

Tipuri. Operatori. Expresii

13 octombrie 2002

Programarea calculatoarelor 2. Curs 2

Marius Minea

Tipuri. Operatori. Expresii

3

Elemente lexicale

Prima fază de compilare: analiza lexicală = separarea în *atomi lexicali*:
= unitățile elementare de limbaj care au o semnificație:

- *cuvinte cheie*: `int`, `void`, `while`, etc.
- *identificatori*: nume de funcții sau variabile: `main`, `printf`, `x.1`
= secvență de litere, cifre și `'_'` care începe cu o literă sau `'_'`
ATENȚIE ! În C se face distincție între majuscule și minuscule !!!
- Lungimea *semnificativă* a identificatorilor: 31 (externi)/63 (interni)
(porțiunea suplimentară poate fi ignorată de unele compilatoare!)
- *constante*: `123`, `3.14`, `'\0'`, `"salut!\n"` etc.
- *operatori*: `+`, `-`, `=`, `++`, `&&` etc.
- *separatori*: `{ }` `()` ; etc.

Spațiile: necesare doar unde trebuie separați doi atomi lexicali alăturați
ex. `void main` sau `float x=3.14`; nesemnificative în rest.

Indentati programele pt. citire ușoară ! (automat în editoarele bune)

Programarea calculatoarelor 2. Curs 2

Marius Minea

Tipuri. Operatori. Expresii

5

Tipuri întregi

Tipul `int` poate primi ca prefix calificatori care specifică:

- *dimensiunea*: `short`, `long` (în C99 și `long long`)
 - *semnul*: `signed` (implicit, în caz de omisiune), `unsigned`
- Cele două se pot combina; `int` poate fi omis: (ex. `unsigned short`)

Standardul prevede (definiții în `<limits.h>`)

- `int`, `short`: ≥ 2 octeți, minim $[-2^{15}, 2^{15} - 1] = [-32768, 32767]$
- `long`: ≥ 4 octeți, acoperă minim $[-2^{31}, 2^{31} - 1]$
- `long long`: ≥ 8 octeți, acoperă minim $[-2^{63}, 2^{63} - 1]$
- `unsigned` păstrează dimensiunea; între 0 și $2^{8b} - 1$ (b = nr. octeți)
- `sizeof(short) \leq sizeof(int) \leq sizeof(long) \leq sizeof(long long)`

Întregii cu semn se reprezintă intern în *complement de 2*:

- dacă bitul cel mai semnificativ ($n - 1$) e 1, numărul e negativ:
din valoarea (pozitivă, $< 2^{n-1}$) din biții $n - 2 .. 0$ se scade 2^{n-1}

Programarea calculatoarelor 2. Curs 2

Marius Minea

Recapitulare: puțină teorie

- *sintaxa*: regulile gramaticale care descriu un limbaj
un șir de simboluri (text) face parte din limbaj ? (e bine format ?)
- *semantica*: înțelesul (semnificația) unui obiect din limbaj
rezultă din semnificația fiecărui element de program în parte
determină rezultatul execuției programului

Definim sintaxa elementelor de limbaj folosind anumite notații:

`::=` pentru definiție | pentru alternative etc.

Convenție: *cursiv* pentru simboluri neterminale (definite la rândul lor)
tipărit pentru simboluri terminale (elemente lexicale)

instrucțiune_while ::= `while (condiție)`
instrucțiune

BNF (Backus-Naur Form): notație formală pt. gramatica unui limbaj

Programarea calculatoarelor 2. Curs 2

Marius Minea

Tipuri. Operatori. Expresii

4

Tipuri de bază (fundamentale)

Un *tip*: determină mulțimea valorilor pe care le poate lua o variabilă,
și operațiile care pot fi efectuate.

- reprezentate pe un număr *finit* de octeți \Rightarrow set *finit* de valori (chiar dacă în matematică, domeniile pentru întregi și reali sunt nelimitate)
 \Rightarrow Atenție la depășiri !!!

Limbajul C are doar câteva tipuri de bază.

