Προγραμματισμός Ι (ECE115)

#7 πίνακες και αλφαριθμητικά (strings)

Σπύρος Λάλης
lalis@uth.gr

Πίνακες

- Ο πίνακας είναι μια ειδική δομή για την αποθήκευση μιας **σειράς** από στοιχεία/δεδομένα του **ίδιου τύπου**
- Η δήλωση ενός πίνακα γίνεται όπως για μια κανονική μεταβλητή, σε συνδυασμό με τον τελεστή `[]` μέσω του οποίου δηλώνεται το **μέγεθος** του πίνακα
  - μέγεθος `N` => ο πίνακας έχει `N` στοιχεία

- Κάθε στοιχείο ενός πίνακα από αντικείμενα τύπου `T` είναι **συντακτικά συμβατό** με μια μεταβλητή τύπου `T`

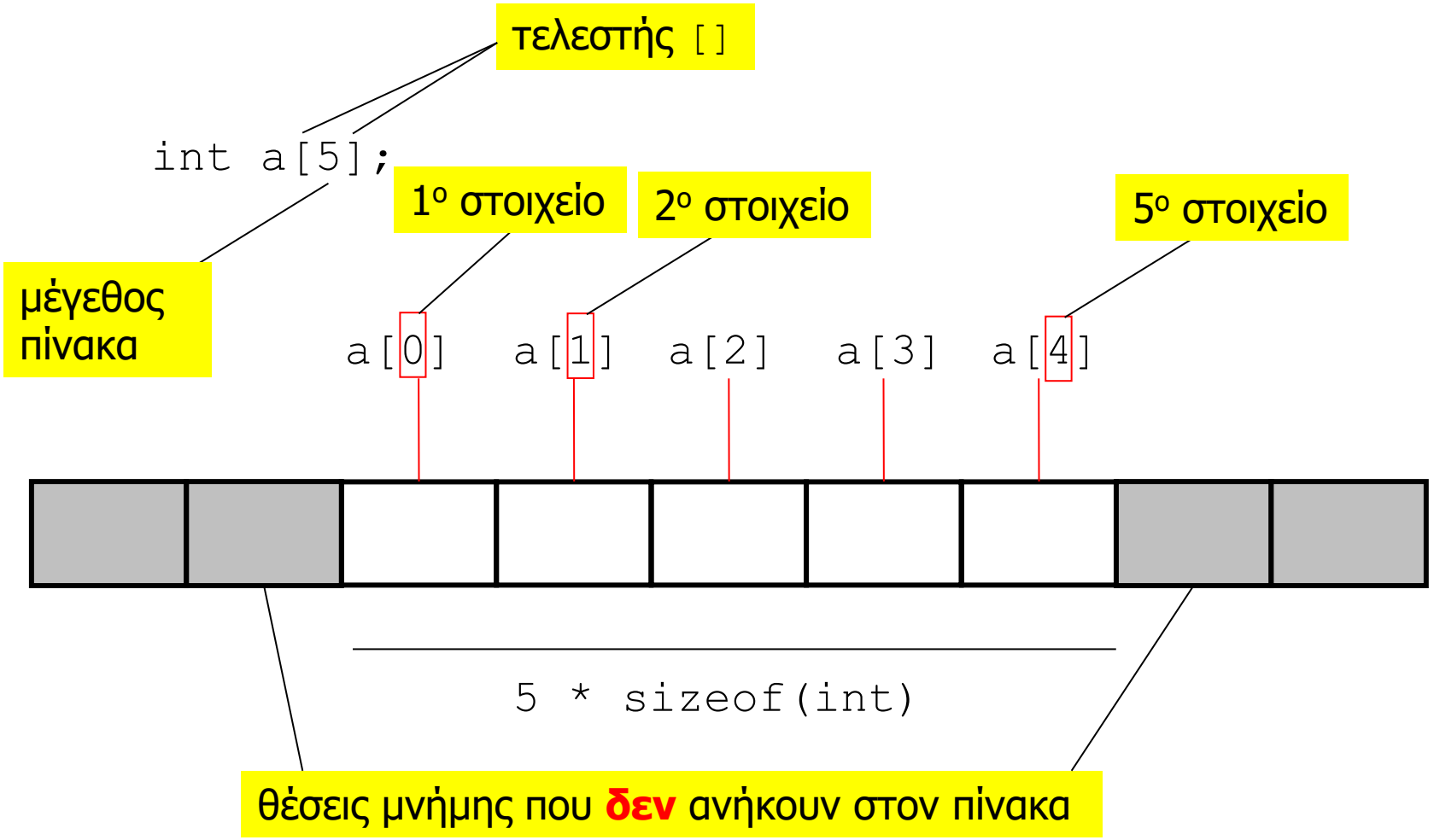
- Όπως μια συμβατική μεταβλητή, κάθε στοιχείο του πίνακα μπορεί να αρχικοποιηθεί με συγκεκριμένη τιμή

Δέσμευση μνήμης

- Ο αριθμός των στοιχείων ενός πίνακα δίνεται (άμεσα ή έμμεσα) **κατά την δήλωση** του
- Το μέγεθος του πίνακα πρέπει να δηλωθεί **την ώρα που γράφεται** ο κώδικας
  - δεν μπορεί να (επανα)προσδιοριστεί ή/και να αλλάξει κατά την διάρκεια της εκτέλεσης
- Μνήμη πίνακα μεγέθους `N` με στοιχεία τύπου `T`
  - `N*sizeof(T)`
  - δεσμεύεται **μονομιάς** ανεξάρτητα με το πόσα/ποια στοιχεία του πίνακα θα χρησιμοποιηθούν τελικά από το πρόγραμμα
- Η μνήμη των επιμέρους στοιχείων του πίνακα δεσμεύεται **συνεχόμενα**
  - η μνήμη του στοιχείου στη θέση `i` βρίσκεται στην **αμέσως επόμενη** διεύθυνση από αυτή του στοιχείου `i-1`

Προσπέλαση

- Αν ο πίνακας έχει μέγεθος `N`, τότε η θέση `0` αντιστοιχεί στο **πρώτο** στοιχείο και η θέση `N-1` στο **τελευταίο** στοιχείο του πίνακα
- Η προσπέλαση θέσεων **εκτός ορίων** του πίνακα αποτελεί προγραμματιστικό λάθος
  - πρόσβαση μνήμης που δεν ανήκει στον πίνακα
- Ο μεταφραστής **δεν ελέγχει** αν η θέση που δίνει το πρόγραμμα είναι εντός των ορίων


τελεστής []
int a[5];
μέγεθος πίνακα
1ο στοιχείο
2ο στοιχείο
5ο στοιχείο
a[0] a[1] a[2] a[3] a[4]
5 * sizeof(int)
θέσεις μνήμης που δεν ανήκουν στον πίνακα

```
int a;                  /* ακέραιος */
int b[3];               /* πίνακας 3 ακεραίων */
int c[] = {5,8,2};      /* πίνακας 3 ακεραίων,
                           με αρχικές τιμές 5, 8, 2 */

a = b[0];               /* a γίνεται ? */

a = c[2];               /* a γίνεται 2 */

b[0] = c[1];            /* b[0] γίνεται 8 */

c[0]++;                 /* c[0] γίνεται 6 */

b[--a] = 3;             /* a γίνεται 1, b[1] γίνεται 3 */

a = c[-1];              /* λάθος/άκυρη πρόσβαση! */

b[3] = 5;               /* λάθος/άκυρη πρόσβαση! */
```

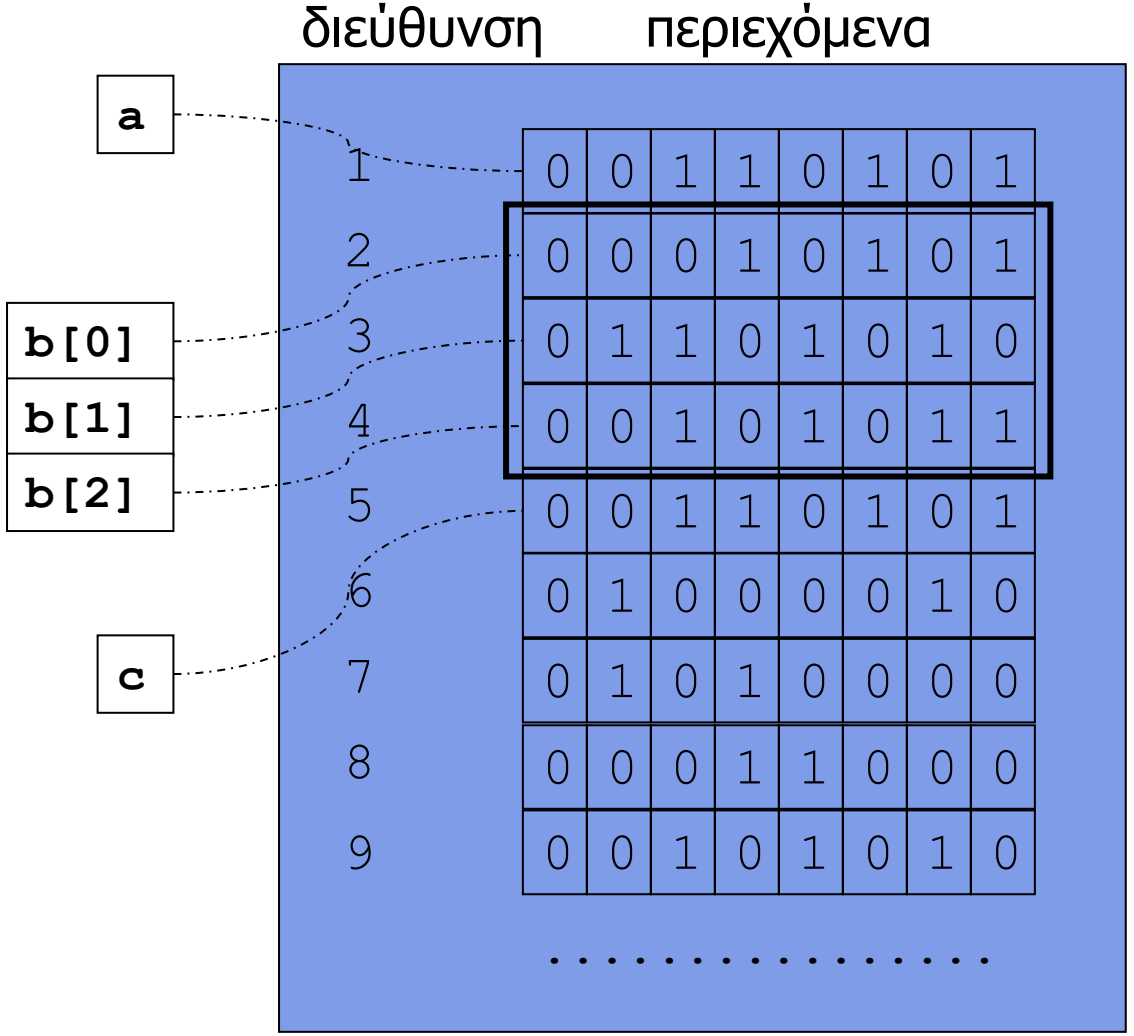
Άκυρη προσπέλασης μνήμης

- Όσο χρησιμοποιούμε απλές μεταβλητές, είναι αδύνατο να προσπελάσουμε άκυρες θέσεις μνήμης

