

Optične komunikacije

↓↓↓

JAN RAVNIK, TADEJ NOVAK, BOŠTJAN GOLOB IN IRENA DREVENŠEK OLENIK

→ Sodobno družbo zaznamuje izjemen napredek v računalništvu in vse pogostejša uporaba interneta. V Sloveniji internet vsak dan uporablja 61 % prebivalcev, dostop do interneta pa ima že več kot 77 % slovenskih gospodinjstev [1]. Število uporabnikov interneta je v svetu že preseglo tri milijarde [2]. Zaradi vse večjega povpraševanja in vse bolj zahtevnih uporabnikov je bistvenega pomena hitrost prenašanja podatkov. Trenutno so daleč najhitrejša in najcenejša optična omrežja. Njihov osrednji element so optična vlakna, katerih delovanje bomo razložili v naslednjem sestavku.

Lomni količnik

Za razumevanje delovanja optičnih vlaken moramo najprej poznati lomni količnik in vedeti, kako se svetloba obnaša, ko potuje čez mejo dveh različnih snovi. Svetloba po vakuumu potuje s končno hitrostjo, ki znaša približno 300 000 km/s. V snoveh pa je hitrost svetlobe manjša in v vsaki snovi drugačna. Pravimo, da imajo snovi različno optično gostoto, kar si lahko predstavljamo, kot da snov zavira potovanje svetlobe in jo upočasnjuje. Lomni količnik snovi je definiran kot razmerje med hitrostjo svetlobe v vakuumu c_0 in hitrostjo svetlobe v snovi c :

$$\blacksquare n = \frac{c_0}{c}$$

Vakuum ima torej lomni količnik 1, v snoveh pa je lomni količnik večinoma večji od 1, saj svetloba v snovi potuje počasneje kot v vakuumu. Če za dve snovi velja $n_1 < n_2$, rečemo, da je druga snov optično gostejša.

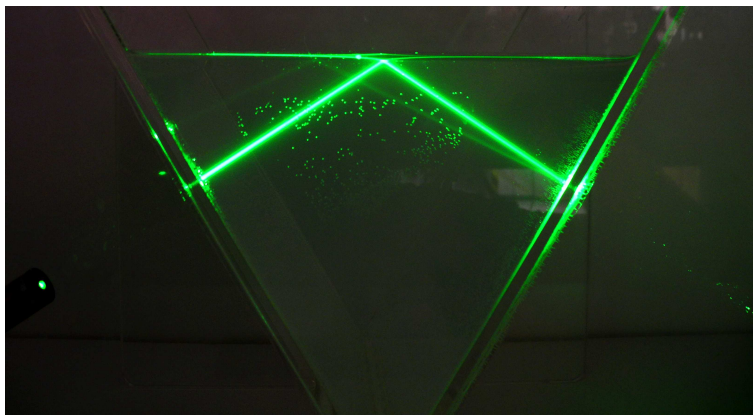
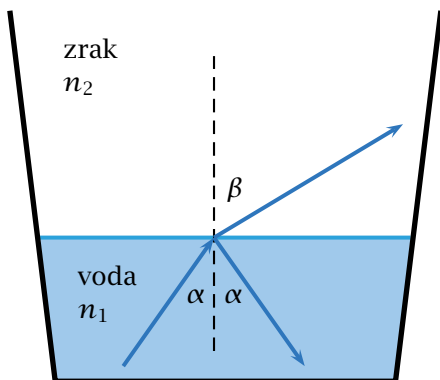
Prehod čez mejo dveh snovi

Na meji dveh snovi z različnima lomnima količnikoma se del svetlobe lomi, del pa odbije. Lom svetlobe lahko preprosto opazujemo v naravi. Če pod vodo delno potopimo palico in jo opazujemo skozi gladino vode, palica izgleda zlomljena. To je posledica spremembe hitrosti in ohranitve frekvence svetlobe na meji snovi. Lom svetlobe lahko opišemo z enačbo

