Η ΓΛΩΣΣΑ C++

Μάθημα 3:

Κλάσεις και Δείκτες

Δημήτρης Ψούνης

Περιεχόμενα Μαθήματος

Α. Θεωρία

1. Διαχείριση Μνήμης

1. Στατική και Δυναμική Δέσμευση Μνήμης

- Η διαχείριση μνήμης στη C++ γίνεται με παρόμοιο τρόπο με τη C.
- Τα παρακάτω είναι εντελώς αντίστοιχα:

- **Στατική Δέσμευση Μνήμης:**
  - Είναι γνωστός εκ των προτέρων ο χώρος μνήμης που απαιτείται για τα στιγμιότυπα.
  - Και έχει ήδη αποφασιστεί κατά το χρόνο μεταγλώττισης (π.χ. δηλώνουμε έναν πίνακα 10 θέσεων)
  - Οι τοπικές μεταβλητές αποθηκεύονται στον χώρο της συνάρτησης (**στοίβα** – stack)
- **Δυναμική Δέσμευση Μνήμης:**
  - Δεν είναι γνωστός εκ των προτέρων ο χώρος μνήμης που πρέπει να δεσμεύσει το πρόγραμμά μας.
  - Αλλά αποφασίζεται κατά το χρόνο εκτέλεσης (π.χ. ο χρήστης αποφασίζει πόσες θέσεις θα έχει ένας πίνακας που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα)
  - Ο χώρος μνήμης που δεσμεύεται δυναμικά είναι κοινός για όλες τις συναρτήσεις (**σωρός** – heap)

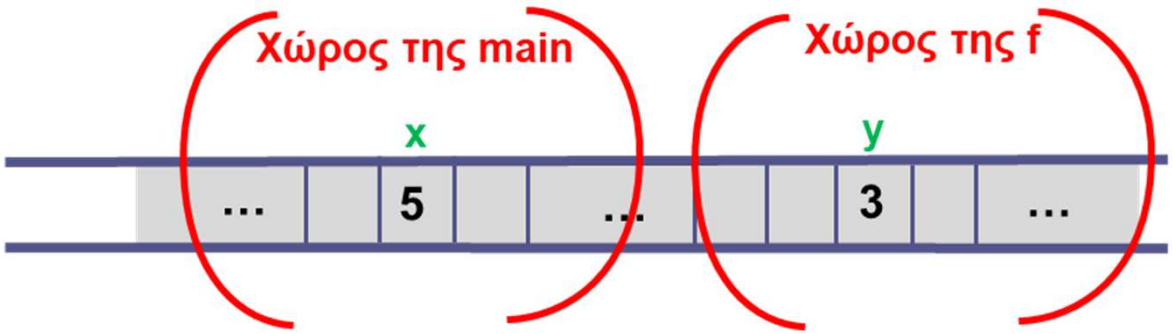
Α. Θεωρία

1. Διαχείριση Μνήμης

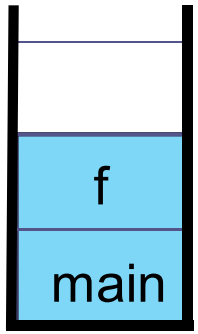
2. Στατική Δέσμευση μνήμης για συνήθεις μεταβλητές

```
/* CPP3.local_variables.cpp */

#include <iostream>
using namespace std;

void f()
{
   int y=3;
   cout<<"inside f";
}

int main()
{
   int x=5;

   cout<<"inside main";
   f();

   return 0;
}
```

- Κάθε συνάρτηση έχει το δικό της χώρο μνήμης.
- Κάθε τοπική μεταβλητή αποθηκεύεται στο χώρο μνήμης της συνάρτησης στην οποία ανήκει.
- Σχηματικά, για το παράδειγμα:



- Αυτός ο χώρος μνήμης καλείται και στοίβα (stack), λόγω του τρόπου με τον οποίο εχει υλοποιηθεί η κλήση των συναρτήσεων σε μία στοίβα:



Α. Θεωρία

1. Διαχείριση Μνήμης

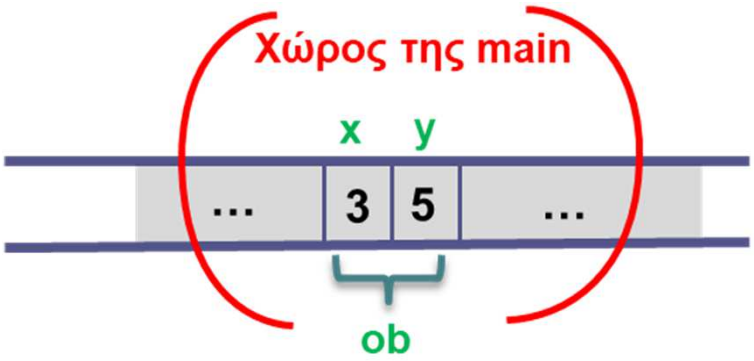
3. Στατική Δέσμευση μνήμης για Αντικείμενα

