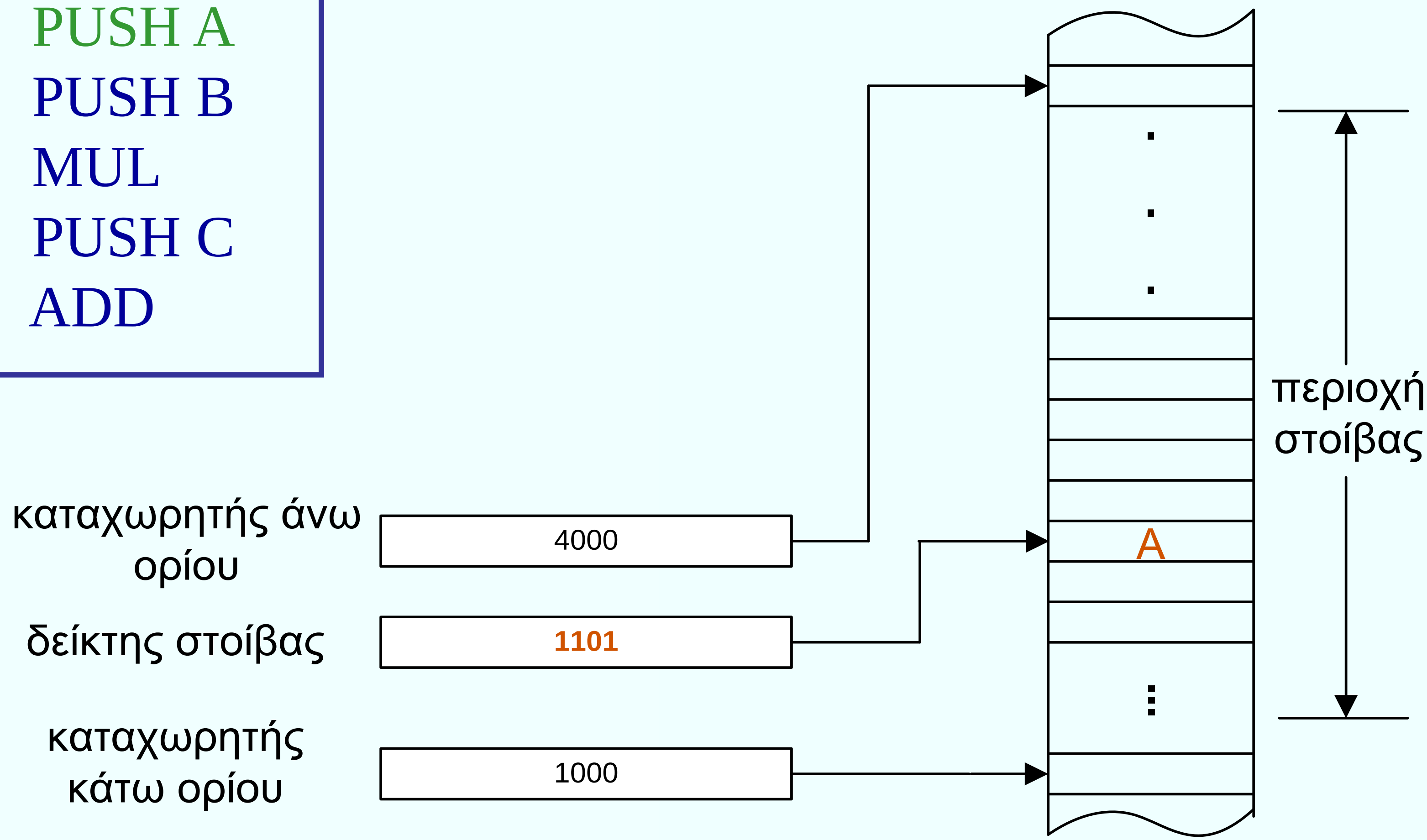
PUSH A
PUSH B
MUL
PUSH C
ADD



Μετά την εκτέλεση της εντολής “PUSH A”

<u>Πρόγραμμα</u>

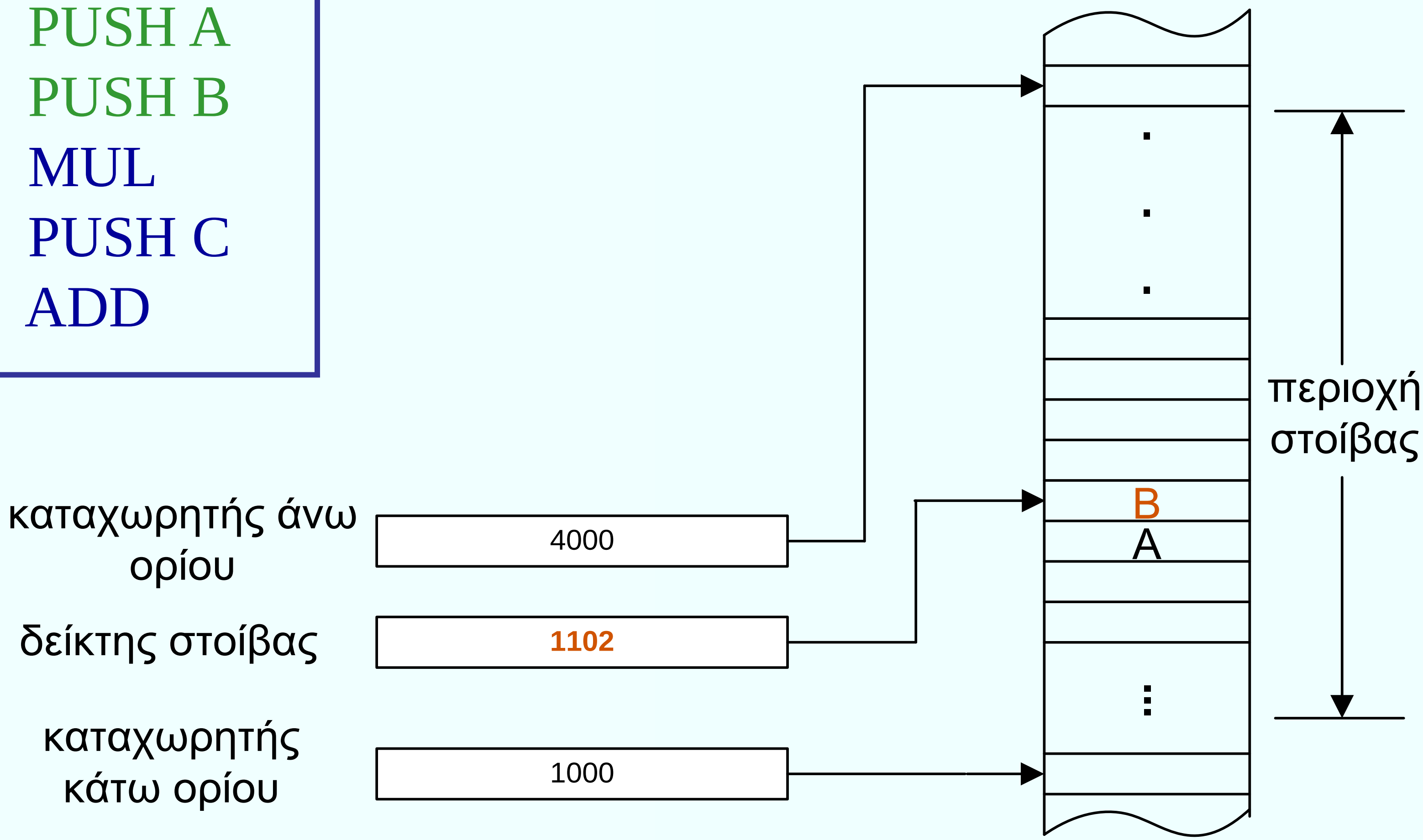
PUSH A
PUSH B
MUL
PUSH C
ADD



Μετά την εκτέλεση της εντολής “PUSH B”

