

Diskretne strukture

Gašper Fijavž

Fakulteta za računalništvo in informatiko
Univerza v Ljubljani

1. december 2025

Deljivost celih števil

Izrek (o deljenju)

Naj bosta $m, n \in \mathbb{Z}$ in $m > 0$. Obstajata enolično določeni celi števili k in r , pri čemer je

$$n = k \cdot m + r \quad \text{in velja} \quad 0 \leq r < m.$$

k je *kvocient* števil n in m

r je *ostanek* pri deljenju števila n z m .

Deljivost celih števil

Naj bosta $m, n \in \mathbb{Z}$. Pravimo, da m *deli* n ,

$$m \mid n,$$

če ima enačba $n = x \cdot m$ celoštevilsko rešitev.

Če m, n nista enaka 0, potem lahko definiramo

$$\gcd(m, n) = \max\{d \in \mathbb{Z} ; d \mid m \text{ in } d \mid n\}$$

največji skupni delitelj števil m in n

$$\text{lcm}(m, n) = \min\{v \in \mathbb{Z} ; m \mid v \text{ in } n \mid v \text{ in } v > 0\}$$

najmanjši skupni večkratnik števil m in n

$\gcd$ in lcm sta *komutativni* in *asociativni* operaciji.

Razširjeni Evklidov Algoritem - REA

Zgled: Poišči $\gcd(899, 812)$.

Trdimo:

- ▶ 29 deli vse desne strani enačb.
Posebej, 29 deli tudi 812 in 899.
- ▶ 29 je celoštevilska linearna kombinacija števil 812 in 899.
- ▶ Če število d deli 899 in 812, potem deli tudi vsako njuno celoštevilsko linearno kombinacijo. Zato deli tudi 29.
- ▶ 29 je največji skupni delitelj števil 899 in 812.

Razširjeni Evklidov Algoritem - REA

Izrek (REA)

$$\gcd(m, n) = r = s \cdot m + t \cdot n$$

Največji skupni delitelj $\gcd(m, n)$ števil m in n dobimo kot zadnji neničelni **ostanek** v REA. Obenem $\gcd(m, n)$ zapišemo tudi kot celoštevilsko linearno kombinacijo števil m in n .

Tuja števila

Pravimo, da sta si celi števili a in b **tuji**, če je $\gcd(a, b) = 1$.

V tem primeru pišemo $a \perp b$.

Zgled: $89 \perp 81$

Velja tudi: $5 \perp 7$, $7 \perp 37$, $37 \perp 101$, $101 \perp 214$

$$\begin{array}{rclcl} (-4) \cdot 5 & + & 3 \cdot 7 & = & 1 \\ 16 \cdot 7 & + & (-3) \cdot 37 & = & 1 \\ (-30) \cdot 37 & + & 11 \cdot 101 & = & 1 \\ 89 \cdot 101 & + & (-42) \cdot 214 & = & 1 \end{array}$$

Tuja števila

Trditev

Naj velja $a|(b \cdot c)$ in $a \perp b$. Potem $a|c$.

Izrek

Naj bosta $a, b \in \mathbb{N}$. Potem je $\gcd(a, b) \cdot \text{lcm}(a, b) = a \cdot b$.

Diofantske enačbe

Naloga: Skupina otrok je v slaščičarni jedla torte in kremne rezine. Koliko tort in koliko kremnih rezin so pojedli, če je račun znašal 98,25€, kremna rezina stane 6,75€, torta pa 5,25€.

Vemo tudi, da so pojedli več tort kot kremnih rezin.

Diofantske enačbe

Enačba je *diofantska*, če ima celoštevilske podatke in iščemo celoštevilске rešitve.

Linearna diofantska enačba z dvema neznankama je enačba oblike

$$a \cdot x + b \cdot y = c,$$

kjer so znani $a, b, c \in \mathbb{Z}$, iščemo pa celoštevilsko rešitev x, y .

a in b sta *koeficienta* enačbe, c standardno imenujemo *desna stran*.

Diofantske enačbe

Zgled: Poišči rešitve (linearne) diofantske enačbe $6x + 15y = 7$.

Izrek

Linearna diofantska enačba

$$a \cdot x + b \cdot y = c$$

je rešljiva natanko tedaj, ko $\gcd(a, b) \mid c$.

Če $\gcd(a, b)$ ne deli desne strani c , potem taka diofantska enačba nima rešitev.

Diofantske enačbe

Izrek

Naj par x_0, y_0 reši LDE $a \cdot x + b \cdot y = c$, in naj bo $d = \gcd(a, b)$. Potem so

$$\begin{aligned}x_k &= x_0 + t \cdot \frac{b}{d} \\ y_k &= y_0 - t \cdot \frac{a}{d},\end{aligned}$$

kjer je t poljubno celo število, **vse** rešitve te diofantske enačbe.

Diofantske enačbe

Izrek

Linearna diofantska enačba

$$a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + a_n \cdot x_n = c$$

je rešljiva natanko takrat, ko

$$\gcd(a_1, a_2, \dots, a_n) \mid c.$$

Praštevila

Naravno število $n \geq 1$ je *praštevilo*, če ima natanko dva pozitivna delitelja.

Sicer je 1 ali pa *sestavljeno število*.

Praštevila do 100:

2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 29, 31, 37, 41, 43, 47, 53, 59, 61, 67, 71, 73, 79, 83, 89, 97

Par praštevil oblike $(p, p + 2)$ imenujemo *praštevilska dvojčka*.

Praštevila

Trditev

- ▶ p praštevilo in $a \in \mathbb{Z}$. Potem $p|a$ ali $p \perp a$.
- ▶ p praštevilo, $a, b \in \mathbb{Z}$. Če $p|(a \cdot b)$, potem $p|a$ ali $p|b$.
- ▶ vsako naravno število $n \geq 2$ je deljivo s katerim od praštevil.

