Κεφάλαιο 5: Τύποι Δεδομένων

Αρχές Γλωσσών Προγραμματισμού και Μεταφραστών

Γ. Γαροφαλάκης, Σ. Σιούτας

Γενικά (1)

Όλοι μας έχουμε αναπτύξει μια διαισθητική άποψη για το τι είναι ένας Τύπος Δεδομένων. Δηλαδή:

- Συλλογή τιμών από ένα πεδίο («**δηλωτική**» προσέγγιση - denotational)
- Εσωτερική δομή συνόλου δεδομένων, που περιγράφεται μέχρι το επίπεδο ενός μικρού συνόλου βασικών τύπων («**κατασκευαστική**» προσέγγιση - constructive)
- Συλλογή καλά ορισμένων λειτουργιών που μπορούν να εφαρμοστούν στα στοιχεία ενός Τύπου Δεδομένων («**αφαιρετική**» προσέγγιση – abstraction based)

Γενικά (2)

Τύπος Δεδομένων (ΤΔ):

Ένα σύνολο *στοιχείων* και ένα σύνολο *ενεργειών* πάνω στα στοιχεία αυτά, οι οποίες ενέργειες *δημιουργούν*, *υποστηρίζουν*, *καταστρέφουν*, *τροποποιούν* και *συλλέγουν* εμφανίσεις των στοιχείων.

- Κάθε ΓΠ παρέχει ένα καταρχήν σύνολο ΤΔ (**βασικοί ΤΔ** – primitive). Π.χ.
  - *Επιτακτικές Γλώσσες*: Integer, Real, Character, Boolean,…
- Ο προγραμματιστής συνήθως έχει τη δυνατότητα ορισμού νέων ΤΔ.

Γενικά (3)

Οι ΤΔ εξυπηρετούν 2 βασικούς **στόχους**:

1. Δημιουργούν ένα συγκεκριμένο *περιβάλλον* (context) στο οποίο εκτελούνται διάφορες λειτουργίες, απαλλάσσοντας τον προγραμματιστή από τη σχετική δουλειά. Π.χ.

   Η έκφραση A + B θα επιβάλλει ακέραιη πρόσθεση αν τα A, B είναι τύπου integer, ενώ αν τα A, B είναι τύπου float, θα επιβάλλει πρόσθεση αριθμητικής floating-point.
2. Αποτρέπουν τους προγραμματιστές από *λάθος λειτουργίες* που ίσως προσπαθήσουν να κάνουν. Π.χ. να προσθέσουν ένα χαρακτήρα με ένα record.

Γενικά (4)

- **Σύστημα Τύπων** (Type System):

  Η δυνατότητα ορισμού νέων ΤΔ και δήλωσης μεταβλητών, οι τιμές των οποίων περιορίζονται στα στοιχεία ενός ΤΔ, με πραγματοποίηση *ελέγχου τύπου.* Ένα Type System αποτελείται από:

  1. Ένα μηχανισμό **ορισμού** ΤΔ και συσχέτισής τους με συγκεκριμένες κατασκευές της γλώσσας, δηλαδή με αυτές που έχουν τιμή, όπως μεταβλητές, παράμετροι, εκφράσεις, …
  2. Ένα σύνολο **κανόνων** για *Ισοδυναμία ΤΔ* (type equivalence), *Συμβατότητα ΤΔ* (type compatibility) και *Εξαγωγή ΤΔ* (type inference).

Γενικά (5)

- **Έλεγχος Τύπου** (Type Checking):

  Διαδικασία επιβεβαίωσης ότι το πρόγραμμα υπακούει στους κανόνες Συμβατότητας ΤΔ της ΓΠ. Δύο έννοιες σχετίζονται με τον Έλεγχο Τύπου:

  - *Γλώσσες Ισχυρών Τύπων* (Strongly Typed)

    Απαγορεύουν την εφαρμογή ενεργειών σε στοιχεία που δεν πρέπει να υποστηρίζουν τις ενέργειες αυτές.

  - *Γλώσσες Στατικών Τύπων* (Statically Typed)

    Strongly Typed γλώσσες στις οποίες ο Έλεγχος Τύπου γίνεται κατά τη μετάφραση (συνήθως, μόνο το μεγαλύτερο μέρος του ελέγχου)

Γενικά (6)

Παραδείγματα:

- Η Common Lisp είναι strongly typed, αλλά όχι statically typed.
- Οι C, Ada είναι statically typed.
- Η Pascal είναι σχεδόν statically typed.
- Η Java είναι strongly typed, με περίεργο μίγμα πραγμάτων που άλλα ελέγχονται στατικά, και άλλα δυναμικά.

Γενικά (7)

- **Πολυμορφισμός** (polymorphism):

  Επιτρέπει σε ένα τμήμα κώδικα να δουλεύει με αντικείμενα πολλαπλών τύπων.

  - Αναγκαίος ο έλεγχος ΤΔ στο χρόνο εκτέλεσης (κόστος).
  - Lisp, Smalltalk
  - Σε αρκετές object-oriented ΓΠ (C++, Java, …) υπάρχει ο Πολυμορφισμός Υποτύπων (subtype polymorphism): Επιτρέπει σε μια μεταβλητή *X* τύπου *T* να συσχετίζεται με ένα αντικείμενο οποιουδήποτε υπο-τύπου του *T*.
  - Καθώς οι υπο-τύποι υποστηρίζουν όλες τις λειτουργίες του *T*, ο μεταφραστής είναι σίγουρος ότι κάθε πράξη αποδεκτή για αντικείμενο τύπου *T*, θα είναι αποδεκτή για κάθε αντικείμενο που συσχετίζεται με τη *X*.
  - Μπορεί να υλοποιηθεί στο χρόνο μετάφρασης.