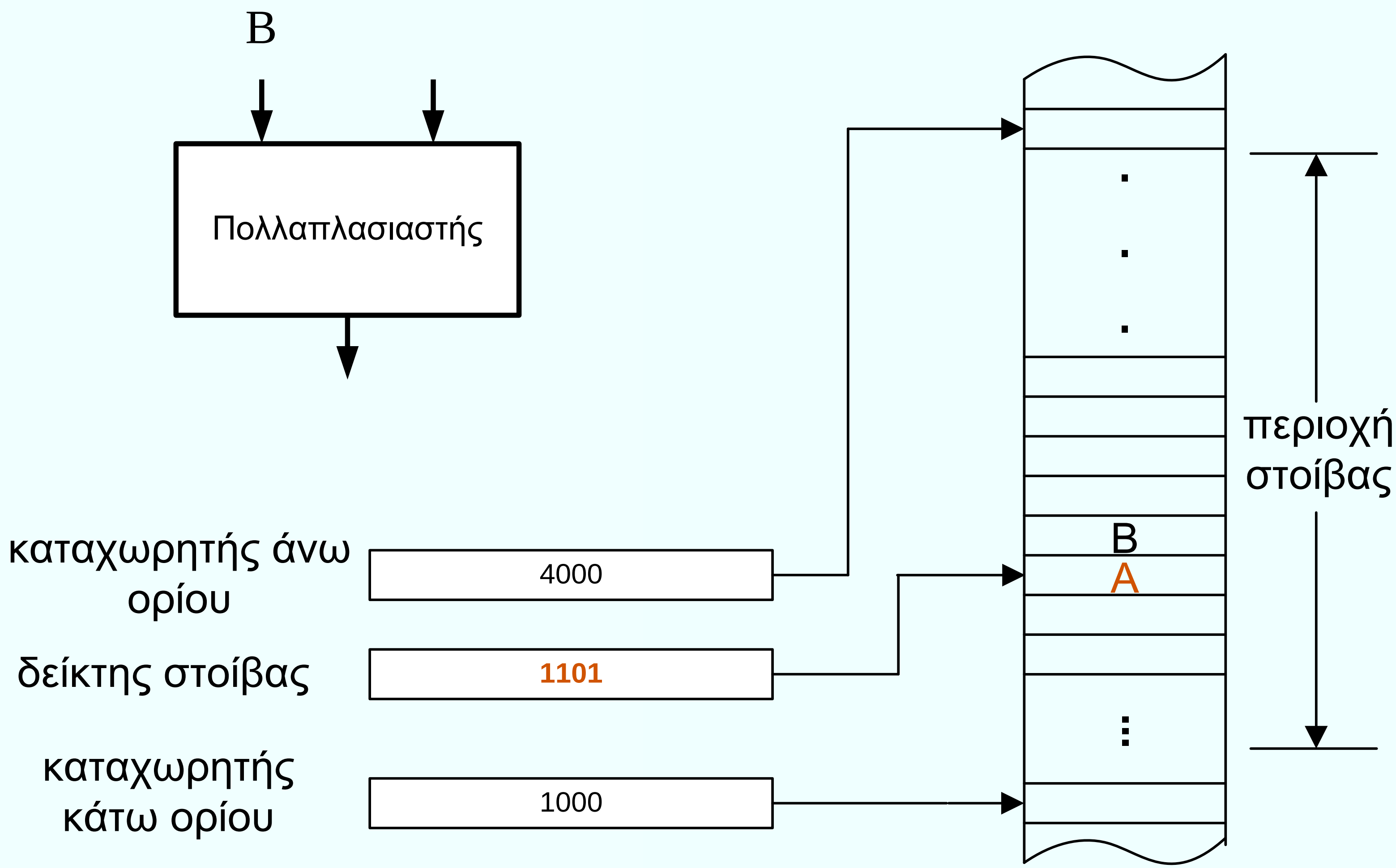
<u>Πρόγραμμα</u>

PUSH A
PUSH B
MUL
PUSH C
ADD

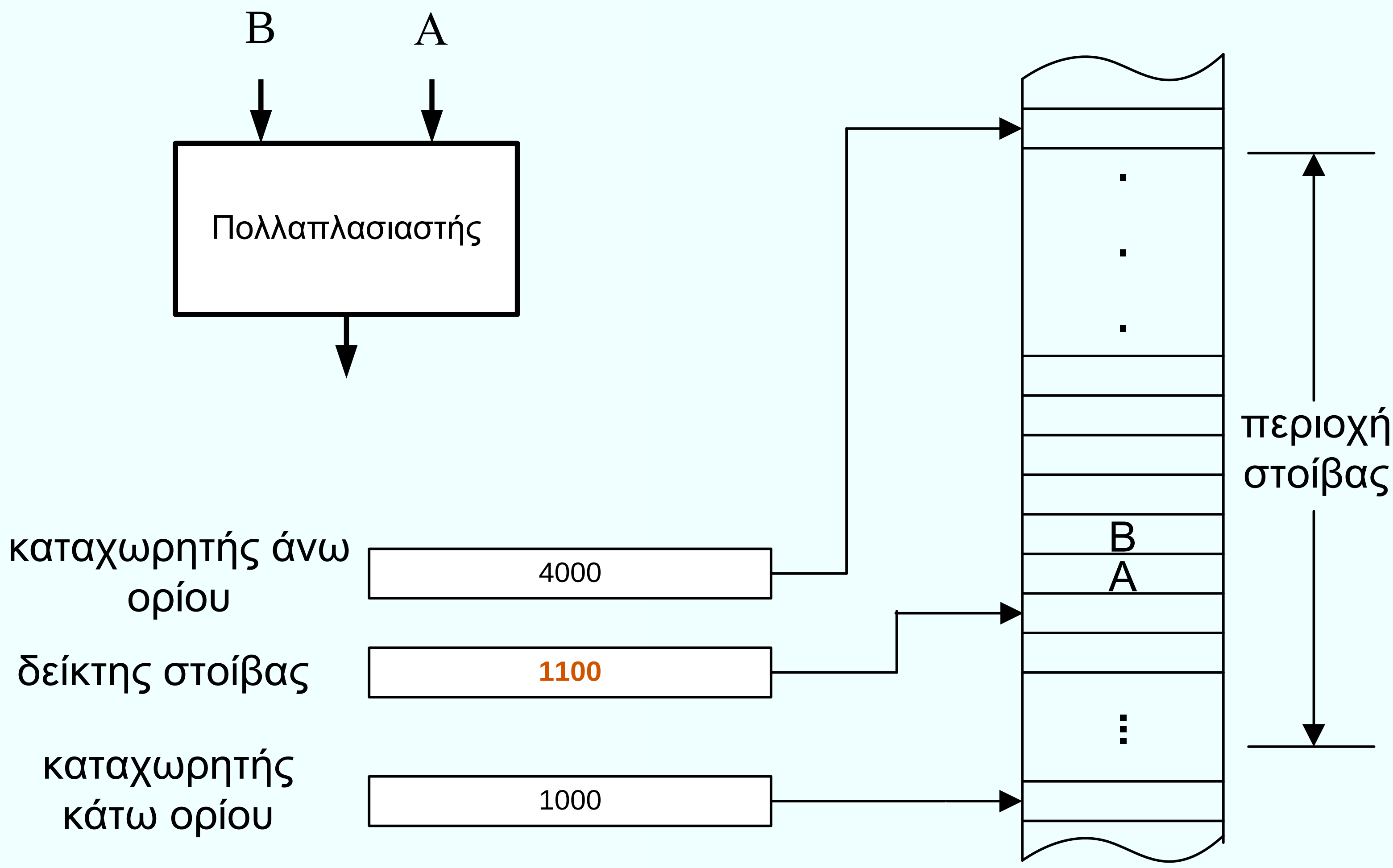


Εκτέλεση της εντολής “MUL”: Πρώτο βήμα