- `char`: caractere, reprezentate pe 1 octet (8 biți)
- `int`: numere întregi
- `float`: numere reale (virgulă mobilă), în precizie simplă
- `double`: numere reale, în dublă precizie

Domeniul de valori pentru întregi și reali e dependent de arhitectură
(de obicei, corespunde natural cu dimensiunea regiștrilor procesorului)

Programarea calculatoarelor 2. Curs 2

Marius Minea

Tipuri. Operatori. Expresii

6

Constante de tipuri întregi

Constante întregi

- în baza 10: scrise obișnuit; ex. `-5`
- în baza 8: cu prefix cifra zero; ex. `0177` (127 zecimal)
- în baza 16: cu prefix `0x` sau `0X`; ex. `0xA9` (169 zecimal)
- sufix `u` sau `U` pentru `unsigned`, ex. `65535u`
- sufix `l` sau `L` pentru `long` ex. `0177777L`

Constante de tip caracter

- caractere tipăribile, între ghilimele simple: `'0'`, `'!'`, `'a'`
- caractere speciale: `'\n'` linie nouă
`'\r'` carriage return
`'\b'` backspace `'\''` apostrof (ghilimea)
`'\t'` tab `'\\'` backslash
- caractere scrise în octal (max. 3 cifre), ex: `'\14'`
- caractere scrise în hexazecimal (prefix `x`), ex. `'\xff'`

Programarea calculatoarelor 2. Curs 2

Marius Minea

Reprezentarea numerelor reale: Standardul IEEE 754-1985

simplă precizie (float): 32 biți

S EEEEEEEE MMMMMMMMMMMMMMMMMMM (1+8+23 biți)

de la cel mai semnificativ: semn, exponent (bias 127), mantisă

– E = 255, M ≠ 0: NaN (not a number)

– E = 255, M = 0: +∞, -∞ (după bitul de semn)

– 0 < E < 255: $(-1)^S * 2^{E-127} * 1.M$

(mantisă are implicit o unitate ca cifră cea mai semnificativă)

– E = 0, F = 0: +0, -0 (după bitul de semn)

– E = 0, M ≠ 0: $(-1)^S * 2^{-126} * 0.M$: valori *nenormalizate* (f. mici)

Cel mai mic număr pozitiv normalizat (nenormalizat): 2^{-127} (2^{-149})

dublă precizie (double): 64 biți

aceleași reguli, 11 biți exponent (bias 1023), 52 biți mantisă

Constante (limite): definite în `float.h`

Tipuri reale

Numerelor reale: reprezentate cu semn, mantisă, și exponent

⇒ domeniul de valori e simetric față de zero

⇒ precizia se definește relativ la modulul numărului

Exemple de dimensiuni (compilator gcc pe i386, sub Linux):

– `float`: 4 octeți, între cca. 10^{-38} și 10^{38} , 6 cifre semnificative

– `double`: 8 octeți, între cca. 10^{-308} și 10^{308} , 15 cifre semnificative

– pentru precizie suplimentară: `long double` (12 octeți)

Constante reale

– conțin mantisă, iar optional semn și exponent (prefix e sau E)

– în mantisă, partea reală sau zecimală poate lipsi, dar nu amândouă

– implicit, orice constantă reală e considerată `double`

– sufix `f` sau `F` pentru `float`; `l` sau `L` pentru `long double`

Exemple: 1.0 sau 1. sau .1e1

3.14159265358979323846 1.175494e-38f

Constante definite în fișierele antet standard

limits.h: valori minime cerute de standard

SHRT_MIN, INT_MIN	-32767	SHRT_MAX, INT_MAX	32768
LONG_MIN	-2147483647	LONG_MAX	2147483647
USHRT_MIN, UINT_MIN	65535	ULONG_MAX	4294967295

Obs: pe gcc/i386/Linux, `int` are aceleași dimensiuni ca și `long`

float.h: valori pt. gcc/i386/Linux (și cerințele standard)

FLT_DIG	6	DBL_DIG	15 (min. 10) /* precizie zecimala */
FLT_MIN	1.17549435e-38f (max. 1E-37)		
FLT_MAX	3.40282347e+38f (min. 1E+37)		
FLT_EPSILON	1.19209290e-07f (max. 1E-5) /* nr.min. cu 1+eps > 1 */		
DBL_MIN	2.2250738585072014e-308 (max. 1E-37)		
DBL_MAX	1.7976931348623157e+308 (min. 1E+37)		
DBL_EPSILON	2.2204460492503131e-16 (max. 1E-9)		

Atenție la precizie!

