

IJC — Jazyk C

Petr Peringer
peringer AT fit.vutbr.cz

Vysoké učení technické v Brně
Fakulta informačních technologií,
Božetěchova 2, 612 66 Brno

(Verze: 2024-02)
Přeloženo: 5. února 2024

Zdroje informací

- Oficiální stránka:
<https://www.fit.vut.cz/study/course/IJC/>
- Aktuální informace pro studenty:
<https://www.fit.vut.cz/study/course/IJC/public/>
- Dobrá literatura
- WWW odkazy
- man 3
- Náповěda v integrovaném prostředí
- ...

Novinky v C11 (C17 jen opravuje chyby)

- některé části normy jsou nepovinné ("optional")
- podpora vláken ("threads")
- možnost specifikovat zarovnávání ("alignment")
- UNICODE znaky a řetězce (bylo v revizi 2004)
- typově generické výrazy
- `static_assert`
- anonymní struktury a unie
- funkce bez návratu (atribut `noreturn`)
- výlučný přístup k souborům
- doplnění charakteristik pro `float/double/...`
- volitelná podpora pro kontrolu mezí a analýzu
- likvidace funkce `gets` (nahrazeno `gets_s`)

Úvod

Tyto slajdy jsou určeny pro studenty předmětu IJC na FIT. Obsahují popis jazyka ISO C vhodný pro studenty, kteří již zvládli triviální základy programování v C. Obsah slajdů je velmi stručný, podrobnější informace jsou součástí výkladu. *Předpokládá se též samostatná práce studentů s literaturou.*

Programy jsou sázeny obvykle bez potřebných `#include` na šířku maximálně 52 znaků:

```
-----|-----|-----|-----|-----|--
text programu a poznámky
```

Pro úsporu místa jsou někdy formátovány nestandardně. V textu jsou občas použity `rámečky` pro zvýraznění.

Literatura

- Herout, P.: *Učebnice jazyka C*, 6. vydání, Kopp, 2010
- ISO: *Programming languages – C, WG14 N3896 Committee Draft, April 1, 2023 (C23)*
- Kerninghan, B.; Ritchie, D.: *The C Programming Language*, 2nd edition, Addison-Wesley, 1988
- Kerninghan, B.; Ritchie, D.: *Programovací jazyk C*, Computer Press, 2006
- Kernighan B., Pike R.: *The Practice of Programming*, Addison-Wesley, 1999

Novinky v C23

- změna: `true`, `false`, `bool`, ... jsou klíčová slova.
- podpora `nullptr`
- podpora `auto` (jen pro inferenci typů proměnných)
- operátor `typeof(expr)`
- volitelně `_Decimal64` atd.
- inicializace nulami `{}` (včetně VLA)
- `#embed`, `#warning`, `__has_include`
- změna: `void f()` je funkce bez parametrů (jako v C++)
- povinné *variably-modified types* (parametry `fcj`, ne VLA)
- `enum E : long { ... }`
- literály se separátory `1.123'456'789`
- binární literály `0b10101010, %b` formát
- speciální celočíselné typy `_BitInt(N)`
- `constexpr` (jen pro proměnné)
- nová syntaxe pro atributy: `[[noreturn]]`
- nové knihovní funkce, ...

Pravidla

IJC =

- přednášky
- úkoly
- konzultace
- hodnocení celkem 100 bodů:
 - 30b 2 úkoly
 - 70b zkouška

Poznámka: Je dobré číst odbornou literaturu.

Historie jazyka C

C	(1972)	K&R
ANSI C	(1989)	norma pro USA
ISO C90	(1990)	mezinárodní norma
ISO C90 + TC	(1994)	doplňky a opravy
ISO C99	(1999)	mezinárodní norma
ISO C99 + TC	(2004)	doplňky a opravy
ISO C11	(2011)	mezinárodní norma
ISO C17	(2018)	= platný standard
ISO C23	(2024)	bude nový standard

Kerninghan, Ritchie: The C Programming Language (1978, 1988).

Aktuální norma: ISO/IEC 9899:2018 (C17)
Překladače a vývojová prostředí pro jazyk C — viz WWW

Charakteristika jazyka C

- Obecně využitelný programovací jazyk tradičně používaný pro systémové programování.
- C je relativně jednoduchý jazyk 'nižší úrovně'.
- Otevřený jazyk; malé jádro je snadno rozšiřitelné (knihovny).
- *Dobře napsané* programy v C jsou efektivní.
- Existuje velké množství programů napsaných v C.
- Programy jsou přenositelné *při dodržování jistých pravidel*.
- Existují překladače na prakticky všechny platformy.
- Populární díky operačnímu systému UNIX.
- Je standardizovaný (ISO/ANSI).

- Nedisciplinovanému uživateli umožňuje psát zcela nesrozumitelné programy (i["abcdef"], viz IOCCC)
- Je nutné dodržovat jisté konvence nekontrolované překladačem (ale existují prostředky na dodatečné kontroly — například program lint):
 - parametry funkce printf
 - meze polí
 - konzistence při sestavování programu
 - nedefinované chování: int overflow, ...
 - ...
- Manuální správa paměti. (Ne vždy jde o nevýhodu. Existuje možnost použít "garbage collector" – viz např. libgc)
- ...

```
if ( a > b ) { /* varianta A */
    text odsazený o 2-8 znaků
}
```

```
if ( a > b ) /* varianta B */
{
    text odsazený o 2-8 znaků
}
```

Zarovnávaní textu programu je důležité pro jeho dobrou čitelnost. Překladače zarovnání nevyžadují ani nekontrolují.

Poznámky:

- Automatické formátování zdrojových textů (GNU indent)
- Automatické generování dokumentace ze zdrojových textů programů (např. doxygen).

```
Soubor ahoj.c
#include <stdio.h> /* vloží rozhraní */

int main(void) {
    printf("Ahoj!\n");
}
```

Způsob zpracování

```
cc ahoj.c # pro Linux, UNIX, GNU C
./a.out
```

Poznámka: Struktura programu v jazyku C

void	prázdná množina hodnot
char	znak
short	krátké celé číslo
int	celé číslo (+podle registru procesoru)
long	dlouhé celé číslo (min 32 bitů)
long long	velmi dlouhé celé číslo (min 64 bitů)
float	reálné číslo
double	reálné číslo s dvojnásobnou přesností

Implicitní typové konverze

int ⇔ float
char ⇔ int

Řetězcové literály (C11)

```
"řetězec může obsahovat speciální znaky (char[])"
u8"text UTF-8 (char[])"
u"text UTF-16 (char16_t[])"
U"text UTF-32 (char32_t[])"
L"text (wchar_t[])"

\\ = znak \
\" = znak "
\t = tabulátor (posun na následující sloupec N*8)
...
```

Poznámky:

Pozor na jména souborů v MS-DOS stylu ("c:\text.txt")
Pozor na další omezení – např. printf("100%%");

```
printf("formátovací řetězec" [, parametry]);
```

- Knihovní funkce, není součástí jazyka
- Formátovací řetězec popisuje způsob tisku parametrů, znak % má speciální význam – označuje začátek formátu

Základní formáty

%f	číslo v plovoucí čárce
%d	desítkové celé číslo
%o	oktálové celé číslo
%x	šestnáctkové celé číslo
%c	znak
%s	řetězec znaků
%%	znak %

```
for(počáteční_nastavení; test; nastav_další_krok)
```

for(;;) { ... } /* nekonečný cyklus */

Příklad:

```
int main(void) {
    int i;
    for(i=1; i<=10; i++)
        printf(" %f \n", 1.0/i);
}
```

Makra:

```
#define JMENO hodnota
#define ZACATEK 1
```

const nebo enum není zcela ekvivalentní, ale obecně lepší:

```
const int ZACATEK = 1;
enum { ZACATEK = 1 };
```

počítání znaků

```
int main(void) {
    long nc = 0; /* zaručený rozsah do 2e9 */
    while(getchar()!=EOF) /* čtení znaku */
        nc++;
    printf("%ld znaků \n", nc);
} /* ^----- long */
```

druhá verze

```
int main(void) {
    long nc;
    for( nc = 0; getchar()!=EOF; nc++ )
        ; // prázdný příkaz - vše je v záhlaví
    printf("%ld znaků \n", nc);
}
```

Standardní vstup → standardní výstup

```
#include <stdio.h>

int main(void) {
    int c; // POZOR na chybné použití char c;
    while ( (c = getchar()) != EOF ) // priorita =
        putchar(c);
}
```

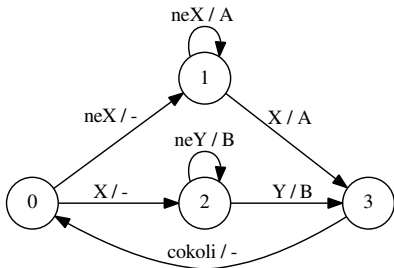
```
int main(void) {
    int c;
    long nl=0, nw=0, nc=0; // počet řádků, slov a znaků
    bool inword = false; // stav automatu
    while( (c = getchar()) != EOF ) {
        nc++;
        if( c == '\n' ) nl++; // nový řádek
        if( c == ' ' || c == '\n' || c == '\t' )
            inword = false; // oddělovač
        else if( !inword ) {
            inword = true; // začíná slovo
            nw++;
        }
    }
    printf("%ld %ld %ld\n", nl, nw, nc);
}
```

- Stav: konečný počet, počáteční stav, koncové stavy
- Vstupní abeceda
- Výstupní abeceda
- Přechodová funkce (hrany v grafové reprezentaci)
- Výstupní funkce (Mealy/Moore)

Implementace: switch(stav), tabulka+interpret, ...

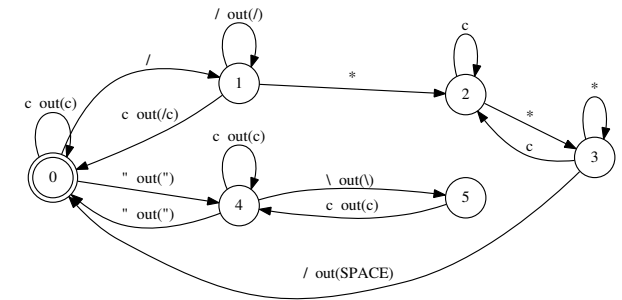
Snadno modifikovatelné, čitelnější kód

Použití: regulární výrazy, zpracování textu, HW, řízení, ...



```
int stav = 0; // počáteční stav
T vstup;
while ((vstup=DALSI_SYMBOL()) != KONEC) {
    switch(stav) {
        case 0: if (vstup==X) stav=2;
                else stav=1;
                break;
        case 1: if (vstup==X) stav=3;
                Vystup(A);
                break;
        case 2: if (vstup==Y) stav=3;
                Vystup(B);
                break;
        case 3: stav=0; break;
    }
} // end while
```

Graf popisující automat na odstranění /* ... */ poznámek



```
int stav = 0; // počáteční stav
int c;
while ((c=getchar()) != EOF) {
    switch(stav) {
        case 0: if(c=='/') stav=1;
                else if (c=='"') { stav=4; putchar(c); }
                else putchar(c);
                break;
        case 1: if(c=='*') stav=2;
                else if(c=='/') putchar(c);
                else { stav=0; putchar('/'); putchar(c); }
                break;
        case 2: if(c=='*') stav=3;
                break;
    }
}
```

```
case 3: if(c=='/') { stav=0; putchar(' '); }
        else if(c!='*') stav=2;
        break;
case 4: if(c=='\\') stav=5;
        else if(c=='"') stav=0;
        putchar(c);
        break;
case 5: stav=4;
        putchar(c);
        break;
} // end switch
} // end while
if(stav!=0) fprintf(stderr, "Error\n");
```

Poznámka: Chybí zpracování '"', '\\', a komentářů //

```
int main(void)
{
    int c; // načtený znak nebo EOF
    int ndigit[10] = { 0, };
    while( (c=getchar()) != EOF )
        if(isdigit(c)) // je číslice?
            ndigit[c-'0']++; // znak --> číslo
    printf("digit: number\n");
    for(int i=0; i<10; i++)
        printf("%c: %d\n", i+'0', ndigit[i]);
    printf("\n");
}
```

```
ISO C
int power(int x, int n) {          /* umocňování */
    int p;
    for( p=1; n>0; n-- )
        p = p * x;
    return p;                      /* návrat s hodnotou p */
}
```

Volání funkce

```
printf("%d %d %d\n", i, power(2,i), power(-3,i));
```

Poznámky:

Předávání parametrů hodnotou (kromě pole)
Pořadí vyhodnocování argumentů nedefinováno
Prototyp funkce

Podle K&R (velmi zastaralé, zrušeno v C23, nepoužívat)

```
power(x, n)          /* K&R: implicitní typ int */
int x, n;            /* K&R: deklarace parametrů */
{
    int i, p;
    for( i=p=1; i<=n; i++ )
        p = p * x;
    return p;
}
```

Poznámky:

K&R nezná pojem *prototyp funkce*
K&R deklarace funkcí nutná jen pro typ různý od int

```
unsigned get_line(const unsigned lim, char s[lim]) {
    unsigned i = 0;
    int c;
    while ((c = getchar()) != EOF) {
        s[i++] = c;      // uložit znaky včetně '\n'
        if (c == '\n')  break; // konec řádku
        if (i >= lim - 1) break; // nevejde se celý
    }
    s[i] = '\0';       // řetězec končí znakem '\0'
    return i;
}

void copy(char s[], const char s1[]) { // s:=s1
    while( (*s++ = *s1++) != '\0' );
}
```

```
#define MAXLINE 1000 // implementační limit

int main(void) {
    char line[MAXLINE]; // načtený řádek
    char save[MAXLINE]; // nejdelší řádek a
    unsigned max = 0;   // jeho délka
    unsigned len;
    while( (len=get_line(MAXLINE,line)) > 0 )
        if( len > max ) { // je delší?
            max = len;
            copy(save, line); // pole předá odkazem
        }
    if( max > 0 )
        printf("%s", save);
}
```

Základní množina znaků (1 byte)

- písmena: a-zA-Z
- číslice: 0-9
- grafické znaky:
! & * . < [^ |
" ' + / = \ _ }
(, : >] { `~
%) - ; ?
- mezera, nový řádek, BS, HT, VT, FF

V identifikátorech, znakových/řetězcových literálech, jménech
hlavičkových souborů a poznámkách mohou být i jiné znaky.

```
/* text C poznámky */

// text C99+ poznámky do konce řádku
// poznámka s trigraph ???
// pokračuje i na dalším řádku
```

ISO C nedovoluje vnořené poznámky. (Použijte #if 0)
Poznámka je *přepsána na jednu mezeru* až po rozvoji maker

Poznámka:

Některé zastaralé (ne ISO C) implementace nevkládaly mezeru

```
! &= + -- /= << == >>= ^ |=
% ( ++ -= : <<= > ? ^= ||
%= ) += -> ; <= >= [ { }
& * , . < = >> ] | ~
&& *= - /
```

Poznámka:

Operátor % a záporná čísla:

- C89: "implementation defined",
- C99, C11: LIA (Language Independent Arithmetic)
- Poznámka: pro znaménkový typ zbytek ≠ modulo

- rozlišují se velká a malá písmena (*case sensitive*)
- minimální rozlišovaná délka 63 znaků (31 pro extern)
- konvence pro zápis identifikátorů:
 - identifikátory preprocesoru velkými písmeny
#define YES 1
 - ostatní identifikátory malými písmeny
int i;
 - dlouhé identifikátory s podtržítkem mezi slovy
int muj_dlouhy_identifikator;
 - speciální jména začínají znakem _ (__func__)
- Zvláštní prostory jmen pro:
 - návěští ("labels"),
 - označení struktur/unii/výčtů ("tags"),
 - členy struktur/unii.

```
auto      else      long      switch
break     enum      register  typedef
case      extern     restrict  union
char      float     return    unsigned
const     for       short     void
continue  goto     signed    volatile
default   if       sizeof    while
do        inline    static
double    int      struct

_Alignas  _Atomic  _Complex  _Imaginary  _Static_assert
_Alignof  _Bool    _Generic  _Noreturn   _Thread_local
```

void	nezabírá paměť
bool	pouze hodnoty true a false
char	znak (vždy 1 bajt, celočíselný typ)
short int	krátké celé číslo (min 16 bitů)
int	standardní celé číslo
long int	celé číslo, min 32 bitů
long long int	celé číslo, min 64 bitů
float	reálné číslo (malá přesnost)
double	reálné číslo, dvojnásobná přesnost
long double	reálné číslo, extra přesnost (např. 10B)
float complex	komplexní číslo, přesnost float
double complex	komplexní číslo, přesnost double

Poznámka: C23: _Float32, ..., _Decimal128

|char| <= |short| <= |int| <= |long| <= |long long|

Příklady sizeof(T) pro různé architektury

	PC/64bit	PC/32bit	PC/16bit
char	1	1	1
short	2	2	2
int	4 nebo 8	4	2
long	8	4	4
long long	8	8	(8)
float	4	4	4
double	8	8	8
long double	16	12	10
void*	8	4	2 nebo 4

Poznámka: LP64, ILP64, LLP64, ILP32, LP32

unsigned char signed char
 unsigned unsigned int
 unsigned long

const, volatile (type qualifiers)

const T

Objekt takto označený nelze modifikovat přiřazením.

volatile T

Tato specifikace zabrání překladači provádět optimalizace při přístupu k objektu. Významné zvláště při komunikaci mezi paralelními procesy (např. sdílená paměť).

