Řídicí struktury, výrazy a funkce

Jan Faigl

Katedra počítačů
Fakulta elektrotechnická
České vysoké učení technické v Praze

Přednáška 03

BAB36PRGA – Programování v C

Přehled témat

- Část 1 – Řídicí struktury

  Příkaz a složený příkaz

  Příkazy řízení běhu programu

  Konečnost cyklu

  S. G. Kochan: kapitoly 5 a 6

- Část 2 – Výrazy

  Výrazy a operátory

  Přiřazení

  S. G. Kochan: kapitola 4, 12

- Část 3 – Zadání 3. domácího úkolu (HW3)

Část I

Řídicí struktury

Příkaz a složený příkaz (blok)

- Příkaz je výraz zakončený středníkem.

  Příkaz tvořený pouze středníkem je prázdný příkaz.

- Blok je tvořen seznamem definic proměnných a příkazů.
- Uvnitř bloku, definice proměnných zpravidla předchází příkazům.

  Záleží na standardu jazyka, platí pro ANSI C (C89, C90).

- Začátek a konec bloku je vymezen složenými závorkami { a }.
- Bloky mohou být vnořené do jiného bloku.

```
void function(void)
{ /* function block start */
   {/* inner block */
      for (i = 0; i < 10; ++i)
      {
      //inner for-loop block
      }
   }
}
```

```
void function(void) { /* function block start */
   { /* inner block */
      for (int i = 0; i < 10; ++i) {
      //inner for-loop block
      }
   }
}
```

Různé kódovací konvence.

Srozumitelnost, čitelnost kódu - kódovací konvence a styl (čistota kódu)

- Konvence a styl je důležitý, protože podporuje přehlednost a čitelnost.

https://www.gnu.org/prep/standards/html_node/Writing-C.html

- Formátování patří k úplným základům. *Nastavte si automatické formátování v textovém editoru.*
- Volba výstižného jména identifikátorů podporuje čitelnost.

Co může být jasné nyní, za pár dní či měsíců může být jinak.

- Cvičte se v kódovací konvenci a zvoleném stylu i za cenu zdánlivě pomalejšího zápisu kódu. Přehlednost je důležitá, zvláště pokud hledáte chybu.

Nezřídka je užitečné nebát se začít úplně znovu a lépe.

- Doporučená konvence v rámci PRGA

```
1 void function(void)
2 { /* function block start */
3    for (int i = 0; i < 10; ++i) {
4       //inner for-loop block
5       if (i == 5) {
6          break;
7       }
8    }
9 }
```

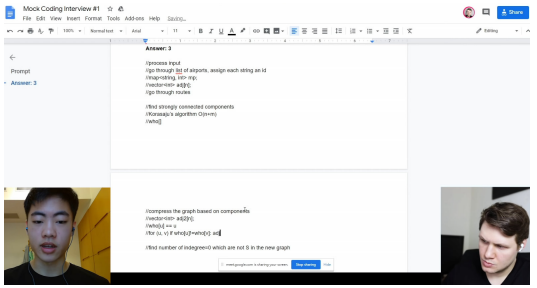
- Pište zdrojové kódy pokud možno anglicky (identifikátory).
- Pro proměnné volte podstatná jména.
- Pro funkce volte slovesa.

Osobní preference přednášejícího: odsazení 3 znaky, mezery místo tabulátoru.

Srozumitelnost a čitelnost kódu - kódovací konvence

- Existují různé kódovací konvence; inspirujte se existujícími doporučeními a čtením reprezentativních kódů.

Clean Code - Uncle Bob / Lesson 1
https://youtu.be/7EmboKQH8lM



Google Coding Interview with a High School Student
https://youtu.be/qz9tKlF431k

http://users.ece.cmu.edu/~eno/coding/CCodingStandard.html;
https://www.doc.ic.ac.uk/lab/cplus/cstyle.html;
http://en.wikipedia.org/wiki/Indent_style;
https://google.github.io/styleguide/cppguide.html;
https://www.kernel.org/doc/Documentation/process/coding-style.rst

Složený příkaz a zanořování 1/2

Čtyři úrovně zanoření.

```
1  int get_sum_of_even_numbers(int from, int to)
2  {
3     if (from < to) {
4        int sum = 0;
5        for (int number = from; number <= to; ++number) {
6           if (number % 2 == 0) {
7              sum += number;
8           }
9        } // end for loop
10       return sum;
11    } else {
12       return 0;
13    }
14 }
```

Mříříme na čitelnější podobu.

```
1  int get_sum_of_even_numbers(int from, int to)
2  {
3     if (from > to) return 0;
4     int sum = 0;
5     for (int number = from; number <= to; ++number) {
6        sum += filter_odd(number);
7     } // end for loop
8     return sum;
9  }
```

Vyjmutí (definice nové funkce).

```
1  int filter_odd(int number);
2
3  int get_sum_of_even_numbers(int from, int to)
4  {
5     if (from < to) {
6        int sum = 0;
7        for (int number = from; number <= to; ++number) {
8           sum += filter_odd(number);
9        } // end for loop
10       return sum;
11    } else {
12       return 0;
13    }
14 }
15
16 int filter_odd(int number)
17 {
18    if (number % 2 == 0) {
19       return number;
20    }
21    return 0;
22 }
```

- Použitím technik vyjmutí a inverze redukujeme počet zanoření. https://youtu.be/CFRhGnuXG-4

Složený příkaz a zanořování 2/2

Inverze (záměna podmínky hodnoty vstupu).

```
1  int filter_odd(int number);
2
3  int get_sum_of_even_numbers(int from, int to)
4  {
5     if (from > to) {
6        return 0;
7     }
8     int sum = 0;
9     for (int number = from; number <= to; ++number) {
10       sum += filter_odd(number);
11    } // end for loop
12    return sum;
13 }
14
15 int filter_odd(int number)
16 {
17    if (number % 2 == 0) {
18       return number;
19    }
20    return 0;
21 }
```

