Binární soubory

Jan Faigl

Katedra počítačů
Fakulta elektrotechnická
České vysoké učení technické v Praze

Přednáška 13

B0B36PRP – Procedurální programování

Přehled témat

- Část 1 – Binární soubory

  Práce se soubory (standardní knihovna C)

  Blokové čtení a zápis

  Kódovací příklad – Načítání a ukládání složeného typu `struct`

- Část 2 – Příklady binárních souborů (obrázky)

  Obrázky

  Knihovna SDL

  Načtení obrázku RGB

  Uložení obrázku ve formátu JPEG

  Načtení obrázku (dat) RGBA

Část I

Část 1 – Binární soubory

Základní práce se soubory

- Knihovna `stdio.h` – `fopen()`, `fclose()`, `feof()`, `getc()`/`fgetc()`, `putc()`/`fputc()`, `fprintf()`, `fscanf()`, `fread()`, `fwrite()`.

  `fseek()`, `rewind()`
- Přístup k souboru je prostřednictvím ukazatele `FILE*`.
- Otevření souboru `FILE *fopen(char *filename, char *mode);`.

  Výchozí režim je textový – zápis/čtení `'\n'` dle OS.
  - `"r"` – režim čtení;

    `"r"` *– čtení textového souboru,* `"rb"` *– čtení binárního souboru*
  - `"w"` – režim zápisu;

    Vytvoří soubor, pokud neexistuje, jinak smaže obsah souboru
  - `"a"` – režim přidávání do souboru.

    Kurzor je nastaven na konec souboru.
- Binární soubory (*modifikátor* `"b"`).
- Soubory jsou čteny/zapisovány sekvenčně.
  - Se soubory se pracuje jako s proudem dat — postupné načítání/zápis.
  - *Aktuální „pozici“ v souboru si můžeme představit jako kurzor.*
  - *Při otevření souboru se kurzor nastavuje na začátek souboru.*

Příklad - Zápis textového souboru

- Tisk chyby otevření souboru funkcí `perror()`.
- Návratová hodnota volání `fprintf()`.
- Rozdíl mezi OS.

https://dev-cpp.com/Dev-Cpp-5/

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
   char *fname = argc > 1 ? argv[1] : "text.txt";
   FILE *f = fopen(fname, "w");
   if (!f) perror("fopen");
   int r = -100;
   f && (r = fprintf(f, "Line1\nLine2\n"));
   fprintf(stderr, "r: %d\n", r);
   f && fclose(f);
   return f ? EXIT_SUCCESS : EXIT_FAILURE;
}
```

lec13/create_txt.c

```
$ clang create_txt.c && ./a.out ; echo $?
r: 12
0
$ chmod a-w text.txt
$ ./a.out text.txt; echo $?
fopen: Permission denied
r: -100
1
$ wine ./create_txt.exe text-win.txt
r: 12
$ ls -ln text*.txt | tr -s ' ' | cut -d' ' -f5,9 -
14 text-win.txt
12 text.tx
$ xxd text.txt > text.hex
$ xxd text-win.txt text-win.hex
$ diff text.hex text-win.hex
1c1
< 00000000: 4c69 6e65 310a 4c69 6e65 320a
     Line1.Line2.
---
> 00000000: 4c69 6e65 310d 0a4c 696e 6532 0d0a
     Line1..Line2.
```

Příklad čtení ze souboru (textově a binárně)

- Čtení txt vs. bin souboru podle názvu spustitelného programu.
- Rozdíl mezi OS.

Testujeme výskyt `bin` *v názvu programu.*

https://www.winehq.org/

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
   _Bool bin = strstr(argv[0], "bin");
   char *fname = argc > 1 ? argv[1] : "text.txt";
   FILE *f = fopen(fname, bin ? "rb" : "r");
   if (!f) perror("fopen");
   size_t count = 0;
   int r;
   while (f && (r = getc(f)) != EOF) {
      if (r == '\r')
         fprintf(stderr, "DEBUG: carriage return character '\\r'\n");
      if (r == '\n')
         fprintf(stderr, "DEBUG: New line character '\\n'\n");
      count += 1;
   }
   fprintf(stderr, "INFO: No. of read characters %lu\n", count);
   f && fclose(f);
   return f ? EXIT_SUCCESS : EXIT_FAILURE;
}
```

lec13/read_file.c

```
./a.out text-win.txt
DEBUG: carriage return character '\r'
DEBUG: New line character '\n'
DEBUG: carriage return character '\r'
DEBUG: New line character '\n'
INFO: No. of read characters 14

$ wine read_file.exe
DEBUG: New line character '\n'
DEBUG: New line character '\n'
INFO: No. of read characters 12
$ wine read_file.exe text-win.txt
DEBUG: New line character '\n'
DEBUG: New line character '\n'
INFO: No. of read characters 12
$ cp read_file.exe read_file-bin.exe
$ wine read_file-bin.exe text-win.txt
DEBUG: carriage return character '\r'
DEBUG: New line character '\n'
DEBUG: carriage return character '\r'
DEBUG: New line character '\n'
INFO: No. of read characters 14
```

Příklad testu dosažení konce souboru 1/4

- Načení posloupnosti dvojice celý čísel, každá dvojice na samostatném řádku.

