Tipuri. Operatori. Expresii

13 octombrie 2002

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 ⇒ set *finit* de valori (chiar dacă în matematică, domeniile pentru întregi și reali sunt nelimitate)
⇒ 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)

Reprezentarea binară a numerelor

În memoria calculatorului, numerele se reprezintă în binar (baza 2).
Valoarea unui *întreg fără semn*, cu k cifre binare (biți):
$c_{k-1}c_{k-2}\cdots c_1c_0\ _{(2)} = c_{k-1} * 2^{k-1} + \ldots + c_1 * 2^1 + c_0 * 2^0$
c_{k-1} = bitul *cel mai semnificativ* (superior)
c_0 = bitul *cel mai puțin semnificativ* (inferior)
Exemple: 11111111 == 255; $c_0 = 0 \Rightarrow$ nr. par; $c_0 = 1 \Rightarrow$ nr. impar

Întregi *cu semn*: reprezentate *în complement de 2*
dacă bitul superior e 1, nr. se consideră negativ
valoarea: translatată cu 2^k în jos față de interpretarea fără semn.
$1c_{k-2}\cdots c_1c_0\ _{(2)} = -2^{k-1} + c_{k-2} * 2^{k-2} + \ldots + c_1 * 2^1 + c_0 * 2^0$
Exemple (pe 8 biți): 11111111 == -1; 10000000 == -128

Numerele reale (`float`: semn, exponent, mantisă)
`S EEEEEEEE MMMMMMMMMMMMMMMMMMMMMMM` (1+8+23 biți)
pt. 0 < E < 255: $(-1)^S * 2^{E-127} * 1.M_{(2)}$
plus alte cazuri pentru 0, $\pm\infty$, numere foarte mici, erori (NaN)

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`: $\geq$ 2 octeți, minim $[-2^{15}, 2^{15}-1]$ = [-32768, 32767]
– `long`: $\geq$ 4 octeți, acoperă minim $[-2^{31}$ (-2147483648) , $2^{31}-1]$
– `long long`: $\geq$ 8 octeți, acoperă minim $[-2^{63}, 2^{63}-1]$
– `unsigned` păstrează dimensiunea; între 0 și $2^{8b}-1$ (b = nr. octeți)
– `sizeof(short)` ≤ `sizeof(int)` ≤ `sizeof(long)` ≤ `sizeof(long long)`

Dimensiunea în octeți a acestor tipuri variază în funcție de implementare
(Turbo C sub Windows, gcc sub Linux, procesoare diferite de x86)
⇒ folosiți `sizeof` pentru a scrie programe *portabile*

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
`'\0'`	null	`'\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'`

Tabela de caractere ASCII

ASCII = American Standard Code for Information Interchange
Caracterele sunt memorate ca și cod numeric = indicele în acest tabel
ex. '0' == 48, 'A' = 65, 'a' = 97, etc.

```
       0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  A  B  C  D  E  F
-----------------------------------------------------
0x0    \0                  \a \b \t \n \v \f \r
0x10:
0x20:     !  "  #  $  %  &  '  (  )  *  +  ,  -  .  /
0x30:  0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  :  ;  <  =  >  ?
0x40:  @  A  B  C  D  E  F  G  H  I  J  K  L  M  N  O
0x50:  P  Q  R  S  T  U  V  W  X  Y  Z  [  \  ]  ^  _
0x60:  `  a  b  c  d  e  f  g  h  i  j  k  l  m  n  o
0x70:  p  q  r  s  t  u  v  w  x  y  z  {  |  }  ~
```

– caracterele < 0x20 (spațiu): caractere de control - caracterele cu cod > 0x7f (127): nu fac parte din setul ASCII
(diacritice, etc. – diverse variante standardizate de ISO)

Tipuri reale

Numerele 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 $e^{-x} = 1 - x^1/1! + x^2/2! - \ldots$ cu o precizie dată (10^{-5})
Dacă se calculează factorialul ca întreg, va da 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` returnează numărul de octeți de memorie ocupați de un tip de date (sau o variabilă sau constantă):

```
#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%d\n",sizeof(int));
  printf("long\t\t%d\n",sizeof(long));

  printf("float\t\t%d\n",sizeof(float));
  printf("double\t\t%d\n",sizeof(double));
  printf("long double\t%d\n",sizeof(long double));
}
```

Caracterul `'\t'` (tab) sare la alinierea următoare (tipic: 8 caractere)

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 deîmpărțitului)
– 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 `+, -`

Operatori relaționali și logici

– 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 ≠ 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)
– precedență 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 imparte 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)`

Conversia între tipuri

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)

Probleme la conversie

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 => i e considerat negativ */
if (i > u) printf("%d > %u\n", i, u);
/* tipareste: -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)`

Conversia între tipuri (cont.)

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 */
```

Atentie: 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 */
```


Operatori de atribuire

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 */
```


Câteva exemple

– numără caracterele din șirul `s` în variabila `i`

```
for (i = 0; s[i] != '\0'; i++); /* sirul 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;
```


Expresii: valoare și efect lateral

Orice expresie are o *valoare*, definită prin înțelesul operatorilor.
Atribuirile 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
`() [] -> .`	→
`! ~ ++ -- - (tip) * & (pt.adrese) sizeof`	←
`* / %`	→
`+ -`	→
`<< >>`	→
`< <= > >=`	→
`== !=`	→
`&`	→
`^`	→
`|`	→
`&&`	→
`||`	→
`? :`	←
`= += -= etc.`	←
`,`	→

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