Finální „zkompaktnění".

```
1  int filter_odd(int number);
2
3  int get_sum_of_even_numbers(int from, int to)
4  {
5     if (from > to) return 0;
6
7     int sum = 0;
8     for (int number = from; number <= to; ++number) {
9        sum += filter_odd(number);
10    } // end for loop
11    return sum;
12 }
13
14 int filter_odd(int number)
15 {
16    return (number % 2 == 0) ? number : 0;
17 }
```

- Použitím technik vyjmutí a inverze redukujeme počet zanoření. https://youtu.be/CFRhGnuXG-4

Příkazy řízení běhu programu

- Podmíněné řízení běhu programu
  - Podmíněný příkaz: `if ()` nebo `if () ... else`
  - Programový přepínač: `switch () case ...`
- Cykly
  - `for ()`
  - `while ()`
  - `do ... while ()`
- Nepodmíněné větvení programu
  - `continue`
  - `break`
  - `return`
  - `goto`

Podmíněné větvení – **if**

- `if (vyraz) prikaz1; else prikaz2`
- Je-li hodnota výrazu `vyraz != 0` (`TRUE`), provede se příkaz `prikaz1` jinak `prikaz2`.
- Část `else` je nepovinná.

Příkaz může být blok příkazů.

- Podmíněné příkazy mohou být vnořené a můžeme je řetězit.

```
int max;
if (a > b) {
   if (a > c) {
      max = a;
   }
}
```

```
int max;
if (a > b) {
   ...
} else if (a < c) {
   ...
} else if (a == b) {
   ...
} else {
   ...
}
```

- Příklad zápisu

```
1 if (x < y) {
2    int tmp = x;
3    x = y;
4    y = tmp;
5 }
```

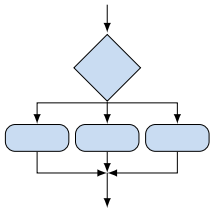
```
1 if (x < y) {
2    min = x;
3    max = y;
4 } else {
5    min = y;
6    max = x;
7 }
```

Jaký je smysl těchto programů?

Příkaz větvení **switch**

- Příkaz **switch** (přepínač) umožňuje větvení programu do více větví na základě různých hodnot výrazu výčtového (celočíselného) typu, jako jsou např. **int**, **char**, **short**, **enum**.
- Základní tvar příkazu.

switch (výraz) {
  case konstanta$_1$: příkazy$_1$; **break;**
  case konstanta$_2$: příkazy$_2$; **break;**
  ...
  case konstanta$_n$: příkazy$_n$; **break;**
  default: příkazy$_{def}$; **break;**
}



kde *konstanty* jsou téhož typu jako *výraz* a *příkazy$_i$* jsou posloupnosti příkazů.

Sémantika: vypočte se hodnota výrazu a provedou se ty příkazy, které jsou označeny konstantou s identickou hodnotou. Není-li vybrána žádná větev, provedou se příkazy$_{def}$ (pokud jsou uvedeny).

Programový přepínač – `switch`

- Přepínač `switch(vyraz)` větví program do *n* směrů.
- Hodnota `vyraz` je porovnávána s *n* konstantními výrazy typu `int` příkazy.

`case konstanta`$_i$`: ...`

- Hodnota `vyraz` musí být celočíselná a hodnoty `konstanta`$_i$ musejí být navzájem různé.
- Pokud je nalezena shoda, program pokračuje od tohoto místa dokud nenajde příkaz `break` nebo konec příkazu `switch`.
- Pokud shoda není nalezena, program pokračuje nepovinnou sekcí `default`.

Sekce `default` se zpravidla uvádí jako poslední.

- Příkazy `switch` mohou být vnořené.

Programový přepínač `switch` – Příklad

```
switch (v) {
   case 'A':
      printf("Upper 'A'\n");
      break;
   case 'a':
      printf("Lower 'a'\n");
      break;
   default:
      printf("It is not 'A' nor 'a'\n");
      break;
}
```

```
if (v == 'A') {
   printf("Upper 'A'\n");
} else if (v == 'a') {
   printf("Lower 'a'\n");
} else {
   printf("It is not 'A' nor 'a'\n");
}
```

lec03/switch.c

Větvení **switch** – pokračování ve vykonávání dalších větví

- Příkaz **break** dynamicky ukončuje větev, pokud jej neuvedeme, pokračuje se v provádění další větve.

Příklad volání více větví

```
1  int part = ?
2  switch(part) {
3     case 1:
4        printf("Branch 1\n");
5        break;
6     case 2:
7        printf("Branch 2\n");
8     case 3:
9        printf("Branch 3\n");
10       break;
11    case 4:
12       printf("Branch 4\n");
13       break;
14    default:
15       printf("Default branch\n");
16       break;
17 }
```

- part ← 1
  Branch 1
- part ← 2
  Branch 2
  Branch 3
- part ← 3
  Branch 3
- part ← 4
  Branch 4
- part ← 5
  Default branch

lec03/demo-switch_break.c

Příklad větvení **switch** vs **if–then–else**

- Napište konverzní program, který podle čísla dnu v týdnu vytiskne na obrazovku jméno dne. Ošetřete případ, kdy bude zadané číslo mimo platný rozsah (1 až 7).

Příklad implementace

```
int day_of_week = 3;

if (day_of_week == 1) {
   printf("Monday");
} else if (day_of_week == 2) {
   printf("Tuesday");
} else ... {
} else if (day_of_week == 7) {
   printf("Sunday");
} else {
   fprintf(stderr, "Invalid
    number");
}
```

```
int day_of_week = 3;
switch (day_of_week) {
   case 1:
      printf("Monday");
      break;
   case 2:
      printf("Tuesday");
      break;
      ...
   case 7:
      printf("Sunday");
      break;
   default:
      fprintf(stderr, "Invalid number");
      break;
}
```

lec03/demo-switch_day_of_week.c

Oba způsoby jsou sice funkční, nicméně elegantněji lze vyřešit úlohu použitím datové struktury pole nebo ještě lépe asociativním polem / hash mapou.

