

Uvod u programiranje

- predavanja -

studenii 2020.

Operatori

Operatori: prioritet i asocijativnost

	OPERATOR	ASOCIJATIVNOST
<div>↑ Viši prioritet</div> <div>Niži prioritet →</div>	poziv funkcije () [] . -> <i>postfiks</i> ++ --	$L \rightarrow D$
	! ~ sizeof <i>adresa</i> & <i>indirekcija</i> * <i>prefiks</i> ++ -- <i>unarni</i> + -	$D \rightarrow L$
	(cast)	$D \rightarrow L$
	<i>aritmetički</i> * / %	$L \rightarrow D$
	<i>binarni</i> + -	$L \rightarrow D$
	<< >>	$L \rightarrow D$
	< <= > >=	$L \rightarrow D$
	== !=	$L \rightarrow D$
	<i>bitovni</i> &	$L \rightarrow D$
	^	$L \rightarrow D$
	 	$L \rightarrow D$
	&&	$L \rightarrow D$
	 	$L \rightarrow D$
	? :	$D \rightarrow L$
	= *= /= %= += -= &= ^= = <<= >>=	$D \rightarrow L$
	<i>operator</i> ,	$L \rightarrow D$

Unarni +, -

- Unarni minus se koristi često
- Unarni plus je u jezik ugrađen uglavnom samo radi simetrije
 - ne obavlja ništa, osim implicitne konverzije operandu tipa char, short ili _Bool u tip int

```
float x = 5.f, y = -2.f;
```

```
-x
```

```
-x + -y
```

```
-x - -y
```

```
+x
```

Rezultati izraza:

-5, float

-3, float

-7, float

5, float (operator + ovdje nema efekta)

```
int n = -5;
```

```
char c = 'A';
```

```
+n
```

```
+c
```

Rezultati izraza:

-5, int (operator + ovdje nema efekta)

65, **int** (samo konverzija tipa, char→int)

Isti simbol operatora za različite operacije

- U programskom jeziku C za neke od simbola operatora vrijedi da se isti simboli koriste za različite operacije. U takvim slučajevima vrsta operacije se određuje na temelju konteksta u kojem se simbol koristi
 - npr. simbol minus se koristi za dvije različite operacije

```
int a = 3, b = 5, c, d;  
c = b - 5;  
d = -b;
```

Oduzimanje, binarni operator

Negacija, suprotni predznak

	OPERATOR	ASOCIJATIVNOST
	<code>! ~ sizeof</code> <i>adresa</i> <code>&</code> <i>indirekcija</i> <code>*</code> <i>prefiks</i> <code>++ --</code> <i>unarni</i> <code>+ -</code>	$D \rightarrow L$
	<i>binarni</i> <code>+ -</code>	$L \rightarrow D$

Isti simbol operatora za različite operacije

- Iz tog razloga, simboli u tablici operatora, koji ovisno o kontekstu imaju različito značenje, dodatno su opisani, npr.
 - unarni* + - *binarni* + -
 - postfiks* ++, -- *prefiks* ++, --
 - operator* , (jer zarez predstavlja ili separator ili operator, ovisno o kontekstu)

	OPERATOR	ASOCIJATIVNOST
↑ Viši prioritet Niži prioritet →	poziv funkcije () [] . -> <i>postfiks</i> ++ --	L → D
	! ~ sizeof <i>adresa</i> & <i>indirekcija</i> * <i>prefiks</i> ++ -- <i>unarni</i> + -	D → L
	(cast)	D → L
	<i>aritmetički</i> * / %	L → D
	<i>binarni</i> + -	L → D
	<i>bitovni</i> &	L → D
	<i>operator</i> ,	L → D

Operacije na razini bitova (*bitwise*)

- Operacije se obavljaju na razini pojedinačnih bitova
 - operandi moraju biti cjelobrojni!
 - uporaba: za "programiranje na niskoj razini", *low-level programming*
 - operacijski sustavi, *driveri*, mikrokontroleri, grafika na niskoj razini, kriptografija, programi u kojima su brzina i memorija kritični faktor
 - kompaktna pohrana podataka
 - npr. kako pohraniti 32 logičke vrijednosti uz najmanji mogući utrošak prostora? T F T F T T T F F F T T F F T F F T F F F T F T T T F F F T T

```
_Bool podaci[32];  
podaci[0] = 1;  
podaci[1] = 0;  
podaci[2] = 1;  
...  
podaci[31] = 1;  
32 bajta
```

```
char podaci[32];  
podaci[0] = 1;  
podaci[1] = 0;  
podaci[2] = 1;  
...  
podaci[31] = 1;  
32 bajta
```

```
unsigned int podaci;  
podaci = 0xAF1922E3;  
4 bajta. Svaki bit registra pohranjuje  
jednu logičku vrijednost.  
  
Problem: kako pristupiti do svake  
pojedine logičke vrijednosti (bita)?
```