Κατηγορίες ΤΔ

- **Βαθμωτοί (scalar) ή Απλοί ΤΔ**

  Το Πεδίο Τιμών (domain) τους αποτελείται από σταθερές τιμές που έχουν μόνο ένα χαρακτηριστικό

  - *Βασικοί* ΤΔ (primitive types): int, real/float, bool, char
  - Τύποι *Απαρίθμησης* (enumeration types)
  - Τύποι *Υποπεριοχής* (subrange types)

- **Διακριτοί ή Τακτικοί (ordinal) ΤΔ**

  Βαθμωτοί ΤΔ των οποίων τα μέλη του Πεδίου Τιμών τους αντιστοιχίζονται με ακέραιους (από τους παραπάνω βαθμωτούς, όχι οι real/float).

- **Σύνθετοι ή Δομημένοι (structured) ΤΔ**

  Το domain αποτελείται από μέλη που έχουν συντεθεί από ένα σύνολο άλλων ΤΔ (arrays, records, pointers, …)

Βασικοί ΤΔ (Primitive)

- Δεν ορίζονται με βάση άλλους ΤΔ
- Ορισμένοι βασικοί ΤΔ απλώς αντανακλούν το H/W (π.χ. integer)
- Άλλοι βασικοί ΤΔ θέλουν μόνο λίγο επιπλέον S/W υποστήριξη
- C, C++ : int, float, double, char
- C++, Java : Οι παραπάνω, και επιπλέον bool (-ean)

Βασικοί ΤΔ (2)

1. Ακέραιοι Αριθμοί (Integer)

- Το υποσύνολο των ακέραιων από MININT έως MAXINT
- Πολλοί Η/Υ και Γλώσσες υποστηρίζουν διάφορα μεγέθη. Π.χ.
  - int (4 bytes)
  - short int (2 bytes)
  - long int (8 bytes)
  - unsigned int (2 bytes)
- Java : byte (1 byte), short (2 bytes), int (4 bytes), long (8 bytes)

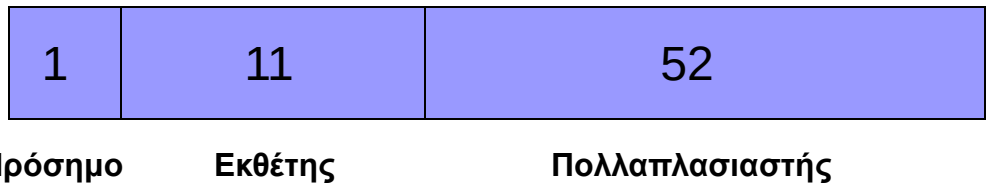
Βασικοί ΤΔ (3)

2. Αριθμοί Κινητής Υποδιαστολής (Floating – Point)

- Είναι προσεγγιστικές αναπαραστάσεις πραγματικών αριθμών.
- IEEE floating – point standard 754:
  - Single precision (π.χ. float):

4 bytes (32 bits)

  - Double precision (π.χ. double):



8 bytes (64 bits)

Βασικοί ΤΔ (4)

3. Boolean

- Δύο Τιμές: FALSE, TRUE (1 byte)
- Όλες οι γλώσσες έχουν, εκτός της C.

4. Χαρακτήρες

- char στη C.
- Κωδικοποίηση ASCII: 1 byte
- Κωδικοποίηση UNICODE: τουλάχιστον 2 bytes

Ακολουθίες Χαρακτήρων (1) (Character Strings)

Σχεδιαστικά ερωτήματα:

- Βασικός ΤΔ ή ειδικός τύπος char array;
- Στατικό ή Δυναμικό μήκος;

- Pascal, Ada, C, C++ : Όχι βασικός ΤΔ. Char Array. Π.χ. char line[100]
- C : String operations από Standard Library string.h :
  - strcpy (μετακίνση string)
  - strcat (πρόσθεση strings)
  - strcmp (σύγκριση strings)
  - strlen (αριθμός χαρακτήρων)

Ακολουθίες Χαρακτήρων (2)

- C : Char pointers (δείχνουν σε char array):

  char *str = “mary”;

  Τα strings τελειώνουν με null, οπότε δεν χρειάζεται η γνώση του τρέχοντος μήκους του string.

- Java, C++ :

  String class για string objects

- SNOBOL, Perl : Πλήρως δυναμικά strings

Ακολουθίες Χαρακτήρων (3)

- FORTRAN, COBOL, Pascal : Static Strings

- C, C++ : Limited Dynamic Strings

Τύποι Απαρίθμησης (enumeration types)

- Στις περισσότερες (και παλιότερες) γλώσσες, το domain των τύπων απαρίθμησης περιγράφεται από μια *διατεταγμένη* λίστα τιμών (σταθερών).
- Στις γλώσσες αυτές, οι μόνες πράξεις που επιτρέπονται, είναι ο *έλεγχος ισότητας* και *διάταξης,* και η *ανάθεση*.
- Π.χ. στην Pascal:

```
type days = (mon, tue, wed, thu, fri, sat, sun);
var x: days;
```

  - Υπάρχουν οι predefined functions: ORD, PRED, SUCC
  - Απαγορεύεται η χρήση ίδιας σταθεράς σε άλλο ορισμό

Τύποι Απαρίθμησης (2)

- Στις C, C++, οι τιμές είναι ουσιαστικά ακέραιες σταθερές, οπότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπως αυτές (ορθογωνιότητα).
- Παράδειγμα:

```
enum boolean {NO, YES, FALSE = 0, TRUE}
boolean A;
A = YES - 1;
```

- Επίσης:

```
enum days {mon=1, tue=2, wed=3, …}
```

ή

```
enum days {mon=1, tue, wed, …}
```

ή

```
enum days {mon=1, tue, wed, … , MON=1, TUE, WED, …}
days i = MON;
```

Αν δεν αντιστοιχίσουμε την 1η τιμή, το default είναι 0.

