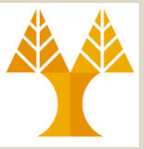
Τμήμα Πληροφορικής
Πανεπιστήμιο Κύπρου



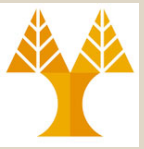
ΕΠΛ232 – Προγραμματιστικές Τεχνικές και Εργαλεία

Διάλεξη 10: Δομές Δεδομένων Ι (Στοίβες & Ουρές)

Δημήτρης Ζεϊναλιπούρ

http://www.cs.ucy.ac.cy/courses/EPL232

Περιεχόμενο Διάλεξης 10



- **Δομές Δεδομένων**
  - Εισαγωγή και Παραδείγματα Δομών
  - Αυτοαναφορικές Δομές Δεδομένων
  - Δείκτες-σε-Δείκτες & Δυναμικοί Πολυδιάστατοι Πίνακες (μη-συνεχόμενοι)
  - Δημιουργία Απλής Μονά-Συνδεδεμένης Λίστας
- **Η Δομή Δεδομένων Στοίβα**
  - Λογική και Δηλώσεις
  - Υλοποίηση με Δυναμική Δέσμευση Μνήμης
- **Η Δομή Δεδομένων Ουρά**
  - Λογική και Δηλώσεις
  - Υλοποίηση με Δυναμική Δέσμευση Μνήμης

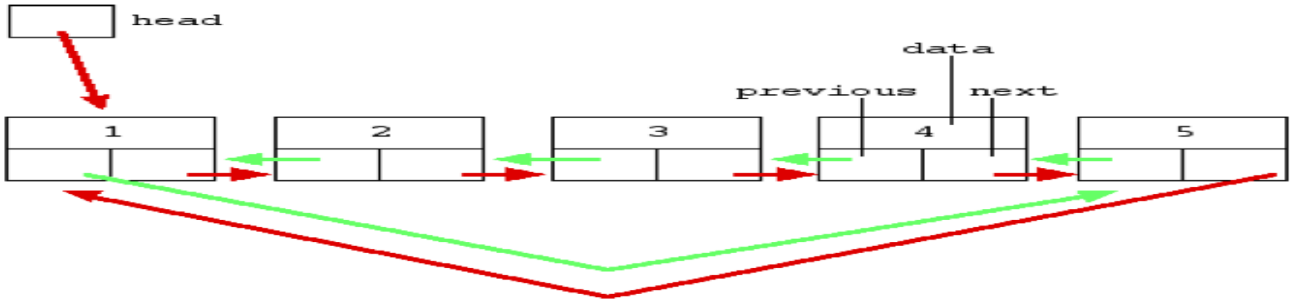
Δομές Δεδομένων (Data Structures)

- Η **δυναμική δέσμευση** μνήμης, που είδαμε σε προηγούμενη διάλεξη χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για **αποθήκευση αντικειμένων** τύπου **structure.**
  - Δεν συνηθίζεται για απλούστερους τύπους (π.χ., (float, int, char κλπ.)
- Αυτό γιατί μπορούμε μέσω αντικειμένων τύπου structure να **φτιάξουμε κόμβους**, να τους **συνδέσουμε** μεταξύ τους και να δημιουργήσουμε:
  - Συνδεδεμένη λίστα
  - Στοίβες, Ουρές και λίστες αναμονής,
  - Δέντρα, Γράφοι, κλπ.

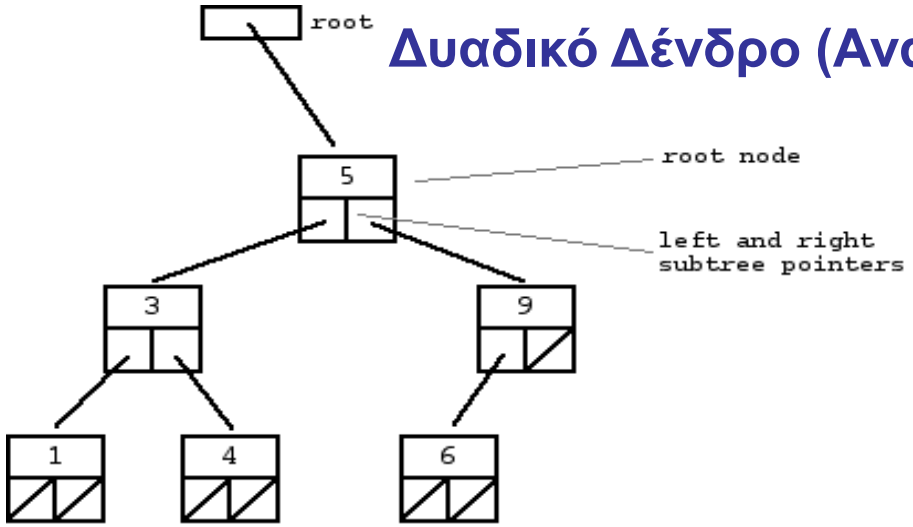
Δομές Δεδομένων (Data Structures)

Παραδείγματα Δομών Δεδομένων στην Μνήμη

Κυκλική Διπλά Συνδεδεμένη Λίστα



Δυαδικό Δένδρο (Αναζήτησης)



