# Δείκτες

#9

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών (Άρτα)

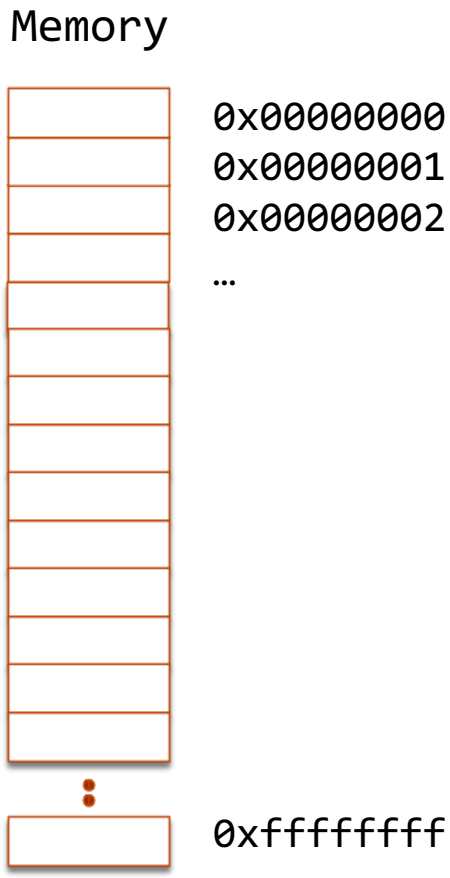
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Γκόγκος Χρήστος

V 1.1

# Μνήμη

- Η κύρια μνήμη του υπολογιστή χρησιμοποιείται για να αποθηκεύει κώδικα (το ίδιο το πρόγραμμα) και μεταβλητές του προγράμματος.
- Η μνήμη μπορεί να θεωρηθεί ως ένας τεράστιος πίνακας.
- Η αναφορά σε κάθε byte της μνήμης μπορεί να γίνει με τη χρήση μιας «διεύθυνσης» (σε έναν 32-bit υπολογιστή η διεύθυνση είναι 32 bits, σε έναν 64-bit υπολογιστή η διεύθυνση είναι 64 bits)



# Μνήμη

- Κάθε μεταβλητή αποθηκεύεται κάπου στη μνήμη, συσχετίζεται δε με μια διεύθυνση μνήμης που επιτρέπει την πρόσβαση στη μεταβλητή.
- Διάφοροι τύποι μεταβλητών καταλαμβάνουν διαφορετικό χώρο στη μνήμη:
  - `char (1 byte)`
  - `int (4 bytes)`
  - `float (4 bytes)`
  - `double (8 bytes)`
- Η συνάρτηση `sizeof()` επιστρέφει το μέγεθος κάθε μεταβλητής.
  - Δείτε το `sizeof.cpp`

```cpp
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
  int i;
  char c;
  char *ptr = &c;
  cout << "size of int variable = " << sizeof(i) << endl;
  cout << "size of char variable = " << sizeof(c) << endl;
  cout << "size of char* variable = " << sizeof(ptr) << endl;
  return 0;
}
```

```
size of int variable = 4
size of char variable = 1
size of char* variable = 8
```

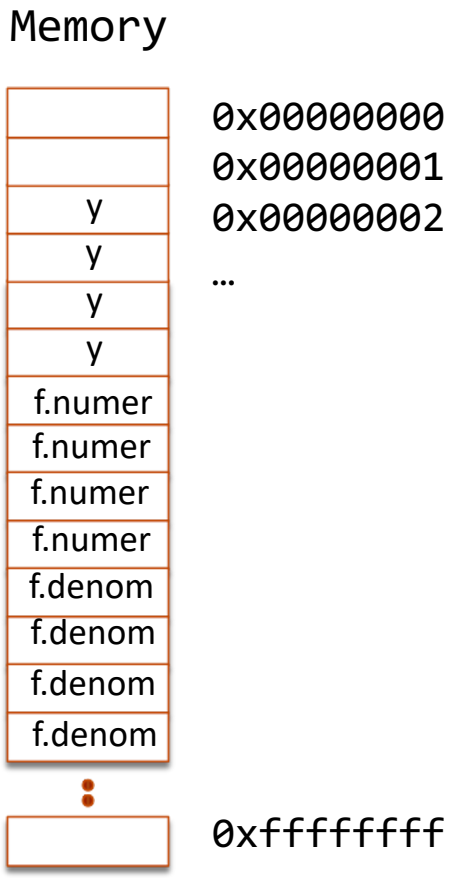
https://github.com/chgogos/oop/blob/master/various/COP3330/lect9/sizeof.cpp

# Μνήμη

- Τα μέλη δεδομένων ενός αντικειμένου αποθηκεύονται και αυτά στη μνήμη.

```
int main()
{
int y;
Fraction f;
…
}
```

- Η μνήμη χωρίζεται σε διαφορετικά τμήματα:
  - Η κάθε μεταβλητή αποθηκεύεται καταλαμβάνοντας διαφορετική περιοχή.
  - **στατική μνήμη** (static memory): καθολικές μεταβλητές
  - **μνήμη στοίβας** (stack memory): τοπικές μεταβλητές
  - **μνήμη σωρού** (heap memory): δυναμικά δεσμευμένη μνήμη

