

Řídicí struktury, výrazy a funkce

Jan Faigl

Katedra počítačů

Fakulta elektrotechnická

České vysoké učení technické v Praze

Přednáška 03

B0B36PRP – Procedurální programování



Přehled témat

- Část 1 – Řídící 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 (HW03)



Část I

Řídící struktury



Obsah

Příkaz a složený příkaz

Příkazy řízení běhu programu

Konečnost cyklu



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 PRP

Nezřídka je užitečné nebát se začít úplně znovu a lépe.

```
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.

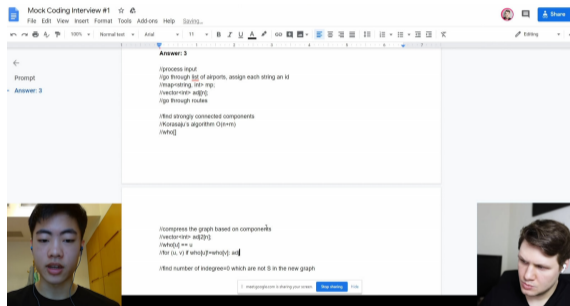


Srozumitelnost a čitelnost kódu - kódovací konvence

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



Clean Code - Uncle Bob / Lesson 1
<https://youtu.be/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/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 }

```

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 „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 redukuje počet zanořování. <https://youtu.be/CFRhGnuXG-4>



Obsah

Příkaz a složený příkaz

Příkazy řízení běhu programu

Konečnost cyklu



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?



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 }
```

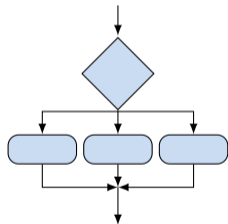
Jaký je smysl těchto programů?



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 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. Nemá-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 konstantai: ...`
- Hodnota `vyraz` 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 nevedeme, 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.



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.



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.

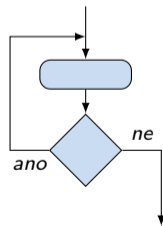
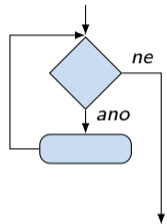
```
for (int i = 0; i < 5; ++i) {  
    ...  
}
```

- **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: 2

while: 2, do-while: -1

[lec03/demo-while.c](#)



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 **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**

- 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. `vyraz1` – Inicializace (zpravidla řídicí proměnné);
 2. `vyraz2` – Test řídicího výrazu;
 3. Pokud `vyraz2 != 0` provede se `prikaz`, 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 přeruší vykonávání těla (blokového příkazu) pokračuje vyhodnocením `vyraz3`.

- Při vynechání řídicího výrazu `vyraz2` 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!

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

lec03/demo-continue.txt



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



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.



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;  
    }  
}
```

lec03/demo-break.c



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 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;  
        }  
    }  
}
```

- 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:
```



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:
```

lec03/demo-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:
```

lec03/demo-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
```



Obsah

Příkaz a složený příkaz

Příkazy řízení běhu programu

Konečnost 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 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 konečnost cyklu nezaručuje.

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

Konečnost cyklu závisí na hodnotě proměnné před vstupem do 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 konečnost 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) {  
    ... //přikazy 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.



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; // zbytečne 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`



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; // zbytečne 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.
- 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>



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.
- 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



Obsah

Výrazy a operátory

Přiřazení



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

$10 + x * y$	poradí vyhodnocení $10 + (x * y)$
$10 + x + y$	poradí vyhodnocení $(10 + x) + y$

* 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, 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:
 - indikující kladnou/zápornou hodnotu: + a -;
 - modifikující proměnou: ++ a --;
 - logický operátor doplněk: !;
 - bitová negace : ~ (negace bit po bitu).
- Ternární operátor – podmíněný příkaz.

operátor – modifikuje znaménko výrazu za ním.

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 **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 x 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!**

<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 <code>i++</code> 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	$x \leq y$	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	$x \geq y$	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	$x \wedge y$	1 pokud pouze x nebo pouze y je 1 (exkluzivně právě jedna z variant) (bit po bitu).
~	Bitové NOT	$\sim x$	1 pokud x je rovno 0 (bit po bitu).
<<	Posun vlevo	$x \ll y$	Posun x o y bitů vlevo.
>>	Posun vpravo	$x \gg y$	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](#)

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 $i \ll (2 + 1)$.

Nebud'te zaskočení nečekanou interpretací – závorkujte!



Operátory přřstupu do paměti

Zde pro úplnost, více v následujících přednáškách.

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

Dává velké možnosti, ale také vyžaduje zodpovědnost.

Operátor	Význam	Příklad	Výsledek
&	Adresa proměnné	&x	Ukazatel (pointer) na x
*	Nepřřmá 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 nepřřmé adresy * umožňuje přřstup na proměnné přes ukazatel.*



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);
}
```