- Ένα αντικείμενο αποθηκεύεται στη μνήμη ως εξής:
  - Τα μέλη του βρίσκονται σε διαδοχικές θέσεις μνήμης
- Προσοχή, οι μέθοδοι βρίσκονται σε άλλο χώρο (είναι κοινές για όλα τα αντικείμενα της κλάσης)
- Ο τελεστής **sizeof** μπορεί να χρησιμοποιήθεί για να μετρήσουμε το πλήθος των bytes που χρησιμοποιεί ένα αντικείμενο.
- Παράδειγμα:

```
/* CPP3.sizeof.cpp
Μέγεθος αντικειμένου */
#include <iostream>
using namespace std;

class dummy {
  public:
    int x;
    int y;
};
```

```
int main()
{
    dummy ob;

    ob.x = 3; ob.y = 5;

    cout<<sizeof ob<<endl;

    return 0;
}
```

- Θα τυπώσει 8 (δύο ακέραιοι 4bytes ο καθένας)
- Και η εικόνα της μνήμης:



Α. Θεωρία

2. Δυναμική Δέσμευση Μνήμης

1. Δείκτες (Υπενθύμιση από C)

- **Ένας δείκτης είναι μια μεταβλητή που αποθηκεύει διευθύνσεις μεταβλητών**
  - Ένας δείκτης δηλώνεται ως εξής:

```
ΤΔ *pointer_name;
```

    - Όπου ΤΔ είναι ένας οποιοσδήποτε τύπος δεδομένων (int, float, double κ.λπ.)
    - Π.χ. ένας δείκτης σε ακέραιο δηλώνεται με τη δήλωση:

```
int *ptr;
```

  - Αποθηκεύουμε σε έναν δείκτη την διεύθυνση μιας μεταβλητής με τη δήλωση:

```
pointer_name = &variable;
```

    - Ο τελεστής & επιστρέφει τη διεύθυνση της μεταβλητής στην οποία εφαρμόζεται.
    - Π.χ. αποθηκεύουμε στον δείκτη ptr τη διεύθυνση μιας μεταβλητής x με την εντολή:

```
ptr = &x;
```

      - και λέμε «ο δείκτης ptr δείχνει στην μεταβλητή x»

- Αναλυτικά βλ. και «Γλώσσα C – Μάθημα 8: Δείκτες»

Α. Θεωρία

2. Δυναμική Δέσμευση Μνήμης

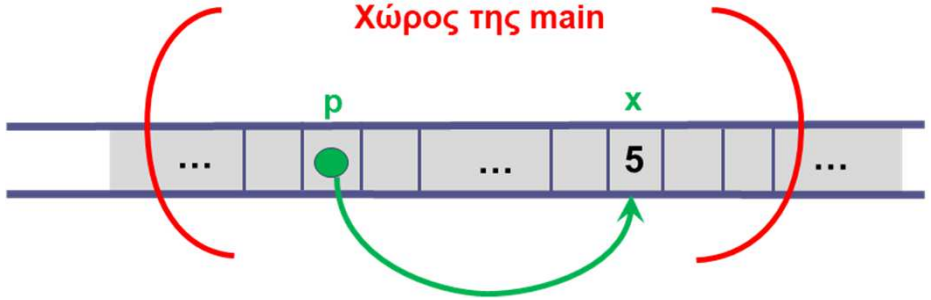
1. Δείκτες (Υπενθύμιση από C)

```
/* CPP3.pointers.cpp */

#include <iostream>
using namespace std;

int main()
{
   int x=5;
   int *p = NULL;

   p = &x;

   cout<<"x = "<<x<<" (address: "<<&x<<")"<<endl;
   cout<<"*p = "<<*p<<" (address: "<<p<<")"<<endl;
   return 0;
}
```

- Το πρόγραμμα δείχνει την βασική ιδιότητα:
  - Για ένα δείκτη (p) που «δείχνει» σε μία μεταβλητη ισχύουν:

```
p == &x //Διεύθυνση της x
*p == x // Τιμή της x
```

  - Το NULL είναι μία ειδική τιμή
    - που συμβολίζει ότι ο δείκτης δεν δείχνει κάπου.
  - Είναι καλό ένας δείκτης που δεν δείχνει κάπου να έχει την τιμή NULL
  - Η τιμη του NULL είναι 0.
- Σχηματικά:



Α. Θεωρία

2. Δυναμική Δέσμευση Μνήμης

2. Οι τελεστές new και delete

- Ο τελεστής **new** χρησιμοποιείται για να δεσμεύσει δυναμικά χώρο μνήμης
  - Αντικαθιστά τη malloc της C.
  - Η σύνταξη του είναι:

```
ptr = new type;
```

  - Δεσμεύει χώρο μνήμης για ένα αντικείμενου τύπου type **και επιστρέφει έναν δείκτη σε αυτόν το χώρο**
  - Ο χώρος μνήμης που δεσμεύεται δυναμικά, είναι κοινός για όλες τις συναρτήσεις και ονομάζεται σωρός (heap)
  - Προσοχή, αν αποτύχει η δέσμευση (δεν υπάρχει χώρος) επιστρέφει NULL
    - **και θα πρέπει πάντα να ελέγχουμε ότι η δέσμευση έγινε επιτυχημένα**

- Ο τελεστής **delete** χρησιμοποιείται για να απόδεσμευσει χώρο μνήμης που έχει δεσμευτεί δυναμικά
  - Αντικαθιστά τη free της C.
  - Η σύνταξη του είναι:

```
delete ptr;
```

Α. Θεωρία

2. Δυναμική Δέσμευση Μνήμης

2. Οι τελεστές new και delete (Έλεγχος Δέσμευσης Μνήμης)