Αυτοαναφορικές Δομές Δεδομένων

- **Αυτοαναφορική Δομή Δεδομένων (Self-referential Data Structure):** Μια δομή η όποια στη δήλωση της φέρει πεδίο το οποίο αναφέρεται στον ίδιο τύπο δομής με αυτό της δήλωσης.
- **Ορισμός Κόμβου Λίστας Ακέραιων:**

```
struct node {
   int data;
   struct node *next;
} NODE;
```

OK αλλά χωρίς typedef

```
typedef struct node {
   int data;
   struct node *next;
} NODE;
```

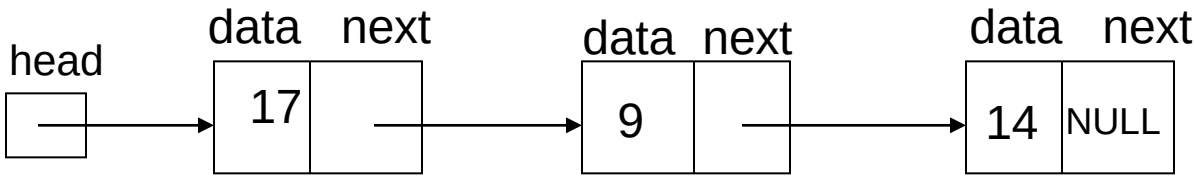
ΣΥΝΙΣΤΟΜΕΝΟΣ ΟΡΙΣΜΟΣ

```
typedef struct node {
   int data;
   NODE *next;
} NODE;
```

Λάθος Μεταγλώττισης

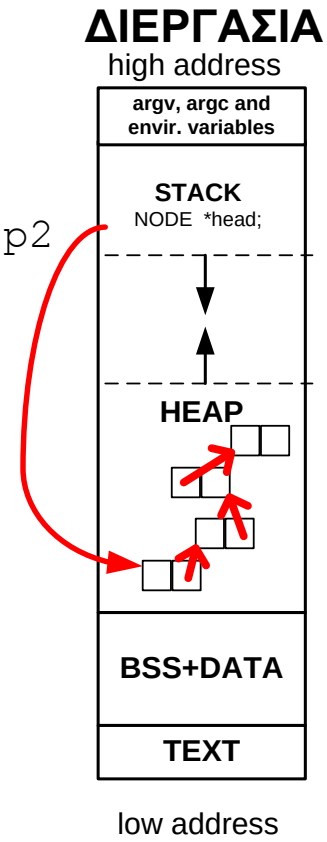
- Όπως όλα τα typedef, να τοποθετούνται στην **αρχή του προγράμματος** και αργότερα σε **αρχεία κεφαλίδας .h**
- Ακολουθούν **παραδείγματα χρήσης** στην επόμενη διαφάνεια.

Δημιουργία (Απλής) Μονά-Συνδεδεμένης Λίστας



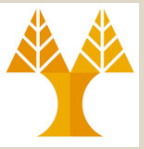
- Την παραπάνω συνδεδεμένη λίστα θα μπορούσαμε να την υλοποιήσουμε ως εξής:

```
NODE *head, *p1, *p2;   // ή struct node *head, *p1, *p2

head  = (NODE *) malloc (sizeof(NODE));
p1    = (NODE *) malloc (sizeof(NODE));
p2    = (NODE *) malloc (sizeof(NODE));

head->data  = 17;
p1 -> data  = 9;
p2 -> data  = 14;

head->next = p1;
p1->next   = p2;
p2->next   = NULL;
```



- Σημείωση: οι δείκτες p1 και p2 είναι στο παρόν στάδιο βοηθητικοί για την υλοποίηση της λίστας εάν και δε χρειάζονται απαραίτητα