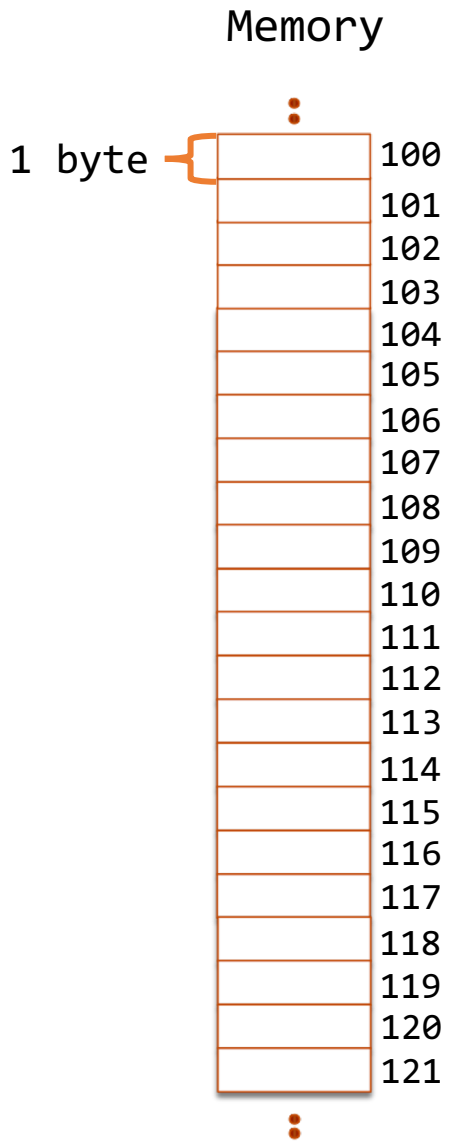


# Δείκτες

- Κάθε μεταβλητή (αντικείμενο, μέλος δεδομένων, κ.λπ.) αποθηκεύεται σε μια θέση στη μνήμη.
- Κάθε θέση μνήμης αντιστοιχείται σε έναν μοναδικό αριθμό  που ονομάζεται διεύθυνση της θέσης μνήμης.
- Ένας δείκτης είναι μια μεταβλητή που περιέχει μια θέση μνήμης.
- Ένας δείκτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποθηκεύσει τη θέση ενός αντικειμένου ή μιας μεταβλητής στη μνήμη.
- Στη συνέχεια μπορούμε να κάνουμε «αποαναφορά» (dereference) ενός δείκτη έτσι ώστε να αποκτήσουμε απευθείας πρόσβαση στο αντικείμενο ή στην μεταβλητή που δείχνει ο δείκτης.

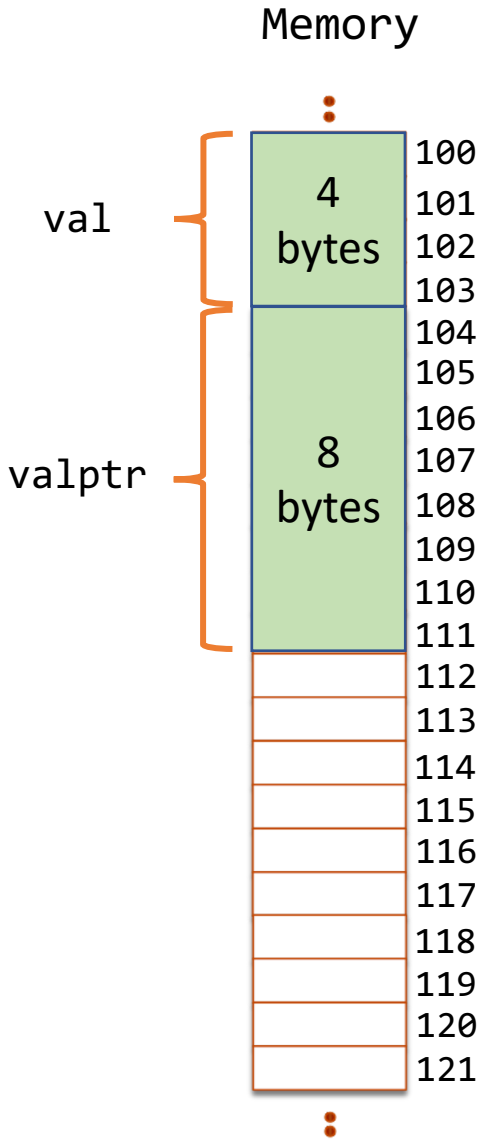
# Δείκτες

- Κάθε διεύθυνση μνήμης αναφέρεται στη θέση ενός απλού byte δεδομένων και οι συνεχόμενες διευθύνσεις μνήμης αναφέρονται σε συνεχόμενα bytes.
- Η μνήμη μπορεί να θεωρηθεί ως ένας τεράστιος πίνακας χαρακτήρων.



# Δείκτες

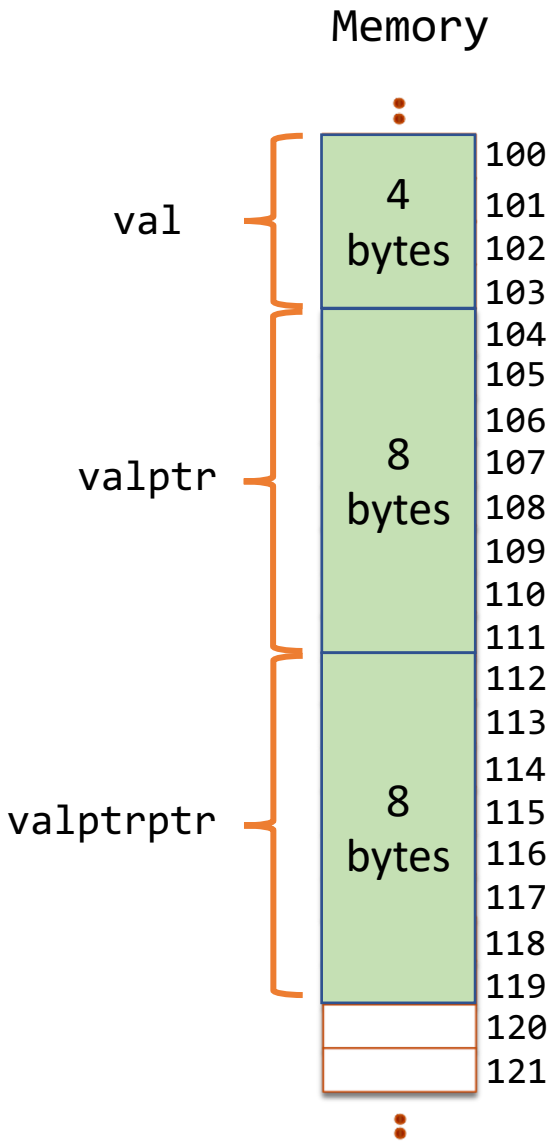
- Ένας δείκτης καταλαμβάνει χώρο στη μνήμη, όπως οποιαδήποτε άλλη μεταβλητή.
- Καθώς ένας δείκτης κρατά μια διεύθυνση και τα 64bit συστήματα χρησιμοποιούν διευθύνσεις 64bits, χρειάζονται 8bytes για να αναπαραστήσει κάθε διεύθυνση (64bits * 1byte/8bits = 8 bytes).
- Όλοι οι δείκτες καταλαμβάνουν τον ίδιο χώρο μνήμης ανεξάρτητα από τον τύπο τους (`char*`, `int*`, `double*`)




```
void foo() {
int val;
int *valptr;
…
}
```