Poznámky: "const-correctness", volatile ≠ atomic

Celočíselné literály

- desítkové: číslice1-9 číslice0-9
- osmičkové: 0 číslice0-7
- šestnáctkové: 0x číslice0-9, a-f, A-F
- binární (C23): 0b číslice0-1

přípona	typ
bez přípony	int
l nebo L	long
ll nebo LL	long long
u nebo U	+specifikace unsigned
wb nebo WB	_BitInt(N) N = min (C23)

Příklady:

1'234567'890123'456789LL, 077, 0xFFuL, 0b1010uWB

přípona	typ
bez přípony	double
l nebo L	long double
f nebo F	float
dd nebo DD	_Decimal64 (DF: 32, DL: 128)

Příklady:

0. .0 1.0e-3L 3.14159F 3e1 -2e+9 0.1DD

Poznámky:

C17 šestnáctkový formát: 0xfeeP10F (exponent 2¹⁰)
 C23 desítkový základ (např. finanční aplikace): _Decimal64

'<znak>' znakový literál, je typu int

Speciální znaky ("escape-sequence")

\'	apostrof
\\	alert – pípnutí
\b	backspace – posun zpět (BS)
\f	nová stránka (FF)
\n	nový řádek (LF, CRLF)
\r	návrat vozíku (CR)
\t	horizontální tabelátor (HT)
\\	znak \
\x<číslo>	znak s ordinálním číslem hexadecimálně
\<číslo>	znak s ordinálním číslem oktalově

Příklady:

'n' '\\' '\n' '\x80' '\0' '\'

Znakové konstanty

anglický termín	zápis	typ
multi-byte character	'xx'	int
UTF-8 character	u8'x'	char8_t
wide character	L'x'	wchar_t
UTF-16 character	u'x'	char16_t
UTF-32 character	U'x'	char32_t

Poznámky:

- UNICODE kódování: '\u03A9' Ω, '\U0001F596'
- Víceznaková (multi-byte) reprezentace: UTF-8
- Kódování zdrojového textu

Řetězcové konstanty

zápis	typ
"<znaky (i speciální a multi-byte)>"	char []
u8"<znaky (i speciální a multi-byte)>"	char8_t []
L"<znaky (i speciální a multi-byte)>"	wchar_t []
u"<znaky (i speciální a multi-byte)>"	char16_t []
U"<znaky (i speciální a multi-byte)>"	char32_t []

- Překladač doplní na konec řetězce znak '\0'
- Překladač překóduje obsah řetězce podle implementací definované lokalizace. Použije funkce mbstowcs, mbrtoc16 *, mbrtoc32 *

" // prázdný řetězec (char[1])

"text se znakem \" v řetězci"

"text jako v originálním K&R C a \n pokračování textu na následujícím řádku"

"řetězec1" <mezery, nové řádky>
 "řetězec2" // ANSI-C "řetězec1řetězec2"

"\0" "12" // char[4]: '\0' '1' '2' '\0'

u8"něco" // minimálně char[6]

"a" "b" U"c" // U"abc"

```
datový_typ deklarátor [=ini_hodnota], ... ;
```

Příklady:

```
char line[100]; /* definice pole 100 znaků */
void f(void); /* deklarace funkce - prototyp */

void (*fp)(void); /* ukazatel na funkci */
void (*p[9])(void); /* pole ukazatelů na funkce */

const char backslash = '\\';
int i;
int * const p = &i; /* konstantní ukazatel */
double eps = 1.0e-5;
```

- statické (obvykle globální) proměnné se inicializují při překladu, bez inicializace mají hodnotu 0
- automatické (lokální) proměnné se inicializují, když tok řízení dosáhne místa deklarace, bez inicializace mají nedefinovanou hodnotu
- dynamické (malloc()) nelze přímo inicializovat

Příklad:

```
int x; // inicializováno při překladu na 0
void f(void) {
    int i; // i neinicializováno
    int j = 1; // inicializováno při každém volání
    char *p = malloc(10); // p inicializováno, *p ne
    static int c; // c inicializováno na 0 jen 1x
}
```

- identifikátor deklarovaný na globální úrovni má rozsah od místa deklarace do konce zdrojového textu modulu
- identifikátor uvedený jako formální parametr funkce má rozsah od místa deklarace do konce těla funkce
- identifikátor deklarovaný uvnitř bloku má rozsah do konce bloku
- návěští má rozsah funkce, ve které je definováno
- jméno makra má rozsah od příkazu #define do konce textu modulu nebo do příkazu #undef

Příklad:

```
int x = 10;

int main() {
    double x = 1.1; /* ve funkci platí double x */
    printf("%f",x);
}

void printx(void) { /* zde platí int x */
    printf("%d",x);
}
```

Vytváření nových jmen (synonym) datových typů. Nejde o vytvoření nového typu.

Příklady:

```
typedef int length_t;
length_t len, maxlen=100;

typedef int (*ptr2f_t)(void); /* ukaz. na funkci */
ptr2f_t numcmp, swap;

typedef char * string_t;
string_t s, lineptr[10];

je ekvivalentní:

char *s, *lineptr[10];
```

- Deklarace/definice ukazatele


```
int *px = NULL;
```
- Získání ukazatele na objekt (proměnnou)


```
int x, y;
px = &x; // operátor získání adresy objektu
```
- Odkaz na objekt (proměnnou)


```
y = *px; // operátor zpřístupnění objektu
px = &x;
y = *px; // v tomto kontextu ekvivalent y = x
```
- Výskyt na levé straně přiřazení (pojem L-hodnota)

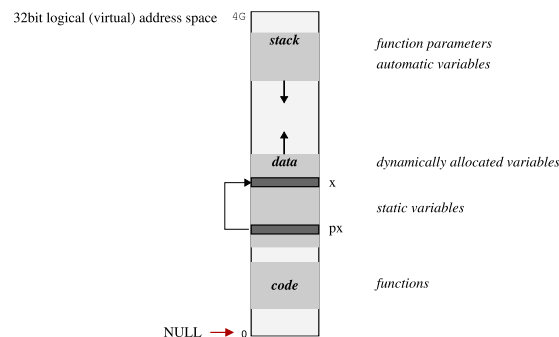

```
*px = 0;
*px += 4;
(*px)++;
```

- Předávání parametrů odkazem


```
void f(char *s, int (*p)[3], void (*fp)(void));
```
- Dynamické přidělování paměti


```
double *s = malloc(100*sizeof(double));
```
- Dynamické datové struktury


```
// Linux lists:
struct list_head queue = LIST_HEAD_INIT(queue);
// ...
struct list_head *pos;
list_for_each(pos, queue) {
    struct node *d;
    d = list_entry(pos, struct node, head);
    d->data = 0;
}
```



Příklad: Vzájemná záměna hodnot proměnných

```
void swap(int *px, int *py) {
    register int temp = *px;
    *px = *py;
    *py = temp;
}
```

Volání: `int x,y; /*...*/ swap(&x,&y);`
 ***** pozor!

Poznámka: C++ a typ reference

```
int a[10], *pa;
pa = &a[0]; // ukazatel na první prvek pole
x = *pa; // je ekvivalentní x = a[0]
```

Ukazuje-li pa na i-tý prvek pole, potom (pa+1) ukazuje na prvek i+1. V našem příkladu *(pa+1) je stejné jako a[1] Je možné místo pa = &a[0]; napsat pa = a; a potom platí: a[i] == *(pa+i)

Obecně pro jazyk C vždy platí:

```
a[i] == *(a+i)
```

Poznámky:

- Není možné zapsat a++
- Meze polí se nekontrolují

S ukazateli lze provádět aditivní operace.

- Jednotkou výpočtu je velikost cílového objektu.
- Operace mají smysl jen v rámci jednoho pole.
- Například:
 - posun ukazatele o 1 prvek: p++ (vpřed), p-- (vzad)
 - posun ukazatele o N prvků: p+=5 (vpřed o 5 prvků)
 - rozdíl ukazatelů: p2 - p1 (počet prvků mezi ukazateli)

Příklad: Posun ukazatele na další prvek pole

```
int *ip = pole;
ip++; // posun adresy o sizeof(int) bajtů
```

Dva ukazatele nelze sčítat, násobit, dělit, posouvat ani kombinovat s float a double — překladáč by měl hlásit chybu.

Pozor — chybné operace s ukazatelem

```
const char *p1 = "abcdef";
const char *p2 = "ghijkl";
p1 += p2; // chyba - nesmyslná adresa
p1 *= 2; // chyba - nesmyslná adresa
p1 >>= 2; // chyba - nesmyslná adresa
p1 += 3.14; // chyba - nesmysl

const void *p = p1;
p += 3; // chyba - nelze pro void*
```

```
size_t strlen(const char *s) {
    size_t n;
    for(n=0; *s!='\0'; s++) n++;
    return n;
}
```

Efektivnější varianta:

```
size_t strlen(const char *s) {
    const char *p = s;
    while( *p ) p++;
    return p-s; // rozdíl ukazatelů
}
```

Poznámky:

- Je možné i volání f(&a[2]) resp. f(a+2)
- Neefektivnější je obvykle strlen z knihovny.

ptr+int, ptr+=int, ptr++	posun
ptr-int, ptr-=int, ptr--	posun
ptr1 - ptr2	rozdíl
ptr[i]	indexování
*ptr	zpřístupnění cíle
ptr1 = ptr2	přirazení

Upozornění:

Operace s neinicializovaným ukazatelem jsou nebezpečné a nelze je většinou kontrolovat překladáčem!

Pozor — typická chyba

```
char *s; // Neinicializováno nebo implicitní NULL
*s = 'A'; // Zápis znaku na chybné místo v paměti
```

Řetězec je pole znaků, lze jej tedy "přiradit" ukazateli:

```
char *message = ""; // inicializace
message = "Now is the time."; // nejde o kopii!
```

Operace s řetězci:

- Kopie znakových řetězců:


```
char *strcpy(char *s1, const char *s2) {
    char *s = s1;
    while( *s++ = *s2++ );
    return s1;
}
```

Upozornění:

- obrácené pořadí parametrů: strcpy(kam, odkud)
- nekontroluje velikost řetězců (možné buffer overflow)
- chování nedefinováno pro překrývající se s1 a s2

- kopie řetězců s omezením délky:

```
char *strncpy(char *s1, const char*s2, size_t n);
```

- spojování řetězců:

```
char *strcat(char *s1, const char*s2);
char *strncat(char *s1, const char*s2, size_t n);
```

- lexikální porovnání řetězců:

```
int strcmp(const char*s1, const char *s2);
int strncmp(const char*s1, const char *s2, size_t n);
int strcoll(const char *s1, const char *s2);
```

- mnoho dalších funkcí (memcpy, strchr, strstr, strlen, C11: strcpy_s, strlen_s, strcat_s, ...) viz std. rozhraní <string.h>

- prvkem pole může být opět pole (do libovolné úrovně)

```
static int day_tab[2][13] = {
    { 0,31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31 },
    { 0,31,29,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31 },
};
```

- prvky jsou uloženy po řádcích
- nelze zkracovat a[x][y] jako a[x,y] (není hlášena chyba!)
- parametry typu pole se předávají vždy odkazem
- v parametrech není nutné udávat rozměr nejlevějšího indexu (počet řádků). Pro mapovací funkci to není podstatné. (Příklad: int f(int day_tab[][13]);)
- parametr typu pole (T[]) je ekvivalentní parametru typu ukazatel (T*)

```
const char *month_name(int n)
{ // pole ukazatelů na řetězce
    static const char *name[] = {
        "illegal month",
        "January", "February", "March",
        "April", "May", "June",
        "July", "August", "September",
        "October", "November", "December"
    };
    return (n<1 || n>12)? name[0] : name[n];
}
```

Poznámka:

```
char a[10][20]; // pole znakových polí
char *b[10]; // pole ukazatelů na řetězce
```

Programu TEST lze zadat argumenty při spuštění:

```
TEST argument1 argument2 .... poslední_argument
argv[0] argv[1] argv[2] argv[argc-1]
```

- argv[0] je jméno programu (nebo ""),
- argv[argc] má hodnotu NULL

Příklad: Vypis argumentů – program echo

```
int main(int argc, char *argv[]) {
    for(int i=1; i<argc; i++)
        printf("%s ", argv[i]);
    printf("\n");
}
```

```
int main(int argc, char *argv[]) {
    while(--argc>0)
        printf("%s ", **argv); // špatně čitelné
    printf("\n");
}
```

Poznámka: getopt a různé formáty argumentů

```
program -i
program -i hodnota
program -i=hodnota
program --include hodnota
program --include=[hodnota]
```

```
struct Date { // tag
    unsigned char day;
    unsigned char month;
    int year;
};
```

```
struct Date d = {21,10,1993};
struct Date dat;
```

Odkaz na člen struktury:

```
x = d.year; // jméno_proměnné . jméno_členu
```

Je možné vnořování struktur

Struktury lze předávat jako parametry funkcím a vracet jako funkční hodnotu

• Povolené operace jsou pouze:

.	zpřístupnění položky
->	zpřístupnění položky přes ukazatel
=	přifazení (nebo inicializace) struktury
&	získání ukazatele na proměnnou

• Ostatní operace jsou zakázané (struktury nelze sčítat atd.).
Poznámka: v C++ lze definovat potřebné operátory

```
struct X {
    int x;
    union /* no tag */ {
        int i;
        float f;
    } /* no tag */ {
        int y;
        int z;
    };
};

s.y = 1;
s.f = 3.14159F;
```

jednodušší a čitelnější zápis

```
struct ABC;
```

Lze použít pro definici ukazatelů:

```
struct ABC *p; // O.K.
```

Lze použít pro externí deklaraci proměnné:

```
extern struct ABC x; // O.K.
```

Nelze použít pro definici proměnné:

```
struct ABC x; // chyba
```

```
struct Date *ptr = &d;

x = ptr->year; je ekvivalentní příkazu x = (*ptr).year;
```

Operátory . a -> mají vysokou prioritu (viz tabulka operátorů)
++ptr->day je proto ekvivalentní ++(ptr->day)

Poznámky:

Dávejte přednost čitelnější formě: ptr->member
Nepřehánět: ptr->next->next->next->prev

operátor sizeof

```
sizeof(struct XYZ)
sizeof(dat1)
sizeof expr // bez závorek jen pro výrazy
```

- Velikost struktury nemusí být součtem velikostí jednotlivých složek. Důvodem je zarovnání (*alignment*) složek i celkové velikosti struktury.
- Pozor na vložené místo (*padding*) — při kopírování celých struktur (memcpy, fwrite, ...) je možný únik informací.