– `int` (chiar `long`): domeniu de valori mic (cca ± 2 miliarde)

– e insuficient pentru multe calcule care implică aparent întregi

Ex. calculați $e^{-x} = 1 - x^1/1! + x^2/2! - \dots$ cu o precizie dată (10^{-5})

Nu încercați: `long fact(long n) { /* ... */ }` (depășire pt. $n > 12$)

mai bine: fără factorial, cu recurență între termeni: $t_n = t_{n-1} * x/n$

– până la 9E15 tipul `double` distinge încă doi întregi consecutivi

– o valoare citită de la intrare nu e reprezentată neapărat precis!

`float x; scanf("%f", &x); printf("%.7f", x);` 4.2 → 4.1999998

fracții exacte în baza 10 pot fi periodice în baza 2 $1.2_{(10)} = 1.(0011)_{(2)}$

– în calcule matematice, adeseori comparația == e insuficientă

(pot apare pierderi de precizie pe parcurs)

– mai bine: `fabs(x - y) < epsilon` (`fabs`: val. absolută, în `math.h`)

`FLT_EPSILON` (`DBL_EPSILON`) în `float.h`: cel mai mic `x` cu $1 + x > 1$

Dimensiunea tipurilor

Operatorul `sizeof` dă numărul de octeți de memorie ocupați de operand

(un tip de date sau o expresie – în particular o variabilă).

– dacă operandul e un tip, trebuie pus între (paranteze)

– dacă e o expresie, rezultatul e dat de tipul său (fără evaluarea ei)

```
#include <stdio.h>
void main (void)
{
    printf("char\t\t%d\n", sizeof(char));
    printf("short\t\t%d\n", sizeof(short));
    printf("int\t\t\t%d\n", sizeof(int));
    printf("long\t\t\t%d\n", sizeof(long));
    printf("float\t\t\t%d\n", sizeof(float));
    printf("double\t\t\t%d\n", sizeof(double));
    printf("long double\t\t\t%d\n", sizeof(long double));
}
```

Operatori aritmetici

Operatori aritmetici

– operatorii uzuali binari: +, -, *, / pentru numere întregi și reale

ATENȚIE: pentru întregi, / înseamnă împărțire cu rest

– operatorul % (numai pentru întregi): modulo (restul la împărțire)

9/-5== -1 9%-5==4 -9/5== -1 -9%-5== -4 -9/-5==1 -9%-5== -4

(restul are semnul de împărțitului)

– operatorul unar - (minus; nu există plus unar).

În expresii aritmetice, caracterele sunt considerate ca și întregi

(indicele caracterului respectiv în tabela ASCII)

Exemplu: '7' - '0' == 7, 'a' + 5 == 'f'

(cifrele, respectiv literele ocupă spațiu continuu în tabela de caractere)

Precedența: - unar, apoi *, /, %, apoi +, -

- C nu are tip boolean; se folosește `int` (C99: `_Bool`, `stdbool.h`)
 - operatorii logici produc 1 pt. `true`, 0 pt. `false`
 - un întreg e interpretat ca `true` dacă e $\neq 0$ și ca `false` dacă e 0

Operatorii relaționali: precedența mai mică decât cei aritmetici
 $x < y + 1$ înseamnă în mod natural $x < (y + 1)$
 precedența: întâi $>$, $>=$, $<$, $<=$, apoi $==$, $!=$ (egal, diferit)

