

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

Přířazení

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.**

- Doporučená konvence v rámci PRGA

Nezřídka je užitečné nebat se začít úplně znovu a lépe.

- Pište zdrojové kódy pokud možno anglicky (identifikátory).

- Pro proměnné volte podstatná jména.

- Pro funkce volte slovesa.

```
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 }
```

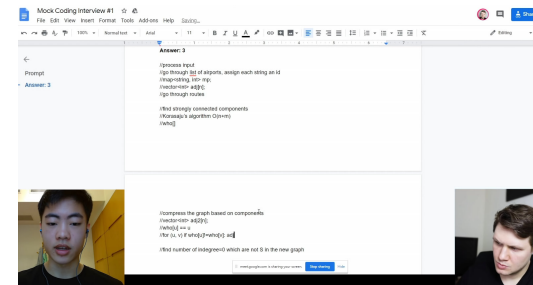
Osobní preference přednášejícího: odsazení 3 znaky, mezery místo tabulátoru.

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/7EmboKQH81M>



Google Coding Interview with a High School Student
<https://youtu.be/qz9tK1F431k>

<http://users.ece.cmu.edu/~eno/coding/CCodingStandard.html>;
<https://www.doc.ic.ac.uk/~lab/cplusplus/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 }
```

Míříme 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 redukuje 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 „zkompatnění“.

```
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** redukuje počet zanoření. <https://youtu.be/CFRhGnuXG-4>

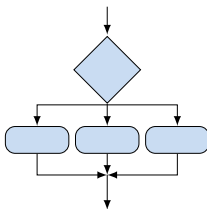
Příkazy řízení běhu programu

- 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`

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 konstanta1: příkazy1; break;
  case konstanta2: příkazy2; break;
  ...
  case konstantan: příkazyn; break;
  default: příkazydef; 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).

Podmíněné větvení – `if`

- `if (výraz) příkaz1; else příkaz2`
- Je-li hodnota výrazu `výraz != 0 (TRUE)`, provede se příkaz `příkaz1` jinak `příkaz2`.
Příkaz může být blok příkazů.
- Část `else` je nepovinná.
- 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?

Programový přepínač – `switch`

- Přepínač `switch(výraz)` větví program do *n* směrů.
- Hodnota `výraz` je porovnávána s *n* konstantními výrazy typu `int` příkazy.
`case konstantai: ...`
- Hodnota `výraz` musí být celočíselná a hodnoty `konstantai` 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.

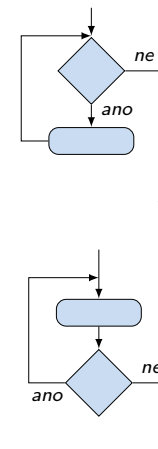
Cykly

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


```
for (int i = 0; i < 5; ++i) {
  ...
}
```
 - **while** – řídicí proměnná v režii programátora.


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

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

```

- Jaká je hodnota proměnné *q* po skončení cyklu pro hodnoty.
 - $x \leftarrow 10$ a $y \leftarrow 3$
 - $x \leftarrow 2$ a $y \leftarrow 3$

while: 1, do-while: 1

*while: 2, do-while: -1
lec03/demo-while.c*

Cyklus **for**(; ;)

- Příkaz **for** cyklu má tvar **for** ([*vyraz₁*]; [*vyraz₂*]; [*vyraz₃*]) příkaz;
- Cyklus **for** používá řídicí proměnnou a probíhá následovně:
 1. *vyraz₁* – Inicializace (zpravidla řídicí proměnné);
 2. *vyraz₂* – Test řídicího výrazu;
 3. Pokud *vyraz₂* !=0 provede se příkaz, jinak cyklus končí;
 4. *vyraz₃* – Aktualizace proměnných na konci běhu cyklu;
 5. Opakování cyklu testem řídicího výrazu.
- Výrazy *vyraz₁* a *vyraz₃* 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 přerušuje vykonávání těla (blokového příkazu) pokračuje vyhodnocením *vyraz₃*.*

- Při vynechání řídicího výrazu *vyraz₂* se cyklus bude provádět nepodmíněně.

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

Nekonečný cyklus

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);
}

```

Příkaz **continue**

- Příkaz návratu na vyhodnocení řídicího výrazu – **continue**.
- Příkaz **continue** lze použít pouze v těle cyklů.
 - **for** ()
 - **while** ()
 - **do...while** ()
- Příkaz **continue** přerušuje 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!

```
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

Předčasné ukončení vykonávání cyklu – příkaz `break`

- Příkaz `break` předepisuje ukončení cyklu.

Program pokračuje následujícím příkazem po cyklu.