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main(int argc, char *argv[])
{
    char *fname = argc > 1 ? argv[1] : "values.txt";
    FILE *f = fopen(fname, "r");
    if (!f) perror("fopen");
    size_t count = 0;
    int a, b;
    int r = 0;
    while (f && (r = fscanf(f, "%d %d\n", &a, &b) == 2)) {
       count += 1;
    }
    fprintf(stderr, "INFO: No. of values pairs read: %lu\n",
     count);
    fprintf(stderr, "DEBUG: r value is %d\n", r);
    f && fclose(f);
    return f && r == EOF ? EXIT_SUCCESS : EXIT_FAILURE;
}
```

lec13/read_values.c

```
$ clang read_values.c -o read_values
$ cat values.txt
1 2
3 4
4 1
$ ./read_values values.txt
INFO: No. of values pairs read: 3
DEBUG: r value is 0
$ ./read_values values-noeol.txt
INFO: No. of values pairs read: 3
DEBUG: r value is 0
$ cat values-e1.txt
1 2
3 4
4
$ ./read_values values-e1.txt
INFO: No. of values pairs read: 2
DEBUG: r value is 0
$ cat values-e2.txt
1 2
4 a
4 1
$ ./read_values values-e2.txt
INFO: No. of values pairs read: 1
DEBUG: r value is 0
```

Příklad testu dosažení konce souboru 2/4

- Netestujeme návratovou hodnotu `fscanf()`.

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main(int argc, char *argv[])
{
    char *fname = argc > 1 ? argv[1] : "values.txt";
    FILE *f = fopen(fname, "r");
    if (!f) perror("fopen");
    size_t count = 0;
    int a, b;
    int r = 0;
    while (f && (r = fscanf(f, "%d %d\n", &a, &b))) {
        count += 1;
    }
    fprintf(stderr, "INFO: No. of values pairs read: %lu\n",
     count);
    fprintf(stderr, "DEBUG: r value is %d\n", r);
    f && fclose(f);
    return f && r == EOF ? EXIT_SUCCESS : EXIT_FAILURE;
}
```

lec13/read_values-f2.c

```
$ clang read_values-f1.c -o read_values-f1
$ ./read_values-f1 values.txt
^C % Program neskonci
$ ./read_values-f1 values-noeol.txt
^C % Program neskonci
$ ./read_values-f1 values-e1.txt
^C % Program neskonci
$ ./read_values-f1 values-e2.txt
INFO: No. of values pairs read: 2
DEBUG: r value is 0
```

Příklad testu dosažení konce souboru 3/4

- Přidáním dosažení konce souboru `feof()` nepostačuje.

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main(int argc, char *argv[])
{
    char *fname = argc > 1 ? argv[1] : "values.txt";
    FILE *f = fopen(fname, "r");
    if (!f) perror("fopen");
    size_t count = 0;
    int a, b;
    int r = 0;
    while (f && !feof(f) && (r = fscanf(f, "%d %d", &a, &b))) {
        count += 1;
    }
    fprintf(stderr, "INFO: No. of values pairs read: %lu\n",
     count);
    fprintf(stderr, "DEBUG: r value is %d\n", r);
    f && fclose(f);
    return f && r == EOF ? EXIT_SUCCESS : EXIT_FAILURE;
}
```

lec13/read_values-f2.c

```
$ clang read_values-f2.c -o read_values-f2
$ cat values.txt
1 2
3 4
4 1
$ ./read_values-f2 values.txt; echo $?
INFO: No. of values pairs read: 4
DEBUG: r value is -1
0
$ ./read_values-f2 values-noeol.txt; echo $?
INFO: No. of values pairs read: 3
DEBUG: r value is 2
1
$ ./read_values-f2 values-e1.txt; echo $?
INFO: No. of values pairs read: 3
DEBUG: r value is 1
1
$ ./read_values-f2 values-e2.txt; echo $?
INFO: No. of values pairs read: 2
DEBUG: r value is 0
1
```

Příklad testu dosažení konce souboru 4/4

- Dále ještě přidáme čtení konce řádku.

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    char *fname = argc > 1 ? argv[1] : "values.txt";
    FILE *f = fopen(fname, "r");
    if (!f) perror("fopen");
    size_t count = 0;
    int a, b;
    int r = 0;
    while (f && !feof(f) && (r = fscanf(f, "%d %d\n", &a, &b))) {
      count += 1;
    }
    fprintf(stderr, "INFO: No. of values pairs read: %lu\n", count);
    fprintf(stderr, "DEBUG: r value is %d\n", r);
    f && fclose(f);
    return f && r == EOF ? EXIT_SUCCESS : EXIT_FAILURE;
}
```

lec13/read_values-f3.c

```
$ clang read_values-f3.c -o read_values-f3
$ ./read_values-f3 values.txt; echo $?
INFO: No. of values pairs read: 3
DEBUG: r value is 2
1
./read_values-f3 values-noeol.txt; echo $?
INFO: No. of values pairs read: 3
DEBUG: r value is 2
1
./read_values-f3 values-e1.txt; echo $?
INFO: No. of values pairs read: 3
DEBUG: r value is 1
1
 ./read_values-f3 values-e2.txt; echo $?
INFO: No. of values pairs read: 2
DEBUG: r value is 0
1
```

Binární (blokové) čtení/zápis z/do souboru

- Otevření souboru s příznakem `"b"`.
- Čtení bloku dat funkcí `fread()` a zápis bloku funkcí `fwrite()`.
- Načtení `nmemb` prvků, každý o velikosti `size` bajtů.
  `size_t fread(void* ptr, size_t size, size_t nmemb, FILE *stream);`
- Zápis `nmemb` prvků, každý o velikosti `size` bajtů.
  `size_t fwrite(const void *ptr, size_t size, size_t nmemb, FILE *stream);`
- Funkce vrací počet přečtených/zapsaných prvků o velikosti `size`.
- Pokud došlo k chybě nebo detekci konce souboru, funkce vrací menší než očekávaný počet bajtů.