Operacije na razini bitova (*bitwise*)

- Podsjetnik: **logički operatori** vrijednosti operanada koriste kao cjeline

```
int a = 13, b = 7;
```

```
  a && b
```

```
  a || b
```

```
 !a
```

Rezultati izraza:

1, int

1, int

0, int

- Operatori na razini bitova** djeluju na pojedinačne bitove operanada

```
int a = 13, b = 7;
```

```
  a & b
```

AND na razini bitova

5, int

Objašnjenje:

```
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 11012 = 1310
```

```
& 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 01112 = 710
```

```
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 01012 = 510
```

Operatori OR, XOR i NOT na razini bitova

```
int a = 5, b = 19;
```

OR na razini bitova

```
a | b
```

23, int

```
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 01012 = 510
| 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0001 00112 = 1910
-----
= 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0001 01112 = 2310
```

```
int a = 21, b = 19;
```

XOR na razini bitova

```
a ^ b
```

6, int

```
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0001 01012 = 2110
^ 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0001 00112 = 1910
-----
= 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 01102 = 610
```

```
int a = 21;
```

NOT na razini bitova

```
~a
```

-22, int

```
~ 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0001 01012 = 2110
= 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1110 10102 = -2210
```


Operatori posmaka bitova - *right shift*

- Operator posmaka bitova **u desno** (*right shift*) izračunava rezultat tako da binarni sadržaj lijevog operanda posmakne u desno za broj mjesta koji je određen desnim operandom
 - Bitovi na upražnjenim pozicijama na lijevoj strani popunjavaju se:
 - ako je lijevi operand tipa *unsigned int*: nulama
 - ako je lijevi operand tipa *signed int*: ovisno o vrijednosti prvog bita i implementaciji, nulama **ili** jedinicama
 - **stoga, radi prenosivosti (portabilnosti)**: za operaciju posmaka u desno za lijevi operand trebalo bi koristiti tip *unsigned int*

Operatori posmaka bitova - *right shift*

```
unsigned int a = 2147685213, b = 9;  posmak bitova u desno  
a >> b                                4194697, unsigned int
```

	1000 0000 0000 0011 0001 0011 0101 1101 ₂	= 2147685213 ₁₀
>> 9	0000 0000 0100 0000 0000 0001 1000 1001 ₂	= 4194697 ₁₀

bitovi na upražnjenim pozicijama na lijevoj strani popunjavaju se nulama, bez obzira na vrijednost prvog bita lijevog operanda jer je lijevi operand tipa unsigned int

- numerička vrijednost rezultata operacije $a \gg b$ odgovara rezultatu cjelobrojnog dijeljenja $a : 2^b$

Operatori posmaka bitova - *left shift*

- Operator posmaka bitova **u lijevo** (*left shift*) izračunava rezultat tako da binarni sadržaj lijevog operanda posmakne u lijevo za broj mjesta koji je određen desnim operandom
 - Bitovi na upražnjenim pozicijama na desnoj strani uvijek se popunjavaju nulama

```
int a = 4957, b = 9;  
a << b
```

posmak bitova u lijevo
2537984, int

0000 0000 0000 0000 0001 0011 0101 1101₂ = 4957₁₀

<< 9 0000 0000 0010 0110 1011 1010 0000 0000₂ = 2537984₁₀

bitovi na upražnjenim pozicijama na desnoj strani popunjavaju se nulama

- numerička vrijednost rezultata operacije $a \ll b$ odgovara rezultatu množenja $a \cdot 2^b$

Postavljanje pojedinačnih bitova

- Uz pretpostavku da se najmanje značajan bit nalazi na poziciji 0

Bit varijable **a** na poziciji **j** postaviti na 1 (bez promjene ostalih bitova)

$a = a \mid 0x1 \ll j;$

Primjer: bit na poziciji **5** varijable **a** postaviti na 1

a	0000	0000	0000	0000	0000	0001	1000	1001
0x1 << 5	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0010	0000
a 0x1 << 5	0000	0000	0000	0000	0000	0001	1010	1001

Bit varijable **a** na poziciji **j** postaviti na 0 (bez promjene ostalih bitova)