# Δείκτες

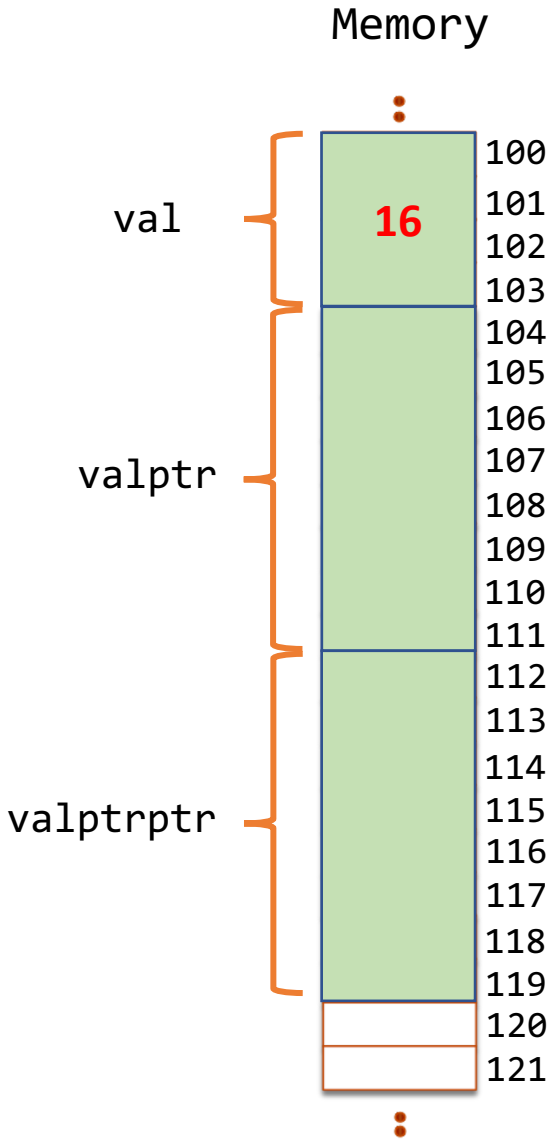
- Ένας δείκτης σε δείκτη κρατά τη διεύθυνση ενός δείκτη του ίδιου τύπου και συνεπώς καταλαμβάνει τον ίδιο χώρο μνήμης όπως ένας δείκτης.
- Ένας δείκτης σε ακέραιο, `int*`, κρατά τη διεύθυνση στην οποία βρίσκεται ένας `int`.
  - Ένας δείκτης `int**`, κρατά τη διεύθυνση στην οποία βρίσκεται ένας δείκτης int*.
    - Ένας δείκτης `int***`, κρατά τη διεύθυνση στην οποία βρίσκεται ένας δείκτης `int**`.
      - κ.ο.κ.




```
void foo() {
int val;
int *valptr;
int **valptrptr;
…
}
```

# Δείκτες

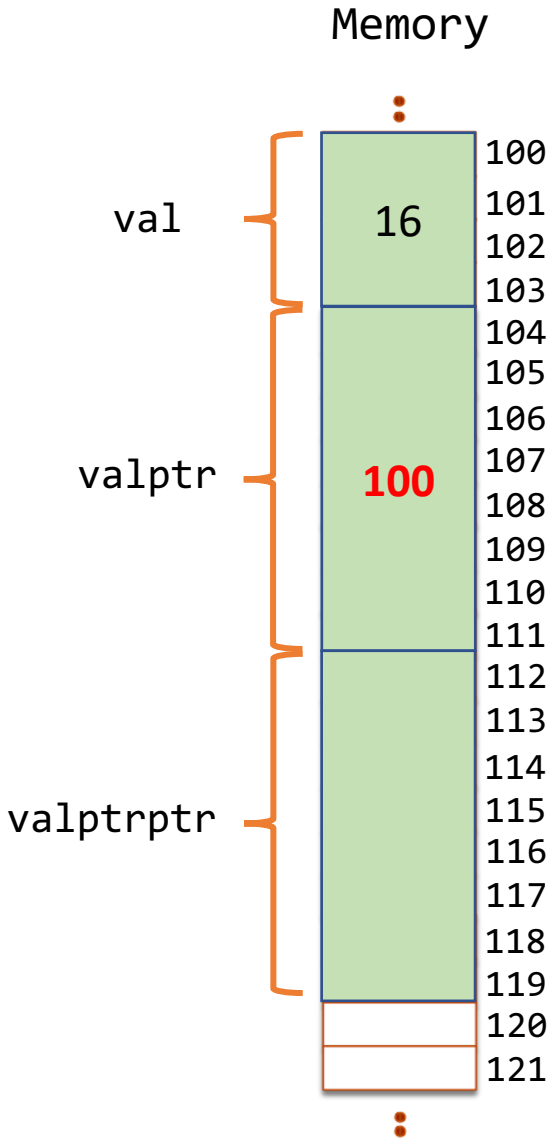
- Όταν ο μεταγλωττιστής πραγματοποιεί μια ανάθεση τιμής, μεταβαίνει στη διεύθυνση μιας μεταβλητής και ενημερώνει την τιμή που είναι αποθηκευμένη σε αυτή.
- Γενικότερα, όταν ο προγραμματιστής γράφει το όνομα x μιας μεταβλητής, αυτό μπορεί να ερμηνευτεί ως «η τιμή στη θέση μνήμης που έχει δεσμευτεί για το x».




```
void foo() {
int val;
int *valptr;
int **valptrptr;

val = 16;
valptr = &val;
*valptr = 5;

valptrptr = &valptr;
*valptrptr = NULL;

}
```