Τύποι Υποπεριοχής (subrange types)

- Είναι ΤΔ οι τιμές του οποίου είναι ένα *συνεχές υποσύνολο* των τιμών κάποιου διακριτού (ordinal) ΤΔ (ακέραιοι, χαρακτήρες, απαριθμήσεις, άλλες υποπεριοχές).
- Εμφανίστηκαν για πρώτη φορά στην Pascal, και στη συνέχεια σε μεταγενέστερες ΓΠ της οικογένειας Algol.
- Pascal:

```
type test_score = 0 . . 100;
     workday = mon . . fri;
```

ΤΔ Array (1)

- Ομάδα από ομογενή στοιχεία δεδομένων που προσδιορίζονται από τη θέση τους στην ομάδα, σε σχέση με το πρώτο. Ορισμός:

  C: int A[20] Pascal: A: ARRAY [0..19] of INTEGER

- **Σχεδιαστικά θέματα**

1. Default κατώτερη τιμή του δείκτη:
   - C, C++ : 0
   - FORTRAN : 1
   - Pascal: Ορίζεται από το χρήστη

ΤΔ Array (2)

2. Διαστάσεις δεικτών:
   - C, C++ : 1 διάσταση, αλλά κάθε element του array μπορεί να είναι array (multidimensional): int B[5][4]
   - FORTRAN : 3 διαστάσεις στην I, 7 στη FORTRAN IV
3. Αρχικοποίηση τιμών array κατά τη δήλωση:
   - FORTRAN 77 : INTEGER L(3)
     DATA L /0, 5, 9/
   - C, C++ : int L [ ] = {4, 7, 8, 53} Ορίζεται και το μήκος array (4)
     char name [ ] = “freddie” Array μήκους 8 (null στο τέλος)
     char *names [ ] = {“Bob”, “Jake”, “Mary”}
     Array of pointers σε χαρακτήρες: Το names[0] είναι pointer στο γράμμα ‘B’ στο char array “Bob/null”
   - Pascal : Όχι

ΤΔ Array (3)

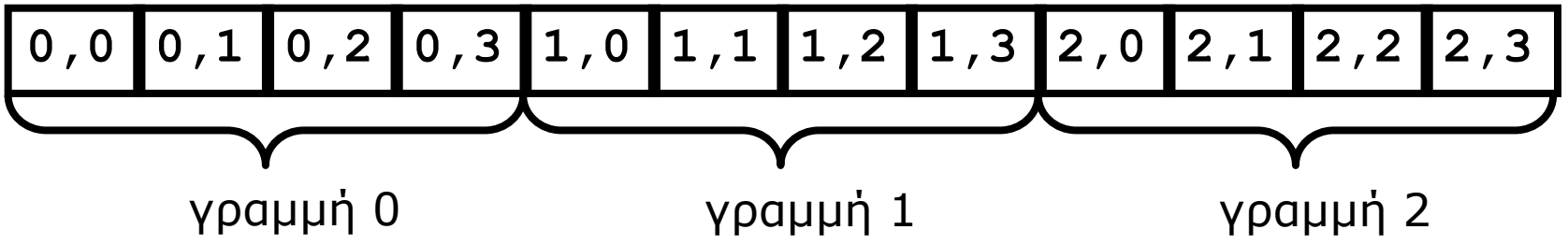
- Στη C μπορούμε να δηλώσουμε και πίνακες πολλών διαστάσεων
- Παράδειγμα δήλωσης πίνακα 2 διαστάσεων:

```
int a[3][4];
```

Γραμμές 0..2 **Στήλες 0..3**

- Παράδειγμα προσπέλασης στοιχείου πίνακα 2 διαστάσεων:
  a[1][0] = 5; /* στη γραμμή 1 και στήλη 0 αποθήκευσε το 5 */

- Στη C η αποθήκευση των στοιχείων πολυδιάστατου πίνακα γίνεται ανά γραμμή, π.χ.



ΤΔ Record (1)

- Ομάδες στοιχείων που αποτελούν συνθέσεις από συγκεκριμένο αριθμό (πιθανόν) ανομοιογενών στοιχείων δεδομένων, που αναγνωρίζονται από το όνομά τους.

- Διαφορές από arrays:
  - Τα συστατικά των records μπορεί να είναι ετερογενή.
  - Τα στοιχεία των records έχουν συμβολικά ονόματα (id), ενώ των arrays καθορίζονται από το δείκτη.

ΤΔ Record (2)

- C, C++ :

```
struct EmployeeType
        {  int ID;
           int Age;
           float Salary;
           char Dept;
        }   Employee[500] ;
```

Ορίζεται record ΤΔ με όνομα EmployeeType, και παράλληλα δηλώνεται ένα array 500 θέσεων με όνομα Employee, με στοιχεία τύπου EmployeeType.