$$\blacksquare \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1},$$

kjer sta α in β vpadni in lomni kot svetlobe (slika 1). Iz enačbe sledi, da se svetloba pri prehodu iz optično gostejšega v optično redkejšo sredstvo lomi stran od vpadne pravokotnice. Kot med žarkom in vpadno pravokotnico bo torej v optično redkejšem sredstvu večji. Del svetlobe se na meji med sredstvoma vedno tudi odbije. Odbojni kot je enak vpadnemu, saj svetloba ostane v istem sredstvu. Pri prehodu iz optično gostejše v optično redkejšo snov pri določenih pogojih opazimo zanimiv pojav, ki ga imenujemo totalni odboj. V tem primeru se vsa svetloba odbije od meje med sredstvoma, prepuščenega žarka pa ni. Meja dveh snovi ima v tem primeru enak učinek kot zrcalo. Do pojava totalnega odboja pride pri dovolj velikih vpadnih kotih α , in sicer mora biti kot α večji od mejnega kota. Mejni kot je tisti, pri katerem se svetloba lomi pod kotom $\beta = 90^\circ$, kar je največji možen kot loma svetlobe. Svetloba namreč ne more uiti iz sredstva pod kotom večjim od 90° glede na vpadno pravokotnico. Mejni kot je odvisen od lomnih količnikov obeh snovi. Pri prehodu svetlobe iz vode v zrak je mejni kot $\alpha_m = \arcsin\left(\frac{1}{1,33}\right) = 48,7^\circ$. Totalni odboj v naravi najlažje vidimo, če se potopimo pod mirno gladino vode in poskušamo pogledati ven. Kar gledamo pod majhnimi koti (navpično navzgor), lahko vidimo iz vode, če gledamo pod velikimi koti, pa površina na meji med vodo in zrakom deluje kot ogledalo.





SLIKA 1.

Skica loma in odboja svetlobe v kozarcu vode in fotografija popolnega odboja laserskega žarka na meji med vodo z dodano kapljico mleka in zrakom.

Optična vlakna

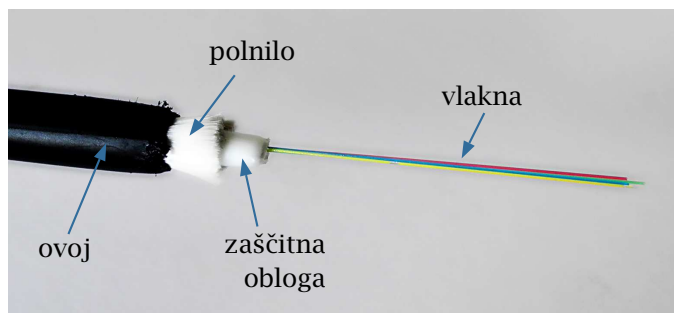
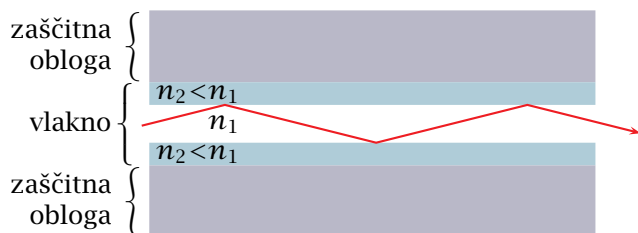
Optična vlakna delujejo na osnovi totalnega odboja svetlobe na meji med snovema z različnima lomnima količnikoma. V sredini optičnega vlakna je nitka (sredica) iz prozornega umetnega materiala, obdana s plaščem iz materiala, ki ima malo manjši lomni količnik. Razlika med lomnima količnikoma je zelo majhna, ponavadi le okoli 0,01. Lomni količnik sredice znaša okoli 1,5, iz česar lahko preprosto izračunamo, da je hitrost svetlobe, ki potuje po optičnem vlaknu, približno 200 000 km/s. Debelina sredice je nekaj mikrometrov. Enorodovna vlakna, v katerih se signal najmanj popači, imajo sredico tipične debeline 9 μm in plašč debeline okoli 100 μm , večrodovna pa so debelejša. Okoli vlakna imamo nekaj milimetrov debelo zaščitno oblogo, ki vlakno varuje pred poškodbami in pretiranim prepogibanjem. Na koncih so vlakna pravokotno odrezana, tako da žarek lahko spravimo v njih, potem pa se žarki po načelu totalnega odboja odbijajo na meji med plaščem in sredico in tako potujejo po celotni dolžini optičnega vlakna ter na drugem koncu izstopijo.

Svetovni splet

Večina svetovnih internetnih komunikacij danes temelji na optičnih povezavah. Ves svet (ne le raz-

