

ALAN M. TURING, IZUMITELJ UNIVERZALNEGA STROJA (1912–1954 IN 2012¹)

Matjaž Gams

Institut Jožef Stefan
Oddelek za inteligentne sisteme

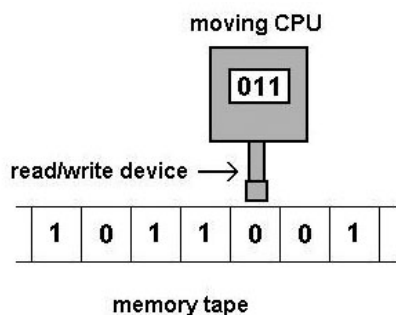
Kontaktni naslov:
matjaz.gams@ijs.si

Alan Mathison Turing se je rodil leta 1912 in bi bil letos star 100 let, zato mu je svetovna strokovna javnost posvetila "Turingovo leto". Pri 24 letih je leta 1936 definiral princip enega najpomembnejših izumov v človeški zgodovini, ki mu rečemo Turingov stroj. V obdobju 1932–1942 se je ukvarjal z razvozlavanjem šifer Enigme, nemške šifrirne naprave. Njegov članek, ki ga je objavil leta 1950, velja za začetek znanosti o umetni inteligenci. Istega leta je nastal tudi t. i. Turingov test. Svoje življenje je tragično končal leta 1954, njegov sodelavec Donald Michie, ki je slovensko znanost povezal s Turingom, pa je umrl leta 2007. Leta 2009 je britanska vlada Alana Turinga rehabilitirala in se opravičila za nesprejemljivo ravnanje z njim.



TURINGOV STROJ

Tako imenovan Turingov stroj (s kratico TM oz. v slovenščini TS) je bil strokovni javnosti predstavljen leta 1936.



Slika 1: Turingov stroj

Turingov stroj, ki ga prikazuje slika 2, lahko izračuna vse, kar je izračunljivo, pri čemer ni pomemben čas, ampak koraki. Po tem modelu delujejo vse doslej znane računske naprave. Dejansko gre za povsem Turingovo dognanje, ki ga je Church pozneje matematično lepše zapisal, zato matematični izraz tega načela ni Turingova, ampak Church-Turingova teza. To je tipična zgodba tega malce čudaškega genija. Spočetka se je celo govorilo le o Churchovi tezi in šele kasneje so dodali dejanskega prvega avtorja. Računanje s TS poteka po korakih v levo ali desno in več ko je potrebnih takih korakov, bolj je postopek zahteven. "Računanje" v slovenščini ni dober izraz, saj gre bolj za "razmišljanje" na poti do zaključkov. Ker pa stroj ne razmišlja, saj je to privilegij človeka, je treba postopek poimenovati drugače – kot računanje.

Na tej podlagi je nastal Turingov "ustavitveni problem": ali lahko univerzalni Turingov stroj (UTS) kot simulacija slehernega TS, za vsakega od njih napove, ali se bo ustavil, ali ne. "Ustavitveni problem" je podoben Gödlovemu 1. izreku, ki v matematičnem jeziku pravi, da lahko obstaja vsebinsko pravilna izjava, ki pa je ne moremo formalno dokazati. Nekaj podobnega je antični paradoks o lažnivem Krečanu, ki trdi, da vsi Krečani lažejo in zato ne moremo ugotoviti, ali je to res ali ni. Take nedokazane izjave najdemo v slehernem formalnem sistemu.

Turingov stroj in sorodni govorijo o takó univerzalnem konceptu, kot je Einsteinova relativnostna teorija. Sodi med temeljna spoznanja civilizacije, česar pa se bolj slabo zavedamo in Turinga ne cenimo tako, kot bi si zaslužil.

