ΕΠΛ232 – Προγραμματιστικές Τεχνικές και Εργαλεία

Χαμηλού Επιπέδου Προγραμματισμός II (Κεφάλαια 20.2, KNK-2ED)

Τμήμα Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Κύπρου

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

Dr. Andreas Aristidou a.aristidou@ieee.org

Περιεχόμενο Διάλεξης

- **Εισαγωγή**
- **Δυαδικοί Τελεστές** (Bitwise Operators)
  - Τελεστές Ολίσθησης (Shift): >>, <<
  - Τελεστές Συμπλήρωμα (~), AND (&), OR (|), XOR (^)
  - Χρήση Τελεστών για πρόσβαση σε bit
    - Ανάθεση, Διαγραφή και Δοκιμή Bit
  - Ονόματα σε Μάσκες
  - Παράδειγμα Κρυπτογράφησης XOR
- Δομές με Δυφία (Struct with bit-fields)
- Θέματα Ευθυγράμμισης Μνήμης με Δομές Διφυιών

Διάλεξη #18

Dr. Andreas Aristidou a.aristidou@ieee.org

Χρήση των τελεστών bitwise για την πρόσβαση σε δυαδικά πεδία

- Η επεξεργασία μιας ομάδας από διαδοχικά bits (***ένα πεδίο από bits***) είναι πιο περίπλοκη από την επεξεργασία μονών bits.
- Κοινές λειτουργίες σε πεδίο bit:
  - Τροποποίηση ενός πεδίου bit
  - Ανάκτηση ενός πεδίου bit

Dr. Andreas Aristidou a.aristidou@ieee.org

Τροποποίηση ενός δυαδικού πεδίου

- Η τροποποίηση ενός πεδίου bit απαιτεί δύο λειτουργίες:
  - Το bitwise ***and*** (για να καθαρίσετε το πεδίο bit)
  - Το bitwise ***or*** (για την αποθήκευση νέων bits στο πεδίο bit)
- Παράδειγμα:

```
i = i & ~0x0070 | 0x0050;
  /* αποθηκεύει 101 στα bits 4-6 */
```

- Ο τελεστής `&` καθαρίζει τα bits 4–6 του `i`; ο τελεστής `|` θέτει τα bits 6 και 4.

Dr. Andreas Aristidou a.aristidou@ieee.org

Τροποποίηση ενός δυαδικού πεδίου

- Για να γενικεύσουμε το παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι το `j` περιέχει την τιμή που πρέπει να αποθηκευτεί στα bits 4 – 6 του `i`.
- Το `j` θα πρέπει να μετατοπιστεί σε θέση πριν από το bitwise :

```
i = (i & ~0x0070) | (j << 4);
  /* αποθηκεύει το j στα bits 4-6 */
```

- Δεδομένου πως ο τελεστής `|` έχει χαμηλότερη προτεραιότητα από τους `&` και `<<`, οι παρενθέσεις μπορούν να αποσυρθούν:

```
i = i & ~0x0070 | j << 4;
```


Dr. Andreas Aristidou a.aristidou@ieee.org

Ανάκτηση ενός δυαδικού πεδίου

- Η λήψη ενός πεδίου bit στο δεξιό άκρο ενός αριθμού (στα λιγότερο σημαντικά bit) είναι εύκολη:

```
j = i & 0x0007;
  /* ανακτά τα bits 0-2 */
```

- Αν το πεδίο bit δεν είναι στο δεξιό άκρο του `i`, μπορούμε πρώτα να μετατοπίσουμε το πεδίο bit στο τέλος πριν από την ανάκτηση και λήψη του πεδίου με τον τελεστή `&`:

```
j = (i >> 4) & 0x0007;
  /* ανακτά τα bits 4-6 */
```

Dr. Andreas Aristidou a.aristidou@ieee.org

Παράδειγμα (Κρυπτογράφηση XOR)

- Ο Αλγόριθμος **Συμμετρικής Κρυπτογράφησης XOR** (από και προς με το ίδιο ή παρόμοιο κλειδί) είναι η απλούστερη μέθοδος για κωδικοποίηση ενός κειμένου
  - Στηρίζεται στην ακόλουθη λογική:

Κρυπτογράφηση

```
 01111010 (ASCII #122 'z') => Χαρακτήρας
 00100110 (ASCII #38 '&')  => Κλειδί (Shared Key)
^--------
 01011100 (ASCII #92 '\')  => Κρυπτογραφημένος Χαρακτήρας
```