Συνδεδεμένη Λίστα έναντι **Πίνακα**

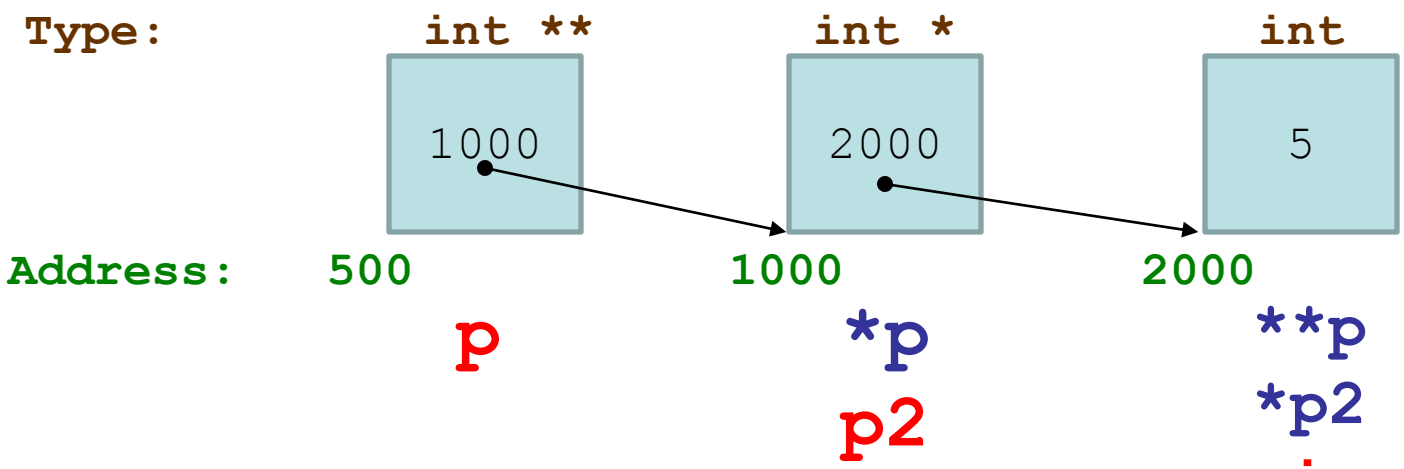


- **Πλεονεκτήματα Λίστας**
  - **Εύκολες Εισαγωγές και Εξαγωγές** κόμβων με προσαρμογή δεικτών.
  - **Δεν** χρειάζεται **προσδιορισμένο μέγεθος** η λίστα.
- **Μειονεκτήματα Λίστας**
  - Χάνουμε τη δυνατότητα για **τυχαία προσπέλαση**, π.χ., a[i].
  - Είναι **προγραμματιστικά** πιο **δύσκολο** να υλοποιηθεί.

Δείκτες σε Δείκτες (Pointers to Pointers)

```
int **p = NULL;
int *p2 = NULL;
int i = 5;
p2 = &i;
p = &p2;
```

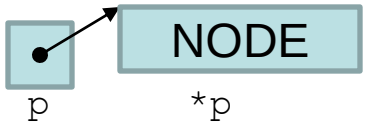
```
typedef unsigned long int ADDR;

printf("%ld", (ADDR) &p);   // 500
printf("%ld", (ADDR) p);    // 1000
printf("%ld", (ADDR) &p2);  // 1000
printf("%ld", (ADDR) *p);   // 2000
printf("%ld", (ADDR) p2);   // 2000
printf("%d", **p);   // 5
printf("%d", *p2);   // 5
printf("%d", i);     // 5
```



Δείκτες σε Δείκτες (Pointers to Pointers)

- Όταν ένα όρισμα μιας συνάρτησης **είναι δείκτης (π.χ., *p)** τότε το **αντικείμενο** περνά **δια-διεύθυνσης**, αλλά η ίδια η **αναφορά (p)** έχει **τοπική εμβέλεια**.

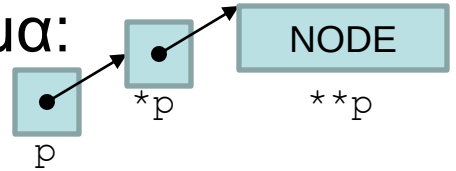
- Συνεπώς τυχούσα αλλαγή της αναφοράς p δε θα είχε αντίκτυπο εξωτερικά, π.χ.,



- `void initNode(NODE *p) {`

```
    p->data = 4; // OK
    p = (NODE *) malloc(sizeof(NODE)); // ERROR }
```

- Με δείκτη-σε-δείκτη διορθώνεται το πρόβλημα:




```
void initNode(NODE **p) {
    *p = (NODE *) malloc(sizeof(NODE)); // OK
    (*p)->data = 4; // OK
    (*p).data = 4 // ERR ίδιο με p->data = 4
```

Δυναμικά Δεσμευμένοι Πίνακες (**Συνεχόμενος** Πολυδιάστατος Πίνακας)

- Μια δεύτερη εφαρμογή του **δείκτη-σε-δείκτη** είναι και η δημιουργία **δυναμικών πολυ-διάσταστων** πινάκων
- Στη **διάλεξη 9** είδαμε την **ακόλουθη λύση:**

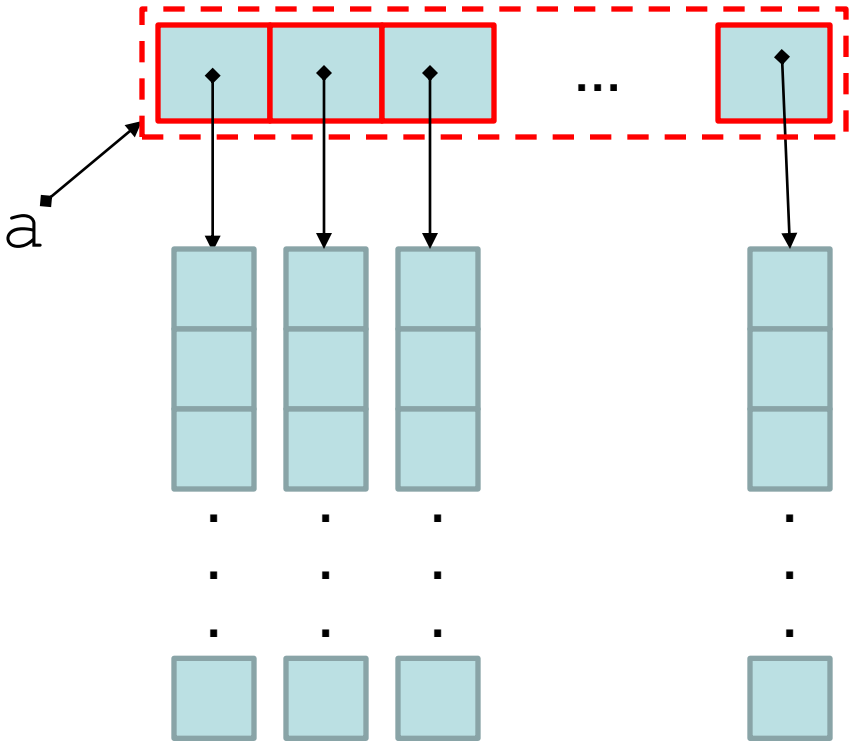
```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main() {
    int *a = NULL;
    int n;
    printf("Enter Matrix (nxn) Size:");
    scanf("%d", &n);
    int k = 0;
    a = (int *) malloc(n * n * sizeof(int));
    for (int i=0; i<n; i++)
        for (int j=0; j<n; j++)
            a[i*n + j] = ++k;
    free(a);
    return 0;
}
```

```
 1,  2,  3,  4,  5,  6,  7,  8,  9, 10,
11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20,
21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30,
31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40,
41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50,
51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60,
61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70,
71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80,
81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90,
91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99,100,
```