Praštevil je neskončno mnogo

Izrek (Evklid)

Obstaja neskončno mnogo praštevil.

Enolični razcep

Izrek

Vsako naravno število $n \geq 2$ lahko zapišemo kot produkt praštevil.

Zapis je enoličen, če se ne oziramo na vrstni red faktorjev.

Eulerjeva funkcija φ

Eulerjeva funkcija $\varphi : \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}$ je definirana takole:

$$\varphi(n) = |\{k \in \mathbb{N} ; 1 \leq k \leq n \text{ in } k \perp n\}|$$

$\varphi(n)$ je število števil med 1 in n , ki so tuja n .

Zgled:

$$\begin{array}{ll} \varphi(4) = 2 & \text{1,2,3,4} \\ \varphi(5) = 4 & \text{1,2,3,4,5} \\ \varphi(6) = 2 & \text{1,2,3,4,5,6} \end{array}$$

Kako računamo Eulerjevo funkcijo

Trditev

Če je p praštevilo, je $\varphi(p) = p - 1$.

Trditev

Če je p praštevilo, je $\varphi(p^n) = p^n - p^{n-1}$.

Trditev

Če $a, b \in \mathbb{N}$ in $a \perp b$, potem je $\varphi(a \cdot b) = \varphi(a) \cdot \varphi(b)$.

Kako računamo Eulerjevo funkcijo

Izrek

Naj bo $n = p_1^{k_1} p_2^{k_2} \cdots p_m^{k_m}$, kjer so $p_1, p_2, \dots, p_m$ različna praštevila. Potem je

$$\varphi(n) = n \left(1 - \frac{1}{p_1}\right) \left(1 - \frac{1}{p_2}\right) \cdots \left(1 - \frac{1}{p_m}\right).$$

Kongruence

Naj bo $a \in \mathbb{Z}$ in $m \in \mathbb{N}$, $m \geq 2$.

$$a \bmod m$$

je ostanek a -ja pri deljenju z m .

Definirajmo relacijo, *kongruenco po modulu m* , z naslednjim opisom:

$$a \equiv b \pmod{m} \text{ ntk. } m \mid (a - b) \text{ ntk. } a \bmod m = b \bmod m$$

Lastnosti kongruenc

1. kongruenca po modulu m je ekvivalenčna relacija v $\mathbb{Z}$

2. Če $a \equiv b \pmod{m}$, potem

$$a \pm c \equiv b \pm c \pmod{m}$$

$$a \cdot c \equiv b \cdot c \pmod{m}$$

$$a^n \equiv b^n \pmod{m}$$

3. Če $a \equiv b \pmod{m}$ in $c \equiv d \pmod{m}$, potem

$$a \pm c \equiv b \pm d \pmod{m}$$

$$a \cdot c \equiv b \cdot d \pmod{m}$$

4. Če $a \cdot c \equiv b \cdot c \pmod{m}$ in $c \perp m$, potem $a \equiv b \pmod{m}$

Zgledi

Zgledi:

- ▶ Izračunaj ostanek pri deljenju števila 3^{120} s 13.
- ▶ Izračunaj zadnjo cifro števila $9^{8^{7^6}}$.
- ▶ Izračunaj ostanek pri deljenju števila $9^{8^{7^6}}$ z 11.

Rezultati

Izrek (Eulerjev)

Naj bo $a \in \mathbb{Z}$, $m \geq 2 \in \mathbb{N}$ in $a \perp m$. Potem je

$$a^{\varphi(m)} \equiv 1 \pmod{m}$$

Izrek (mali Fermatov)

Če je p praštevilo in $a \perp p$, potem je

$$a^{(p-1)} \equiv 1 \pmod{p}.$$

Za vse $a \in \mathbb{Z}$ pa velja

$$a^p \equiv a \pmod{p}.$$

RSA kriptosistem

Trditev

Naj bosta p in q različni praštevili. Potem je

$$a \equiv b \pmod{p} \quad \text{in} \quad a \equiv b \pmod{q}$$

natanko tedaj, ko je

$$a \equiv b \pmod{pq}.$$

Trditev

Naj bosta p in q različni praštevili. Potem za poljubni naravni števili a in k velja

$$a^{k \cdot \varphi(pq) + 1} \equiv a^{k \cdot (p-1)(q-1) + 1} \equiv a \pmod{pq}$$

RSA kriptosistem

RSA kriptosistem deluje na principu *javnih* in *privatnih ključev*.

Pogovarjajmo se o dveh uporabnikih *Ančki* in *Borutu*. Vsak izmed njiju ima svoj *privatni ključ* P_A , P_B , ki ga hrani na skrivnem mestu, svoj *javni ključ* J_A , J_B da na vpogled vsem.

RSA kriptosistem

Komunikacija med Ančko in Borutom:

- ▶ Ančka bi rada Borutu posredovala sporočilo x :

$$x, J_B(x) \xrightarrow{!} J_B(x), P_B(J_B(x)) = x$$

- ▶ Ančka bi rada Borutu posredovala sporočilo x in Borut bi rad bil prepričan, da mu je sporočilo res posredovala Ančka:

$$x, P_A(x), J_B(P_A(x)) \xrightarrow{!} J_B(P_A(x)), P_B(J_B(P_A(x))) = P_A(x), J_A(P_A(x)) = x$$

Veljati mora:

1. P_A in J_A kot tudi P_B in J_B sta *inverzni preslikavi*.
2. Če poznamo J_A iz tega ne moremo (vsaj ne enostavno) izračunati P_A .