Operatorii logici binari: `&&` (SI), prioritar lui `||` (SAU)
 - precedența mai mică decât cei relaționali
 ⇒ se poate scrie natural $(x < y + z \ \&\& \ y < z + x)$
 - sunt evaluați de la stânga la dreapta
 - **evaluarea se oprește** (*short-circuit*) când rezultatul e cunoscut (dacă primul argument al lui `&&` (resp. `||`) e fals (resp. adevărat)
 Exemplu: `if (p != 0 && n % p == 0) { /* nu împarte la 0 */ }`
Operatorul logic unar `!` (negație logică)
 - cea mai ridicată prioritate (ca și toți operatorii unari)
 - transformă operand non-zero în 0, și zero în 1
 Ex: `if (!gasit)` e echivalent cu `if (gasit == 0)`

Programarea calculatoarelor 2. Curs 2

Marius Minea

ATENȚIE: în funcție de arhitectură, `char` poate fi `signed` sau `unsigned`
 ⇒ determină semnul caracterelor cu bitul 7 pe 1, și implicit semnul la conversia `char` → `int`

ATENȚIE la conversia/comparația între `int` și `unsigned` !!
 valorile $> INT_MAX$ sunt considerate negative ca `int`
 ⇒ rezultate incorecte / surprinzătoare / neintuitive

```
int i; unsigned u = 3000000000; /* u > INT_MAX */
i = u + 5; /* bitul de semn 1, deci i e considerat negativ */
if (i > u) printf("%d > %u\n", i, u);
/* tiparește: -1294967291 > 3000000000 !!! */
```

Pentru a compara `int i` cu `unsigned u`
 - înlocuiți $(i < u)$ cu $(i < 0 || i < u)$
 - înlocuiți $(i > u)$ cu $(i > 0 \ \&\& \ i > u)$

Programarea calculatoarelor 2. Curs 2

Marius Minea

Atribuirea propriu-zisă: `var = expr` (un operator ca oricare altul)
 ⇒ o expresie de atribuire poate fi folosită în altă expresie compusă (și valoarea ei e chiar cea a expresiei atribuite)
`a = b = c` /* asociativ la dreapta, $a = (b = c)$ */
`if ((c = getchar()) != '\n') { /* folosim rezultatul în test */ }`

ATENȚIE: Nu greșiți folosind atribuirea în loc de test de egalitate!!
`if (x = y)` testează dacă valoarea lui `y` (atribuită și lui `x`) e nenulă.

Operatori compuși de atribuire: `+=` `-=` `*=` `/=` `%=`
`x += expr` e o formă mai scurtă de a scrie `x = x + expr`
 vezi ulterior și pentru operatorii pe biți `>>` `<<` `&` `^` `|`

Operatori de incrementare/decrementare prefix/postfix: `++` `--`
`++i` incrementare cu 1, valoarea expresiei este cea de după atribuire
`i++` incrementare cu 1, valoarea expresiei este cea dinainte de atribuire
`int x=2, y, z; y = x++; /* y=2, x=3 */; z = ++x; /* x=4, z=4 */`

Programarea calculatoarelor 2. Curs 2

Marius Minea

În expresii, operanzii de tipuri diferite sunt convertiți la un tip comun.
 Conversia din real la întreg (ex. atribuire): prin trunchiere (înspre zero)

Conversiile aritmetice uzuale:

- operandul de dimensiune/precizie mai mică e convertit la tipul operandului de dim./prec. mai mare (în ordinea: `long double`, `double`, `float`)
- operanzii de tipuri de rang inferior lui `int` (`char`, `short`) sunt convertiți la tipurile `int` sau `unsigned` (după semn)
- dacă ambii operanzi au tipuri cu, resp. fără semn, se convertesc la tipul de rang (dimensiune) mai mare
- dacă semnele tipurilor sunt diferite, și unul din tipuri cuprinde toate valorile celuilalt, se face conversia la tipul cel mai cuprinzător
- dacă nu, operanzii se convertesc la tipul fără semn corespunzător operandului care are tip cu semn

Exemplu: între `int` și `unsigned`, conversie la `unsigned` (ultima regulă)