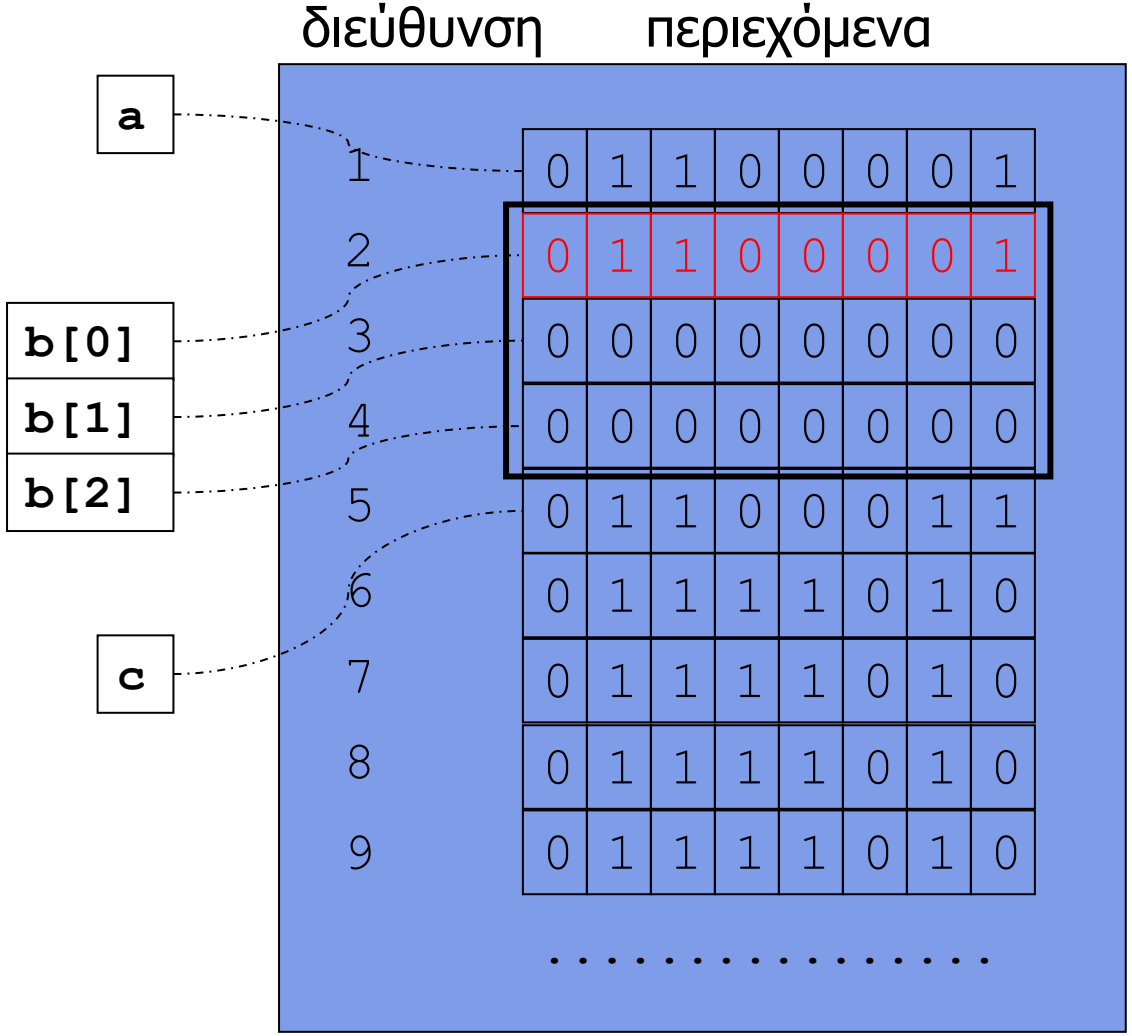
- Αυτό **δεν** ισχύει όταν χρησιμοποιούμε πίνακες
- Η πρόσβαση σε θέση εκτός των ορίων του πίνακα **δεν εντοπίζεται** απαραίτητα από τον μεταφραστή
- **ούτε** (απαραίτητα) κατά την εκτέλεση

- Το πρόγραμμα μπορεί να «καταστρέψει» δεδομένα που αντιστοιχούν σε άλλες (δικές του) μεταβλητές
  - μπορεί να προκληθεί εντελώς **απροσδόκητη** συμπεριφορά του προγράμματος ή/και παράλογα αποτελέσματα

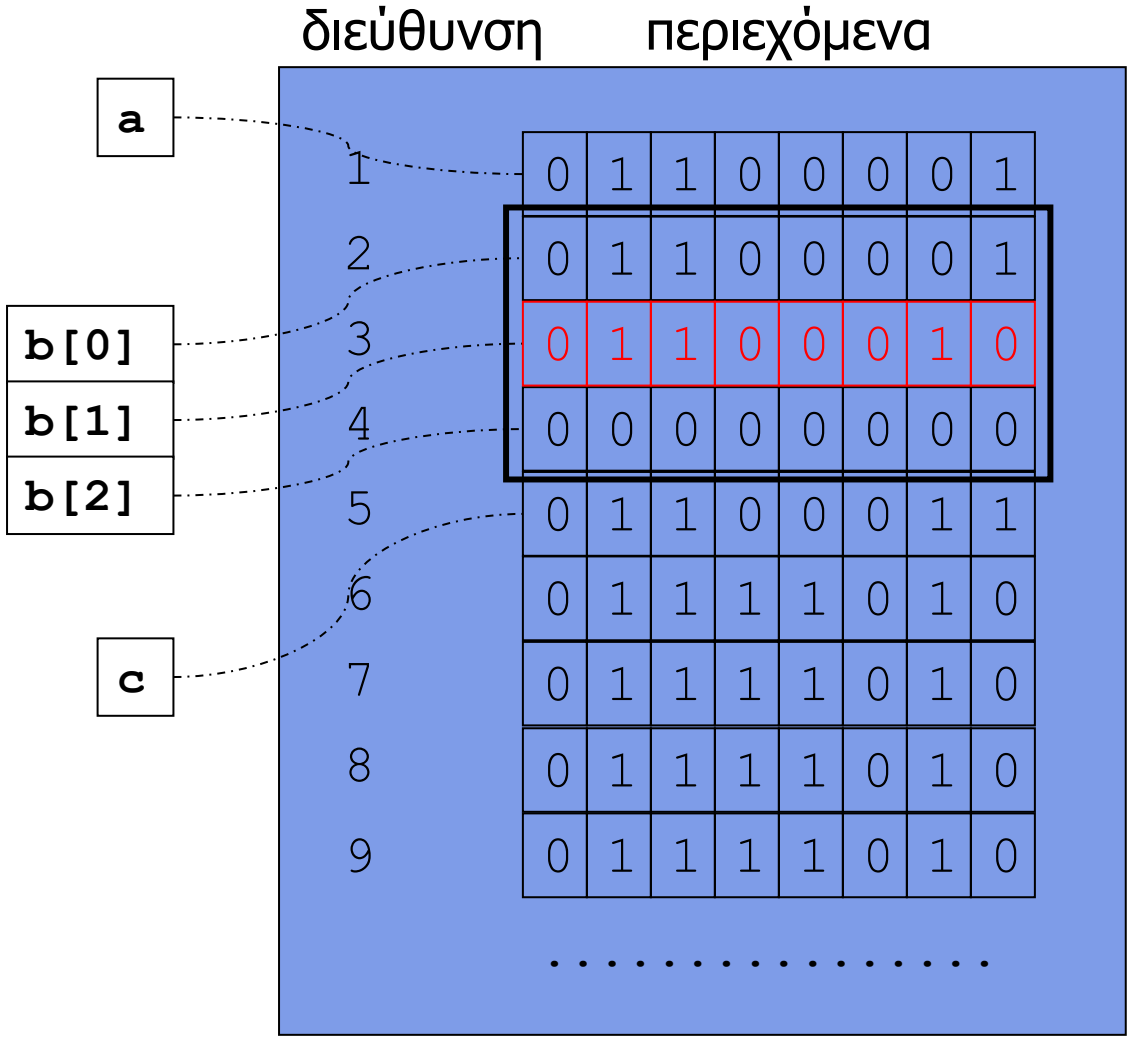
```
char a;
char b[3];
char c;
```



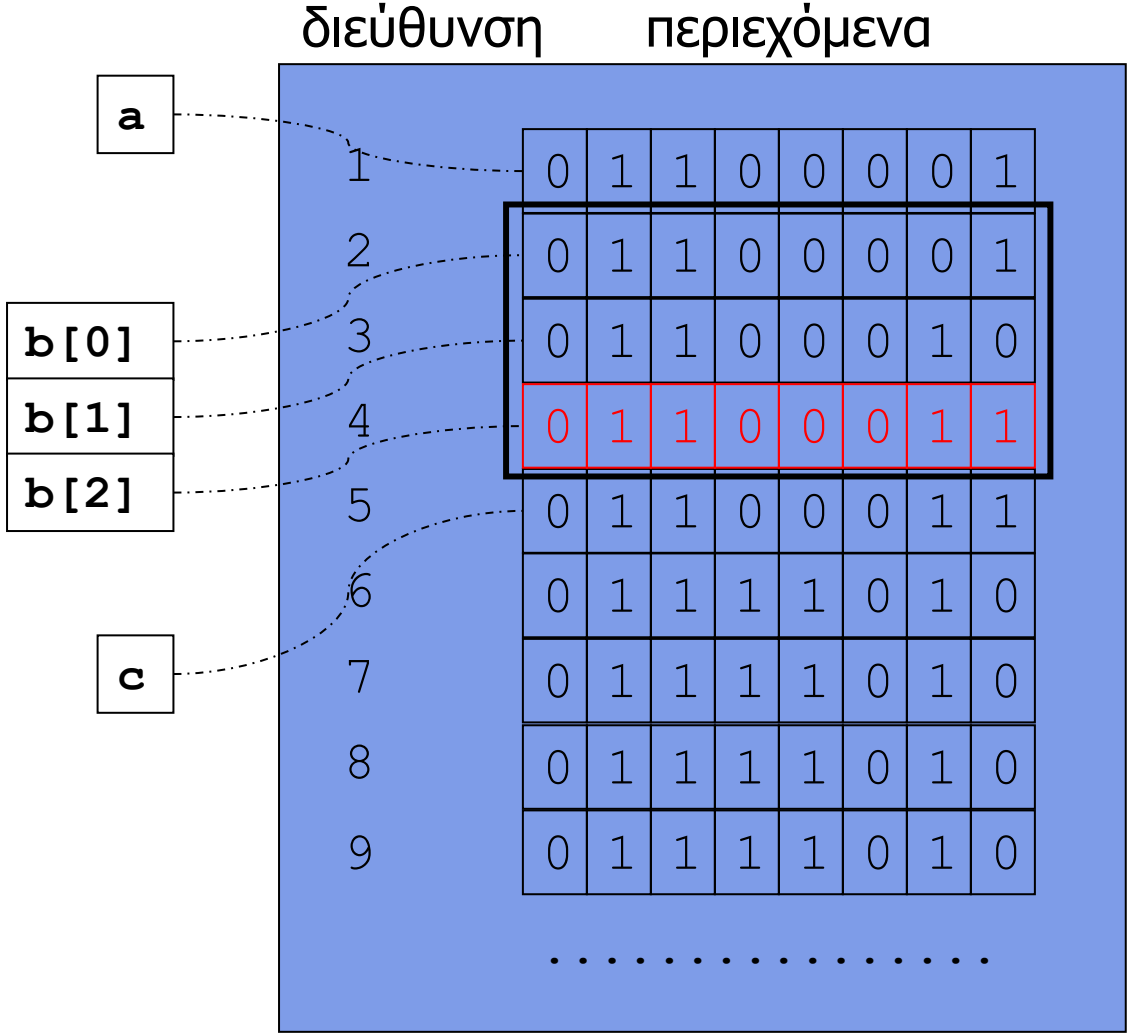
```
char a;
char b[3];
char c;

b[0]='a';
```