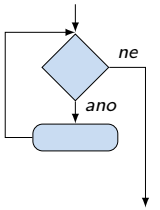
Cykly

- Cyklus **for** a **while** testuje podmínku opakování před vstupem do těla cyklu.
  - **for** – inicializace, podmínka a změna řídicí proměnné.

```
for (int i = 0; i < 5; ++i) {
   ...
}
```

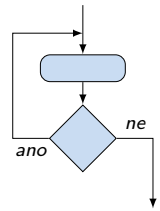
  - **while** – řídicí proměnná v těle cyklu.

```
int i = 0;
while (i < 5) {
   ...
   i += 1;
}
```



- Cyklus **do** testuje podmínku opakování cyklu po prvním provedení cyklu.

```
int i = -1;
do {
   ...
   i += 1;
} while (i < 5);
```



Ekvivalentní provedení pěti cyklů.

Cyklus **while** a **do–while**

- Základní příkaz cyklu **while** má tvar
  while (*podmínka*) `příkaz`.
- Základní příkaz cyklu **do–while** má tvar
  do `příkaz` **while** (*podmínka*).

Příklad

```
q = x;                          q = x;
while (q >= y) {                do {
   q = q - y;                      q = q - y;
}                               } while (q >= y);
```

- Jaká je hodnota proměnné q po skončení cyklu pro hodnoty.
  - $x \leftarrow 10$ a $y \leftarrow 3$

    while: 1, do-while: 1
  - $x \leftarrow 2$ a $y \leftarrow 3$

    while: 2, do-while: -1

lec03/demo-while.c

Cyklus **for**

- Základní příkaz cyklu **for** má tvar
  for (*inicializace*; *podmínka*; *změna*) `příkaz`.
- Odpovídá cyklu while ve tvaru:
  inicializace;
  while (*podmínka*) {
  `příkaz`;
  změna;
  }
- Změnu řídicí proměnné lze zkráceně zapsat operátorem inkrementace nebo dekrementace `++` a `--`.
- Alternativně lze též použít zkrácený zápis přiřazení, např. `+=`.

Příklad

```
for (int i = 0; i < 10; ++i) {
   printf("i: %i\n", i);
}
```


Cyklus `for( ; ; )`

- Příkaz **for** cyklu má tvar `for ([vyraz1]; [vyraz2]; [vyraz3]) prikaz;`
- Cyklus **for** používá řídicí proměnnou a probíhá následovně:
  1. $\texttt{vyraz}_1$ – Inicializace (zpravidla řídicí proměnné);
  2. $\texttt{vyraz}_2$ – Test řídicího výrazu;
  3. Pokud $\texttt{vyraz}_2$ `!=0` provede se `prikaz`, jinak cyklus končí;
  4. $\texttt{vyraz}_3$ – Aktualizace proměnných na konci běhu cyklu;
  5. Opakování cyklu testem řídicího výrazu.
- Výrazy $\texttt{vyraz}_1$ a $\texttt{vyraz}_3$ mohou být libovolného typu.
- Libovolný z výrazů lze vynechat.
- **break** – cyklus lze nuceně opustit příkazem `break`.
- **continue** – část těla cyklu lze vynechat příkazem `continue`.

Příkaz přeruší vykonávání těla (blokového příkazu) pokračuje vyhodnocením $\texttt{vyraz}_3$.

- Při vynechání řídicího výrazu $\texttt{vyraz}_2$ se cyklus bude provádět nepodmíněně.

```
for (;;) {...}
```

Nekonečný cyklus

Příkaz `continue`

- Příkaz návratu na vyhodnocení řídicího výrazu – `continue`.
- Příkaz `continue` lze použít pouze v těle cyklů.
  - `for ()`
  - `while ()`
  - `do...while ()`
- Příkaz `continue` přeruší vykonávání těla cyklu a nové vyhodnocení řídicího výrazu.
- Příklad

```
int i;
for (i = 0; i < 20; ++i) {
   if (i % 2 == 0) {
      continue;
   }
   printf("%d\n", i);
}
```

lec03/continue.c

Předčasné ukončení průchodu cyklu – příkaz **continue**

- Někdy může být užitečné ukončit cyklus v nějakém místě uvnitř těla cyklu.
  - Například ve vnořených **if** příkazech.
- Příkaz **continue** předepisuje ukončení průchodu těla cyklu.

Platnost pouze v těle cyklu!

```c
for (int i = 0; i < 10; ++i) {
   printf("i: %i ", i);
   if (i % 3 != 0) {
      continue;
   }
   printf("\n");
}
```

```
$ clang demo-continue.c
$ ./a.out
i:0
i:1 i:2 i:3
i:4 i:5 i:6
i:7 i:8 i:9
```

lec03/demo-continue.txt

Příkaz break

- Příkaz nuceného ukončení cyklu `break;` lze použít pouze v těle cyklů.
  - `for()`
  - `while()`
  - `do...while()`
- a v těle programového přepínače `switch()`.
- `break` způsobí opuštění těla cyklu nebo těla `switch()`.
- Program pokračuje následujícím příkazem, např.

```c
int i = 10;
while (i > 0) {
   if (i == 5) {
      printf("i reaches 5, leave the loop\n");
      break;
   }
   i--; // nebo -i; nebo i -= 1; nebo i = i - 1;
   printf("End of the while loop i: %d\n", i);
}
```

lec03/break.c

- Z hlediska přehlednosti a čitelnosti je vhodné změnu řídicí proměnné realizovat na konci cyklu.

Předčasné ukončení vykonávání cyklu – příkaz **break**

- Příkaz **break** předepisuje ukončení cyklu.