HIPERRAČUNALNIKI

V zadnjem obdobju se veliko ukvarjamo z vprašanjem, kako obravnavati stroje, ki so močnejši od TS in jim pravimo hiperračunalniki. Treba je takoj dodati, da takega stroja še nismo naredili, ampak ga le raziskujemo. Turing je svoj močnejši stroj, kot je Turingov stroj, definiral s prerokom: karkoli stroj vpraša tega preroka, mu le-ta odgovori pravilno z DA ali NE. Če bi tako napravo imeli, bi bila močnejša od TS, vendar še nismo našli takega računskega sistema v realnosti.

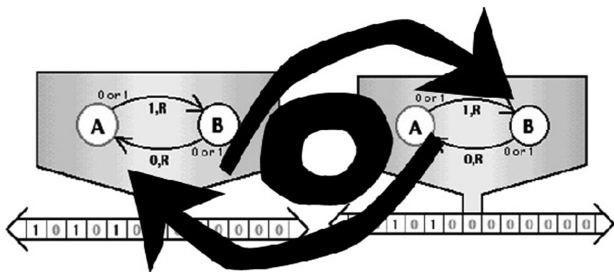
V tej zvezi je zanimiv kvantni računalnik, pri katerem pa marsikomu ni čisto jasno, ali gre še zmeraj za TS, ali že za hiperračunalnik? Dejansko ni hiperračunalnik, pa tudi običajen TS ne, ker nekatere naloge rešuje veliko hitreje.

Ker v principu ne zna reševati nalog, ki jih ne bi znali rešiti tudi Turingovi stroji, je dokazano, da so kvantni računalniki ekvivalentni TS. Kvantne računalnike lahko naročite preko interneta za kar velik denar, a so uporabni le za raziskovalce.

Pospeševalni TS je najbolj znan hiperračunalnik. Ponazorimo ga lahko s še eno antično aporijo o Ahilu in želvi. (Vidimo, da so Grki že od nekdaj mojstri za paradoksalne situacije!) Najhitrejši Ahil ne more nikoli dohiteti najpočasnejše želve, ker mora brez konca premagovati startno razdaljo, medtem pa mu želva že pobegne. Ta logika je prisotna v pospeševalnem TS, ki izračuna nalogo v vse krajših časovnih razmakih, vsako naslednjo dvakrat hitreje. Tak stroj bi bil močnejši od TS, vendar ga ne znamo narediti. Je pa možno uporabiti drug način razmišljanja in preprosto priznati, da bo Ahil seveda prehitel želvo. V tem primeru moramo pač izstopiti iz prvotnega logičnega okvira.

MNOGOTERI TURINGOVI STROJI

Sam se ukvarjam s t. i. mnogoterimi TS, temelječimi na principu mnogoterega znanja. Na sliki 3 sta dva TS, ki sta med seboj povezana in drug drugemu pišeta v program. Podobno je z dvema človekoma, ki se med seboj pogovarjata in po tej poti vplivata drug na drugega, kar imenujemo interakcija. Interakcija je močnejša od algoritma, kar je prvi objavil Wegner v reviji ACM. Tudi tukaj se postavlja vprašanje, ali je to še zmeraj TS, ali pa gre za nekaj močnejšega? O tem govori tudi moja knjiga *Weak Intelligence: Through the Principle and Paradox of Multiple Knowledge*. Prepričan sem, da moja teza drži, čeprav premoči take sheme ne znamo dokončno dokazati. Pač še ne znamo najti takih nalog, pri katerih bi se pokazala njena premoč nad TS. Podoben problem imamo tudi v odnosu med človekom in računalnikom, ko vsi vemo, da smo bistveno pametnejši od stroja, vendar ne znamo najti naloge, ki je v principu ne bi mogel rešiti tudi TS.



