Standardní knihovny C. Rekurze.

Jan Faigl

Katedra počítačů
Fakulta elektrotechnická
České vysoké učení technické v Praze

Přednáška 07

B0B36PRP – Procedurální programování

Přehled témat

- Část 1 – Standardní knihovny, čtení/zápis ze/do souboru

  Standardní knihovny

  Práce se soubory

  Zpracování chyb

  S. G. Kochan: kapitola 16, Appendix B

- Část 2 – Rekurze

  Faktoriál

  Obrácený výpis

  Hanojské věže

  Rekurze

  Fibonacciho posloupnost

- Část 3 – Zadání 7. domácího úkolu (HW07)

Část I

Část 1 – Standardní knihovny, čtení/zápis ze souboru

Standardní knihovny

- Jazyk C sám osobě neobsahuje prostředky pro vstup/výstup dat, složitější matematické operace ani:
  - práci z textovými řetězci;
  - správu paměti pro dynamické přidělování;
  - vyhodnocení běhových chyb (run-time errors).
- Tyto a další funkce jsou obsaženy ve standardních knihovnách, které jsou součástí překladače jazyka C.
  - Knihovny – přeložený kód se připojuje k programu, např `libc.so`.

    Viz např. `ldd a.out`.
  - Hlavičkové soubory – obsahují prototypy funkcí, definici typů, makra a konstanty a vkládají se do zdrojových souborů příkazem preprocesoru `#include <jmeno_knihovny.h>`.

    Např. `#include <stdio.h>`

Standardní knihovny

- `stdio.h` – Vstup a výstup (formátovaný i neformátovaný)
- `stdlib.h` – Matematické funkce, alokace paměti, převod řetězců na čísla, řazení (`qsort`), vyhledávání (`bsearch`), generování náhodných čísel (`rand`)
- `limits.h` – Rozsahy číselných typů
- `math.h` – Matematické funkce
- `errno.h` – Definice chybových hodnot
- `assert.h` – Zpracování běhových chyb

- `ctype.h` – Klasifikace znaků (`char`)
- `string.h` – Řetězce, blokové přenosy dat v paměti (`memcpy`)
- `locale.h` – Internacionalizace
- `time.h` – Datum a čas

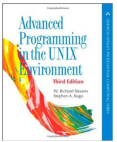
Standardní knihovny (POSIX)

Komunikace s operačním systémem (OS).

POSIX – Portable Operating System Interface

- `stdlib.h` – Funkce využívají prostředků OS
- `signal.h` – Asynchronní události,vlákna
- `unistd.h` – Procesy, čtení/zápis souborů, ...
- `pthread.h` – Vlákna (POSIX Threads)
- `threads.h` – Standardní knihovna pro práci s vlákny (C11)

Advanced Programming in the UNIX Environment, 3rd edition, *W. Richard Stevens, Stephen A. Rago* Addison-Wesley, 2013, ISBN 978-0-321-63773-4



Základní práce se soubory – otevření souboru

- Knihovna `stdio.h`.
- Přístup k souboru je prostřednictvím ukazatele `FILE*`.
- Otevření souboru `FILE *fopen(char *filename, char *mode);`.
- Práce s textovými a binárními (*modifikátor* `"b"`) soubory.
- 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.*
- Režim práce se souborem je dán hodnotou proměnné `mode`
  - `"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.
  - Můžeme kombinovat s dalšími režimy otevření soboru, např. `"r+"` pro otevření souboru pro čtení i zápis.

    viz `man fopen`

Testování – otevření/zavření souboru

- Testování otevření souboru.

```
1 char *fname = "file.txt";

3 if ((f = fopen(fname, "r")) == NULL) {
4   fprintf(stderr, "Error: open file '%s'\n", fname);
5 }
```

- Zavření souboru – `int fclose(FILE *file);`

```
1 if (fclose(f) == EOF) {
2   fprintf(stderr, "Error: close file '%s'\n", fname);
3 }
```

- Dosažení konce souboru – `int feof(FILE *file);`

Příklad – čtení souboru znak po znaku

- Čtení znaku: `int getc(FILE *file);`
- Hodnota znaku (`unsigned char`) je vrácena jako `int`.

```
1 int count = 0;
2 while ((c = getc(f)) != EOF) {
3     printf("Read character %d is '%c'\n", count, c);
4     count++;
5 }
```

lec07/read_file.c

- Pokud nastane chyba nebo konec souboru vrací funkce `getc` hodnotu `EOF`.
- Pro rozlišení chyby a konce souboru lze využít funkce `feof()` a `ferror()`.