Program pokračuje následujícím příkazem po cyklu.

```c
for (int i = 0; i < 10; ++i) {
   printf("i: %i ", i);
   if (i % 3 != 0) {
      continue;
   }
   printf("\n");
   if (i > 5) {
      break;
   }
}
```

```
$ clang demo-break.c
$ ./a.out
i:0
i:1 i:2 i:3
i:4 i:5 i:6
```

lec03/demo-break.c

Příkaz goto

- Příkaz nepodmíněného lokálního skoku `goto` předá řízení na místo určené návěstím `navesti` – syntax `goto navesti;`.
- Návěští má tvar `navesti` *příkaz*. *Definice proměnné není příkaz.*
- Příkaz `goto` lze použít pouze v těle funkce a skok je možný pouze rámci jediné funkce.

```c
int test = 3;
for (int i = 0; i < 3; ++i) {
   for (int j = 0; j < 5; ++j) {
      if (j == test) {
         goto loop_out;
      }
      fprintf(stdout, "Loop i: %d j: %d\n", i, j);
   }
}
return 0;
loop_out:
fprintf(stdout, "After loop\n");
return -1;
```

lec03/goto.c

Vnořené cykly

- **break** ukončuje vnitřní cyklus.

```
for (int i = 0; i < 3; ++i) {
   for (int j = 0; j < 3; ++j) {
      printf("i-j: %i-%i\n", i, j);
      if (j == 1) {
         break;
      }
   }
}
```

```
i-j: 0-0
i-j: 0-1
i-j: 1-0
i-j: 1-1
i-j: 2-0
i-j: 2-1
```

- Vnější cyklus můžeme ukončit příkazem `goto`.

```
for (int i = 0; i < 5; ++i) {
   for (int j = 0; j < 3; ++i) {
      printf("i-j: %i-%i\n", i, j);
      if (j == 2) {
         goto outer;
      }
   }
}
outer:
```

```
i-j: 0-0
i-j: 0-1
i-j: 0-2
```

lec03/demo-goto.c

Konečnost cyklů 2/3

- Základní pravidlo pro konečnost cyklu.
  - Provedením těla cyklu se musí změnit hodnota proměnné použité v podmínce ukončení cyklu.

```
for (int i = 0; i < 5; ++i) {
   ...
}
```

- Uvedené pravidlo konečnost cyklu nezaručuje.

```
int i = -1;

while ( i < 0 ) {
   i = i - 1;
}
```

Konečnost cyklu závisí na hodnotě proměnné před vstupem do cyklu.

Konečnost cyklů 1/3

- Konečnost algoritmu – pro přípustná data v konečné době skončí.
- Aby byl algoritmus **konečný** musí každý cyklus v něm uvedený skončit po konečném počtu kroků.
- Jedním z důvodu neukončení programu je zacyklení.
  - Program opakovaně vykoná cyklus, jehož podmínka ukončení není nikdy splněna.

```
while (i != 0) {
   j = i - 1;
}
```

- Cyklus se neprovede ani jednou,
- nebo neskončí.
- Záleží na hodnotě *i* před voláním cyklu.

Konečnost cyklů 3/3

```
while (i != n) {
   ... //prikazy nemenici hodnotu promenne i
   i++;
}
```

lec03/demo-loop_byte.c

- Vstupní podmínka konečnosti uvedeného cyklu.
  - $i \leq n$ pro celá čísla.

Jak by vypadala podmínka pro proměnné typu `double`*?*

Co se stane pokud by proměnná `i` *byla typu* `unsigned char`*?*

lec03/demo-loop.c

- Splnění vstupní podmínky konečnosti cyklu musí zajistit příkazy předcházející příkazu cyklu.
- Zabezpečený program testuje přípustnost vstupních dat.

Příklad – test, je-li zadané číslo prvočíslem

```c
#include <stdbool.h>
#include <math.h>

_Bool isPrimeNumber(int n)
{
   _Bool ret = true;
   for (int i = 2; i <= (int)sqrt((double)n); ++i) {
      if (n % i == 0) {
         ret = false; // leave the loop once if it sure
         break; // n is not a prime number
      }
   }
   return ret;
}
```

lec03/demo-prime.c

- `break` – po nalezení prvního dělitele nemusíme dále testovat.
- Hodnota výrazu `(int)sqrt((double)n)` se v cyklu nemění.

```c
_Bool ret = true;  // zbytečné výpočet explicitně opakovat v podmínce
const int maxBound = (int)sqrt((double)n); // opakování těla cyklu
for (int i = 2; i <= maxBound; ++i) {
   ...
}
```

Příklad kompilace spuštění `demo-prime.c`: `clang demo-prime.c -lm; ./a.out 13`

Kódovací konvence

- Příkazy **break** a **continue** v podstatě odpovídají příkazům skoku.
- Obecně můžeme říci, že příkazy **break** a **continue** nepřidávají příliš na přehlednosti.

  Ne nutně `break` *v příkazu* `switch`.
- Přerušení cyklu **break** nebo **continue** můžeme využít v těle dlouhých funkcí a vnořených cyklech.

  Ale funkce bychom měli psát krátké a přehledné.
- Je-li funkce (tělo cyklu) krátké, je význam **break**/**continue** čitelný.
- Podobně použití na začátku bloku cyklu, např. jako součást testování splnění předpokladů, je zpravidla přehledné.
- Použití uprostřed bloku je však už méně přehledné a může snížit čitelnost a porozumění kódu.

https://www.scribd.com/doc/38873257/Knuth-1974-Structured-Programming-With-Go-to-Statements

Část II

Výrazy

Výrazy

- **Výraz** předepisuje výpočet hodnoty určitého vstupu.
- Struktura výrazu obsahuje *operandy*, *operátory* a *závorky*.
- Výraz může obsahovat:
  - literály;
  - proměnné;
  - konstanty;
  - unární a binární operátory;
  - volání funkcí;
  - závorky.
- Pořadí operací předepsaných výrazem je dáno **prioritou** a **asociativitou** operátorů.