Poznámky: Little endian / big endian,

```
_Alignof(typ)
_Alignas(typ) _Alignas(const-expr)
```

Struktura může obsahovat ukazatel na sebe:

```
struct treenode {
    char *word; // řetězec
    int count;
    struct treenode *left; // levý následník
    struct treenode *right; // pravý následník
};

int main() { // neúplná implementace
    struct treenode *root = NULL;
    char word[MAXWORD];
    int len;
    while( (len=getword(word, MAXWORD)) != EOF)
        if(len>0)
            root = tree_insert(root,word);
    tree_print(root);
}
```



```
struct treenode *
tree_insert(struct treenode *p, const char *w) {
    int cond;
    if( p == NULL ) { // nové slovo
        p = tree_alloc(); // malloc s kontrolou NULL
        p->word = strdup(w);
        p->count = 1;
        p->left = p->right = NULL;
    } else if( (cond==strcmp(w,p->word)) == 0 )
        p->count++; // == slovo se opakuje
    else if( cond<0 ) // < do levého podstromu
        p->left = tree_insert(p->left,w);
    else // > do pravého podstromu
        p->right = tree_insert(p->right,w);
    return p;
}
```

- Vhodné pro úsporné uložení dat na několika bitech
- Lze použít pouze uvnitř struktur (a unii)

Příklad:

```
struct flags {
    unsigned is_kw : 1; // uloženo v jednom bitu
    unsigned is_ext : 1;
    unsigned : 2; // výplň 2 bity
    unsigned is_stat : 1;
    unsigned : 0; // zarovnání na unsigned
    unsigned num_bit : 12; // uloženo ve 12 bitech
} flags; // velikost 2*unsigned
```

Nevýhody:

- Pomalejší přístup k položkám
- Nelze použít operátory & (získání adresy), sizeof ani makro offsetof.
- Některé detaily jsou definovány implementací:
 - Pořadí obsazování bitů (od LSB nebo od MSB)
 - Položka přesahující konec alokační jednotky je nebo není zarovnána
 - int b:3; může mít hodnoty 0..7 nebo -4..3
Používejte např. unsigned int b:3;

Poznámka: Lze nahradit explicitní práci s bitovými operacemi

- Všechny položky začínají na stejné adrese (začátek unie) a překrývají se. Platná (aktivní) je vždy jen jedna položka.
- Použití složek je stejné jako u struktur
- Inicializovat lze pouze první složku (C90), podle C99+ jakoukoli složku { .name = value }

Příklad:

```
union u_tag {
    int ival;
    float fval;
    char *pval;
} u;

if(typ==INT) printf("%d\n", u.ival);
else if(typ==FLOAT) printf("%f\n", u.fval);
else if(typ==STRING) printf("%s\n", u.pval);
else error("chyba");

union u_tag x = { 1 }; //C99+: = { .fval = 0.1 };
```

obsahuje adresu kódu funkce, může být použit pouze k volání funkce (ukazatelová aritmetika není použitelná). Ukazatel:

```
T (*fp)(void);
```

reprezentuje *ukazatel na funkci bez parametrů vracející typ T*. Máme-li funkci:

```
T funkce(void) { /* kód funkce */ }
```

potom přiřazení do ukazatele má v ISO C tvar:

```
fp = &funkce; // & lze vynechat
```

Použití ukazatele k volání funkce:

```
(*fp)(); // volání cílové funkce
fp(); // lze zkrátit (doporučuji)
```

```
/**/ řadicí algoritmus - netestováno, doladit!
void sort( void *v[], unsigned n,
           int (*cmp)(const void *p1, const void *p2))
{
    int gap, i, j;
    for( gap=n/2; gap>0; gap/=2 )
        for( i=gap; i<n; i++ )
            for( j=i-gap; j>=0; j-=gap ) {
                void *tmp;
                if(cmp(v[j],v[j+gap]) <= 0) // porovnání
                    break;
                tmp = v[j]; // swap
                v[j] = v[j+gap];
                v[j+gap] = tmp;
            }
}
```

Příklad: Řazení pole ukazatelů — použití:

```
char *lineptr[100]; // pole řetězců
int nlines;
....
sort(lineptr,nlines,&strcmp);
//..... Problém: konverze
```

kde int strcmp(const char *s1, const char *s2); je standardní funkce z knihovny (viz <string.h>).

Poznámka:

Standardní knihovna obsahuje qsort()

- Konstanty ve výčtu jsou typu int a mají hodnoty rostoucí postupně od nuly
- Lze explicitně specifikovat hodnoty položek (konstant)
- Proměnné výčtového typu jsou kompatibilní s typem int
- Označení (*tag*) výčtu nesmí kolidovat: struct A {}; enum A {}; union A {}; je chyba!

Příklady

```
enum dny { PO, UT, ST, CT, PA, SO, NE };
typedef enum Boolean { FALSE, TRUE } Boolean;
enum bitmask { bit0=1, LSB=bit0, bit1,
               bit2=1<<2, bit3=1<<3, bit4=1<<4 };
enum { RAZ, DVA, TRI } e; // proměnná, "no tag"
```

Příklad:

```
enum dny d=P0;
int i = d; // hodnota 0
d++; // přičte 1, pozor na výsledek
printf("%d", d); // vytiskne 1
```

```
d = 2; // v C přípustné, ale NEPOUŽÍVAT!
```

Poznámka: V C++ jsou lepší výčtové typy (enum class)

Aritmetické operátory

+ - (binární i unární)
* /
% modulo

Pro komutativní operátory není definováno pořadí vyhodnocení operandů
Pozor na operátor % a na výpočty v plovoucí čárce

Relační operátory

== != < > <= >=

Logické operátory

|| logické nebo (OR)
&& logické a (AND)
! logické ne (NOT)

Zkrácené vyhodnocování:

A || B je-li A!=0, pak se B nevyhodnocuje
A && B je-li A==0, pak se B nevyhodnocuje

Příklad: Přestupný rok (Gregoriánský kalendář)

```
(year%4 == 0 && year%100 != 0 || year%400 == 0)
```

- **Celočíselná rozšíření (integral promotions):** zachovávají hodnotu včetně znaménka
char, short int, bitová pole → int nebo unsigned

Poznámka: argumenty funkcí (...), K&R float → double

- **Obvyklé aritmetické konverze** u binárních aritmetických operací:
 - 1 Je-li jeden operand typu long double, je druhý převeden na long double a výsledek je také long double
 - 2 jinak, je-li double ...
 - 3 jinak, je-li float ...

Jinak se provedou celočíselná rozšíření pro oba operandy a potom:

- 1 jestliže oba operandy mají stejný typ neprovádí se další konverze,
- 2 jinak, jsou-li oba operandy signed nebo oba unsigned převede se vše na typ s větším rozsahem.
- 3 Jinak, jestliže unsigned typ má větší nebo stejný rozsah, je druhý operand převeden na unsigned.
- 4 Jinak, jestliže signed operand může reprezentovat všechny hodnoty unsigned operandu, je druhý operand převeden na signed.
- 5 Jinak jsou oba převedeny na odpovídající unsigned typ.

– vzniká při převodu znaků na int:

signed char → int	rozsah -128 .. 127
unsigned char → int	rozsah 0 .. 255

Příklad:

```
int getchar(void);  
/* vrácí EOF (tj. -1) nebo znak 0 .. 255 */  
  
int c; /* musí být typu int !!! */  
c = getchar();  
if(c==EOF) .... /* pro char c; bude chybné */
```

(typ) výraz

Příklad: problém kontextové operace dělení

```
int i1,i2;  
double f;  
...  
f = i1/i2; // celočíselné dělení  
f = (double)i1/i2;  
  
f = i1/(i2+1.0)
```

Operátory ++ a --

++ increment (zvýšení o 1)
-- decrement (snížení o 1)

++i před použitím hodnoty prefixový zápis
i++ po použití hodnoty postfixový zápis

Příklad:

```
int x, n=5;  
x = n++; /* x = 5, n = 6 */  
x = ++n; /* x = 7, n = 7 */
```

Poznámka: Tyto unární operátory lze použít pouze pro proměnné! (přesněji: L-hodnoty).
Nelze například napsat (55+5)++

Příklad: odstranění zadaného znaku z řetězce

```
void squeeze( char s[], char c ) {  
    int i,j;  
    for( i=j=0; s[i] != '\0'; i++ )  
        if( s[i] != c )  
            s[j++] = s[i];  
    s[j] = '\0';  
}
```

Logické operátory po bitech

& bitové AND (*bitwise and*)
| bitové OR
^ bitové XOR
~ bitová negace (NOT)

Posuny bitů

<< posun vlevo
>> posun vpravo

Poznámka: unsigned operand: logický posun,
signed operand: nedefinováno/aritmetický posun

Příklad

Příklad: čtení bitového pole z proměnné

```
int getbits(unsigned x, unsigned p, unsigned n) {
    return (x>>(p+1-n)) & ~(~0 << n);
}
|-----| |-----|
\-----/ \-----/
posun na pravý   maska 000000111111
okraj slova      n jedniček
```

Jak se vyhnout závislosti na počtu bitů slova:
 ~0 = samé jedničky ve slově libovolné délky (nezávislé)
 x & ~0777 nezávislé na délce slova
 x & 0177700 závislé – uvažuje 16 bitů

Operátory – pokračování

Přiřazovací operátory a výrazy

```
+= -= *= /= %= <<= >>= &= ^= |=
```

Přiřazení má hodnotu a typ levé strany.
 c1 op= c2 je prakticky ekvivalent c1 = c1 op (c2)
 ale podvýraz c1 vyhodnotí jen jednou.

Příklad: (pozor na závorky)

```
x *= y + 1          x = x * (y + 1)
```

Není nutné optimalizovat společné podvýrazy.
 Často je čitelnější: `yyval [yypv [p3+p4]+yypv [p1+p2]] += 2;`

Příklad: součet jednotkových bitů

```
int bitcount(unsigned n) {
    int b;
    for( b=0; n != 0; n >>= 1 )
        if(n & 1) // hodnota nejnižšího bitu
            b++;
    return b;
}
```

Poznámka: Pozor na vedlejší efekty

```
i = i++;           // nedefinováno!
pole[j] = pole[k]++; // nedefinováno pro j==k
*ptr1 = (*ptr2)++; // nedefinováno pro ptr1==ptr2
```

Operátory – pokračování

Podmíněný výraz

```
e1 ? e2 : e3
```

Je-li e1!=0, pak výraz má hodnotu e2, jinak e3
 Vyhodnocuje se pouze jeden z výrazů e2, e3

Příklad: formátování tisku

```
for(int i=0; i < N; i++)
    printf("%6d%c", a[i], (i%10==9||i==N-1)?'\n':' ');
```

Příklad: výběr maxima

```
int max(int a, int b) {
    return (a>b) ? a : b;
}
```

Priorita a asociativita operátorů

operátory	asociativita
() [] -> .	→
! ~ + - ++ -- & * (typecast) sizeof	←
* / %	→
+ -	→
<< >>	→
< <= > >=	→
== !=	→
&	→
^	→
	→
&&	→
	←
?:	←
= *= /= %= += -= &= ^= = <<= >>=	←
,	→

Příkazy

Výraz-příkaz

Výraz se stane příkazem, zapíšeme-li za něj středník.
 Hodnota takového výrazu se zanedbá.

Příklad:

```
x = 0;
i++;
printf("xxx");
```

Složený příkaz – blok

```
{ deklarace příkaz1 příkaz2 .... příkazN }
```

Poznámky:

Za } není středník! (pozor na makra)
 C99: deklarace proměnných mohou být mezi příkazy

Příkazy – pokračování

Podmíněný příkaz

```
if( výraz ) příkaz1
[ else příkaz2 ]
```

Poznámka: nejednoznačnost se řeší jako v Pascalu a jiných jazycích: else patří k poslednímu volnému if

Příklad: binární vyhledávání

```
/* hledáme x v poli v[] o rozměru n */
int binary( int x, int v[], int n) {
    int low = 0;
    int mid;
    int high = n - 1;
    while( low<=high ) {
        mid = (low + high) / 2;
        if( x<v[mid] )
            high = mid - 1;
        else if ( x>v[mid] )
            low = mid + 1;
        else
            return mid; /* nalezeno mid */
    }
    return -1; /* nenalezeno */
}
```

Příkazy – pokračování

Příkaz switch

```
switch( výraz ) {
    case konstantní_výraz : příkaz1
    ....
    [ default : příkazNPLUS1; ]
}
```

Poznámka: Pozor: funguje jinak než v Pascalu!

```
int main() {
    int c, i, nwhite=0, nother=0, ndigit[10] = { 0, };
    while( (c=getchar()) != EOF )
        switch(c) {
            case '0': case '1': case '2': case '3': case '4':
            case '5': case '6': case '7': case '8': case '9':
                ndigit[c-'0']++;
                break; /* nepokračovat */
            case ' ': case '\n': case '\t':
                nwhite++;
                break; /* ukončí switch */
            default : nother++;
                break; /* i zde je dobré */
        } /* switch i while */
    printf("digits = ");
    for(i=0; i<10; i++)
        printf(" %d ", ndigit[i]);
    printf("\n ws=%d, other=%d\n", nwhite, nother);
}
```

Cyklus while

```
while ( <výraz> )
    <příkaz>
```

Cyklus for

```
for( <výraz1>; <výraz2>; <výraz3> )
    <příkaz>

for(;;) <příkaz> // nekonečný cyklus

for(int i=0; i<N; i++) // běžné použití
    pole[i]=0;
```

Příklad: Algoritmus řazení (shell-sort)

```
// funkce řadí pole v[] o rozměru n vzestupně

void shell(int v[], int n) {
    for(int gap=n/2; gap>0; gap/=2)
        for(int i=gap; i<n; i++)
            for(int j=i-gap; j>0 && v[j]>v[j+gap]; j-=gap) {
                int temp = v[j];
                v[j] = v[j+gap];
                v[j+gap] = temp;
            }
}
```

Postupné vyhodnocení výrazů, použití výsledku posledního.

Příklady:

```
void reverse(char s[]) { // obrácení řetězce
    int i, j;
    for( i=0, j=strlen(s)-1; i<j; ++i, --j) {
        int c = s[i];
        s[i] = s[j];
        s[j] = c;
    }
}
```

```
assert( ("Index x mimo meze", x>=0 && x<MAX) );
```

Poznámka:

Čárky oddělující argumenty funkcí nejsou operátory!

Cyklus do-while

```
do
    příkaz
while( výraz ); // cyklí dokud podmínka platí
```

Poznámky:

Provede se alespoň jednou.
Podle statistik cca 5% cyklů.

