

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 \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)

Reprezentarea binară a numerelor

În memoria calculatorului, numerele se reprezintă în binar (baza 2).

Valoarea unui *întreg fără semn*, cu k cifre binare (biți):

$$c_{k-1}c_{k-2}\dots c_1c_0 (2) = c_{k-1} * 2^{k-1} + \dots + c_1 * 2^1 + c_0 * 2^0$$

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.

$$1c_{k-2}\dots c_1c_0 (2) = -2^{k-1} + c_{k-2} * 2^{k-2} + \dots + c_1 * 2^1 + c_0 * 2^0$$

Exemple (pe 8 biți): 11111111 == -1; 10000000 == -128

Numerele reale (float: semn, exponent, mantisă)

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

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 $e^{-x} = 1 - x^1/1! + x^2/2! - \dots$ 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);` $4.2 \rightarrow 4.1999998$
- 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\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 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 +, -

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 $\neq 0$ 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: `&&` (ȘI), 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 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)`

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++); /* 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;
```

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	\ll deplasare la stânga
$ $ SAU bit cu bit	\gg deplasare la dreapta
\sim SAU exclusiv bit cu bit	\sim 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

$n \sim 1$ 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)

$\sim 0 == -1$ (toți biții pe 1, indiferent de dimensiunea în octeți)

$\sim 0xf$ are ultimii 4 biți pe 0 și restul pe 1 (indiferent de dimensiune)

Operatori pe biți (cont.)

$n \ll 3$ are biții lui n deplasați 3 poziții la stânga, și ultimii 3 biți 0

$n \gg 2$ 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)

\ll și \gg : ca și înmulțiri/împărțiri cu puterile lui 2, uneori mai rapide (dacă \gg inserează la stânga biți de semn, e valabil și pt. nr. negative)

Operatori compuși de atribuire (pt. cei binari): $\&=$ $|=$ $\hat{=}$ $\ll=$ $\gg=$

Exemple: extragerea unei porțiuni din reprezentarea unui număr:

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

$\sim 0 \ll k$ are ultimii k biți pe 0, restul pe 1

$\sim(\sim 0 \ll k)$ are ultimii k biți pe 1, restul pe 0

$\sim(\sim 0 \ll k) \ll p$ are k biți pe 1, începând de la bitul p , și restul 0

$(n \gg p) \& \sim(\sim 0 \ll k)$ are pe ultimele poziții cei k biți ai lui n începând cu bitul p , și în rest 0

$n \& (\sim(\sim 0 \ll k) \ll p)$ 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 ↓)

() [] -> .

! ~ ++ -- - (*tip*) * & (pt.adrese) sizeof

* / %

+ -

<< >>

< <= > >=

== !=

&

^

|

&&

||

? :

= += -= etc.

,

Asociativitate

→

←

→

→

→

→

→

→

→

→

→

→

←

←

→

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 `10+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)