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.
- Operandů 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`.

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



Asociativita a priorita operátorů

- Binární operace op na množině S je **asociativní**, jestliže platí $(x op y) op z = x op (y op z)$, 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**.



Obsah

Výrazy a operátory

Přirazení



Přiřazení

- Nastavení hodnoty proměnné.
- Tvar přiřazovacího operátoru.

Uložení definované hodnoty na místo v paměti.

⟨proměnná⟩ = ⟨výraz⟩

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.

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.



Zkrácený zápis přřazení

- 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

```
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;
```

- Přřazení je výraz

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

„syntactic sugar“



Zkrácený zápis přřazení

- 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

```
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;
```

- Přřazení 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

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



Část III

Zadání 3. domácího úkolu (HW03)



Zadání 3. domácího úkolu HW03

Téma: Kreslení (ASCII art)

Povinné zadání: **2b**; Volitelné zadání: **2b**; Bonusové zadání: **není**

- **Motivace:** Zábavným a tvůrčím způsobem získat praktickou zkušenost s cykly a jejich parametrizací na základě uživatelského vstupu.
- **Cíl:** Osvojit si použití cyklů a vnořených cyklů.
- **Zadání:** <https://cw.fel.cvut.cz/wiki/courses/b0b36prp/hw/hw03>
 - Načtení parametrizace pro vykreslení obrázku domečku s využitím vybraných ASCII znaků.
https://en.wikipedia.org/wiki/ASCII_art
 - Ošetření vstupních hodnot.
 - **Volitelné zadání** rozšiřuje obrázek domečku o plot.
- **Termín odevzdání:** **04.11.2023, 23:59:59 PDT.**

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.



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



Obsah

Nedefinované chování

Přehled operátorů a jejich priorit

Kódovací příklad



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 zkompileovat, 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`.

```
■ 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 zkompileovaný `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 zkompileovaný `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.

The screenshot shows the Compiler Explorer interface with three panes. The left pane shows the source code, the middle pane shows the assembly for the default optimization level, and the right pane shows the assembly for the `-O2` optimization level.

Source Code (Left Pane):

```

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 }

```

Assembly (Middle Pane - Default):

```

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 .L3:
8     mov     eax, DWORD PTR [rbp-8]
9     add     DWORD PTR [rbp-4], eax
10    add     DWORD PTR [rbp-8], 1
11 .L2:
12    cmp     DWORD PTR [rbp-8], 0
13    jns     .L3
14    mov     eax, DWORD PTR [rbp-4]
15    pop     rbp
16    ret

```

Assembly (Right Pane - -O2):

```

1 main:
2     .L2:
3     jmp     .L2

```

The `-O2` optimization completely removes the loop body, leaving only a `jmp .L2` instruction, which demonstrates how undefined behavior can be optimized away.

<https://godbolt.org/z/G3GEz4vbw>



Obsah

Nedefinované chování

Přehled operátorů a jejich priorit

Kódovací příklad



Přehled operátorů a jejich priorit 1/3

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



Přehled operátorů a jejich priorit 2/3

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



Přehled operátorů a jejich priorit 3/3

Priorita	Operátor	Asociativita	Operace
13	? :	P→L	ternární operátor
14	= + =, - = * =, / =, % = <<=, >>= & =, ^ =, =	P→L	přiřazení přiřazení součtu, rozdílu 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



Obsah

Nedefinované chování

Přehled operátorů a jejich priorit

Kódovací příklad



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` 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];
}
```

