



JE LI SJENA BRŽA OD SVJETLOSTI?

Jadranka Delač-Klepac, Zagreb



Čarobnatička priča o virtualnim i stvarnim svjetovima, o brzini sjene, brzini mraka i brzini svjetlosti

Tko danas može reći gdje je granica između virtualnog i stvarnog svijeta? Kada je ta granica počela blijediti i nestajati? Je li to bilo one, ne tako davne, 1997. godine kada je Deep Blue (IBM-ovo računalo) pobijedilo Garija Kasparova u šahu? Je li ta pobjeda početak „vlдавине” algoritama?

I što su to – **algoritmi**? Jesu li to samo upute u računalnim programima? Recepti, postupci za pronalaženje rješenja nekom problemu? Je li i recept za pečenje nekog kolača također algoritam?

Algoritmi su precizno opisani logički postupci (rutinske procedure) koje moramo sistematski poštivati, primjenjivati i slijediti kako bismo došli do rješenja nekog problema.

Hm... prema ovoj bi definiciji i kuharski recept bio neki algoritam. Ipak, to nije baš tako jednostavno. **Kada mislimo o algoritmima, prvenstveno mislimo o njima kao matematičkim objektima koje prevodimo u neki kompjuterski ili matematički kod ili zapis, koristeći matematičke operacije, jednadžbe, logiku, vjerojatnost, diferencijalni račun, kao i druge rezultate ostalih grana matematike.** U matematici susrećemo mnogo algoritama: Euklidov algoritam, Hornerov algoritam, algoritam za računanje drugog korijena, i mnoge druge. Algoritmi su i temelj na kojemu počiva računalna znanost.

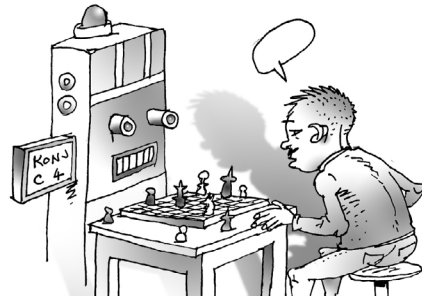
Ima različitih algoritama. Oni upravljaju našim semaforima, bombardiraju nas reklamama s računalnog ekrana biranim prema našim slučajnim klikovima nekih stranica (znači netko – *Google* ili *Facebook* – analizira sve što čitamo? Hm...), nalaze se u aplikacijama kojima biramo Uber umjesto nekog drugog taksija, uklanjaju nepoželjne sadržaje s *Facebooka*, *Youtubea*, slažu naše fotografije u mobitelu po nekom redu... Jesu li živući organizmi neki biološki algoritmi? Je li DNK također neki kod koji upravlja mnoštvom operacija koje omogućuju život?

Sam naziv *algoritam* potječe od latiniziranog imena arapskog matematičara Al-Khwarizmija (otprilike živio od 780. do 850.), a prvi se put pojavljuje u prijevodu jednog njegovog djela u 12. stoljeću.

Godine 2017. Googleov novi program *AlphaZero* pobijedio je program Stockfish 8 koji je 2016. bio svjetski prvak u šahu. Dakle, taj je program već pobijedio najbolje šahiste svijeta! Karakteristika Stockfisha 8 bila je da je u



sekundi mogao izračunati 70 milijuna šahovskih pozicija, dok je Alpha Zero mogao izračunati „samo” 80 000 kalkulacija u sekundi, a njegovi stvaratelji i kreatori nisu ga naučili nikakvim šahovskim strategijama koje su bile uprogramirane u Stockfish 8. Umjesto toga, opremili su ga principima strojnog učenja (ili samoučenja – kako bi sam sebe poučio šahu!). Programu Alpha Zero trebalo je 4 sata da svlada šah iz temelja, nudeći pri tome nova kreativna rješenja, do tada posve nepoznata. To je očigledni primjer umjetne inteligencije na djelu.



Da, virtualna nas je stvarnost posve okružila pa svijet iluzija i imaginacije često niti ne možemo odvojiti od realnosti. A kamo i kojom će se brzinom umjetne inteligencije razvijati u budućnosti i koje će mjesto zauzimati u našim životima, teško je i predvidjeti. Koliko smo već sada ovisni o mobitelima, GPS-u, Google-map programu, Youtubeu, kompjutorskim igricama u koje unosimo toliko emocija da postaju stvarni dio našeg svakodnevnog življenja!