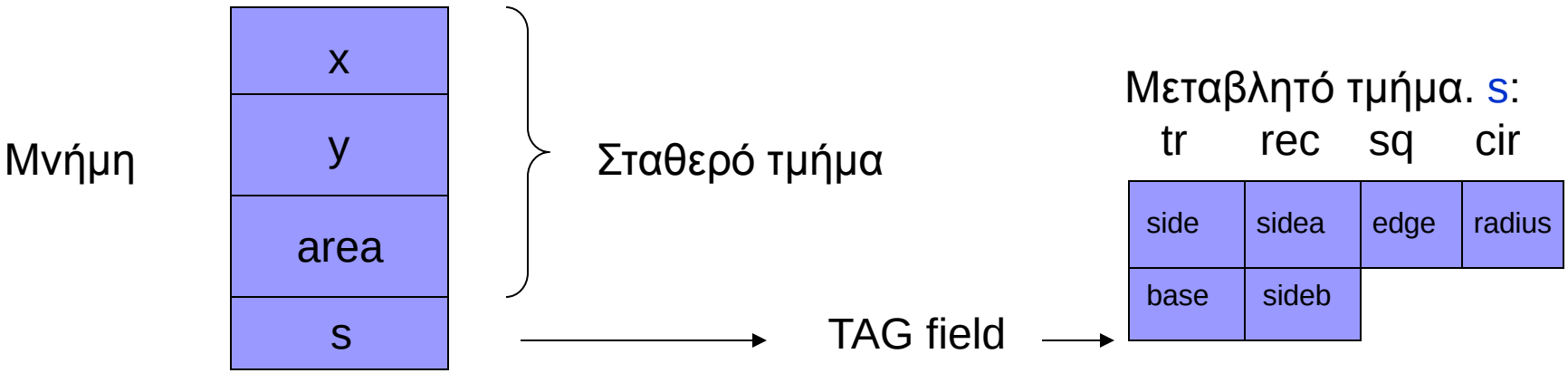
Πρόσβαση στα στοιχεία του: Employee[3].Salary

Άλλος ορισμός (απλής μεταβλητής): struct EmployeeType A;

ΤΔ Record (3)

- Pascal :

```
type shape = (triangle, rectangle, square, circle);
     coordinates = RECORD
        x, y: real;
        area: real;
        case s: shape of
              triangle: (side: real; base: real);
              rectangle: (sidea, sideb: real);
              square: (edge: real);
              circle: (radius: real)
     end;
```



ΤΔ nested structs (4)

Εμφωλευμένες Δομές

```
struct point { /* δομή για ένα σημείο */
   double x, y;
};

 struct rect {    /* δομή για ένα παραλληλόγραμμο
                     που ορίζεται από 2 αντιδιαμετρικές
                     κορυφές του */
    struct point pt1;
    struct point pt2;
};

struct rect screen;
```

Το **screen.pt1.x** αναφέρεται στη x συντεταγμένη του σημείου pt1 της δομής screen

ΤΔ nested structs and functions (4)

Δομές και Συναρτήσεις

```
/* συνάρτηση που επιστρέφει δομή point */
struct point makepoint(double x, double y)
{
    struct point temp;
    temp.x = x;
    temp.y = y;
    return temp;
}

/* ορισμός παραλληλογράμμου με κορυφές (0,0) και (10,10)*/
screen.pt1 = makepoint(0.0, 0.0);
screen.pt2 = makepoint(10.0, 10.0);

if (screen.pt1 != screen.pt2) ...
```

Προσοχή: οι δομές δε μπορούν να συγκριθούν (μόνο τα επιμέρους πεδία τους)

ΤΔ δείκτη (pointer)

- **Δείκτης**: Αναφορά σε θέση μνήμης
- **Μεταβλητή ΤΔ δείκτη**: Όνομα (id) με τιμή που είναι αναφορά σε διεύθυνση μνήμης. Δηλαδή, οι τιμές της περιέχονται στο σύνολο:

  [διευθύνσεις μνήμης, nil (τίποτα)].
- Δεν είναι Δομημένος ΤΔ

Θέματα Σχεδιασμού

- Εμβέλεια και διάρκεια ζωής μιας μεταβλητής ΤΔ δείκτη
- Διάρκεια ζωής Heap – Dynamic μεταβλητής
- Τυχόντες περιορισμοί στον ΤΔ του αντικειμένου που δείχνουν

ΤΔ δείκτη (2)

- **Λόγοι ύπαρξης** ΤΔ δείκτη:
  - Πολλά στοιχεία μπορούν να συνδέονται μεταξύ τους χωρίς να παρέχονται συγκεκριμένα ονόματα για όλα (στις *Explicit Heap – Dynamic Variables*)
  - Βάση για *έμμεση διευθυνσιοδότηση*.
  - Επιτρέπουν την ταυτόχρονη τοποθέτηση των στοιχείων σε πολλές δομές (π.χ. λίστες, arrays).
  - Με λίγες δηλώσεις, μπορούμε να έχουμε μεγάλη ποικιλία στοιχείων που συνδέονται με πολλούς τρόπους και προσπελαύνονται με ομοιόμορφο τρόπο.

ΤΔ δείκτη (3)

- Συνέπειες (και πιθανά προβλήματα) ύπαρξης δεικτών:
  - Μπορεί αρκετές Μεταβλητές Δείκτη (ΜΔ) να αναφέρονται στο ίδιο αντικείμενο, στο ίδιο σημείο, ή σε διαφορετικά σημεία του ίδιου αντικειμένου.
  - Πρέπει η ΓΠ να παρέχει σημειογραφία για διάκριση ***θέσης***, ***τιμής-r*** και ***τιμής-l***.
  - Μια μεταβλητή ΤΔ δείκτη, μπορεί να μη δείχνει πουθενά.