Příklad: konverze čísla na znaky v opačném pořadí

```
do {
    s[i++] = n % 10 + '0';
}while( (n/=10) > 0 );
```

Ukončuje nejbližší nadřazený příkaz switch, while, for, nebo do-while

Příklad: vynechání koncových mezer a tabulátorů

```
int main() {
    int n;
    char line[MAXLINE];
    while( (n=getline(line,MAXLINE)) > 0 ) {
        while( --n >= 0 )
            if( !isspace(line[n]) )
                break;
        line[n+1] = '\0';
        printf("%s\n", line);
    }
}
```

Přeskočí zbytek těla cyklu a pokračuje podmínkou cyklu

```
for( i=0; i<N; i++ ) {
    if( a[i] < 0 )
        continue;
    .... /* pouze pro >= 0 */
}
```

Poznámka: Eliminace zanoření těla cyklu

Použitelné pouze v rámci jedné funkce

```
void f(void) {
    // ...
    goto identifikátor;
    // ...
    // ...
    identifikátor : příkaz;
    // ...
}
```

Poznámky:

Používat opatrně, minimalizovat použití.
Nikdy neskákat do strukturovaných příkazů!

```
int f(void) {
    // ...
    if (chyba)
        goto error_exit;
    for (...)
        for (...) { // 2. úroveň
            // ... výpočet
            if (chyba)
                goto error_exit;
        }
    return kladny_vysledek;
error_exit:
    // ... ošetření chyby
    return -1;
}
```

```
typ jméno ( deklarace_parametrů )  
{  
    deklarace lokálních proměnných  
    příkazy // C99: i deklarace  
}
```

Funkce může vracet struktury, unie ale *ne pole*

Příkaz return

```
return; // jen pro funkce typu void f()  
return e; // e = výraz kompatibilní s typem fce
```

Poznámky:

- C99: inline funkce, C11: `_Noreturn`

viz Rekurze.

Příklad: výpis celého čísla desítkově

```
void printd(int n) {  
    int i;  
    if(n<0) {  
        putchar('-');  
        n = -n; // nefunguje pro INT_MIN  
    }  
    if((i=n/10) != 0)  
        printd(i); // rekurze  
    putchar(n%10 + '0');  
}
```

Poznámka: optimalizace, *tail recursion*

- jsou předávány hodnotou
- pole se předávají odkazem (ukazatel na první prvek)
- problémy s funkcemi s proměnným počtem argumentů
- C99: `__func__`, ...

Poznámka: API, ABI

Funkce s proměnným počtem argumentů

```
typ f(typ1 parametr1, ... ); // variadic function
```

- Musí být alespoň jeden pevný parametr
- Funkce musí mít informace o skutečném počtu argumentů při zavolání
- `va_list`, `va_start()`, `va_arg()`, `va_end()`

Příklad: Standardní funkce s proměnným počtem argumentů

```
int printf(const char *fmt, ... );  
int sprintf(char *s, const char *fmt, ... );
```

Program = množina globálních proměnných a funkcí

Globální proměnné

- Jsou to statické proměnné
- Inicializace "při překladu"
- (Použití např. pro omezení počtu argumentů funkcí)

Deklarace funkce je implicitně externí (*extern* je zbytečné):

```
extern int plus(int,int); int plus(int,int);
```

U proměnných je podstatný rozdíl:

```
extern int a; int a; // definice
```

Použití: extern deklarace před použitím, modularita

Poznámka: C89: nedeklarované funkce: `extern int f()`;

(*scope*)

Úsek programu, ve kterém je jméno definované

automatické proměnné globální proměnné jména parametrů návěští	blok od deklarace do konce souboru prototyp, funkce funkce
---	---

Statické proměnné

existují trvale bez ohledu na aktivaci funkcí

Pozor: proměnná nebo funkce označená *static* je platná pouze v rámci souboru (modulu) a není viditelná z jiných modulů

Příklad:

```
int count; // statická a externí  
static char buffer[100]; // statická a ne-externí  
static int plus(int a, int b) // statická=ne-externí  
{  
    static int s = 1; // statická a lokální  
    int n = a + buffer[b]; // automatická=lokální  
    return s = (n + count*s);  
}
```

Proměnné register

- Pokud je to možné, jsou uloženy v registru procesoru (rychlost)
- Pouze pro automatické proměnné
- Nelze získat ukazatel na registrovou proměnnou

Příklad:

```
int swap(int *x, int *y) {  
    register int tmp = *x;  
    *x = *y;  
    *y = tmp;  
}
```

Bloková struktura programu

- Hierarchie bloků (zanoření do "libovolné"úrovně)
- V bloku lze deklarovat proměnné
- Lokální deklarace překrývá ostatní (globální i lokální), platí to i pro jména formálních parametrů

Poznámky:

- Nelze vnořovat definice funkcí
- Makra nerespektují tuto strukturu (nejsou "hygienická")

- Statické jsou ("při překladu") implicitně inicializovány hodnotou nula, případná inicializace proběhne při překladu (vyžaduje konstantní výraz)

```
const int nula;  
static int dva = 2;  
void f(int p) {  
    static bool stav=true; // musí být konstanta  
    // ....  
}
```
- Automatické a registrové mají *nedefinovanou hodnotu*, případná inicializace se provede při běhu programu

```
void g(int v[], int n) {  
    int x; // nedefinovaná hodnota  
    int high = v[n-1]; // nemusí být konst. výraz  
    // ....  
}
```

Inicializace polí

```
int pole1[] = { 1, 1, 1, 0, 0, };  
int pole2[10] = { 1, [5]=0, 1, }; // jen C99+
```

```
char string1[] = "the"; // použití řetězce  
char string2[] = { 't', 'h', 'e', '\0' };  
  
char nonstring[3] = "the"; // není řetězec!
```

Inicializace struktur

```
struct MyExtraComplex {  
    double Re;  
    int Im;  
} c1 = { .Re=1.25, .Im=3 }; // C99 inicializace
```

Modul je samostatná překladová jednotka – soubor *.c

Příklad: pozor, NEVHODNÝ styl – hrozí nekonzistence

<pre>// === modul1.c === int x; // definice x static int s; void f2(double d); int main() { f2(5); s--; return 0; }</pre>	<pre>// === modul2.c === extern int x; // deklarace x static int s; static void f(void) { s++; } void f2(double d) { x = 10*d; f(); }</pre>
---	--

Příklad a sestavení více modulů: cc modul1.c modul2.c

- Moduly zveřejňují rozhraní v souboru *.h (header file). V rozhraní jsou pouze:
 - deklarace proměnných
 - deklarace funkcí
 - definice typů
 - definice maker
 - definice inline funkcí(Jen pokud jsou sdílené více moduly.)
- Rozhraní se vkládá (#include) do modulů, aby byla při překladu zajištěna konzistence deklarací a kontrola definic.
Poznámka: Aby to opravdu fungovalo, potřebujete správně použít program "make" nebo podobný.

<pre>// === rozhrani.h === extern int x; void f2(double d);</pre>	<pre>// === modul1.c === #include "rozhrani.h" static int s; int x; /* definice */ int main() { f2(5); s--; return 0; }</pre>	<pre>// === modul2.c === #include "rozhrani.h" static int s; static void f(void) { s++; } void f2(double d) { x = 10*d; f(); }</pre>
---	--	---

Direktivy začínají znakem #

Vložení souboru s rozhraním

```
#include <stdio.h>  
#include "modul2.h" // hledá i v ./
```

Definice makra bez parametrů

```
#define JMENO text \  
    text na dalším řádku  
// ... každý výskyt JMENO se rozvine na text  
#undef JMENO
```

Příklad:

```
#define EOF -1  
#define NULL ((void*)0)
```

Příklad: pozor na priority a vedlejší efekty

```
#define SQR(a) ((a)*(a))  
// použití:  
x = SQR(p+q); // ((p+q)*(p+q)) O.K.  
x = SQR(i++); // ((i++)*(i++)) nedefinováno
```

```
#define ABS(a) ((a)<0 ? -(a) : (a))
```

```
#define PRIKAZ(x) do { neco(x); } while(0)  
//....  
if(a) PRIKAZ(a);  
else PRIKAZ(b);
```

Vynechání úseků programu

```
#ifdef JMENO #ifndef JMENO  
.....  
#endif /* JMENO */ #endif /* !JMENO */
```

```
#if konstantní_výraz  
.....  
#elif konstantní_výraz  
.....  
#else  
.....  
#endif
```

V podmínce jsou použitelné pouze konstantní výrazy:

```
defined(linux) && defined(i386)  
__BORLANDC__ >= 0x0300
```

```
# vytvoření řetězce ("stringize")  
## spojení identifikátorů
```

Příklad: ukázka použití

```
#define SPOJ(a,b) a##b  
#define PRINT(x) printf(#x " = %d\n", x)
```

Použití a výsledek:

```
SPOJ(file,id) fileid  
PRINT(pocet) printf("pocet " = %d\n", pocet)
```

Nastavení různých parametrů překladačů:

```
#pragma <parametry>
```

Příklad: Borland C / DOS

```
#pragma option -K      /* unsigned char */
#pragma warn amb
```

Příklad: GCC

```
#pragma message "Compiling " __FILE__ "..."
#pragma GCC optimize ("-O1")
```

Poznámka: `_Pragma`

soubor	co obsahuje
assert.h	Makro assert pro ladění.
ctype.h	Makra pro klasifikaci znaků.
errno.h	Definuje pojmenování chybových kódů.
float.h	Parametry pro floating-point funkce.
limits.h	Rozsahy celých čísel.
locale.h	Funkce pro národní/jazykovou podporu.
math.h	Matematické funkce.
setjmp.h	Typy pro funkce longjmp a setjmp.
signal.h	Konstanty a deklarace pro funkce signal a raise
stdarg.h	Makra pro práci s proměnným počtem argumentů.
stddef.h	Některá makra a datové typy.
stdio.h	Typy, makra a funkce pro standardní vstup/výstup
stdlib.h	Obecně použitelné funkce (konverze, řazení)
string.h	Funkce pro práci s řetězci a pamětí.
time.h	Typy a funkce pro práci s časem.

Implementace:

```
#define assert(podminka) if(!podminka) ....
```

- diagnostika logických chyb – testování podmínek (precondition, postcondition)
- při nesplnění podmínky vypíše:


```
text                "Assertion failed: "
text podmínky       x < 0
jméno souboru        __FILE__
číslo řádku          __LINE__
C99: jméno funkce    __func__
```

- lze vypnout definováním makra `NDEBUG`

```
#define NDEBUG
#include <assert.h>
```

```
//#define NDEBUG
#include <assert.h>

double logarithm(const double x) {
    assert( x > 0.0 );
    /* zde platí podmínka */
    ....
}
```

```
int isalnum(int c)  písmeno nebo číslice [A-Za-z0-9]
int isalpha(int c) písmeno [A-Za-z]
int iscntrl(int c) řídicí znak
int isdigit(int c)  číslice [0-9]
int isgraph(int c) tisknutelný znak bez mezery
int islower(int c) malé písmeno [a-z]
int isprint(int c) tisknutelný znak včetně mezery
int ispunct(int c) tisknutelný znak bez alnum a mezery
int isspace(int c) oddělovač
int isupper(int c) velké písmeno [A-Z]
int isxdigit(int c) šestnáctková číslice [0-9A-Fa-f]
int toupper(int c) převod znaku na velké písmeno
int tolower(int c) převod znaku na malé písmeno
```

Poznámky: Rozsah parametru: unsigned char + EOF
Makra vrací hodnoty ==0 a !=0 (NE 0 nebo 1)

```
int errno
je globální (pseudo)proměnná nastavovaná std. funkcemi,
na začátku programu je nulová
```

Norma definuje pouze základní hodnoty:

```
EDOM    doménová chyba
EILSEQ  C99: chyba konverze na wchar_t
ERANGE  přetečení nebo podtečení
```

implementace pak podle OS doplňuje další

Poznámka: `perror()`

- Zaokrouhlování: `FLT_ROUNDS`
- `FLT_EVAL_METHOD`
- Základ: `FLT_RADIX`
- Minimum, maximum a přesnost: `{FLT|DBL|LDBL}`
 - *_MANT_DIG, *_DIG, DECIMAL_DIG,
 - *_MAX, *_MIN, *_EPSILON,
 - *_MIN_EXP, *_MIN_10_EXP,
 - *_MAX_EXP, *_MAX_10_EXP,

```
CHAR_BIT = počet bitů typu char
MB_LEN_MAX = max počet bajtů v 'xxx'
```

```
SCHAR_MIN, SCHAR_MAX, UCHAR_MAX, CHAR_MIN, CHAR_MAX
SHRT_MIN, SHRT_MAX, USHRT_MAX
INT_MIN, INT_MAX, UINT_MAX
LONG_MIN, LONG_MAX, ULONG_MAX
```

C99: `LLONG_MIN, LLONG_MAX, ULLONG_MAX`

Konvence pro formáty: datum, čas, měna, znaky abecedy, řazení řetězců, ...

Ovlivňuje chování standardních funkcí (`isalpha()`, ...)

Definuje typ `struct lconv`, makra `LC_ALL, LC_COLLATE, LC_CTYPE, LC_MONETARY, LC_NUMERIC, LC_TIME` a funkce

```
char *setlocale(int category, const char *locale);
struct lconv *localeconv(void);
```

Po startu programu platí:

```
setlocale(LC_ALL, "C");
```

math.h – matematické funkce

Definuje všechny běžné matematické funkce pro double, float (přípona f), a long double (přípona l):

sin, asin, cos, acos, tan, atan, atan2, ...
sqrt, pow, exp, log, log10, ...
lgamma, tgamma, ...
fabs, fmin, fmax, ...
floor, ceil, round, fmod, modf, ...

makra INFINITY, isinf(), NAN, isnan(x)

Poznámky:

C99: complex varianty: csin, csinf, ...

Příklad použití setjmp(), longjmp()

```
void subroutine(jmp_buf jmp) {
    longjmp(jmp,1);
}

int main() {
    int value;
    jmp_buf jmp;
    value = setjmp(jmp);
    if (value != 0) {
        printf("Byl volán longjmp(jmp,%d)\n", value);
        exit(value);
    }
    printf("Volání podprogramu ... \n");
    subroutine(jmp);
}
```

stdarg.h – funkce s proměnným počtem argumentů

va_list typ ukazatele na argumenty

Makra pro přenositelný přístup k argumentům:

```
void va_start(va_list ap, lastfix);
type va_arg(va_list ap, type);
void va_end(va_list ap);
```

- Makro va_start musí být použito jako první. Nastaví ap tak, aby ukazoval na první z volitelných argumentů funkce. Například:

```
void f(int i, char *lastfix, ...);
```

- Jednotlivé hodnoty argumentů vrací makro va_arg. Druhý parametr type určuje typ argumentu. (Nelze použít typy char, unsigned char, nebo float.)

- Nakonec va_end uzavře zpracování argumentů.

setjmp.h – nelokální skoky

- deklarace:

```
int setjmp(jmp_buf jmpb);
void longjmp(jmp_buf jmpb, int retval);
```

- setjmp – příprava pro nelokální skok
- longjmp – provede nelokální skok
- volání longjmp obnoví stav programu tak, jakoby setjmp skončil s návratovou hodnotou retval. (longjmp nemůže předat hodnotu 0 v retval, v takovém případě je změněna na 1.)
- longjmp může být voláno pouze z funkce, která byla zavolána z funkce, která volala příslušný setjmp.
- setjmp lze volat jen z vhodných míst a dojde k narušení ne-volatíle proměnných, které byly změněny mezi voláním setjmp a longjmp.

signal.h – zpracování signálů

Komunikace procesů, výjimky

```
void (*signal(int sig, void (*func)(int s)))(int);
int raise(int sig);
```

raise vyšle signál číslo sig procesu
signal určuje jak bude přijatý signál zpracován

Definované konstanty:

```
SIG_DFL nastaví implicitní obsluhu
SIG_ERR indikuje chybu při návratu z funkce signal
SIG_IGN ignoruje signál
```

Uživatелеm specifikované obslužné funkce mohou končit return nebo voláním abort, _exit, exit, nebo longjmp.