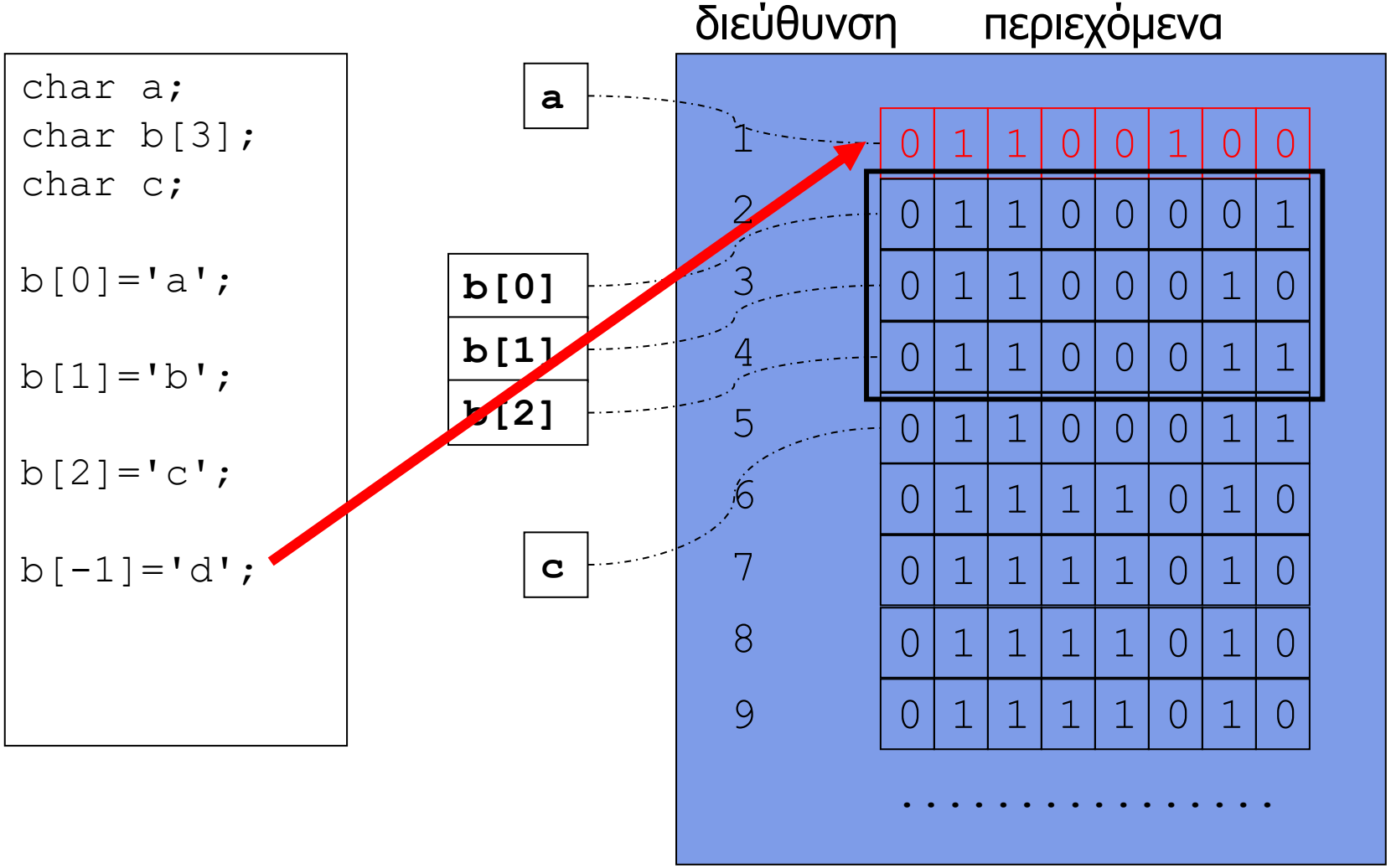


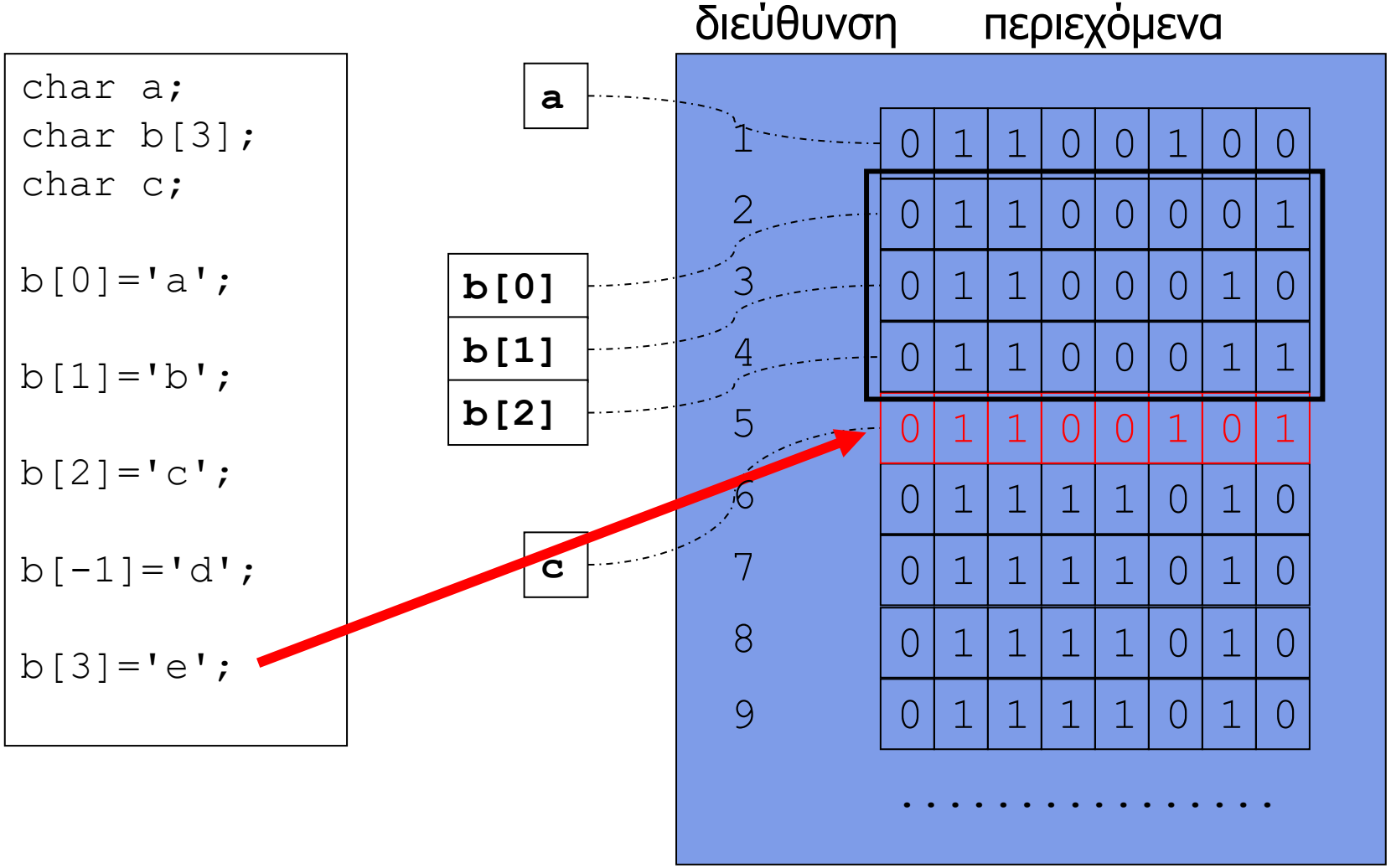
```
char a;
char b[3];
char c;

b[0]='a';

b[1]='b';
```



```
char a;
char b[3];
char c;

b[0]='a';

b[1]='b';

b[2]='c';
```




διεύθυνση
περιεχόμενα
char a;
char b[3];
char c;
b[0]='a';
b[1]='b';
b[2]='c';
b[-1]='d';
a
b[0]
b[1]
b[2]
c
1
2
3
4
5
6
7
8
9
0 1 1 0 0 1 0 0
0 1 1 0 0 0 0 1
0 1 1 0 0 0 1 0
0 1 1 0 0 0 1 1
0 1 1 0 0 0 1 1
0 1 1 1 1 0 1 0
0 1 1 1 1 0 1 0
0 1 1 1 1 0 1 0
0 1 1 1 1 0 1 0
. . . . . .


διεύθυνση
περιεχόμενα
char a;
char b[3];
char c;
b[0]='a';
b[1]='b';
b[2]='c';
b[-1]='d';
b[3]='e';
a
b[0]
b[1]
b[2]
c
1 0 1 1 0 0 1 0 0
2 0 1 1 0 0 0 0 1
3 0 1 1 0 0 0 1 0
4 0 1 1 0 0 0 1 1
5 0 1 1 0 0 1 0 1
6 0 1 1 1 1 0 1 0
7 0 1 1 1 1 0 1 0
8 0 1 1 1 1 0 1 0
9 0 1 1 1 1 0 1 0
. . . . . .

Τρόποι αυτοματοποιημένου ελέγχου για προσπελάσεις εκτός ορίων πίνακα

- Valgrind

  `valgrind --tool=exp-sgcheck <εκτελέσιμο>`

  - Σύνολο από εργαλεία που μπορούν να πραγματοποιήσουν ελέγχους (κατά το χρόνο εκτέλεσης) για συχνά σφάλματα
  - Ιδιαίτερα καλό σε σφάλματα που αφορούν τη διαχείριση μνήμης (και τις προσπελάσεις εκτός ορίων πίνακα)

- gcc options

  `-fsanitize=address`

  - Προσθέτει ελέγχους (που εκτελούνται κατά το χρόνο εκτέλεσης) για σφάλματα σχετικά με τη διαχείριση μνήμης

Παραμετροποιημένη προσπέλαση πίνακα

- Ο προσδιορισμός της θέσης των στοιχείου ενός πίνακα μπορεί να γίνει μέσω **οποιασδήποτε** έκφρασης αποτιμάται σε ακέραια τιμή
  - π.χ. την τιμή μιας μεταβλητής
  - πρέπει να κυμαίνεται **μέσα στα όρια** του πίνακα

- Η διάσχιση ενός πίνακα μεγέθους `N` (για ανάγνωση ή γράψιμο των επιμέρους στοιχείων του) μπορεί να γίνει εύκολα χρησιμοποιώντας μια δομή επανάληψης
  - χρησιμοποιούμε μια μεταβλητή μετρητή `i`, που λαμβάνει τιμές από `0` μέχρι `N-1`
  - στο σώμα της επανάληψης αναφερόμαστε στο «επόμενο» στοιχείο του πίνακα ως `[i]`

```c
/* ανάγνωση 10 ακεραίων και εκτύπωση αθροίσματος */

#include <stdio.h>
#define N 10

int main(int argc, char* argv[]) {
  int elem[N];  /* πίνακας N ακεραίων */
  int sum;      /* άθροισμα στοιχείων */
  int i;        /* προσπέλαση στοιχείων πίνακα */

  for (i=0; i<N; i++) {
    printf("enter int: ");
    scanf("%d", &elem[i]);
  }

  sum = 0;
  for (i=0; i<N; i++) {
    sum = sum + elem[i];
  }

  printf("sum is %d\n", sum);
  return(0);
}
```

```c
/* ανάγνωση 10 ακεραίων και εκτύπωση μέγιστης τιμής */

#include <stdio.h>
#define N 10

int main(int argc, char* argv[]) {
  int elem[N];  /* πίνακας N ακεραίων */
  int max_i;     /* θέση μεγαλύτερου στοιχείου */
  int i;         /* προσπέλαση στοιχείων πίνακα */

  for (i=0; i<N; i++) {
    printf("enter int: ");
    scanf("%d", &elem[i]);
  }

  max_i = 0;
  for (i=1; i<N; i++) {
    if (elem[i] > elem[max_i]) {
      max_i = i;
    }
  }

  printf("maximum is %d\n", elem[max_i]);
  return(0);
}
```

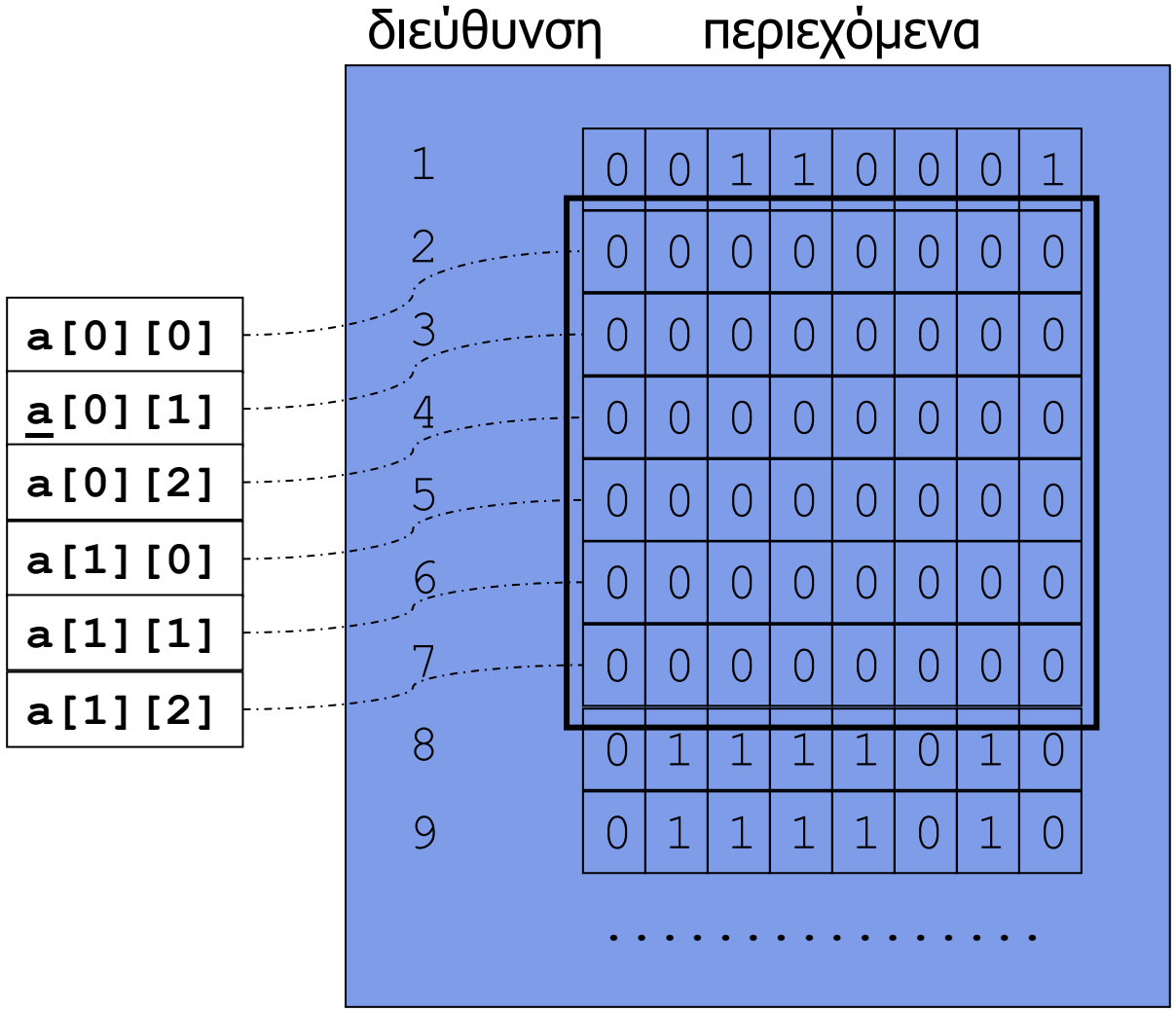
```
/* ανάποδη εκτύπωση εισόδου – ως 80 χαρακτήρες ή '\n' */

#include <stdio.h>
#define N 80

int main(int argc, char *argv[]) {
  char buf[N];  /* αποθήκευση χαρακτήρων εισόδου */
  int i;        /* προσπέλαση στοιχείων πίνακα */

  for (i=0; i < SIZE; i++) {
    buf[i] = getchar();
    if (buf[i] == '\n') {
      break;
    }
  }

  for (i--; i >= 0; i--) {
    putchar(buf[i]);
  }
  putchar('\n');

  return(0);
}
```