    Π.χ.:

ΤΔ δείκτη (4)

Στη C++ μπορούμε να έχουμε:

```
int *arrayPtr1;
int *arrayPtr2 = new int[100];
arrayPtr1 = arrayPtr2;
delete [ ] arrayPtr2;
```

Πρόβλημα **αιωρούμενης αναφοράς**…

ΤΔ δείκτη (5)

- Κάποια αντικείμενα μπορεί να μη δεικτοδοτούνται πλέον από καμία ΜΔ. Π.χ.:

```
int *P1 = new int;
int *P2 = new int;
…….
 P2 = P1;
```

Τώρα πλέον, η heap μνήμη στην οποία έδειχνε αρχικά το P2, δεν μπορεί να προσπελασθεί (*χαμένη μεταβλητή* ή *σκουπίδι*…)

ΤΔ δείκτη (6)

- C, C++ : Οι δείκτες και τα arrays είναι στενά συνδεδεμένες έννοιες:

```
int n;
int *a;          (δείκτης σε integer)
int b[10];       (array 10 integers)
```

Τα παρακάτω είναι νόμιμα:

```
a = b;
```

(το a θα δείχνει στο b[0])

```
n = a[3];
```

(το n παίρνει την τιμή του b[3])

```
n = *(a+3)
```

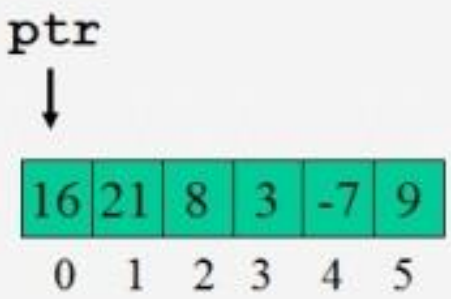
(ίδιο με το προηγούμενο)

ΤΔ δείκτη (6.1)

Δείκτες και Πίνακες

Μια μεταβλητή πίνακα είναι ένας **σταθερός** δείκτης προς το πρώτο στοιχείο του πίνακα

```
int table[6] = {16,21,8,3,-7,9};
int *ptr;
ptr = &table[0];
```

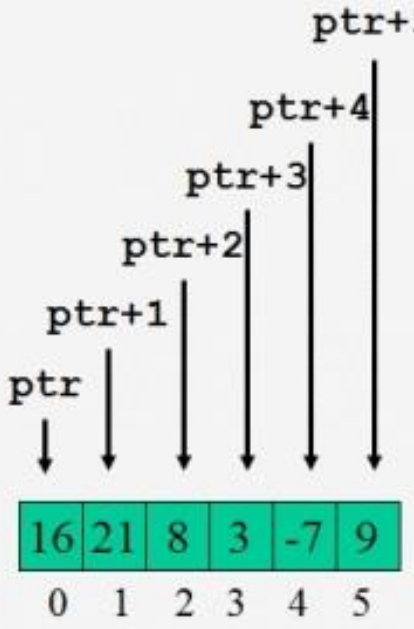


Το να γράψουμε `table` είναι το ίδιο με το να γράψουμε `&table[0]` ή `ptr`.

ΤΔ δείκτη (6.2)

Αριθμητική Δεικτών

Μπορούμε να προσθέσουμε μια ακέραια τιμή σε ένα δείκτη, π.χ. το `ptr=ptr+1` ή `ptr++` κάνει το δείκτη να δείξει το επόμενο στοιχείο του πίνακα table (δηλ. στον επόμενο int)




```
for(ptr=table; ptr!=table+6; ptr++)
  printf("%4d", *ptr);
```

Μπορούμε να αφαιρέσουμε ή να συγκρίνουμε δείκτες, π.χ.

```
int *P1, *P2;
P1 = &table[5]; P2 = &table[0];
```

- Το `P1-P2` αναπαριστά τη διαφορά θέσεων μεταξύ στοιχείων του πίνακα (5 θέσεις)
- Το `P1 == P2` (ή `P1 != P2`) εκφράζει αν οι `P1` και `P2` (δεν) δείχνουν την ίδια θέση μνήμης

Προσοχή: η αριθμητική δεικτών δεν εφαρμόζεται σε μεταβλητές πίνακα

ΤΔ δείκτη (6.3)

Συμβολοσειρές και Δείκτες

magic

```
#include <stdio.h>

void main(void)
{ const char nul = 0;
  char *magic = "abracadabra";
  char *ptr;

  for (ptr = magic; *ptr != nul; ptr++)
    printf("%c", *ptr);
}
```

ΤΔ δείκτη (7)

***** για αποαναφοροποίηση και ορισμό μεταβλητών δείκτη

& διεύθυνση μνήμης

```
int *ptr;
int count, init, index;
…
ptr = &init;
count = *ptr;
ptr = ptr + index;
```

(το index κλιμακώνεται ανάλογα με τα κελιά μνήμης στα οποία δείχνει το ptr)

```
ptr = 0
```

(δηλαδή ptr γίνεται ίσο με nil)

ΤΔ δείκτη (8)

Γενικά οι δείκτες δείχνουν σε αντικείμενα της heap memory. Στη C μπορεί να δείχνει ο δείκτης και σε αντικείμενα της stack μνήμης. Στην Pascal όχι.

ΠΙΝΑΚΕΣ ΜΕ ΔΕΙΚΤΕΣ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ???