- Πάντα πρέπει να κάνουμε έλεγχο αν η μνήμη που αιτηθήκαμε με τη new, έχει όντως δεσμευτεί.
- Βλέπουμε τρεις τρόπους για να «πιάσουμε» το πρόβλημα:
- Α' τρόπος: Ο πιο απλός, μιας και απλά ελέγχουμε την επιστρεφόμενη τιμή:

```
ptr = new type;
if (ptr==NULL)
{   …. do some action…    }
```

- Β' τρόπος: Πιο ψαγμένος, ξέρουμε ότι το NULL είναι 0 (και για να είμαστε ακριβής (void *) 0)
  - Και ξέρουμε ότι το 0, είναι το λογικό ψευδές
  - και το !0 είναι το λογικό αληθές:

```
ptr = new type;
if (!ptr)
{   …. do some action…    }
```

- Γ'τρόπος: Ο πιο σύνθετος και φαντεζί, αλλά ενσωματώνει τις δύο εντολές σε μία γραμμή:

```
if (!(ptr = new type))
{   …. do some action…    }
```

- Στις σημειώσεις θα χρησιμοποιήσουμε κυρίως το Β' τρόπο
- Και θα βγάζουμε απλά ένα ενημερωτικό μήνυμα (αργότερα θα μπορούμε να κάνουμε και περισσότερα πράγματα, με τις εξαιρέσεις της C++)

Α. Θεωρία

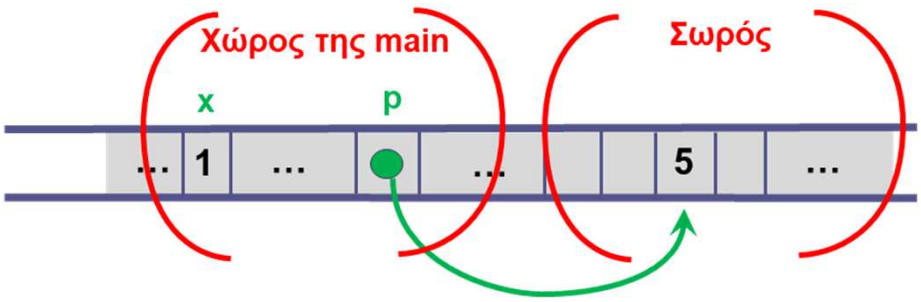
2. Δυναμική Δέσμευση Μνήμης

3. Δυναμική Δέσμευση για Συνήθεις Μεταβλητές

- Το παράδειγμα δείχνει τη **δέσμευση μνήμης για έναν ακέραιο αριθμό**, τόσο στατικά όσο και δυναμικά:

Υπενθυμίσεις από τη C:

- Η x δεσμεύει χώρο μνήμης μέσα στο χώρο μνήμης της συνάρτησης
- Ο χώρος που δεσμεύεται δυναμικά μέσω της p, είναι ένας ξεχωριστός χώρος, κοινός για όλο το πρόγραμμα
  - (λέγεται και **σωρός** – heap)
- Σχηματικά:




```
#include <iostream> // CPP3.dynamic_variable.cpp
using namespace std;

int main()
{
   int x; // Μεταβλητή που δεσμεύει στατικό χώρο
   int *p; // Δείκτης σε ακέραιο

   p = new int; // Δυναμική δέσμευση μνήμης
   if (!p) cout<<“Error allocating memory”;

  /* Αναθέσεις τιμών */
  x = 1;
  *p = 5;
   /* Εκτυπώσεις */
   cout<<"x = "<<x<<" (address: "<<&x<<")"<<endl;
   cout<<"*p = "<<*p<<" (address: "<<p<<")"<<endl;

   delete p; // Αποδέσμευση μνήμης

   return 0;
}
```

Α. Θεωρία

2. Δυναμική Δέσμευση Μνήμης

4. Δυναμική Δέσμευση για Αντικείμενα

- Αντίστοιχα (αφού μία κλάση είναι τύπος δεδομένων), μπορεί να δεσμευτεί δυναμικά χώρος μνήμης για ένα αντικείμενο.
- **Όταν χρησιμοποιούμε ένα αντικείμενο μέσω δείκτη,**
  - **Έχουμε πρόσβαση στα δημόσια μέλη-μεθόδους μέσω του τελεστή -> (βελάκι)**

- Βλέπουμε και ένα παράδειγμα:

```
/* CPP3.dynamic_object.cpp Δυναμική Δέσμευση
μνήμης για αντικείμενο */
#include <iostream>
using namespace std;

class dummy {
   public:
      int x;
};
```

```
int main()
{
   dummy *p = NULL; //Θα δείξει σε αντικείμενο
   p = new dummy; // Δέσμευση χώρου
   if (!p) cout<<“Error allocating memory”;

   /* Αναθέσεις τιμών */
   p->x = 5;

   /* Εκτυπώσεις */
   cout<<"p->x = "<<p->x<<endl;

   delete p; // Αποδέσμευση μνήμης

   return 0;
}
```