```
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 `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.

```
int i = 10;
while (i > 0) {
    if (i == 5) {
        printf("i reaches 5, leave the loop\n");
        break;
    }
    i--;
    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.

Příkaz `goto`

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

```
1 int test = 3;
2 for (int i = 0; i < 3; ++i) {
3     for (int j = 0; j < 5; ++j) {
4         if (j == test) {
5             goto loop_out;
6         }
7         fprintf(stdout, "Loop i: %d j: %d\n", i, j);
8     }
9 }
10 return 0;
11 loop_out:
12 fprintf(stdout, "After loop\n");
13 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; ++j) {
        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 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 důvodů 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 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 konečnosti cyklu nezaručuje.

```
int i = -1;

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

Konečnost cyklu závisí na hodnotě proměnné před vstupem do cyklu.

Konečnost cyklů 3/3

```
while (i != n) {
    ... //příkazy nemenící 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

```
#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.

```
_Bool ret = true; // zbytecne vypocet opakovat
const int maxBound = (int)sqrt((double)n);
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.

Nemyslíme tím break v příkazu switch.
- Přerušování 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;
 - unární a binární operátory;
 - proměnné;
 - volání funkcí;
 - konstanty;
 - 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 předsat 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

Aritmetické operátory

- Operandů aritmetických operátorů mohou být libovolného aritmetického typu. *Výjimkou je operátor zbytek po dělení % definovaný pro 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 |
| - | Odčítání | $x - y$ | 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 |

Základní rozdělení operátorů

- Můžeme rozlišit čtyři základní typy binárních operátorů:
 - Aritmetické operátory – sčítání, odčítání, násobení, dělení;
 - Relační operátory – porovnání hodnot (menší, větší, ...);
 - Logické operátory – logický součet a součin;
 - **Operátor přřazení** - na levé straně operátoru = je proměnná (l-hodnota reprezentující místo v paměti).
- Unární operátory:
 - indukující kladnou/zápornou hodnotu: $+ a$ a $-$; *operátor – modifikuje znaménko výrazu za ním.*
 - modifikující proměnnou: $++ a$ a $--$;
 - logický operátor doplněk: $!$;
 - bitová negace: \sim (negace bit po bitu).
- Ternární operátor – podmíněný příkaz.

Jediný ternární operátor v C je podmíněný příkaz ? :

http://www.tutorialspoint.com/cprogramming/c_operators.htm

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!**

<code>int i; int a;</code>	hodnota i	hodnota a
<code>i = 1; a = 9;</code>	1	9
<code>a = i++;</code>	2	1
<code>a = ++i;</code>	3	3
<code>a = ++(i++);</code>	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	<code>x < y</code>	1 pro x je menší než y, jinak 0.
<=	Menší nebo rovno	<code>x <= y</code>	1 pro x menší nebo rovno y, jinak 0.
>	Větší než	<code>x > y</code>	1 pro x je větší než y, jinak 0.
>=	Větší nebo rovno	<code>x >= y</code>	1 pro x větší nebo rovno y, jinak 0.
==	Rovná se	<code>x == y</code>	1 pro x rovno y, jinak 0.
!=	Nerovná se	<code>x != y</code>	1 pro x nerovno y, jinak 0.

Bitové operátory

- Bitové operátory vyhodnocují operandy bit po bitu.

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

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	<code>x && y</code>	1 pokud x ani y není rovno 0, jinak 0.
	Logické OR	<code>x y</code>	1 pokud alespoň jeden z x, y není rovno 0, jinak 0.
!	Logické NOT	<code>!x</code>	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.

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](#)

See recursive version in [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!
 - $i \ll 2 + 1$ znamená $i \ll (2 + 1)$.

Nebuďte zaskočení nečekanou interpretací – závorkujte!