Πίνακες πολλών διαστάσεων

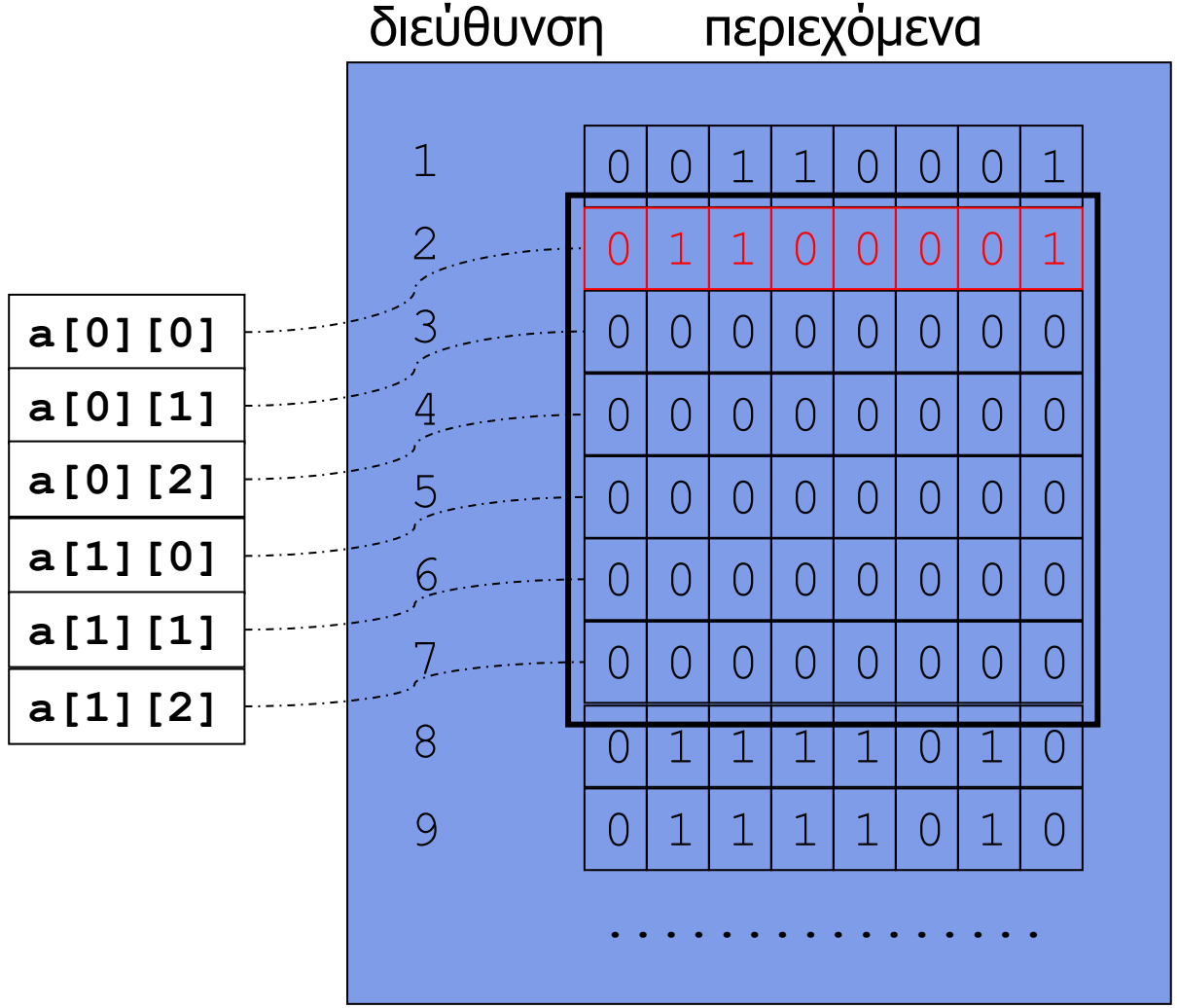
- Ένας πίνακας μπορεί να δηλωθεί ως Ν-διάστατος
  - π.χ. για 2 διαστάσεις `a[5][10]`
- Η προσπέλαση στα στοιχεία του πίνακα γίνεται με αντίστοιχο τρόπο
  - π.χ. `a[0][0]` ή `a[4][9]`
- Όπως και στους μονοδιάστατους πίνακες, η μνήμη δεσμεύεται συνεχόμενα για όλα τα στοιχεία
- Η αποθήκευση γίνεται «σε σειρές», δηλαδή πρώτα αποθηκεύονται τα στοιχεία ως προς την τελευταία διάσταση, μετά ως προς την προ-τελευταία κλπ.

```
a[N][M]    ⇔    a[N*M]
a[i][j]    ⇔    a[i*M + j]
```

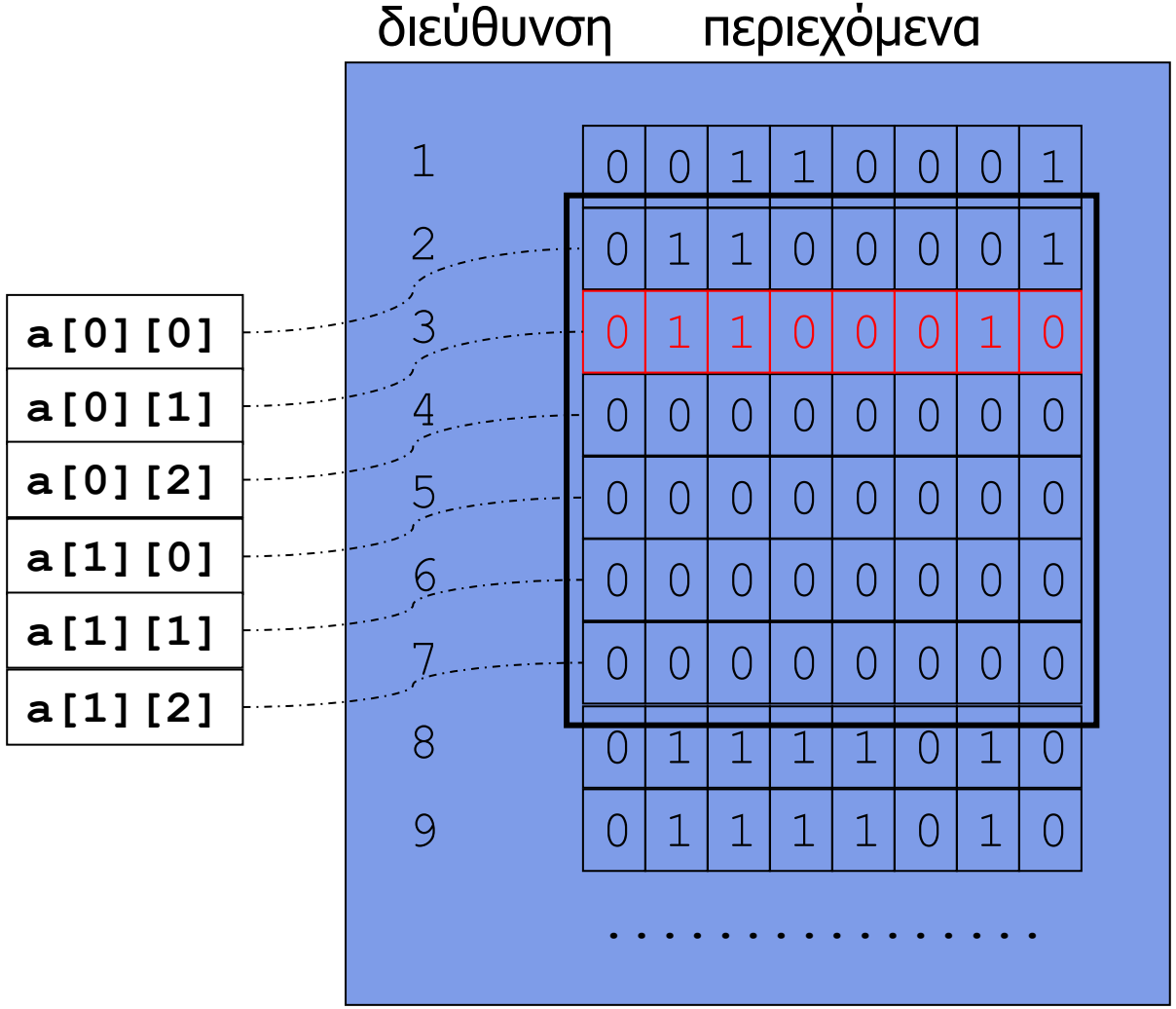
```
…
char a[2][3];
```


διεύθυνση
περιεχόμενα
a[0][0]
a[0][1]
a[0][2]
a[1][0]
a[1][1]
a[1][2]
1
2
3
4
5
6
7
8
9
0 0 1 1 0 0 0 1
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 1 1 1 1 0 1 0
0 1 1 1 1 0 1 0