# Δείκτες

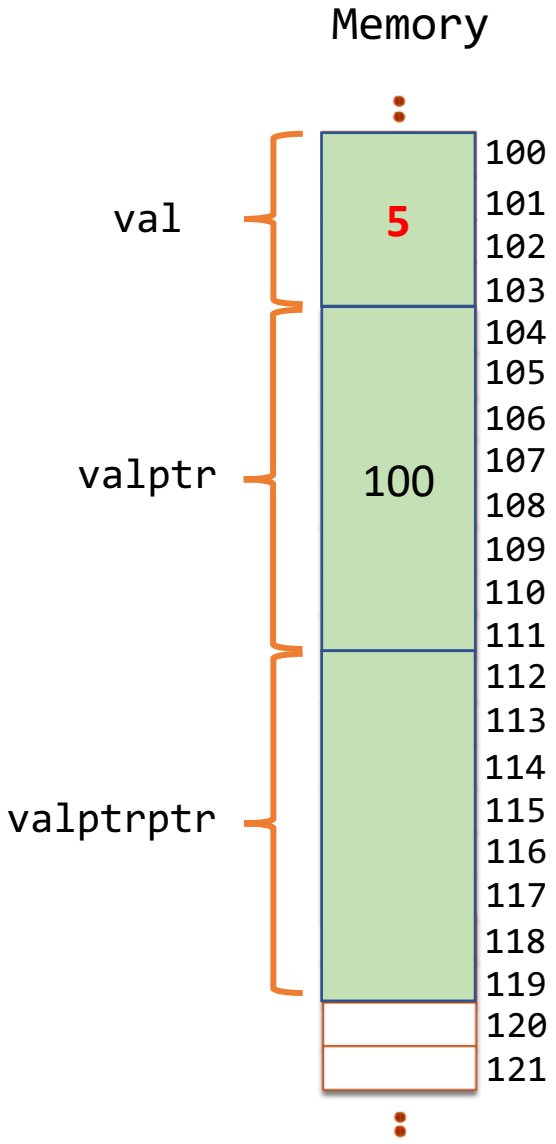
- Τοποθετώντας τον τελεστή & εμπρός από το όνομα μιας μεταβλητής, μπορούμε να αναφερθούμε στη διεύθυνση μιας μεταβλητής αντί για την τιμή της.
- Συνεπώς &x σημαίνει «η διεύθυνση της θέσης μνήμης που έχει δεσμευθεί για το x».
- Η διεύθυνση της μεταβλητής είναι η διεύθυνση του πρώτου byte που καταλαμβάνει στη μνήμη.




```
void foo() {
int val;
int *valptr;
int **valptrptr;

val = 16;
valptr = &val;
*valptr = 5;

valptrptr = &valptr;
*valptrptr = NULL;

}
```

# Δείκτες

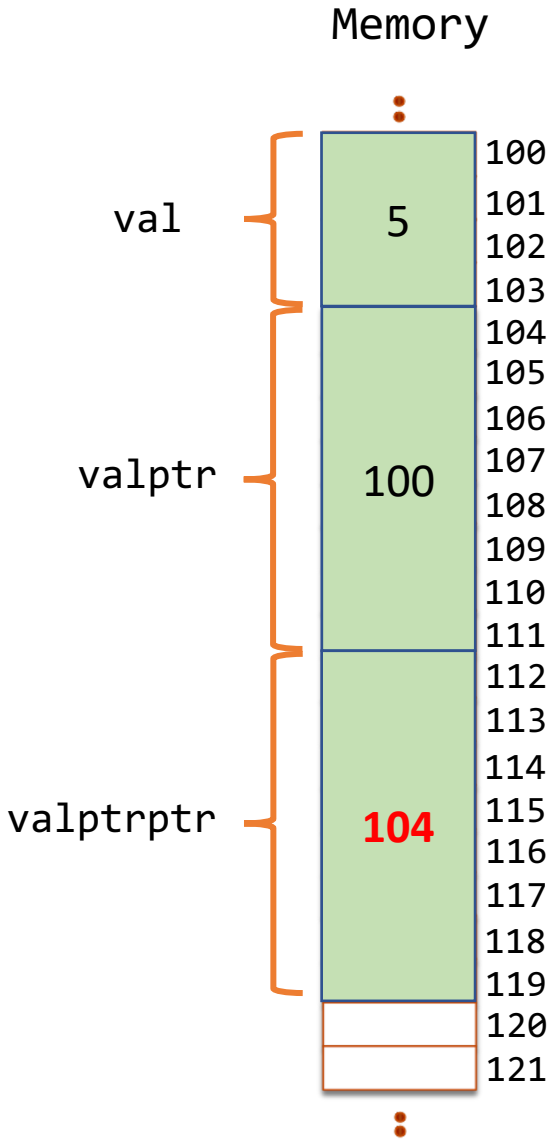
- Για μεταβλητές που είναι δείκτες, ο τελεστής * επιτρέπει στον προγραμματιστή να προσπελάσει την τιμή της διεύθυνσης μνήμης που περιέχει ο δείκτης.
- Η διαδικασία αυτή καλείται αποαναφορά (dereferencing) του δείκτη και είναι επίσης γνωστή ως έμμεση αναφορά (indirection).
- Η έμμεση αναφορά είναι ο λόγος για τον οποίο οι δείκτες έχουν τύπο, καθώς αν και όλοι οι δείκτες περιέχουν διευθύνσεις, ο μεταγλωττιστής θα πρέπει να γνωρίζει τον τύπο που είναι αποθηκευμένος σε μια διεύθυνση έτσι ώστε να μπορεί να προσπελάσει την τιμή στην οποία δείχνει ο δείκτης.




```
void foo() {
int val;
int *valptr;
int **valptrptr;

val = 16;
valptr = &val;
*valptr = 5;

valptrptr = &valptr;
*valptrptr = NULL;

}
```