Kódovací příklad – struct 1/3

- Implementujme složený typ s dvěma položkami typu pole znaků `username` a `number`, kde první položku chceme interpretovat jako textový řetězec (*null terminated*), ale ve druhém případě pouze jako pole znaků.

Ukázkový příklad, jehož hlavní motivace je uložení paměti do souboru a náhled na obsah souboru.

```
1  #define USERNAME_SIZE 8
2  #define NUMBER_DIGITS 4
4  struct record {
5      char username[USERNAME_SIZE + 1];
6      char number[NUMBER_DIGITS];
7  };
9  int main(void) {
10     struct record records[] = {
11         { .username = "user01" },
12         { .username = "user02" },
13         { .username = "admin" },
14         { .username = "root" },
15         { .username = '\0' } // null
           terminating array
16     };
18     fprintf(stderr, "DEBUG: size of struct
        %lu\n", sizeof(struct record));
19     fprintf(stderr, "DEBUG: size of records
         %lu\n", sizeof(records));
```

- Položka `username` je o jeden znak delší, uložení `'\0'`.
- Položka `number` je zápis čísla o maximální hodnotě 9999 (počet řádů 4) v textové podobě (0000–9999).
- Velikost složeného typu je dána velikostí jednotlivých položek.
- Pole záznamů incializujeme se zarážkou (poslední prvek obsahuje prázdný řetězec v položce `username`).

```
$ clang struct.c && ./a.out
DEBUG: size of struct 13
DEBUG: size of records 6
```

- Na příkladu si ukážeme, jak převést celé číslo na textovou reprezentaci, k čemuž použijeme několik pomocných funkcí.
- Implementujeme si funkce pro tisk záznamu a pole záznamů.
- Položku `number` naplníme programově z celého čísla s kontrolou, zdali se číslo vejde do `NUMBER_DIGITS`.
- Složený typ a implementaci funkcí realizujeme v samostatném modulu `record.h` a `record.c`.

Kódovací příklad – struct 2/3

```c
#ifndef __RECORD_H__
#define __RECORD_H__
#define USERNAME_SIZE 8
#define NUMBER_DIGITS 4
struct record {
   char username[USERNAME_SIZE + 1];
   char number[NUMBER_DIGITS];
};
void print_record(const struct record * record);
void print(const struct record * const records);
unsigned int fill_numbers(struct record * const
    records);
#endif
```

lec13/record.h

- V C nemůžeme přetěžovat jména funkcí, proto máme funkci `print_record()` a `print()`.
- Funkce `fill_numbers()` vyplní položky `numbers` v posloupnosti hodnot typu `struct record`.

```c
#include <stdio.h>
#include <limits.h>
#include <assert.h> // strukturální testy
#include "record.h"
```

lec13/record.c

```c
void print_record(const struct record * record)
{
   if (record) {
      printf("Record\n");
      printf("|- username: \"%s\"\n", record->username);
      printf("|- number: ");
      print_chars(NUMBER_DIGITS, record->number);
      printf("\n\n");
      // printf("|- number:  %s\n\n"); // Vyzkoušejte!
   }
}
void print(const struct record * const records)
{
   struct record const *cur = records;
   while (cur && cur->username[0]) {
      print_record(cur);
      cur += 1; // pointer arithmetic
   }
}
```

lec13/record.c

Kódovací příklad – struct 3/3

```
7  static unsigned short get_max_number(unsigned int digits)
8  {
9     unsigned int number = 1;
10    assert(sizeof(short) < sizeof(int));// 16 vs.  32?
11    for (unsigned int i = 0; i < digits; ++i) {
12       number *= 10;
13    }
14    assert(number <= USHRT_MAX); // short
15    return number - 1;
16 }
18 static void fill_record_number(unsigned short n, int
       digits, char *number)
19 { //number needs to be at least digits large
20   for (int i = digits - 1; i >= 0; --i) {
21      number[i] = (n % 10) + '0';
22      n = n / 10;
23   }
24 }
```

lec13/record.c

- V programu máme snahu testovat velikost paměťové reprezentace.

```
26 static void print_chars(size_t digits, const char *number)
27 { // number je ukazatel na konstantní hodnotu
28    for (size_t i = 0; i < digits; ++i, ++number) {
29       putchar(*number);
30    }
31 }
```

lec13/record.c

```
54 unsigned int fill_numbers(struct record * const records)
55 {
56    struct record *cur = records;
57    unsigned short n = 0;
58    const short max_number = get_max_number(NUMBER_DIGITS);
60    while (cur && cur->username[0]) {
61       assert(n <= max_number); // Vyplňujeme programově
62       fill_record_number(n, NUMBER_DIGITS, cur->number);
63       n += 1;
64       cur += 1;
65    }
66    return n;
67 }
```

lec13/record.c

- Lokální pomocné funkce jsou `static`.
- Hodnoty položky `number` vyplňujeme programově inkrementálně od hodnoty `0000`.