Formátované čtení z textového souboru

- `int fscanf(FILE *file, const char *format, ...);`
- Analogie formátovanému vstupu.

Pro vyplnění hodnot proměnných předáváme ukazatel.

- Vrací počet přečtených položek, například pro vstup

```
record 1 13.4
```

- příkaz: `int r = fscanf(f, "%s %d %lf\n", str, &i, &d);`
- vrátí v případě úspěšného čtení hodnotu proměnné

`r == 3`.

- Při čtení textového řetězce je nutné zajistit dostatečný paměťový prostor pro načítaný textový řetězec, např. omezením velikosti řetězce.

```
char str[10];
int r = fscanf(f, "%9s %d %lf\n", str, &i, &d);
```

lec07/file_scanf.c

Zápis do textového souboru

- Zápis po znaku – `int putc(int c, FILE *file);`
- Formátovaný výstup `int fprintf(FILE *file, const *format, ...);`

```
1  int main(int argc, char *argv[])
2  {
3     char *fname = argc > 1 ? argv[1] : "out.txt";
4     FILE *f;
5     if ((f = fopen(fname, "w")) == NULL) {
6        fprintf(stderr, "Error: Open file '%s'\n", fname);
7        return -1;
8     }
9     fprintf(f, "Program arguments argc: %d\n", argc);
10    for (int i = 0; i < argc; ++i) {
11       fprintf(f, "argv[%d]='%s'\n", i, argv[i]);
12    }
13    if (fclose(f) == EOF) {
14       fprintf(stderr, "Error: Close file '%s'\n", fname);
15       return -1;
16    }
17    return 0;
18 }
```

lec07/file_printf.c

- Identicky k `stderr` lze použít `stdout` a `stdin` pro čtení.

Náhodný přístup k souborům – `fseek()`

- Nastavení pozice kurzoru v souboru relativně vůči `whence` v bajtech.
- `int fseek(FILE *stream, long offset, int whence);`,
  kde `whence`
  - `SEEK_SET` – nastavení pozice od začátku souboru;
  - `SEEK_CUR` – relativní hodnota vůči současné pozici v souboru;
  - `SEEK_END` – nastavení pozice od konce souboru.
- `fseek()` vrací 0 v případě úspěšného nastavení pozice.

- Nastavení pozice v souboru na začátek.

```
void rewind(FILE *stream);
```

Binární čtení/zápis z/do souboru

- Otevření souboru s příznakem `"b"`.

  Vliv na řetězce, řídicí znaky např. `"\0"`, `\n` *nebo* `EOF` či `EOT` – `Ctrl+Z`.
- Pro čtení a zápis bloku dat můžeme využít funkce `fread()` a `fwrite()` z knihovny `stdio.h`.
- 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.

Zpracování chyb

- Základní chybové kódy jsou definovány v `<errno.h>`.
- Tyto kódy jsou ve standardních C knihovnách používány jako příznaky nastavené v případě selhání volání funkce v globální proměnné `errno`.
- Například otevření souboru `fopen()` vrací hodnotu `NULL`, pokud se soubor nepodařilo otevřít.
- Z této hodnoty, ale nepoznáme proč volání selhalo.
- Pro funkce, které nastavují `errno`, můžeme podle hodnoty identifikovat důvod chyby.
- Textový popis číselných kódů pro standardní knihovnu C je definován v `<string.h>`.
- Řetězec můžeme získat voláním funkce

```
char* strerror(int errnum);
```

Příklad použití errno (chyba při otevření souboru)

```c
#include <stdio.h>
#include <errno.h>
#include <string.h>

int main(int argc, char *argv[])
{
   FILE *f = fopen("soubor.txt", "r");
   if (f == NULL) {
      int r = errno;
      printf("Open file failed errno value %d\n", errno);
      printf("String error '%s'\n", strerror(r));
   }
   return 0;
}
```

lec07/errno.c

- Výstup při neexistujícím souboru.

```
Open file failed errno value 2
String error 'No such file or directory'
```