Α. Θεωρία

2. Δυναμική Δέσμευση Μνήμης

4. Δυναμική Δέσμευση για Αντικείμενα

- Δεδομένου ενός δείκτη που δείχνει σε ένα αντικείμενο.
  - Με τον τελεστή *, έχουμε πρόσβαση στο ίδιο το αντικείμενο (dereferencing)
  - Και ισχύει ότι το (*p) είναι το αντικείμενο στο οποίο δείχνει ο δείκτης.
  - Συνεπώς έχουμε πρόσβαση στα δημόσια μέλη του (*p) με τον τελεστή . (τελεία)

- Βλέπουμε και ένα παράδειγμα:

```
/* CPP3.dereferencing.cpp */
#include <iostream>
using namespace std;

class dummy {
   public:
      int x;
};
```

```
int main()
{
   dummy *p = NULL; //Θα δείξει σε αντικείμενο
   p = new dummy; // Δέσμευση χώρου
   if (!p) cout<<“Error allocating memory”;

   /* Αναθέσεις τιμών */
   (*p).x = 5;

   /* Εκτυπώσεις */
   cout<<"(*p).x = "<<(*p).x<<endl;

   delete p; // Αποδέσμευση μνήμης

   return 0;
}
```

Α. Θεωρία

2. Δυναμική Δέσμευση Μνήμης

4. Δυναμική Δέσμευση για Αντικείμενα

- Και ένα ακόμη παράδειγμα, όπου βάζουμε ένα δείκτη να δείχνει σε ένα ήδη υφιστάμενο αντικείμενο:
  - Για να τονιστεί η διαφορά στην πρόσβαση,
    - απευθείας από το αντικείμενο (τελεστής .)
    - μέσω δείκτη (τελεστής ->)
    - μέσω dereferencing (* και .)

```
/* CPP3.pointers_and_objects.cpp Δείκτης σε
αντικείμενο */
#include <iostream>
using namespace std;

class dummy {
  public:
    int x;
};
```

```
int main()
{
   dummy ob;
   dummy *p = &ob;
   if (!p) cout<<“Error allocating memory”;

   /* Αναθέσεις τιμών */
   ob.x = 6;

   /* Εκτυπώσεις */
   cout<<ob.x<<" "<<p->x<<" "<<(*p).x<<endl;

   return 0;
}
```

Α. Θεωρία

2. Δυναμική Δέσμευση Μνήμης

5. Δυναμική Δέσμευση και κατασκευαστές

- Όταν δημιουργούμε ένα αντικείμενο με τον τελεστή new,
  - και εφόσον το αντικείμενο αυτό έχει κατασκευαστή
  - πρέπει να περάσουμε και τα ορίσματα στον κατασκευαστή
- **Ο κατασκευαστής καλείται όταν κάνουμε new**
- **Ο καταστροφέας καλείται όταν κάνουμε delete**

```
/*
CPP3.constructor_destru
ctor.cpp */
#include <iostream>
using namespace std;

class dummy {
 public:
   dummy(int in_x);
   ~dummy();
 private:
   int x;
};
```

```
int main()
{
   dummy *p = NULL;

   p = new dummy(5); //constructing
   if (!p) cout<<“Error allocating
                        memory”;
   delete p; //destructing
   return 0;
}
```

```
dummy::dummy(int in_x)
{
   x = in_x;
   cout<<"Constructing...";
}

dummy::~dummy()
{
   cout<<"Destructing...";
}
```

Α. Θεωρία

3. Κλάσεις που περιέχουν δείκτες

1. Παράδειγμα κλάσης που περιέχει δείκτη

- Ένας δείκτης είναι απλά μία μεταβλητή
  - Συνεπώς μπορεί να είναι μέλος σε κλάση
- Βλέπουμε ένα απλό παράδειγμα:
  - Στο οποίο δεσμεύουμε δυναμικά στον κατασκευαστή το χώρο για έναν ακέραιο
  - και τον αποδεσμεύουμε στον καταστροφέα.

```
/* CPP3.class_with_pointer */
#include <iostream>
using namespace std;

class dummy {
  public:
    dummy();
    ~dummy();
    void set_val(int in_val);
    int get_val();
  private:
    int *p_val;
};
```

Α. Θεωρία

3. Κλάσεις που περιέχουν δείκτες

1. Παράδειγμα κλάσης που περιέχει δείκτη

```
int main()
{
   dummy ob;

   ob.set_val(3);

   cout<<endl<<ob.get_val()<<endl;

   return 0;
}
dummy::dummy()
{
   p_val = new int;
   if (!p_val)  cout<<"Error allocating memory";

   cout<<"Constructing...";
}
```

```
dummy::~dummy()
{
   delete p_val;
   cout<<"Destructing...";
}

void dummy::set_val(int in_val)
{
   *p_val = in_val;
}

int dummy::get_val()
{
   return *p_val;
}
```

Α. Θεωρία

3. Κλάσεις που περιέχουν δείκτες

2. …και ένα πρόβλημα (χωρίς λύση για την ώρα)

- Ας δούμε και ένα πρόβλημα που μπορεί να προκύψει όταν μία κλάση περιέχει δείκτες που κάνουν δυναμική διαχείριση μνήμης
- Το πρόβλημα αυτό προκύπτει όταν:
  - Έχουμε μία κλάση που κάνει δυναμική δέσμευση μνήμης
  - Κάνουμε αντιγραφή του αντικειμένου (π.χ. ob1 = ob2)
- Μεταγλωττίστε και εκτελέστε το ακόλουθο πρόγραμμα:

```
/* CPP3.assignment_problem Δυναμική Δέσμευση και Τελεστής Ανάθεσης */
#include <iostream>
using namespace std;

class dummy {
  public:
    dummy();
    ~dummy();
    void set_val(int in_val);
    int get_val();
  private:
    int *p_val;
};
```