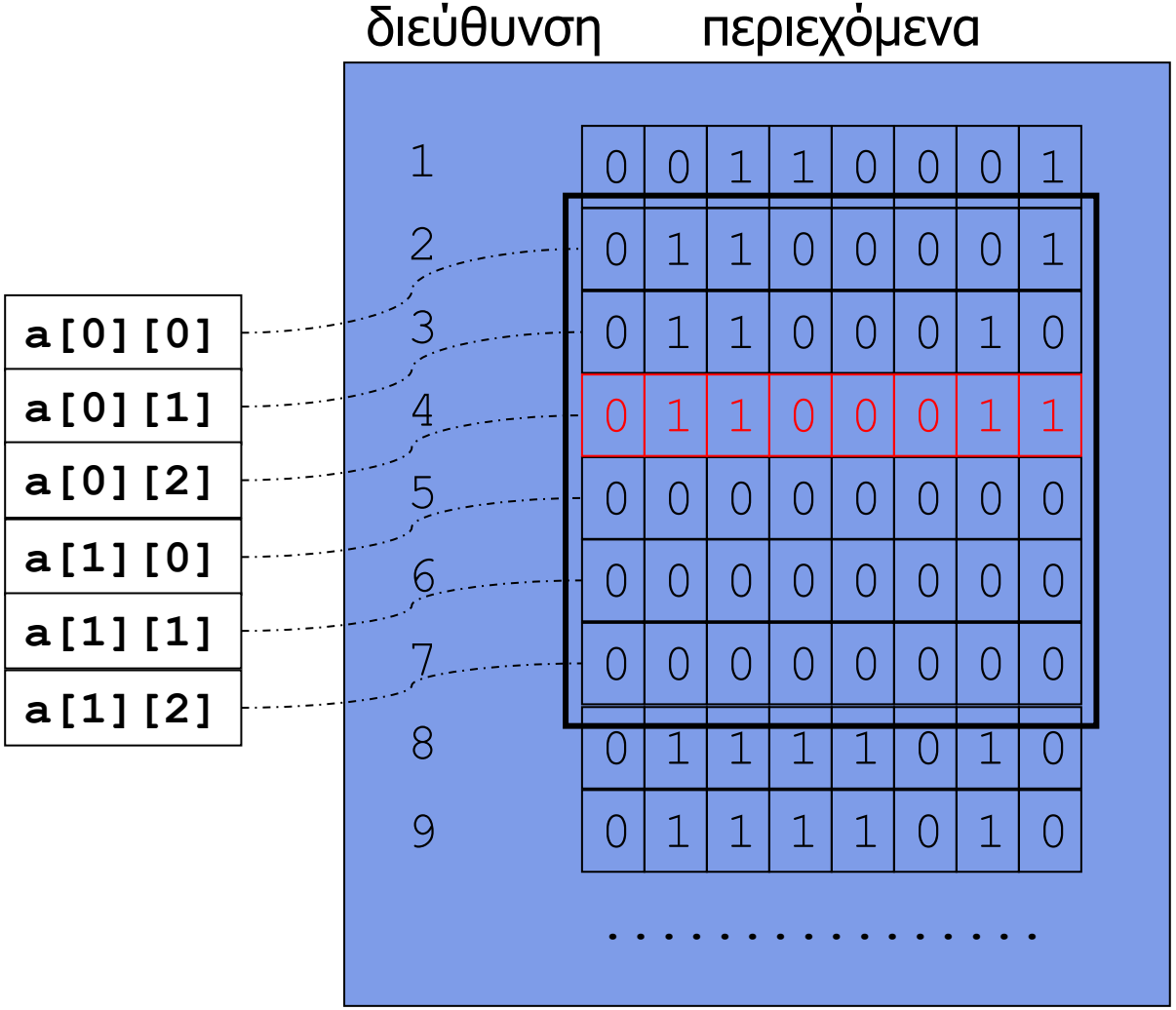
```
…
char a[2][3];

a[0][0]='a';
```



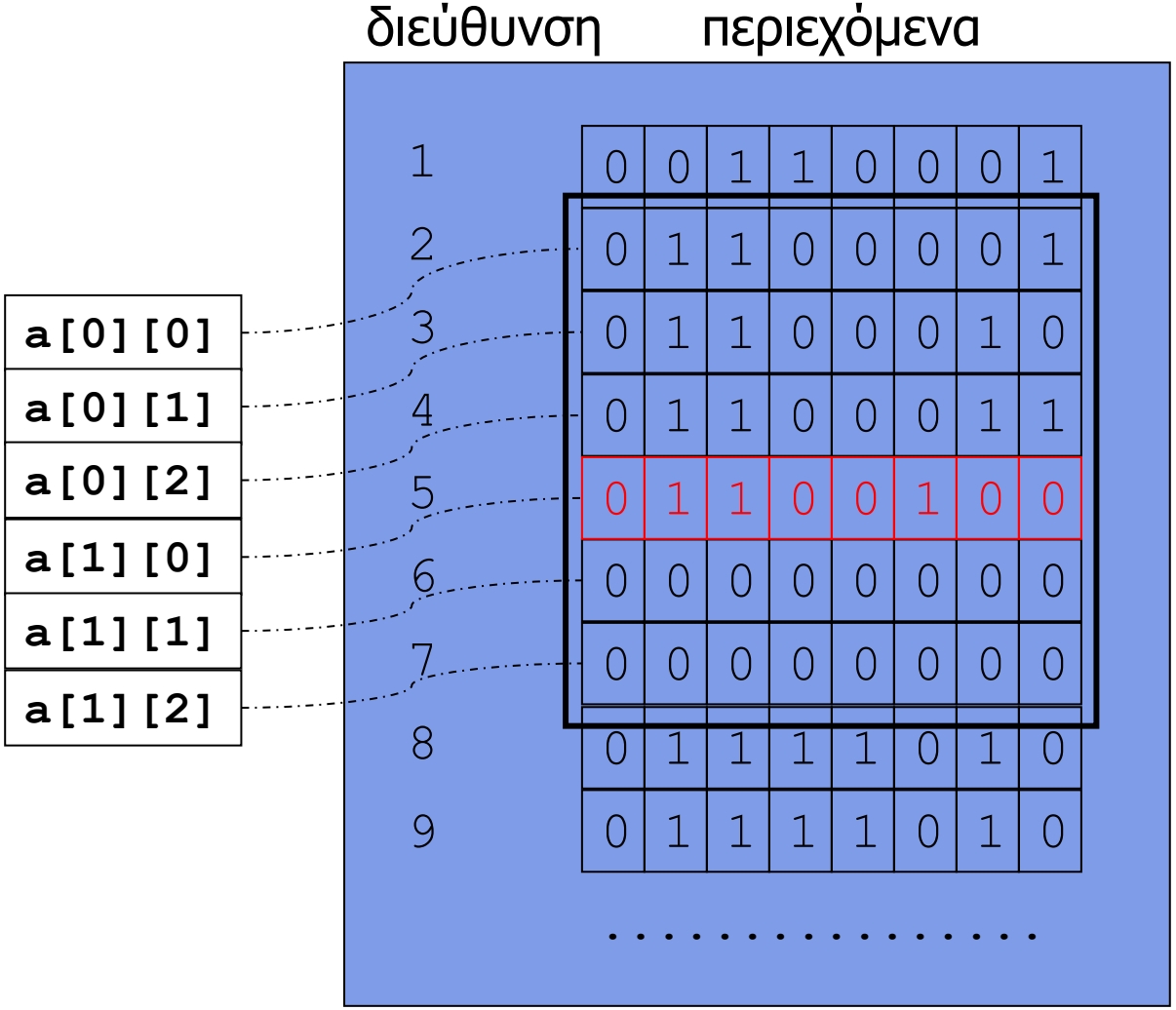
```
…
char a[2][3];

a[0][0]='a';

a[0][1]='b';
```



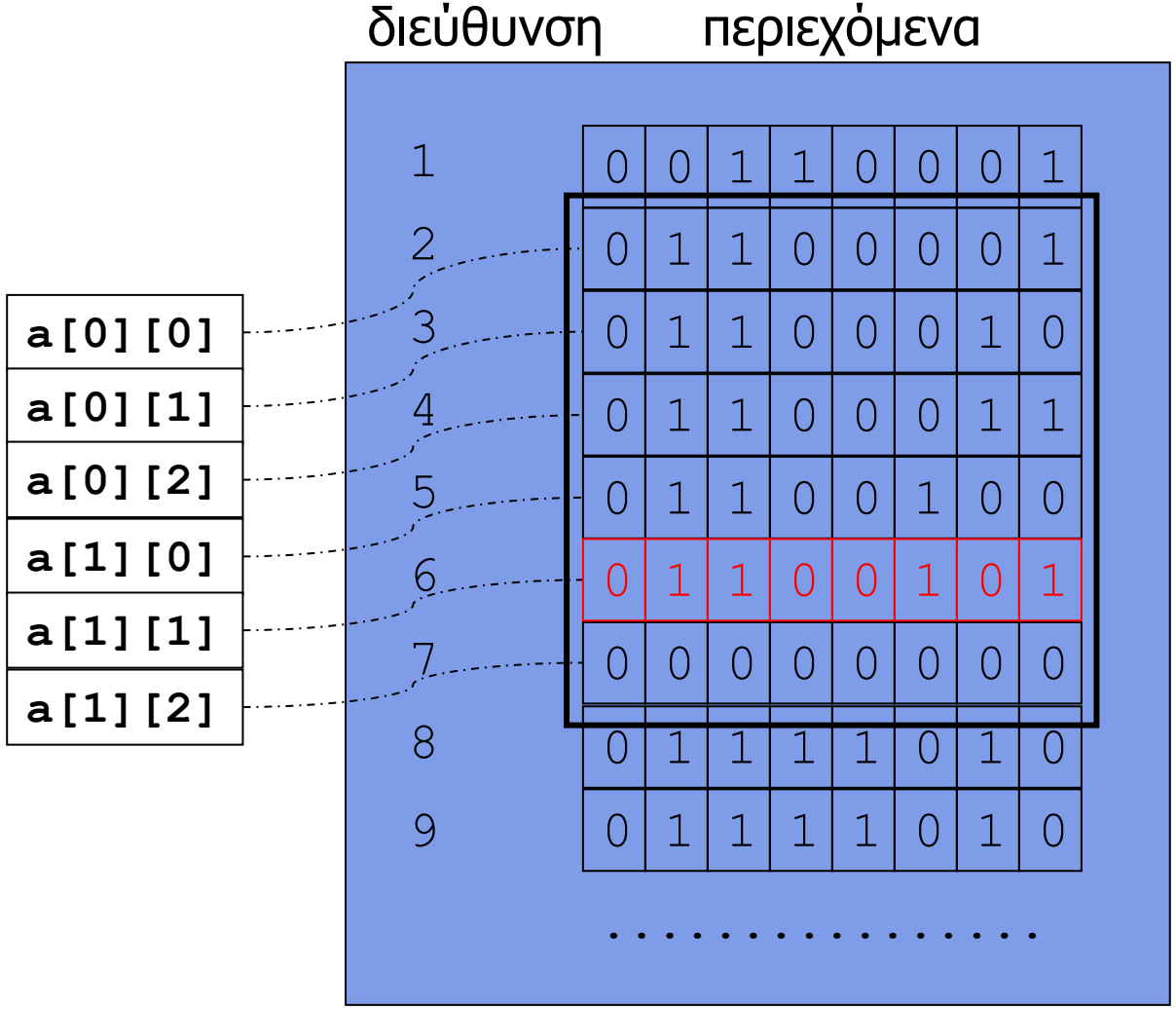
```
…
char a[2][3];

a[0][0]='a';

a[0][1]='b';

a[0][2]='c';
```



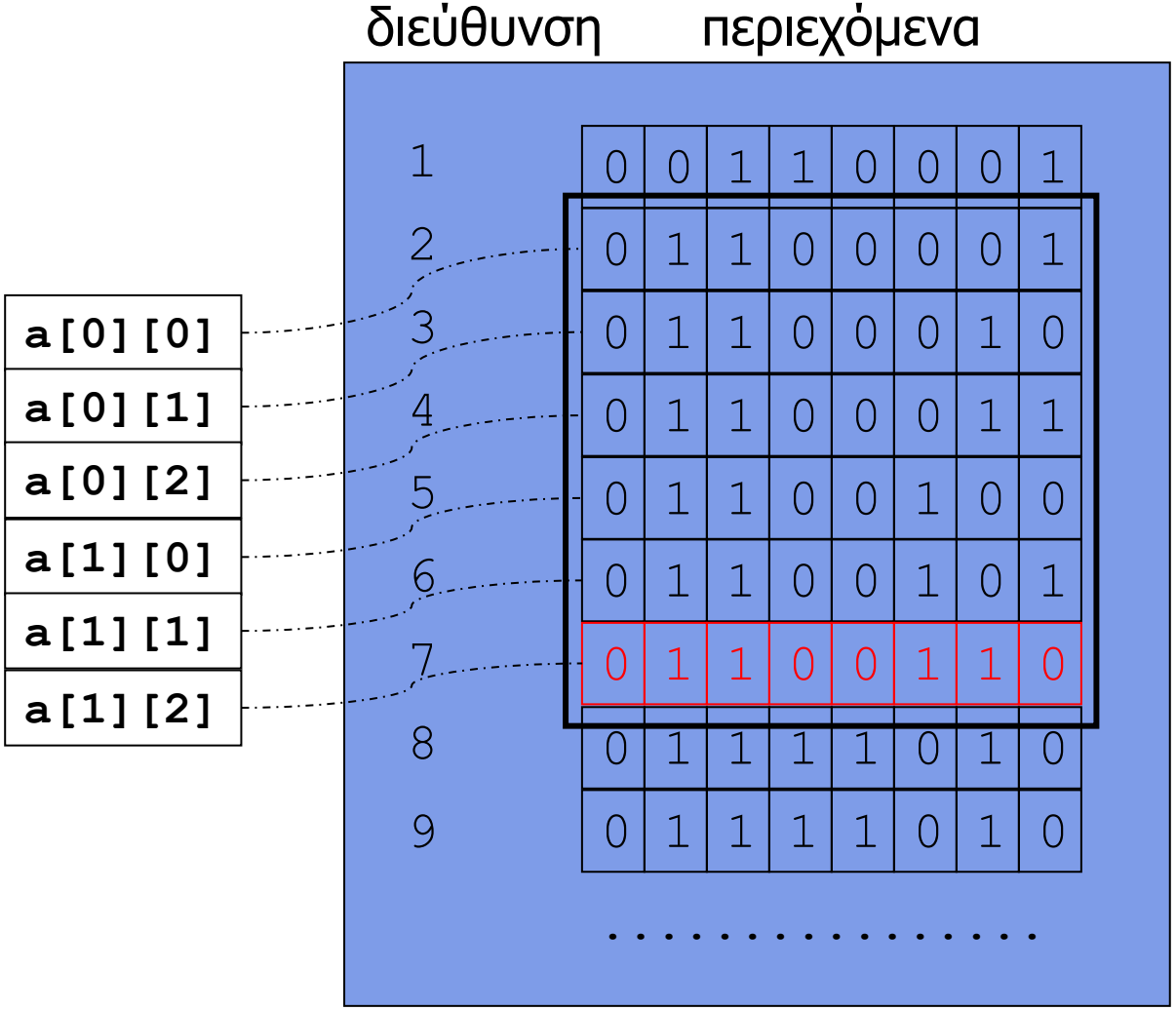
```
…
char a[2][3];

a[0][0]='a';

a[0][1]='b';

a[0][2]='c';

a[1][0]='d';
```



