Τμήμα Πληροφορικής
Πανεπιστήμιο Κύπρου

ΕΠΛ232 – Προγραμματιστικές Τεχνικές και Εργαλεία

Διάλεξη 19: Χαμηλού Επιπέδου Προγραμματισμός II

(Κεφάλαια 25.2, KNK-2ED)

Δημήτρης Ζεϊναλιπούρ

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

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 #21

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
```

Παράδειγμα (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…
```

Παράδειγμα (Κρυπτογράφηση XOR)

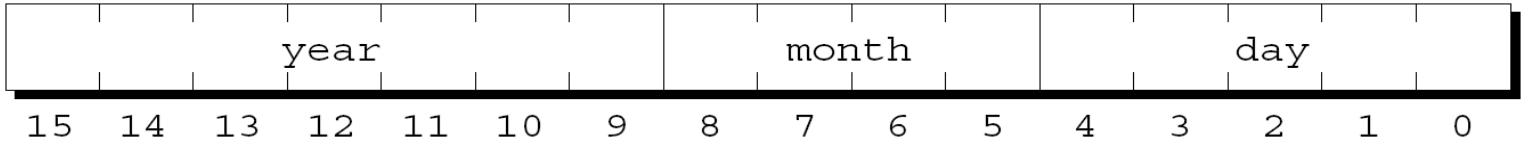
```
// …

    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;
}
```

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

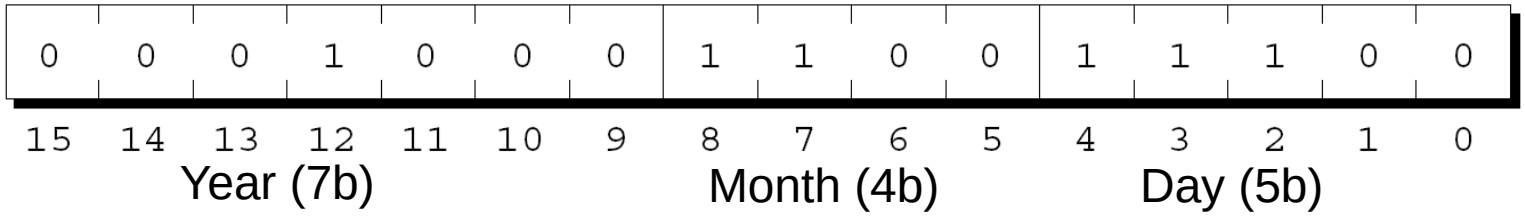
- **Δήλωση** μελών μιας δομής:

```
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) */
```

- 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 = 2017)
    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

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;
```

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;

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 byte**, 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!

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).

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 byte** (θεωρώντας ότι η μνήμη έχει 4-byte ευθυγράμμιση)
- δηλ., 4 bit (ωφέλιμα) + 28 bit (padding) + 8 bit (ωφέλιμα)+16bit(padding)

4 Bytes (1st 32bit Storage Unit) | 4 Bytes (2nd 32bit Storage Unit)

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 byte** (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