Η εντολή “MUL” εκτελείται σε τρία βήματα



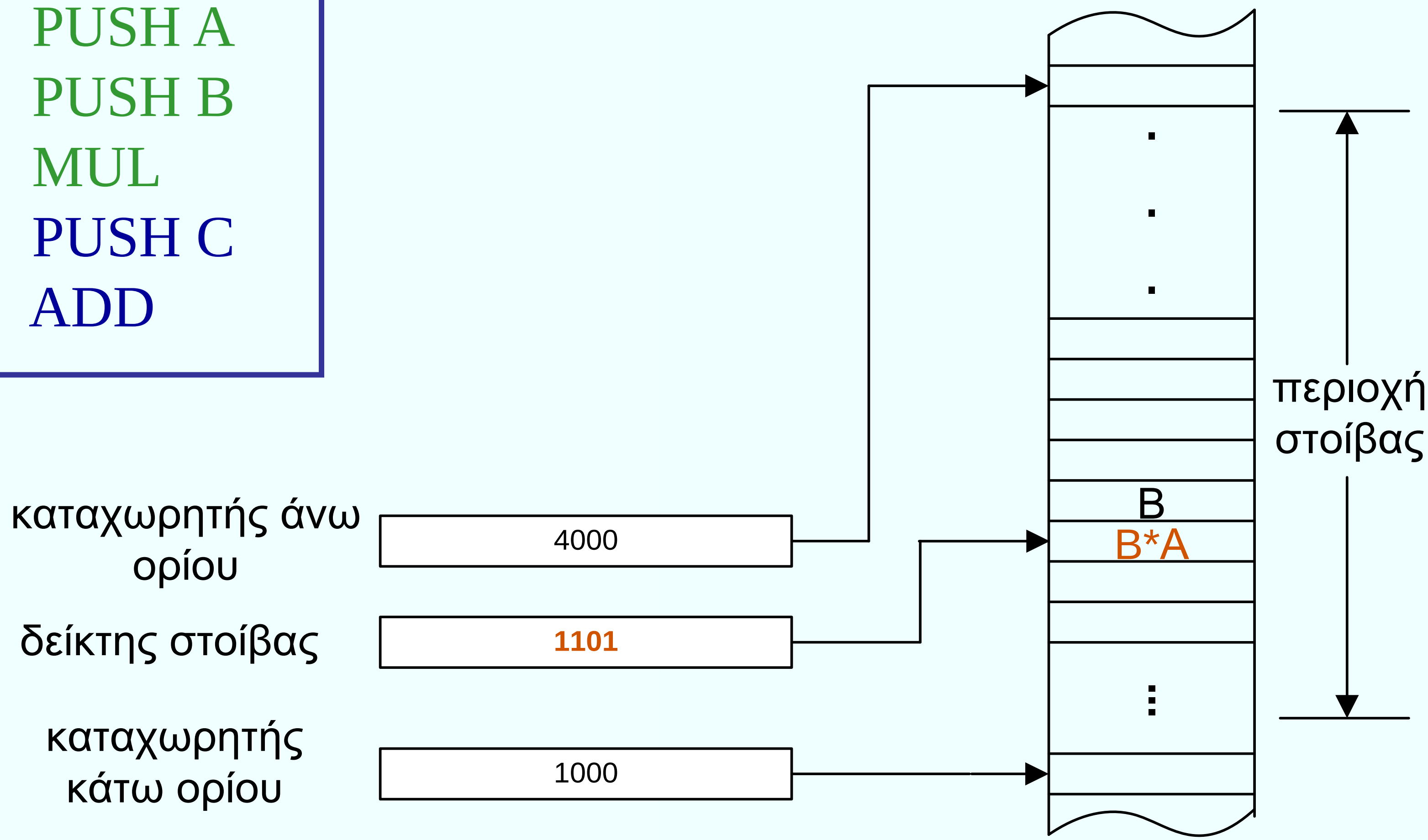
Εκτέλεση της εντολής “MUL”: Δεύτερο βήμα



Μετά την εκτέλεση της εντολής “MUL”