Kódovací příklad – Načítání a ukládání struct 1/4

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "record.h"
int main(void) {
   int ret = EXIT_SUCCESS;
   struct record records[] = {
      { .username = "user01" },
      { .username = "user02" },
      { .username = "admin" },
      { .username = "root" },
      { .username = "jf" },
      { .username = '\0' } // null terminating array
   };
   fprintf(stderr, "DEBUG: size of struct %lu\n", sizeof(struct record));
   fprintf(stderr, "DEBUG: size of records %lu\n", sizeof(records));
   unsigned int n = fill_numbers(records); // number!
   print(records);
   const char *fname = "records.dat";
   FILE *fd = fopen("records.dat", "w"); // uložení records
   if (fd) {
      size_t saved = fwrite(records, sizeof(struct record), n, fd);
      size_t size = n * sizeof(struct record);
      printf("DEBUG: saved bytes %lu out of %lu\n", saved * sizeof(struct record), size);
   } else {
      fprintf(stderr, "ERROR: Cannot open \"%s\" for writting\n", fname);
      ret = EXIT_FAILURE;
   }
   return ret;
};
```

lec13/save_struct.c

```
$ clang -c record.c -o record.o
$ clang save_struct.c record.o -o save && ./save
DEBUG: size of struct 13
DEBUG: size of records 78
Record
|- username: "user01"
|- number: 0000
...
Record
|- username: "jf"
|- number: 0004
DEBUG: saved bytes 65 out of 65
```

Kódovací příklad – Načítání a ukládání struct 2/4

- Obsah uloženého souboru můžeme zkusit přímo otevřít v textovém editoru nebo použijeme program hexdump.

```
$ clang -c record.c -o record.o
$ clang save_struct.c record.o -o save
$ ./save 1>/dev/null
DEBUG: size of struct 13
DEBUG: size of records 78
$ hexdump -C records.dat
00000000  75 73 65 72 30 31 00 00  00 30 30 30 30 75 73 65  |user01...0000use|
00000010  72 30 32 00 00 00 30 30  30 31 61 64 6d 69 6e 00  |r02...0001admin.|
00000020  00 00 00 30 30 30 32 72  6f 6f 74 00 00 00 00 00  |...0002root.....|
00000030  30 30 30 33 6a 66 00 00  00 00 00 00 00 30 30 30  |0003jf.......000|
00000040  34                                                |4|
00000041
```

- V případě, že vytvořenému souboru records.dat odebereme práva zápisu, např. chmod 0 records.dat, program selže.

```
$ chmod 0 records.dat
$ ./save 1> /dev/null; echo $?
DEBUG: size of struct 13
DEBUG: size of records 78
ERROR: Cannot open file "records.dat" for writting
1
```

Kódovací příklad – Načítání a ukládání struct 3/4

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "record.h"
#define NUM_RECORDS 2
int main(void) {
   const char *fname = "records.dat";
   FILE *fd = fopen(fname, "r");
   if (!fd) {
      perror("Error open file");
      goto error;
   }
   struct record *records = malloc(NUM_RECORDS * sizeof(
    struct record));
   if (!records) {
      perror("Error malloc");
      fclose(fd); // Korektně soubor zavíráme.
      goto error;
   }
   ssize_t loaded;
```

lec13/load_struct.c

- Načtení bloku dat funkcí `fread()`.

```c
   while ((loaded = fread(records, sizeof(struct record), NUM_RECORDS, fd))) {
      fprintf(stderr, "DEBUG: loaded records %lu\n", loaded);
      for (size_t i = 0; i < loaded; ++i) {
         print_record(&records[i]);
      }
   }
   free(records);
   fclose(fd);
   goto leave;
error:
   fprintf(stderr, "ERROR: during reading from the file \"%s\"\n", fname);
   return 1;
leave:
   return 0;
}
```

lec13/save_struct.c

```
$ clang load_struct.c record.o -o load && ./load
DEBUG: loaded records 2
...
Record
|- username: "root"
|- number: 0003
DEBUG: loaded records 1
Record
|- username: "jf"
|- number: 0004
```

Kódovací příklad – Načítání a ukládání struct 4/4 (lépe)

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "record.h"

#define NUM_RECORDS 2

enum { ERROR_FILE = 101, ERROR_MEM = 102};

void print_error(int error);

