

# 1

## UVOD

*U kome pokušavamo da objasnimo zašto smatramo da je veštačka inteligencija tema od najveće važnosti za proučavanje, i u kome pokušavamo da definišemo šta je ta oblast tačno, što je dobro učiniti pre nego što se upustimo u dalja razmatranja.*

INTELEGENCIJA

VEŠTAČKA  
INTELEGENCIJA

Mi, ljudi, nazivamo sebe *Homo sapiensom* – pametnim čovekom – pošto nam je naša **inteligencija** toliko važna. Hiljadama godina pokušavamo da razumemo *kako mislimo*; to jest, kako ništa više do pregršt materije može opažati, razumeti, predviđati i upravljati svetom daleko većim i mnogo složenijim nego što je sama ta materija. Oblast **veštačke inteligencije**, ili VI, ide čak i dalje: ona pokušava ne samo da razume, već i da *pravi* inteligentne entitete.

VI je jedna od najnovijih oblasti nauke i tehnike. Sa radom u toj oblasti ozbiljno se počelo ubrzo posle Drugog svetskog rata, a samo ime je skovano 1956. g. Zajedno sa molekularnom biologijom, VI se često navodi kao „oblast kojom bih najviše voleo da se bavim” kako izjavljuju naučnici iz drugih disciplina. Student fizike bi mogao sa razlogom imati osećaj da su sve dobre ideje već preuzeli Galilej, *Newton* (Njutn), *Einstein* (Ajnštajn) i ostali. VI, s druge strane, još uvek ima otvorenih radnih mesta sa punim radnim vremenom za nekoliko *Einsteina* i Tesli.<sup>1</sup>

VI trenutno obuhvata mnoštvo podoblasti, počevši od opštih oblasti (obučavanje i opažanje), do specifičnih kao što su igranje šaha, dokazivanje matematičkih teorema, pisanje poezije, vožnja automobila ulicom punom vozila, i dijagnostikovanje bolesti. VI je od značaja za sve intelektualne aktivnosti; to je zaista univerzalna oblast.

### 1.1 ŠTA JE VI?

---

Izneli smo tvrdnju da je VI uzbudljiva oblast, ali nismo rekli šta ta oblast *jest*. Na slici 1.1 vidimo osam definicija VI, postavljenih duž dve dimenzije. Gornje definicije se bave *misaonim procesima* i *rasuđivanjem*, dok se donje definicije

<sup>1</sup> U originalu: „...*Einsteins and Edisons*.” (prim. prev).

<b>Sistemi koji misle kao ljudi</b>	<b>Sistemi koji misle racionalno</b>
„Uzbudljiv novi napor koji treba da učini da računari misle ... <i>mašine sa razumom</i> , u potpunom i doslovnom smislu”. (Haugeland, 1985)	„Proučavanje mentalnih sposobnosti korišćenjem računskih modela”. (Charniak i McDermott, 1985)
„[Automatizovanje] aktivnosti koje pridružujemo ljudskom mišljenju, aktivnosti kao što su donošenje odluka, rešavanje problema, obučavanje ...” (Bellman, 1978)	„Proučavanje računanja koja omogućavaju opažanje, rasuđivanje i delovanje”. (Winston, 1992)
<b>Sistemi koji deluju kao ljudi</b>	<b>Sistemi koji deluju racionalno</b>
„Veština pravljenja mašina za obavljanje funkcija koje, kad ih obavljaju ljudi, zahtevaju inteligenciju”. (Kurzweil, 1990)	„Računska inteligencija bavi se proučavanjem projektovanja inteligentnih agenata”. (Poole <i>et al.</i> , 1998)
„Proučavanje načina da se učini da računari rade one stvari koje ljudi, u ovom trenutku, rade bolje”. (Rich i Knight, 1991)	„VI ... se bavi inteligentnim ponašanjem naprava”. (Nilsson, 1998)
<b>Slika 1.1</b> Neke definicije veštačke inteligencije, organizovane u četiri kategorije	

bave *ponašanjem*. U definicijama na levoj strani uspeh se meri stepenom poklapanja sa performansama *čoveka*, dok se u definicijama na desnoj strani uspeh meri u odnosu na *idealnu* meru performanse, koju smo nazvali **racionalnost**. Sistem je racionalan ako radi „pravu stvar” kada je dato ono što on zna.

RACIONALNOST

Istorijski, prate se sva četiri pristupa veštačkoj inteligenciji, na svakom od njih rade razni ljudi koristeći razne metode. Pristup fokusiran na čoveka mora delom biti empirijska nauka, koja obuhvata posmatranja i hipoteze o ljudskom ponašanju. Racionalistički<sup>2</sup> pristup uključuje kombinaciju matematike i inženjerstva. Ove različite grupe su i omalovažavale i pomagale jedna drugu. Pogledajmo detaljnije četiri pristupa.