- Výstup při pokusu otevřít soubor bez práv přístupu k souboru.

```
Open file failed errno value 13
String error 'Permission denied'
```

Testovací makro assert()

- Do kódu lze přidat podmínky na nutné hodnoty proměnných.
- Testovat můžeme makrem `assert(expr)` z knihovny `<assert.h>`.
- Pokud není `expr` `true`, program se ukončí a vypíše jméno zdrojového souboru a číslo řádku.
- Makro vloží příslušný kód do programu.

  Relativně jednoduchý způsob indikace chyby, např. nevhodným argumentem funkce, posloupností volání, ale jako strukturální chyba programu, nikoliv hodnot definovaných za běhu.

- Vložení makra lze zabránit kompilací s definováním makra `NDEBUG`. `man assert`
- Makro `assert` má význam zejména při ladění program.

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <assert.h>
3
4  int main(int argc, char *argv[])
5  {
6     assert(argc > 1);
7     printf("program argc: %d\n", argc);
8     return 0;
9  }
```

lec07/assert.c

- Uvedený příklad pouze demonstruje použití `assert()`.
- Není vhodné testovat proměnné definované za běhu programu.
- Test `assert()` nebude do programu vložen při kompilaci s `NDEBUG`.

Příklad použití makra assert()

- Kompilace s makrem a spuštění programu bez/s argumentem.

```
$ clang assert.c -o assert
$ ./assert
Assertion failed: (argc > 1), function main, file assert.c, line 5.
zsh: abort      ./assert

$ ./assert 2
start argc: 2
```

- Kompilace bez makra a spuštění programu bez/s argumentem.

```
$ clang -DNDEBUG assert.c -o assert
$ ./assert
program start argc: 1
$ ./assert 2
program start argc: 2
```

lec07/assert.c

Test alokace paměti a předčasné ukončení programu

- Dynamické přidělení paměti (malloc) je vhodné vždy kontrolovat.
- Pragmaticky můžeme očekávat typický průběh program bezchybný, včetně dynamické alokace paměti.
- Pak může být vhodné přidělení paměti kontrolovat, ale předčasně program ukončit v případě chyby.
- Nicméně stále je vhodné dát uživateli možnost dozvědět se, proč se program předčasně ukončil.
- Můžeme si tak napsat vlastní funkci (makro) my_assert, které ovšem nelze vyřadit kompilaci s -NDEBUG.

```
1  #ifndef __MY_ASSERT_H__
2  #define __MY_ASSERT_H__

4  #include <stdio.h>  //because of fprintf()
5  #include <stdlib.h> //because of exit() and malloc

7  #define my_assert(x, line, file) \
8     if (!(x)) {\
9        fprintf(stderr, "my_assert fail, line: %d,
       file %s\n", line, file);\
10       exit(-1);\
11       }
12 #endif
```

lec07/my_assert.h

```
1  #include "my_assert.h"
2  ...
3  int *a = malloc(SIZE * sizeof(*a));
4  my_assert(a, __LINE__, __FILE__);
5  ...
```

lec07/demo-my_assert.c

```
$ clang demo-my_assert.c -o demo-my_assert
$ ulimit -v 10240
$ ./demo-my_assert
my_assert fail, line: 14, file demo-my_assert.c
```

- Při chybě dokážeme ve zdrojovém souboru dohledat místo a důvod chyb.

Příkazy dlouhého skoku

- Příkaz `goto` je možné použít pouze v rámci jedné funkce.
- Knihovna `<setjmp.h>` definuje funkce `setjmp()` a `longjmp()` pro skoky mezi funkcemi.
- `setjmp()` uloží aktuální stav registrů procesoru a pokud funkce vrátí hodnotu různou od 0, došlo k volání `longjmp()`.
- Při volání `longjmp()` jsou hodnoty registrů procesoru obnoveny a program pokračuje od místa volání `setjmp()`.

Kombinaci `setjmp()` a `longjmp()` lze využít pro implementace ošetření výjimečných stavu podobně jako `try-catch` v jiných programovacích jazycích.