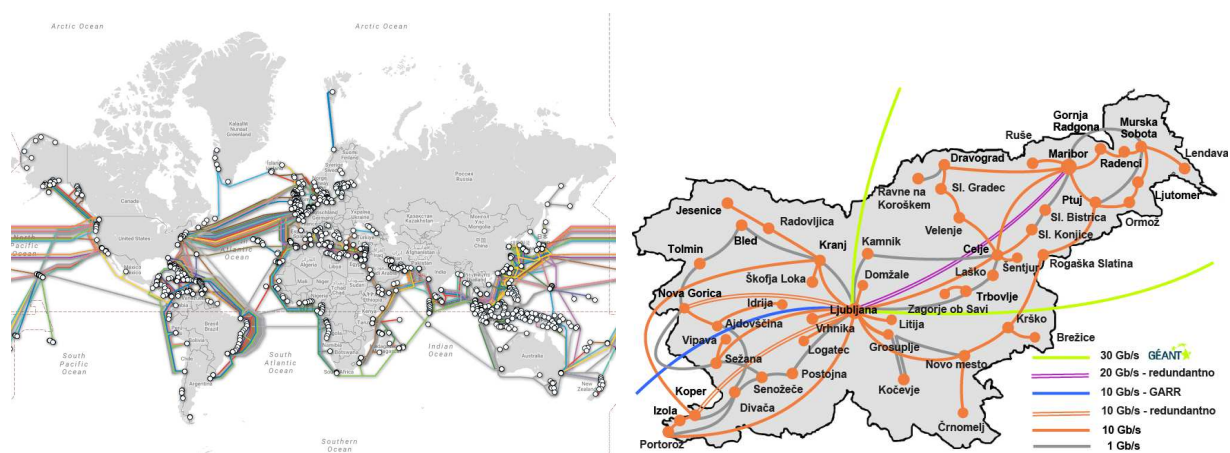
viti del) je med seboj povezan z optičnimi kablji, ki tečejo po dnu oceanov oziroma so zakopani pod zemljo. Na ta način lahko podatki iz Amerike pripotujejo v Evropo v manj kot 100 milisekundah. Ker so optični kablji sorazmerno poceni v primerjavi s stroški polaganja, jih je smiselno položiti skupaj z ostalo infrastrukturo. Optične povezave v Sloveniji zagotavlja več ponudnikov, in sicer ima vsak izmed njih položeno svoje optično omrežje. Tako imajo svoje optične kable Slovenske železnice, Dars, Stelkom, Arnes, Telekom Slovenije, Telemach in T2 [5]. Optični kablji med večjimi vozlišči niso novost, uporabljajo se že dobri dve desetletji. Uporabniki pa smo dobili optične povezave šele v zadnjih letih, s čimer je hitrost interneta v gospodinjstvih bistveno narasla. Trenutni rekord za količino prenešenih podatkov po enem samem kablju je bil postavljen leta 2012 in znaša nekoliko več kot 10^{15} bitov na sekundo v kablju dolgem 52 kilometrov [6].

Z optičnimi omrežji se je bistveno spremenila uporabniška izkušnja. Danes se nam zdi nekaj povsej običajnega oziroma že precej počasi, če z interneta prenesemo 1 gigabajt podatkov v eni uri (kar približno ustreza povezavi 2 Mb/s). Veliko gospodinjstev ima že povezave, ki delujejo bistveno hitreje. Če bi enako datoteko prenašali z interneta pred približno dvajsetimi leti, ko je povezava potekala prek telefona (64 kb/s), bi za prenos enake datoteke potrebovali več kot en dan.



SLIKA 2.

Skica optičnega vlakna in fotografija optičnega kabla s štirimi vlakni in drugimi sestavnimi deli.



SLIKA 3.

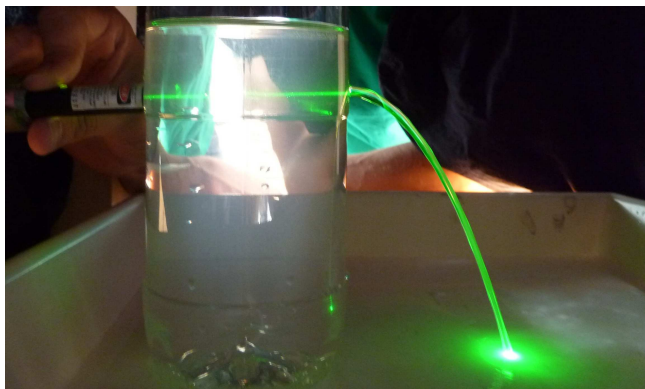
Podmorske optične povezave po svetu [3] in Arnesove povezave v Sloveniji [4].