### 1.1.1 Humano delovanje: pristup koji koristi Turingov test

TURINGOV TEST

**Turingov test**, predložio ga je *Alan Turing* (Alen Turing) (1950), smišljen je da bi se dala zadovoljavajuća radna definicija inteligencije. Računar zadovoljava test ako čovek koji vrši ispitivanje, pošto je postavio nekoliko pismenih pitanja,

<sup>2</sup> Praveći razliku između *ljudskog* i *racionalnog* ponašanja, ne navodimo na pomisao da su ljudi nužno „iracionalni” u smislu „emocionalno nestabilni” ili „ludi”. Valja jednostavno uočiti da mi nismo savršeni: nisu svi šahisti šahovski velemaistori, i, nažalost, ne dobijaju svi desetku na ispitu. Neke sistematske greške u ljudskom rasuđivanju katalogizirali su *Kahneman* (Kaneman) *i dr.* (1982).

ne može odrediti da li pismene odgovore dobija od neke osobe ili od računara. U poglavlju 26 diskutuju se detalji testa i to da li bi računar stvarno bio inteligentan kada bi prošao test. Za sada, napominjemo da ima mnogo da se radi na programiranju računara da bi on prošao strogo primenjeni test. Računar bi trebalo da ima sledeće sposobnosti:

OBRADA  
PRIRODNIH  
JEZIKA

- **obradu prirodnih jezika**, da omogućava da se sa njim uspešno komunicira u prirodnom jeziku;

PREDSTAVLJANJE  
ZNAJANJA  
AUTOMATSKO  
RASUĐIVANJE

- **predstavljanje znanja**, da skladišti ono što zna ili čuje;
- **automatsko rasuđivanje**, da koristi uskladištene informacije radi davanja odgovora na pitanja i za izvlačenje novih zaključaka;

MAŠINSKO  
OBUČAVANJE

- **mašinsko obučavanje**, da se adaptira na nove okolnosti i da otkriva i ekstrapolira oblike.

TOTALNI  
TURINGOV TEST

Turingovim testom namerno je izbegnuta direktna fizička interakcija između ispitivača i računara, jer je *fizička* simulacija osobe nepotrebna za inteligenciju. Međutim, takozvani **totalni Turingov test** uključuje video signal tako da ispitivač može da testira opažajne sposobnosti subjekta, kao i mogućnost da ispitivač propusti fizičke objekte „na mala vrata”. Da bi prošao totalni Turingov test, računaru će biti potrebno

RAČUNARSKO  
VIDENJE  
ROBOTIKA

- **računarsko viđenje**, da opaža objekte, i
- **robotika**, da manipuliše objektima i da se kreće po prostoru.

Ovih šest disciplina čine veći deo veštačke inteligencije, i Turing zaslužuje priznanje za projektovanje testa koji je ostao u važnosti 60 godina pošto je predložen. Ipak, istraživači u oblasti veštačke inteligencije posvetili su malo napora ostvarivanju uslova za zadovoljavanje Turingovog testa, verujući da je važnije proučavati osnovne principe inteligencije nego duplicirati uzore. Potraga za „veštačkim letenjem” uspeła je kada su braća *Wright* (Rajt) i drugi prestali da imitiraju ptice i kada su počeli da koriste vazdušne tunele i da uče aerodinamiku. Udžbenici vazduhoplovne tehnike ne definišu kao cilj svoje oblasti pravljenje „mašina koje lete baš kao golubovi, tako da mogu zbuniti čak i druge golubove”.

### 1.1.2 Mišljenje na ljudski način: prilaz na osnovu kognitivnog modeliranja

Ako nameravamo da kažemo da neki dati programi misle kao ljudi, moramo imati neki način da odredimo kako ljudi misle. Potrebno je da *prodremo* u stvarno funkcionisanje ljudskih misli. Postoje tri načina da se to uradi: kroz introspekciju – pokušavajući da shvatimo sopstvene misli dok se one roje; kroz psihološke eksperimente – posmatrajući čoveka pri delovanju; i kroz pravljenje slike mozga – posmatrajući mozak u delovanju. Jednom kad steknemo dovoljno preciznu teoriju razuma, postaje moguće izraziti teoriju kao računarski program. Ako je ulazno/izlazno ponašanje programa u skladu sa odgovarajućim ponašanjem čoveka, to je dokaz da bi se neki od mehanizama programa mogli tako odvijati i kod ljudi. Na primer, *Allen Newell* (Alen Njuel) i *Herbert Simon* (Herbert Sajmon), koji su razvili GPS, “*General Problem Solver*” (Newell i Simon, 1961), nisu bili zadovoljni samo time da njihov program korektno rešava probleme. Više ih je interesovalo poređenje putanje nastale iz koraka rasuđivanja

KOGNITIVNE  
NAUKE

programa sa putanjama rasuđivanja ljudskih subjekata pri rešavanju istih problema. Interdisciplinarna oblast **kognitivnih nauka** spaja računarske modele iz VI sa eksperimentalnim metodama iz psihologije radi konstruisanja preciznih i proverljivih teorija o ljudskom razumu.