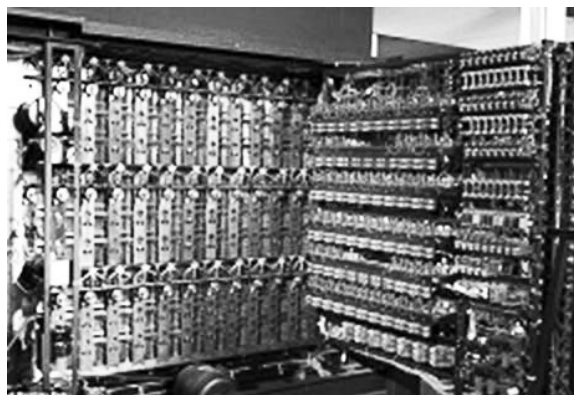
Slika 2: Mnogoteri TS

RAZBITJE ENIGME

Večina tistih, ki so slišali za Turinga, ga povezuje z Enigmo oz. s šifriranjem. Turing je v 2. svetovni vojni "razbil" znameniti nemški kodirni stroj, preko katerega

so usmerjali napade svojih podmornic na življenjsko pomembne zavezniške konvoje. Zoženje Turingovega pomena na njegov vojaški podvig je nekaj takega, kot da bi Einsteina poznali le po atomski bombi. Strokovnjaki in človeška civilizacija pa bi si morali zapomniti Turinga po njegovih nesmrtnih konceptih algoritma in podobnih.

Pri razvoju Turingove dešifrirne naprave z imenom "Bomba" (slika 4) je sodeloval tudi Donald Michie. Wikipedia to napravo označuje za najpomembnejše "civilno" odkritje v 2. svetovni vojni, kar se mi zdi upravičeno.



Slika 3: Dešifrirna naprava "Bomba"

Naprava je omogočala "branje" nemških tajnih sporočil, s čimer je bilo rešenih na milijone življenj, deloma neposredno na morju, največ pa posredno, ker se je vojna skrajšala in je bil Hitler poražen.

ROJSTVO UMETNE INTELIGENCE

Leto 1950 lahko jemljemo za rojstno letnico umetne inteligence (angl. *artificial intelligence*). Alan Turing je oktobra tega leta namreč objavil članek "Computing Machinery and Intelligence". Obravnaval je vprašanje, kaj računalniki sploh zmorejo. Ali lahko računalniki mislijo? Lahko ljubijo? Imajo radi jagode? Zakaj pa ne, zatrjuje Turing, in to tudi argumentira. Desetletja je sicer veljalo, da je bil Turing zagovornik "trde" variante, da računalniki zmorejo vse. In ko bodo postali računalniki nekoč dovolj sposobni, ne bo več razlike med njimi in ljudmi. Zaradi tega je doživljal hude kritike, vendar so poznejše analize pokazale, da je bilo takšno razumevanje njegovih objav pristransko. To dokazuje tudi naslednji citat iz njegovega članka: "Intelligent behaviour presumably consists in a departure from the completely disciplined behaviour involved in computation."² Potemtakem je Turing nakazal, da je formalni sistem sam zase prešibak za doseganje resnične inteligence.

V svetu sicer štejejo za rojstvo umetne inteligence letnico 1956, ko je McCarthy v ZDA organiziral konferenco, ki

je povzročila pravi izbruh navdušenja nad novim pojmom umetna inteligenca in so se začeli z njo ukvarjati na vseh koncih sveta. Vendar je bilo to celih 6 let po Turingovi prvi objavi. McCarthy si je res izmislil atribut "artificial" (umeten), saj je Turing govoril o "machine intelligence" (inteligenci stroja). Evropejci smo včasih do svojih znanstvenikov krivični in se rajši klanjamo Američanom. Pri tem ni dvoma, da je bil McCarthy izjemen strokovnjak in da je ogromno prispeval k novi stroki, ampak prava rojstna letnica pojma umetna inteligenca je vseeno 1950. V Wikipediji sta zapisana oba datuma.