ΠΙΝΑΚΕΣ ΜΕ ΔΕΙΚΤΕΣ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ (1)

```
#include <stdio.h>
void add(int a, int b)
{
   printf("Addition is %d\n", a+b);
}
void subtract(int a, int b)
{
   printf("Subtraction is %d\n", a-b);
}
void multiply(int a, int b)
{
   printf("Multiplication is %d\n", a*b);
}
```

ΠΙΝΑΚΕΣ ΜΕ ΔΕΙΚΤΕΣ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ (2)

```
int main()
{
    // fun_ptr_arr is an array of function pointers
    void (*fun_ptr_arr[])(int, int) = {add, subtract, multiply};
    unsigned int ch, a = 15, b = 10;
    printf("Enter Choice: 0 for add, 1 for subtract and 2 for multiply\n");
    scanf("%d", &ch);
    if (ch > 2) return 0;
    (*fun_ptr_arr[ch])(a, b);
    return 0;
}
```

```
Enter Choice: 0 for add, 1 for subtract and 2 for multiply
2
Multiplication is 150
```

ΤΔ δείκτη (9)

- Δημιουργία αντικειμένου από τη heap memory:
  - C : int *x;
x = malloc(sizeof(int))
  - C++ : int *x;
x = new int;
  - Pascal : var ^x: integer;
new (x)
- Καταστροφή αντικειμένου από τη heap memory:
  - C : free(x)
  - C++ : delete x
  - Pascal : dispose(x)

ΤΔ δείκτη (9.1)

Ας συζητήσουμε τι συμβαίνει στον κώδικα που ακολουθεί:

Δήλωση δείκτη P χωρίς Αρχικοποίηση

```
int *P;
```

Ο P «δείχνει» σε περιοχή μνήμης μεγέθους 1 ακεραίου που παραχωρήθηκε δυναμικά


```
P =(int *)malloc(sizeof(int));
```

Στην περιοχή μνήμης που «δείχνει» ο P αποθηκεύεται η τιμή 10

```
*P = 10;
```

Απελευθερώνεται η περιοχή μνήμης όπου «δείχνει» ο P

```
free(P);
```

ΤΔ δείκτη (9.2)

Δυναμική δημιουργία πίνακα μέσω δείκτη

```
int *p;
```

Ορίζουμε δείκτη προς τον επιθυμητό τύπο στοιχείων

Παραχωρούμε στο δείκτη την απαιτούμενη ποσότητα μνήμης (ανάλογα με τον αριθμό των στοιχείων που επιθυμούμε)

```
p = (int *) malloc(100 * sizeof(int));

if (p == NULL)
   ...
```

Ελέγχουμε αν δεν ήταν δυνατή η παραχώρηση της μνήμης

```
for (i = 0; i < 100; i++)
   p[i] = ...
```

Προσπελάζουμε τα στοιχεία του πίνακα

```
free(p);
```

Απελευθερώνουμε την παραχωρηθείσα μνήμη, όταν δε χρειαζόμαστε πλέον τον πίνακα

ΤΔ δείκτη (10)

ΤΔ Αναφοράς (Reference Type)

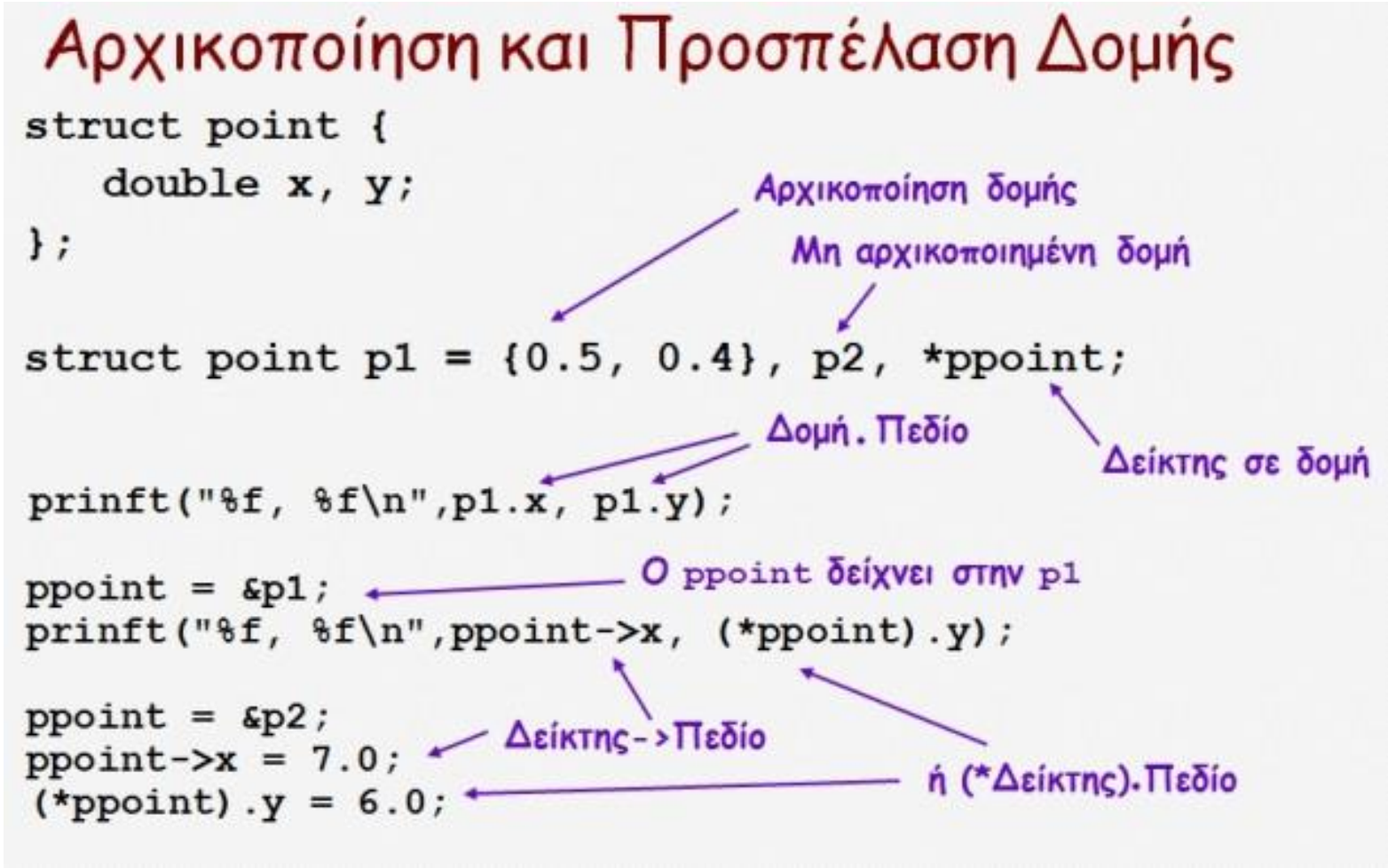
- Είναι ουσιαστικά ένα ψευδώνυμο μιας υπάρχουσας μεταβλητής. Χρήση κυρίως ως παράμετροι συναρτήσεων.
- Διαφορές με pointers:
  - Οι αναφορές δεν έχουν ως τιμή διεύθυνση/εις μνήμης.
  - Οι αναφορές δεν μπορούν να δείχνουν σε nill.
  - Μια αναφορά πρέπει να αρχικοποιηθεί με την δήλωσή της, και δεν μπορεί να αλλάξει η αναφορά σε άλλο αντικείμενο.