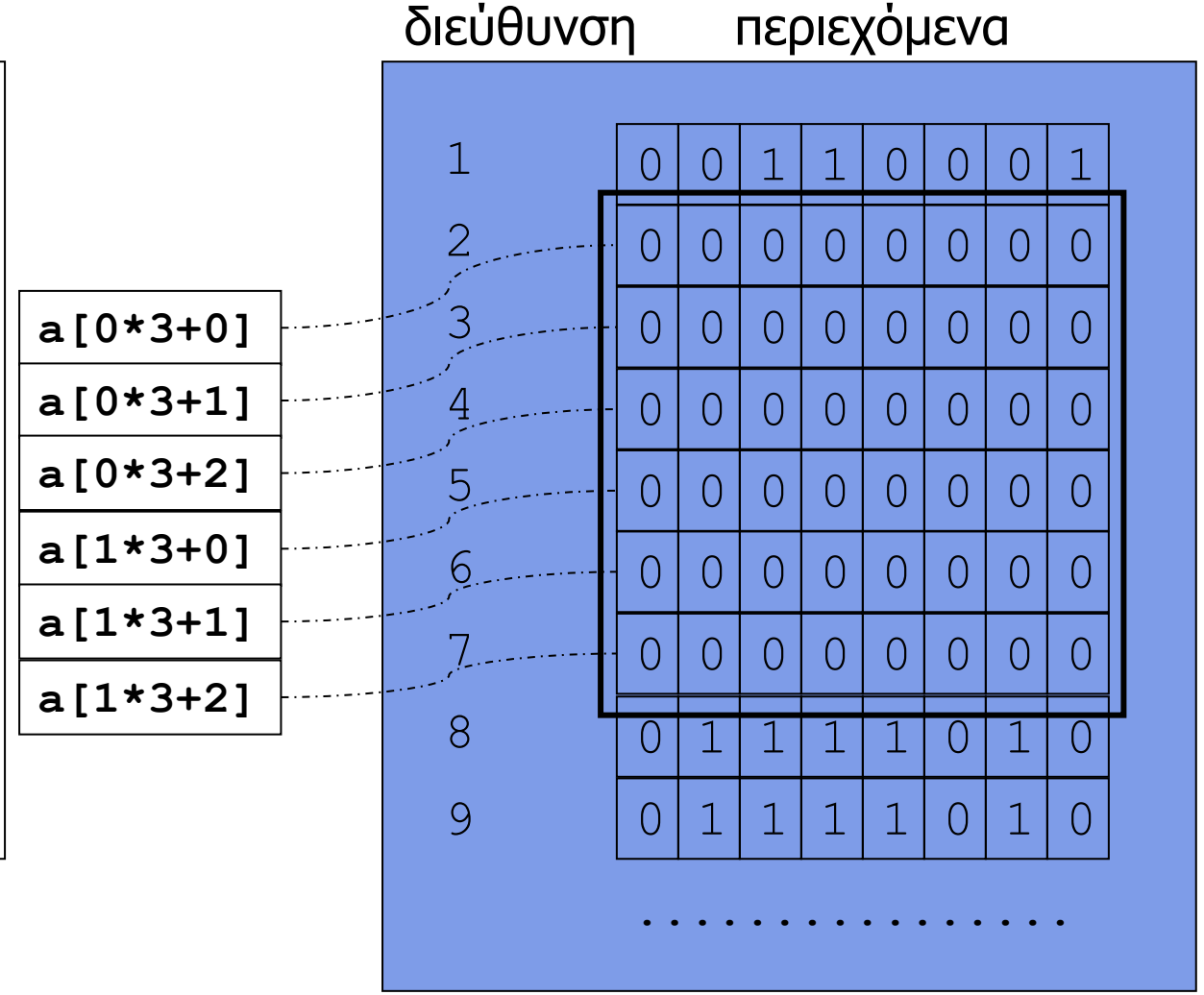
```
…
char a[2][3];

a[0][0]='a';

a[0][1]='b';

a[0][2]='c';

a[1][0]='d';

a[1][1]='e';
```



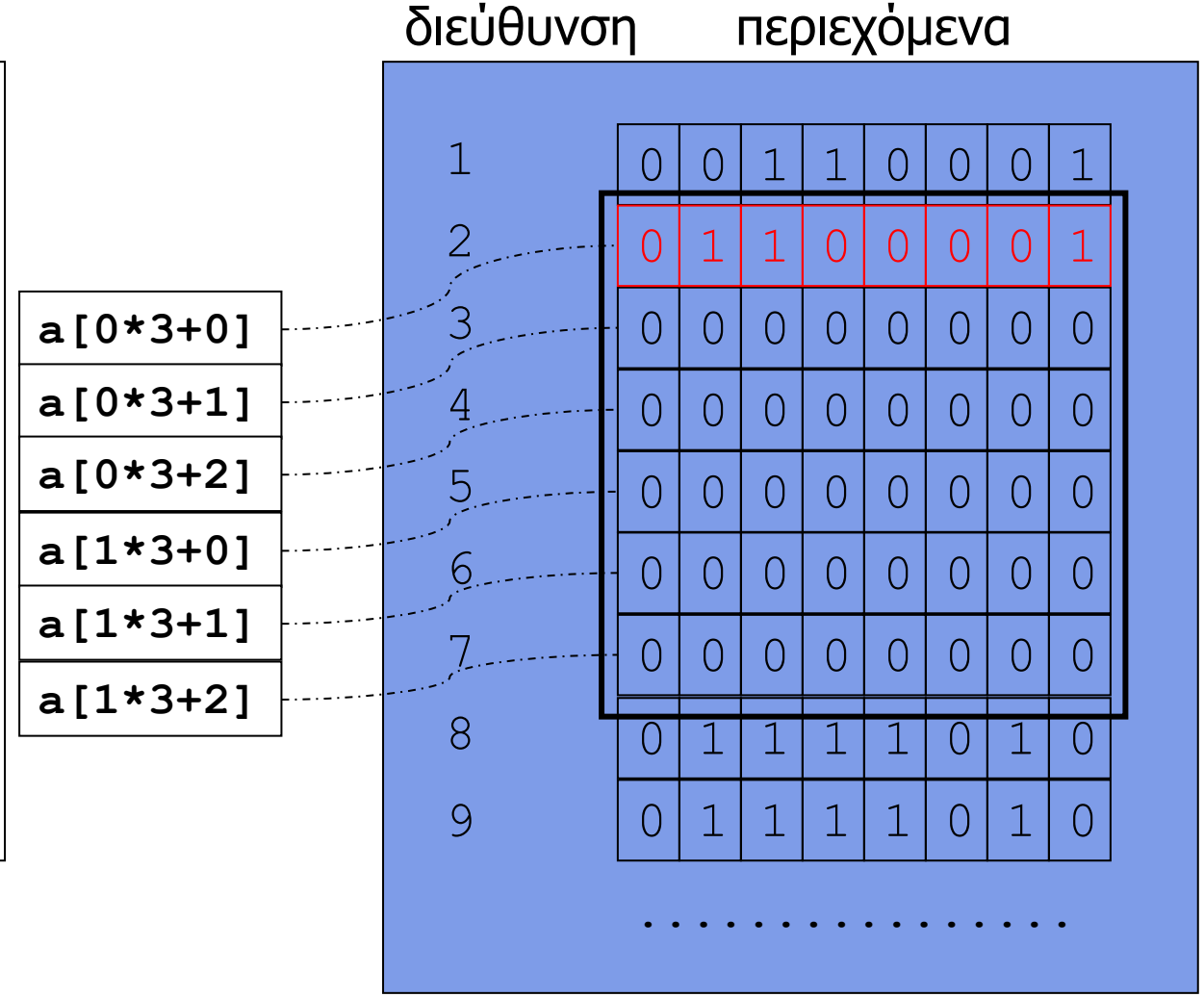
```
…
char a[2][3];

a[0][0]='a';

a[0][1]='b';

a[0][2]='c';

a[1][0]='d';

a[1][1]='e';

a[1][2]='f';
```



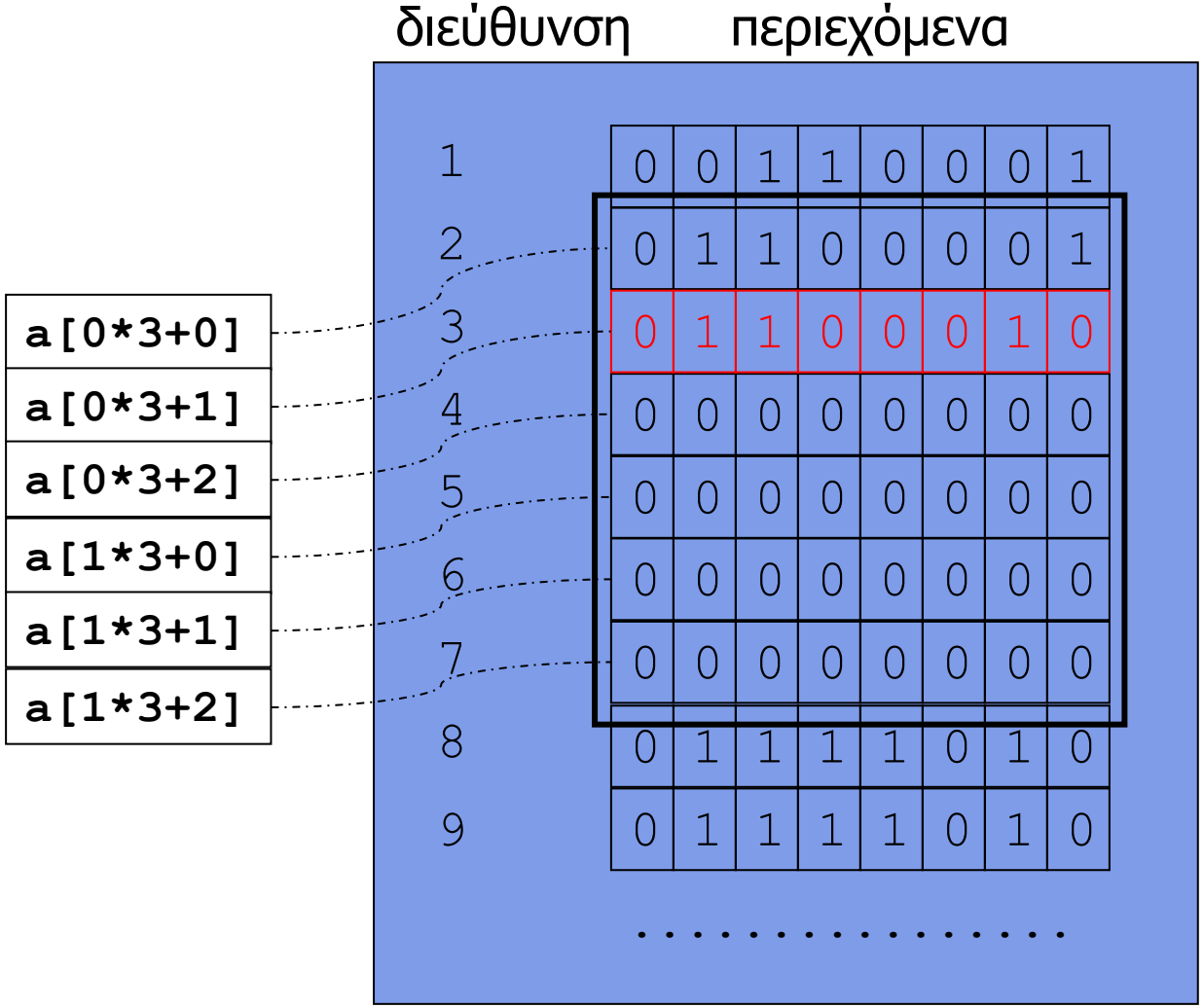
```
…
char a[2*3];
```


διεύθυνση
περιεχόμενα
a[0*3+0]
a[0*3+1]
a[0*3+2]
a[1*3+0]
a[1*3+1]
a[1*3+2]
1
2
3
4
5
6
7
8
9
0 0 1 1 0 0 0 1
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 1 1 1 1 0 1 0
0 1 1 1 1 0 1 0