Příklad: Součet seznamu čísel ukončeného nulou

```
int sum(int i1, ...) {
    int total = i1;
    va_list ap; // ukazatel
    int arg;
    va_start(ap, i1);
    while ((arg = va_arg(ap,int)) != 0) // 0=konec
        total += arg;
    va_end(ap);
    return total;
}

int main(void) {
    printf("Součet = %d\n", sum(1, 2, 3, 4, 0));
}
```

setjmp.h – nelokální skoky

- setjmp je použitelné pro ošetření chyb a výjimek (někdy se používá i pro implementaci kooperativního zpracování úloh - viz "coroutines")

Návratové hodnoty:

- setjmp vrací 0 když je volán. Když dojde k návratu z setjmp po volání longjmp, setjmp vrací nenulovou hodnotu.
- longjmp se nikdy nevrací

Typy signálů

SIGABRT	abnormální ukončení
SIGFPE	chyba operace v plovoucí čárce (dělení nulou)
SIGILL	nelegální operace
SIGINT	ctrl-C
SIGSEGV	chyba přístupu k paměti
SIGTERM	požadavek ukončení programu

Poznámky:

- Problémy: nedefinované chování při signálu během obsluhy jiného signálu
- ISO C signály nevhodné – používat POSIX signály
- UNIX definuje cca 30 typů signálů

stddef.h – některá makra a datové typy

ptrdiff_t	rozdíl ukazatelů
size_t	velikost objektů
wchar_t	'široké' znaky (UNICODE)
NULL	
offsetof(typ, člen)	

Příklady:

```
struct xx {
    int a, b;
};
size_t off = offsetof( struct xx, b );
size_t sz = sizeof( struct xx );
int p[10];
ptrdiff_t dif = (char*)&p[10] - (char*)&p[0];
wchar_t c = 'H';
```


stdio.h – standardní vstup/výstup

- Typy:
 - size_t velikost objektů v paměti
 - FILE soubor
 - fpos_t pozice v souboru
- Makra:
 - NULL, EOF
 - FOPEN_MAX, FILENAME_MAX
 - SEEK_CUR, SEEK_END, SEEK_SET
- Proměnné:
 - stdin, stdout, stderr

stdio.h – standardní vstup/výstup

- Funkce:
 - remove, rename, tmpfile
 - fopen, freopen, fread, fwrite, fclose
 - fprintf, fscanf, printf, scanf, sprintf, sscanf
 - vfprintf, vprintf, vsprintf, vgetc, fgets, fputc, fputs, getc, getchar, putc, putchar, puts, ungetc, fgetpos, fseek, fsetpos, ftell, rewind, clearerr, feof, ferror, perror

Poznámka: C99: orientace, mbstate_t, fwide(), getwchar(), wprintf(), ...

funkce getchar, putchar

```
int getchar(void);
```

čte jeden znak stdin. Narazí-li na konec souboru, vrací hodnotu EOF. Ekvivalent getc(stdin).

```
int putchar(char c);
```

zapisuje jeden znak do stdout. Nelze-li zapsat, vrací EOF, jinak vrací c. Ekvivalent putc(c, stdout).

Příklad: konverze na malá písmena (filtr)

```
#include <stdio.h>
#include <ctype.h>
int main() {
    int c;
    while((c=getchar())!=EOF)
        putchar(tolower(c));
}
```

Funkce fgets

```
char *fgets(char *s, int size, FILE *stream);
```

čte řádek ze souboru stream. Vrací s při úspěšném čtení, NULL při EOF. Znak '\n' přečte a uloží do s (na rozdíl od gets).

Funkce gets už není v ISO C11

```
char *gets(char *s);
```

Nepoužívat – nekontroluje délku vstupu!

Funkce puts

```
int puts(const char *s);
```

zapiše řetězec do stdout a přejde na nový řádek (na rozdíl od fputs). Vrací EOF při chybě, jinak vrací nezápornou hodnotu.

Funkce printf – formátovaný výstup do stdout

```
int printf(const char *fmt, ...);
```

fmt: řetězec obsahující formát tisku

```
% - prefix formátu
d - desítkově celé číslo
o - oktalově celé číslo
x - šestnáctkově celé číslo
u - desítkově bez znaménka
c - znak
s - řetězec
e - pohyblivá čárka s exponentem
f - pohyblivá čárka bez exponentu
g - kratší z %e nebo %f
```

Funkce printf – příklady

```
%5.2lf 5 míst, 2 desetinná, long float
%10s   min. délka 10
%-10s  zarovnaní doleva
%10.5s délka 10, tiskne pouze 5 znaků, zleva mezery
%.10s  tisk řetězce, je-li delší max. 10 znaků
% d    znaménko '-' nebo ' ' na začátku čísla
%#g   vždy desetinná tečka, ponechá koncové nuly
%06x  ponechá úvodní nuly: -00001
```

Funkce scanf – formátovaný vstup ze stdin

```
int scanf(const char *fmt, ...);
```

vrací počet úspěšně načtených formátů podle specifikace:

- znaky ' ', '\t', '\n' se ignorují
- jiné znaky se musí shodovat se vstupním textem
- % – prefix formátu
- * – potlačí přiřazení
- volitelně šířka pole

formát	vstup	argument
d, ld	desítkové číslo	int*, long*
o, lo	osmičkové číslo	int*, long*
x, lx	šestnáctkové číslo	int*, long*
h	short	short*
c	jediný znak	char*
s	řetězec	char[], char*
f, lf	reálné číslo	float*, double*

Funkce scanf – příklady

```
int i;
float x;
char name[50];
scanf("%2d %f %*d %2s", &i, &x, name); /* & */
```

Vstup: 56789 0123 45a72

Výsledek: i = 56; x = 789.0; name = "45"

Funkce *printf *scanf

fprintf, fscanf – tisk a čtení ze souboru

```
int fprintf(FILE *f, const char *fmt, ...);
int fscanf(FILE *f, const char *fmt, ...);
```

sprintf, sscanf – formátové konverze v paměti

```
int sprintf(char *s, const char *fmt, ...);
int sscanf(const char *s, const char *fmt, ...);
```

Poznámky:

- konzistenci parametrů a formátu zajišťuje programátor
- scanf vyžaduje ukazatele jako parametry
- scanf, sprintf — nebezpečí přepsání paměti
- implicitní konverze/rozšíření argumentů

Příklad:

```
int i;
char c;
scanf("%d ", i ); /* pozor - chyba! */
scanf("%d ", &c ); /* pozor - chyba! */
```

Příklad: zřetězení souborů na stdout (cat)

```
void filecopy(FILE *fp);
int main(int argc, char *argv[]) {
    FILE *fp;
    if( argc==1 )
        filecopy(stdin);
    else
        while( --argc > 0 )
            if( (fp=fopen(++argv,"r")) == NULL ) {
                printf("cat: can't open %s \n", *argv);
                continue; /* další soubor */
            }
            else {
                filecopy(fp);
                fclose(fp);
            }
}
```

Převod řetězce na číslo

```
double atof( const char * s);
int atoi( const char * s );
long atol( const char * s );
```

```
double strtod( const char *s, char **endptr);
long strtol( const char *s, char **endptr, int base);
unsigned long strtoul(const char *s, char **e, int b);
```

endptr – ukazatel do řetězce po konverzi (není-li NULL)
base – základ číselné soustavy

Práce se soubory

Funkce fopen – otevření souboru

```
FILE *fopen(const char *name, const char *mode);
```

name je jméno souboru, mode je režim otevření:

"r"	"rb"	čtení, čtení binárního souboru
"w"	"wb"	zápis
"a"	"ab"	přidávání na konec
"wx"		chyba pokud soubor už existuje

Poznámka: kombinace "r+", "w+b", "rb+" atd...
Při chybě vrátí NULL

Příklad:

```
const char *name = "test.txt";
FILE *fp = fopen( name, "r" );
if( fp == NULL )
    error("soubor %s nelze otevřít pro čtení", name);
```

Příklad: cat – dokončení

```
void filecopy(FILE *fp) { /* neefektivní */
    int c;
    while( (c=getc(fp)) != EOF )
        putc( c, stdout );
}
```

funkce fclose – uzavření souboru

```
int fclose(FILE *f);
```

Vrací EOF v případě chyby, jinak nulu

stdlib.h – obecně použitelné funkce

div_t, ldiv_t	typy pro div, ldiv
EXIT_FAILURE, EXIT_SUCCESS	parametry exit()
RAND_MAX	maximum rand()
MB_CUR_MAX	max. počet bajtů v 'xxx'

Funkce:

abs, div, labs, ldv
bsearch, qsort,
rand, srand
atof, atoi, atol, strtod, strtol, strtoul
mblen, mbstowcs, mbtowc, wcstombs, wctomb
calloc, free, malloc, realloc
abort, atexit, exit, getenv, system

Funkce atexit

Volání zadaných funkcí na konci programu

```
int atexit( void (*func)(void) );
```

- registruje funkci pro zavolání před skončením programu (pořadí LIFO)
- dovoluje registraci min. 32 funkcí
- vrací nulu v případě úspěchu

funkce exit – zpracování chyby

```
void exit(int e);
```

ukončí program s návratovým kódem e

Funkce atexit – příklad

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
FILE *fp;
void Close(void) { fputs("\nEXIT\n",fp); fclose(fp); }

int main(int argc, char *argv[]) {
    // test argc ...
    if( (fp=fopen(argv[1],"w")) == NULL ) {
        fprintf(stderr, "can't open %s \n", argv[1]);
        exit(1); // ukončení s chybou
    }
    atexit(Close);
    DoSomething(fp); // může volat exit()
    // ukončení bez chyby - následuje exit(0);
}
```

```
void *malloc(size_t size);
void *realloc(void *ptr, size_t size);
void *calloc(size_t memb, size_t size);
void free(void *ptr);

malloc   přidělí paměť o zadané velikosti
free     uvolní přidělenou paměť
calloc   přidělí a nuluje paměť
realloc  zvětší/zmenší přidělenou paměť (může přesunout)
```

```
#include <stdlib.h>
typedef struct prvek {
    int data;
    struct prvek *dalsi;
} prvek;

prvek *novy_prvek(void) {
    prvek *p = malloc(sizeof(prvek));
    if( p == NULL ) /* pozor! musí se testovat! */
        error("chyba: málo paměti");
    return p;
}

void zrus_prvek(prvek *ptr) {
    free(ptr);
}
```

```
strlen   délka řetězce
strcpy   kopie řetězce
strncpy  kopie řetězce (max. n znaků)
strcat   připojení řetězce
strncat  připojení řetězce (max. n znaků)
strcmp   porovnání dvou řetězců
strncmp  porovnání dvou řetězců (max. n znaků)
strcoll  porovnání podle národní abecedy (LC_COLLATE)
strchr   vyhledání znaku
strrchr  vyhledání znaku od konce
strstr   vyhledání podřetězce

size_t, NULL
```

```
memcpy   kopie bloků paměti
memmove  kopie překrývajících se bloků paměti
memcmp   porovnání bloků paměti
memchr   vyhledání bajtu
memset   nastavení bajtů
...
```

Počet bajtů je dalším parametrem těchto funkcí.

Příklad:

```
void f(void) {
    int pole[SIZE];
    int pole2[SIZE];
    memset(pole, 0, SIZE * sizeof(pole[0]));
    memcpy(pole2, pole, sizeof(pole2));
}
```

```
CLOCKS_PER_SEC  počet tiků za sekundu
clock_t          systémový čas [ticky]
time_t           čas [s]
struct tm        tm_sec, tm_mday, ...
```

```
funkce:
clock      čas od začátku programu [ticky]
difftime   rozdíl časů v sec
mktime     převod na interní reprezentaci času
time       současná hodnota času [s]

asctime, ctime, gmtime, localtime, strftime
```

```
struct tm t;
t.tm_year = 1995 - 1900; /* rok od 1900 */
t.tm_mon = 10 - 1;      /* měsíc 0..11 */
t.tm_mday = 6;          /* den 1..31 */
t.tm_hour = 12;
t.tm_min = 0;
t.tm_sec = 1;
t.tm_isdst = -1;        /* letní čas? */

if( mktime(&t) != -1 ) /* OK */
    puts("pátek");
```

Nové vlastnosti jazyka C podle normy C99:

- typ long long a související funkce
- negeneruje implicitní prototypy funkcí
- inline funkce (§6.7.4)
Někdy inline definice vyžaduje další extern deklaraci v jediném modulu a není specifikováno, zda se funkce rozvine nebo zavolá.
Pozor na velmi staré verze GCC (4.3+ a -std=c99 je O.K.)

```
inline int plus1(int a, int b) { return a+b; }
inline int plus2(int a, int b) { return a+b; }
int main(void) { // použijte gcc -std=c99
    return plus1(1,2)+plus2(3,4); // chyba bez -O2
}
// extern int plus1(int a, int b); // +deklarace v modulu
```

- Strukturované literály: (typ) { inicializace }
- Automatická pole nekonstantních rozměrů (pouze ve funkcích)

```
T f(int n) {
    int pole[n]; // "variable-length array", VLA
    // ...
}
```

```
// následující prototypy jsou ekvivalentní:
T f(int n, int m, int a[n][m]);
T f(int n, int m, int a[*][*]);
T f(int n, int m, int a[ ][*]);
T f(int n, int m, int a[ ][m]);
```

viz ISO C99 §6.7.5.3 Variably modified types

- pole na konci struktury ("*Flexible array member*")
struct S { int n; T array[]; };
- Typ_Bool a makra v <stdbool.h> (konstanty true, false a typ bool).
- Komplexní čísla. V <complex.h> jsou definovány typy complex, imaginary a celá řada funkcí. Například:
double complex cacos(double complex z);
float complex cacosf(float complex z);
long double complex cacosl(long double complex z);
jsou definice funkce acos.

- restrict ukazatel je jedinou přístupovou cestou k objektu. Vhodné pro lepší optimalizaci; kvalifikátor restrict lze kdykoli vynechat bez změny významu.

Příklad:

```
void f (char * restrict s1,
        const char * restrict s2,
        int n) {
    while(n-->0)
        *s1++ = *s2++;
}

void g1 (int p[restrict][32]);
void g2 (int (* restrict p)[32]);
```

- Nové funkce: snprintf, vscanf, ...
- Identifikátor jména funkce: __func__
- Znakové literály \uXXXX \UXXXXXXXX
- Makra s proměnným počtem argumentů


```
#define debug(...) fprintf(stderr, __VA_ARGS__)
#define showlist(...) puts(__VA_ARGS__)
```
- Standardní #pragma definice


```
#pragma STDC co jak
co := {FP_CONTRACT|FENV_ACCESS|CX_LIMITED_RANGE}
jak := {ON|OFF|DEFAULT}
```
- Pragma operátor