```
1  #include <setjmp.h>
2  jmp_buf jb;
3  int compute(int x, int y);
4  void error_handler(void);
5  if (setjmp(jb) == 0) {
6     r = compute(x, y);
7     return 0;
8  } else {
9     error_handler();
10    return -1;
11 }
```

```
13 int compute(int x, int y) {
14    if (y == 0) {
15       longjmp(jb, 1);
16    } else {
17       x = (x + y * 2);
18       return (x / y);
19    }
20 }
21 void error_handler(void)  {
22    printf("Error\n");
23 }
```

Část II

Část 2 – Rekurze

Výpočet faktoriálu

- Iterace

$$n! = n(n-1)(n-2)\ldots 2 \cdot 1$$

```
1 int factorialI(int n)
2 {
3    int f = 1;
4    for (; n > 1; --n) {
5       f *= n;
6    }
7    return f;
8 }
```

- Rekurze

$$n! = 1 \text{ pro } n \leq 1$$
$$n! = n(n-1)! \text{ pro } n > 1$$

```
1 int factorialR(int n)
2 {
3    int f = 1;
4    if (n > 1) {
5       f = n * factorialR(n-1);
6    }
7    return f;
8 }
```

lec07/demo-factorial.c

Příklad výpis posloupnosti 1/3

- Vytvořte program, který přečte posloupnost čísel a vypíše ji v opačném pořadí.
- Rozklad problému:
  - Zavedeme abstraktní příkaz: „*obraťposloupnost*“.
  - Příkaz rozložíme do tří kroků:

1. Přečti číslo;

   Číslo uložíme pro pozdější „obrácený“ výpis.
2. Pokud není detekován konec posloupnost „*obraťposloupnost*“.

   Pokračujeme ve čtení čísel.
3. Vypiš číslo.

   Vypíšeme uložené číslo.

Příklad výpis posloupnosti 2/3

```
1  void reverse(void);
2
3  int main(void)
4  {
5     fprintf(stderr, "Enter a sequence of numbers (use Ctrl+D for the end of
       the sequence)\n");
6     reverse();
7     printf("\n");
8     return 0;
9  }
10
11 void reverse(void)
12 {
13    int v;
14    if (scanf("%i", &v) == 1) {
15       reverse();
16       printf("%3d ", v);
17    }
18 }
```

`Ctrl+D` ∼ `EOT` – End-Of-Transmission (konec přenosu)

lec07/demo-revert_sequence.c

Příklad výpis posloupnosti 3/3

- lec07/demo-revert_sequence.c
- Vytvoření posloupnosti.

```
./generate_numbers.sh | tr '\n' ' ' | cat > numbers.txt
clang demo-revert_sequence.c
./a.out < numbers.txt 2>/dev/null > numbers-r.txt
./a.out < numbers-r.txt 2>/dev/null > numbers-rr.txt
```

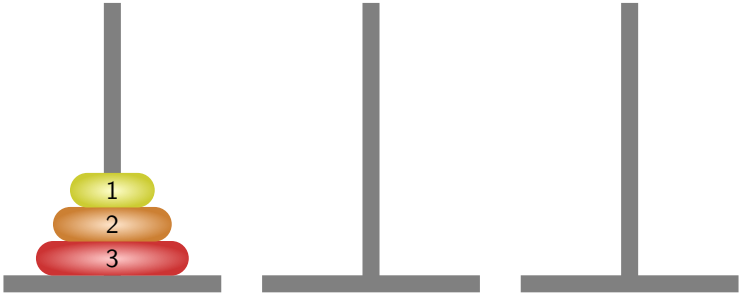
- Příkaz pro výpis obsahu souborů.

```
for i in numbers.txt numbers-r.txt numbers-rr.txt; do echo "$i"; cat $i;
    echo ""; done
```

- Výpis obsahu souborů.