Kognitivne nauke čine fascinantnu oblast samu za sebe, koja zavređuje nekoliko udžbenika i bar jednu enciklopediju (Wilson i Keil, 1999). S vremena na vreme komentarišaćemo sličnosti ili razlike između metoda VI i ljudskih saznanjnih procesa. Stvarne kognitivne nauke su, međutim, nužno zasnovane na eksperimentalnim ispitivanjima stvarnih ljudi ili životinja. To ćemo prepustiti drugim knjigama, polazeći od pretpostavke da čitalac, za eksperimentisanje, raspolaze samo računarom.

U ranim danima razvoja VI, često se javljala konfuzija između pristupa: neki autor bi tvrdio da se neki algoritam dobro ponaša u rešavanju nekog zadatka, te da je *stoga* dobar model čovekovih performansi, ili obrnuto. Savremeni autori razdvajaju ove dve vrste tvrdnji; ovo razdvajanje je omogućilo i VI i kognitivnim naukama da se brže razvijaju. Dve oblasti su nastavile da oplođavaju jedna drugu, što je najuočljivije u računarskom viđenju, u kome se neurofiziološki činjenični materijal uključuje u računarske modele.

### 1.1.3 Racionalno mišljenje: pristup preko „zakona mišljenja”

SIOLOGIZAM

Starogrčki filozof Aristotel bio je jedan od prvih koji su pokušali da sistematizuju pravila „pravilnog mišljenja”, to jest, nepobitnih procesa rasuđivanja. Njegovi **silogizmi** daju šablone struktura argumenata koje uvek daju korektnе zaključke kada su date korektnе premise – na primer: „Sokrat je čovek; svi ljudi su smrtni; stoga Sokrat je smrtni”. Ovi zakoni mišljenja su usvojeni da bi se upravljalo funkcionisanjem razuma; njihovo proučavanje začelo je oblast nazvanu **logika**.

LOGIKA

Logičari 19. veka razvili su preciznu notaciju za tvrdjenja o svim vrstama objekata na svetu i relacijama između njih. (Uporedite ovo sa običnom aritmetičkom notacijom, koja omogućava samo tvrdnje o *brojevima*.) Do 1965. već su postojali programi koji su mogli, u principu, da reše *bilo koji* rešivi problem opisan logičkom notacijom. (Mada, ako rešenje ne postoji, program bi mogao zapasti u beskonačnu petlju.) Takozvana **logicistička** (engl. *logicist*) tradicija u okviru veštačke inteligencije nada se izgradnji takvih programa radi kreiranja inteligentnih sistema.

LOGICIST

Među teškoćama prisutnim u ovom pristupu, dve su glavne. Prvo, nije lako uzeti neformalno znanje i iskazati ga formalnim terminima koji su potrebni u logičkoj notaciji, naročito kada je znanje izvesno manje od 100%. Drugo, postoji velika razlika između rešavanja problema „u principu”, i njegovog praktičnog rešavanja. Čak i problemi sa samo nekoliko stotina činjenica mogu iscrpeti računarske resurse bilo kog računara ako računar nema neko uputstvo koje korake rasuđivanja prvo treba da pokuša. Iako su obe od ovih teškoća prisutne u *bilo kom* pokušaju izgradnje računskog sistema rasuđivanja, one su se prvo pojavile u logicističkoj tradiciji.

### 1.1.4 Racionalno delovanje: pristup preko racionalnih agenata

AGENT

**Agent** je nešto što deluje (reč *agent* potiče od latinske reči *agere*, raditi, delovati). Naravno, svi računarski programi nešto rade, ali se od računarskih agenata očekuje nešto više: da autonomno funkcionišu, da opažaju svoje okruženje, upornost u dugačkom vremenskom periodu, adaptiranje na promene i da kreiraju i slede ciljeve. **Racionalni agent** je onaj agent koji deluje tako da ostvaruje najbolji ishod ili, kada postoji neizvesnost, najbolji očekivani ishod.