Πρόβλημα: Θα ήταν ευκολότερη η αναφορά σε a[i][j] παρά a[i*n+j]!

Δυναμικά Δεσμευμένοι Πίνακες (**Μη-Συνεχόμενος** Πολυδιάστατος Πίνακας)

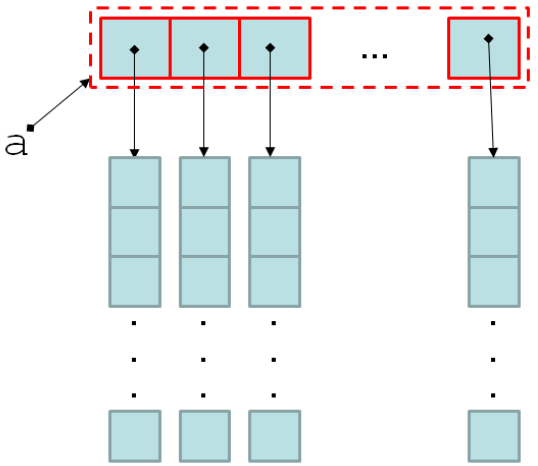
- Μια καλύτερη λύση είναι με τη χρήση **μη-συνεχόμενου δυναμικού πολυδιάστατου πίνακα**.




```
int **a = NULL; int N = 10;
...
// Δέσμευση Πίνακα Δεικτών
a = (int **)
  malloc(sizeof(int *) * N);

...
// Δέσμευση Πίνακα για a[i]
for(i=0; i<N; i++) {
  a[i] = (int *)
    malloc(sizeof(int) * N);
  ...
}
// Χρήση Στοιχείων Πίνακα
a[0][0] = 10;
```

Δυναμικά Δεσμευμένοι Πίνακες (**Μη-Συνεχόμενος** Πολυδιάστατος Πίνακας)

Ολοκληρωμένο Παράδειγμα:

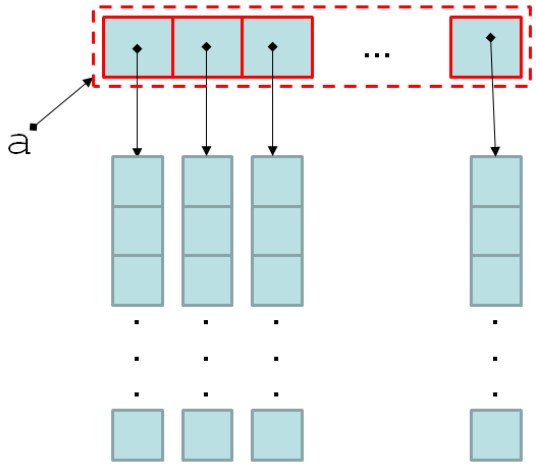



```
#include <stdlib.h>
int main() {
    int **a = NULL, N;
    printf("Enter Matrix (NxN) Size:");
    scanf("%d", &N);

    /* create list of pointers */
    a = (int **) malloc(sizeof(int *) * N);
    if (a == NULL) {
        printf("Error: Unable to allocate enough memory!");
        return(EXIT_FAILURE);
    }

   /* allocate vector for each a[i] */
   for(int i=0; i<N; i++) {
        a[i] = (int *) malloc(sizeof(int) * N);
        if (a[i] == NULL) {
            printf("Error: Unable to allocate enough memory!");
            return(EXIT_FAILURE);
        }
}
```

Δυναμικά Δεσμευμένοι Πίνακες (**Μη-Συνεχόμενος** Πολυδιάστατος Πίνακας)

... Συνέχεια

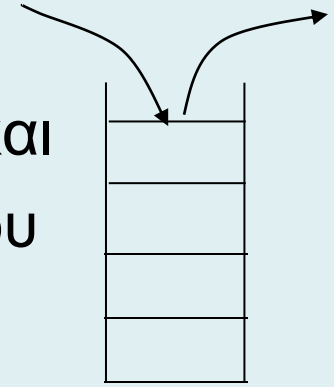
```
    int k = 0;
    for (int i=0; i<N; i++)
        for (int j=0; j<N; j++)
            a[i][j] = ++k;

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

    for(int i=0; i<N; i++)
         free(a[i]);
    free(a);

    return 0;
}
```




```
 1,  2,  3,  4,  5,  6,  7,  8,  9, 10,
11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20,
21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30,
31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40,
41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50,
51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60,
61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70,
71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80,
81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90,
91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99,100,
```