```
numbers.txt
10 4 20 8 8 5 18 6 7 7
numbers-r.txt
  7   7   6  18   5   8   8  20   4  10

numbers-rr.txt
 10   4  20   8   8   5  18   6   7   7
```

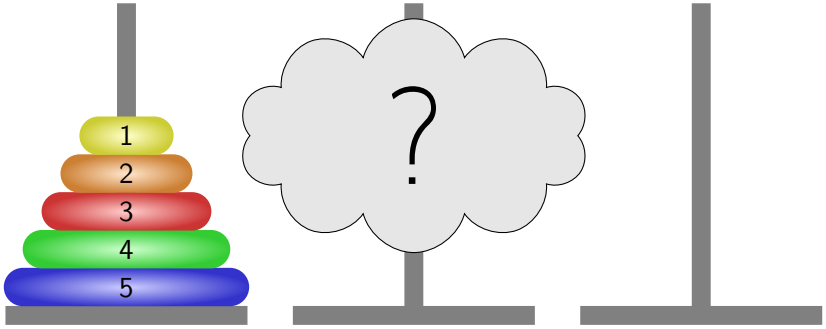
Příklad Hanojské věže



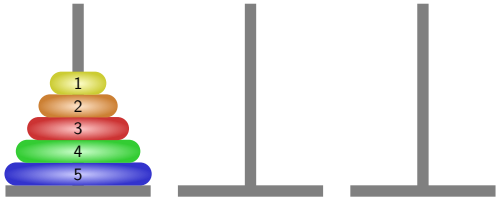
- Přemístit disky na druhou jehlu s použitím třetí (pomocné) jehly za dodržení následujících pravidel.
  1. V každém kroku můžeme přemístit pouze jeden disk a to vždy z jehly na jehlu.

     Disky nelze odkládat mimo jehly.
  2. Položit větší disk na menší není dovoleno.

Hanojské věže – 5 disků



Návrh řešení



- Zavedeme abstraktní příkaz **moveTower(n, 1, 2, 3)** realizující přesun n disků z jehly 1 na jehlu 2 s použitím jehly 3.
- Pro $n > 0$ můžeme příkaz rozložit na tři jednodušší příkazy:
  1. **moveTower(n-1, 1, 3, 2)**; Přesun $n-1$ disků z jehly 1 na jehlu 3.
  2. „*přenes disk z jehly na jehlu 2*“; *Přesun největšího disku na cílovou pozici.*
  3. ***moveTower(n-1, 3, 2, 1)***; *Přesun $n-1$ disků na cílovou pozici.*

abstraktní příkaz

Příklad řešení

```
1  void moveTower(int n, int from, int to, int tmp)
2  {
3     if (n > 0) {
4        moveTower(n-1, from, tmp, to); //move to tmp
5        printf("Move disc from %i to %i\n", from, to);
6        moveTower(n-1, tmp, to, from); //move from tmp
7     }
8  }
9
10 int main(int argc, char *argv[])
11 {
12    int numberOfDiscs = argc > 1 ? atoi(argv[1]) : 5;
13    moveTower(numberOfDiscs, 1, 2, 3);
14    return 0;
15 }
```

lec07/demo-towers_of_hanoi.c

Příklad výpisu

- lec07/demo-towers_of_hanoi.c

```
clang demo-towers_of_hanoi.c
./a.out 3
Move disc from 1 to 2
Move disc from 1 to 3
Move disc from 2 to 3
Move disc from 1 to 2
Move disc from 3 to 1
Move disc from 3 to 2
Move disc from 1 to 2
```