# Δείκτες

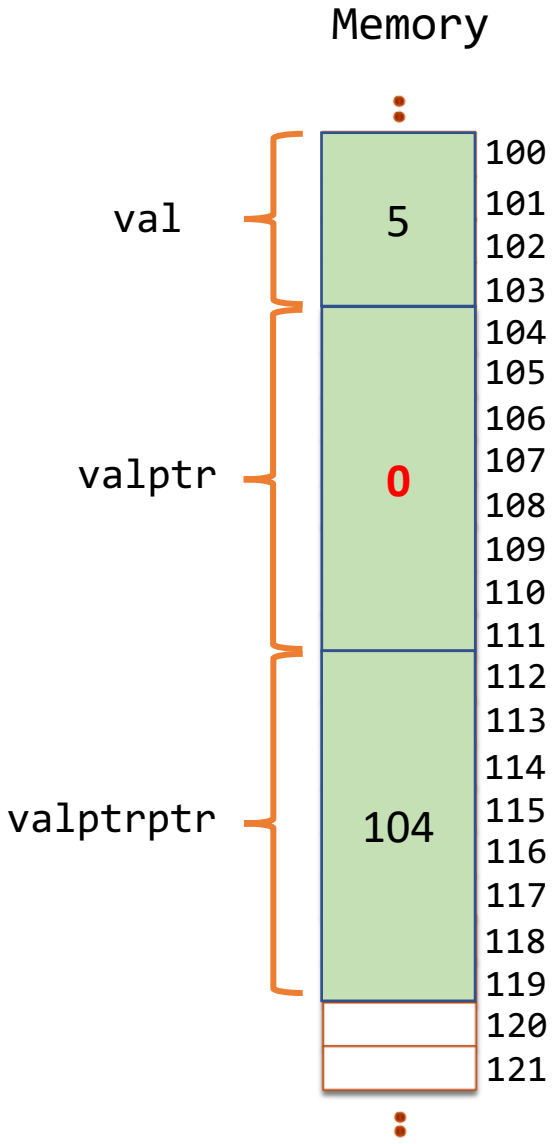
- Καθώς και ένας δείκτη σε δείκτη αποθηκεύει μια διεύθυνση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σχεδόν όπως ένας δείκτης.
- Ο επιπλέον δείκτης απλά σημαίνει ότι η τιμή της διεύθυνσης είναι η διεύθυση ενός `int*` και όχι ενός `int`.




```
void foo() {
int val;
int *valptr;
int **valptrptr;

val = 16;
valptr = &val;
*valptr = 5;

valptrptr = &valptr;
*valptrptr = NULL;

}
```

# Δείκτες

- Η ειδική θέση μνήμης NULL (0x0) είναι δεσμευμένη για να υποδηλώσει μνήμη που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί.
- Προτείνεται οι δείκτες να αρχικοποιούνται στην τιμή NULL.




```
void foo() {
int val;
int *valptr;
int **valptrptr;

val = 16;
valptr = &val;
*valptr = 5;

valptrptr = &valptr;
*valptrptr = NULL;

}
```

https://github.com/chgogos/oop/blob/master/various/COP3330/lect9/sample1.cpp

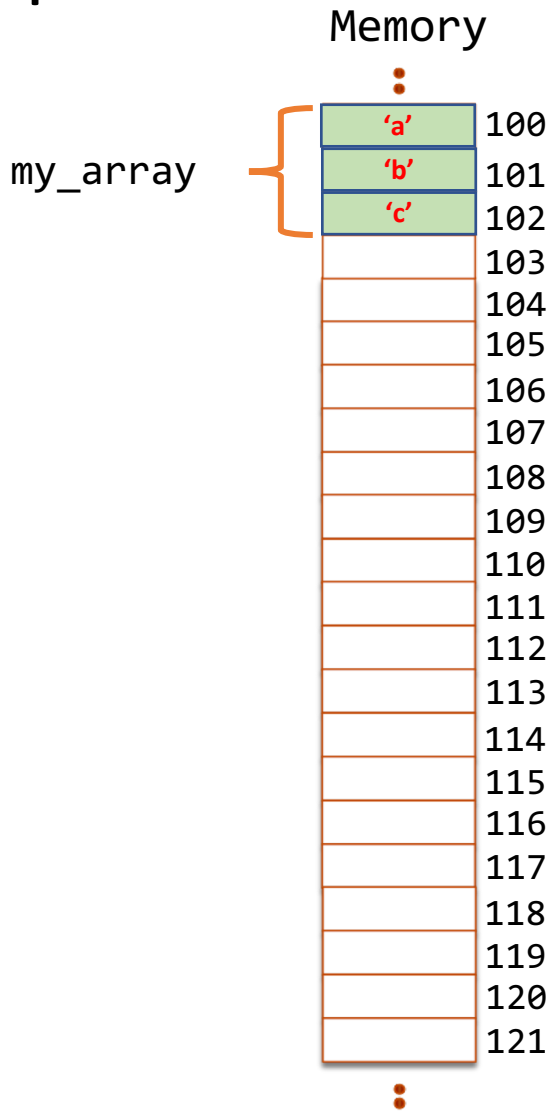
# Τοπικές μεταβλητές

- Οι τοπικές μεταβλητές καταλαμβάνουν χώρο στη στοίβα.
- Η διάρκεια ζωής μιας τοπικής μεταβλητής καθορίζεται από την συνάρτηση στην οποία δηλώνεται.
  - Η μεταβλητή δημιουργείται όταν καλείται η συνάρτηση
  - Όταν η συνάρτηση επιστρέφει, όλες οι τοπικές μεταβλητές παύουν να υπάρχουν (η δε μνήμη που καταλάμβαναν επιστρέφει στο σύστημα).
  - Προσοχή στη χρήση δεικτών που δείχνουν σε τοπικές μεταβλητές συναρτήσεων
    - Δεν θα πρέπει ποτέ μια συνάρτηση να επιστρέφει έναν δείκτη σε τοπική μεταβλητή.