Programarea calculatoarelor 2. Curs 2

Marius Minea

Conversia la atribuire: partea dreaptă convertită la tipul părții stângi
 - e posibilă trunchierea dacă atribuim la un tip de dimensiune mai mică
 ⇒ mesaje de avertizare de la compilator

```
Exemplu: int i; char c;
i = c; c = i; /* valoarea se păstrează */
c = i; i = c; /* biții superiori se pierd */
```

Atenție: partea dreaptă e evaluată independent de tipul părții stângi!
`unsigned eur_rol = 38400, usd_rol = 32700;`
`float eur_usd;`
`eur_usd = eur_rol / usd_rol; /* 1 !!! */`

Operatorul de conversie explicită (engl. *type cast*)

Sintaxa: `(nume_tip) expresie`
 expresia este convertită ca în atribuirea unei variabile de tipul dat
`eur_usd = (double) eur_rol / usd_rol; /* 1.17... */`
`int n; sqrt((double)n); /* double sqrt(double) in math.h */`

Programarea calculatoarelor 2. Curs 2

Marius Minea

- numără caracterele din șirul `s` în variabila `i`
`for (i = 0; s[i] != '\0'; i++); /* șirul se termina cu '\0' */`
 sau, cu un test implicit de valoare nonzero, și preincrement:
`for (i = -1; s[++i];); /* corpul lui for este vid */`

- copiază șirul `src` în șirul `dest`; expresia atribuită servește și pt. test
`for (i = j = 0; dest[j++] = src[i++];);`

- copiază max. `N` caractere; când primul test e fals, se omite al doilea (deci nu se mai execută atribuirea)
`for (i = j = 0; i < N && dest[j++] = src[i++];);`

- rezultatul unei funcții e atribuit și testat în aceeași expresie:
`for (i = 0; i < N-1 && (c = getchar()) != EOF;) s[i++] = c;`

Programarea calculatoarelor 2. Curs 2

Marius Minea

Expresii: valoare și efect lateral

Orice expresie are o *valoare*, definită prin înțelesul operatorilor. Atribuiriile au și un *efect lateral*: modifică valoarea expresiei atribuite
Exemplu: `++i` și `i++` au același efect lateral (incrementează pe `i`) dar returnează valori diferite (valoarea deja incrementată / încă nu)

ATENȚIE: În C, ordinea de evaluare a operanzilor unei expresii nu e specificată (depinde de implementare). Excepții: `&&` `||` `?:` ,
⇒ o expresie care conține mai mulți operatori cu efect lateral poate avea rezultat / efect nedeterminat. Exemple *eronate*:

```
int i = 0; printf("%d %d", i++, i++); /* 0 1 sau 1 0 */;
```

(argumentele unei funcții se pot evalua în orice ordine)

```
while (s[i] < s[++i]); /* in ordine crescătoare ? */
```

(dar dacă `s[++i]` e evaluat întâi, îl comparăm cu el însuși)

Atenție la efectele laterale, nu scrieți cod compact cu orice preț!

Operatori pe biți

– oferă acces direct la reprezentarea binară a datelor în memorie, cu posibilități apropiate limbajului de asamblare
– pot fi aplicați doar operanzilor de tipuri întregi, cu sau fără semn

```
& ȘI bit cu bit          << deplasare la stânga
| SAU bit cu bit        >> deplasare la dreapta
~ SAU exclusiv bit cu bit  ~ complementare bit cu bit
```

Exemple:

`n & 0xF` are ultimii 4 biți (mai puțin semnificativi) la fel ca `n`, restul 0
(pentru `n` fără semn, echivalent cu `n % 16`)

`n | 0200` are bitul 7 pe 1, și toți ceilalți biți la fel ca `n`

`n ^ 1` are ultimul bit schimbat față de `n`, toți ceilalți la fel

(dacă `n` pozitiv, echivalent cu `n-1` pt. `n` impar, `n+1` pt. `n` par)

`*0 == -1` (toți biții pe 1, indiferent de dimensiunea în octeți)

`*0xf` are ultimii 4 biți pe 0 și restul pe 1 (indiferent de dimensiune)

Operatori pe biți (cont.)