int main(void) {
   int ret = EXIT_SUCCESS;
   const char *fname = "records.dat";
   FILE *fd = fopen(fname, "r");
   if (!fd && (ret = ERROR_FILE)) { // ret!
      goto leave;
   }
   struct record *records = malloc(
    NUM_RECORDS * sizeof(struct record));
   if (!records && (ret = ERROR_MEM)) { // ret!
      goto leave;
   }
   ssize_t loaded;
   while ((loaded = fread(records, sizeof(struct record), NUM_RECORDS, fd))) {
      fprintf(stderr, "DEBUG: loaded records %lu\n", loaded);
      for (size_t i = 0; i < loaded; ++i) {
         print_record(&records[i]);
      }
   }
   free(records);
leave:
   if (fd) {
      fclose(fd);
   }
   print_error(ret);
   return ret;
}
void print_error(int error)
{
   switch (error) {
      case ERROR_FILE:
         fprintf(stderr, "ERROR: open file\n");
         break;
      case ERROR_MEM:
         fprintf(stderr, "ERROR: mem allocation\n");
         break;
   }
}
```

Část II

Část 2 – Příklady binárních souborů (obrázky)

Paměťová reprezentace obrazků

- Obrázek je reprezentován jako matice pixelů, souvislý blok paměti (1D pole).
- Každý pixel může být reprezentován jedním nebo více bajty, v závislosti na typu a kódování obrázku (šedotonový - *grayscale*, 8-bitový s paletou, RGB nebo také s průhedností RGBA.
- Formát obrázku může být neztrátový, např. BMP, PNG, PPM, nebo ztrátový, např. JPEG.
- Formát obrázku definuje jak jsou data uložena na disku.
- V paměti je pro zobrazení obrázek reprezentován souvislým blokem o velikosti *šířka* $\times$ *výška* $\times$ počet bajtů na pixel.

- Pro načítání a ukládání obrázky typicky využijeme existující knihovnu třetí strany.
- Podobně pro vizualizaci využijeme nějakou dostupnou knihovnu.

Textová reprezentace obrázku PPM P6

- Formát PPM P6 je textově binární formát obsahující textovou hlavičku následovanou souvislým blokem bajtů reprezentující jednotlivé pixel po složkách RGB.

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#ifndef WIDTH
#define WIDTH 640
#endif
#ifndef HEIGHT
#define HEIGHT 480
#endif
#define BYTES_PER_PIXEL 3
#define MAX_COLOR_VALUE 255
char *create_image(int w, int h);
int save_ppm_p6(char *img, int w, int h, char *fname); // return 1 on success
int main(int argc, char *argv[])
{
   char *fname = argc > 1 ? argv[1] : "image.ppm";
   char *img = create_image(WIDTH, HEIGHT);
   int ok = img && ( // HEIGHT <-> WIDTH if three args are given
         argc > 2 ?
         save_ppm_p6(img, HEIGHT, WIDTH, fname) :
         save_ppm_p6(img, WIDTH, HEIGHT, fname)
         );
   if (img)
      free(img);
   return ok ? EXIT_SUCCESS : EXIT_FAILURE;
}
char *create_image(int w, int h)
{
   char *img = malloc(w * h * BYTES_PER_PIXEL * sizeof *img);
   unsigned char color[BYTES_PER_PIXEL] = {0, 0, 0}; // RGB
   for (int y = 0; img && y < h; ++y) { // all rows
      color[0] = (color[0] + 1) % 256; // alternate R
      for (int x = 0; x < w; ++x) // all columns
         for (int c = 0; c < BYTES_PER_PIXEL; ++c)
            img[(y * w + x) * BYTES_PER_PIXEL + c] = color[c];
   }
   return img;
}
int save_ppm_p6(char *img, int w, int h, char *fname)
{
   if (!img) return 0;
   FILE *fd = fopen(fname, "wb");
   if (!fd) {
      perror("Error save_ppm fopen()");
      return 0;
   }
   fprintf(fd, "P6\n %s\n %d\n %d\n %d\n", "Test image" , w, h,
    MAX_COLOR_VALUE);
   int ret = fwrite(img, BYTES_PER_PIXEL, w * h, fd) == w * h;
   fclose(fd);
   return ret;
}
```

lec13/img/write_ppm_image.c

Uložení obrázku ve formátu PPM P6

```
$ clang write_ppm_image.c -o ppm
$ ./ppm
$ head -n 5 image.ppm
P6
 Test image
 640
 480
 255
$ du -h image.ppm
960K  image.pp
$ xview image.ppm
```

```
$ ./ppm image2.ppm rot
$ head -n 5 image2.ppm
P6
 Test image
 480
 640
 255
$ ls -ln image*.ppm | tr -s ' ' | cut -d' ' -f5,9 -
921630 image.ppm
921630 image2.ppm
$ xview image2.ppm
```

Simple DirectMedia Layer – SDL

- SDL je multiplatformní multimediální C/C++ knihovna s nízkoúrovňovým přístupem ke grafice (2D a 3D), zvuku, klávesnici, atd.

  https://www.libsdl.org/

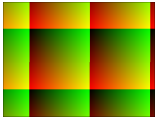
- Používá se pro tvorbu her a multimediálních aplikací, např. Angry Birds, Unreal Tournament (Linux OpengGL), OpenTTD.
- SDL, SDL2 (https://wiki.libsdl.org/SDL2/Tutorials, SDL3.

  https://mrlvsb.github.io/upr-skripta/c/aplikovane_ulohy/sdl.html

- V PRP pro zjednodušení použijeme knihovnu `xwin_sdl.h` s rozhráním pro:
  - vytvoření grafického okna: `int xwin_init(int w, int h);`
  - zavření okna: `void xwin_close(void);`
  - překreslení okna: `void xwin_redraw(int w, int h, unsigned char *img);`
  - načtení RGB obrázku: `unsigned char *xwin_load_image(const char *filename, int *width, int *height);`
  - a další funkce jako je
    - **načtení RGBA obrázku** `unsigned char *xwin_load_image_bytes(const char *filename, size_t *size, int *Rshift, int *Gshift, int *Bshift, int *Ashift);`
    - **vyprázdnění fronty událostí** `void xwin_poll_events(void);`.

Příklad animace

- Animace je opakované překreslování modifikovaného obrázku (matice).



```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "xwin_sdl.h"

#define WIDTH 640
#define HEIGHT 480

#define ANIM 100
#define DELAY_MS 10

unsigned char* create_image(int w, int h);
void update_image(unsigned char *img, int w, int h);
int main(int argc, char *argv[])
{
   unsigned char *img = create_image(WIDTH, HEIGHT);
   if (img && !xwin_init(WIDTH, HEIGHT)) {
      for (int i = 0; i < ANIM; ++i) {
         update_image(img, WIDTH, HEIGHT);
         xwin_redraw(WIDTH, HEIGHT, img);
         delay(DELAY_MS);
      }
      xwin_close();
   }
   if (img) free(img);
   return EXIT_SUCCESS;
}
```

```c
unsigned char* create_image(int w, int h)
{
   unsigned char *img = malloc(3 * w * h * sizeof *img); // 3 bytes per pixel
   unsigned char *cur = img;
   for (int y = 0; img && y < h; ++y)
      for (int x = 0; x < w; ++x) {
         *(cur++) = 255; // red
         *(cur++) = 0;
         *(cur++) = 0;
      }
   return img;
}

void update_image(unsigned char *img, int w, int h)
{
   static int i = 0;
   for (int y = 0; y < h; ++y) {
      for (int x = 0; x < w; ++x) {
         const int idx = y * WIDTH * 3 + x * 3; // pixel position
         *(img + idx + 0) = (y + i) % 255; // R
         *(img + idx + 1) = (x + i) % 255; // G
         *(img + idx + 2) = 0; // B
      }
   }
   i += 1;
}
```

lec13/img/xwin_anim.c

Sestavení programu (xwin_sdl)