Eksperimentirajmo doma

Preprost poskus za prikaz delovanja optičnega vlakna lahko naredimo tudi doma. Potrebujemo večjo prozorno plastenko (liter in pol je dovolj), vodo, nekaj kapljic mleka in laserski kazalnik. V plastenko izvrtamo luknjo približno na višini 10 cm od dna. Luknja naj bo lepo okrogla, tako da bo curek vode, ki bo tekel skozi, kar se da pravilne oblike. Okroglo luknjo najlažje naredimo tako, da segrejemo škarje in z vročo konico stalimo plastiko. Luknja naj bo premera malo manj kot pol centimetra. V plastenko natočimo vodo do vrha, pri čemer s prstom zatiskamo luknjo, da nam voda ne uide. Poskus je

najbolje izvajati v manjši kadi ali umivalnem koritu, da ne zmočimo okolice. V polno plastenko nato dodamo nekaj kapljic mleka. Ko z laserjem posvetimo skozi plastenko motne vode, majhni delci maščobe v mleku poskrbijo za sipanje svetlobe, zaradi česar je pot laserja dobro vidna. Zdaj lahko umaknemo prst z luknje in iz plastenke začne iztekati voda. Vodni curek predstavlja optično vlakno, saj je lomni količnik vode večji od lomnega količnika zraka. Z laserjem posvetimo skozi plastenko z nasprotne strani in z laserskim žarkom ciljamo luknjo. Če luknjo dobro zadanemo, se žarek ujame v curek vode tako, kot se ujame v optično vlakno, kar je prikazano na sliki 4. Če gledamo pod ustreznim kotom, lahko celo





SLIKA 4.

Preprost poskus, ki ponazarja delovanje optičnega vlakna. Od daleč se zdi, kot da se laserski žarek ukrivi skupaj z vodnim curkom. Če pogledamo od blizu, pa vidimo, da svetloba potuje po cikcakasti poti znotraj curka.

vidimo, kako se žarek cik-cakasto odbija po curku. V primeru, da eksperimenta ne morete izvesti sami, lahko na YouTubeu poiščete video posnetke pod geslom »optical fiber experiment« in zagotovo boste našli veliko posnetkov opisanega poskusa.

Literatura

- [1] <http://www.stat.si/StatWeb/pregled-podrocja?idp=2989&headerbar=8>, (ogled 29. 6. 2016).
- [2] <http://www.internetworldstats.com/stats.htm>, (ogled 29. 6. 2016).
- [3] <http://www.submarinecablemap.com/>, (ogled 29. 6. 2016).
- [4] <https://www.arnes.si/infrastruktura/>, (ogled 29. 6. 2016).
- [5] <http://www.monitor.si/clanek/slovenska-internetna-hrbtenica/166693/>, (ogled 29. 6. 2016).
- [6] https://en.wikipedia.org/wiki/Fiber-optic_communication, (ogled 29. 6. 2016).

× × ×

Barvna lestvica

↓↓↓

ANDREJ LIKAR

→ Bela svetloba je sestavljena iz niza mavričnih barv. Leta 1666 je to pokazal Isaac Newton s prehodom svetlobe skozi stekleno prizmo. Z drugo prizmo je razstavljeno svetlobo spet setavil v belo. Danes vemo, da lahko vsaki mavrični barvi pripišemo njej lastno valovno dolžino. Tako dobimo možnost preglednega barvnega prikaza količin z barvno lestvico – vsaki mavrični barvi pripišemo pozitivno število. Temperature na predmetih, posnetih s termografsko kamero, so pregledno prikazane z mavričnimi barvami, ki se jim pridruži tudi bela. Modra barva tam označuje hladne predele, rdeča topla, bela pa vroča področja. Z barvno lestvico lahko pregledno ponazorimo funkcije dveh spremenljivk.

Za prevod števila v svetlobo z ustrežno mavrično barvo lahko uporabimo bodisi njeno valovno dolžino bodisi frekvenco, saj velja $\lambda v = c$, kjer je c hitrost svetlobe v vakuumu. Na termografskih slikah, modra barva npr. predstavlja nižjo temperaturo predmeta, rdeča pa večjo (glej sliko 1). Barve bomo prikazovali na računalniškem zaslonu, saj je kako drugače barvanje zelo zahtevno in zamudno. Moramo se torej na kratko seznaniti z barvanjem zaslona.

Zaslon je na gosto posejan z otočki, ki svetijo rdeče, zeleno ali modro. Lepo jih vidimo z močnejšo lupo, ko je zaslon bel. Kako močno svetijo posamezni otočki, lahko nastavimo v ustreznem programu s celim številom B od 0 do $255 + 255 \cdot 256 + 255 \cdot 256 \cdot 2 = 16777215$. Toliko barvnih odtenkov lahko torej predstavimo z zaslonom, saj se, gledano od daleč, svetloba otočkov v očesu zlije, kot da bi gledali en sam svetlobni vir. Otočku z izbrano barvo lahko nastavimo 256 različnih svetlosti, pri čemer je otoček ugasnjen pri vrednosti 0, najmočnejše pa sveti pri vre-