Ostatní operátory

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

<code>()</code>	Volání funkce	<code>f(x)</code>	Volání funkce <code>f</code> s argumentem <code>x</code>
<code>(type)</code>	Přetypování (cast)	<code>(int)x</code>	Změna typu <code>x</code> na <code>int</code>
<code>sizeof</code>	Velikost prvku	<code>sizeof(x)</code>	Velikost <code>x</code> v bajtech
<code>?:</code>	Podmíněný příkaz	<code>x ? y : z</code>	Proveď <code>y</code> pokud <code>x != 0</code> jinak <code>z</code>
<code>,</code>	Postupné vyhodnocení	<code>x, y</code>	Vyhodnotí <code>x</code> pak <code>y</code> , 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);
}
```

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

Operandem operátoru `&` nesmí být bitové pole a proměnná typu `register`.

Operátor nepřímé adresy `` umožňuje přístup na proměnné přes ukazatel.*

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 S je **asociativní**, jestliže platí $(x \text{ op } y) \text{ op } z = x \text{ op } (y \text{ op } z)$, pro každé $x, y, z \in S$.
- 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
- Přirazení 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**.

Zkrácený zápis přiřazení

- Zápis

$$\langle \text{proměnná} \rangle = \langle \text{proměnná} \rangle \langle \text{operátor} \rangle \langle \text{výraz} \rangle$$

- Lze zapsat zkráceně

$$\langle \text{proměnná} \rangle \langle \text{operátor} \rangle = \langle \text{výraz} \rangle.$$

Příklad

<code>int i = 10;</code>	<code>int i = 10;</code>
<code>double j = 12.6;</code>	<code>double j = 12.6;</code>
<code>i = i + 1;</code>	<code>i += 1;</code>
<code>j = j / 0.2;</code>	<code>j /= 0.2;</code>

- Přirazení je výraz

```
int x, y;
x = 6;
y = x = x + 6;
```

„syntactic sugar“

Přirazení

- Nastavení hodnoty proměnné. *Uložení definované hodnoty na místo v paměti.*
- Tvar přiřazovacího operátoru.

$$\langle \text{proměnná} \rangle = \langle \text{výraz} \rangle$$

Výraz je literál, proměnná, volání funkce, ...

- Přirazení 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.
Jinak je nutné provést typovou konverzi.
 - Příklad implicitní konverze při přiřazení.

```
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.

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**.

<code>23</code>	typ <code>int</code> , hodnota 23
<code>14+16/2</code>	typ <code>int</code> , hodnota 22
<code>y=8</code>	typ <code>int</code> , hodnota 8

- Přirazení 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)

Shrnutí přednášky

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 dělení se zbytkem.
- **Termín odevzdání:** 30.03.2024, 23:59:59 PDT.
- **Bonusová úloha:** 24.05.2024, 23:59:59 CEST. *PDT – Pacific Daylight Time*

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

Příklad nedefinovaného chování

- Standard C nepředepisuje 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`.
 - ```
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.
  - ```
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`.

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!**

Compiler Explorer – Analýza optimalizovaného kódu

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

The screenshot shows the Compiler Explorer interface. The left pane displays the C source code:

```
1 int main(void)
2 {
3     int ret = 0;
4     for (int i = 2147483640; i >= 0; ++i) {
5         ret += i;
6     }
7     return ret;
8 }
```

The middle pane shows the assembly code for the program with `-O2` optimization:

```
1 main:
2     push rbp
3     mov rbp, rsp
4     mov DWORD PTR [rbp-4], 0
5     mov DWORD PTR [rbp-8], 2147483640
6     jmp .L2
7
8 .L3:
9     mov eax, DWORD PTR [rbp-8]
10    add DWORD PTR [rbp-4], eax
11    add DWORD PTR [rbp-8], 1
12
13 .L2:
14    cmp DWORD PTR [rbp-8], 0
15    jns .L3
16    mov eax, DWORD PTR [rbp-4]
17    pop rbp
18    ret
```

The right pane shows the assembly code for the program with `-O0` optimization:

```
1 main:
2     .L2:
3     jmp .L2
```

<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 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
15	&=, ^=, =		přiřazení bitového AND, XOR, OR
	,	L→P	operátor čárka

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

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
11	&&		logický AND
12			logický OR

Kódovací příklad – Tisk hodnot v šestnáctkové soustavě

- Reprezentace `float` hodnot.
 - Hodnota 85.125 je `0x42aa4000`.
 - Hodnota 0.1 je sice `0x3dcccccd`, 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` získáme `p = p + 1`;
Protože se jedná o ukazatel na `char`, probíhá inkrementace o `sizeof(char)`, tj. o 1 (ukazatelová aritmetika).
- Vytisknuté 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.
- Intuitivně 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., `uint32_t` z knihovny `stdint.h`.
 2. Nastavíme hodnotu na `0x01 00 00 00`.
 3. Otestujeme první bajt paměťové reprezentace.

```
#include <stdint.h>

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