$a = a \& \sim(0x1 \ll j);$

Primjer: bit na poziciji **7** varijable **a** postaviti na 0

a	0000	0000	0000	0000	0000	0001	1000	1001
0x1 << 7	0000	0000	0000	0000	0000	0000	1000	0000
~(0x1 << 7)	1111	1111	1111	1111	1111	1111	0111	1111
a & ~(0x1 << 7)	0000	0000	0000	0000	0000	0001	0000	1001

"Čitanje" pojedinačnih ili grupa bitova

- Uz pretpostavku da se najmanje značajan bit nalazi na poziciji 0 i da je varijabla `a` tipa `unsigned int`

Ispisati 0 ili 1, ovisno o bitu varijable `a` na poziciji `j`

```
printf("%d", a >> j & 0x1);
```

Primjer: ispisati bit varijable `a` na poziciji 3

<code>a</code>	0000	0000	0000	0000	0000	0001	1000	1001
<code>a >> 3</code>	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0011	0001
<code>0x1</code>	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0001
<code>a >> 3 & 0x1</code>	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0001

Primjer: ispisati heksadekadsku vrijednost grupe 4 najmanje značajna bita varijable `a`

```
printf("%x", a & 0xF);
```

<code>a</code>	0000	0000	0000	0000	0000	0001	1000	1001
<code>0xF</code>	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	1111
<code>a & 0xF</code>	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	1001

Operatori uvećanja i umanjenja za 1

- Unarni operatori koji se koriste za skraćeno pisanje operacije uvećanja (++) ili umanjenja (--) operanda za jedan
 - operand mora biti *modifiable lvalue*: varijabla skalarnog tipa, skalarni član polja ili strukture ...
- Uvećanje/umanjenje za jedan smatra se popratnim efektom (*side effect*) djelovanja operatora
 - primarno, rezultat operacije jest vrijednost operanda prije ili poslije uvećanja/umanjenja, ovisno o prefiks/postfiks obliku operatora
 - kao popratni efekt, ovi operatori također i mijenjaju sadržaj operanda
 - *Koji smo operator upoznali koji također izaziva popratne efekte?*

Operatori uvećanja i umanjenja za 1

- Postoji prefiksni i postfiksni oblik operatora. Uz pretpostavku da je brojac varijabla skalarnog tipa:

Izrazi s prefiksnim oblikom operatora

`++brojac`

`--brojac`

Izrazi s postfiksni oblikom operatora

`brojac++`

`brojac--`

Prefiksni oblik

- vrijednost operanda se prvo uveća/umanji (dakle, prvo se dogodi popratni efekt), a tek zatim se evaluiira rezultat izraza

```
int a = 5, b;  
b = ++a * 10;
```

konačni rezultat: a = 6, b = 60

- što se točno događa:
 - varijabla a se uvećava za 1 (popratni efekt operatora ++)
 - izračunava se rezultat izraza ++a (koristit će se u ostatku izraza) = 6
 - izračunava se 6 * 10 i pridružuje u varijablu b
 - konačni rezultat izraza pridruživanja je 60 (i taj se rezultat odbacuje)

```
b = ++a * 10;
```

jednaki efekt



```
a = a + 1;  
b = a * 10;
```

Sve što je u vezi prefiksnog/postfisknog oblika navedeno za operator ++ vrijedi i za operator --

Postfiksni oblik

- Rezultat izraza se prvo evaluiira na temelju "stare" vrijednosti operanda, operand se uveća/umanji kasnije (nije specificirano točno kada, ali najkasnije prije dovršetka naredbe u kojoj se izraz koristi)

```
int a = 5, b;  
b = a++ * 10;
```

konačni rezultat: a = 6, b = 50

- što se točno dešava:
 - izračunava se rezultat izraza a++ (koristit će se u ostatku izraza) = 5
 - odmah sada ili kasnije, ali svakako prije dovršetka naredbe, uvećava se sadržaj varijable a
 - izračunava se 5 * 10 i pridružuje u varijablu b
 - konačni rezultat izraza pridruživanja je 50 (i taj se rezultat odbacuje)

```
b = a++ * 10;
```