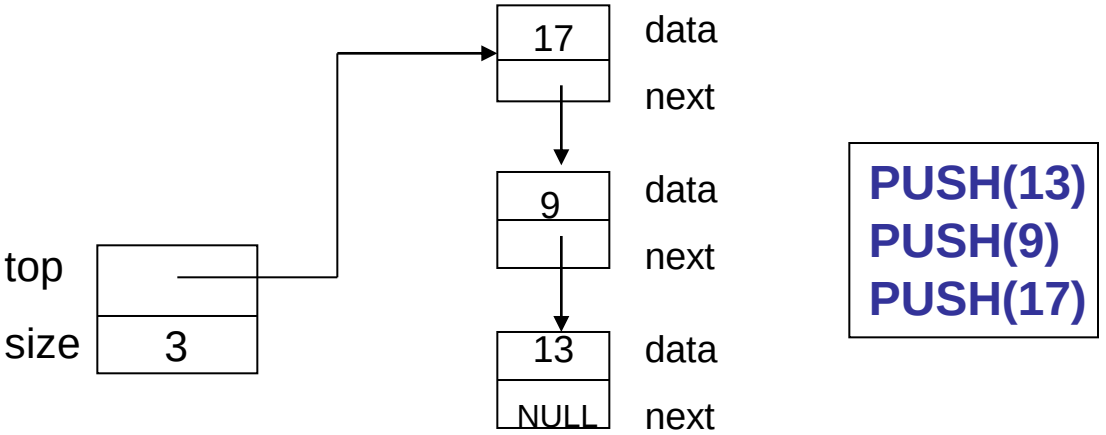
Η Δομή Δεδομένων **Στοίβα** (με Δυναμική Χορήγηση Μνήμης)

- Μια στοίβα είναι μια λίστα στοιχείων που συνοδεύεται από τις διαδικασίες
  - **`push`**, για εισαγωγή στοιχείου στη λίστα, και
  - **`pop`**, για εξαγωγή του τελευταία εισαγμένου στοιχείου της λίστας.



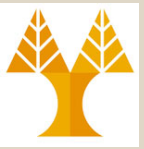
- Για ευκολία στην διεκπεραίωση των **δύο διαδικασιών** θα ήταν χρήσιμο, ανά πάσα στιγμή να γνωρίζουμε που βρίσκεται η **κεφαλή της στοίβας** (και το **μέγεθός της**).
- Η **νέα εικόνα** της στοίβας που θα θέλαμε να έχουμε βασισμένη σε **συνδεδεμένη λίστα** είναι αυτή που δίνεται στην **επόμενη διαφάνεια**.

Η Δομή Δεδομένων **Στοίβα** (με Δυναμική Χορήγηση Μνήμης)



- Προσέξτε ότι για την παραπάνω υλοποίηση απαιτείται να καθορίσουμε δύο πράγματα:
  1. Τη **μορφή του κόμβου** της **συνδεδεμένης λίστας** και
  2. Τη **μορφή του κόμβου** που κρατά πληροφορίες για τη **στοίβα γενικά** όπως την κορυφή της στοίβας και το μέγεθός της.

Η Δομή Δεδομένων **Στοίβα** (Δηλώσεις και Αρχικοποίηση)



- Συνεπώς, ως πρώτο βήμα για την υλοποίηση της στοίβας απαιτούνται οι παρακάτω δηλώσεις κόμβων:

```
typedef struct node {
    int          data;
    struct node *next;
} NODE;
```

```
typedef struct {
    NODE  *top;
    int    size;
} STACK;
```

- Οι ορισμοί λοιπόν και οι κλήσεις (4 εναλλακτικοί τρόποι):

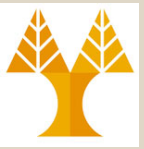
A) Στατικά στο main()

```
STACK stack;
stack.top = NULL;
stack.size = 0;
foo(&stack);

void foo(STACK *stack);
```

B) Δυναμικά στο main()

```
STACK *stack = NULL;
stack = (STACK *)
          malloc(sizeof(STACK));
stack->top = NULL;
stack->size = 0;
foo(stack);
```

Η Δομή Δεδομένων **Στοίβα** (Δηλώσεις και Αρχικοποίηση)



Γ) Δυναμικά σε Συνάρτηση (με return pointer):

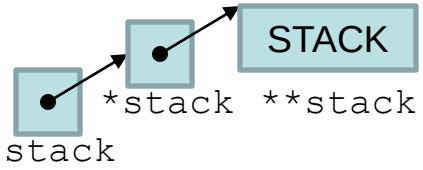
Κατά την έξοδο, η αναφορά stack χάνεται όχι όμως ο χώρος που δεσμεύτηκε με την malloc (η διεύθυνση του οποίου επιστρέφεται)

```
(STACK *) initStack() {
   STACK *stack = (STACK *) malloc(sizeof(STACK));
    if (stack == NULL) return NULL;
   stack->top = NULL;
   stack->size = 0;
   return stack;
}
```

```
int main() {
   STACK *stack = NULL;
   stack = initStack();
   ...
}
```

Δ) Δυναμικά σε Συνάρτηση (με δείκτη-σε-δείκτη):

```
int initStack2(STACK **stack) {
        *stack = (STACK *) malloc(sizeof(STACK));
        if ((*stack) == NULL) return EXIT_FAILURE;
        (*stack)->top = NULL;
        (*stack)->size = 0;
        return EXIT_SUCCESS;
}
```