<u>Πρόγραμμα</u>

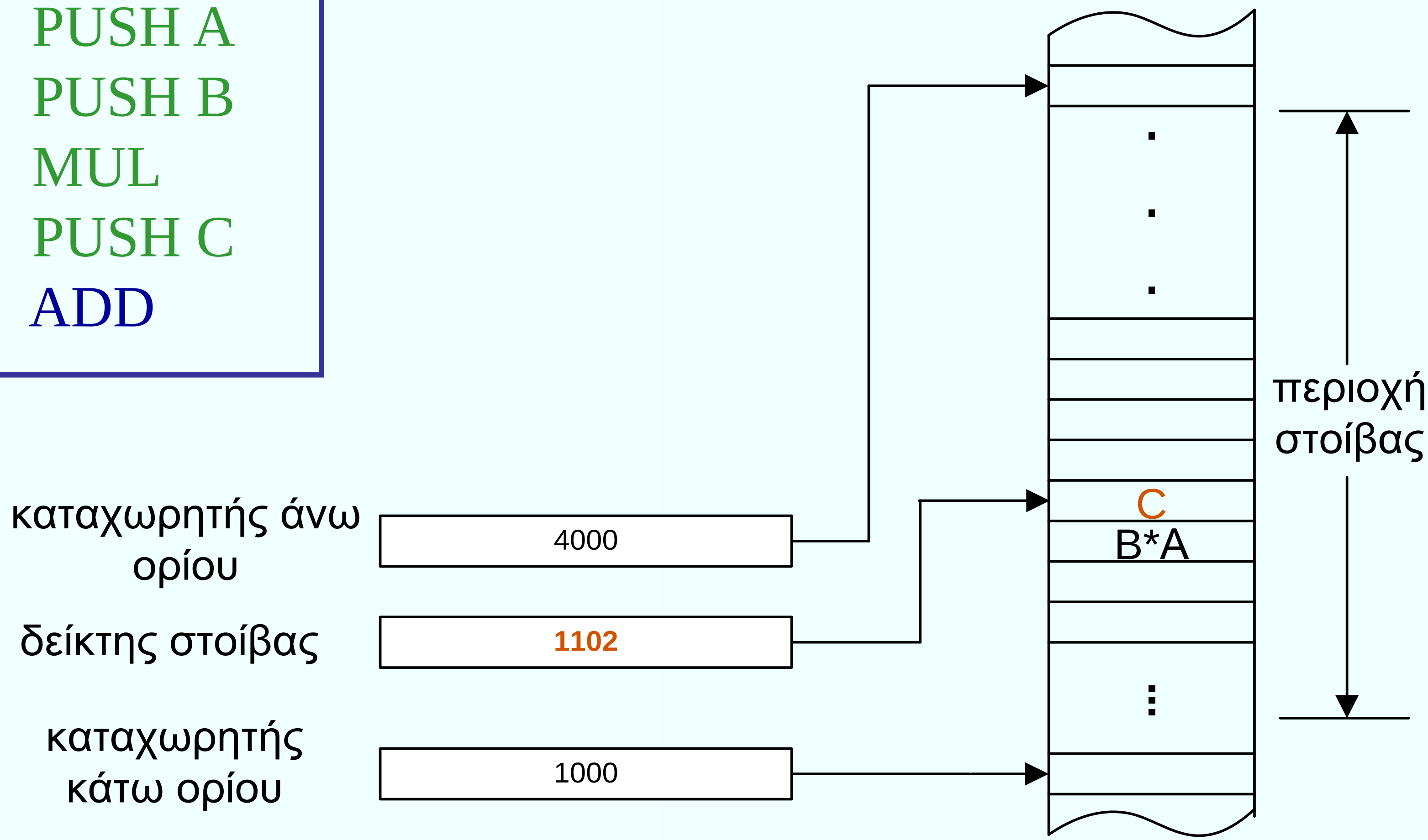
PUSH A
PUSH B
MUL
PUSH C
ADD



Μετά την εκτέλεση της εντολής “PUSH C”

