

Standardní knihovny C. Rekurze.

Jan Faigl

Katedra počítačů
Fakulta elektrotechnická
České vysoké učení technické v Praze

Přednáška 07

B0B36PRP – Procedurální programování

Jan Faigl, 2016 B0B36PRP – Přednáška 07: Standardní knihovny C. Rekurze. 1 / 52

Standardní knihovny Práce se soubory Zpracování chyb

Standardní knihovny

- Jazyk C sám osobě neobsahuje prostředky pro vstup/výstup dat, složitější matematické operace ani:
 - práci s 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, definice typů, makra a konstanty a vkládají se do zdrojových souborů příkazem preprocesoru `#include <jmeno_knihovny.h>`

Např. `#include <stdio.h>`

Jan Faigl, 2016 B0B36PRP – Přednáška 07: Standardní knihovny C. Rekurze. 5 / 52

Standardní knihovny Práce se soubory Zpracování chyb

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 sekvencně
 - Se soubory se pracuje jako s proudem dat — postupně 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 souboru, např. `"r+"` pro otevření souboru pro čtení i zápis
viz `man fopen`

Jan Faigl, 2016 B0B36PRP – Přednáška 07: Standardní knihovny C. Rekurze. 9 / 52

Přehled témat

- Část 1 – Standardní knihovny, čtení/zápis ze/do souboru
Standardní knihovny
Práce se soubory *S. G. Kochan: kapitola 16, Appendix B*
Zpracování chyb *P. Herout: kapitola 6*
Popis knihovních funkcí je ve 2. díle
- Část 2 – Rekurze
Faktoriál
Obrácený výpis
Hanojské věže
Rekurze
Fibonacciho posloupnost
- Část 3 – Zadání 7. domácího úkolu (HW07)

Jan Faigl, 2016 B0B36PRP – Přednáška 07: Standardní knihovny C. Rekurze. 2 / 52

Standardní knihovny Práce se soubory Zpracování chyb

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

Jan Faigl, 2016 B0B36PRP – Přednáška 07: Standardní knihovny C. Rekurze. 6 / 52

Standardní knihovny Práce se soubory Zpracování chyb

Testování – otevření/zavření souboru

- Testování otevření souboru

```
1 char *fname = "file.txt";
2
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);`

Jan Faigl, 2016 B0B36PRP – Přednáška 07: Standardní knihovny C. Rekurze. 10 / 52

Standardní knihovny Práce se soubory Zpracování chyb

Část I

Část 1 – Standardní knihovny, čtení/zápis ze souboru

Jan Faigl, 2016 B0B36PRP – Přednáška 07: Standardní knihovny C. Rekurze. 3 / 52


Standardní knihovny Práce se soubory Zpracování chyb

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**



Jan Faigl, 2016 B0B36PRP – Přednáška 07: Standardní knihovny C. Rekurze. 7 / 52

Standardní knihovny Práce se soubory Zpracování chyb

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,
4         c);
5     count++;
6 }
```

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()`

Jan Faigl, 2016 B0B36PRP – Přednáška 07: Standardní knihovny C. Rekurze. 11 / 52

Část II

Část 2 – Rekurze

Příklad výpis posloupnosti 2/3

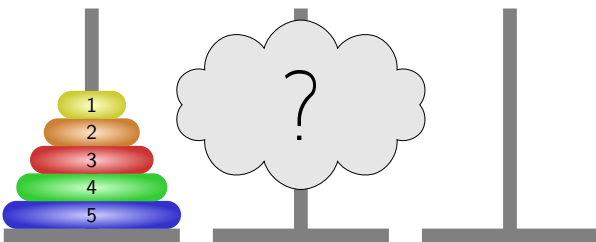
```

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

```

lec07/demo-revert_sequence.c

Hanojské věže – 5 disků



Výpočet faktoriálu

- Iterace $n! = n(n-1)(n-2) \dots 2 \cdot 1$
- Rekurze $n! = 1$ pro $n \leq 1$
 $n! = n(n-1)!$ pro $n > 1$

```

int factorialI(int n)
{
    int f = 1;
    for (; n > 1; --n) {
        f *= n;
    }
    return f;
}

int factorialR(int n)
{
    int f = 1;
    if (n > 1) {
        f = n * factorialR(n-1);
    }
    return f;
}

```

lec07/demo-factorial.c

Příklad výpis posloupnosti 3/3

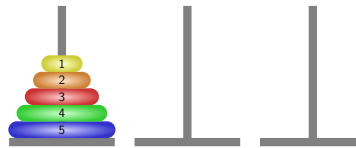
- lec07/demo-revert_sequence.c
- Vytvoření posloupnosti

```
./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
```

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
 - `moveTower(n-1, 1, 3, 2)`
přesun $n-1$ disků z jehly 1 na jehlu 3
 - „přenes disk z jehly na jehlu 2“
přesun největšího disku na cílovou pozici
abstraktní příkaz
 - `moveTower(n-1, 3, 2, 1)`
přesun $n-1$ disků na cílovou pozici

Příklad výpis posloupnosti 1/3

- Vytvořte program, který přečte posloupnost čísel a vypíše ji v opačném pořadí
- Rozklad problému:
 - Zavedeme abstraktní příkaz: „*obrat posloupnost*“
 - Příkaz rozložíme do tří kroků:
 - Přečti číslo
číslo uložíme pro pozdější „obrácený“ výpis
 - Pokud není detekován konec posloupnost „*obrat posloupnost*“
pokračujeme ve čtení čísel
 - Vypiš číslo
vypíšeme uložené číslo