https://github.com/chgogos/oop/blob/master/various/COP3330/lect9/sample2.cpp

# Πίνακες και αριθμητική δεικτών

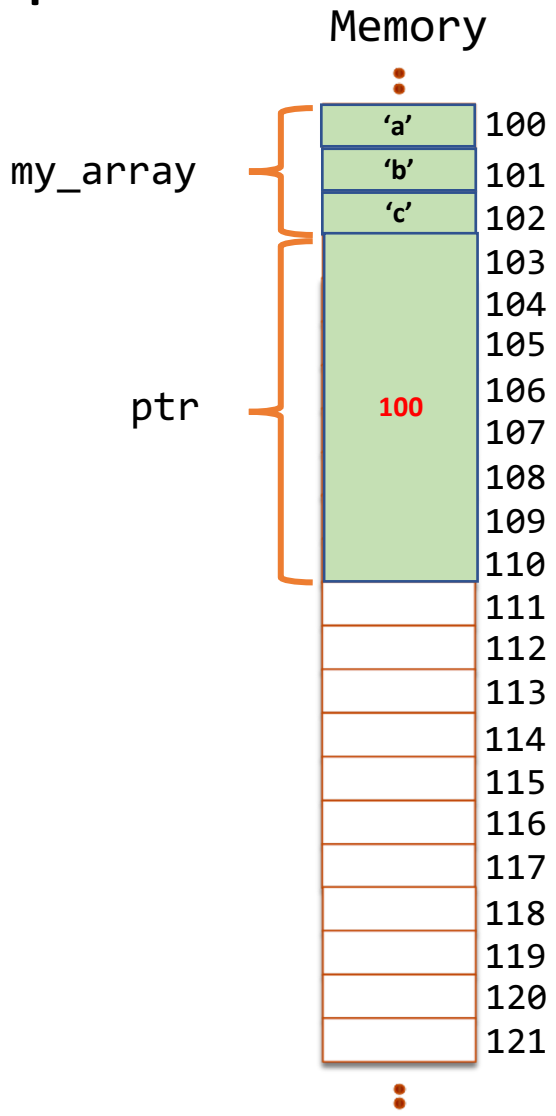
- Όταν ένας πίνακας δηλώνεται, ο μεταγλωττιστής δεσμεύει στη μνήμη το χώρο μνήμης που απαιτείται για όλα τα στοιχεία του πίνακα.
- Το όνομα του πίνακα λειτουργεί πλέον ως ένας δείκτης προς το πρώτο στοιχείο του πίνακα, αν και αυτό είναι μια «βολική θεώρηση» καθώς δεν υπάρχει αποθηκευμένος πραγματικά ένας δείκτης στη μνήμη.




```
void foo() {
char my_array[3] = {'a',
'b', 'c'};
char *ptr;
ptr = my_array;
}
```

# Πίνακες και αριθμητική δεικτών

- Ένας «πραγματικός» δείκτης δεσμεύει μνήμη στην οποία μπορεί να αποθηκευτεί μια διεύθυνση μνήμης.
- Όταν ένας πίνακας αναφέρεται σε ένα πρόγραμμα χωρίς τον τελεστή [ ], ο μεταγλωττιστής «θεωρεί» ότι το όνομα του πίνακα αναφέρεται σε έναν δείκτη που περιέχει τη διεύθυνση του πρώτου στοιχείου του πίνακα. Έτσι μπορεί να ανατεθεί σε έναν δείκτη ο πίνακας.



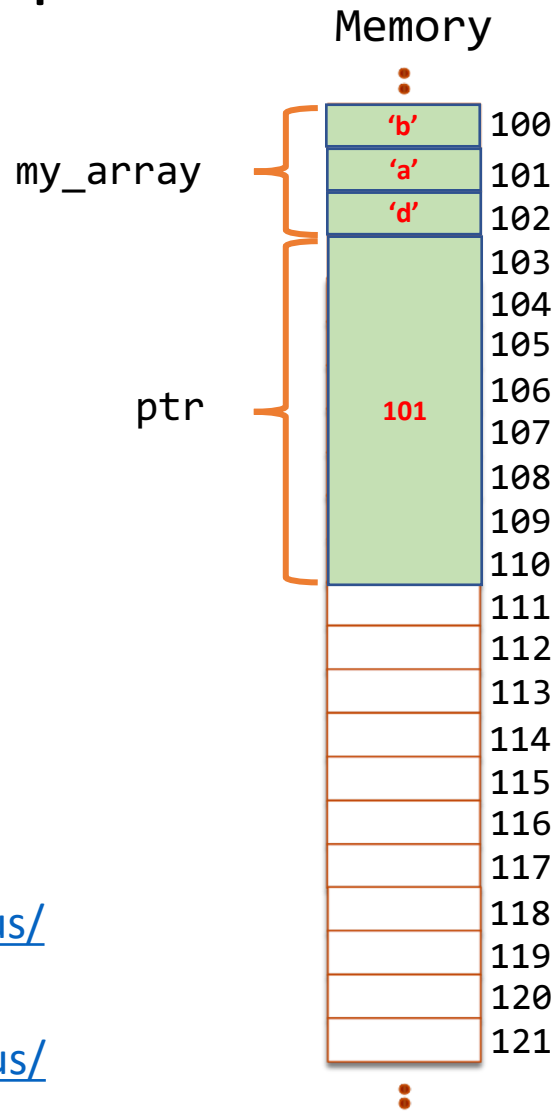

```
void foo() {
char my_array[3] = {'a',
'b', 'c'};
char *ptr;
ptr = my_array;
}
```