```
clang demo-towers_of_hanoi.c
./a.out 4
Move disc from 1 to 3
Move disc from 1 to 2
Move disc from 3 to 2
Move disc from 1 to 3
Move disc from 2 to 1
Move disc from 2 to 3
Move disc from 1 to 3
Move disc from 1 to 2
Move disc from 3 to 2
Move disc from 3 to 1
Move disc from 2 to 1
Move disc from 3 to 2
Move disc from 1 to 3
Move disc from 1 to 2
Move disc from 3 to 2
```

Rekurzivní algoritmy

- Rekurzivní funkce jsou přímou realizací rekurzivních algoritmů.
- Rekurzivní algoritmus předepisuje výpočet „**shora dolů**“.
- V závislosti na velikosti vstupních dat je výpočet předepsán:
  - Pro nejmenší (nejjednodušší) vstup je výpočet předepsán přímo;
  - Pro obecný vstup je výpočet předepsán s využitím téhož algoritmu pro menší vstup.
- Výhodou rekurzivních funkcí je jednoduchost a přehlednost.

Rekurzivní vs iteračními algoritmy

- Nevýhodou rekurzivních algoritmů může být časová náročnost způsobená např. zbytečným opakováním výpočtu.
- Řadu rekurzivních algoritmů lze nahradit iteračními, které počítají výsledek „**zdola nahoru**“, tj. od menších (jednodušších) vstupních dat k větším (složitějším).
- Pokud algoritmus výpočtu „**zdola nahoru**“ nenajdeme, např. při řešení problému Hanojských věží, lze rekurzi odstranit využitím zásobníku.

Např. zásobník využijeme pro uložení stavu řešení problému.

Rekurze

"To iterate is human, to recurse divine."

L. Peter Deutsch

http://www.devtopics.com/101-great-computer-programming-quotes

Elegance vs obtížnost rekurze

I've often heard people describe understanding recursion as one of those "got it" moments, when the universe opened its secret stores of knowledge and gifted the mind of a burgeoning developer with a very powerful tool. For me, recursion has always been hard. Each time I'm able to peer more into its murky depths, I am humbled to see how little I feel like I really appreciate and understand its power and elegance.

Rick Winfrey, 2012

http://selfless-singleton.rickwinfrey.com/2012/11/27/to-iterate-is-human-to-recurse-divine

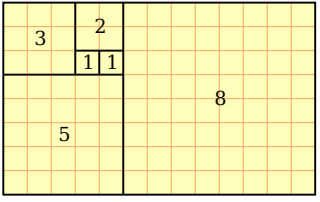
Fibonacciho posloupnost

- 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, ...

Nebo 0, 1, 1, 2, 3, 5, ...

- $F_n = F_{n-1} + F_{n-2}$
- pro $F_1 = 1$, $F_2 = 1$

Nebo $F_1 = 0, F_2 = 1$



- Nekonečná posloupnost přirozených čísel, kde každé číslo je součtem dvou předchozích.
- Limita poměru dvou následujících čísel Fibonacciho posloupnosti je rovna zlatému řezu.
  - Sectio aurea – ideální poměr mezi různými délkami.
  - Rozdělení úsečky na dvě části tak, že poměr větší části ku menší je stejný jako poměr celé úsečky k větší části $\varphi = \frac{1+\sqrt{5}}{2} \approx 1{,}618\ 033\ 988\ 749\ 894\ 848\ \ldots$

Fibonacciho posloupnost – historie

- Indičtí matematici (450 nebo 200 BC).
- Leonardo Pisano (1175–1250) popis růstu populace králíků.

  Italský matematik známý také jako Fibonacci.

  - F_n – velikost populace po n měsících za následujících předpokladů.
    - První měsíc se narodí jediný pár.
    - Narozené páry jsou produktivní od 2. měsíce svého života.
    - Každý měsíc zplodí každý produktivní pár jeden další pár.
    - Králíci nikdy neumírají, nejsou nemocní atd.
- Henry E. Dudeney (1857–1930) – popis populace krav.
  - „Jestliže každá kráva vyprodukuje své první tele (jalovici) za rok a poté každý rok jednu další jalovici, kolik budete mít krav za 12 let, jestliže žádná nezemře a na počátku budete mít jednu krávu?“

    Po 12 let je k dispozici jeden či více býků.

Fibonacciho posloupnost – rekurzivně

- Platí:

$$f_0 = 1$$
$$f_1 = 1$$
$$f_n = f_{n-1} + f_{n-2}, \text{ pro } n > 1$$

```
1 int fibonacci(int n) {
2    return n < 2
3       ? 1
4       : fibonacci(n - 1) + fibonacci(n - 2);
5 }
```

Zápis je elegantní, jak je však takový výpočet efektivní?

Fibonacciho posloupnost – příklad 1/2

- Počet operací při výpočtu Fibonacciho čísla n.