RACIONALNI  
AGENT

U pristupu VI zasnovanom na „zakonima mišljenja”, naglasak je bio na korektnim zaključivanjima. Izvršavanje korektnih zaključivanja je ponekad *deo* onoga što je racionalni agent, jer je jedan način da se deluje racionalno da se rasuđuje logički do zaključka da će data akcija ostvariti nečiji cilj i onda da se deluje na osnovu tog zaključka. S druge strane, korektno zaključivanje nije *sve* što čini racionalnost; u nekim situacijama ne postoji dokazivo korektna stvar koju treba uraditi, ali se nekako mora delovati. Uz to, postoje i načini racionalnog delovanja za koje se ne može reći da uključuju zaključivanje. Na primer, uzmicanje od vruće peći je refleksna akcija, koja je obično uspešnija od sporije akcije preduzete posle pažljivog razmišljanja.

Sve od veština što je potrebno da se prođe Turingov test isto tako omogućava agentu da deluje racionalno. Predstavljanje znanja i rasuđivanje omogućavaju agentu da dođe do dobrih odluka. Potrebno je da budemo sposobni da generišemo razumljive rečenice u prirodnom jeziku da bismo opstali u složenom društvu. Potrebno nam je obučavanje ne samo zbog obrazovanja, već i zbog toga što ono poboljšava našu sposobnost da generišemo delotvorno ponašanje.

Pristup na osnovu racionalnog agenta ima dve prednosti u odnosu na druge pristupe. Prva, prilaz je opštiji nego onaj zasnovan na „zakonima mišljenja” jer je korektno zaključivanje samo jedan od nekoliko mogućih mehanizama za ostvarivanje racionalnosti. Druga, prilaz je pogodniji za naučni razvoj nego što su to prilazi zasnovani na ponašanju ljudi ili ljudskom mišljenju, jer je standard racionalnosti matematički dobro definisan i potpuno opšti, i može se „razviti” radi generisanja projekata agenata koji ga dokazivo ostvaruju. Ljudsko ponašanje, s druge strane, dobro je prilagođeno jednom određenom okruženju i definisano je, pa, ukupnom sumom svih stvari koje ljudi čine. *Ova knjiga se, stoga, koncentriše na opšte principe racionalnih agenata i na komponente njihovog konstruisanja.* Videćemo da se, uprkos očiglednoj jednostavnosti sa kojom se problem može iskazati, javlja mnoštvo pitanja kada problem pokušavamo da rešimo. U poglavlju 2 neka od ovih pitanja su detaljnije prikazana.



Valja imati na umu jednu važnu stvar: neće biti potrebno mnogo vremena da uvidimo da postizanje savršene racionalnosti – uvek uraditi pravu stvar – nije izvedivo u komplikovanim okruženjima. Računski zahtevi su upravo isuviše visoki. U većem delu knjige, međutim, prihvaćemo radnu hipotezu da je savršena racionalnost dobra polazna tačka analize. Ona pojednostavljuje problem i daje pogodan okvir za najveći deo temeljnog materijala u oblasti. Poglavlja 5 i 17 bave se eksplicitno pitanjima **ograničene racionalnosti** – delujući na odgovarajući način kada nema dovoljno vremena da se izvrše sva izračunavanja koja bi se mogla želeti.

OGRANIČENA  
RACIONALNOST

## 1.2 OSNOVE VEŠTAČKE INTELIGENCIJE

U ovom odeljku dajemo kratak istorijski pregled disciplina koje su idejama, sagledavanjima i metodama doprinele veštačkoj inteligenciji. Kao i bilo koja druga istorija, i ova je prinuđena da se koncentriše na mali broj ljudi, događaja i ideja, i da zanemari druge takođe važne. Ovu istoriju smo organizovali oko jednog niza pitanja. Sigurno je da ne bismo želeli da ostavimo utisak da su ova pitanja jedina kojima se bave discipline, ili da su te sve discipline radile u pravcu veštačke inteligencije kao njihovog krajnjeg ostvarenja.

### 1.2.1 Filozofija

- Mogu li se formalna pravila upotrebiti za izvlačenje valjanih zaključaka?
- Kako iz fizičkog mozga nastaje razum?
- Odakle dolazi znanje?
- Kako znanje vodi ka akciji?