U početku je, kada je bio otkriven i definiran od tadašnjih matematičara, imaginarni broj bio smatran neupotrebljivim i suvišnim plodom ljudske mašte, dok su danas kompleksni brojevi našli svoje mjesto u znanosti, primjerice u fizici, elektrotehnici i sl., i pomoću njih opisujemo mnoge prirodne zakone.

I zato, kada učenici postave pitanje poput **Kolika je brzina sjene?** – ne trebamo se čuditi. Treba zastati i razmisliti. Jer, i tu dolazimo do sukoba između stvarnog i imaginarnog, iluzije i realnosti, i to na primjeru s kojim se svakodnevno susrećemo. Zar se ne susrećemo sa svojom sjenom svakodnevno?



Brzinu svjetlosti znamo, označavamo je c i ona iznosi oko 300 000 km/s. Nešto manje, ali zbog lakšeg računanja, znanstvenici su zaokružili taj broj na 300 000 km/s. Ali, je li sjena brža od svjetlosti? Dokazano je da u prirodi, odnosno našem fizičkom svemiru, ne postoje brzine veće od brzine svjetlosti. Do tih zaključaka dolazimo iz Einsteinovih formula koje proizlaze iz načela koja je Einstein koristio u svojoj teoriji relativnosti. O tome se uči u srednjoj školi.

Eto, to je pitanje koje su Baltazaru jednoga dana postavili njegovi učenici. Baltazar ih je zamolio da mu pokušaju objasniti što ih je navelo da postave sebi i njemu to pitanje.

Svjetlan je ovako pojasnio svoje nedoumice:

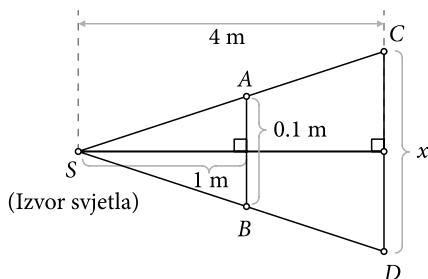
„Ako gledam sjenu svoje ruke koju na zidu sobe baca svjetlo svijeće ili žarulje, vidim da je sjena mnogo veća od moje ruke. Ako samo malo pomaknem





ruku, recimo za 10 cm, sjena ruke preleti cijeli zid. Ako se pomak moje ruke zbilo u desetinki sekunde, brzina kojom sam pomaknuo ruku je $v = \frac{0.1}{0.1} = 1$ m/s. (Prisjetimo se formule za računanje brzine ako se tijelo giba jednoliko po pravcu: $v = \frac{s}{t}$, gdje je v oznaka za brzinu, s je prijedeni put, a t vrijeme.)

Tu možemo pretpostaviti, radi lakšeg računa, da se vrh prsta giba po tetivi kružnice, a ne po obodu kružnice, odnosno po luku. Dakle, zamislimo da se vrh prsta giba pravocrtno. Brzina kojom se sjena pomaknula po zidu udaljenom 4 m od izvora svjetlosti (dovoljno je promatrati vrh kažiprsta – tu je skicirao na ploči sljedeću skicu – gledano odozgo) iznosi:



(veličine nisu u mjerilu)

$\triangle SAB \sim \triangle SCD$, x je put koji je sjena prešla po zidu, \overline{AB} put prsta

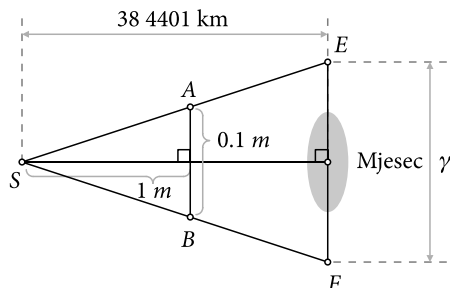
$$x : 4 = 0.1 : 1 \Rightarrow x = 0.4 \text{ m}$$

$$v_{\text{sjene}} = \frac{0.4}{0.1} = 4 \text{ m/sek}$$

Slika 1.

Tu smo iskoristili svojstva sličnih trokuta, odnosno koristili smo činjenicu da su duljine stranica sličnih trokuta proporcionalne.