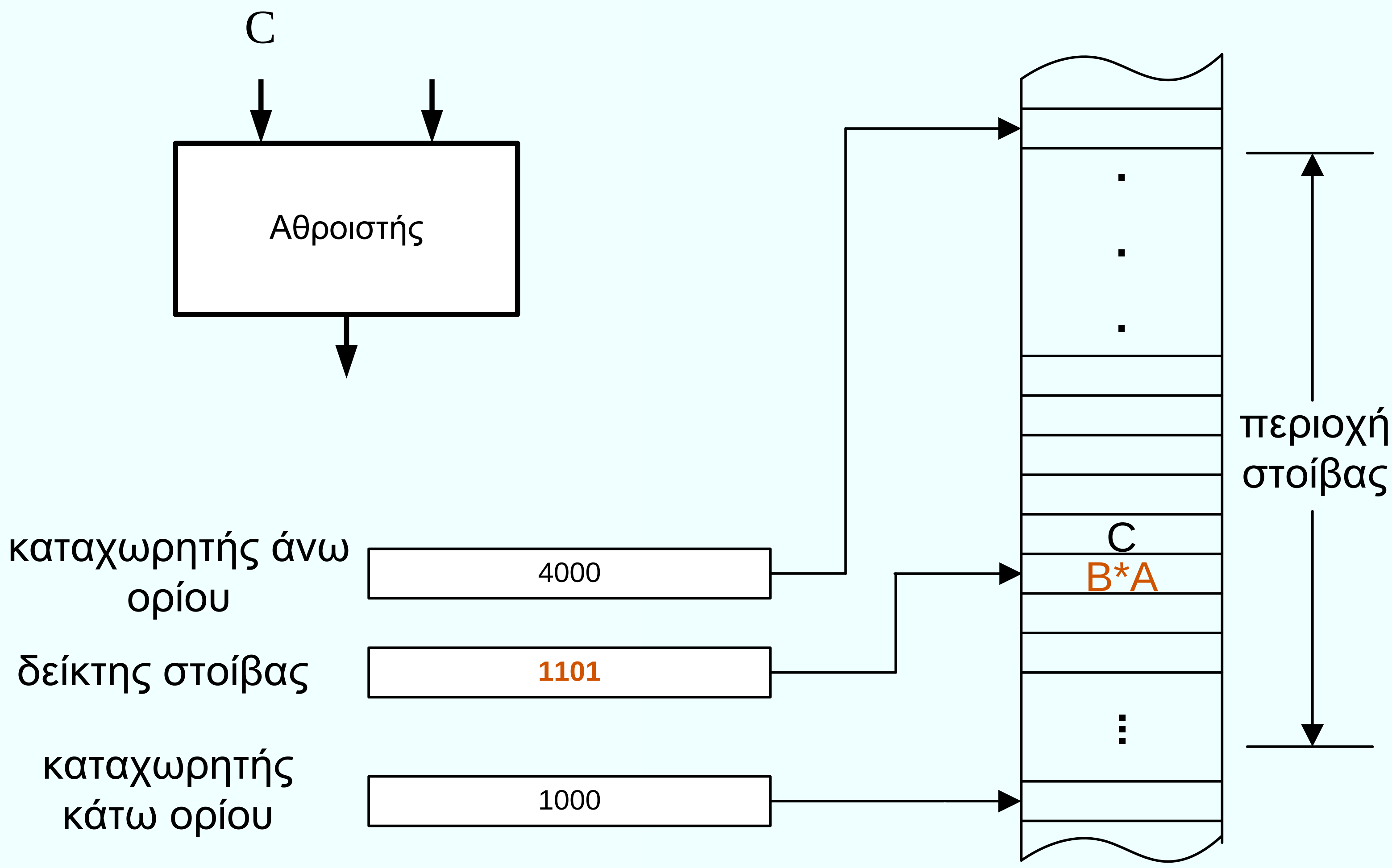
Πρόγραμμα

PUSH A
PUSH B
MUL
PUSH C
ADD

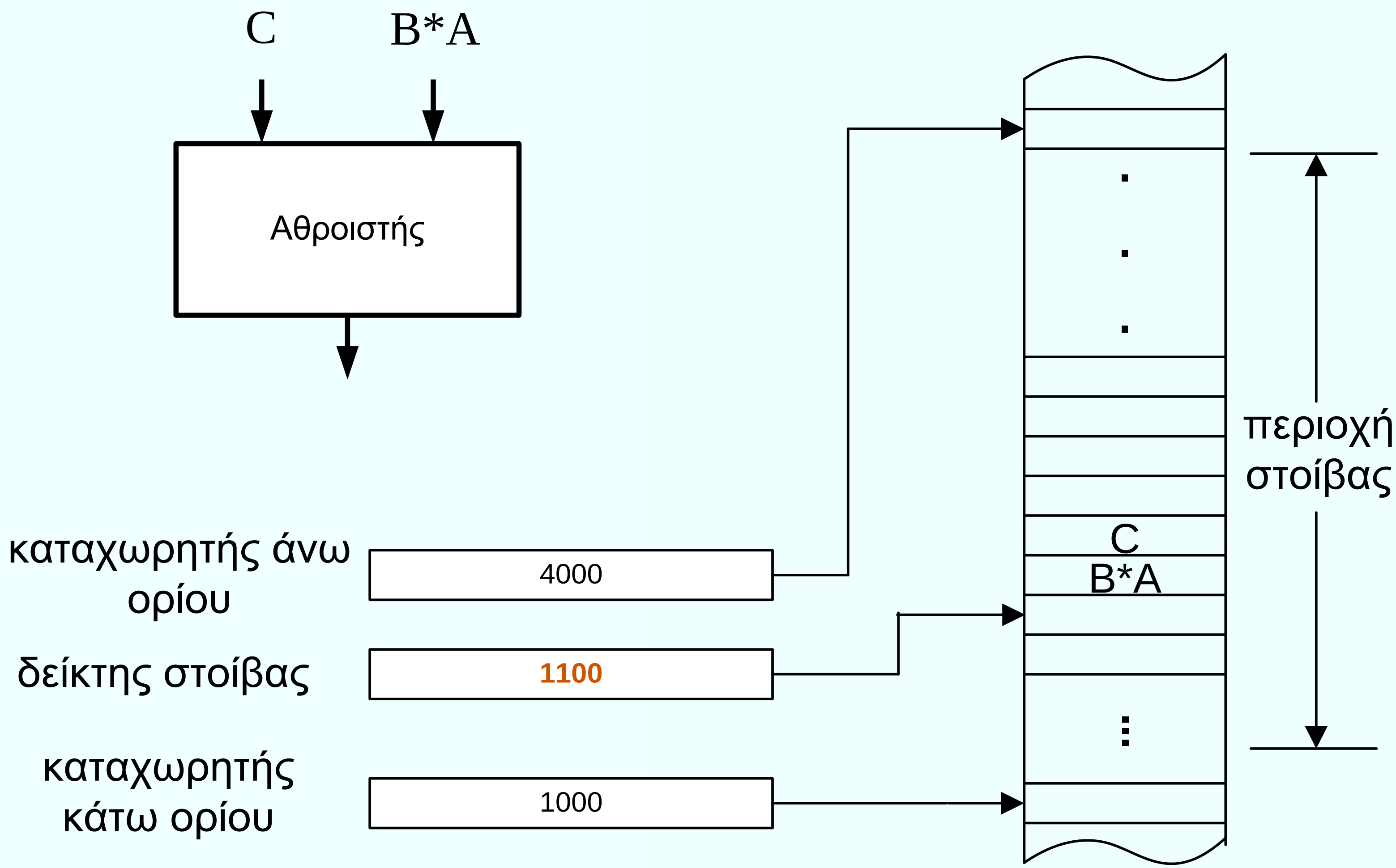


Εκτέλεση της εντολής “ADD”: Πρώτο βήμα

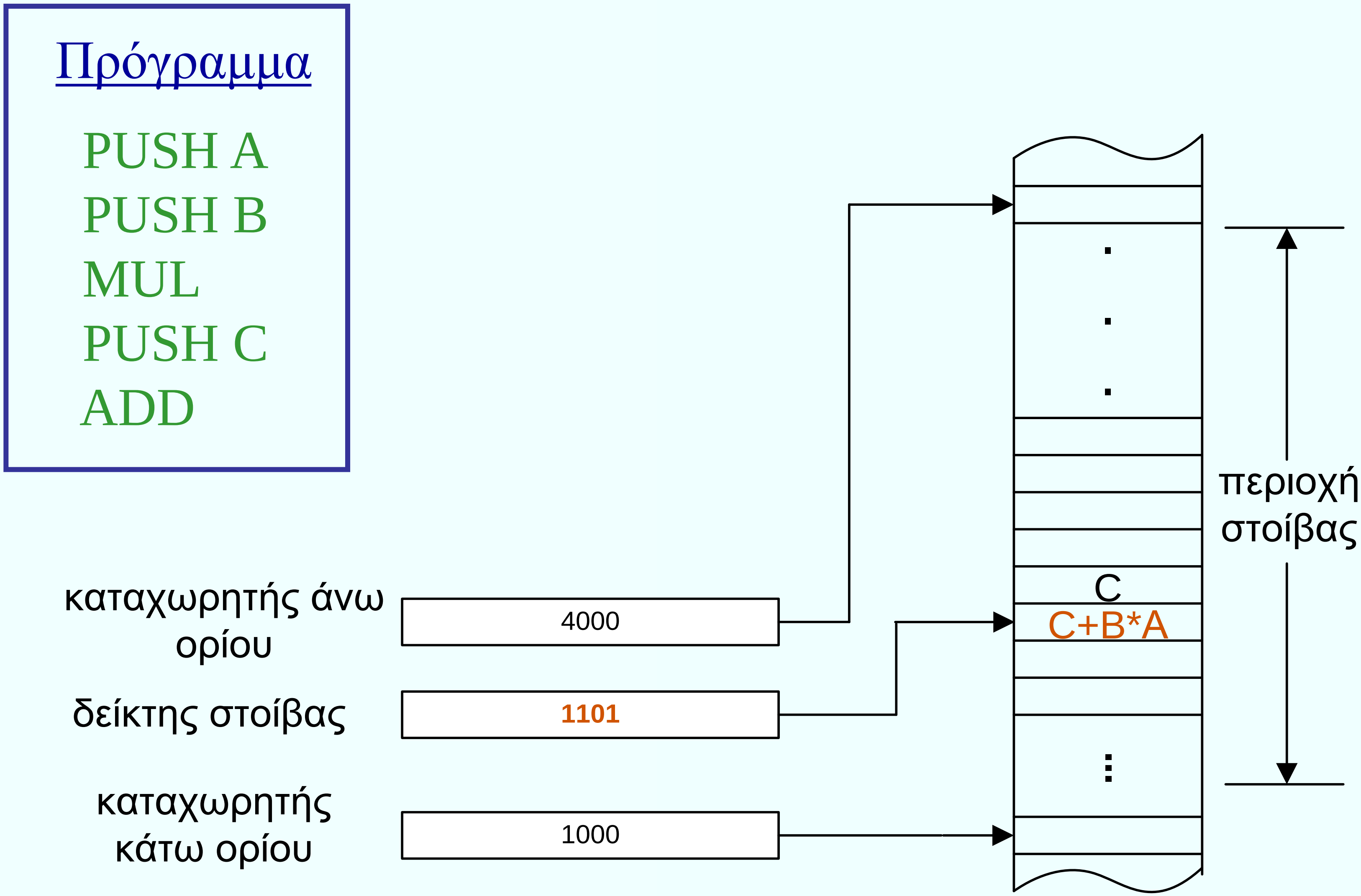
Η εντολή “ADD” εκτελείται σε τρία βήματα