Aristotel (384–322 P.N.E.), čija bista je prikazana na naslovnoj korici ove knjige, bio je prvi koji je formulisao precizan skup zakona po kojima se vlada racionalni deo razuma. On je razvio jedan neformalni sistem silogizama za pravilno rasuđivanje, koji u principu dozvoljava mehaničko generisanje zaključaka, za date početne premise. Znatno kasnije, *Ramon Lull* (Rejmon Lal) (u. 1315) došao je na ideju da se korisno rasuđivanje zapravo može izvesti mehaničkom napravom. *Thomas Hobbes* (Tomas Hobz) (1588–1679) predlagao je da se rasuđivanje posmatra kao numeričko izračunavanje, u kome „sabiramo i oduzimamo u našim tihim mislima”. U to vreme automatizacija izračunavanja već je uveliko razmatrana. Oko 1500, Leonardo da Vinči (1452–1519) projektovao je, ali ne i napravio, mehanički kalkulator; rekonstrukcije iz sadašnjeg doba pokazale su da je projekat funkcionalan. Prvu poznatu mašinu za računanje konstruisao je oko 1623. godine nemački naučnik *Wilhelm Schickard* (Vilhelm Šikard) (1592–1635), premda je Paskalina, koju je 1642. napravio *Blaise Pascal* (Blez Paskal) (1623–1662), čuvenija. *Pascal* je pisao da „aritmetička mašina daje efekte koji su bliži misli nego sve akcije životinja”. *Gottfried Wilhelm Leibniz* (Gotfrid Vilhelm Lajbnic) (1646–1716) napravio je mehanički uređaj čija je namena bila da izvršava operacije nad pojmovima umesto nad brojevima, ali dometi tog uređaja su bili prilično ograničeni. Lajbnic je zaista nadmašio Paskala izgradnjom kalkulatora koji je mogao da sabira, množi i vadi korene, dok je Paskalina mogla samo da sabira i oduzima.

Neki su teoretisali da bi mašine možda mogle biti u stanju ne samo da vrše izračunavanja, već da bi stvarno mogle da razmišljaju i deluju samostalno. U svojoj knjizi iz 1651. *Leviathan*, *Thomas Hobbes* je predložio ideju „veštačke životinje”, objašnjavajući: „Šta je drugo srce do izvor; a nervi do mnoge veze; i udovi, do mnogi točkovi”.

Jedna stvar je reći da razum funkcioniše, bar delimično, prema logičkim pravilima, i izgraditi fizički sistem koji oponaša neke od tih pravila; druga stvar je reći da sam razum *jeste* takav fizički sistem. *René Descartes* (Rene Dekart)

RACIONALIZAM  
DUALIZAM

MATERIJALIZAM

EMPIRIZAM

INDUKCIJA

LOGIČKI  
POZITIVIZAM

REČENICE  
POSMATRANJA

TEORIJA  
POTVRĐIVANJA

(1596–1650) je prvi jasno raspravljao o razlici između uma i materije i o problemima koji se javljaju. Jedan problem sa isključivo fizičkom koncepcijom uma je što izgleda da ona ostavlja malo prostora za slobodnu volju: ako se um vlada u potpunosti po fizičkim zakonima, onda on nema više slobodne volje od kamena koji je „odlučio” da pada ka centru Zemlje. *Descartes* je bio izraziti zagovornik snage rasuđivanja u razumevanju sveta, što se u filozofiji danas naziva **racionalizmom**, a čijim pripadnicima se smatraju Aristotel i Lajbnic. Ali *Descartes* je takođe bio zagovornik **dualizma**. On je verovao da postoji deo ljudskog uma (ili duše ili duha) koji je van prirode, izuzet od fizičkih zakona. Životinje, s druge strane, ne poseduju ovaj kvalitet dualnosti; one se mogu tretirati kao mašine. Alternativa dualizmu je **materijalizam**, u kome se smatra da funkcionisanje mozga u skladu sa zakonima fizike čini um. Slobodna volja je jednostavno način na koji se entitetu koji bira ukazuje opažaj raspoloživih izbora.

Za dati fizički um koji obrađuje znanje, problem koji sledi je uspostavljanje izvora znanja. **Empirizam**, koji je započeo delom Frensis Bekona (*Francis Bacon*) (1561–1626) *Novum Organum*,<sup>3</sup> opisan je rečima Džona Loka (*John Locke*) (1632–1704): „Ništa nije u razumu (svesti), što prethodno nije bilo u čulima”. Dejvid Hjum (*David Hume*) (1711–1776) u delu *A Treatise of Human Nature*<sup>4</sup> (Hume, 1739) predlaže ono što je danas poznato kao princip **indukcije**: da se do opštih pravila dolazi sagledavanjem ponavljanih asocijacija između njihovih elemenata. Na osnovu rada Ludviga Vitgenštajna (*Ludwig Wittgenstein*) (1889–1951) i Betrana Rasla (*Bertrand Russell*) (1872–1970), čuveni Bečki krug (*Vienna Circle*), predvođen Rudolfom Karnapom (*Rudolf Carnap*) (1891–1970), razvio je doktrinu **logičkog pozitivizma**. Po ovoj doktrini celokupno znanje može se okarakterisati logičkim teorijama povezanim, u krajnjem, sa **rečenicama posmatranja**, koje odgovaraju senzorskim ulazima; prema tome u logičkom pozitivizmu kombinuju se racionalizam i empirizam.<sup>5</sup> **Teorija potvrđivanja** (engl. *confirmation theory*) Carnapa i Karla Hempela (*Carl Hempel*) (1905–1997) nastojala je da analizira prikupljanje znanja iz iskustva. Carnapova knjiga *The Logical Structure of the World*<sup>6</sup> (1928) definisala je eksplicitnu računsku proceduru izdvajanja znanja iz elementarnih iskustava. To je verovatno bila prva teorija razuma posmatranog u obliku računskog procesa.