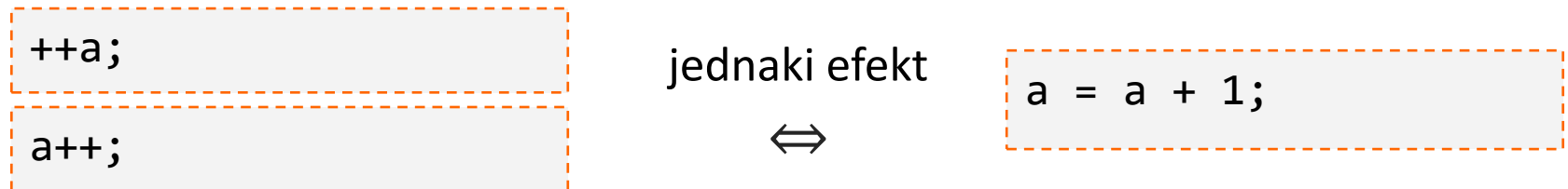
jednaki efekt



```
b = a * 10;  
a = a + 1;
```

Kada je prefiksni oblik == postfiksni oblik?

- Uočiti: ako se operator koristi samostalno (ne u složenijim izrazima kao u prethodnim primjerima), tada između djelovanja prefiksnog i postfiksnog oblika operatora nema razlike



- često se takav jednostavan izraz s operatorima uvećanja/umanjenja koristi u petljama s unaprijed poznatim brojem ponavljanja, za uvećanje ili umanjeње kontrolne varijable petlje

<code>for (i = 1; i <= 10; ++i) {</code> <code>...</code>	ili <code>i++</code> , ovdje je svejedno
---	--

Izbjegavati nedefinirano ponašanje

- Višekratno (unutar istog izraza) korištenje varijable na koju djeluje operator s popratnim efektom može dovesti do nedefiniranog rezultata, tj. moguće različitog rezultata izraza za različite arhitekture i prevodioce

```
int i = 5, rez;  
rez = i * ++i;
```

- ovisno o tome hoće li se prvo izračunati lijevi ili desni operand u operaciji množenja (`i` ili `++i`) rezultat će biti 30 ili 36. Ovisno o tome što se zapravo htjelo postići, ispravno bi bilo napisati jedno od:

```
++i;  
rez = i * i;
```

```
rez = i * (i + 1);  
++i;
```

Uvjetni (*conditional*) operator

- Uvjetni operator je (jedini) ternarni operator (koristi tri operanda)

Opći oblik

```
izraz1 ? izraz2 : izraz3
```

- evaluiraju se (izračunavaju se) `izraz1`
 - ako je rezultat logička vrijednost istina, evaluiraju se `izraz2` i to je ukupni rezultat izraza (`izraz3` se u tom slučaju ne izračunava!)
 - inače, evaluiraju se `izraz3` i to je konačni rezultat izraza (`izraz2` se u tom slučaju ne izračunava!)
- Tipična primjena: pisanje kompaktnijeg programskog koda

```
if (x >= 0.0) {  
    rez = x;  
} else {  
    rez = -x;  
}
```

jednaki efekt



```
rez = x >= 0.0 ? x : -x;
```

Uvjetni (*conditional*) operator

- Naročitu pažnju obratiti ako drugi ili treći izraz sadrže operatore s popratnim efektima

```
int i = 5, j = 10, rez;  
rez = i < j ? ++i : ++j;      rez=6, i=6, j=10      izraz3 se nije evaluirao
```

```
int i = 5, j = 10, rez;  
rez = i > j ? ++i : ++j;      rez=11, i=5, j=11      izraz2 se nije evaluirao
```

Skraćena evaluacija

- Na operatore s popratnim efektima također treba obratiti pažnju u složenim logičkim uvjetima zbog njihove skraćene evaluacije
 - skraćena evaluacija (*short circuit evaluation*) je svojstvo programskog jezika da dijelove logičkog izraza izračunava samo do trenutka kada se nepobitno utvrdi što će biti ukupni rezultat

```
int i = 5, j = 10, k = 15;  
if (i > 5 && j == 10 && k < 15) ...  
if (i > 4 || j == 10 || k < 15) ...
```

- ako se npr. već prvi relacijski izraz evaluira kao laž (istina), preostali relacijski izrazi se ne evaluiraju
- Stoga, u sljedećem primjeru rezultat može biti neočekivan ako programer nije svjestan da C koristi skraćenu evaluaciju

```
int i = 5, j = 10, k = 15;  
if (++i > 5 || ++j == 10 || ++k < 15) ... ++j i ++k se neće obaviti
```

Operatori složenog pridruživanja

- operatori za složeno pridruživanje (*compound assignment*) koriste se za skraćeno pisanje izraza pridruživanja u kojem se nova vrijednost lijevog operanda (*modifiable lvalue*) izračunava na temelju njene stare vrijednosti primjenom binarnog aritmetičkog ili bitovnog operatora

```
duljina = duljina + a;
```