Εκτέλεση της εντολής “ADD”: Δεύτερο βήμα



Μετά την εκτέλεση της εντολής “ADD”



Αρχιτεκτονική μηχανισμού στοίβας: infix συμβολισμός → postfix συμβολισμό

$$E = A * (B + D) - C*F$$

$$E = A * (B + D) - C*F =$$

$$= A * \underline{BD+} - \underline{CF*} =$$

$$= \underline{ABD+*} - \underline{CF*} =$$

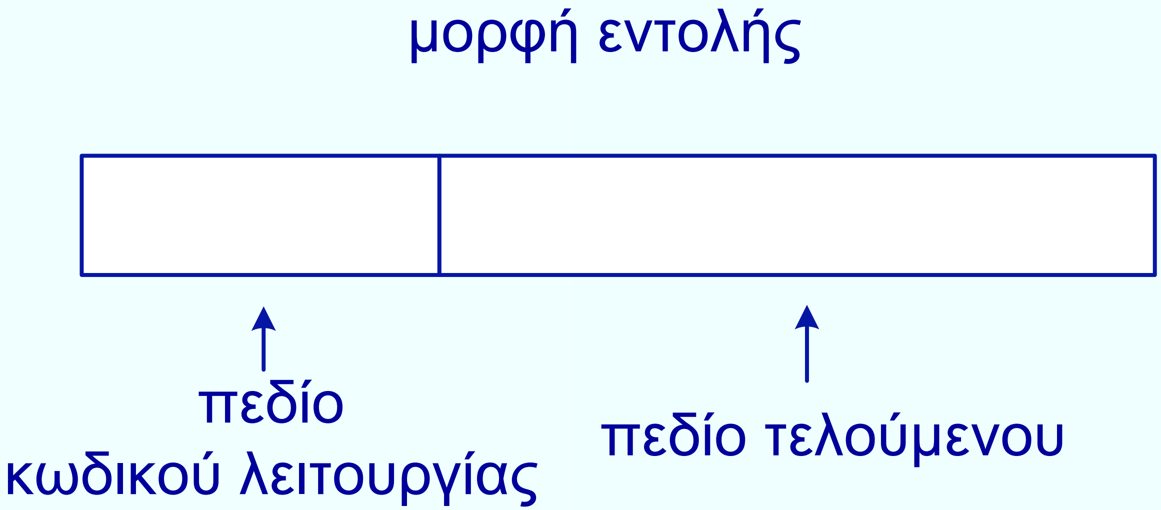
$$= \underline{CF*ABD+*} -$$

Αρχιτεκτονική μηχανισμού στοίβας:
Παράδειγμα εκτέλεσης προγράμματος

*E = A * (B + D) - C*F = CF*ABD+* -*

ΕΝΤΟΛΗ	ΣΤΟΙΒΑ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΕΝΤΟΛΗΣ (ΚΟΡΥΦΗ ΣΤΟΙΒΑΣ ΣΤΑ ΑΡΙΣΤΕΡΑ)
PUSH C	***C***
PUSH F	***F, C***
MUL	***F*C***
PUSH A	***A, F*C***
PUSH B	***B, A, F*C***
PUSH D	***D, B, A, F*C***
ADD	***D + B, A, F*C***
MUL	***(D + B)*A, F*C***
SUB	***(D + B)*A - F*C***
POP E	***ΚΕΝΟ***

Αρχιτεκτονική συσσωρευτή: μορφή εντολών



Αρχιτεκτονική συσσωρευτή:
Παράδειγμα εκτέλεσης προγράμματος

$E = A * (B + D) - C*F$

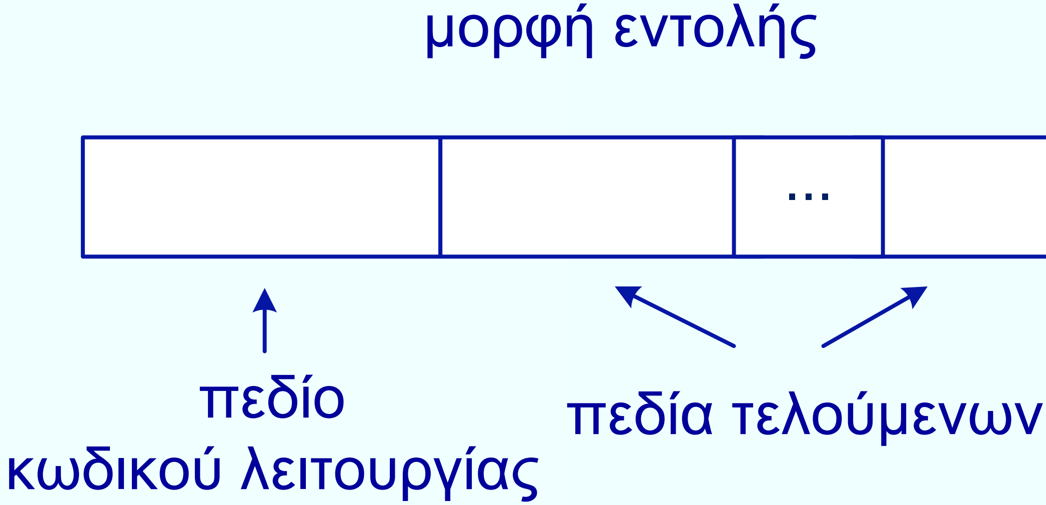
ΕΝΤΟΛΗ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ Σ = ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΗΣ)
LOAD C	**Σ = C**
MUL F	**Σ = C*F**
STORE E	**E = C*F**
LOAD B	**Σ = B**
ADD D	**Σ = B + D**
MUL A	**Σ = (B + D)* A**
SUB E	**Σ = (B + D)* A - C*F**
STORE E	**E = (B + D)* A - C*F**