Αποκρυπτογράφηση

```
 01011100 (ASCII #92 '\')  => Κρυπτογραφημένος Χαρακτήρας
 00100110 (ASCII #38 '&')  => Κλειδί (Shared Key)
^--------
 01111010 (ASCII #122 'z') => Αρχικός Χαρακτήρας
```

Dr. Andreas Aristidou a.aristidou@ieee.org

Παράδειγμα (Κρυπτογράφηση XOR)

- Έστω ένα δείγμα αρχείου με όνομα `msg`:

```
Trust not him with your secrets, who, when left
alone in your room, turns over your papers.
            --Johann Kaspar Lavater (1741-1801)
```

- Μια εντολή που κρυπτογραφεί το `msg`, και αποθηκεύει το κρυπτογραφημένο μήνυμα στο `newmsg`:

```
xor <msg >newmsg
```

- Το νέο περιεχόμενο του `newmsg`:

```
rTSUR HIR NOK QORN _IST UCETCRU, QNI, QNCH JC@R
GJIHC OH _IST TIIK, RSTHU IPCT _IST VGVCTU.
            --lINGHH mGUVGT jGPGRCT (1741-1801)
```

Dr. Andreas Aristidou a.aristidou@ieee.org

Παράδειγμα (Κρυπτογράφηση XOR)

- Το πρόγραμμα `xor.c` που ακολουθεί δεν αλλάζει όλους τους χαρακτήρες.
- Αν χρησιμοποιήσουμε το XOR σε αυτούς τους χαρακτήρες με κλειδί το `&` θα παρήγαγε αόρατους χαρακτήρες ελέγχου, οι οποίοι θα μπορούσαν να προκαλέσουν προβλήματα σε ορισμένα λειτουργικά συστήματα.
- Οπότε το πρόγραμμα ελέγχει αν ο αρχικός χαρακτήρας και ο νέος (κρυπτογραφημένος) χαρακτήρας εκτυπώνονται με χαρακτήρες.
- Εάν όχι, το πρόγραμμα θα γράψει τον αρχικό χαρακτήρα αντί για το νέο χαρακτήρα.

Παράδειγμα (Κρυπτογράφηση XOR)

```
/* Performs XOR encryption */

#include <ctype.h>
#include <stdio.h>

#define KEY '&'

int main(void)
{
  int orig_char, new_char;

  while ((orig_char = getchar()) != EOF) {
    new_char = orig_char ^ KEY;
    if (isprint(orig_char) && isprint(new_char))
      putchar(new_char);
    else
      putchar(orig_char);
  }

  return 0;
}
```

Παράδειγμα 2 (Κρυπτογράφηση XOR)

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define KEY '&'
int main(int argc, char *argv[])
{
    FILE *input_fp, *output_fp;
    int ch;

    if (argc != 3) {
        fprintf(stderr, "usage: xor input output\n");
        exit(EXIT_FAILURE);
    }
    if ((input_fp = fopen(argv[1], "rb")) == NULL) {
        fprintf(stderr, "Can't open %s\n", argv[1]);
        exit(EXIT_FAILURE);
    }
// Continued…
```

"r", and "w" to portably read/write text files on any system. That guarantees that the files are written and read properly.

"rb" and "wb“ to read/write a binary file, so that an unfortunate newline-translation doesn't mess your data.

Dr. Andreas Aristidou a.aristidou@ieee.org

Παράδειγμα 2 (Κρυπτογράφηση XOR)

```
// …

    if ((output_fp = fopen(argv[2], "wb")) == NULL) {
        fprintf(stderr, "Can't open %s\n", argv[2]);
        fclose(input_fp);
        exit(EXIT_FAILURE);
    }

    while ((ch = getc(input_fp)) != EOF)
        putc(ch ^ KEY, output_fp);