```
#define M _Pragma(string-literal) // v makrech
```

soubor	co obsahuje
complex.h	podpora pro komplexní čísla
fenv.h	nastavení parametrů prostředí pro výpočty v plovoucí čárce (režim zaokrouhlování, zpracování výjimek)
inttypes.h	rozšíření definic celočíselných typů v stdint.h o makra pro formáty pro printf a deklarace funkcí strtouimax, strtoumax, wcstouimax a wctoumax
stdbool.h	podpora typu bool
stdint.h	celočíselné typy – například intmax_t, uintmax_t, int8_t, uint8_t, int_least32_t, int_fast32_t, atd.
tgmath.h	typové generická makra

soubor	co obsahuje
iso646.h	AMD1: podpora omezených znakových sad (and == && atd.)
wchar.h	AMD1: podpora wchar_t, definuje například funkce fwprintf, swprintf, wcstol, wcsncpy, wcsmemncpy, atd.
wctype.h	AMD1: ctype.h pro typ wchar_t — definuje typy a funkce iswdigit atd.

- Generická makra v <tgmath.h>

<math.h> funkce	<complex.h> funkce	generické makro
acos	cacos	acos
asin	casin	asin
atan	catan	atan
cos	ccos	cos
sin	csin	sin
tan	ctan	tan
exp	cexp	exp
log	clog	log
pow	cpow	pow
sqrt	csqrt	sqrt
fabs	cabs	fabs
...

- některé části normy jsou nepovinné ("optional")
- podpora vláken ("threads")
- možnost specifikovat zarovnávání ("alignment")
- UNICODE znaky a řetězce (bylo už v revizi 2004)
- typové generické výrazy (.Generic)
- static_assert(1 + 1 == 2, "chyba: 1+1 není 2");
- funkce bez návratu (noreturn void abort());
- anonymní struktury a unie
- výlučný přístup k souborům (fopen("file", "w+x");)
- konečná likvidace funkce gets
- volitelná podpora pro kontrolu mezí a analýzu
- ...

- __STDC_ANALYZABLE__ hodnota 1 ⇒ podporuje přílohu L
- __STDC_IEC_559__ 1 ⇒ příloha F (IEC 60559 floating-point arithmetic).
- __STDC_IEC_559_COMPLEX__ 1 ⇒ příloha G (IEC 60559 compatible complex arithmetic).
- __STDC_LIB_EXT1__ hodnota 201ymmL ⇒ příloha K (Bounds-checking interfaces).
- __STDC_NO_ATOMICS__ 1 ⇒ NEpodporuje atomické typy
- __STDC_NO_COMPLEX__ 1 ⇒ NE komplexní čísla
- __STDC_NO_THREADS__ 1 ⇒ NE <threads.h>
- __STDC_NO_VLA__ 1 ⇒ NE pole s nekonstantní velikostí

Volitelná část normy C11 (bylo povinné pro C99)
CMPLX makra vrací komplexní hodnotu x + iy

```
#include <complex.h>

double complex CMPLX(double x, double y);
float complex CMPLXF(float x, float y);
long double complex CMPLXL(long double x, long double y);
```

Poznámka: Pokud má makro __STDC_NO_COMPLEX__ hodnotu 1, implementace nepodporuje komplexní čísla a complex.h neexistuje.

soubor	co obsahuje
stdalign.h	alignas, operátor alignof, ...
stdatomic.h	atomické operace
stdnoreturn.h	specifikace noreturn
threads.h	thread_local, funkce, mutex, cvar, ...
uchar.h	char16_t, char32_t, funkce

+ doplňky v ostatních hlavičkových souborech

- true, false, bool, ... jsou klíčová slova.
- podpora nullptr
- podpora auto (jen pro inferenci typů proměnných)
- operátor typeof (expr)
- volitelné _Decimal64 atd.
- inicializace nulami {} (včetně VLA)
- Preprocesor: #embed, #warning, _has_include, ...
- povinné *variably-modified types* (parametry fcí, ne VLA)
- enum E : long { }
- literály se separátory 1.123'456'789
- binární literály 0b10101010, %b formát
- speciální celočíselné typy _BitInt(N)
- constexpr (jen pro proměnné)
- nová syntaxe pro atributy: [[noreturn]]

soubor	co obsahuje
stdbit.h	makra pro počítání bitů v int atd.
stdckdint.h	makra pro operace + - * s kontrolou přetečení

+ doplňky v ostatních hlavičkových souborech

Při programování máme dvě možnosti:

- psát programy bez chyb
- nebo se naučit hledat a odstraňovat chyby v programech (debugging)
 - ladění je časově náročné
 - je třeba se učit z vlastních i cizích chyb
 - vliv použitého programovacího jazyka

Prevence chyb

Techniky pro omezení chyb:

- dobrý návrh programu (rozhraní, ...)
- dobrý styl psaní programů
- důkladné testování okrajových podmínek, assert(), ...
- omezení globálních dat
- používání nástrojů pro kontrolu správnosti programů (lint, valgrind, electric fence, ...)

Poznámka: Pozor na chyby způsobené nepochopením kódu

- interaktivní nástroj vhodný pro zjištění stavu
- možnosti ladicích programů:
 - krokování programu
 - výpis obsahu paměti, registrů, ...
 - výpis stavu zásobníku (stack-trace)
 - breakpoint (podmíněný, HW)
 - watchpoint (podmíněný, HW)
 - automatické spuštění při výskytu problému
 - post-mortem ladění: core
 - připojení k již běžícímu procesu
 - vzdálené ladění
 - ...
- nejsou vždy dostupné (embedded, některé jazyky, ...)
- problémy: paralelní procesy/vlákná, operační systémy, distribuované systémy

Závěr: ne vždy vhodné

- Použití ladicích programů.
- Výpisy (log-file) a jejich analýza (výhody: součást programu, lze zapnout/vypnout, někdy efektivnější).

Zkoumání možných příčin chyb – doporučení

jednodušší případy:

- hledání obvyklých chyb: chybějící & v scanf, chybné formáty printf/scanf, a podobné (nástroje: gcc -Wall, program lint, ...)
- soustředit se na poslední změny kódu
- neopakovat stejné chyby, opravit *všechny* výskyt chyby
- neodkládat ladění na pozdější dobu (příklad: Mars Pathfinder – reset)
- sledovat "stack-trace" – hodnoty parametrů funkcí
- nedělat unáhlené opravy
- vysvětlit svůj kód někomu jinému (i když tomu nerozumí)

- zajistit reprodukovatelnost chyby
- sledovat četnost výskytů chyby (například každých X znaků je chyba – asi problém +-1 – prohledat kód na výskyt konstant v okolí hodnoty X)
- kontrolní výpisy (log-file), grep
- používání nástrojů: grep, diff, awk, ...
- přidávat testy do kódu
- vizualizace výstupů programu (graf)
- vytvářet testovací případy; redukce kódu s chybou na minimum
- zaznamenávat průběh ladění v případě dlouhotrvajících problémů

- zkontrolovat lehce přehlednatelné chyby

```
if (a & 1 == 0) { /* <<<< prioritá */
    /* nikdy se neprovede ... */
}
switch (x) {
    /* ... */
    default: /* <<<< překlep */
        /* nikdy se neprovede ... */
}
memset(p, n, 0); /* <<<< chybné pořadí argumentů */

DPRINTF(("výpis %d\n", i++)); /* <<<< co až zmizí? */
```
- nehledat chyby, které nejsou (vzniknou například chybným testováním)
- zkontrolovat uvolňování zdrojů (memory leaks, file desc.)
- velmi zřídka může být chyba v překladači, knihovnách, OS, HW (Příklad: isprint(getchar()) a dvojí vyhodnocení)

- zkontrolovat inicializaci proměnných
- pokud po přidání testovacího kódu chyba zmizí – možná chyba alokace paměti (i printf může alokovat paměť a způsobit změnu chování)
- když kód vypadá správně – nějaká jiná část programu přepisuje paměť (neinicializovaný ukazatel, vrácení odkazu na lokální proměnnou, použití dynamicky alokované paměti po jejím uvolnění, dvakrát free, ...) Nástroje: speciální malloc/free – knihovny (dmalloc, efence, ...), program valgrind, ...
- chyba v programu závisí na prostředí: kontrola nastavení proměnných prostředí (např. LANG), přístupová práva, konfigurace systému, ... (Příklad: MSDOS: ctrlZ je EOF — nefunguje stdin s bin. daty)

- Je chyba opravdu v cizím kódu?
- Není chyba už známa nebo opravena v nové verzi? (bugzilla, ...)
- Vytvořit minimální příklad chyby a nahlásit

Nástroje pro ladění

- debuggery: GDB, DDD, Insight, ...
- výpisy informací o činnosti procesu:

strace, ptrace	komunikace s jádrem systému
ltrace	volání funkcí sdílených knihoven
ps, top	stav procesu
script	záznam výstupů na terminál
lsuf	výpis otevřených souborů
fuser	procesy pracující se souborem
- výpisy informací o programu:

nm	symboly v modulech/knihovnách
size	velikost kódu, dat, ...
ldd	teré dyn. knihovny jsou použity
strings	textové řetězce v bin. souboru
od, hexdump	obsah souboru (různé formáty)
objdump	obsah modulu/programu (disassembly,...)
- pomocné textové nástroje: grep, cut, sort, diff, cmp, comm

Testování programů

- Systematické pokusy o vyvolání chyby testovaného programu.
- Souvisí s laděním, ale není to totéž.
- Může odhalit chyby, ale nemůže dokázat jejich nepřítomnost.

Systematické testování

- testujte kód v průběhu implementace
- testujte jednoduché části jako první
- je třeba znát, jaký výstup lze očekávat
- ověřujte invariantní vlastnosti (počty zpracovaných záznamů, kontrolní součty, ...)
- porovnejte nezávislé implementace stejných algoritmů
- ověřte, zda testujete všechny varianty kódu

Automatizace testů

- automatické regresní testy – porovnání s předchozí verzí
- nezávislé testy – obsahují vstupy a očekávané výstupy
- ...

Poznámka: "unit testing", "code coverage analysis"

Tipy pro testování

- vždy testujte své programy
- upravte kód tak, aby se ověřilo ošetření chyb (speciální alokátor paměti vracející chybu, zmenšení velikostí polí, ...) inicializujte pole a proměnné speciálními hodnotami
- testujte v různých prostředích (jiný OS, překladač, HW)
- umožněte regulaci množství testovacích výpisů (`--verbose`)
- před odevzdáním vypněte testovací kód (`#define NDEBUG`)

Charakteristika jazyka C++

- Obecně využitelný programovací jazyk vyšší úrovně.
- Je standardizovaný (ISO/ANSI)
- Podporuje abstraktní datové typy a vytváření knihoven.
- Nástupce jazyka C (zpětná kompatibilita)
- Efektivita
- Objektová orientace (třídy, dědičnost)
- Možnost přetěžovat operátory
- Generické třídy a funkce (šablony)
- Obsluha výjimek
- Mnoho různých implementací překladačů
- Množství prostředků pro různé aplikace (GUI, ...)

Nevhody C++

- Je *podstatně* větší a složitější než C
- Není čistě objektově orientovaný (např. typ `int` není třída a nelze z něj dědit)
- Zdědil některé problémy jazyka C (indexování polí se nekontroluje, manuální správa paměti, ...)
- Není zcela kompatibilní s jazykem C
- Ne všechny překladače dostatečně vyhovují normě.

Poznámka: Citace z Internetu: "There are only two kinds of programming languages: those people always bitch about and those nobody uses."

Testování v průběhu psaní programu

- testujte mezní případy:
 - vstup odpovídající velikosti pole `++1`
 - prázdný vstup
 - obrovský vstup
 - speciální znaky na vstupu
- testujte pre- a post-conditions: záporné hodnoty nebo nula tam, kde se očekává kladné číslo (příklad USS Yorktown: dělení nulou)
- defenzivní programování — testovat i "případy které nikdy nenastanou"
- testujte návratové hodnoty funkcí (`malloc`, `fopen`, ...)

Úvod do C++

Historie

C with classes	(1981)	Bjarne Stroustrup, Bell Labs
ISO C++	(1998)	první norma C++98
ISO C++	(2011)	C++11
ISO C++	(2014)	C++14
ISO C++	(2017)	C++17
ISO C	(2018)	aktuální norma C18
ISO C++	(2020)	aktuální norma C++20

Původní definicí je kniha *Stroustrup: The C++ Programming Language* (Addison-Wesley 1985, 1991, 1997, 2013). Platí norma *ISO/IEC 14882:2020* (neformálně: C++20).

Poznámka: Překladače a vývojová prostředí pro jazyk C++ viz WWW.

Příklady – překlad a sestavení programu

Soubor `ahoj.cc`:

```
#include <iostream>
int main() {
    std::cout << " Ahoj! \n"; // tisk řetězce
}
```

Způsob zpracování (UNIX, překladač GNU C++):

```
g++ -o ahoj ahoj.cc # překlad, sestavení
./ahoj # spuštění
```

Poznámka: Přípony `.cc`, `.cpp`, `.C`, `.c++`, `.cxx`
Optimalizace a ladění (UNIX, GNU C++):

```
g++ -O2 -o prog prog.cc # +optimalizace
g++ -g -o prog prog.cc # +ladicí informace
gdb prog # ladění
```

Příklad: čtení a tisk C++ řetězce

```
#include <iostream>
#include <string>    // std::string

int main() {
    using namespace std; // == nemusíme psát std::
    cout << "C++ string" << endl;
    string s;
    cout << "s = " << s << endl;
    cout << "string s (libovolná délka): " << flush;
    cin >> s; // sledujte jak funguje (čte slova)
    cout << "s = " << s << endl;
}
```

Příklad: čtení a tisk C řetězce v C++ (nevhodné)

```
// hrozí chyba typu "buffer overflow" [NEPOUŽÍVAT]

#include <iostream>
#include <string>

using namespace std; // nemusíme psát std::

int main() {
    cout << "C string" << endl;
    char s[100] = "";
    cout << "s = " << s << endl;
    cout << "string s (max 99 zn): " << flush;
    cin >> s; // čte slovo, pozor na "buffer overflow"
    cout << "s = " << s << endl;
}
```

Příklad: četnost slov

```
// g++ -std=c++11 (nebo c++0x)
#include <iostream>
#include <string>
#include <map>    // kontejner std::map

int main() {
    std::string word;
    std::map<std::string,int> m; // asociativní pole
    while( std::cin >> word ) // čte slova
        m[word]++;
    for(auto x: m) // iterace a tisk
        std::cout << x.first << "\t" << x.second << "\n";
}
```

Příklad: četnost slov (zastaralé, C++98)

```
#include <iostream>
#include <string>
#include <map>    // kontejner std::map

typedef std::map<std::string,int> map_t;
typedef map_t::iterator mapiter_t;

int main() {
    std::string word;
    map_t m; // asociativní pole
    while( std::cin >> word ) // čte slova
        m[word]++;
    for(mapiter_t i=m.begin(); i!=m.end(); ++i) // tisk
        std::cout << i->first << "\t" << i->second << "\n";
}
```

Příklad: řazení čísel, iterator

```
// g++ -std=c++11
#include <iostream> // cout
#include <vector> // vector
#include <algorithm> // sort, copy
#include <iterator> // ostream_iterator

int main() {
    using namespace std;
    vector<int> v{4, 2, 5, 1, 3}; // inicializace
    sort(begin(v), end(v)); // řazení
    ostream_iterator<int> o(cout, "\n"); // iterator
    copy(begin(v), end(v), o); // tisk
}
```

Příklad: řazení čísel — varianta 2

```
#include <vector> // vector
#include <algorithm> // sort, copy
#include <iostream> // cout
#include <iterator> // ostream_iterator

int main() {
    using namespace std;
    vector<int> v;
    int i;
    while ( cin >> i ) // čtení čísel ze vstupu
        v.push_back(i); // vektor se zvětšuje
    sort(v.begin(), v.end()); // řazení
    ostream_iterator<int> o(cout, "\n");
    copy(v.begin(), v.end(), o); // tisk
}
```

Příklad: lambda funkce