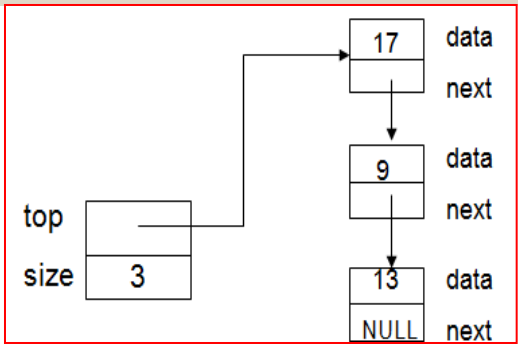



```
int main() {
   STACK *stack;
   initStack2(&stack);
   ...
}
```

Η Δομή Δεδομένων **Στοίβα** (με Δυναμική Χορήγηση Μνήμης)

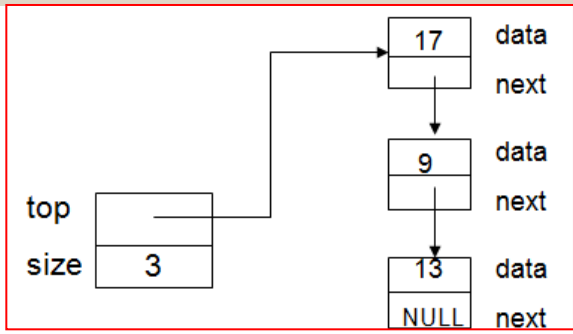
- Μια **στοίβα** μπορεί να έχει **διάφορες συναρτήσεις**, όπως:
  - `STACK *initStack();`
  - `int initStack2(STACK **stack);`
  - `bool IsEmptyStack(STACK *stack);`
  - `void top(STACK *stack);`
  - `int push(int value, STACK *stack);`
  - `int pop(STACK *stack, int *retval);`
- Αυτές οι συναρτήσεις θα πρέπει για λόγους καλύτερης **οργάνωσης του κώδικα** να τοποθετηθούν σε ξεχωριστό αρχείο
  - Η οργάνωση του κώδικα σε πολλαπλά αρχεία θα μελετηθεί στις διαλέξεις 11 και 12.

Η Δομή Δεδομένων **Στοίβα** (με Δυναμική Χορήγηση Μνήμης)




```
int push(int value, STACK *s) {
   NODE *p = NULL;
   if (s == NULL){ return EXIT_FAILURE;}
   p = (NODE *) malloc(sizeof(NODE));
   if ( p == NULL ) {
      printf("System out of memory!\n");
      return EXIT_FAILURE;
   }
   p->data = value;      // assign to new node
   p->next = s->top;     // adjust next pointer
   s->top = p;     // point head to this node
   (s->size)++;    // increase stack size
   return EXIT_SUCCESS;
}
```

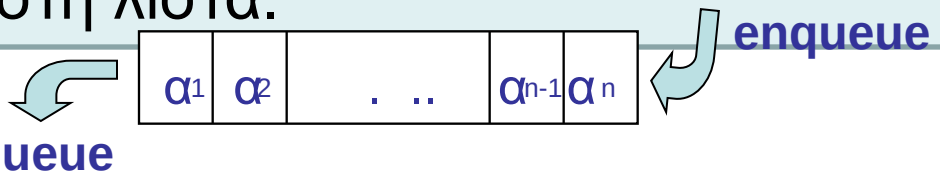
Η Δομή Δεδομένων **Στοίβα** (με Δυναμική Χορήγηση Μνήμης)




```
int pop(STACK *s, int *retval) {
  NODE *p = NULL;
  if ( s == NULL || s->size == 0 ) {
       printf("Sorry, stack is empty…\n");
       return EXIT_FAILURE;
  }
  if (retval == NULL) {
       printf("Retval is null"); return EXIT_FAILURE; }
  *retval = (s->top)->data;  // top of stack
  p = s->top;                // remember for free()
  s->top = p->next;  // top should point to next
  (s->size)--;               // decrease stack size
  free(p);                   // free allocated space
  return EXIT_SUCCESS;
}
```

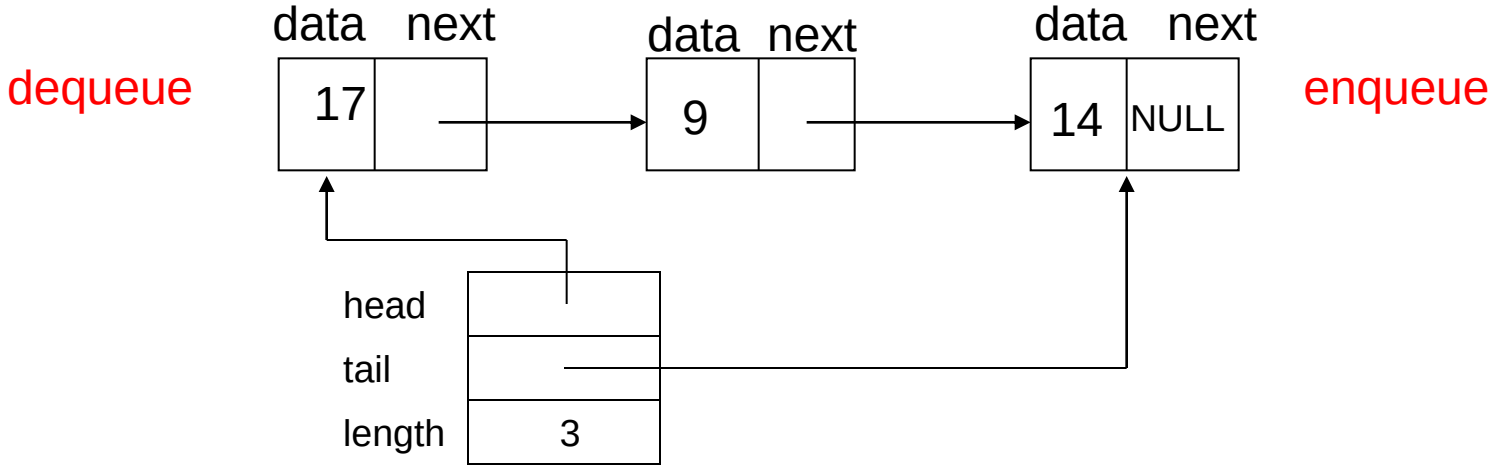
Η Δομή Δεδομένων **Ουρά** (με Δυναμική Χορήγηση Μνήμης)