- xwin_sdl volá funkce SDL2.
- SDL2 nastavení kompilátoru lze získat z sdl2-config, CFLAGS a LDFLAGS.

sudo apt install libsdl2-dev

- Načítání obrázků je v xwin_sdl realizováno voláním SDL2_image. libsdl2-image-dev

```
CFLAGS+=$(shell sdl2-config --cflags)
LDFLAGS+=$(shell sdl2-config --libs)
LDFLAGS+=-lSDL2_image
```

lec13/img/Makefile

```
$ make
clang -c xwin_anim.c -O2 -std=gnu99 -pedantic -Wall -I/usr/local/include -I/usr/local/include
    /SDL2 -D_REENTRANT -D_THREAD_SAFE  -o xwin_anim.o
clang -c xwin_sdl.c -O2 -std=gnu99 -pedantic -Wall -I/usr/local/include -I/usr/local/include/
    SDL2 -D_REENTRANT -D_THREAD_SAFE  -o xwin_sdl.o
clang xwin_anim.o xwin_sdl.o -L/usr/local/lib -lSDL2 -lSDL2_image -o xwin_anim
```

Načtení obrázku `xwin_load_image()`

- Dle formátu obrázku nemusí posloupnost bajtů pixelů odpovídat RGB, ale například BGR (BMP).

```
86 unsigned char *xwin_load_image(const char *filename, int *width, int *height)
87 {
88    unsigned char *ret = NULL;
89    SDL_Surface *img = IMG_Load(filename);
90    if (img) {
91       *width = img->w;
92       *height = img->h;
93       const int bytesPerPixel = img->format->BytesPerPixel;
94 #ifndef NDEBUG
95       fprintf(stderr, "DEBUG(xwin_sdl): bytesPerPixel: %d\n", bytesPerPixel);
96 #endif
97       require(bytesPerPixel == 3);
98       ret = (unsigned char *)malloc(img->w * img->h * 3 *
99             sizeof(unsigned char));
100      require(ret != NULL);
101      unsigned char *dst = ret;
102      for (int y = 0; y < img->h; ++y) {
103         for (int x = 0; x < img->w; ++x) {
104            const int idx = (y * img->w + x) * img->format->BytesPerPixel;
105            Uint8 *px = (Uint8*)img->pixels + idx;
106            *(dst++) = *(px + img->format->Rshift / 8);
107            *(dst++) = *(px + img->format->Gshift / 8);
108            *(dst++) = *(px + img->format->Bshift / 8);
109         }
110      }
111      SDL_FreeSurface(img);
112   }
113   return ret;
114 }
```

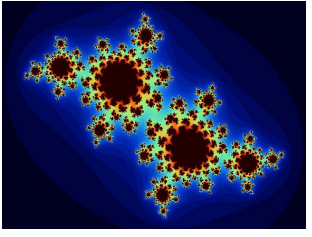
```
16 void require_fail(const char *expr, const char *fcname,
       int line, const char *fname);
18 #define require(cond) \
19    do { \
20       if (!(cond)) {\
21          require_fail(#cond, __FILE__, __LINE__,
        __func__); \
22       } \
23    } while(0)
25 // - function ------------------------------
26 void require_fail(const char *expr, const char *fcname,
       int line, const char *fname)
27 {
28    fprintf(stderr, "ERROR: require faild: %s @ %s in %s
       :%d\n", expr, fcname, fname, line);
29    exit(EINVAL);
30 }
```

lec13/img/xwin_sdl.c

Příklad načtení obrázku view()

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "xwin_sdl.h"
#define BYTES_PER_PIXEL 3
#define VIEW_WAIT_MS 5000 // 5 sec
int main(int argc, char *argv[])
{
    int ret = EXIT_SUCCESS;
    char *fname = argc > 1 ? argv[1] : "image.png";
    int w, h;
    unsigned char *img = xwin_load_image(fname, &w, &h);
    if (!img) {
        fprintf(stderr, "ERROR: Cannot load image %s\n", fname);
        ret = EXIT_FAILURE;
    } else if (!xwin_init(w, h)) {
        xwin_redraw(w, h, img);
        fprintf(stderr, "INFO: View loaded image %s for %d ms\n", fname,
     VIEW_WAIT_MS);
        delay(VIEW_WAIT_MS);
        xwin_close();
    } else {
        fprintf(stderr, "ERROR: Cannot init window for the image %s of the
     size %d x %d\n", fname, w, h);
        ret = EXIT_FAILURE;
    }
    free(img);
    return ret;
}
```

```
$ make
clang -c xwin_sdl.c -O2 -std=gnu99 -pedantic -Wall -I/usr/
    local/include -I/usr/local/include/SDL2 -D_REENTRANT -
    D_THREAD_SAFE  -o xwin_sdl.o
clang xwin_sdl.o xwin_anim.o -L/usr/local/lib -lSDL2 -
    lSDL2_image -o xwin_anim
clang -c view.c -O2 -std=gnu99 -pedantic -Wall -I/usr/local/
    include -I/usr/local/include/SDL2 -D_REENTRANT -
    D_THREAD_SAFE  -o view.o
clang xwin_sdl.o view.o -L/usr/local/lib -lSDL2 -lSDL2_image -
    o view
$ ./view julia.png
DEBUG(xwin_sdl): bytesPerPixel: 3
INFO: View loaded image julia.png for 5000 ms
```



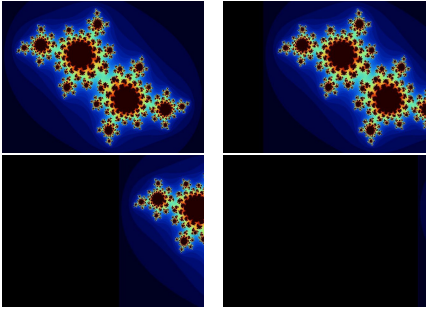
lec13/img/view.c

Příklad animace obrázku

- V programu `view.c` přidáme funkci `move()`, která postupně přesune obrázek za pravý okraj.