Α. Θεωρία

3. Κλάσεις που περιέχουν δείκτες

2. …και ένα πρόβλημα (χωρίς λύση για την ώρα)

```
int main()
{
   dummy ob1;
   ob1.set_val(3);
   dummy ob2;
   ob2 = ob1;

   cout<<ob1.get_val()<<endl;
   cout<<ob2.get_val()<<endl;

   return 0;
}
dummy::dummy()
{
   p_val = new int;
   if (!p_val)  cout<<"Error allocating memory";

   cout<<"Constructing...";
}
```

```
dummy::~dummy()
{
   delete p_val;
   cout<<"Destructing...";
}

void dummy::set_val(int in_val)
{
   *p_val = in_val;
}

int dummy::get_val()
{
   return *p_val;
}
```

- Σημαντικό! Στη C++ οι μεταβλητές μπορούν να δηλωθούν σε οποιοδήποτε μέρος του προγράμματος (αλλά θα το αποφεύγουμε…)

Α. Θεωρία

3. Κλάσεις που περιέχουν δείκτες

2. …και ένα πρόβλημα (χωρίς λύση για την ώρα)

- Η εκτέλεση του προγράμματος οδηγεί σε σφάλμα κατά το χρόνο εκτέλεσης:

```
Constructing...
Constructing...
3
3
Destructing...
*** Error in `./a.out': double free or corruption (fasttop): 0x0000000001edbc20 ***
Aborted (core dumped)
```

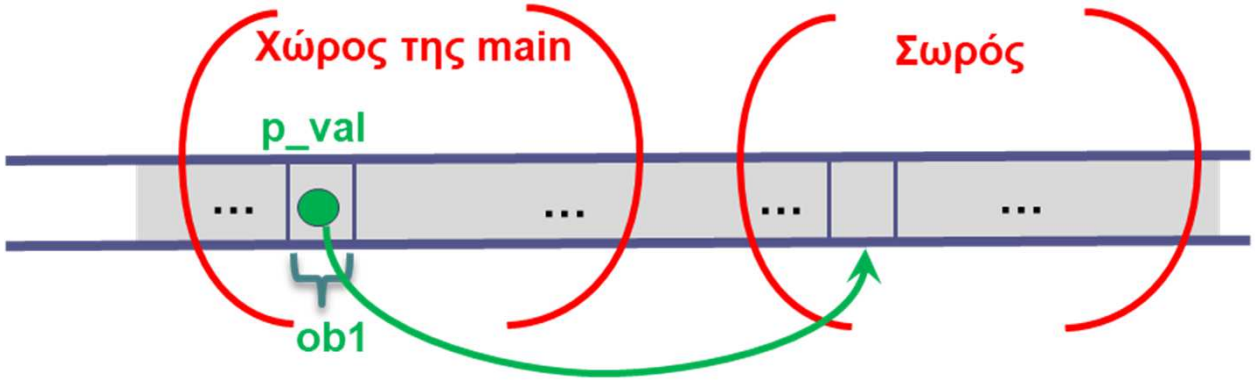
- Για να καταλάβουμε γιατί συμβαίνει αυτό, θα δούμε την κατάσταση της μνήμης βήμα – βήμα κατά την εκτέλεση της main

Α. Θεωρία

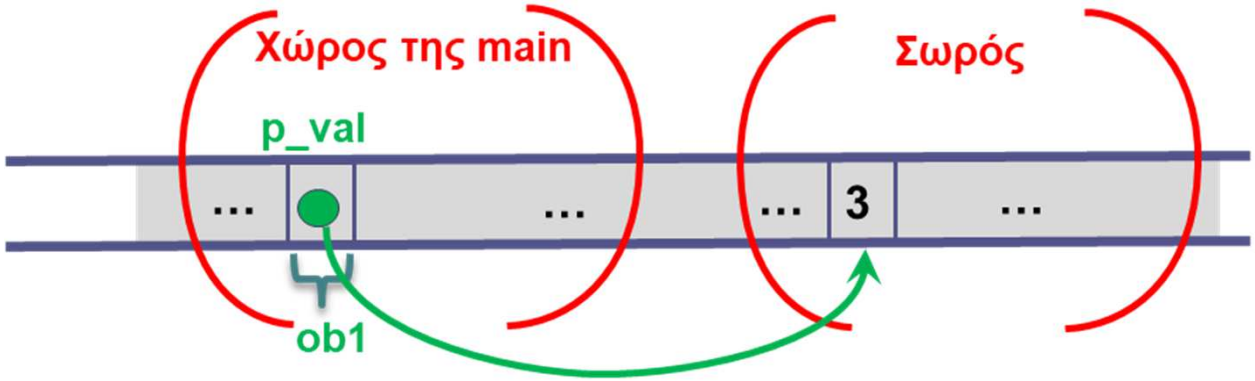
3. Κλάσεις που περιέχουν δείκτες

2. …και ένα πρόβλημα (χωρίς λύση για την ώρα)

- dummy ob1; // Δεσμεύει το χώρο για το ob1.