- Μια **ουρά (queue)** είναι μια λίστα στοιχείων που συνοδεύεται από τις διαδικασίες
  - **`enqueue`**, για εισαγωγή στοιχείου στη λίστα, και
  - **`dequeue`**, για εξαγωγή του στοιχείου που εισάχθηκε πρώτο στη λίστα.



- Για ευκολία στην διεκπεραίωση των δύο διαδικασιών θα ήταν χρήσιμο, **ανά πάσα στιγμή** να γνωρίζουμε που βρίσκεται η **αρχή** και το **τέλος** της λίστας (και το **μέγεθός** της).
- Η νέα **εικόνα** της **ουράς** που θα θέλαμε να έχουμε βασισμένη σε συνδεδεμένη λίστα είναι η παρακάτω:

Η Δομή Δεδομένων **Ουρά** (με Δυναμική Χορήγηση Μνήμης)



- **Παρατήρηση:** η μορφή του κόμβου είναι η ίδια και σ΄ αυτό το παράδειγμα με αυτή της στοίβας.
  - Άρα η δήλωση της δομής **NODE** παραμένει η ίδια.
  - Η **μορφή** όμως του **κόμβου (QUEUE)** που κρατά πληροφορίες για την ουρά αλλάζει και παρουσιάζεται παρακάτω.

Η Δομή Δεδομένων **Ουρά** (με Δυναμική Χορήγηση Μνήμης)

- **Η ουρά λοιπόν θα αναπαρίσταται βάσει της δομής:**

```
typedef struct {
  NODE *head;
  NODE *tail;
  int length;
} QUEUE;
```

Ισχύουν αυτά που αναφέραμε ήδη για την στοίβα!

- **Στατική Δήλωση Ουράς στο main():**

```
QUEUE queue;
queue.head = queue.tail = NULL;
queue.length = 0;
```

- **Δυναμική Δήλωση Ουράς στο main():**

```
QUEUE *queue = NULL;
queue = (QUEUE *) malloc(sizeof(QUEUE));
queue->head = queue->tail = NULL;
queue->length = 0;
```

Η Δομή Δεδομένων **Ουρά** (με Δυναμική Χορήγηση Μνήμης)

Γ) Δυναμικά σε Συνάρτηση (με return pointer):

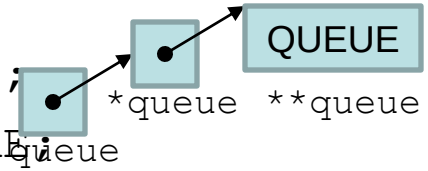
Κατά την έξοδο, η αναφορά queue χάνεται όχι όμως ο χώρος που δεσμεύτηκε με την malloc (η διεύθυνση του οποίου επιστρέφεται)

```
QUEUE *initQueue() {
   QUEUE *queue = (QUEUE *) malloc(sizeof(QUEUE));
    if (queue == NULL) return NULL;
   queue->head = queue->tail = NULL;
   queue->size = 0;
   return queue;
}
```

```
int main() {
   QUEUE *queue = NULL;
   queue = initQueue();
   ...
}
```

Δ) Δυναμικά σε Συνάρτηση (με δείκτη-σε-δείκτη):