# Πίνακες και αριθμητική δεικτών

- Οι δείκτες μπορούν να τροποποιηθούν με τους τελεστές `+, -, ++, --`. Μια βασική διαφορά μεταξύ ενός δείκτη και ενός ακεραίου είναι ότι η εντολή `ptr = ptr + num`, μεταφράζεται σε `ptr = ptr + num * (το μέγεθος του τύπου στον οποίο δείχνει ο δείκτης)`.
- Η αλλαγή της τιμής ενός δείκτη με αριθμητικές πράξεις είναι γνωστή ως αριθμητική δεικτών. Μεταξύ άλλων, είναι χρήσιμη για να διασχίσουμε έναν πίνακα.
- Η αριθμητική δεικτών και η αποαναφορά μπορούν να συνδυαστούν σε μια εντολή για να προσπελαστούν θέσεις σε διάφορες αποστάσεις από την αρχή του πίνακα. Όταν ο μεταγλωττιστής συναντά έναν δεικτοδοτημένο πίνακα, η εντολή μεταφράζεται από `array[index]` σε `*(array+index)`

https://github.com/chgogos/oop/blob/master/various/COP3330/lect9/sample3.cpp

https://github.com/chgogos/oop/blob/master/various/COP3330/lect9/sample4.cpp




```
void foo() {
char my_array[3] = {'a', 'b', 'c'};
char *ptr;
ptr = my_array;

ptr = ptr + 1;
*ptr = *my_array;
*(ptr+1) = 'd';
ptr[-1] = 'b';
}
```

# Επιπλέον πληροφορίες για τους δείκτες

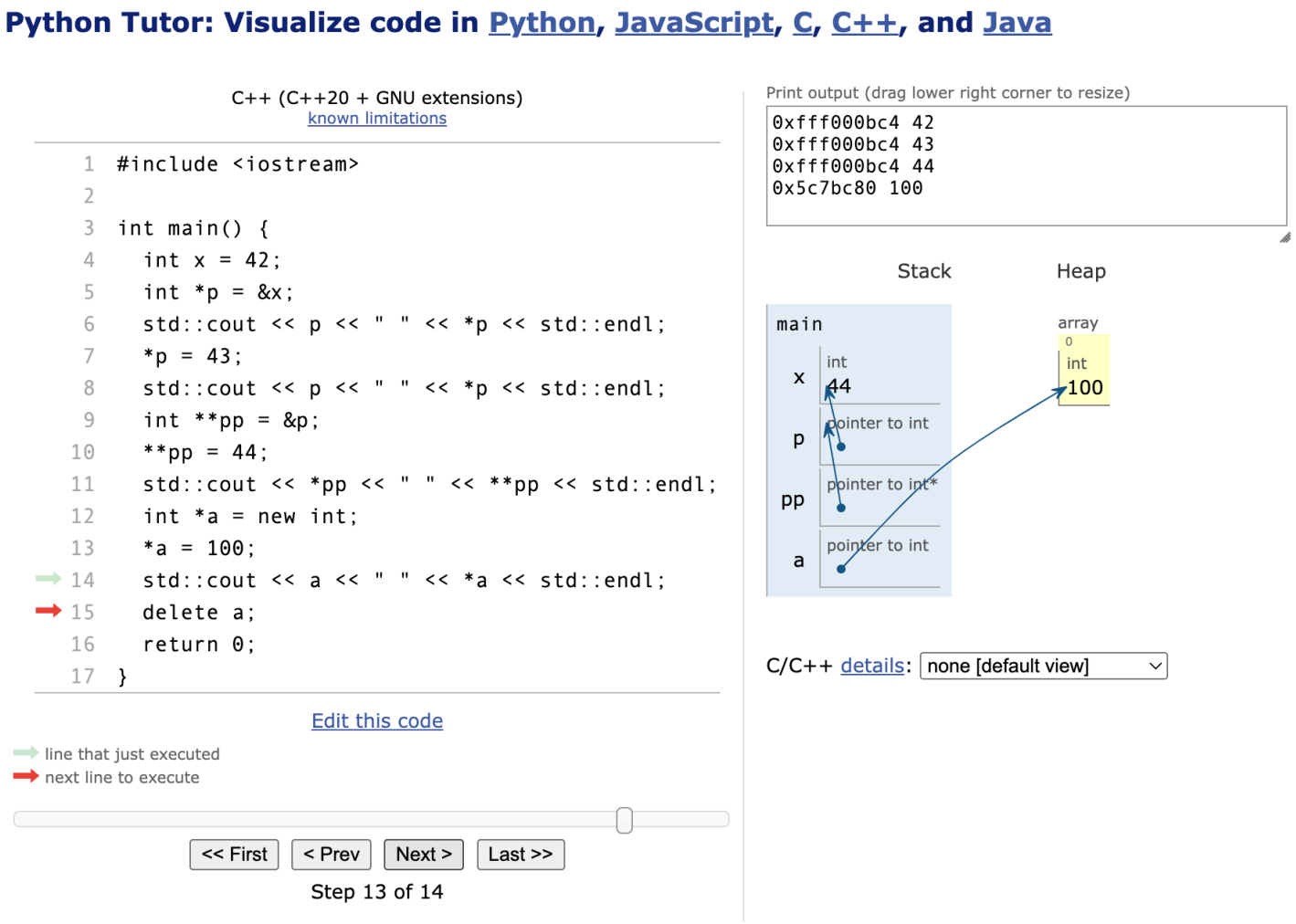
- Ένας δείκτης μπορεί να ανατεθεί σε έναν άλλο δείκτη αν είναι του ίδιου τύπου ή αν γίνει μετατροπή τύπου (casting).
- Οποιοσδήποτε δείκτης μπορεί να ανατεθεί σε δείκτη `void*`.
- Η αποαναφορά ενός μη αρχικοποιημένου δείκτη ή ενός `NULL` δείκτη θα προκαλέσει σφάλμα κατάτμησης (segmentation fault).