TURINGOV TEST

Splošno znan je Turingov test: testiranec računalniško komunicira z dvema ločenima prostoroma, kjer je v enem človek in v drugem računalnik, in mora v petih minutah zanesljivo ugotoviti, kje je stroj. Do ugotovitve lahko pride na osnovi vprašanj, ki temeljijo na tem, da sedanji računalnik ne premore resničnih človeških lastnosti: nima semantike, nima razumevanja in v resnici samo preračunava simbole. Zanimivo je, da danes še vedno potrebujemo v poprečju enak čas za "razkrinkanje" računalnika kot v Turingovem obdobju. Verjetno bo potreben odločnejši napredek v smeri hiperračunalnika, čeprav smo zagovorniki takega koraka označeni za alternativce. Ampak, tega smo v znanosti kar navajeni.

Najpogostejša realistična varianta Turingovega testa je Loebnerjev test. Izvede se vsako leto, nagradijo pa najboljše programe, ki preliščijo največ ljudi. Leta 2011 je IBM-jev program Watson (podobno kot nekoč Deep Blue s Kasparovom v šahu), tekmoval s prvaki v igri asociacij Jeopardy in jih premagal. Eno od vprašanj, na katerega niso znali odgovoriti ne ljudje in ne računalnik, je bilo, kako se imenuje balkanska država, ki je prva postala članica EU? Sicer pa je najbolj znan test, ki loči človeka od računalnika CAPTCHA – prepoznavanje "zamegljenih" znakov. Ljudje jih brez težav prepoznajo, računalnik pa nikakor. Danes je to najbolj razširjena varianta Turingovega testa, ki takoj loči človeka od računalnika. Brez te domislice se ljudje ne bi mogli otresti agentov – programov na spletu, ki jih kar mrgoli na spletu.

Turingov test (s kratico TT) je verjetno eden najbolj znanih testov vseh časov. Sčasoma pa je nastala množica izpeljanih testov, ki temeljijo na TT. Med njimi je Searlova kitajska soba: človek dobi v sobo angleško besedilo, ki ga mora predati naprej v kitajskem prevodu, pri čemer mu je na razpolago priročni program v knjigi. O kitajščini nima pojma, vendar vseeno opravi prevod po principu Turingovega stroja. V opisani sobi torej nihče ničesar ne razume: knjiga sama ne more razumeti ničesar (paradoks Einsteinove knjige) in človek ne zna kitajsko.

Ob predpostavki, da je prevod brezhibno izpeljan, je to protiprimer za koncept Turingovega testa in inteligence – čeprav "stroj" v Searlovi sobi brezhibno reši nalogo, ni v njej nobene inteligence in nobenega razumevanja.

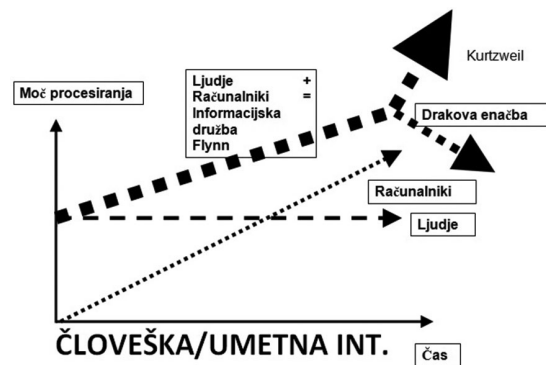


Slika 4: Searlova kitajska soba

V naši skupini mislimo, da gre pri vsem te za zmotno predpostavko, saj brez razumevanja ni pravega prevoda. O tem se lahko prepričamo pri prevodih s pomočjo Googla, ki so sicer že kar uporabni, ampak ker razumevanja program ne zmora, računalniki niso sposobni res kvalitetnega prevajanja. Zato tudi Searlova soba ne bi bila zmožna kvalitetnega prevoda, če v njej ne bi bilo razumevanja.

ŠE O ODNOSU MED ČLOVEKOM IN RAČUNALNIKOM

V naši skupini se ukvarjamo z odnosom med človekom in računalnikom, ki je ključno civilizacijsko vprašanje.