    fclose(input_fp);
    fclose(output_fp);
    return 0;
}
```

putc - writes a character (an unsigned char) specified by the argument char to the specified stream and advances the position indicator for the stream.

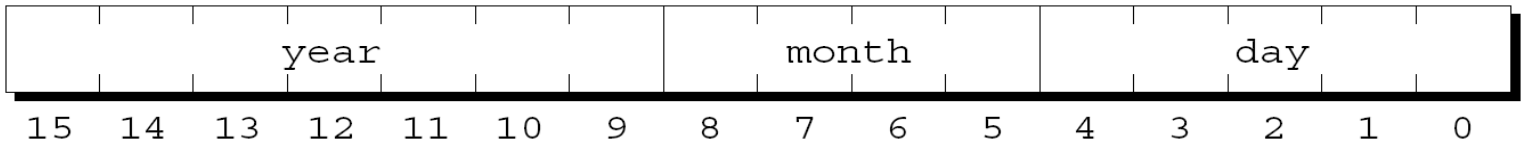
Dr. Andreas Aristidou a.aristidou@ieee.org

Δυαδικά Πεδία σε Δομές

- Μέχρι στιγμής υποθέσαμε ότι όλες οι **προσβάσεις σε bits** γίνονταν σε κάποιο **μη-προσημασμένο ακέραιο** (unsigned int).
- Κάτι τέτοιο μπορεί να δυσχεραίνει την **αναγνωσιμότητα** του προγράμματος μας ακόμη και να κάναμε τα ακόλουθα:
  - **Τεκμηρίωση** δυαδικής λογικής με σχόλια.
  - **Ονομασία των bit flags** (π.χ., BLUE, RED, …)
- Τώρα θα δούμε ένα πρακτικό μηχανισμό για **διαχείριση bits** σε **προγράμματα**.
  - Ειδικότερα θα δηλώσουμε δομές των οποίων τα πεδία θα είναι **bit** ακολουθίες αντί **byte** ακολουθίες.

Δυαδικά Πεδία σε Δομές

- **Παράδειγμα:** Πως αποθηκεύει το DOS την ημερομηνία κατά την οποία δημιουργήθηκε/ άλλαξε για τελευταία φορά ένα αρχείο.
  - Εφόσον οι **ημέρες**, **μήνες** και τα **έτη** λαμβάνουν μικρές τιμές, αποθηκεύοντας τα ως ακέραιους θα **σπαταλούσε** πολύ χώρο (σε μια εποχή που αυτός ο χώρος δεν υπήρχε 1980: MSDOS / FAT12 / 8MB!!!) ☹.
  - Αντί αυτού, το DOS δεσμεύει μόνο 16 bits για μια ημερομηνία, **5 bits** για την μέρα (μέχρι **32 μέρες**), **4 bits** για **τον μήνα** (μέχρι **16 μήνες**), και 7 bits για τον χρόνο (μέχρι 128 χρόνια):



Δυαδικά Πεδία σε Δομές

- **Δήλωση** μελών μιας δομής:

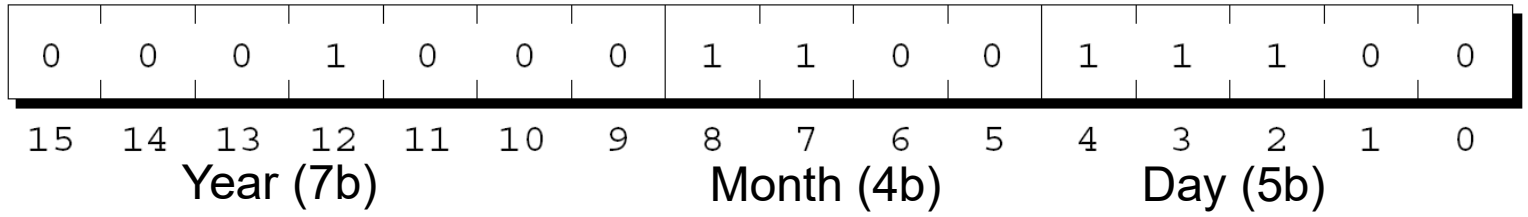
```
typedef struct {
  unsigned int day: 5;    // 5 bits
  unsigned int month: 4;  // 4 bits
  unsigned int year: 7;   // 7 bits
} FILE_DATE;
```

- **Χρήση** μέλους μιας δομής:

```
struct file_date fd;

fd.day = 28;
fd.month = 12;
fd.year = 8; /* 1988 (μέγιστο: 1980 + 127 χρόνια = 2107) */
```

- Αναπαράσταση της δομής `fd` μετά την ανάθεση:



Δυαδικά Πεδία σε Δομές