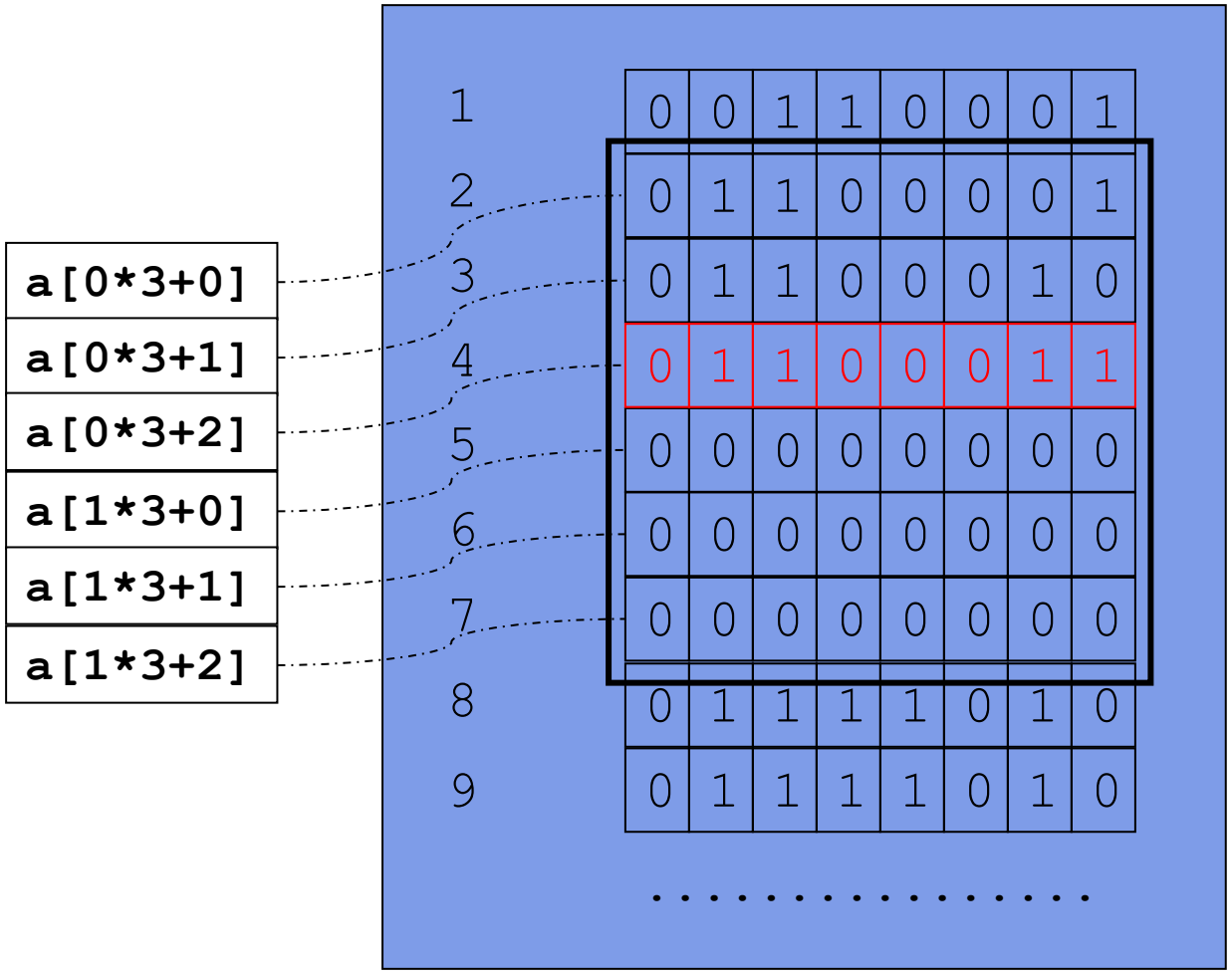
```
…
char a[2*3];

a[0]='a';
```


διεύθυνση
περιεχόμενα
a[0*3+0]
a[0*3+1]
a[0*3+2]
a[1*3+0]
a[1*3+1]
a[1*3+2]
1
2
3
4
5
6
7
8
9
0 0 1 1 0 0 0 1
0 1 1 0 0 0 0 1
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 1 1 1 1 0 1 0
0 1 1 1 1 0 1 0

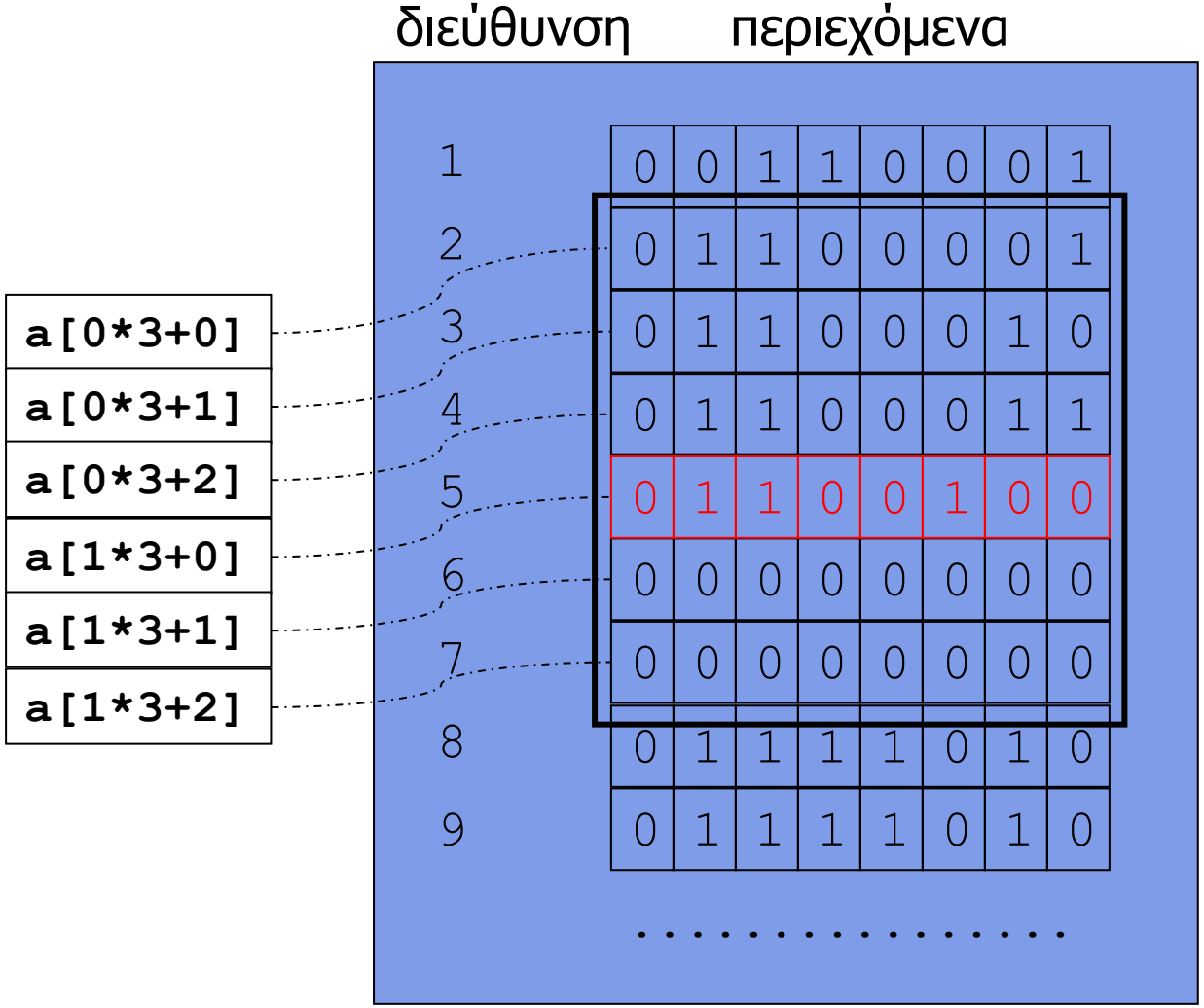
```
…
char a[2*3];

a[0]='a';

a[1]='b';
```



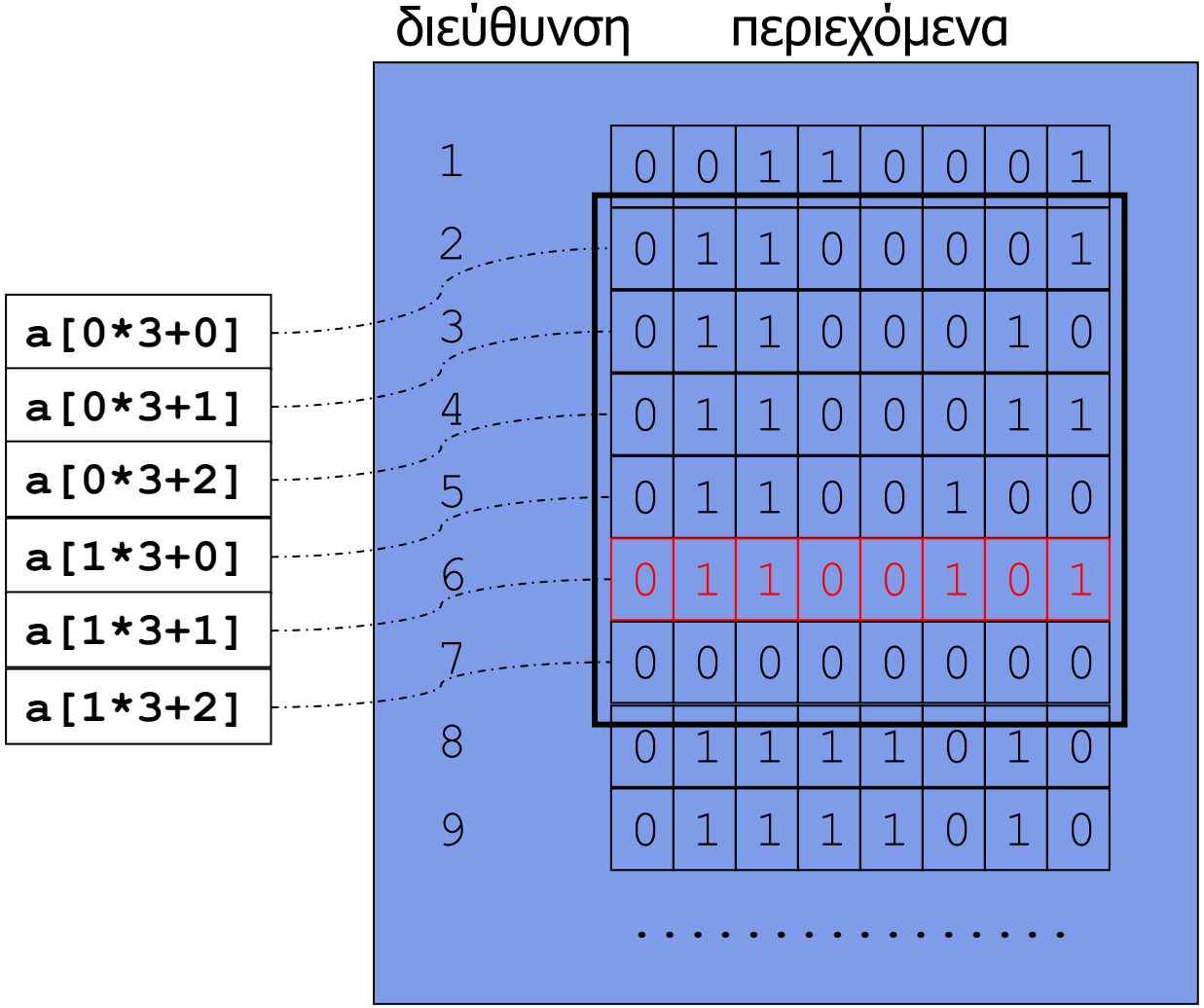
```
…
char a[2*3];

a[0]='a';

a[1]='b';

a[2]='c';
```



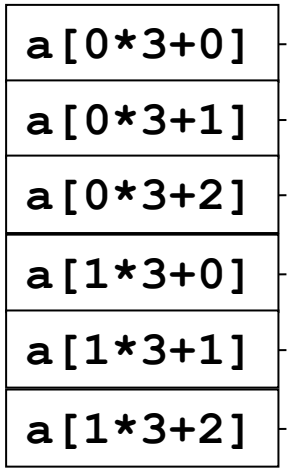
```
…
char a[2*3];

a[0]='a';

a[1]='b';

a[2]='c';

a[3]='d';
```

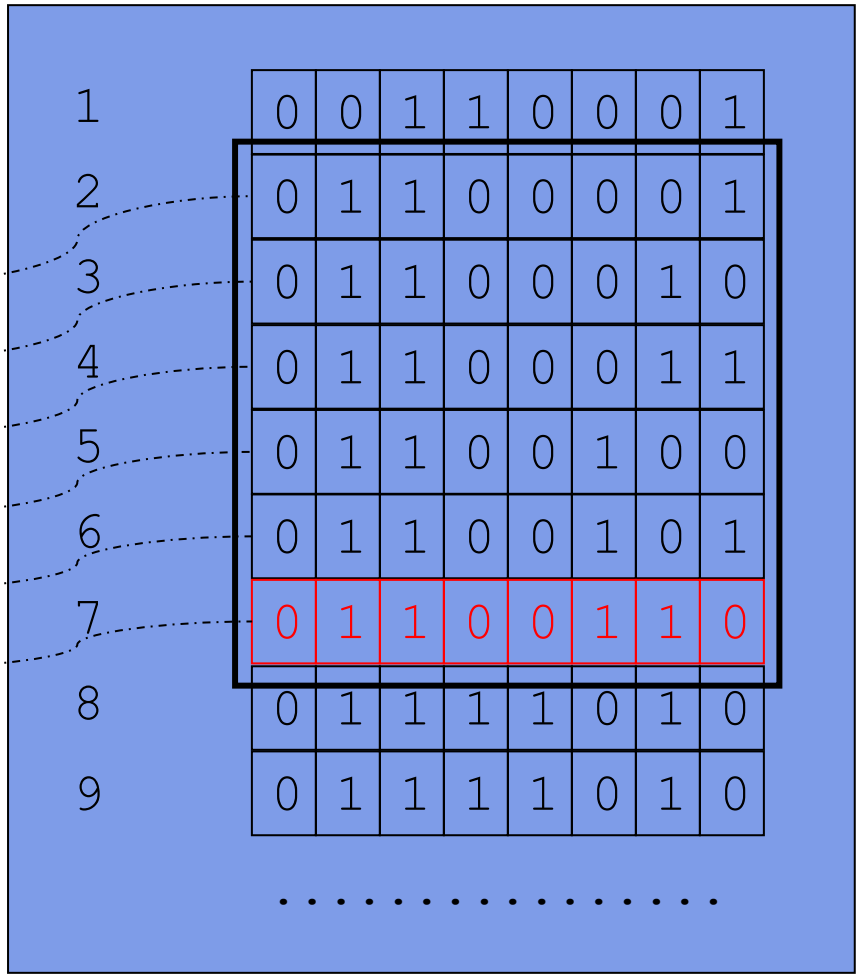


```
…
char a[2*3];

a[0]='a';

a[1]='b';

a[2]='c';

a[3]='d';

a[4]='e';
```



```
…
char a[2*3];

a[0]='a';

a[1]='b';

a[2]='c';

a[3]='d';

a[4]='e';

a[5]='f';
```