Krajnji element u filozofskoj slici razuma je veza između znanja i delovanja. Ovo pitanje je bitno za veštačku inteligenciju, jer inteligencija zahteva delovanje, isto tako kao i rasuđivanje. Štaviše, samo razumevanjem toga kako su delovanja potkrepljena činjenicama, možemo razumeti kako da napravimo agenta čija su delovanja opravdiva (ili racionalna). Aristotel je tvrdio (u delu *De Motu Animalium*) da se delovanja mogu opravdati logičkim vezama između ciljeva i znanja o ishodu delovanja (poslednji deo ovog citata pojavljuje se takođe na prednjoj korici ove knjige, na starogrčkom):

<sup>3</sup> *Novum Organum* je dopuna Aristotelovog dela *Organon* – instrument mišljenja. Stoga, Aristotel se može posmatrati i kao empiričar i kao racionalist.

<sup>4</sup> Rasprava o ljudskoj prirodi. (Prim.prev.)

<sup>5</sup> U ovoj slici, svi smisljeni iskazi mogu se potvrditi ili se može pokazati njihova netačnost ili eksperimentisanjem ili analizom značenja reči. Pošto se time isključuje najveći deo metafizike, što je i bila namera, u nekim krugovima logički pozitivizam je bio nepopularan.

<sup>6</sup> Logička struktura sveta (prim.prev.)

Ali kako se to dešava da je mišljenje nekad praćeno delovanjem, a nekad nije, nekad praćeno kretanjem, a nekad nije? Izgleda kao da se ista stvar dešava kao u slučaju rasuđivanja i donošenja zaključaka o nepromenljivim objektima. Ali u tom slučaju na kraju je spekulativni sud . . . dok je ovde zaključak, koji se dobija iz dve premise, jedno delovanje. . . Potrebna mi je zaštita; kabanica je zaštita. Potrebna mi je kabanica. Ono što mi je potrebno, to treba da napravim; potrebna mi je kabanica. Moram da napravim kabanicu. I zaključak, „moram da napravim kabanicu” je jedno delovanje.

U *Nikomahovoj etici* (Knjiga III. 3, 1112b), Aristotel dalje razrađuje ovu temu, predlažući algoritam:

Nije krajnji cilj predmet odluke, nego put koji njemu vodi. Tako lekar ne donosi odluku o tome da li će da leči, niti govornik da li će da ubedi, . . . Nego, imajući pred sobom već postavljeni cilj, oni gledaju kako i kojim sredstvima će ga ostvariti. Ako izgleda da ima više načina za njegovo postizanje, onda oni dalje razmatraju koji bi od njih bio najlakši i najprikladniji; a ako postoji samo jedan način [da se ostvari neki cilj], onda odlučuju *kako*, odnosno kojim sredstvom da postignu *taj* način, zatim kako da dođu do tog sredstva i tako dalje nizom otkrića sve dok ne stignu do prvog uzroka, . . . i ono što je poslednje u analizi [u rešavanju problema] to je prvo u genezi [to jest u procesu praktičnog izvođenja]. Ako [prilikom tog traženja u nizu uzroka] naiđu na nešto nemoguće [to jest neizvodljivo], odustaju [od tog plana], kao, na primer, ako se pokaže da je za to potreban novac, a ovaj nije moguće pribaviti; ali ako stvar izgleda moguća, onda se prihvataju izvršenja.<sup>7</sup>

*Newell* (Njuel) i *Simon* (Sajmon) su realizovali Aristotelov algoritam 2300 godina kasnije u svom GPS programu. Sad bismo ga nazvali sistem regresionog planiranja (pogledajte poglavlje 10).