Příklad Hanojské věže



- Přemístit disky na druhou jehlu s použitím třetí (pomocné) jehly za dodržení pravidel:
 - V každém kroku můžeme přemístit pouze jeden disk a to vždy z jehly na jehlu
Disky nelze odkládat mimo jehly
 - Položit větší disk na menší není dovoleno

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 3
Move disc from 1 to 3
Move disc from 1 to 2
Move disc from 3 to 2
Move disc from 1 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
Move disc from 3 to 1
```

Rekurze

“To iterate is human, to recurse divine.”

L. Peter Deutsch

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

Fibonacciho posloupnost – historie

- Indičtí matematici (450 nebo 200 BC)
- Leonardo Pisano (1175–1250) popis růstu populace králiků
 - italský matematik známý také jako Fibonacci
 - F_n – velikost populace po n měsících za předpokladu
 - První měsíc se narodí jediný pár.
 - Narozené páry jsou produktivní od 2. měsíce svého života.
 - Každý měsíc zplodí každý produktivní pár jeden další pár.
 - Králici 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

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

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 – 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?

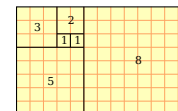
## Rekurzivní vs iteračními algoritmy

- 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 rekurzivitu odstranit pomocí zásobníku.

Např. zásobník využijeme pro uložení stavu řešení problému.

## 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**.
  - Secio 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
  - $\varphi = \frac{1+\sqrt{5}}{2} \approx 1,618\ 033\ 988\ 749\ 894\ 848\ \dots$

## Fibonacciho posloupnost – příklad 1/2

- Počet operací při výpočtu Fibonacciho čísla  $n$
- ```
1 long counter; // store number of individual operations
2
3 long fibonacciRecursive(int n) {
4     counter += 1; // jedno porovnání
5     return n < 2 ? 1 : fibonacciRecursive(n - 1) +
6         fibonacciRecursive(n - 2);
7 }
8 long fibonacciIterative(int n) {
9     long fibM2 = 1;
10    long fibM1 = 1;
11    long fib = 1;
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

```

1 int main(int argc, char *argv[])
2 {
3     int n = argc > 1 ? atoi(argv[1]) : 25;
4     counter = 0; // reset counter
5     long fibR = fibonacciRecursive(n);
6     long counterR = counter;
7
8     counter = 0; // reset counter
9     long fibI = fibonacciIterative(n);
10    long counterI = counter;
11
12    printf("Fibonacci number recursive: %li\n", fibR);
13    printf("Fibonacci number iteration: %li\n", fibI);
14    printf("Counter recursive: %li\n", counterR);
15    printf("Counter iteration: %li\n", counterI);
16
17    return 0;
18 }

```

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

```

Vsuvka – Kompilace s optimalizací

- Můžeme rekurzivní výpočet urychlit kompilací s optimalizací kódu?

clang demo-fibonacci.c && time ./a.out 50	clang -O2 -march=native demo-fibonacci.c && time ./a.out 50
Fibonacci number recursive: 20365011074	Fibonacci number recursive: 20365011074
Fibonacci number iteration: 20365011074	Fibonacci number iteration: 20365011074
Counter recursive: 40730022147	Counter recursive: 40730022147
Counter iteration: 147	Counter iteration: 147
real 1m35.912s	real 1m16.042s
user 1m35.824s	user 1m15.968s
sys 0m0.000s	sys 0m0.008s

- Ano, můžeme, ale pouze zanedbatelně
- 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. Nárůst výkonů může být i několikanásobný.

Shrnutí přednášky

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

Část III

Část 2 – Zadání 7. domácího úkolu (HW07)

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 optimalizací
- Příště: Spojové struktury.

Vsuvka – Vykreslení grafu

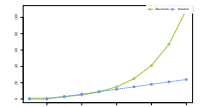
- Jednoduchou úpravou vypíšeme počty operací na řádek


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

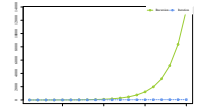
lec07/demo-fibonacci-stats.c
 - Program zkompilujeme a spustíme


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



fibonacci-n10.pdf



fibonacci-n20.pdf

Přeměřovaný 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/>

Zadání 7. domácího úkolu HW07

Téma: Lámání hesla

Povinné zadání: **5b**; Volitelné zadání: **3b**; Bonusové zadání: *není*

- **Motivace:** Dekomponovat výpočetní úlohu na dílčí výpočetní kroky
- **Cíl:** Osvojit si využití rekurze ve výpočetní úloze
- **Zadání:** <https://cw.fel.cvut.cz/wiki/courses/b0b36prp/hw/hw07>
 - Systematické generování možností hesla na základě zadané vstupní abecedy
 - **Volitelné zadání** rozšiřuje úlohu o iterativní zkoušení generovaných hesel pro otevření zámku (přihlášení heslem). V případě očekávaného systematického generování možných hesel lze určit počet pokusů pro otevření. Správný program tak nepotřebuje více než toliko pokusů.
- **Termín odevzdání:** 10.12.2016, 23:59:59 PST