Příklad

```
10 + x * y      poradi vyhodnoceni 10 + (x * y)
10 + x + y      poradi vyhodnoceni (10 + x) + y
```

** má vyšší prioritu než +*
+ je asociativní zleva

Výrazy a operátory

- Výraz se skládá z operátorů a operandů.
  - Nejjednodušší výraz tvoří konstanta, proměnná nebo volání funkce.
  - Výraz sám může být operandem.
  - Výraz má **typ** a **hodnotu**. (*Pouze výraz typu* `void` *hodnotu nemá.*)
  - Výraz zakončený středníkem **;** je příkaz.
- Operátory jsou vyhrazené znaky pro zápis výrazů. *Případně posloupnost znaků.*
- Postup výpočtu výrazu s více operátory je dán prioritou operátorů.
  Postup výpočtu lze předepsat použitím kulatých závorek `(` *a* `)`.
- Operátory: aritmetické, relační, logické, bitové.
  - Arita operátoru (počet operandů) – unární, binární, ternární.
  - Obecně (mimo konkrétní případy) není pořadí vyhodnocení operandů definováno (nezaměňovat s asociativitou).
    Např. pro součet `f1() + f2()` *není definováno, který operand se vyhodnotí jako první (jaká funkce se zavolá jako první).*
    Chování `i = ++i + i++;` není definováno, závisí na překladači.
  - Pořadí vyhodnocení je **definováno pro operandy v logickém součinu** `AND` a **součtu** `OR`.
    `http://en.cppreference.com/w/c/language/eval_order`

Základní rozdělení operátorů

- Můžeme rozlišit čtyři základní typy binárních operátorů:
  - Aritmetické operátory – sčítání, odčítaní, násobení, dělení;
  - Relační operátory – porovnání hodnot (menší, větší, . . .);
  - Logické operátory – logický součet a součin;
  - Operátor přiřazení - na levé straně operátoru `=` je proměnná (l-hodnota reprezentující místo v paměti).
- Unární operátory:
  - indikující kladnou/zápornou hodnotu: `+` a `−`;
    operátor `−` *modifikuje znaménko výrazu za ním.*
  - modifikující proměnou: `++` a `−−`;
  - logický operátor doplněk: **!**;
  - bitová negace : `~` (negace bit po bitu).
- Ternární operátor – podmíněný příkaz.
  Jediný ternární operátor v C je podmíněný příkaz **? :**
  `http://www.tutorialspoint.com/cprogramming/c_operators.htm`

Aritmetické operátory

- Operandy aritmetických operátorů mohou být libovolného aritmetického typu.
  *Výjimkou je operátor zbytek po dělení % definovaný pro celá čísla (**int**).*

`*`	Násobení	`x * y`	Součin x a y
`/`	Dělení	`x / y`	Podíl x a y
`%`	Dělení modulo	`x % y`	Zbytek po dělení x a y
`+`	Sčítání	`x + y`	Součet x a y
`-`	Odčítaní	`x - y`	Rozdíl a y
`+`	Kladné znam.	`+x`	Hodnota x
`-`	Záporné znam.	`-x`	Hodnota -x
`++`	Inkrementace	`++x`/`x++`	Inkrementace před/po vyhodnocení výrazu x
`--`	Dekrementace	`--x`/`x--`	Dekrementace před/po vyhodnocení výrazu x

Unární aritmetické operátory

- Unární operátory `++` a `−−` mění hodnotu svého operandu.
  Operand musí být l-hodnota, tj. výraz, který má adresu, kde je uložena hodnota výrazu (např. proměnná).
  - lze zapsat prefixově např. `++`**x** nebo `−−`**x**;
  - nebo postfixově např. **x**`++` nebo **x**`−−`;
  - v obou případech se však liší výsledná hodnota výrazu!

int i; int a;	**hodnota i**	**hodnota a**
i = 1; a = 9;	**1**	**9**
a = i++;	**2**	**1**
a = ++i;	**3**	**3**
a = ++(i++);	**nelze, hodnota i++ není l-hodnota**	

V případě unárního operátoru `i++` *je nutné v paměti uchovat původní hodnotu* `i` *a následně inkrementovat hodnotu proměnné* `i`. *V případě použití* `++i` *pouze inkrementujeme hodnotu* `i`. *Proto může být použití* `++i` *efektivnější.*

Relační operátory

- Operandy relačních operátorů mohou být aritmetického typu, ukazatele shodného typu nebo jeden z nich `NULL` nebo typ `void`.

`<`	Menší než	`x < y`	1 pro x je menší než y, jinak 0.
`<=`	Menší nebo rovno	`x <= y`	1 pro x menší nebo rovno y, jinak 0.
`>`	Větší než	`x > y`	1 pro x je větší než y, jinak 0.
`>=`	Větší nebo rovno	`x >= y`	1 pro x větší nebo rovno y, jinak 0.
`==`	Rovná se	`x == y`	1 pro x rovno y, jinak 0.
`!=`	Nerovná se	`x != y`	1 pro x nerovno y, jinak 0.

Logické operátory

- Operandy mohou být aritmetické typy nebo ukazatele.
- Výsledek `1` má význam `true`, `0` má význam `false`.
- Ve výrazech `&&` a `||` se vyhodnotí nejdříve levý operand.
- Pokud je výsledek dán levým operandem, pravý se nevyhodnocuje.

Zkrácené vyhodnocování – složité výrazy.

`&&`	Logické AND	`x && y`	1 pokud x ani y není rovno 0, jinak 0.
`||`	Logické OR	`x || y`	1 pokud alespoň jeden z x, y není rovno 0, jinak 0.
`!`	Logické NOT	`!x`	1 pro x rovno 0, jinak 0.

- **Operace && a || se vyhodnocují zkráceným způsobem**, tj. druhý operand se nevyhodnocuje, pokud lze výsledek určit již z hodnoty prvního operandu.

Bitové operátory

- Bitové operátory vyhodnocují operandy bit po bitu.

`&`	Bitové AND	`x & y`	1 když x i y je rovno 1 (bit po bitu).
`|`	Bitové OR	`x | y`	1 když x nebo y je rovno 1 (bit po bitu).
`^`	Bitové XOR	`x ^ y`	1 pokud pouze x nebo pouze y je 1 (exkluzivně právě jedna z variant) (bit po bitu).
`~`	Bitové NOT	`~x`	1 pokud x je rovno 0 (bit po bitu).
`<<`	Posun vlevo	`x << y`	Posun x o y bitů vlevo.
`>>`	Posun vpravo	`x >> y`	Posun x o y bitů vpravo.