```
1  long counter; // store number of indiviual operations

3  long fibonnaciRecursive(int n) {
4     counter += 1; // jedno porovnání
5     return n < 2 ? 1l : fibonnaciRecursive(n - 1) + fibonnaciRecursive(n - 2);
6  }

8  long fibonnaciIterative(int n) {
9     long fibM2 = 1l;
10    long fibM1 = 1l;
11    long fib = 1l;
12    for (int i = 2; i <= n; ++i) {
13       fibM2 = fibM1;
14       fibM1 = fib;
15       fib = fibM1 + fibM2;
16       counter += 3; // dvě přiřazení, jeden součet
17    }
18    return fib;
19 }
```

lec07/demo-fibonacci.c

Fibonacciho posloupnost – rekurzivně 2/2

```c
int main(int argc, char *argv[])
{
    int n = argc > 1 ? atoi(argv[1]) : 25;
    counter = 0; // reset counter
    long fibR = fibonnaciRecursive(n);
    long counterR = counter;

    counter = 0; // reset counter
    long fibI = fibonnaciIterative(n);
    long counterI = counter;

    printf("Fibonacci number recursive: %li\n", fibR);
    printf("Fibonacci number iteration: %li\n", fibI);
    printf("Counter recursive: %li\n", counterR);
    printf("Counter iteration: %li\n", counterI);

    return 0;
}
```

lec07/demo-fibonacci.c

```
$ clang demo-fibonacci.c && ./a.out 30
Fibonacci number recursive: 1346269
Fibonacci number iteration: 1346269
Counter recursive: 2692537
Counter iteration: 87
```

Fibonacciho posloupnost – rekurzivně vs iteračně

- Rekurzivní výpočet:
  - Složitost roste exponenciálně s $n \sim 2^n$.
- Iterační algoritmus:
  - Počet operací je proporcionální $n \sim 3n$.

`lec07/demo-fibonacci-stats.c`, `lec07/fibonacci.sh`

- Skutečný počet operací závisí na konkrétní implementaci, programovacím jazyku, překladači a hardware.
- Složitost algoritmů proto vyjadřujeme asymptoticky jako funkci velikosti vstupu.
  - Například v tzv. „Big O“ notaci:
    - rekurzivní algoritmus výpočtu má složitost $O(2^n)$;
    - iterační algoritmus výpočtu má složitost $O(n)$.

Efektivní algoritmy mají polynomiální složitost.

Vsuvka – Vykreslení grafu

- Jednoduchou úpravou vypíšeme počty operací na řádek.

```
printf("%u\t%6.3e\t%6.3e\n", n,
 (double)counterR, (double)counterI);
```

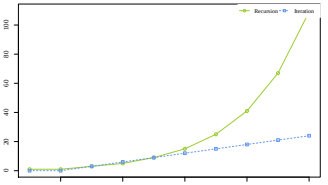
lec07/demo-fibonacci-stats.c

- Program zkompilujeme a spustíme.
  clang demo-fibonacci-stats.c

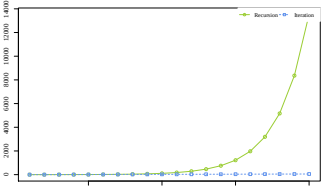
```
$ ./a.out 10 > fibonacci.dat &&
$ ./fibonacci.sh fibonacci.dat fibonacci-n10.pdf

$ ./a.out 20 > fibonacci.dat &&
$ ./fibonacci.sh fibonacci.dat fibonacci-n20.pdf
```

Přesměrovaný standardní výstup do souboru fibonacci.dat představuje tabulku hodnot, která je vykreslena do grafu skriptem fibonacci.sh s využitím nástroje **R** – https://www.r-project.org/.

lec07/demo-fibonacci-stats.c, lec07/fibonacci.sh



fibonacci-n10.pdf



fibonacci-n20.pdf

Vsuvka – Kompilace s optimalizací

- Můžeme rekurzivní výpočet urychlit kompilací s optimalizacemi kódu?