Π.χ. στη C++ :

```
int result = 0;
int &ref_result = result;
…
ref_result = 100;
```

Τα result και ref_result είναι ψευδώνυμα…

ΤΔ δείκτη σε structs (11)



ΤΔ δείκτη σε string πεδίο δομής(12)

Πίνακες Δομών

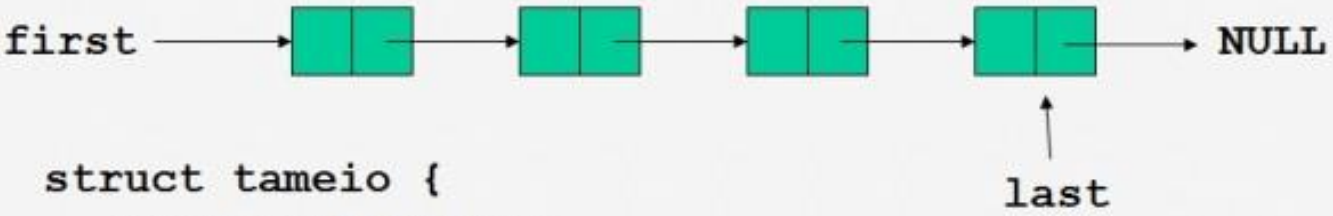
```
struct key {
        char *word;
        int count;
} keytab[] = {
        {"break", 0},
        {"case", 0},
        {"char", 0},
        {"const", 0},
        {"continue", 0},
        {"default", 0},
        {"unsigned", 0},
        {"void", 0},
        {"while", 0}
  };
```

Πίνακας δομών με δεσμευμένες λέξεις της C και το πλήθος εμφάνισής τους. Το μέγεθος του πίνακα keytab προκύπτει από το πλήθος των στοιχείων αρχικοποίησης (keytab[9])

ΤΔ δείκτη σε πεδίο αυτοαναφορικής δομής (13)

Δυναμικές (συνδεδεμένες) Δομές

- Πρόκειται για δομές που περιέχουν δείκτες προς άλλες δομές
- Μας επιτρέπουν να χειριστούμε δεδομένα όταν μας είναι άγνωστο το πλήθος τους (με δυναμική παραχώρηση μνήμης)
- Π.χ. μπορούμε να αναπαραστήσουμε τους πελάτες σε ένα ταμείο με μια συνδεδεμένη λίστα, στην οποία να προσθέτουμε (αφαιρούμε) κόμβους, καθώς προστίθενται (αποχωρούν) πελάτες



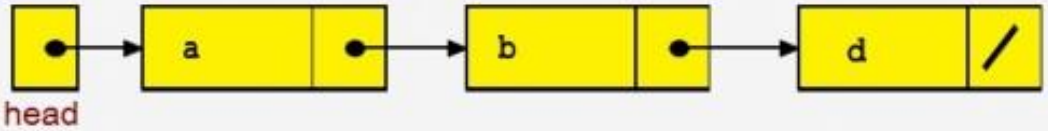

```
struct tameio {
   char pelatis[20];
   struct tameio *next;
};

struct tameio *first, *last;
```

ΤΔ δείκτη σε πεδίο αυτοαναφορικής δομής (13.1)

Συνδεδεμένες Λίστες

Ακολουθίες κόμβων όπου κάθε κόμβος έχει δείκτη προς τον επόμενο




```
typedef struct node *NODEPOINTER;

typedef struct node {
        char data;
        NODEPOINTER next;
} NODE;
```

ή

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

typedef NODE *NODEPOINTER;
```

Δείκτης σε κόμβο:

```
NODEPOINTER head;
```

Προσπέλαση στοιχείου κόμβου:

```
head -> data  ή  (*head).data
```

ΤΔ δείκτη σε πεδίο αυτοαναφορικής δομής (13.2)

Συνδεδεμένες Λίστες (συνέχεια)

Αρχικοποίηση λίστας:

```
head = NULL;
```

Εισαγωγή στην αρχή:

```
NODEPOINTER insert(NODEPOINTER h, char l)  {
   NODEPOINTER temp;

   temp = (NODEPOINTER) malloc(sizeof(NODE));
   if (temp == NULL) {
      fprintf(stderr,"ERROR OF MEMORY ALLOCATION\n");
      exit(1);
   }
   temp ->data = l;
   temp ->next = h;
   return(temp);
}
```

Κλήση insert:

```
head = insert(head, 'a');
```

```
STACK example
/*Linked-List Implementation*/
head = NULL;
head = insert(head, 'd');
head = insert(head, 'b');
head = insert(head, 'a');