- ob1.set_val(3); // αποθηκεύει την τιμή 3 στο χώρο μνήμης

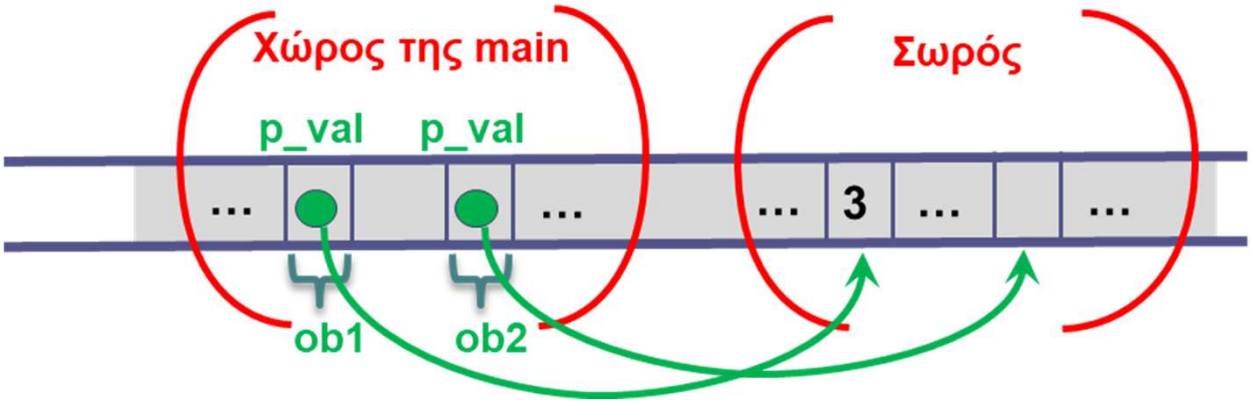


Α. Θεωρία

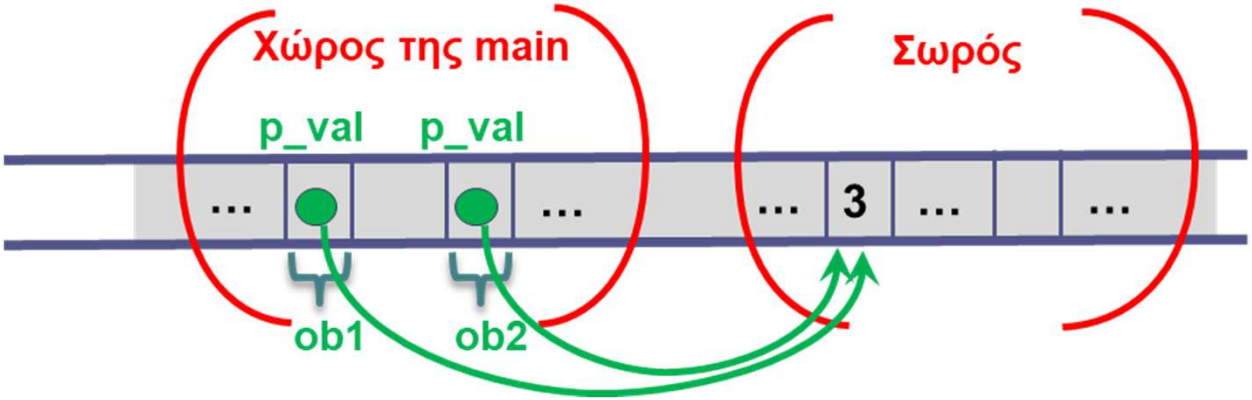
3. Κλάσεις που περιέχουν δείκτες

2. …και ένα πρόβλημα (χωρίς λύση για την ώρα)

- dummy ob2; // Δεσμεύει το χώρο για το ob2.



- ob2=ob1 // Δεν κάνει ακριβώς αυτό που θέλουμε…



Α. Θεωρία

3. Κλάσεις που περιέχουν δείκτες

2. …και ένα πρόβλημα (χωρίς λύση για την ώρα)

- Τώρα με την ολοκλήρωση του προγράμματος, θα τρέξουν οι δύο destructors.
  - Συνεπώς ο **ίδιος χώρος μνήμης θα αποδεσμευτεί δύο φορές**.
  - Και αυτό οδηγεί σε σφάλμα στο χρόνο εκτέλεσης.
- Ενώ ισχύει ότι έχουμε κάνει και το βασικό λάθος
  - Με την ολοκλήρωση του προγράμματος, έχει ξεμείνει χώρος μνήμης, τον οποίο δεσμεύσαμε δυναμικά και δεν τον αποδεσμεύσαμε ποτέ (**memory leak**)
- Το πρόβλημα αυτό προκύπτει όταν γίνεται bit by bit αντιγραφή αντικειμένων (shallow copy)
  - όπως στην περίπτωση που είδαμε,
  - αλλά και σε άλλες περιπτώσεις (π.χ. όταν περνάμε ένα αντικείμενο μέσω τιμής σε μία συνάρτηση)

- Θα αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα αυτό, στα επόμενα μαθήματα:
  - Θα μάθουμε τις αναφορές (references)
    - και μέσω αυτών θα ορίσουμε τον κατασκευαστή αντιγράφου (copy constructor)
  - επίσης θα μάθουμε την υπερφόρτωση του =
    - και θα ορίσουμε τι πρέπει να γίνεται όταν έχουμε ανάθεση αντικειμένου

Α. Θεωρία

4. Δυναμική Δέσμευση Μνήμης για Πίνακες

1. Μονοδιάστατοι Πίνακες

- Οι τελεστές new και delete χρησιμοποιούνται και για την δέσμευση μνήμης για πίνακες
- Δέσμευση Μνήμης:
  - Η σύνταξη του τελεστή new είναι:

```
ptr = new type [n];
```

  - Δεσμεύει χώρο μνήμης για n αντικείμενα τύπου type και επιστρέφει έναν δείκτη σε αυτόν το χώρο
  - Το n δεν χρειάζεται να είναι σταθερά.