Příklad – bitových operací

```
uint8_t a = 4;
uint8_t b = 5;

a     dec: 4 bin: 0100
b     dec: 5 bin: 0101
a & b dec: 4 bin: 0100
a | b dec: 5 bin: 0101
a ^ b dec: 1 bin: 0001

a >> 1 dec: 2 bin: 0010
a << 1 dec: 8 bin: 1000
```

`lec03/bits.c`

Vizte rekurzivní implementace `lec03/bits-recursive.c`

Operace bitového posunu

- Operátory bitového posunu posouvají celý bitový obraz o zvolený počet bitů vlevo nebo vpravo.
  - Při posunu vlevo jsou uvolněné bity zleva plněny 0.
  - Při posunu vpravo jsou uvolněné bity zprava:
    - u čísel kladných nebo typu unsigned plněny 0;
    - u záporných čísel buď plněny 0 (logický posun) nebo 1 (aritmetický posun vpravo), dle implementace překladače.
- Operátory bitového posunu mají nižší prioritu než aritmetického operátory!
  - `i << 2 + 1` znamená `i << (2 + 1)`.

Nebuďte zaskočeni nečekanou interpretací – závorkujte!

Operátory přístupu do paměti

Zde pro úplnost, více v následujících přednáškách.

- V C lze přímo přistupovat k adrese paměti proměnné, kde je uložena hodnota.
- Přístup do paměti je prostřednictvím ukazatele (*pointeru*).

Dává velké možnosti, ale také vyžaduje zodpovědnost.

Operátor	Význam	Příklad	Výsledek
`&`	Adresa proměnné	`&x`	Ukazatel (pointer) na `x`
`*`	Nepřímá adresa	`*p`	Proměnná (nebo funkce) adresovaná pointerem `p`
`[]`	Prvek pole	`x[i]`	`*(x+i)` – prvek pole `x` s indexem *i*
`.`	Prvek struct/union	`s.x`	Prvek `x` struktury `s`
`->`	Prvek struct/union	`p->x`	Prvek struktury adresovaný ukazatelem `p`

Operandem operátoru & nesmí být bitové pole a proměnná typu register.
*Operátor nepřímé adresy * umožňuje přístup na proměnné přes ukazatel.*

Ostatní operátory

- Operandem `sizeof()` může být jméno typu nebo výraz.

()	Volání funkce	`f(x)`	Volání funkce `f` s argumentem `x`
(type)	Přetypování (cast)	`(int)x`	Změna typu `x` na `int`
sizeof	Velikost prvku	`sizeof(x)`	Velikost `x` v bajtech
? :	Podmíněný příkaz	`x ? y : z`	Proveď `y` pokud `x != 0` jinak `z`
,	Postupné vyhodnocení	`x, y`	Vyhodnotí `x` pak `y`, výsledek operátoru je výsledek posledního výrazu

- Operandem operátoru `sizeof()` může být jméno typu nebo výraz.

```
int a = 10;
printf("%lu %lu\n", sizeof(a), sizeof(a + 1.0));
```

lec03/sizeof.c

- Příklad použití operátoru čárka.

```
for (c = 1, i = 0; i < 3; ++i, c += 2) {
   printf("i: %d c: %d\n", i, c);
}
```


Operátor přetypování

- Změna typu za běhu programu se nazývá přetypování.
- Explicitní přetypování (cast) zapisuje programátor uvedením typu v kulatých závorkách, např.

```
int i;
float f = (float)i;
```

- Implicitní přetypování provádí překladač automaticky při překladu.
- Pokud nový typ může reprezentovat původní hodnotu, přetypování ji vždy zachová.
- Operandy typů `char`, `unsigned char`, `short`, `unsigned short`, případně bitová pole, mohou být použity tam, kde je povolen typ `int` nebo `unsigned int`.

C očekává hodnoty alespoň typu `int`.

  - Operandy jsou automaticky přetypovány na `int` nebo `unsigned int`.

Asociativita a priorita operátorů

- Binární operace op na množině $\boldsymbol{S}$ je **asociativní**, jestliže platí
$$(x \operatorname{op} y) \operatorname{op} z = x \operatorname{op} (y \operatorname{op} z), \text{ pro každé } x, y, z \in \boldsymbol{S}.$$
- U neasociativních operací je nutné řešit v jakém pořadí jsou operace implicitně provedeny.
  - Asociativní zleva – operace jsou seskupeny zleva.
    Např. výraz $10 - 5 - 3$ *je vyhodnocen jako* $(10 - 5) - 3$
  - Asociativní zprava – operace jsou seskupeny zprava.
    Např. $3 + 5^2$ *je* 28 *nebo* $3 \cdot 5^2$ *je* 75 *vs.* $(3 \cdot 5)^2$ *je 225*
- Přiřazení je asociativní zprava, např.
  y=y+8.
  Vyhodnotí se nejdříve celá pravá strana operátoru =, která se následně přiřadí do proměnné na straně levé.
- Priorita binárních operací vyjadřuje v algebře pořadí, v jakém jsou binární operace prováděny.
- Pořadí provedení operací lze definovat důsledným závorkováním.

Přiřazení

- Nastavení hodnoty proměnné. *Uložení definované hodnoty na místo v paměti.*
- Tvar přiřazovacího operátoru.
  $$\langle \textbf{proměnná} \rangle = \langle \textbf{výraz} \rangle$$
  Výraz je literál, proměnná, volání funkce, ...
- Přiřazení je výraz, který můžeme použít v jiném výrazu, např. `a = b = c = 10;`
  Je to výraz v příkazu přiřazení.
- C je staticky typovaný jazyk.
  - Proměnné lze přiřadit hodnotu výrazu pouze identického typu.
  - Příklad implicitní konverze při přiřazení. *Jinak je nutné provést typovou konverzi.*

```
int i = 320.4; // implicit conversion from 'double' to 'int' changes value from
    320.4 to 320 [-Wliteral-conversion]

char c = i;    // implicit truncation 320 -> 64
```

- C je typově bezpečné v omezeném kontextu kompilace, např. na `printf("%d\n", 10.1);` kompilátor upozorní na chybu. Obecně není typově bezpečné.
  Za běhu programu může dojít například k zápisu mimo vyhrazenou paměť a tím může dojít k nedefinovanému chování.