```
1  void move(unsigned char *img, int w, int h);
2  void h_shift(unsigned char *img, int w, int h);
3  ...
4     delay(VIEW_WAIT_MS);
5        if (move_to_right)
6           move(img, w, h);
7  ...
38 void move(unsigned char *img, int w, int h)
39 {
40    for (int i = 0; i < w; ++i) {
41       h_shift(img, w, h);
42       xwin_redraw(w, h, img);
43    }
44 }
46 void h_shift(unsigned char *img, int w, int h)
47 {  // shift image by one pixel from left to right
48    for (int y = 0; y < h; ++y) {
49       for (int x = w-1; x > 0; --x) {
50          unsigned char *src = &img[(y * w + x - 1)*BYTES_PER_PIXEL];
51          unsigned char *dst = &img[(y * w + x)*BYTES_PER_PIXEL];
52          for (int i = 0; i < 3; ++i) {
53             *(dst + i) = *(src + i);
54          }
55       }
56       for (int i = 0; i < 3; ++i) {
57          img[(y * w) * BYTES_PER_PIXEL + i] = 0; // black
58       }
59    }
60 }
```

```
$ ./view julia.png move
DEBUG(xwin_sdl): bytesPerPixel: 3
INFO: View loaded image julia.png for 5000 ms
```



lec13/img/view.c

Uložení obrázku v JPEG

- Obrázek je posloupnost bajtů (1D pole) o délce odpovídající rozlišení a počtu bajtů na pixel.
- Formát JPEG je ztrátová komprese, obrázek tak odpovídá souboru o menší velikosti než původní (nekomprimovaný) obrázek.
- Komprese do JPEG formátu, je vytvoření jiného (menšího) 1D pole.
- Práci s JPEG obrázky je možné založit například na knihovně jpeg-turbo (`libjpeg.so.8`).

```
28 void save_image_jpeg(int w, int h, unsigned char *img, char *fname)
29 {
30    unsigned long jsize = 0;
31    unsigned char *jbuf = NULL;
32    jpeg_compress(img, w * h, w, h, &jbuf, &jsize, 85, 3);
33    FILE *fd = fopen(fname, "wb");
34    require(fwrite(jbuf, 1, jsize, fd) == jsize);
35    fclose(fd);
36    free(jbuf);
37 }
```

lec13/img/save_jpeg.c

Příklad uložení obrázku v JPEG formátu

- Formát souboru (obrázku) není závislý na jeho jméně, ale obsahu.

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "xwin_sdl.h"
#include "save_jpeg.h"
int main(int argc, char *argv[])
{
   int ret = EXIT_FAILURE;
   char *fname = argc > 1 ? argv[1] : "image.png";
   char *fname_jpeg = argc > 2 ? argv[2] : NULL;
   int w, h;
   unsigned char *img = xwin_load_image(fname, &w, &h);
   if (!img) {
      fprintf(stderr, "ERROR: Cannot load image %s\n", fname);
   } else if (!fname_jpeg) {
      fprintf(stderr, "ERROR: JPEG filename must be given\n");
   } else {
      save_image_jpeg(w, h, img, fname_jpeg);
      ret = EXIT_SUCCESS;
   }
   free(img);
   return ret;
}
```

```
$ make
clang jpeg.o save_jpeg.o xwin_sdl.o -L/usr/local/lib -
    lSDL2 -lSDL2_image -ljpeg -o jpeg
$ ./jpeg
ERROR: Cannot load image image.png
$ ./jpeg julia.png
DEBUG(xwin_sdl): bytesPerPixel: 3
ERROR: JPEG filename must be given
$ ./jpeg julia.png julia.jpeg
DEBUG(xwin_sdl): bytesPerPixel: 3
$ du -h julia.png julia.jpeg
344K julia.png
 72K julia.jpeg
$ ./jpeg julia.png j
DEBUG(xwin_sdl): bytesPerPixel: 3
$ sha1 julia.jpeg j
SHA1 (julia.jpeg) = 8425
    d3f03deee275b9398ba9cde36dd68057c8b6
SHA1 (j) = 8425d3f03deee275b9398ba9cde36dd68057c8b6
$ xview j
```