- Αποδέσμευση Μνήμης:
  - Η σύνταξη του τελεστή delete είναι:

```
delete [] ptr;
```

Α. Θεωρία

4. Δυναμική Δέσμευση Μνήμης για Πίνακες

2. Παράδειγμα δέσμευσης μνήμης για μονοδιάστατο πίνακα

- Βλέπουμε και ένα παράδειγμα δέσμευσης μνήμης για έναν πίνακα n ακεραίων.

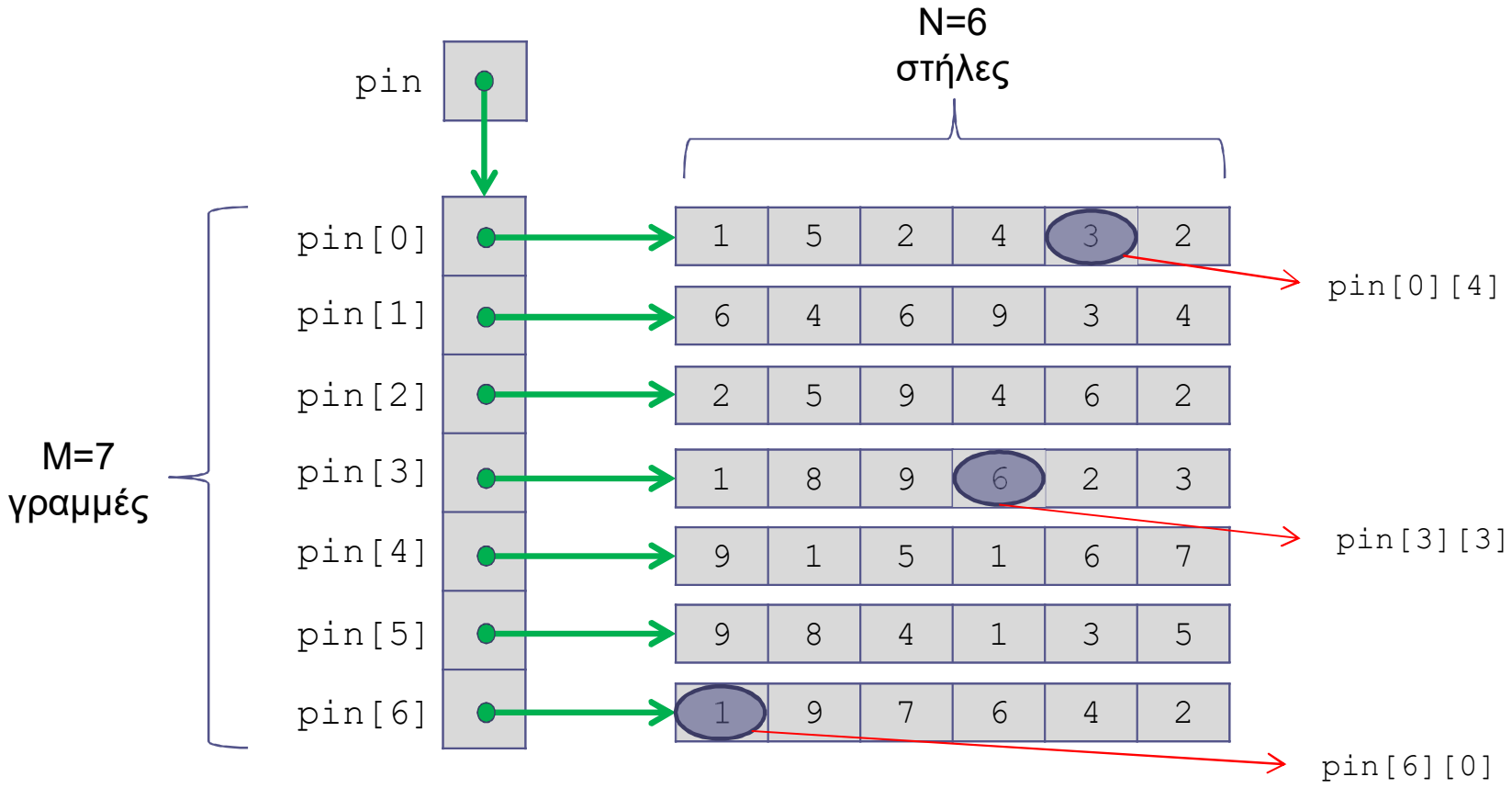
```
/* CPP3.1d_dynamic_array Μονοδιάστατος
πίνακας με δυναμική δέσμευση μνήμης */
#include <iostream>
using namespace std;

int main()
{
   int *arr;
   int n=4;

   /* Δέσμευση Μνήμης */
   arr = new int [n];
   if (!arr) cout<<"Error allocating memory!";

   /* Κάποια δουλειά στον πίνακα */
   for (int i=0; i<n; i++)
      arr[i]=i*i;

   for (int i=0; i<n; i++)
      cout<<arr[i]<<" ";

   /* Αποδέσμευση Μνήμης */
   delete [] arr;

   return 0;
}
```