https://github.com/chgogos/oop/blob/master/various/COP3330/lect9/sample5.cpp

# Αναφορές (references)

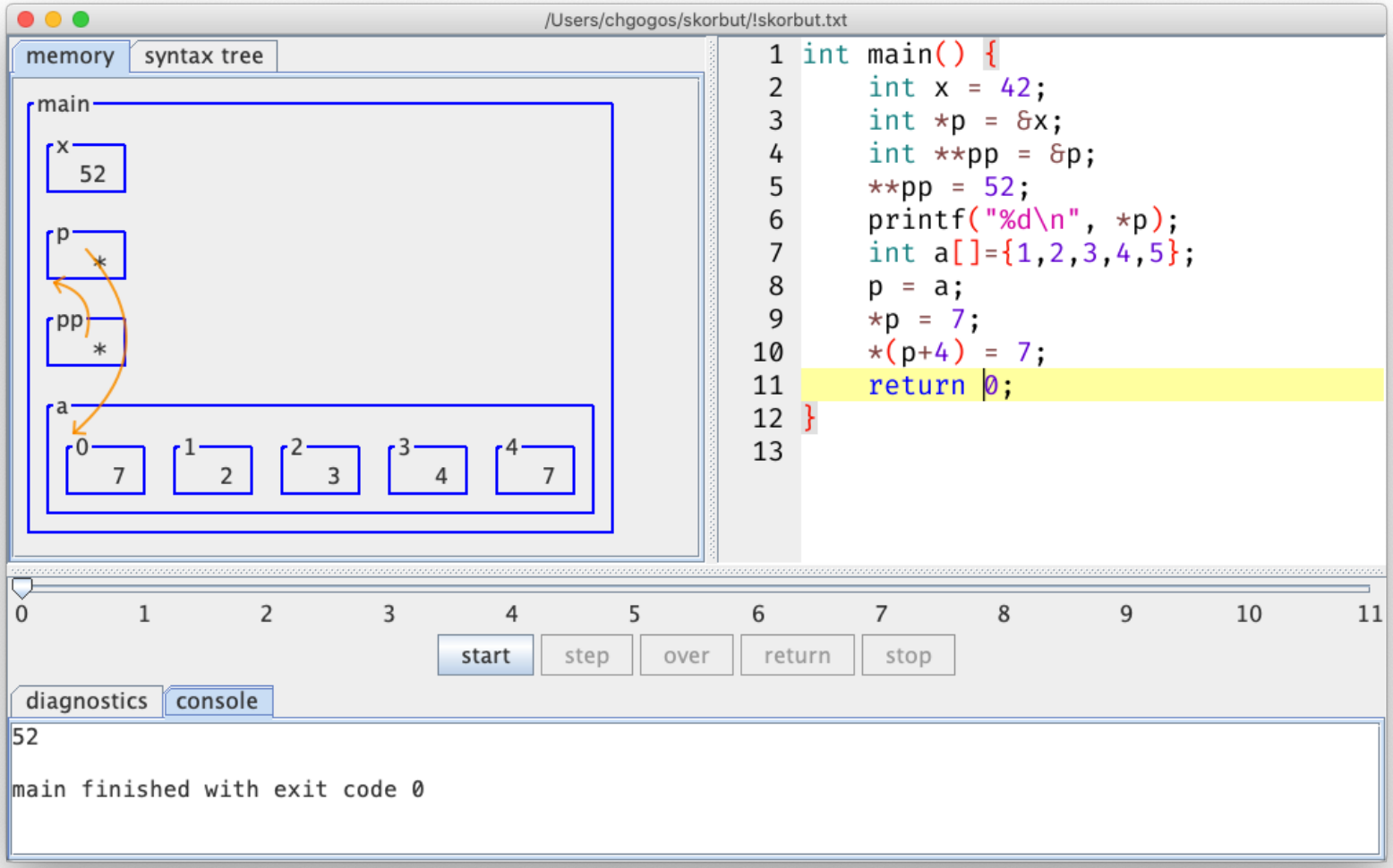
- Οι αναφορές είναι μια υποκατηγορία δεικτών που χρησιμοποιείται στη C++ και όχι στη C.
- Πρόκειται για ένα περιορισμένων δυνατοτήτων δείκτη που μπορεί να δείχνει προς ένα μόνο αντικείμενο ή μια μόνο μεταβλητή.
- Δηλώνεται χρησιμοποιώντας τον τελεστή & και όχι το `* (int &ref)`.
- Δεν μπορεί να υπάρχει αναφορά σε αναφορά.
- Μια αναφορά πρέπει να αρχικοποιείται κατά τη δήλωση της.
- Από τη στιγμή που αρχικοποιείται μια αναφορά δεν μπορεί να αλλάξει τιμή προς ένα άλλο αντικείμενο ή μια άλλη μεταβλητή.
- Δεν μπορεί να εφαρμοστεί αριθμητική δεικτών σε αναφορές.
- Οι αναφορές πραγματοποιούν αυτόματη αποαναφορά και συνεπώς μόνο η τιμή της μεταβλητής που αναφέρεται είναι προσβάσιμη.
- Μια αναφορά λειτουργεί ως δεύτερο όνομα ή ως ψευδώνυμο για μια μεταβλητή ή ένα αντικείμενο.
  https://github.com/chgogos/oop/blob/master/various/COP3330/lect9/sample6.cpp
  https://github.com/chgogos/oop/blob/master/various/COP3330/lect9/sample7.cpp
  https://github.com/chgogos/oop/blob/master/various/COP3330/lect9/sample8.cpp
  https://github.com/chgogos/oop/blob/master/various/COP3330/lect9/sample9.cpp

# Πειραματισμός με δείκτες (1/2): pythontutor




http://pythontutor.com/cpp.html

# Πειραματισμός με δείκτες (2/2): skorbut




https://github.com/fredoverflow/skorbut-release

# Ερωτήσεις σύνοψης

- Τι αποθηκεύεται στο a όταν υπάρχει η δήλωση `int* a;`
- Τι αποθηκεύεται στο a όταν υπάρχει η δήλωση `int** a;`
- Γιατί δεν θα πρέπει να επιστρέφουμε έναν δείκτη προς μια τοπική μεταβλητή;
- Ποια είναι η μορφή με την οποία με δείκτη μπορούμε να αναφερθούμε στο στοιχείο a[100];
- Τι σημαίνει ο δείκτης NULL;
- Ποια είναι η σχέση ανάμεσα σε δείκτες και αναφορές;
- Ποια είναι τα μεγέθη των p1, p2 και p3 στον ακόλουθο κώδικα;

```
int *p1;
char *p2;
Fraction *p3;
```

- Ποια είναι η έξοδος του ακόλουθου κώδικα;

```
int a = 5;
int *ptr = &a;
cout << ptr;
cout << *ptr;
```

# Αναφορές

- http://www.cs.fsu.edu/~xyuan/cop3330/
- http://pythontutor.com/cpp.html
- https://github.com/fredoverflow/skorbut-release