```
// g++ -std=c++11
#include <iostream> // cout
#include <vector> // vector
#include <algorithm> // sort, copy, for_each

int main() {
    using namespace std;
    vector<int> v{ 4, 2, 5, 1, 3 }; // inicializace
    sort(v.begin(), v.end(),
        [](int x, int y){return x>y;}); // řazení
    int a = 10; // lokální objekt
    for_each(v.begin(),v.end(),
        [&a](int &x){ x += a++; }); // "closure"
    for(auto x: v) // tisk
        cout << x << endl;
}
```

Rozdíly mezi C a C++

- C++ vychází z jazyka C11 (C++98 z C90, C++11 z C99)
- Dobře napsané C programy jsou též C++ programy (s několika výjimkami: nová klíčová slova, povinné prototypy funkcí, silnější typová kontrola, ...)
- Rozdíly mezi C a C++ jsou zjištěny překladačem kromě několika málo výjimek:
 - Znakové literály jsou typu char


```
sizeof('a') == sizeof(int) // C
sizeof('a') == sizeof(char) // C++
```

• ...

- Výčtový typ není ekvivalentní typu int


```
enum e { A };
sizeof(A) == sizeof(int) // C
sizeof(A) == sizeof(e) // C++ != sizeof(int)
```
- Jméno struktury v C++ může překrýt jméno objektu, funkce, výčtu nebo typu v nadřazeném bloku:


```
int x[99];
void f() {
    struct x { int a; };
    sizeof(x); /* pole v C, struktura v C++ */
}
```

- typ reference
- anonymní unie (jsou v C11)
- přetěžování funkcí a operátorů
- operátory `new`, `delete`, `new[]` a `delete[]`
- třídy (`class`), abstraktní třídy
 - automatická inicializace (konstruktory, destruktory)
 - zapouzdření (`private`, `public`, `protected`)
 - dědičnost, násobná dědičnost
 - polymorfismus (virtuální funkce)
 - uživatelem definované konverze

- jméno třídy a výčtu je jméno typu
- ukazatele na členy tříd
- v inicializaci statických objektů je dovolen obecný výraz
- generické datové typy – šablony (`template`, `typename`)
- obsluha výjimek (`try`, `catch`, `throw`)
- prostory jmen (`namespace`, `using`)
- nové způsoby přetypování (`static_cast`, `const_cast`, `reinterpret_cast`, `dynamic_cast`)
- informace o typu za běhu programu (`typeid`, `type_info`)
- klíčové slovo `mutable`

- R-hodnotové reference, "move" konstruktory
- `constexpr`
- Změny ve specifikaci dat "POD = Plain Old Data"
- `extern template`
- Inicializační seznamy
- Sjednocený zápis inicializace (`int a{5};`)
- Inference typů (`auto`, `decltype`)
- for cyklus přes rozsah kontejneru
- Lambda funkce a výrazy
- Alternativní syntaxe funkcí `[]fce(int x)->int{return x};`
- Speciální identifikátory `override`, `final`
- `nullptr`

- Nové, silně typované výčty
- `template<vector<T>>` (problém v C++98)
- `explicit` pro konverzní operátory
- `alias` šablony
- Šablony s proměnným počtem parametrů ("variadic templates")
- Nové řetězcové literály
- Uživatelem definované literály (10kg, 12345bignum)
- Podpora vláken (`thread_local`, ...)
- `default` a `delete` konstruktory `atd`.
- `long long`
- `static_assert`
- Možnost implementovat "garbage collector"

Malé změny a zrušení různých omezení:

- `auto f() { ... return x; }`
- `auto` parametry lambda funkcí
- šablony proměnných
- C99 inicializace `{ .field=value, ... }`
- binární literály `0b0110`
- oddělovače v numerických literálech `10'000'000`
- vylepšení a rozšíření `std` knihovny
- ...

Řada menších změn jazyka:

- zrušení "trigraphs"
- float literály v šestnáctkové soustavě
- lepší optimalizace
- ...

Vylepšení a rozšíření `std` knihovny:

- práce se soubory a adresáři (viz `boost::filesystem`)
- `std::string_view`
- Další matematické funkce
- `std::variant`
- `std::byte`
- ...

Poznámky: Závislost na C11, podpora C++17 v překladačích

Jazyk:

- Moduly (*modules*): `import`, `module` (identifikátory), `export`
- Korutiny (*coroutines*): `co_await`, `co_return`, `co_yield`
- Koncepty (*concepts*): `concept`, `requires`
- (*three-way comparison operator*): operátor `<=>`
- Funkce prováděné při překladu (immediate functions): `constexpr`
- Inicializace proměnné při překladu: `constexpr`

Knihovna: rozsahy (*ranges*), `std::span`, `std::format`, ...
Makra: `__has_cpp_attribute(a)`, `__cpp_concepts`, ...

Poznámky

```
/* text poznámky */  
// text poznámky platí až do konce řádku
```

Vyhrazené identifikátory

- vše co obsahuje dvojité podtržení `__` na libovolné pozici
- vše co začíná podtržením `_` následovaným velkým písmenem
- globální symboly začínající podtržením `_`

Speciální identifikátory v C++11

```
override  
final
```

<code>alignas *</code>	<code>decltype *</code>	<code>namespace</code>	<code>struct</code>
<code>alignof *</code>	<code>default</code>	<code>new</code>	<code>switch</code>
<code>and</code>	<code>delete</code>	<code>noexcept *</code>	<code>template</code>
<code>and_eq</code>	<code>do</code>	<code>not</code>	<code>this</code>
<code>asm</code>	<code>double</code>	<code>not_eq</code>	<code>thread_local*</code>
<code>auto</code>	<code>dynamic_cast</code>	<code>nullptr *</code>	<code>throw</code>
<code>bitand</code>	<code>else</code>	<code>operator</code>	<code>true</code>
<code>bitor</code>	<code>enum</code>	<code>or</code>	<code>try</code>
<code>bool</code>	<code>explicit</code>	<code>or_eq</code>	<code>typedef</code>
<code>break</code>	<code>export</code>	<code>private</code>	<code>typeid</code>
<code>case</code>	<code>extern</code>	<code>protected</code>	<code>typename</code>
<code>catch</code>	<code>false</code>	<code>public</code>	<code>union</code>
<code>char</code>	<code>float</code>	<code>(register)</code>	<code>unsigned</code>
<code>char16_t *</code>	<code>for</code>	<code>reinterpret_cast</code>	<code>using</code>
<code>char32_t *</code>	<code>friend</code>	<code>return</code>	<code>virtual</code>
<code>class</code>	<code>goto</code>	<code>short</code>	<code>void</code>
<code>compl</code>	<code>if</code>	<code>signed</code>	<code>volatile</code>
<code>const</code>	<code>inline</code>	<code>sizeof</code>	<code>wchar_t</code>
<code>const_cast</code>	<code>int</code>	<code>static</code>	<code>while</code>
<code>constexpr *</code>	<code>long</code>	<code>static_assert *</code>	<code>xor</code>
<code>continue</code>	<code>mutable</code>	<code>static_cast</code>	<code>xor_eq</code>

Alternativní reprezentace

<%	{	and	&&	and_eq	&=
%>	}	bitand	&	bitor	
<:	[compl	~	not	!
:>]	not_eq	!=	or	
#:	#	or_eq	=	xor	^
#:%	##	xor_eq	^=		

Poznámka: Digraphs (<:)
Poznámka: Trigraphs (??/) (zrušeno v C++17)
 // Proveďte se následující příkaz??/
 i++;

Literály

Syntaxe číselných literálů je stejná jako v C.
 C++11: uživatelem definované literály (operator "")
 Příklad:
 BigInteger operator "" _big(const char * literal_string);
 BigInteger some_variable = 12345_big;

Znakové literály jsou typu:
 char v C++
 int v C, v C++ pouze víceznakové (mbc)

Poznámka: V C++ existují 3 různé znakové typy:
 char, unsigned char a signed char

Typová kontrola

- Je v C++ silnější než v C:
- Deklarace:

```
void (*funptr)();
```

 je ukazatel na fci vracející void v C, ukazatel na fci vracející void bez parametrů v C++
 - Ukazatel na konstantní objekt nelze přiřadit do ukazatele na nekonstantní objekt.
 - Typová kontrola při sestavování programu rozliší funkce s různými parametry
- Výčtové typy:
- lze přiřadit pouze konstantu daného typu
 - lze vynechat klíčové slovo enum při použití
 - sizeof výčtového typu závisí na hodnotách prvků

Poznámky

- Rozsah deklarace proměnné cyklu ve for

```
for(int i=1; i<10; i++) {
    // zde platí i (jako v C99+)
}
```
- Je chybou, když je příkazem skoku přeskočena inicializace proměnné (překladač to kontroluje).
- Pozor na setjmp a longjmp v C++
- Pozor na pořadí inicializace globálních/statických objektů

Typ reference

Definice:

T & x = Lhodnota_typu_T;

- Blízké ukazatelům (ale neexistuje obdoba NULL)
- Použitelné pro předávání parametrů odkazem
- Nelze vytvořit:
 - referenci na referenci (např. T & & r),
 Pozor: v šablonách je dovoleno, ale jen nepřímo
 - referenci na bitová pole,
 - ukazatele na reference,
 - pole referencí.

Výhodou referencí je jednoduchost použití (na rozdíl od *ptr)
Poznámka: R-hodnotové reference Typ && (C++11)

Typ reference – příklady

```
double x = 1.23456;
double & xref = x; // Typické použití

double & yref; // CHYBA! chybí inicializace
extern int & zref; // extern může být bez inicializace

// Předání parametru odkazem:
void Transpose(Matrix & m);

// Vracení reference:
int & f(param); // Pozor na to _co_ se vrátí!

f(p) = 1; // Volání funkce a použití výsledku
```

Reference — chybná nebo netypická použití

```
const int & i = 7; // Vytvoří pomocnou proměnnou
int & i = 7; // CHYBA! nelze pro nekonst. referenci

float f = 3.14;
const int & ir = f; // pomocná_proměnná = 3
ir = 5; // CHYBA! konstantu nelze změnit
```

Poznámka:
 Proč nelze použít R-hodnotu s nekonstantní referencí:

```
void incr(int& refint) { refint++; }
void g() { // Pozor - toto není C++
    double d = 1;
    incr(d); // Záludná chyba: nezmění d !
}
```

Operátory C++ podle priority (zjednodušeno)

operátory	asociativita
() [] -> :: .	→
! ~ + - ++ -- & * (Typ) sizeof new delete	←
.* ->*	→
* / %	→
+ -	→
<< >>	→
< <= > >=	→
== !=	→
&	→
^	→
	→
&&	→
	→
?:	←
= *= /= %= += -= &= ^= = <<= >>=	←
,	→

Operátory C++

operátor	popis
::	kvalifikátor
.*	dereference ukazatele na člen třídy přes objekt
->*	dereference ukazatele na člen třídy přes ukazatel na objekt
new delete	dynamické vytvoření objektu zrušení objektu
static_cast, reinterpret_cast, const_cast, dynamic_cast	nové operátory přetypování

```
// alokace paměti operátorem new:
T *p = new T[10*n]; // dynamická alokace pole
T *p2 = new T(5); // dynamická alokace objektu

// uvolnění paměti operátorem delete:
delete [] p; // uvolnění paměti pole
delete p2; // uvolnění paměti objektu

// alokace a rušení pole bajtů:
char *s = new char[100];
delete [] s;
// char *s2 = static_cast<char*>(std::malloc(100));
// std::free(s2);
```

- Přístup ke globální proměnné:


```
double x;
void f() {
    int x; // lokální x
    ::x = 3.1415926; // globální x
}
```
- Explicitní specifikace třídy:


```
class T {
public:
    int metoda(); // deklarace metody
};
int T::metoda() { } // definice mimo třídu
```
- Specifikace prostoru jmen:


```
prostor::identifikátor // std::cin
prostor::podprostor::identifikátor
```

Implicitní konverze probíhají automaticky (jsou-li nutné) při vyhodnocování binárních operací:

typ	konverze na	metoda
char	int	podle nastavení
unsigned char	int	doplní nuly
signed char	int	rozšíří znaménko
short	int	stejná hodnota
unsigned short	unsigned int	stejná hodnota
enum	int	stejná hodnota
bool	int	0 nebo 1

Potom je každá hodnota operandu buď int (včetně long a unsigned modifikátorů) double, float nebo long double.

1. Je-li některý operand long double, je druhý konvertován na long double
 2. Jinak, je-li operand double, konvertuje druhý na double
 3. Jinak, je-li operand float, konvertuje druhý na float
 4. Jinak, je-li operand unsigned long, konvertuje druhý na unsigned long
 5. Jinak, je-li operand long, konvertuje druhý na long
 6. Jinak, je-li operand unsigned, konvertuje druhý na unsigned
 7. Jinak, jsou oba operandy typu int
- Výsledek odpovídá typu obou operandů po konverzi.

Poznámka:

Při porovnávání čísla int s číslem unsigned může dojít k (pro někoho neočekávaným) problémům:

```
int i = -1;
unsigned u = 1234;

if(i < u) // sledujte varování překladače
    printf(" i < u "); // nevytiskne nic!
```

Příklad z praxe:

```
unsigned long f(unsigned a, unsigned b) {
    return a*b; // CHYBA! 32b*32b->32b -> 64b
}
```

Explicitní konverze uvádí programátor do textu programu (a přebírá za ně veškerou odpovědnost):

```
(typ) výraz
typ(výraz)
static_cast<typ>(výraz)
```

Příklady: Explicitní přetypování v C++

```
double(int1)/int2
complex(3.14)
int('c')
static_cast<char*>(ptr)
reinterpret_cast<long>(ptr)
```

Možnost použití funkcí z knihoven jazyka C, případně jiných jazyků (ASM, FORTRAN):

```
extern "C" int f(int);

extern "C" {
    int g(int);
    int h(int);
    // ...
}
```

Poznámky:
Prostory jmen (namespace)

Je stejný jako v ISO C, je vhodné minimalizovat jeho používání:

- #define K1 10 lze nahradit za:

```
const int K1 = 10;
```

- #define f(x) (výraz_x) lze většinou nahradit za:

```
inline int f(int x) { return výraz_x; }
```

případně lze použít generické funkce:

```
template<typename T>
inline T f(T x) { return výraz_x; }
```

Makro __cplusplus definováno překladačem (202002L)

Základní koncepty

knihovna = množina přeložených modulů v jednom souboru (přípony: *.a, *.lib, *.so, *.dll)
object file = přeložený (binární) modul (přípony: *.o, *.obj)
sestavování programu = vytvoření spustitelného souboru spojením modulů a knihoven (program volá funkce z knihoven/jiných modulů a ty musí být dostupné *nejpozději v okamžiku volání*)

Typy sestavení:

- statické** – při vytváření programu
- dynamické** – při/spuštění programu

Poznámky: relokační, Position Independent Code (PIC), linker, loader

- COFF, PE (Windows), ELF (POSIX), ...
- Typická struktura souboru:
 - hlavička – typ, obsah
 - sekce .text - kód
 - sekce .rodata - konstanty
 - sekce .data - inicializovaná data,
 - sekce .debug* - ladící informace
 - sekce .rel* - relokační informace
 - sekce .plt - tabulka pro dyn. sestavení
 - ...

Poznámka:

Výpis obsahu souborů: `programy objdump, nm, readelf`

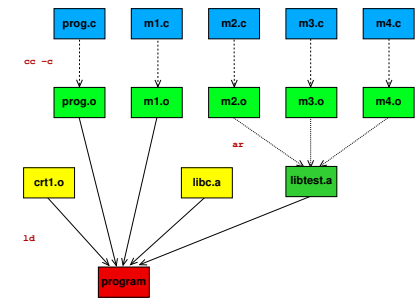
- Statické knihovny obsahují kód modulů a index pro zrychlení sestavování
- Vytvářejí se speciálním programem (librarian). POSIX používá program `ar` – archivář.
 - 1 překlad modulů: `cc -c moduly.c`
 - 2 vytvoření knihovny: `ar parametry knihovna.a moduly.o`
Pozor – parametry jsou důležité!
 - 3 vytvoření indexu: `ranlib knihovna.a`

- obsahují kód modulů a tabulky odkazů
- vytvářejí se překladačem,
 - 1 `cc -c -fPIC moduly.c`
 - 2 `cc -shared -fPIC moduly.o -o knihovna.so`
- mají příponu `.so` (shared object) nebo `.DLL` (Dynamically Linked Library)
- musí obsahovat kód nezávislý na umístění v paměťovém prostoru (PIC)
- ELF: volání funkcí přes PLT (Procedure Linkage Table)

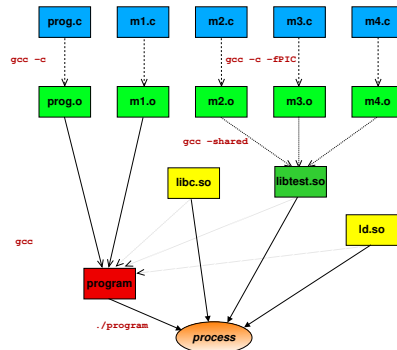
Poznámka: `libtool`

- překladač (compiler):
 - vloží do přeloženého modulu informace potřebné pro sestavení (exportované symboly, nedefinované symboly, relokační informace, ...)
- sestavovací program (linker):
 - umístí kód modulů do adresového prostoru (někdy je nutná relokační informace),
 - přepíše odkazy skutečnými adresami funkcí (pokrytí odkazů)
- zavadač (loader):
 - při spuštění programu zajistí jeho načtení do paměti a případné dynamické sestavení

- výsledný program obsahuje kód všech funkcí
- typicky se sestavují celé moduly z knihoven
- Sestavovací programy:
 - `gcc -static` (implicitně sestavuje dyn.)
 - `ld` (POSIX),
 - `tlink` (BC), ...
- Výhody:
 - nezávislost programu na knihovnách (jeden soubor)
- Nevýhody:
 - větší spustitelné soubory,
 - nelze sdílet kód knihoven



- program neobsahuje kód funkcí,
- k sestavení dojde až po spuštění programu
- `ld.so` = dynamic linker/loader
- Výhody:
 - možnost nezávislé aktualizace knihoven,
 - menší programy,
 - sdílení kódu knihoven
- Nevýhody:
 - pomalejší start procesu,
 - závislost programu na dalších souborech
 - závislost na verzích knihoven



Příklad: Program s knihovnou `libtest.a`
`gcc -o program -static m1.c m2.c -L. -ltest`

Příklad: Program s knihovnou `libtest.so`
`gcc -o program m1.c m2.c -L. -ltest`

Poznámky:

- Pozor na umístění knihoven!
- Lze kombinovat statické i dynamické
- Pořadí argumentů je významné (POSIX)
`cc prog.c library1.a library2.a library1.a`
 (z knihoven se vybírají jen potřebné symboly, při cyklických závislostech musíme knihovnu uvést dvakrát)
- Problémy: DLL hell, nekompatibilita verzí knihoven, ...

Použití knihoven – pokračování

- Program `ldd(1)` – výpis sdílených knihoven
- Umístění sdílených knihoven v adresářové struktuře (`/lib`, `/usr/lib`, ...)
- Jména souborů se sdílenými knihovnami:
`/usr/lib/libJMENO.so.7.8.9 -- real name`
`/usr/lib/libJMENO.so.7 -- so name (symlink)`
`/usr/lib/libJMENO.so -- linker name (symlink)`
- Parametrizace dynamického sestavování:
`LD_LIBRARY_PATH` – adresáře, ve kterých jsou hledány sdílené knihovny
`LD_PRELOAD` – možnost nahradit některé funkce jinými z přednostně sestavených knihoven (další informace viz `man ld.so`)
- Zrychlení sestavování: `/etc/ld.so.cache`, `ldconfig(8)`

Program make

- řeší závislosti při vytváření programů
- podle zadaných pravidel uspořádá provádění akcí
- použije se čas poslední změny souboru: pokud (čas cíle < čas některého zdroje), provede akci, která vytvoří nový cílový soubor

Příklad: Pravidla v souboru Makefile:

```
program: modul1.o modul2.o
modul1.o: modul1.c
modul2.o: modul2.c
```

Poznámky: GNU make: implicitní pravidla a akce
`make CFLAGS=-O2`

Příklad

Použití proměnných

```
CFLAGS = -O2 -Wall -std=c99 # ?=
CXXFLAGS = -g
PROGS = program1 program2

all: $(PROGS)
program1: program1.c
$(CC) $(CFLAGS) -o $@ $<
program2: program2.c
$(CC) $(CFLAGS) -o $@ $<

clean:
rm -f $(PROGS) ### pozor na <TAB>
```

Implementace

GNU make, BSD make

Alternativy k make

Jam, ...

Automatické generování závislostí

`gcc -MM *.cc >depend`
vlození do Makefile: `-include depend`

Programy pro generování Makefile

- GNU Autoconf
`./configure; make; make install`
- CMake
- qmake – Qt toolkit
- imake – X Window System

Výkonnost programů (performance)

Základní pravidlo: *raději neoptimalizovat*

Pravidlo 90 — 10 (někdy i 95—5)

Hledání kritických míst v programech:

- Odhad (často zavádějící)
- Měření času:
příkaz `time`,
funkce `time()`, `clock()`,
instrukce `RDTSC`, *performance counters*, ...
- Použití programů typu 'profiler' (`perf`, `gprof`, `cachegrind`, ...).
- Zjišťování paměťové náročnosti (`memprof`, ...)

Poznámky:

Příliš mnoho souvislostí — často připomíná černou magii
Vliv vyrovnávacích pamětí, podsystému virtuální paměti (výpadky stránek, TLB miss), ...

Časová náročnost

Strategie:

- Použít lepší algoritmy/datové struktury
- Zapnout optimalizace při překladu (`gcc -O3`)
- Provést úpravy kritických částí kódu:
 - přesun invariantů,
 - vyhodnocení společných podvýrazů,
 - použití jiných operací (`a<<=2`),
 - rozvinutí cyklů,
 - uložit často potřebné výsledky (cache),
 - vyrovnávání vstupu/výstupu,
 - speciální alokace malých objektů,
 - předem vypočítané hodnoty (tabulky),
 - počítání s menší přesností,
 - zlepšení lokality odkazů,
 - přepsání do jiného jazyka (asm)
 - ...

Poznámka: *Neoptimalizujte co nemá smysl*

Paměťová náročnost

Souvislost: *časová x paměťová* náročnost

Strategie:

- používat co nejmenší datové typy (pozor na zarovnávání, bitfields raději nepoužívat)
- neukládat co lze snadno znovu vypočítat
- volit vhodné datové formáty (např. `de/kompres` může být časově náročná)
- velikost paměti a cache

Poznámky:

- lokalita odkazů, vliv CPU cache
- problém rekurze (příklad: Ackerman)
- memory profiler: `valgrind/cachegrind`, ...

Přenositelnost (portability)

Přenositelný program lze přeložit na více různých platformách (například UNIX, Linux/x86, Windows, MacOS X, ...)

- obvykle se odhalí více chyb
- náročnější na dodržování standardů
- nevyužívat speciality platform, platformově závislý kód dávat do samostatných modulů
- pozor na implementací definované vlastnosti prostředí (velikost `int`, pořadí vedlejších efektů, zarovnání, little/big endian, bitfields, un/signed char, ...)
- používat textové formáty na výměnu dat (pozor na CRLF)
- ...

Přenositelnost – pokračování

- Přenositelné (multiplatform) knihovny – podstatně usnadňují psaní přenositelných programů (příklady: `SDL`, `Qt`, `WxWidgets`, ...).
- Vhodné vývojové nástroje (`GCC`, `make`, `gdb`, ...).
- "Cross development" – editace/překlad/sestavení neprobíhá na cílové platformě (důležité především pro "embedded" systémy).
- Automatická detekce konfigurace při překladu – GNU autoconf:
`configure; make; make install`
(GNU build system: `Autotools`, `Autoconf`, `Libtool`)

Konverzní programy

Programy pro překlad z jiných jazyků do C:

- p2c – Pascal
- f2c – Fortran
- Některé jazyky používají C jako vysokoúrovňový assembler (pojem "translator", příklady: Cfront C++, Modelica)
- ...

Poznámka: + podpůrné knihovny

Programy pro správu revizí

Tyto programy (Revision Control, Version Control Systems) dovolují sledování změn při vývoji programů.

Příklady:

- SCCS (Bell-labs, 1980), RCS (198x), ...
- Klient-server: CVS (1986), Subversion (2000), ...
- Distribuované: Git, GNU arch, Bazaar, Monotone, ...

Princip:

- archiv souborů (repository),
- operace vložení (commit, checkin),
- operace výběru (checkout),
- ukládá pouze změny (algorithmus diff),
- přístup k libovolné verzi v historii změn,
- možnost větvení (branching),
- je možný současný přístup více vývojářů.

Git

Distribuovaný systém, používán velkými projekty (Linux, ...) Jednoduchý úvod (lokální repozitář):

```
mkdir adresar
cd adresar
git init      ## založení (prázdného) repozitáře
```

```
## editujeme soubory v adresáři a podadresářích
git add .    ## přidáme soubory do sledovaných
git commit -a ## zapiše změny (TODO: -m)
git tag -a -m "Brand New Release" 1.0
```

```
## editujeme soubory v adresáři a podadresářích
```

```
git checkout 1.0 ## návrat
gitk             ## GUI pro sledování revizí
```

Git – pokračování

Jednoduchý úvod (vzdálený repozitář):

```
git clone host:/cesta/adresar ## stažení repozitáře
cd adresar
```

```
## editujeme soubory v adresáři a podadresářích
git add .    ## přidáme soubory do sledovaných
git commit -a ## zapiše změny (TODO: -m)
git push     ## zápis na server
```

```
## editujeme soubory v adresáři a podadresářích
```

```
git pull     ## stažení aktualizace
            ## možné kolize!
```

```
# a další (rebase,stash,...) viz literatura
```

Obsah souborů je (po commit) uložen na alespoň 2 místech:
repo1-vzdálené — repo2-lokální — soubory

Příklady API

- Jednoduchý příklad: dlist.h – dvojsměrně vázaný seznam (+varianty: Linux lists)
- Knihovny:
 - GMP – počítání s (téměř) libovolnou přesností
 - zlib, libbz2 – komprese dat
 - libpng, libgd, SDL, OpenGL – grafika
 - libsnd, libvorbis, OpenAL – zvuk
 - GSL, atlas, BLAS, LAPACK – numerické výpočty
 - regex – regulární výrazy
 - guile – vestavěný jazyk Scheme
- Plug-in, komponenty: CORBA, XPCOM, ...

Bezpečnost — základy

- Problém typu "buffer overflow"(zásobník, heap, ...) – je nutné dobře ošetřit vstupy
- Problém "temporary file creation"– pozor na postup vytváření jmen dočasných souborů
- ...
- Problémový HW: Spectre, Meltdown, ...
- ...
- Příklady
- Velmi důležité zvláště u SUID programů a serverů

UCS – přehled

- ISO 10646, Universal Character Set (UCS), 2³¹, "Planes"
- kód (U+0041) + jméno znaku ("Latin capital letter A")
- Rozsah U+0000 – U+00FF odpovídá ISO 8859-1 (Latin-1)
- Unicode je kompatibilní s UCS, navíc algoritmy, atd.
- Kódování UCS-2, UCS-4, UTF-8, UTF-16, ...
- Kombinace znaků ("combining char", např. r+háček = ř)
- Úroveň implementace (Level 1-3)

Problémy:

- různá kódování, BOM
- možnost více kódů pro jeden znak:
U+00B5 MICRO SIGN = U+03BC GREEK SMALL LETTER MU

Poznámky: International Components for Unicode (ICU), Pango, Qt

UTF-8 – základy

UTF = "UCS Transformation Format"
UTF-8 (autor: Ken Thompson, kolem 1992)

```
U00000000 - U0000007F: 0xxxxxxx
U00000080 - U000007FF: 110xxxxx 10xxxxxx
U00000800 - U0000FFFF: 1110xxxx 10xxxxxx 10xxxxxx
U00010000 - U001FFFFF: 11110xxx 10xxxxxx*3
U00200000 - U03FFFFFF: 111110xx 10xxxxxx*4
U04000000 - U7FFFFFFF: 1111110x 10xxxxxx*5
```

Z bezpečnostních důvodů dekodér akceptuje pouze minimální nutnou reprezentaci.

UNICODE definuje normalizované formy (NFD,NFC,...).

UTF-8 – použití

Požadavky:

- Systém: libc + vygenerovaná lokalizační data (locale -a)
- LC_* nastaveno na UTF-8 (locale; locale charmap)
- Terminál/editor pracující s UTF-8
- Použití setlocale(LC_CTYPE, "")
- ? Překladač pracující s lokalizací UTF-8 (literály)
- ? wchar_t, mbs, wcs — přímo použitelné jen pokud je definováno makro __STDC_ISO_10646__ s hodnotou yyyymmL

Možnosti zprácvání:

- Vstup, zpracování i výstup v UTF-8
- Vstup/výstup UTF-8, zpracování v wchar_t

Nástroje:

- Použití libc a lokalizace
- Vlastní implementace (potenciálně rychlejší)

UTF-8 – použití

Konverze:

```
size_t wctombs(char *dest, const wchar_t *src, size_t n);
size_t mbstowcs(wchar_t *dest, const char *src, size_t n);
Thread-safe: wcsrtombs, mbsrtowcs
```

Funkce nezávislé na lokalizaci a kódování:

```
strcpy strcat strcmp strstr
```

Funkce závislé na lokalizaci ale ne na kódování:

```
strcoll strxfrm
```

UTF-8 – použití

Délka řetězce:

- počet bajtů (pro alokaci)
- počet znaků (málo potřebné) `mbstowcs(NULL,s,0)`
- počet pozic na displeji (`wcwidth,wcswidth`)

Editace:

- vkládání znaku
- rušení znaku
- pozice znaku na obrazovce (čínské zabírají 2 pozice)

UTF-8 – příklady

Základní použití nevyžaduje zapnutí lokalizace:

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

```
int main() {
    printf("Hello, UTF-8 world: ěščřžýáíé \n");
}
```

UTF-8 – příklady

Tisk širokých znaků:

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

int main() {
    if(!setlocale(LC_CTYPE, "")) {
        fprintf(stderr, "Nelze nastavit lokalizaci.\n");
        return 1;
    }
    printf("%ls\n", L"ěščřžýáíé öüß"); // režim char
    // wprintf(L"ěščřžýáíé öüß"); // wchar_t
}
```

Závěr – poznámky a souvislosti

- Free Software, Projekt GNU
- Licence (GPL, LGPL, BSD, MIT, MPL, Apache, ...)
- WWW stránka s odkazy
- ...
- Co bude u zkoušky