```
#include <stdio.h> // printf
#define SYEAR 1980
typedef struct {
  unsigned int day: 5;     // 5 bits
  unsigned int month: 4;   // 4 bits
  unsigned int year: 7;    // 7 bits
} FILE_DATE;

int main(void) {
    FILE_DATE fd;
    // α) 1988 (max year: 1980+127 = 2107)
    fd.day = 28;    fd.month = 12;    fd.year = 8;
    printf("Date: %d/%d/%d\n", (int) fd.day, (int)fd.month,
  ((int)fd.year)+SYEAR);
    printf("Size: %ld\n", sizeof(FILE_DATE));
    return 0;
}
```

α) Δήλωση bit πεδίων

Επιστρέφει

```
Date: 28/12/1988
Size: 4
```

ε) Γιατί όχι SIZE=2; Θα εξηγηθεί σε λίγο

β) Τέχνασμα για μείωση χώρου!

γ) Μετατροπή Τύπου για εκτύπωση

δ) Απαραίτητο για LP64 μοντέλο

Dr. Andreas Aristidou a.aristidou@ieee.org

Δυαδικά Πεδία σε Δομές

- Σημειώστε ότι ο γνωστός **τελεστής διεύθυνσης (&)** ΔΕΝ μπορεί να εφαρμοστεί πάνω σε ένα πεδίο bit.
  - Αυτό, εφόσον τα δεδομένα στην μνήμη έχουν **διευθύνσεις σε bytes** για λόγους επίδοσης
    - εναλλακτικά ο pointer θα έπρεπε να είναι ακόμη μεγαλύτερος από 4 και 8 bytes!
- Συνεπώς, συναρτήσεις όπως το `scanf` δεν μπορούν να αποθηκεύουν **απευθείας** ένα πεδίο bit:

```
scanf("%d", &fd.day);          /*** ΛΑΘΟΣ ***/
```

- Αλλά, μπορούμε να το κάνουμε έμμεσα…

```
int day;                       /*** ΟΡΘΟ ***/
scanf("%d", &day);
fd.day = (unsigned int) day;
```

Dr. Andreas Aristidou a.aristidou@ieee.org

Δυαδικά Πεδία σε Δομές

- Η αναφορά σε bits γίνεται πλέον με **εύληπτο τρόπο**.
  - **`fd.day`** παρά `(data & 0xF800) // 0xF800=11111000 00000000`
- Ο τύπος ενός bit-field πρέπει να είναι τύπου:

  `unsigned int` `(π.χ., short/long/long long κτλ.)`
- Στην C99, bit-fields μπορεί επίσης να έχουν τύπο `_Bool` (το οποίο είναι ουσιαστικά και πάλι ένας `unsigned int`)
- Σημειώστε ότι η δομή καταλαμβάνει, "κανονικά", **16 bits** δηλαδή **2 bytes**, ενώ στο παράδειγμα επέστρεψε η `sizeof(fd)` μέγεθος 4 bytes.
  - Αυτό οφείλεται σε λόγους **ευθυγράμμισης δεδομένων στη μνήμη (memory alignment),** το οποίο είχαμε δει και όταν συζητήσαμε τα struct της C.

Δυαδικά Πεδία σε Δομές

- Ερχόμενοι πίσω στο παράδειγμα των bit δομών, παρατηρούμε ότι **έχουμε** το θέμα της **ευθυγράμμισης το** οποίο είχαμε δει στη **διάλεξη 8 (structs),** δηλ.,:

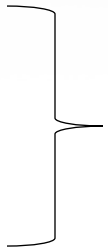
```
typedef struct {
  unsigned int day: 5;     // 5 bits
  unsigned int month: 4;   // 4 bits
  unsigned int year: 7;    // 7 bits
} FILE_DATE;
```

- Συνεπώς, `sizeof(FILE_DATE)` επιστρέφει **4 byte** (θεωρώντας ότι η μνήμη έχει 4-byte ευθυγράμμιση): δηλ., 16 bit ωφέλιμα και 16 bit padding)
- Τι θα γίνει εάν προσθέσουμε το **`__attribute__ ((__packed__))`** όρισμα;

Dr. Andreas Aristidou a.aristidou@ieee.org

Δυαδικά Πεδία σε Δομές και Ευθυγράμμιση Μνήμης