/*Το head είναι ο δείκτης top
που δείχνει το κορυφαίο
στοιχείο που θα γίνει pop. Εδώ
το insert είναι το push */
```

ΤΔ δείκτη σε πεδίο αυτοαναφορικής δομής (13.3)

Συνδεδεμένες Λίστες (συνέχεια)

Διάσχιση και εμφάνιση:

```
void display(NODEPOINTER h)
{
    while (h != NULL) {
        printf("LETTER: %c\n", h->data);
        h = h->next;
    }
}
```

Εφαρμογές ΤΔ δείκτη σε πεδία αυτοαναφορικής δομής (13.4)

Μερικές άλλες Δυναμικές Δομές

- Στοίβες: LIFO (last-in-first-out)
- Ουρές: FIFO (first-in-first-out)
- Διπλά συνδεδεμένες λίστες
- Δυαδικά Δέντρα
- Γράφοι

Ισοδυναμία ΤΔ (1)

- Ο Έλεγχος Τύπου (στατικός ή δυναμικός) εμπεριέχει σύγκριση μεταξύ του ΤΔ του πραγματικού ορίσματος που δίνεται σε μια operation, με τον ΤΔ που αναμένεται στην operation.
- Αν είναι ισοδύναμοι, γίνεται αποδεκτό το όρισμα και προχωράει η operation.
- Αν δεν είναι, τότε είτε error, ή γίνεται μετατροπή του ΤΔ του πραγματικού ορίσματος, ώστε να είναι συμβατό με αυτό που αναμένεται (*Συμβατότητα*)
- **Ισοδύναμοι ΤΔ**: *Αν ένας τελεστέος του ενός ΤΔ μπορεί να υποκατασταθεί από τελεστέο του άλλου ΤΔ, χωρίς Μετατροπή ΤΔ.*

Ισοδυναμία ΤΔ (2)

- Το πρόβλημα της αναγνώρισης της ισοδυναμίας ΤΔ, οφείλεται στη δυνατότητα να ορίζει νέους (σύνθετους) ΤΔ ο χρήστης. Στους απλούς ΤΔ συνήθως δεν υπάρχει πρόβλημα.
- Παράδειγμα (γλώσσα τύπου Pascal):

```
type V1: array[1..10] of real;
       V2: array{1..10] of real;
var X, Z: V1;
         Y: V2;
procedure Sub(A: V1);
end;
BEGIN
          X:= Y;
          Sub(Y);
END.
```

Ερωτήματα:

- X, Y, Z, A έχουν ίδιο ΤΔ;
- Επιτρέπεται το X:= Y;
- Επιτρέπεται το Sub(Y);

Ισοδυναμία ΤΔ (3)

Δύο λύσεις στο πρόβλημα:

- **Α. Ισοδυναμία Ονομάτων** (name equivalence)

  Δύο ΤΔ είναι ισοδύναμοι μόνο αν έχουν το ίδιο όνομα. Δηλαδή στο παράδειγμα:

  V1 ≠ V2 και X:= Z σωστό, X:= Y, Sub(Y) λάθος

  Δημοφιλής λύση: Java, C και C++ για struct, enum, union, Ada

- **Β. Ισοδυναμία δομών** (structural equivalence)

  Δύο ΤΔ είναι ισοδύναμοι αν ορίζουν μεταβλητές με ίδια συστατικά και δομή. Δηλαδή στο παράδειγμα:

  V1 = V2 και X:= Z , X:= Y, Sub(Y) σωστά

  C, C++ για υπόλοιπα, Algol-68, FORTRAN, COBOL

Pascal : Συνδυασμός των 2 (Ισοδυναμία Δήλωσης)

Ισοδυναμία ΤΔ (4)

Η Ada έχει επίσης δύο ειδικές μορφές ΤΔ:

- **Παράγωγος** (Derived) ΤΔ:

```
type Celsius is new Float;
type Fahrenheit is new Float;
```

  Celsius και Fahrenheit δεν είναι ισοδύναμοι ΤΔ. Ουσιαστικά εφαρμόζεται *Ισοδυναμία Ονομάτων*.

- **Υποτύπος** (Subtype) ΤΔ:

```
subtype Small_Int is Integer range 0..99;
```

  Ο ΤΔ Small_Int είναι ισοδύναμος με τον Integer. Ουσιαστικά εφαρμόζεται *Ισοδυναμία Δομών*.

  - type D **is new** Integer range 1..100;
  - subtype S **is** Integer range 1..100;

  Τα D και S δεν είναι ισοδύναμοι ΤΔ αν και ίδιας δομής. Το S είναι ισοδύναμος ΤΔ με το Integer και κάθε υποτύπο του. Το D όχι.

Συμβατότητα ΤΔ

- **Μετατροπή ΤΔ**

  Διαδικασία στην οποία μια τιμή ενός ΤΔ, μετατρέπεται σε τιμή άλλου ΤΔ.

  Κατηγορίες Μετατροπών:

  - *Διεύρυνση* (widening). Π.χ. από int σε float
  - *Περιορισμός* (narrowing). Π.χ. από float σε int (truncation)

  Δύο Τρόποι:

  - *Implicit* (στη C όλα επιτρεπτά, στην Pascal μόνο διεύρυνση INT σε REAL)
  - *Explicit* (στην Pascal : i:= trunc(r), i:= round(r))

Εξαγωγή ΤΔ (type inference)

```
type Atype = 0..20;
     Btype = 10..20;
var  a : Atype;
     b : Btype;
```

Ποιος είναι ο ΤΔ του a + b ;

Συνήθης απάντηση: Ο αρχικός βασικός ΤΔ του subrange ΤΔ, δηλαδή integer