```
$ clang demo-fibonacci.c && time ./a.
    out 50
Fibonacci number recursive:
    20365011074
Fibonacci number iteration:
    20365011074
Counter recursive: 40730022147
Counter iteration: 147

real    1m35.912s
user    1m35.824s
sys     0m0.000s
```

```
$ clang -O2 -march=native demo-fibonacci.c && time ./a
   .out 50
Fibonacci number recursive:
    20365011074
Fibonacci number iteration:
    20365011074
Counter recursive:
    40730022147
Counter iteration: 147

real    1m16.042s
user    1m15.968s
sys     0m0.008s
```

- Ano, můžeme. V tomto případě je však zrychlení zanedbatelné.
- V tomto případě je rozhodující asymptotická složitost $O(2^n)$ vs $O(n)$.

Obecně se pro odladěné a výpočetně náročné programy vyplatí kompilovat s optimalizací. Nárust výkonů může být i několikanásobný.

Část III

Část 2 – Zadání 7. domácího úkolu (HW07)

Zadání 7. domácího úkolu HW07

Téma: **Hledání textu v souborech**

Povinné zadání: **3b**; Volitelné zadání: **3b**; Bonusové zadání: není

- **Motivace**: Dekomponovat výpočetní úlohu na dílčí výpočetní kroky.
- **Cíl**: Osvojit si práci se soubory.
- **Zadání**: `https://cw.fel.cvut.cz/wiki/courses/b0b36prp/hw/hw07`
  - Zpracování vstupu po řádcích a detekce textového řetězce ve vstupním souboru.
  - Volitelné zadání rozšiřuje úlohu o zpracování tří základních kvantifikátorů regulárních výrazů (pouze pro předcházející znak).
    - Znaky pro kvantifikátory: ?, *, +.
- Termín odevzdání: 07.12.2024, 23:59:59 PST.

Shrnutí přednášky

Diskutovaná témata

- Standardní knihovny C
- Čtení a ukládání z/do souboru
- Ošetření chybových stavů - `assert()`, `errno`, `setjmp()`, `longjmp()`
- Rekurze a rekurzivní řešení problémů
- Kompilace programu s optimalizacemi

- Příště: Spojové struktury.

Část V

Appendix

Kódovací příklad – Ne úplně čitelné použití goto

- Použití goto souvisí zejména s čitelností kódu, můžeje jej využít reakci na návratové hodnoty.

```c
#include <stdio.h>

int main(void)
{
   int c = getchar();
   if (c >= '0' && c <= '9') {
      goto print_digit;
   }
   goto print_error;
print_digit:
   printf("User input '%c' that has ASCII code value %d\n", c, c);
   goto leave;
print_error:
   fprintf(stderr, "ERROR: Expected input value is '0'--'9'\n");
leave:
   return 0;
}
```

Low Level Learning:why is it illegal to use "goto"?

- Uvedený příklad je funkční, ale načitelnosti úplně nepřidává.

V našem případě se plně obejdeme bez goto, obecně ale může být jeho použití užitečné, např. pokud testujeme postupně volání funkcí.

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
```

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"
```

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
   }
}
```

record.c

Kódovací příklad – struct 3/3

```c
static unsigned short get_max_number(unsigned int digits)
{
   unsigned int number = 1;
   assert(sizeof(short) < sizeof(int));// 16 vs.  32?
   for (unsigned int i = 0; i < digits; ++i) {
      number *= 10;
   }
   assert(number <= USHRT_MAX); // short
   return number - 1;
}

static void fill_record_number(unsigned short n, int
    digits, char *number)
{ //number needs to be at least digits large
  for (int i = digits - 1; i >= 0; --i) {
     number[i] = (n % 10) + '0';
     n = n / 10;
  }
}
```

record.c

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

record.c

```c
unsigned int fill_numbers(struct record * const records)
{
   struct record *cur = records;
   unsigned short n = 0;
   const short max_number = get_max_number(NUMBER_DIGITS);

   while (cur && cur->username[0]) {
      assert(n <= max_number); // Vyplňujeme programově
      fill_record_number(n, NUMBER_DIGITS, cur->number);
      n += 1;
      cur += 1;
   }
   return n;
}
```

record.c

- V programu máme snahu testovat velikost paměťové reprezentace.
- 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;
};
```

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;
```

load_struct.c

```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;
}
```

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
```

- Načtení bloku dat funkcí `fread()`.

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;
   }
}
```