```
typedef struct {
  unsigned int day: 5;     // 5 bits
  unsigned int month: 4;   // 4 bits
  unsigned int year: 7;    // 7 bits
} __attribute__ ((__packed__)) FILE_DATE;
```



16 bits

- Τώρα, `sizeof(FILE_DATE)` επιστρέφει **2 Bytes**, επειδή η μνήμη στο παράδειγμα μας δεν χρησιμοποιεί padding (δηλ., 16 bit ωφέλιμα και 0 bit padding)
- Τι θα γινόταν εάν κάποιο από τα πεδία ήταν 1 bit μεγαλύτερο (δηλ., το struct να χρειαζόταν 17 bits;)
  - Τότε θα `sizeof(FILE_DATE)` επιστρέφει **3 byte**.
  - Μην ξεχνάτε ότι η μνήμη έχει διευθύνσεις σε bytes και όχι bits!

Δυαδικά Πεδία σε Δομές και Ευθυγράμμιση Μνήμης

- Ο μεταγλωττιστής λοιπόν, **πακετάρει (packs)** τα πεδία bits ένα-ένα σε μια μονάδα αποθήκευσης (storage unit), **χωρίς κενά μεταξύ των πεδίων**
  - π.χ., packing `fd.day` (5 bit) σε storage_unit (16 bit), δηλ., 0000 0000 0001 1111 ή 1111 1000 0000 0000
  - Η **διάταξη** των bits μέσα στο **storage_unit** (αριστερά-προς-δεξιά ή δεξιά-προς-αριστερά) ορίζεται από την υλοποίηση (**implementation-defined**) αλλά δεν μας απασχολεί προς το παρόν (υποθέστε ότι είναι από αριστερά)
- Για την αναπαράσταση του επόμενου πεδίου οι μεταγλωττιστές κάνουν ένα από τα ακόλουθα:
  - **A. Μετακινούνται** στην **αρχή** του επόμενου storage unit, ή
  - **B. Επεκτείνουν** το πεδίο bit **μεταξύ** των storage units εάν απαιτείται

Αποθήκευση Δομών από Bits (Συνοδευτικά Ορίσματα)

- Το όνομα ενός bit-field μπορεί να παραλειφθεί.
  - Π.χ., μια δομή όπου παραλείπεται το seconds:

```
struct file_time {
  unsigned int : 5;       /* not used */
  unsigned int minutes: 6;
  unsigned int hours: 5;
};
```

- Κάτι τέτοιο συνεχίζει να **δεσμεύει τον εν λόγω** χώρο στη **δομή** (απλά **δεν έχει όνομα**!)
- Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις που **είναι undefined κάποια πεδία** αλλά υπάρχουν (π.χ., σε ένα file format που δεν θέλουμε να επεξεργαστούμε τα νωρίτερα bytes).
- Τα ανώνυμα δυαδικά πεδία χρησιμοποιούνται ως «padding» για να εξασφαλιστεί ότι τα υπόλοιπα πεδία είναι σωστά τοποθετημένα.

Αποθήκευση Δομών από Bits (Συνοδευτικά Ορίσματα)

- Το μήκος ενός μη-δηλωμένου bit-field μπορεί να είναι 0:

```
typedef struct  {
  unsigned int a: 4;
  unsigned int : 0;     /* 0-length bit-field */
  unsigned int b: 8;
} TEST;
```

- Ένα **μήκους-0** bit-field δηλώνει του μεταγλωττιστή να **ευθυγραμμίσει ρητά** το επόμενο bit-field στην αρχή ενός νέου block μνήμης.

- Δηλαδή, **`sizeof(TEST)`** επιστρέφει **8 Bytes** (θεωρώντας ότι η μνήμη έχει 4-byte ευθυγράμμιση)
- δηλ., 4 bit (ωφέλιμα) + 28 bit (padding) + 8 bit (ωφέλιμα)+24bit(padding)

4 Bytes (1^{st} 32bit Storage Unit)

4 Bytes (2^{nd} 32bit Storage Unit)

Dr. Andreas Aristidou a.aristidou@ieee.org

Αποθήκευση Δομών από Bits (Συνοδευτικά Ορίσματα)

- Μη-δηλωμένο μηδενικό bit-field με attr..packed:

```
typedef struct  {
  unsigned int a: 4;
  unsigned int : 0;     /* 0-length bit-field */
  unsigned int b: 8;
} __attribute__ ((__packed__)) TEST;
```

- Τώρα, **`sizeof(TEST)`** επιστρέφει **5 bytes** (θεωρώντας ότι η μνήμη έχει 4-byte ευθυγράμμιση)
- δηλ., 4 bit (ωφέλιμα) + 28 bit (padding) + 8 bit (ωφέλιμα)+NO extra padding!

4 Bytes | 1 Byte

Dr. Andreas Aristidou a.aristidou@ieee.org