Znači, sjena se po zidu pomaknula puno brže od moga prsta, četiri puta brže. Zamislimo sada da je zaslon na koji projiciramo sliku jako daleko, recimo na površini Mjeseca, i da možemo projicirati uz pomoć jakih lasera svjetlo sve do Mjeseca. Tada bi brzina sjene bila, ako znamo da je srednji promjer Mjeseca 3 647 km, a udaljenost Mjeseca od Zemlje otprilike 384 401 km:



$\triangle SAB \sim \triangle SEF$

$$\gamma : 384401000 = 0.1 : 1$$

$$\gamma = 384401000 \cdot 0.1 = 38440.1 \text{ km} \approx 38440$$

$$v_{\text{sjene}} = \frac{38440}{0.1} = 384\,400 \text{ km/sek}$$

Slika 2. (veličine nisu u mjerilu)

Znači, sjena bi preletjela preko Mjeseca brzinom većom od brzine svjetlosti jer je duljina dužine \overline{EF} veća od promjera Mjeseca.



U prirodi to nije tako jednostavno; postoji rasap svjetla, zakrivljenost prostora uslijed mase tijela i njihove gravitacije, pa i svjetlosti treba neko vrijeme (otprilike 1.25 sekundi) da stigne do Mjeseca. Ali, zanemarimo sve to, promatrajmo samo brzinu gibanja sjene po Mjesecu kao da je ono plošno, a ne zakrivljeno tijelo. Ako zaslon pomaknemo još dalje, recimo na neku udaljenost koliko je i Sunce daleko od Zemlje (149 000 000 km), brzina sjene bila bi još mnogo, mnogo veća od brzine svjetlosti, zar ne?”

Tu se Baltazar malo zamislio i počeo po glavi: „Hm... Da, da... ali sjena je odsustvo nečega – fotona svjetlosti. **Sjena je površina na koju ne pada niti jedna zraka svjetlosti.** Ona je praznina, a njeno kretanje po Mjesecu iluzija...”

„Kako sjena može biti iluzija ako vidimo kako se pomiče?” – zbunjeno je upitao Svjetlan. Na to se Baltazar počeo po bradi i nastavio kao da ga nije čuo:

„Hm... Do Mjeseca zapravo putuje projekcija te površine koju karakterizira odsustvo fotona i ta projekcija do Mjeseca sigurno putuje brzinom svjetlosti jer svjetlost na njenim rubovima putuje brzinom svjetlosti. A brzina same sjene? To je brzina granice između tame i svjetla. I na toj samoj granici u kojoj ulazimo u mrak, to više nije važno... Granica je granica. Može se sjena kretati i beskonačnom brzinom na samoj granici svjetla i sjene, samo što taj podatak ne možemo koristiti za prijenos informacija. U kojem smo se trenutku pomaknuli iz realnog svijeta u imaginarni? Hm...” – tu je malo zastao i zatresao glavom.

(Pogledajte objašnjenje i skicu na kraju teksta!)

„Koliko je sjena stvarna?” – nastavio je Baltazar glasno razmišljati nakon nekoliko trenutaka: „Pa da, stvarna je ako je vidimo, ali ona nije fizički objekt, nije prava stvarnost, ona je ipak iluzija, odsustvo nečega, ali ujedno i proizvod našeg uma i mašte. U mašti je sve moguće. Mašta čini svašta, to znate. Ovo je jedna od situacija u kojoj se realno dodiruje s imaginarnim.

A kolika je brzina mraka? Brzina mraka mora biti jednaka brzini svjetlosti. Kada dolazi svjetlost, recimo kada ujutro sviće i dolazi dan, mrak (ili noć) uzmiče istom brzinom”.

Iz dubine učionice opet je doletjelo mnoštvo pitanja: „A koja je razlika između sjene i mraka?”, „Koja je razlika između imaginarnog i virtualnog svijeta? Je li to isto?”, „A koja je razlika između inteligencije i svijesti?”, „Mogu li vjerovanja u bilo što (pa bila ona i praznovjerja – ili zasnovana na kanonima neke stvarne religije, a znamo da sve one imaju slične zakone i temelje i da su podložne povijesnim promjenama), pogotovo ako u njih unesemo i emocije, mijenjati našu stvarnost? Gurati nas u svijet iluzija?”

To su pitanja za neke buduće odgovore...