Analiza zasnovana na cilju je korisna, ali ne govori šta da se radi kada nekoliko delovanja dostiže isti cilj, ili kada nema delovanja kojim se cilj dostiže u potpunosti. *Antoine Arnauld* (Antoan Arno) (1612–1694) je korektno opisao kvantitativnu formulu za odlučivanje o tome koje delovanje da se preduzme u slučajevima kao što je ovaj (pogledajte poglavlje 16). Knjiga Džona Stjuarta Mila (*John Stuart Mill*) (1806–1873) *Utilitarianism* (Utilitarizam) (Mill, 1863) promovisala je ideju racionalnih kriterijuma odlučivanja u svim sferama ljudske aktivnosti. Formalnija teorija odlučivanja obrađuje se u sledećem odeljku.

## 1.2.2 Matematika

- Na osnovu kojih formalnih pravila se izvlače valjani zaključci?
- Šta može biti izračunato?
- Kako rasuđujemo sa neizvesnom informacijom?

Neke od fundamentalnih ideja VI nastale su u okviru filozofije, ali je preobraćanje VI u formalnu nauku zahtevalo nivo matematičke formalizacije u tri osnovne oblasti: u logici, računanju i verovatnoći.

<sup>7</sup> Aristotel, *Nikomahova etika*, prevela sa starogrčkog dr Radmila Šalabalić, Izdavačka knjižarnica Zorana Stojanovića, Sremski Karlovci, Novi Sad, 2003. (Prim. prev.)



Ideja formalne logike vuče korene od filozofa antičke Grčke, ali je njen matematički razvoj stvarno počeo radovima Džordža Bula (*George Boole*) (1815–1864), koji je razradio detalje logike iskaza, ili Bulovske, logike (Boole, 1847). Godine 1879, *Gottlob Frege* (Gotlib Frege) (1848–1925) proširio je Bulovu logiku uključivanjem objekata i relacija, kreirajući logiku prvog reda, koja se koristi danas.<sup>8</sup> *Alfred Tarski* (1902–1983) je uveo teoriju referenci koja pokazuje kako se povezuju objekti iz logike sa objektima u stvarnom svetu.

ALGORITAM

Sledeći korak je bio da se odrede granice onog što se može uraditi korišćenjem logike i izračunavanja. Misli se da je Euklidov algoritam za izračunavanje najvećeg zajedničkog delioca prvi netrivialni **algoritam**. Reč *algoritam* (i ideja da se oni proučavaju) vodi poreklo od al-Hovazarzmija (ili al-Horezmija) (*al-Khowarazmi*), persijskog matematičara iz 9. veka, koji je svojim radovima, takođe, uveo arapske brojke i algebru u Evropu. *Boole* i drugi razmatrali su algoritme logičke dedukcije, i, krajem 19. veka, činjeni su napori sa ciljem formalizacije opšteg matematičkog rasuđivanja u obliku logičke dedukcije. Godine 1930, *Kurt Gödel* (Gedel) (1906–1978) je pokazao da postoji efektivna procedura za dokazivanje bilo koje istinite tvrdnje u logici prvog reda *Fregea* i *Russella*, ali da logika prvog reda ne obuhvata princip matematičke indukcije, koji je potreban za opisivanje prirodnih brojeva. Godine 1931, *Gödel* je pokazao da granice dedukcije zaista postoje. Njegovom **teoremom o nepotpunosti** se pokazuje da u svakoj formalnoj teoriji jakoj kao što je to aritmetika *Peana* (elementarna teorija prirodnih brojeva), postoje istiniti iskazi koji su neodlučivi u smislu da za njih nema dokaza u okviru teorije.

TEOREMA O NEPOTPUNOSTI

Ovaj fundamentalni rezultat može se takođe interpretirati tako da pokazuje da se neke funkcije celih brojeva ne mogu predstaviti algoritmom – to jest, one se ne mogu izračunati. Ovo je podstaklo *Alana Turinga* (1912–1954) da pokuša da tačno opiše koje funkcije *jesu izračunljive* – moguće ih je izračunati. Ovaj pojam je, u stvari, pomalo problematičan, jer se pojmu izračunavanja ili efektivne procedure realno ne može dati formalna definicija. Međutim, Čerč–Turingova (*Church–Turing*) teza, kojom se tvrdi da je *Turingova* mašina (Turing, 1936) u stanju da izračuna bilo koju izračunljivu funkciju, je opšteprihvaćena kao tvrdnja koja daje dovoljnu definiciju. *Turing* je uz to pokazao da postoje neke funkcije koje nijedna *Turingova* mašina ne može izračunati. Na primer, nema mašine koja može reći *u opštem slučaju* da li će dati program vratiti odgovor za dati ulaz ili će se izvršavati zauvek.