⇔

```
duljina += a;
```

- općenito, izraz pridruživanja u kojem se koristi jedan od binarnih operatora Ω (*, /, %, +, -, &, ^, |, <<, >>)

```
izraz1 = izraz1  $\Omega$  izraz2;
```

može se primjenom operatora složenog pridruživanja napisati ovako:

```
izraz1  $\Omega$ = izraz2;
```

Operatori složenog pridruživanja

- operatori su korisniji u slučajevima kada lijevi operand (*modifiable lvalue*) ima neki kompleksniji oblik (član polja, strukture i slično)

```
polje[broj - D_GR] = polje[broj - D_GR] + 5;
```

```
polje[broj - D_GR] += 5;
```

- Oprez: u primjeni ovog operatora treba naročito paziti na prioritet

```
a *= b + 5;
```

nije isto kao

```
a = a * b + 5;
```

- pri određivanju ekvivalentnog izraza najbolje je desnu stranu izraza složenog pridruživanja prepisati u zagradama

```
a *= b + 5;
```

jest isto kao

```
a = a * (b + 5);
```


Operator sizeof

Opći oblik

```
sizeof(izraz ili naziv tipa)
```

- Rezultat operacije je broj bajtova koji se koristi za pohranu operanda

```
float polje[10], x = 1.f;
```

```
double y = 2.;
```

```
char c = 'A';
```

```
sizeof(double) 8
```

```
sizeof(x) 4
```

```
sizeof(x + y) 8
```

```
sizeof(polje) 40
```

```
sizeof('A' + 32) 4
```

```
sizeof(unsigned short int) 2
```

```
sizeof(0x100u) 4
```

```
sizeof(1LL) 8
```

```
sizeof(c) 1
```

```
sizeof(1.0L) 12
```

Operator *zare*

Opći oblik

```
izraz1, izraz2
```

- evalui se `izraz1` (s rezultatom se dalje ne radi ništa)
 - evalui se `izraz2` i taj rezultat je ukupni rezultat izraza
-
- Ilustracija djelovanja operatora u jednom (besmislenom) primjeru

```
int i = 2, j = 5, k;  
k = (++i, j = j * 2);
```

- evalui se `++i`, vrijednost varijable `i` postaje 3, rezultat se odbacuje
- izračunava se `j*2`, 10 se upisuje u `j`, rezultat tog pridruživanja (10) je ujedno ukupni rezultat djelovanja operatora *zare*
- 10 se upisuje u varijablu `k`. Rezultat operacije pridruživanja se odbacuje

Primjer

- Primjena više operatora *zarez* u istoj naredbi

```
int i, j, k, m;  
m = (i = 5, j = i + 2, k = i + 3);
```

- zbog asocijativnosti operatora *zarez* ($L \rightarrow D$) ekvivalentno je s

```
m = (((i = 5), j = i + 2), k = i + 3);
```

- 5 se pridruži u i, rezultat pridruživanja 5 se odbaci
- 7 se pridruži u j, rezultat pridruživanja 7 je ukupni rezultat prvog operatora *zarez*. Taj se rezultat odbacuje
- 8 se pridruži u k, rezultat pridruživanja je 8, to je ukupni rezultat drugog operatora *zarez*. Taj se rezultat pridružuje varijabli m. Rezultat tog pridruživanja se odbacuje.

Operator *zare*

- U praksi se ovaj operator koristi rijetko, obično u karakterističnim slučajevima
 - Primjer: ispisivati parove vrijednosti "uzlaznog i silaznog" brojača

```
int i, j;  
j = 10;  
for (i = 1; i <= 10; ++i) {  
    printf("%d %d\n", i, j);  
    --j;  
}
```

Uz primjenu operatora *zare*

```
int i, j;  
for (i = 1, j = 10; i <= 10; ++i, --j) {  
    printf("%d %d\n", i, j);  
}
```

Primjer

- Još jedan primjer korištenja operatora *zarez*
 - učitavati cijeli broj i ispisivati njegov umnožak s 10 dok se ne upiše nula

```
int i;  
do {  
    scanf("%d", &i);  
    if (i != 0) {  
        printf("%d\n", 10 * i);  
    }  
} while (i != 0);
```

Uz primjenu operatora *zarez*

```
int i;  
while (scanf("%d", &i), i != 0) {  
    printf("%d\n", 10 * i);  
}
```