Slika 5: Prihodnost odnosa med človekom in računalnikom

Skica na sliki 5 izhaja iz splošno znanega Moorovega zakona (spodnja premica), ki opredeljuje razmerje med časom in močjo procesiranja. Časovna skala je, kot je za realni svet značilno, linearna, skala moči procesiranja pa je logaritemska: vsaki dve leti ali tri leta se gostota elementov na čipu podvoji, torej je rast eksponentna, kot se dogaja še z mnogimi drugimi stvarmi v računalništvu, ki rastejo eksponentno. Ljudi na tej skali predstavlja vodoravna premica, saj skozi čas ne postajamo skoraj nič

hitrejši ali močnejši in po "strojni opremi" smo skoraj povsem enaki našim prednikom izpred stoletij. Zadnje velike genetske spremembe človeka so stare že okoli 80.000 let. Ko to primerjajmo z vzpenjajočo se krivuljo razvoja računalnika, je spoznanje zelo pesimistično, da nas bodo računalniki kaj kmalu prehiteli. Že sedaj so boljši v šahu in še marsikje. Vendar so to napačne napovedi.

V obzir je treba vzeti Flynnov efekt, po katerem so otroci v poprečju vse pametnejši, ker znajo bolje uporabljati orodja. Orodje je bistvenega pomena in velika napaka je človeka obravnavati brez povezave z njegovim orodjem. Človek z avtom na cesti ali z računalnikom in internetom je nekaj bistveno drugačnega kot človek brez teh fantastičnih orodij. In to orodje se razen tega še eksponentno izboljšuje, kar povečuje človekove sposobnosti (zgornja premica). S tem je dodatno pojasnjen Flynnov efekt, da se z naprednejšimi orodji možgani hitreje razvijajo. Sovražniki interneta, ki so prepričani, da ta iznajdba poneumlja ljudi, se seveda ne strinjajo.

Kakšna bo prihodnost? Najpreprosteje je napovedati linearni razvoj v smeri sedanje krivulje. Kurtzweil namesto tega napoveduje hitrejši vzpon, pesimisti pa pričakujejo padec. Eden od argumentov za padec je povezan z Drakeovo enačbo, ki govori o tem, da bi morali že zdavnaj doživeti srečanje z drugimi civilizacijami, ki so v brezkončnem vesolju statistično zelo verjetne. Ker se to še ni zgodilo, si lahko mislimo, da so vse civilizacije kratkega veka, kar se bo pokazalo tudi pri človeški civilizaciji. Nekateri se bojijo, da bodo nakopičene bombe enkrat eksplodirale in pognale človeštvo v zrak. Drake sam misli, da bolj razvite civilizacije preidejo na druge načine komuniciranja. Kurtzweil na vse to odgovarja, da smo sposobni premagati vse krize, saj nenehno napredujemo in se bližamo kvantnemu preskoku na bistveno višjo razvojno raven. Ni sicer konkretiziral tega kvantnega preskoka, a ena od možnosti njegove realizacije je združitev človeka in računalnika. Ta združitev je lahko fizična, lahko pa bo preskok zaradi pojava inteligentnih računalnikov. Nekoč, ko bodo postali računalniki res inteligentni, se bo njihov razvoj silno pospešil, kar bo omogočilo tudi pospešen razvoj človeka.

EPILOG

Leta 1954 je Turing tragično preminil in prav njegova zgodnja smrt je eden od razlogov, da ga mediji pozabljajo. Zadnja leta življenja je bil prisiljen jemati vprašljiva zdravila in ženske hormone, zaradi česar so mu zrasle prsi in postajal je vse bolj zmeden. Verjetno je storil samomor, saj so poleg njegovega trupla našli objedeno zastrupljeno jabolko kot v pravljici o Sneguljčici. Prav takšno jabolko ima Apple za svoj

logo, čeprav v podjetju zanikajo, da obstaja kakršna koli povezava. Ker pa je bil Jobs znan posebež, ni izključeno, da je logotip izbral s kakšno skrito mislijo. Turing, ki je svojo genialnost namenil tako epohalnemu odkritju kot praktični obrambi svoje domovine, je doživel tragično usodo, ker so varnostni organi njegove domovine kaznovali njegov osebni način življenja.