Αρχιτεκτονικές καταχωρητών γενικού σκοπού

» καταχωρητή-μνήμης

» καταχωρητή –καταχωρητή

Αρχιτεκτονική καταχωρητή-μνήμης: μορφή εντολών



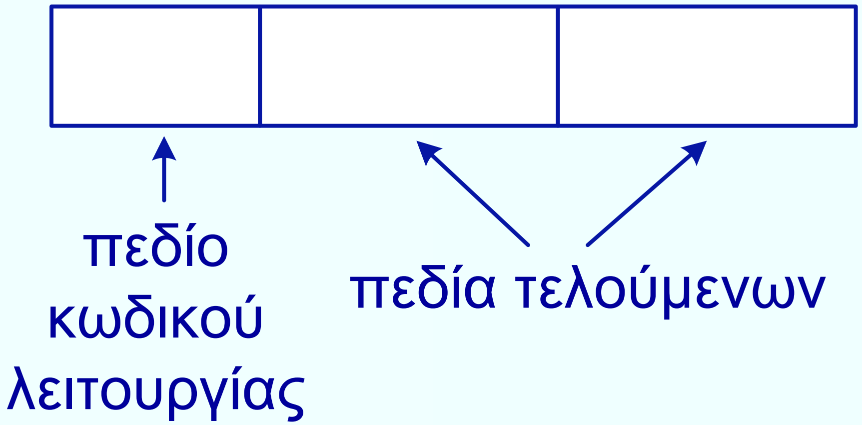
Παράδειγμα αρχιτεκτονικής καταχωρητή-μνήμης: εκτέλεση προγράμματος

$E = A * (B + D) - C*F$

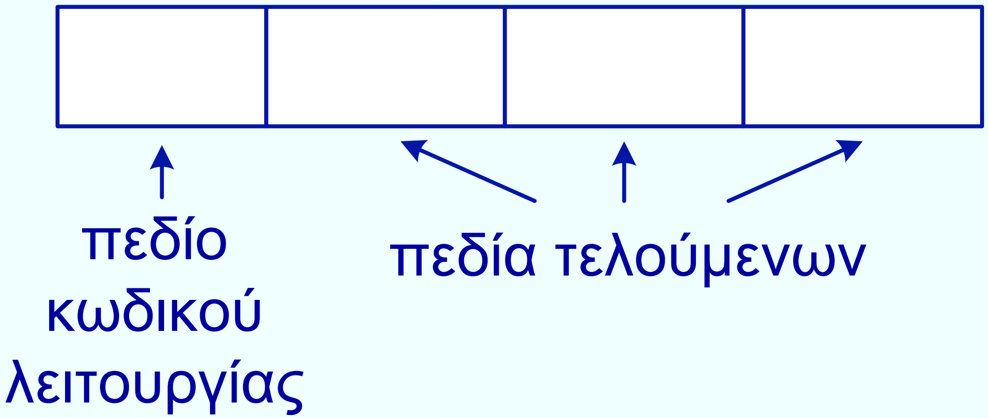
ΕΝΤΟΛΗ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ
LOAD R1, C	***R1 = C***
MUL R1, F	***R1 = R1 * F = C * F***
STORE E, R1	***E = R1 = C * F***
LOAD R2, B	***R2 = B***
ADD R2, D	***R2 = R2 + D = B + D***
MUL R2, A	***R2 = R2 * A = (B + D) * A***
SUB R2, E	***R2 = R2 – E = (B+D)*A – C*F***
STORE E, R2	***E = R2 = (B+D)*A – C*F***

Αρχιτεκτονική καταχωρητή-καταχωρητή με τρία τελούμενα: μορφή εντολών

μορφή εντολής LOAD ή STORE



μορφή εντολής εκτέλεσης αριθμητικής ή λογικής πράξης



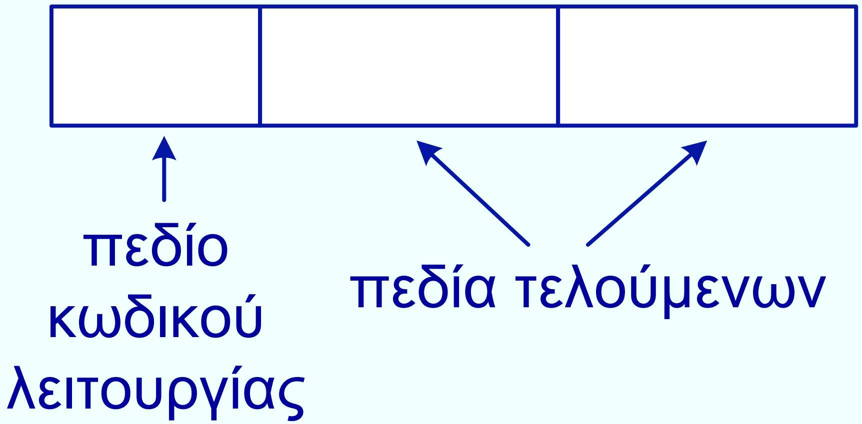
Αρχιτεκτονική καταχωρητή-καταχωρητή:
Παράδειγμα εκτέλεσης προγράμματος

$E = A * (B + D) - C*F$

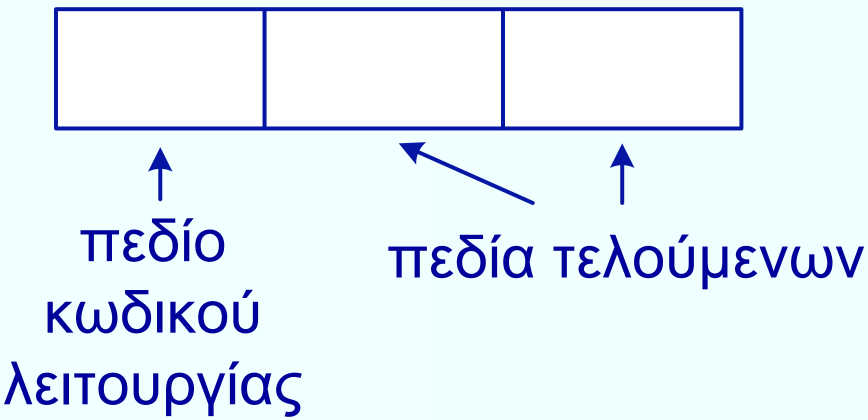
ΕΝΤΟΛΗ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ
LOAD R1, A	***R1 = A***
LOAD R2, B	***R2 = B***
LOAD R3, D	***R3 = D***
ADD R4, R2, R3	***R4 = R2 + R3 = B + D***
MUL R5, R1, R4	***R5 = R1*R4 = A*(B + D)***
LOAD R6, C	***R6 = C***
LOAD R7, F	***R7 = F***
MUL R8, R6, R7	***R8 = R6 * R7 = C*F***
SUB R9, R5, R8	***R9 = A*(B + D) - C*F***
STORE E, R9	***E = R9 = A*(B + D) - C*F***

Αρχιτεκτονική καταχωρητή-καταχωρητή με δύο τελούμενα: μορφή εντολών

μορφή εντολής LOAD ή STORE



μορφή εντολής εκτέλεσης αριθμητικής ή λογικής πράξης



Αρχιτεκτονική καταχωρητή-καταχωρητή με δύο τελούμενα: Παράδειγμα εκτέλεσης προγράμματος

