

# 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 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`
  - Hlavičkové soubory – obsahují prototypy funkcí, definice typů, makra a konstanty a vkládají se do zdrojových souborů příkazem `preprocessor #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 `FILE *f`;
- Otevření souboru
  - `FILE *fopen(char *filename, char *mode);`
- Práce s binárními i textovými soubory
- Soubory jsou čteny/zapisovány sekvenčně
  - Se soubory se pracuje jako s proudem dat
  - 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,
  - `"w"` – režim zápisu

*Vytvoří soubor, pokud neexistuje, jinak smaže obsah souboru*

  - `"a"` – režim přidávání do souboru

*Kurzor je nastaven na konec souboru*
- Můžeme otevřít s příznakem `+`, 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

## Formátované čtení ze 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

Jan Faigl, 2016

B0B36PRP – Přednáška 07: Standardní knihovny C. Rekurze

12 / 52

Standardní knihovny

Práce se soubory

Zpracování chyb

## Binární čtení/zápis z/do souboru

- 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 bajtů

- Pokud došlo k chybě nebo detekci konce souboru funkce vrací menší než očekávaný počet bajtů

Jan Faigl, 2016

B0B36PRP – Přednáška 07: Standardní knihovny C. Rekurze

15 / 52

Standardní knihovny

Práce se soubory

Zpracování chyb

Testovací makro `assert`

- Do kódu lze přidat podmínky na nutné hodnoty proměnných

- Testovat můžeme makrem `assert(expr)` z knihovny `assert.h`

- Pokud není `expr` program se ukončí a vypíše jméno zdrojového souboru a číslo řádku.

- Makro vloží příslušný kód do programu

*Získáme tak relativně jednoduchý způsob indikace případné chyby, např. nevhodným argumentem funkce*

- Vložení makra lze zabránit kompilací s definováním makra `NDEBUG`

man assert

- Příklad

```
#include <stdio.h>
#include <assert.h>

int main(int argc, char *argv[])
{
    assert(argc > 1);
    printf("program argc: %d\n", argc);
    return 0;
}
```

lec07/assert.c

Jan Faigl, 2016

B0B36PRP – Přednáška 07: Standardní knihovny C. Rekurze

19 / 52

Standardní knihovny

Práce se soubory

Zpracování chyb

## Zápis do souboru

- Zápis po znaku – `int putc(int c, FILE *file);`

- Formátovaný výstup `int fprintf(FILE *file, const *format, ...);`

```
int main(int argc, char *argv[])
{
    char *fname = argc > 1 ? argv[1] : "out.txt";
    FILE *f;
    if ((f = fopen(fname, "w")) == NULL) {
        fprintf(stderr, "Error: Open file '%s'\n", fname);
        return -1;
    }
    fprintf(f, "Program arguments argc: %d\n", argc);
    for(int i = 0; i < argc; ++i) {
        fprintf(f, "argv[%d]='%s'\n", i, argv[i]);
    }
    if (fclose(f) == EOF) {
        fprintf(stderr, "Error: Close file '%s'\n", fname);
        return -1;
    }
    return 0;
}
```

lec07/file\_printf.c

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

Jan Faigl, 2016

B0B36PRP – Přednáška 07: Standardní knihovny C. Rekurze

13 / 52

Standardní knihovny

Práce se soubory

Zpracování chyb

## 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);
```

Jan Faigl, 2016

B0B36PRP – Přednáška 07: Standardní knihovny C. Rekurze

17 / 52

Standardní knihovny

Práce se soubory

Zpracování chyb

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

Jan Faigl, 2016

B0B36PRP – Přednáška 07: Standardní knihovny C. Rekurze

20 / 52

Standardní knihovny

Práce se soubory

Zpracování chyb

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);
```

Jan Faigl, 2016

B0B36PRP – Přednáška 07: Standardní knihovny C. Rekurze

14 / 52

Standardní knihovny

Práce se soubory

Zpracování chyb

Příklad použití `errno`

- Otevření souboru

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <errno.h>
3 #include <string.h>
4
5 int main(int argc, char *argv[]) {
6     FILE *f = fopen("soubor.txt", "r");
7     if (f == NULL) {
8         int r = errno;
9         printf("Open file failed errno value %d\n", errno);
10        printf("String error '%s'\n", strerror(r));
11    }
12    return 0;
13 }
```

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'
```

Jan Faigl, 2016

B0B36PRP – Přednáška 07: Standardní knihovny C. Rekurze

18 / 52

Standardní knihovny

Práce se soubory

Zpracování 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`

*Kombinací `setjmp` a `longjmp` lze využít pro implementaci ošetření výjimečných stavů podobně jako `try-catch`*

```
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     x = compute(x, y);
7     return 0;
8 } else {
9     error_handler();
10    return -1;
11 }
```