lec13/img/jpeg.c

Načtení obrázku RGBA – `xwin_load_image_bytes()`

- V případě obrázku s alfa kanálem (transparentnost) odpovídá jeden pixel 32-bitové hodnotě.
- Data z načteného obrázku můžeme dekódovat do definované posloupnosti RGBA.

```
110 unsigned char *xwin_load_image_bytes(const char *filename, size_t *size, int *Rshift, int *Gshift, int *Bshift, int *Ashift)
111 {
112    unsigned char *ret = NULL;
113    SDL_Surface *img = IMG_Load(filename);
114    if (img) {
115 #ifndef NDEBUG
116       fprintf(stderr, "DEBUG(xwin_sdl): %s (%s:%d) image size %d x %d with BytesPerPixel: %d\n", __func__, __FILE__, __LINE__,
          img->w, img->h, img->format->BytesPerPixel);
117 #endif
118       require(img->format->BytesPerPixel == 4);
119       *size = ((size_t)img->w * (size_t)img->h * (size_t)img->format->BytesPerPixel);
120       ret = malloc(*size * sizeof(unsigned char));
121       require(ret != NULL);
122       memcpy(ret, img->pixels, *size * sizeof(unsigned char));
123       *Rshift = img->format->Rshift;
124       *Gshift = img->format->Gshift;
125       *Bshift = img->format->Bshift;
126       *Ashift = img->format->Ashift;
127       SDL_FreeSurface(img);
128    }
129    return ret;
130 }
```

lec13/img/xwin_sdl.c

Dekódování dat z RGBA obrázku

- V obrázku můžeme uložit libovolná data jako posloupnost bajtů.
- Obsah `input.txt` uložíme jako poslopnost bajtů na pozice RGB, ale obrázek uložíme jako RGBA ve formátu PNG, který následně dekódujeme načtením funkcí `xwin_load_image_bytes()` s uvažováním pouze RGB hodnot.

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "xwin_sdl.h"
int main(int argc, char *argv[])
{
    int ret = EXIT_SUCCESS;
    char *fname = argc > 1 ? argv[1] : "input.png";
    size_t size;
    int Rshift, Gshift, Bshift, Ashift;
    unsigned char *img = xwin_load_image_bytes(fname, &size, &
     Rshift, &Gshift, &Bshift, &Ashift);
    if (!img) {
       fprintf(stderr, "ERROR: Cannot load image %s\n", fname);
       ret = EXIT_FAILURE;
    } else {
       int shift[3] = { Rshift/8, Gshift/8, Bshift/8 };
       for (size_t i = 0; i < size; i += 4) {
          for (int k = 0; k < 3; ++k) {
             if (!img[i + shift[k]]) break; // 0 is end of txt
             putchar(img[i + shift[k]]);
          }
       }
    }
    free(img);
    return ret;
}
```

```
$ make
clang -c decode.c -O2 -std=gnu99 -pedantic -Wall -I/usr/
    local/include -I/usr/local/include/SDL2 -D_REENTRANT -
    D_THREAD_SAFE  -o decode.o
clang decode.o xwin_sdl.o -L/usr/local/lib -lSDL2 -
    lSDL2_image -o decode
$ ./decode input.png > output.txt
$ diff input.txt output.txt
$ sha1 input.txt output.txt
SHA1 (input.txt) = e5e6f2d5ac2db91e18aa9d2ba8570a5695fdc2f7
SHA1 (output.txt) = e5e6f2d5ac2db91e18aa9d2ba8570a5695fdc2f7
$ du -h input.txt output.txt
4.0K  input.txt
4.0K  output.txt
$ head -c 20 output.txt
Lorem ipsum dolor s
```

lec13/img/decode.c

Respektování RGBA vs. BGRA

- Pokud bychom nezoohlednili vnitřní kódování obrázku, nezískáme původní data v případě použití jiného formátu obrázku.

Podobně dekódování nebude fungovat při ztrátové kompresi obrazových dat.

```
$ magick convert input.png input.bmp
$ du -h input.png input.bmp
4.0K  input.png
 28K  input.bmp
$ ./decode input.png > output-png.txt
DEBUG(xwin_sdl): xwin_load_image_bytes (xwin_sdl.c:116)
     image size 82 x 82 with BytesPerPixel: 4
$ ./decode input.bmp > output-bmp.txt
DEBUG(xwin_sdl): xwin_load_image_bytes (xwin_sdl.c:116)
     image size 82 x 82 with BytesPerPixel: 4
$ diff output-png.txt output-bmp.txt
$ sha1 input.txt output-png.txt output-bmp.txt
SHA1 (input.txt) = e5e6f2d5ac2db91e18aa9d2ba8570a5695fdc2f7
SHA1 (output-png.txt) =
     e5e6f2d5ac2db91e18aa9d2ba8570a5695fdc2f7
SHA1 (output-bmp.txt) =
     e5e6f2d5ac2db91e18aa9d2ba8570a5695fdc2f7
```

lec13/img/decode.c

```
12  ...
13     unsigned char *img = xwin_load_image_bytes(fname, &size, ... );
14     if (!img) {
15        ...
16     } else {
17        for (size_t i = 0; i < size; i += 4) {
18           for (int k = 0; k < 3; ++k) {
19              if (!img[i + k]) break; // 0 is end of txt
20              putchar(img[i + k]);
21           }
22        }
23  ...
```

```
$ ./decode2 input.png 2>/dev/null > output2-png.txt
$ ./decode2 input.bmp 2>/dev/null > output2-bmp.txt
$ sha1 input.txt output2-png.txt output2-bmp.txt
SHA1 (input.txt) = e5e6f2d5ac2db91e18aa9d2ba8570a5695fdc2f7
SHA1 (output2-png.txt) =
     e5e6f2d5ac2db91e18aa9d2ba8570a5695fdc2f7
SHA1 (output2-bmp.txt) = 6
     f092912345ff64ab1eefbffbe803639e6eeb5a8
$ head -c 10 output2-png.txt
Lorem ipsu
$ head -c 10 output2-bmp.txt
roL mespi
```

lec13/img/decode2.c

Shrnutí přednášky

Diskutovaná témata

- Binární soubory.
- Příklad načítání a ukládání obrázků.