`n << 3` are biții lui `n` deplasați 3 poziții la stânga, și ultimii 3 biți 0
`n >> 2` are biții lui `n` deplasați 2 poziții la dreapta, și primii 2 biți 0
(sau pentru `signed`, 1 (bitul de semn), în funcție de arhitectură)
`<<` și `>>` : ca și înmulțiri/împărțiri cu puterile lui 2, uneori mai rapide
(dacă `>>` inserează la stânga biți de semn, e valabil și pt. nr. negative)

Operatori compuși de atribuire (pt. cei binari): `&=` `|=` `^=` `<<=` `>>=`

Exemple: extragerea unei porțiuni din reprezentarea unui număr:

creem o *mască* (un tipar) în care biții respectivi sunt pe 0 (sau 1)

```
*0 << k are ultimii k biți pe 0, restul pe 1
```

```
~(*0 << k) are ultimii k biți pe 1, restul pe 0
```

```
~(*0 << k) << p are k biți pe 1, începând de la bitul p, și restul 0
```

```
(n >> p) & ~(*0 << k) are pe ultimele poziții cei k biți ai lui n începând cu bitul p, și în rest 0
```

```
n & (~(*0 << k) << p) are cei k biți începând cu bitul p la fel ca ai lui n, și restul biților pe 0
```

Alți operatori

Operatorul condițional

Sintaxa: `expr1 ? expr2 : expr3`

– dacă `expr1` e adevărată, rezultatul e dat de evaluarea lui `expr2`;

– dacă `expr1` e falsă, rezultatul e dat de evaluarea lui `expr3`

– mai concisă decât `if ... else ...`

Exemple: `m = (a > b) ? a : b; /* max(a, b) */`

`printf("Numărul este %s\n", (n < 0) ? "negativ" : "nenegativ");`

Operatorul secvențial

Sintaxa: `expr1 , expr2 /* operatorul este virgula */`

– se evaluează `expr1`, apoi `expr2`; rezultatul e dat de `expr2`

– se folosește când e nevoie de mai multe evaluări, dar sintaxa prevede o singură expresie (de ex. în `if`, `for`, `while`)

Exemple: `for (p = 1, i = j = 0; i < n; i++, j++) { /* ... */ }`

`while (printf("Numărul?"), scanf("%d", &n) == 1) { /*...*/ }`

Precedența și asociativitatea operatorilor

Precedența (descrescătoare ↓)	Asociativitate
<code>() [] -> .</code>	→
<code>! ~ ++ -- - (tip) * & (pt.adrese) sizeof</code>	←
<code>* / %</code>	→
<code>+ -</code>	→
<code><< >></code>	→
<code>< <= > >=</code>	→
<code>== !=</code>	→
<code>&</code>	→
<code>~</code>	→
<code> </code>	→
<code>&&</code>	→
<code> </code>	→
<code>? :</code>	←
<code>= += -= etc.</code>	←
<code>,</code>	→

ATENȚIE: În caz de dubiu, și pentru lizibilitate, folosiți parantezele !

Atenție la precedență!

În multe situații frecvent întâlnite în programe trebuie paranteze!

– dacă vrem să atribuim o valoare și apoi să o testăm:

```
while ((c = s[++i]) != '\0') { /* prelucram c cat e nenul */ }
dar: c = s[++i] != '\0' îi dă lui c o valoare booleană (0 sau 1)
```

– dacă vrem să deplasăm pe biți și apoi să adunăm:

```
n = (hi << 8) + lo /* facem un int din doi octeți */
dar: hi << 8 + lo deplasează pe hi la stânga cu lo+8 biți
```

– dacă vrem să testăm valoarea unui grup de biți dintr-un număr

```
if ((n & mask) == val) { /* testeaza bitii selectati de mask */ }
dar: n & mask == val face ȘI cu booleanul mask == val (0 sau 1)
```