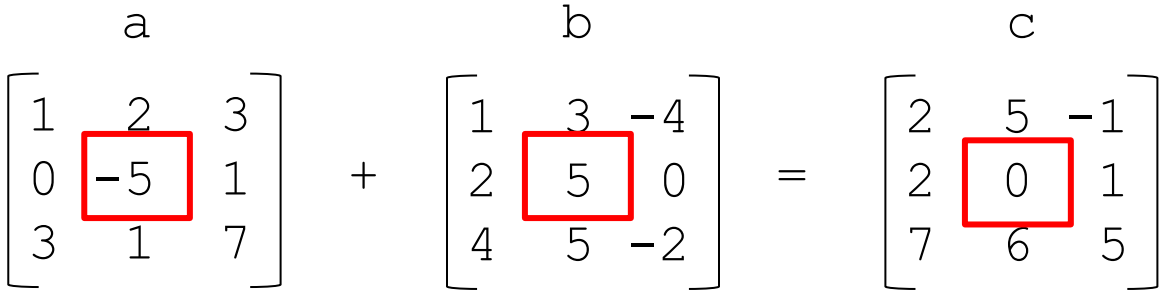
Αρχικοποίηση πινάκων

- Υποστηρίζεται αρχικοποίηση κατά την δήλωση
  - `int a[4]={1,2,3,4};`
- Αν η διάσταση αφεθεί απροσδιόριστη, ορίζεται **εμμέσως** από τον αριθμό των αρχικών τιμών
  - `int a[]={1,2,3,4};`
- Αν η διάσταση προσδιοριστεί ρητά αλλά δοθούν λιγότερες αρχικές τιμές, οι **υπόλοιπες** είναι `0`
  - `int a[4]={1,2}; /* a[2],a[3] είναι 0 */`
- Αν αντί για τιμές μεμονωμένων στοιχείων δοθεί απλά η (ειδική) τιμή `0` ή `'\0'`, **όλα** τα στοιχεία γίνονται `0`
  - `int a[4]={0};  /* όλα τα στοιχεία 0 */`
  - `char c[4]={'\0'}; /* όλα τα στοιχεία '\0' */`
- Χωρίς καμία αρχικοποίηση, ο πίνακας έχει **τυχαίες** τιμές
  - όπως άλλωστε ισχύει για οποιαδήποτε μεταβλητή ...

Αρχικοποίηση πολυδιάστατων πινάκων

- Οι τιμές κάθε διάστασης δίνονται ανάμεσα σε `{}`
  - `int c[2][3]={{1,2,3},{4,5,6}};`
- Μόνο η **πρώτη** διάσταση μπορεί να προσδιοριστεί **έμμεσα** μέσω της έκφρασης αρχικοποίησης
  - `int a[][3] ={{1,2,3},{4,5,6}};`
- Για κάθε διάσταση ισχύουν οι συμβατικοί κανόνες αρχικοποίησης (βλέπε προηγούμενη διαφάνεια)
  - `int c[2][3]={{1},{4,5,6}};`
  - `int a[2][3]={{0},{4,5,6}};`
- Αν μια διάσταση δεν αρχικοποιείται ρητά, τότε **όλα** αντίστοιχα στοιχεία λαμβάνουν **αυτομάτως** την τιμή `0`
  - `int a[2][3]={{1,2,3}}; /* η 2η γραμμή είναι 0 */`
  - `int a[2][3]={{0}}; / * όλες οι γραμμές 0 */`

Πρόσθεση πινάκων



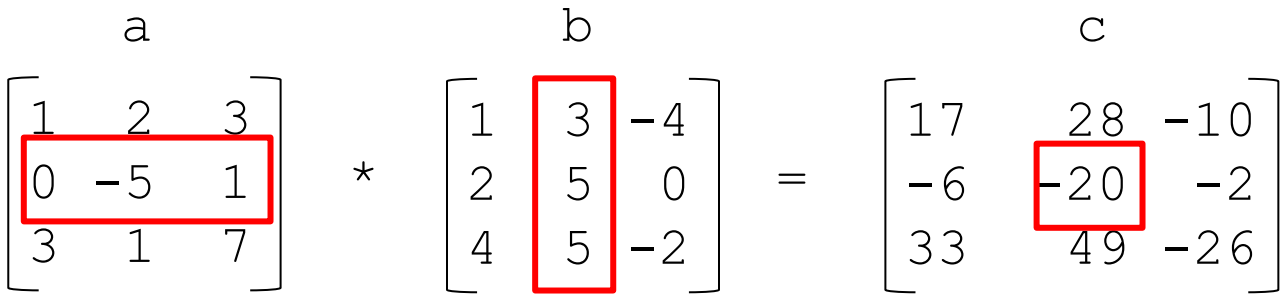
- Αθροίζουμε στοιχείο προς στοιχείο

```
c[i][j] = a[i][j] + b[i][j]
```

- Τα `i` και `j` κυμαίνονται από την αρχή έως το τέλος της κάθετης και οριζόντιας διάστασης των πινάκων

```c
/* πρόσθεση πινάκων */

#include <stdio.h>
#define N 3

int main(int argc, char *argv[]) {
  int a[N][N] = {{1,2,3},{0,-5,1},{3,1,7}};
  int b[N][N] = {{1,3,-4},{2,5,0},{4,5,-2}};
  int c[N][N];  /* αποθήκευση αποτελέσματος */
  int i,j;      /* προσπέλαση στοιχείων */


  for (i=0; i<N; i++) {
    for (j=0; j<N; j++) {
      c[i][j] = a[i][j] + b[i][j];
    }
  }

  for (i=0; i<N; i++) {
    for (j=0; j<N; j++) {
      printf("%3d ", c[i][j]);
    }
    printf("\n");
  }

  return(0);
}
```

Πολλαπλασιασμός πινάκων



- Το εσωτερικό γινόμενο ανάμεσα στην εκάστοτε σειρά `a[i][]` και στήλη `b[][j]`

```
c[i][j] = Σ  a[i][k] * b[k][j]
```

- Το `k` κυμαίνεται από την αρχή έως το τέλος της διάστασης πολλαπλασιασμού των πινάκων
  - πλάτος πρώτου πίνακα = ύψος δεύτερου πίνακα

```c
/* πολλαπλασιασμός πινάκων */

#include <stdio.h>
#define N 3

int main(int argc, char *argv[]) {
  int a[N][N] = {{1,2,3},{0,-5,1},{3,1,7}};
  int b[N][N] = {{1,3,-4},{2,5,0},{4,5,-2}};
  int c[N][N];  /* αποθήκευση αποτελέσματος */
  int i,j,k;    /* προσπέλαση στοιχείων */

  for (i=0; i<N; i++)
    for (j=0; j<N; j++) {
      c[i][j] = 0;
      for (k=0; k<N; k++) {
        c[i][j] = c[i][j] + a[i][k] * b[k][j];
      }
    }

  for (i=0; i<N; i++) {
    for (j=0; j<N; j++) {
      printf("%3d ", c[i][j]);
    }
    printf("\n");
  }

  return(0);
}
```

strings

Συμβολοσειρές (strings)

- Τα strings υλοποιούνται ως **πίνακες** από `char`
- **Τουλάχιστον** ένα στοιχείο έχει την τιμή `'\0'` (`0`)
- Το **πρώτο** στοιχείο με αυτή την τιμή καθορίζει το τέλος του string – ονομάζεται **τερματικό**
  - το τερματικό **δεν** είναι απαραίτητα/αναγκαστικά το τελευταίο στοιχείο του πίνακα χαρακτήρων
  - τα στοιχεία μετά το τερματικό **δεν** λαμβάνονται υπόψη στις διάφορες λειτουργίες που αφορούν τα strings

- Ένα πρόγραμμα που χρησιμοποιεί strings μπορεί να **υποθέσει** πως αυτά τερματίζονται με `'\0'`
- Ένα πρόγραμμα που δημιουργεί strings πρέπει να **φροντίσει** αυτά να τερματίζονται με `'\0'`

```
char str1[] = {'w', 'i', 'n'};    /* not a string! */

char str2[] = {'w', 'i', 'n', '\0'};      /* "win" */

char str3[] = {'w', 'i', 'n', '\0', 'x'}; /* "win" */

char str4[] = "win";                      /* "win" */

char str5[7] = {'\0'};

str5[0] = str1[1];   /* 'i' */
str5[1] = ' ';       /* ' ' */
str5[2] = str1[0];   /* 'w' */
str5[3] = str2[1];   /* 'i' */
str5[4] = str3[2];   /* 'n' */
str5[5] = '\0';      /* '\0' */
str5[6] = 'x';       /* 'x' */
```

Ανάγνωση & εκτύπωση strings

- Μπορούμε να τα υλοποιήσουμε (εμείς) χαρακτήρα προς χαρακτήρα μέσω `getchar()` και `putchar()`
- Πιο απλά, χρησιμοποιούμε `scanf()` και `printf()`
  - με **προσδιοριστή** `%s` και παράμετρο πίνακα χαρακτήρων
  - στην `scanf` **δεν** βάζουμε `&` πριν το όνομα της μεταβλητής
    - το γιατί θα το δούμε λίγο αργότερα ...
- Η `printf()` σταματά την εκτύπωση των περιεχομένων του πίνακα όταν βρει το τερματικό
- Η `scanf()` σταματά την ανάγνωση χαρακτήρων (και την αποθήκευση τους στον πίνακα) **μόνο** όταν βρεθεί ένας «λευκός» χαρακτήρας
  - **προσοχή: μπορεί να γίνει αποθήκευση εκτός ορίων του πίνακα που δίνεται ως παράμετρος!**

προσδιοριστής string

```
#include<stdio.h>

int main(int argc, char *argv[]) {
  char str[4];

  printf("enter string: ");
  scanf("%s", str);
  printf("you entered %s\n", str);

  return(0);
}
```

δίνεται το όνομα της μεταβλητής (του πίνακα) **χωρίς** το `&`

αν ο χρήστης εισάγει συμβολοσειρά με περισσότερους από 3 χαρακτήρες, αυτοί (ή/και το τερματικό) θα αποθηκευτούν σε θέσεις μνήμης που βρίσκονται **εκτός ορίων** του πίνακα

...

διαβάζει **το πολύ** 3 χαρακτήρες (εκτός από το `'\0'` που θα αποθηκευτεί ως τελευταίος χαρακτήρας της συμβολοσειράς)

```
#include<stdio.h>

int main(int argc, char *argv[]) {
  char str[4];

  printf("enter string: ");
  scanf("%3s", str);
  printf("you entered %s\n", str);

  return(0);
}
```

```c
/* μήκος string str */

#include <stdio.h>
#define N 32

int main(int argc, char *argv[]) {
  int len;
  char str[N];

  printf("enter string: ");
  scanf("%31s", str);

  for (len=0; str[len]!='\0'; len++) {}

  printf("length of %s is %d\n", str, len);

  return(0);
}
```

```
/* ανάποδη αντιγραφή του str1 στο str2 */

#include <stdio.h>
#define N 32

int main(int argc, char *argv[]) {
  int len, pos;
  char str1[N], str2[N];

  printf("enter string: ");
  scanf("%31s", str1);

  /* βρες το τέλος του str1 */
  for (len=0; str1[len]!='\0'; len++) {}

  /* αντέγραψε ανάποδα στο str2 */
  for (pos=0,len--; len>=0; pos++,len--) {
    str2[pos] = str1[len];
  }
  str2[pos] = '\0'; /* βάλε τερματικό */

  printf("%s in reverse is %s\n", str1, str2);

  return(0);
}
```

```
/* αντιγραφή του str1 "και" του str2 στο str3 */
#include <stdio.h>
#define N 32

int main(int argc, char *argv[]) {
  char str1[N], str2[N], str3[2*N-1];
  int i, j;

  printf("enter string: ");
  scanf("%31s", str1);
  printf("enter string: ");
  scanf("%31s", str2);

  /* αντέγραψε το str1 στο str3 */
  for (i=0; str1[i]!='\0'; i++)
    str3[i] = str1[i];

  /* αντέγραψε το str2 στο str3 */
  for (j=0; str2[j]!='\0'; j++,i++)
    str3[i] = str2[j];

  str3[i]='\0'; /* βάλε τερματικό */

  printf("%s + %s = %s\n", str1, str2, str3);
  return(0);
}
```