Α. Θεωρία

4. Δυναμική Δέσμευση Μνήμης για Πίνακες

3. Διδιάστατοι Πίνακες

- Ένας διδιάστατος MxN πίνακας π.χ. ακεραίων είναι:
  - ένας πίνακας Μ δεικτών σε ακέραιο
    - όπου κάθε δείκτης είναι ένας πίνακας από Ν ακεραίους
- Σχηματικά (π.χ. για M=7, N=6):



Α. Θεωρία

4. Δυναμική Δέσμευση Μνήμης για Πίνακες

3. Διδιάστατοι Πίνακες

- Από τα παραπάνω:
  - Η δέσμευση μνήμης θα γίνει με τις εντολές:

```
ptr = new type * [M];
for (i=0; i<M; i++)
   ptr[i] = new type [N];
```

    - Προσοχή, ότι το ptr είναι διπλός δείκτης
      - αφου θέλουμε να δείχνει στην διεύθυνση μιας μεταβλητής που είναι διεύθυνση ενός τύπου.
      - Συνεπώς θα δηλωθεί ως:

```
type **ptr;
```

  - Η αποδέσμευση θα γίνει εντολές:

```
for (i=0; i<M; i++)
   delete [] ptr[i];
delete [] ptr;
```

Α. Θεωρία

4. Δυναμική Δέσμευση Μνήμης για Πίνακες

4. Παράδειγμα δέσμευσης μνήμης για διδιάστατο πίνακα

- Βλέπουμε και ένα παράδειγμα δέσμευσης μνήμης για έναν πίνακα n ακεραίων.

```
/* CPP3.2d_dynamic_array Διδιάστατος πίνακας με
δυναμική δέσμευση μνήμης */
#include <iostream>
using namespace std;

int main()
{
   int **arr;
   int i,j, n=3, m=5;

   /* Δέσμευση Μνήμης */
   arr = new int * [n];
   if (!arr) cout<<"Error allocating memory!";
   for (i=0; i<n; i++)
   {
      arr[i] = new int [m];
      if (!arr[i]) cout<<"Error allocating memory!";
   }
```

```
   /* Κάποια δουλειά στον πίνακα */
   for (i=0; i<n; i++)
      for (j=0; j<m; j++)
         arr[i][j]=i*j;

   for (i=0; i<n; i++)
   {
      for (j=0; j<m; j++)
         cout<<arr[i][j];
      cout<<endl;
   }

   /* Αποδέσμευση Μνήμης */
   for (i=0; i<n; i++)
      delete [] arr[i];
   delete [] arr;

   return 0;
}
```

Β. Ασκήσεις

Άσκηση 1: Διπλοί Δείκτες

Για να πειραματιστούμε με τους δείκτες

- Δηλώστε μία ακέραια μεταβλητή x
  - Τυπώστε την τιμή και τη διεύθυνσή της
- Δηλώστε έναν δείκτη σε ακέραιο p
  - Θέστε τον να δείχνει στην x
  - Τυπώστε την τιμή και τη διεύθυνση του
  - Τυπώστε την τιμή του x, μέσω του p.
- Δηλώστε έναν δείκτη σε δείκτη σε ακέραιο, με όνομα pp
  - Θέστε τον να δείχνει στον p
  - Τυπώστε την τιμή και τη διεύθυνσή του
  - Τυπώστε την τιμή του x, μέσω του pp.
  - Τυπώστε την τιμή του p, μέσω του pp.

Β. Ασκήσεις

Άσκηση 2: Κλάση Δυναμικός Πίνακας

Κατασκευάστε μία κλάση (ARRAY) που να περιτυλίσσει την έννοια του μονοδιάστατου πίνακα ως εξής:

- Να έχει ως μέλη έναν δυναμικό πίνακα (δείκτης) ακεραίων, καθώς και τη διάσταση του πίνακα
- Ο κατασκευαστής να παίρνει ως όρισμα τη διάσταση του πίνακα και να δεσμεύει δυναμικά το χώρο μνήμης που απαιτείται.
- Ο καταστροφέας να διαγράφει τη μνήμη που έχει δεσμευτεί δυναμικά.
- Να έχει accessors για ένα στοιχείο του πίνακα
  - Να τυπώνουν μήνυμα λάθους, σε περίπτωση πρόσβασης εκτός των ορίων του πίνακα.
- Μία μέθοδο print που να τυπώνει τα στοιχείτα του πίνακα

Η συνάρτηση main

- Να κατασκευάζει έναν πίνακα της κλάσης με 10 θέσεις
- Να αρχικοποιεί τα στοιχεία του πίνακα, ώστε κάθε στοιχείο να έχει το τετράγωνο της αντίστοιχης θέσης.
- Να τυπώνει τον πίνακα.

Ποιο πρόβλημα υπάρχει με την υλοποίηση; Πότε περιμένουμε ότι το πρόγραμμα αυτό θα έχει πρόβλημα και θα «σκάσει» κατά το χρόνο εκτέλεσης;