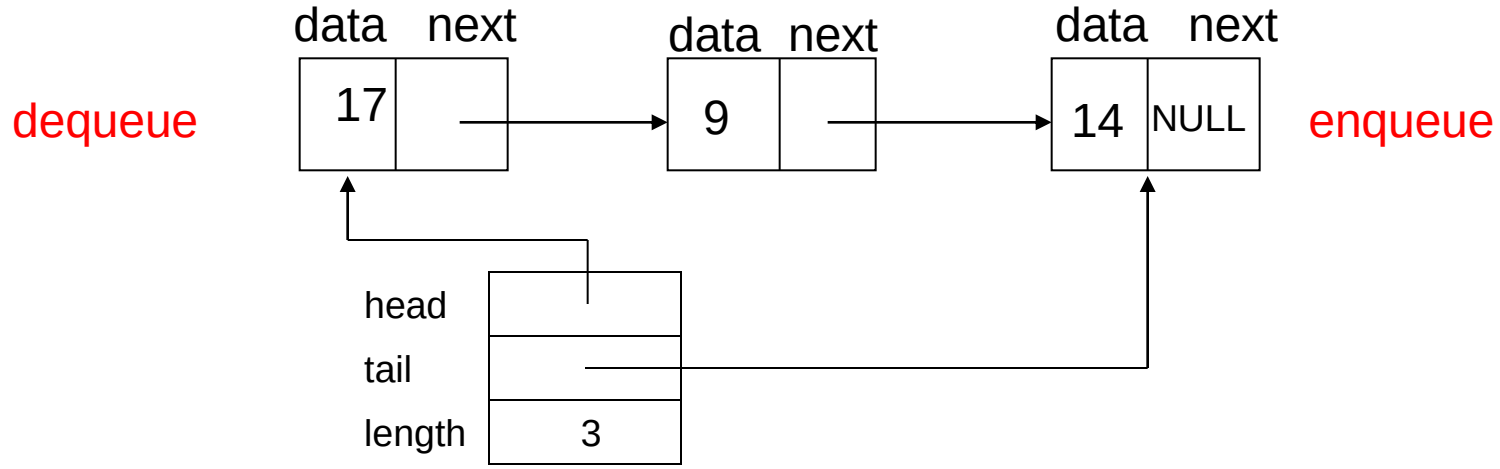
```
int initQueue2(QUEUE **queue) {
      *queue = (QUEUE *) malloc(sizeof(QUEUE));
      if ((*queue) == NULL) return EXIT_FAILURE;
      (*queue)->head = (*queue)->tail = NULL;
      (*queue)->size = 0;
      return EXIT_SUCCESS;
}
```




```
int main() {
   QUEUE *queue;
   initQueue2(&queue);
   ...
}
```

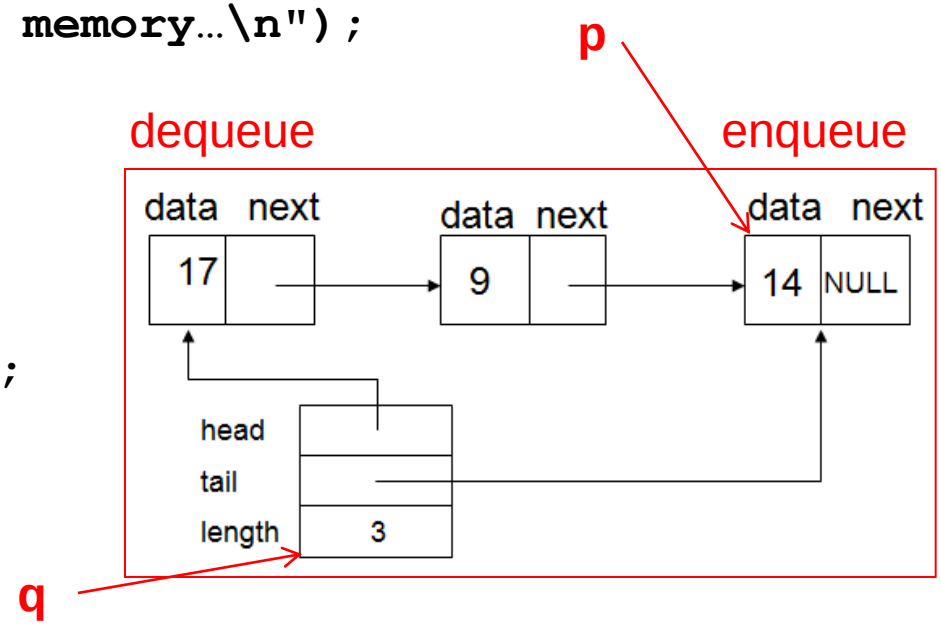
Άσκηση: Υλοποίηση Συναρτήσεων Ουράς

Να υλοποιήσετε τις πράξεις ουράς **`int enqueue(int value, QUEUE *q)`**, για εισαγωγή κόμβου στο τέλος της ουράς, και **`int dequeue(QUEUE *q, int *retval)`** για διαγραφή κόμβου από την αρχή της ουράς αντίστοιχα.



Άσκηση: Υλοποίηση Συναρτήσεων **Ουράς**

```
int enqueue (int value, QUEUE *q)  {
   NODE *p = NULL;
   if (q == NULL){ return EXIT_FAILURE; }
   p = (NODE *)malloc(sizeof(NODE));
   if ( p == NULL ) {
        printf("System out of memory…\n");
        return EXIT_FAILURE;
   }
   p->data = value;
   p->next = NULL;
   if (q->length == 0)
        q->head = q->tail = p;
   else { // append on end
        q->tail->next = p;
        q->tail = p;
   }
   (q->length)++;
   return EXIT_SUCCESS;
}
```



Άσκηση: Υλοποίηση Συναρτήσεων Ουράς

```
int dequeue(QUEUE *q, int *retval) {

   NODE *p = NULL;     // copy pointer used for free()
   if ((q == NULL) || (q->head == NULL))      {
        printf("Sorry, queue is empty \n");
        return EXIT_FAILURE;
   }
  if (retval == NULL) {
        printf("Retval is null"); return EXIT_FAILURE; }
   p = q->head;
   *retval = q->head->data;
   q->head = q->head->next;
   free(p);

   --(q->length);

   if (q->length == 0) {
        q->tail = NULL;
   }
   return EXIT_SUCCESS;
}
```