Informační

Jan Faigl, 2016

B0B36PRP – Přednáška 07: Standardní knihovny C. Rekurze

21 / 52

Standardní knihovny

Práce se soubory

Zpracování chyb

## Část II

### Část 2 – Rekurze

### 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 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 výpis posloupnosti 2/3

```
void reverse()
{
    int v;
    if (scanf("%i", &v) == 1) {
        reverse();
        printf("%3d ", v);
    }
}

int main(void)
{
    fprintf(stderr, "Enter a sequence of numbers (use
    ctr+D for the end of the the sequence)\n");
    reverse();
    return 0;
}

lec07/demo-revert_sequence.c
```

### Příklad výpis posloupnosti 3/3

- lec07/demo-revert\_sequence.c
- Vytvoření posloupností
 

```
./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
 

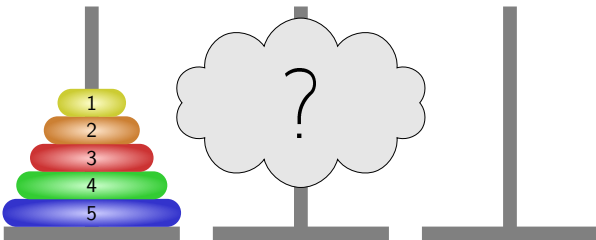
```
numbers.txt
10 4 20 8 8 5 18 6 7 7
numbers-r.txt
7 7 6 18 5 8 8 20 4 10
numbers-rr.txt
10 4 20 8 8 5 18 6 7 7
```

### Příklad Hanojské věže

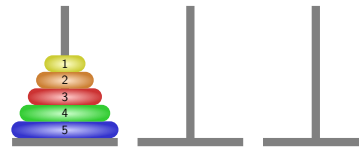


- Přemístit disky na druhou jehlu s použitím třetí (pomocné) jehly za dodržení pravidel:
  - V každém kroku můžeme přemístit pouze jeden disk a to vždy z jehly na jehlu Disky nelze odkládat mimo jehly
  - Položit větší disk na menší není dovoleno

### 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
  - `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 řešení

```
void moveTower(int n, int from, int to, int tmp)
{
    if (n > 0) {
        moveTower(n-1, from, tmp, to); //move to tmp
        printf("Move disc from %i to %i\n", from, to);
        moveTower(n-1, tmp, to, from); //move from tmp
    }
}

int main(int argc, char *argv[])
{
    int numberOfDiscs = argc > 1 ? atoi(argv[1]) : 5;
    moveTower(numberOfDiscs, 1, 2, 3);
    return 0;
}

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 1 to 2
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 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
```

## Rekurse

*“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 králíků
  - 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.
    - 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

## Rekuzivní algoritmy

- Rekuzivní funkce jsou přímou realizací rekuzivních algoritmů
- Rekuzivní algoritmus předepisuje výpočet „**shora dolů**“ v závislosti na velikosti vstupních dat
  - Pro nejmenší (nejjednodušší) vstup je výpočet předepsán přímo
  - Pro obecný vstup je výpočet předepsán s využitím téhož algoritmu pro menší vstup
- Výhodou rekuzivních 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 – rekuzivně

- 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?

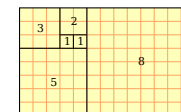
## Rekuzivní vs iteračními algoritmy

- Nevýhodou rekuzivních algoritmů může být časová náročnost způsobená např. zbytečným opakováním výpočtu
- Řadu rekuzivních 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 rekuzivitu 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**.
  - 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
  - $\varphi = \frac{1+\sqrt{5}}{2} \approx 1,618\ 033\ 988\ 749\ 894\ 848\ \dots$

## Fibonacciho posloupnost – příklad 1/2

- Počet operací při výpočtu Fibonacciho čísla  $n$
- ```
1 long counter; // store number of individual operations
2
3 long fibonaciRecursive(int n) {
4     counter += 1; // jedno porovnání
5     return n < 2 ? 1 : fibonaciRecursive(n - 1) +
6         fibonaciRecursive(n - 2);
7 }
8 long fibonaciIterative(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 u rychlit 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*

## Vsuvka – Vykreslení grafu

- Jednoduchou úpravou vypíšeme počty operací na řádek
 

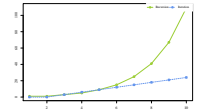
```
printf("%u\t%6.3e\t%6.3e\n", n, (double)counterR, (double)counterI);
```

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

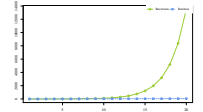
```
clang demo-fibonacci-stats.c
```

  - `./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

- **Termín odevzdání: 10.12.2016, 23:59:59 PST**
- PST – Pacific Standard Time*

## 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: Spojivé struktury.**