Zkrácený zápis přiřazení

- Zápis
  $$\langle \textbf{proměnná} \rangle = \langle \textbf{proměnná} \rangle \ \langle \textbf{operátor} \rangle \ \langle \textbf{výraz} \rangle$$
- lze zapsat zkráceně
  $$\langle \textbf{proměnná} \rangle \ \langle \textbf{operátor} \rangle = \langle \textbf{výraz} \rangle.$$

Příklad

```
int i = 10;
double j = 12.6;

i = i + 1;
j = j / 0.2;
```

```
int i = 10;
double j = 12.6;

i += 1;
j /= 0.2;
```

- Přiřazení je výraz

```
int x, y;

x = 6;
y = x = x + 6;
```

„syntactic sugar“

Výraz a příkaz

- Příkaz provádí akci a je zakončen středníkem.

```
robot_heading = -10.23;
robot_heading = fabs(robot_heading);
printf("Robot heading: %f\n", robot_heading);
```

- Výraz má určený **typ a hodnotu**.

23	typ **int**, hodnota 23
14+16/2	typ **int**, hodnota 22
y=8	typ **int**, hodnota 8

- Přiřazení je výraz a jeho hodnotou je hodnota přiřazená levé straně.
- Z výrazu se stává příkaz, pokud je ukončen středníkem.

Část III

Zadání 3. domácího úkolu (HW3)

Zadání 3. domácího úkolu HW3

Téma: **Prvočíselný rozklad**

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

- **Motivace**: Rozvinout znalost použití cyklů, proměnných a jejich reprezentace ve výpočetní úloze.
- **Cíl**: Osvojit si algoritmické řešení výpočetní úlohy .
- **Zadání**: `https://cw.fel.cvut.cz/wiki/courses/bab36prga/hw/hw3`
  - Načtení posloupnosti kladných celých čísel (v rozsahu 64-bitů znaménkového typu) zakončených nulou a jejich rozklad na prvočinitele. S ohledem na výpočetní náročnost řešení vyžaduje sofistikovanější přístup výpočtu s využitím techniky *Eratosthenova síta*.
  - Bonusové zadání dále úlohu rozšiřuje zpracování čísel s až 100 ciframi. Řešení vyžaduje implementaci *vlastní reprezentace velkých celých čísel* spolu s *operacemi* celočíselného dělením se zbytkem.
- Termín odevzdání: 30.03.2024, 23:59:59 PDT.
- Bonusová úloha: 24.05.2024, 23:59:59 CEST.

PDT – Pacific Daylight Time

Shrnutí přednášky

Diskutovaná témata

- Řídicí struktury - přepínač, cykly, vnořené cykly, `break` a `continue`
- Konečnost cyklů
- Kódovací konvence
- Výrazy - unární, binární a ternární
- Přehled operátorů a jejich priorit
- Přiřazení a zkrácený způsob zápisu
  - Příkazy a nedefinované chování
- Příště: Pole, ukazatel, textový řetězec, vstup a výstup programu.

Část V

Appendix

Kódovací příklad – Tisk hodnot v šestnáctkové soustavě

- Reprezentace `float` hodnot.
  - Hodnota 85.125 je **0x42aa4000**.
  - Hodnota 0.1 je sice **0x3dcccccc**, ale je kódována **0x3dcccccd**. *Protože chyba je absolutně menší.*
- Implementujeme funkci pro tisk paměťové reprezentace hodnoty typu `float` jako posloupnosti hodnot bajtů v šestnáctkové soustavě.
- Přístup k `float` jako posloupnosti bajtů a tisk hex hodnot `"%02x"` funkcí `printf()`.
  - Adresním operátorem `&` získáme adresu proměnné.
  - Přetypujeme adresu jako ukazatel na hodnotu `char`.
  - Použijeme nepřímý adresní operátor `*` k přístupu k hodnotě na adrese uložené v ukazateli.

```
#include <stdio.h>

void print_float_hex(float v);

int main(void)
{
   print_float_hex(85.125);
   print_float_hex(0.1);
   return 0;
}

void print_float_hex(float v)
{
   ...
}
```


Kódovací příklad – Tisk hodnot v šestnáctkové soustavě 1/3

- Získáme adresu proměnné `float v` operátorem `&v`.
- K hodnotám na adrese `&v` budeme přistupovat jako k bajtům, proto přetypujeme adresu na ukazatel (adresu) na hodnoty typu `char`.

  `unsigned char *p = (unsigned char*)&v;`
- Hodnotu uloženou na adrese `p` získáme operátorem nepřímého adresování `*p`.
- Adresu následujícího bajtů za adresou uloženou v `p` získame `p = p + 1;`.

  Protože se jedná o ukazatel na `char`, probíhá inkrementace o `sizeof(char)`, tj. o 1 (ukazatelová aritmetika).
- Vytištěné hodnoty jsou v opačném než očekávaném pořadí **0x42aa4000** a **0x3dcccccd**.

```
int main(void)
{
   print_float_hex(85.125);
   print_float_hex(0.1);
...
void print_float_hex(float v)
{
   unsigned char *p = (unsigned char*)&v;
   printf("Value %13.10f is 0x", v);
   for (int i = 0; i < 4; ++i, p = p + 1) {
      printf("%02x", *p); // or use p[i]
   }
   putchar('\n');
}
```

```
$ clang floats.c -o floats && ./floats
Value 85.1250000000 is 0x0040aa42
Value  0.1000000015 is 0xcdcccc3d
```


Kódovací příklad – Tisk hodnot v šestnáctkové soustavě 2/3

- Očekávaná reprezentace v šestnáctkové soustavě je pro `85.125` výstup **0x42aa4000** a pro `0.1` výstup **0x3dcccccd**. Namísto toho dostáváme 0x0040aa42 a 0xcdcccc3d.
- Výstup je závislý na reprezentaci více bajtových hodnot v paměti. Pro architekturu (amd64) je to tzv. little endian.