$E = A * (B + D) - C*F$

ΕΝΤΟΛΗ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ
LOAD R1, A	***R1 = A***
LOAD R2, B	***R2 = B***
LOAD R3, D	***R3 = D***
ADD R2, R3	***R2 = R2 + R3 = B + D***
MUL R1, R2	***R1 = R1*R2 = A*(B + D)***
LOAD R4, C	***R4 = C***
LOAD R5, F	***R5 = F***
MUL R4, R5	***R4 = R4 * R5 = C*F***
SUB R1, R4	***R1 = A*(B + D) - C*F***
STORE E, R1	***E = R1 = A*(B + D) - C*F***

Αρχιτεκτονική με εντολές καταχωρητή-μνήμης και καταχωρητή -καταχωρητή: Παράδειγμα εκτέλεσης προγράμματος

E = A * (B + D) - C*F

ΕΝΤΟΛΗ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ
LOAD R1, C	R1 = C
MUL R1, F	R1 = R1 * F = C * F
LOAD R2, B	R2 = B
ADD R2, D	R2 = R2 + D = B + D
MUL R2, A	R2 = R2 * A = (B + D) * A
SUB R2, R1	R2 = R2 - R1 = (B+D)*A - C*F
STORE E, R2	E = R2 = (B+D)*A - C*F

Σύνολο εντολών γλώσσας μηχανής

- Πρέπει να υποστηρίζει τις λειτουργίες που είναι χρήσιμες στον προγραμματιστή
- Πρέπει να επιτρέπει την αποδοτική υλοποίηση όσον αφορά
  - Ταχύτητα εκτέλεσης
  - Κόστος υλοποίησης
  - Κατανάλωση ισχύος

Σύνολο εντολών γλώσσας μηχανής

η εννοιολογική διαφορά μεταξύ

γλωσσών προγραμματισμού υψηλού επιπέδου

και

γλώσσας μηχανής

γεφυρώνεται από τον μεταγλωττιστή

Άρα ποια είναι τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει το σύνολο εντολών;

Υπολογιστές πολύπλοκου συνόλου εντολών, CISC (Complex Instruction Set Computers)

Το σύνολο των εντολών σε επίπεδο γλώσσας μηχανής περιλαμβάνει:

- Πολύπλοκες και πανίσχυρες εντολές που εννοιολογικά βρίσκονται κοντά στις εντολές των γλωσσσών προγραμματισμού υψηλού επιπέδου
- Μεγάλο αριθμό από κωδικούς λειτουργίας, τρόπους διευθυνσιοδότησης και είδη δεδομένων

Υπολογιστές πολύπλοκου συνόλου εντολών

Παράδειγμα εντολής

mem(r1) = mem(r2+r3)*mem(r4+disp)

Υπολογιστές πολύπλοκου συνόλου εντολών

Μειονεκτήματα:

α. οι μεταγλωττιστές δεν μπορούσαν να εκμεταλλευτούν πάντα με τον καλύτερο τρόπο τις πολύπλοκες εντολές γλώσσας μηχανής

β. πολύπλοκη μονάδα ελέγχου με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται η εκτέλεση και των πιο απλών εντολών

γ. η μονάδα ελέγχου καταλάμβανε μεγάλο μέρος του επεξεργαστή

Υπολογιστές απλού συνόλου εντολών, RISC (Reduced Instruction Set Computers)

Το σύνολο των εντολών σε επίπεδο γλώσσας μηχανής περιλαμβάνει:

- απλές εντολές που εκτελούν στοιχειώδεις λειτουργίες
- εντολές με μεγάλο βαθμό κανονικότητας
- μικρός αριθμός από απλούς τρόπους διευθυνσιοδότησης

Υπολογιστές πολύπλοκου συνόλου εντολών και Υπολογιστές απλού συνόλου εντολών

Εντολή σε CISC

mem(r1) = mem(r2+r3)*mem(r4+disp)

Πρόγραμμα σε RISC

```
add  r5, r2, r3               /* υπολογισμός της διεύθυνσης του
                                           πρώτου αριθμού */
loadf fp1, (r5)               /* μεταφορά σε καταχωρητή κινητής
                                υποδιαστολής του πρώτου αριθμού */
loadf fp2, (r4+disp)          /* μεταφορά σε καταχωρητή κινητής
                                υποδιαστολής του δεύτερου αριθμού*/
multf fp3, fp1 fp2            /* πολλαπλασιασμός αριθμών κινητής
                                                 υποδιαστολής  */
store (r1), fp3               /* αποθήκευση αποτελέσματος στη
                                                      μνήμη */
```

Υπολογιστές απλού συνόλου εντολών

Πλεονεκτήματα

- Η μετάφραση από μια γλώσσα προγραμματισμού σε γλώσσα μηχανής είναι απλή
- Απαιτείται λιγότερη επιφάνεια πυριτίου για την υλοποίηση του επεξεργαστή.
- Το απλούστερο σύνολο εντολών οδηγεί επίσης σε μικρότερους σχεδιαστικούς χρόνους, ευκολότερη επιβεβαίωση σχεδιασμού και ευκολότερο έλεγχο ορθής λειτουργίας

Μειονεκτήματα

- Για συγγραφή του ίδιου προγράμματος απαιτείται μεγαλύτερο πλήθος εντολών γλώσσας μηχανής

Κωδικοποίηση Συνόλου Εντολών

Ο τρόπος αναπαράστασης των εντολών μέσω του δυαδικού επηρεάζει:

α. Το μέγεθος του προγράμματος σε γλώσσα μηχανής

β. Την υλοποίηση της μονάδας ελέγχου

Κωδικοποίηση Συνόλου Εντολών

α. Κωδικοποίηση του τρόπου διευθυνσιοδότησης

β. Έχουν όλες οι εντολές το ίδιο μήκος;

» *εντολές με διαφορετικά μήκη: VAX*

○ *εντολές πρόσθεσης των 3 έως 19 bytes με 0 έως 6 αναφορές στη μνήμη*

» *κάθε είδος εντολής έχει σταθερό μήκος: Intel 80x86*

» *όλες οι εντολές το ίδιο μήκος: MIPS, PowerPC, SPARC*

Υποστήριξη γλωσσών προγραμματισμού υψηλού επιπέδου

α. Εντολές

- εντολές υποστήριξης των βασικών τύπων δεδομένων
- βασικούς τρόπους διευθυνσιοδότησης
- εντολές αλλαγής της ροής του προγράμματος υπό συνθήκη
  - A=B+C*D, χρήση καταχωρητών από τον μεταγλωτιστή

β. Υποστήριξη χρόνου ζωής μεταβλητών

γ. Υποστήριξη συναρτήσεων και διαδικασιών

Υποστήριξη γλωσσών προγραμματισμού υψηλού επιπέδου

β. Υποστήριξη χρόνου ζωής μεταβλητών

- μονολιθικά προγράμματα
- μεγάλα προγράμματα αποτελούνται από πολλές συνιστώσες
- υπορουτίνες (subroutines)
  - ✓συναρτήσεις (functions)
  - ✓διαδικασίες (procedures)
- οργάνωση μεταβλητών κατά μπλοκ (μπορούν να δηλωθούν μεταβλητές μέσα σε σύνθετη εντολή)

γ. Υποστήριξη συναρτήσεων και διαδικασιών

Χρήση μνήμης