Leta 2009 so Turingovo formalno obsodbo zaradi neprimerne obnašanja izničili z rehabilitacijo, ki jo je prvi minister Brown pospremil z besedami: "On behalf of the British government, and all those who live freely thanks to Alan's work I am very proud to say: we're sorry, you deserved so much better!"³

Leta 2007 je preminil tudi Donald Michie, ki je sodeloval s Turingom pri dešifriranju Enigme. Bil je direktor Turingovega inštituta, kjer je akademik Ivan Bratko preživel vrsto let, jaz pa krajši čas. Michie je bil član mnogih akademij, tudi častni član SAZU in častni član IJS. Ivan Bratko, oče umetne inteligence v Sloveniji, je imel tesne stike z njim in Donald je mnogo let po en mesec preživel na IJS ter sodeloval pri naših raziskavah na tem področju. Razkril nam je številne podrobnosti o Turingu in nam ga zelo približal.



Slika 6: Donald Michie

Zanimivo je, da se je Turing srečal tudi s Konradom Zusejem, ki je leta 1941 sestavil prvi računalnik na svetu, seveda na principu UTS. Nemške vojske njegov izum ni zanimal, češ da gre za igračo, oni pa potrebujejo tanke. Na vso srečo so se nemški politiki odločili napačno.

Na IJS imamo Turingovo sobo kot tudi sobo Donalda Michija in sobo Konrada Zuseja. V Sobotni prilogi časnika Delo sem ob Michijevi smrti zapisal: "Naj bo to v spomin Donaldu Michiju kot Turingovemu sodobniku in našemu dragemu sodelavcu ter izjemnemu geniju Alanu Turingu, ki je zaznamoval življenja vseh ljudi na tem planetu."

Če danes preverjamo odmevnost Alana Mathisona Turinga in vpišemo njegovo ime v iskalnik Google, dobimo za Lady Gaga 400 mio zadetkov, za Einsteina 40 mio in za Turinga "le" 4 mio zadetkov. Čeprav je

izumitelj modernega računalništva, umetne inteligence in računske biologije, povprečen Slovenec o njem nima pojma.



Slika 7: Turingova nagrada

Računalniška znanost ga je že davno priznala za svojega "očeta". Od leta 1966 največje računalniško združenje ACM podeljuje Turingovo nagrado, ki je ekvivalent Nobelovi nagradi, kot imajo matematiki Fieldsovo medaljo ali ekonomisti nagrado za ekonomske vede Švedske kraljeve banke.

Kaj nam je dal Alan Mathison Turing praktičnega? Katero koli pomembnejšo sodobno napravo pogledate, najdete v njej vsaj nekaj, če ne kar nekaj deset Turingovih strojev.

Turing je "Einstein računalništva", kar eden pomeni v fiziki, pomeni drugi v računalništvu. Oba sta genija svetovnega formata, njuna izjemna spoznanja pa služijo celotnemu človeštvu.

Opombe

- 1 Spominsko predavanje, posvečeno Turingovemu letu, v okviru 4. Etičnega foruma informacijske družbe (EFID), se je zgodilo 17. maja 2012 na Svetovni dan informacijske družbe. Predavanje je bilo v veliki predavalnici Instituta informacijskih znanosti v Mariboru (IZUM).
- 2 Inteligentno obnašanje domnevno pomeni odstopanje od povsem discipliniranega vedenja pri računanju.
- 3 V imenu britanske vlade in vseh tistih, ki živijo svobodno po zaslugi Alanovega dela, lahko ponosno izjavim: Žal nam je, a zaslužili ste si mnogo več!