  `https://en.wikipedia.org/wiki/Endianness`
- Proto potřebujeme detekovat, jak jsou hodnoty uloženy, například funkcí

  `_Bool is_big_endian(void);`
- a případně vytiskneme hodnoty v opačném pořadí.

```
void print_float_hex(float v)
{
   const _Bool big_endian = is_big_endian();
// cast pointer to float to pointer to char
   unsigned char *p = (unsigned char*)&v
      + (big_endian ? 0 : 3);
   printf("Value %13.10f is 0x", v);
   for (int i = 0; i < 4; ++i) {
      printf("%02x",
             *(big_endian ? p++ : p--)
            );
   }
   printf("\n");
}
```

```
$ clang floats.c -o floats && ./floats
Value 85.1250000000 is 0x42aa4000
Value  0.1000000015 is 0x3dcccccd
```

Kódovací příklad – Tisk hodnot v šestnáctkové soustavě 3/3

- Detekce uložení můžete být založena na různých principech.
- Intiutivně můžeme uložit definovanou hodnotu, která má pouze jeden bajt nenulový a ostatní nulové.
- Využijeme složeného typu `union`, ve kterém položky sdílejí paměť a umožňuje nám tak různý pohled na konkrétní block paměti.
  1. Definujeme celočíselnou proměnnou o čtyřech bajtech, např., `unit32_t` z knihovny `stdint.h`.
  2. Nastavíme hodnotu na `0x01 00 00 00`.
  3. Otestujeme první bajt paměťové reprezentace.

```c
#include <stdint.h>

_Bool is_big_endian(void)
{
   union {
      uint32_t i;
      char c[4];
   } e = { 0x01000000 };
   return e.c[0];
}
```


Nedefinované chování

- Dle standardu C mohou některé příkazy (výrazy) způsobit **nedefinované chování**.
  - `c = (b = a + 2) - (a - 1);`
  - `j = i * i++;`
- Program se může chovat rozdílně podle použitého kompilátoru, případně nemusí jít zkompilovat, spustit, nebo dokonce padat a chovat se neobvykle či produkovat nesmyslné výsledky.
- To se může například také stát v případě, že nejsou proměnné inicializovány.
- Vyhýbejte se příkazům (výrazům), které mohou vést na nedefinované chování!

Příklad nedefinovaného chování

- Standard C nepředpisuje chování při přetečení celého čísla (`signed`)
  - V případě doplňkového kódu může být např. hodnota výrazu `127 + 1` typu `char` rovna `-128`, viz `lec03/demo-loop_byte.c`.
  - Reprezentace celých čísel však může být realizována jinak dle architektury např. přímým kódem nebo inverzním kódem.
- Zajištění předepsaného chování tak může být výpočetně komplikované, proto standard nedefinuje chování při přetečení.
- Chování programu není definované a závisí na kompilátoru, např. překladače `clang` a `gcc` bez/s optimalizacemi `-O2`.
  - ```c
    for (int i = 2147483640; i >= 0; ++i) {
       printf("%i %x\n", i, i);
    }
    ```
    `lec03/int_overflow-1.c`

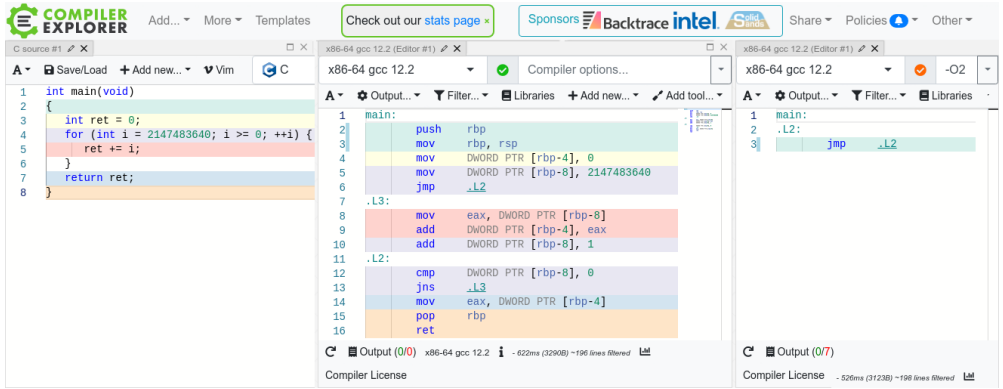
    Bez optimalizací program vypíše 8 řádků, pro `-O2` program zkompilovaný `clang` vypíše 9 řádků, `gcc` program skončí v nekonečné smyčce.
  - ```c
    for (int i = 2147483640; i >= 0; i += 4) {
       printf("%i %x\n", i, i);
    }
    ```
    `lec03/int_overflow-2.c`

    Program zkompilovaný `gcc` s `-O2` po spuštění (může) padá(at).

Analyzujte kód asm generovaný přepínačem `-S`.

Compiler Explorer – Analýza optimalizovaného kódu

- Vliv optimalizace `-O2` na výsledný kód, který obsahuje nedefinované chování, přetečení celého čísla.



https://godbolt.org/z/G3GEz4vbv

Přehled operátorů a jejich priorit 1/3

Priorita	Operátor	Asociativita	Operace
1	++	P/L	pre/post inkrementace
	−−		pre/post dekrementace
	()	L→P	*volání metody*
	[]		*indexace do pole*
	.		*přístup na položky struktury/unionu*
	−>		*přístup na položky přes ukazatel*
2	! ∼	P→L	logická a bitová negace
	− +		unární plus (minus)
	()		*přetypování*
	*		*nepřímé adresování (dereference)*
	&		*adresa (reference)*
	sizeof		*velikost*

Přehled operátorů a jejich priorit 2/3

Priorita	Operátor	Asociativita	Operace
3	*, /, %	L→R	násobení, dělení, zbytek
4	+ -		sčítání, odečítání
5	>>, <<		bitový posun vlevo, vpravo
6	<, >, <=, >=		porovnání
7	==, !=		rovno, nerovno
8	&		bitový AND
9	^		bitový XOR
10	|		bitový OR
1	&&		logický AND
12	||		logický OR

Přehled operátorů a jejich priorit 3/3

Priorita	Operátor	Asociativita	Operace
13	? :	P→L	ternární operátor
14	=		přiřazení
	+ =, − =		přiřazení součtu, rozdílu
	* =, / =, % =	P→L	přiřazení součinu, podílu a zbytku
	<<=, >>=		přiřazení bitového posunu vlevo, vpravo
	& =, ^=, | =		přiřazení bitového AND, XOR, OR
15	,	L→P	operátor čárka

http://en.cppreference.com/w/c/language/operator_precedence