IZRAČUNLJIVA

Iako su odlučivost i izračunljivost važni za razumevanje računanja, pojam **ukrotivosti** (engl. *tractability*) imao je čak veći uticaj. Grubo govoreći, problem se naziva neukrotivim ako vreme potrebno da bi se rešile primerci problema raste eksponencijalno sa veličinom primerka. Razlika između polinomijalnog i eksponencijalnog rasta složenosti prvi put je naglašena sredinom 1960-ih godina (Cobham, 1964; Edmonds, 1965). To je važno, jer eksponencijalni rast znači da se čak i umereno veliki primerci ne mogu rešiti u bilo kom razumnom vremenu. Stoga, valja nastojati da se ukupan problem generisanja inteligentnog ponašanja podeli u ukrotive potprobleme, a ne u neukrotive.

UKROTIVOST

<sup>8</sup> Notacija koju je za logiku prvog reda predložio *Frege* – nejasna kombinacija tekstualnih i geometrijskih svojstava – nikada nije postala popularna.

NP-POTPUNOST

Kako se može neukrotiv problem prepoznati? Teorija **NP-potpunosti**, koju su uveli *Steven Cook* (Stiven Kuk) (1971) i *Richard (Ričard) Karp* (1972), daje metodu. *Cook* i *Karp* su pokazali postojanje velike klase kanoničnih problema pretraživanja i rasuđivanja koji su NP-potpuni. Bilo koja klasa problema na koju se klasa NP-potpunih problema može svesti, verovatno je neukrotiva. (Iako nije dokazano da su NP-potpuni problemi nužno neukrotivi, većina teoretičara veruje da jeste tako.) Ovi rezultati su u suprotnosti sa optimizmom sa kojim je popularna štampa pozdravila prve računare – „Elektronski super-mozgovi” koji su: „Brži od *Einsteina!*”. Uprkos porastu brzine računara, pažljivo korišćenje resursa karakterisaće inteligentne sisteme. Grubo rečeno, svet je jedan *ekstremno* veliki primerak problema! Rad u oblasti VI je pomogao da se objasni zašto su neki primerci NP-potpunih problema teški, a neki drugi laki (*Cheeseman et al.*, 1991).

VEROVATNOĆA

Pored logike i izračunavanja, treći veliki doprinos matematike veštačkoj inteligenciji je teorija **verovatnoća**. Italijan *Gerolamo Cardano* (Đirolamo Kardano) (1501–1576) prvi je formulisao ideju verovatnoće, opisujući je izrazima u vezi sa mogućim ishodima događaja u kockanju. Godine 1654., *Blaise Pascal* (1623–1662) je, u pismu Pjeru Fermaj (*Pierre Fermat*) (1601–1665), pokazao kako se predviđa budućnost nezavršene kockarske igre i dodeljuju isplate igračima. Verovatnoća je brzo postala dragoceni deo svih kvantitativnih nauka, nalazeći primenu u obradi neizvesnih merenja i nepotpunih teorija. *James Bernoulli* (Džejms Bernuli) (1654–1705), *Pierre Laplace* (Pjer Laplas) (1749–1827) i drugi, unapredili su teoriju i uveli su nove statističke metode. *Thomas Bayes* (Tomas Bajes) (1702–1761), koji se pojavljuje na prednjoj korici ove knjige, je predložio pravilo za ažuriranje verovatnoća u svetlu novog činjeničnog materijala. Bajesovo pravilo je u osnovi najvećeg broja savremenih pristupa neizvesnom rasuđivanju u VI sistemima.

### 1.2.3 Ekonomija

- Na koji način treba da donosimo odluke da bismo maksimizirali isplativost?
- Na koji način treba da to činimo kada drugi mogu da ne sarađuju u tome?
- Na koji način treba to da činimo kada isplata može biti u dalekoj budućnosti?

Ekonomija je nastala 1776. god, kada je škotski filozof *Adam Smith* (Smit) (1723–1790) objavio delo *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*<sup>9</sup>. Iako su doprinose ekonomskoj misli dali još stari Grci, i drugi kasnije, *Smith* je bio prvi koji je ekonomiju tretirao kao nauku, koristeći ideju da se ekonomije mogu zamisliti kao da se sastoje od pojedinih agenata, koji maksimiziraju sopstvene dobrobiti. Većina ljudi zamišlja ekonomiju kao oblast koja se bavi novcem, ali ekonomisti će reći da oni u stvari, proučavaju načine na koje ljudi vrše izbore, koji vode ka poželjnijim ishodima. Kada *McDonald's* nudi hamburger za sto dinara, oni izjavljuju da bi oni više želeli sto dinara i nadaju se da mušterije više žele hamburger. *Léon Walras* (Lion Valras) (1834-1910) prvi je formalizovao matematičko tretiranje „poželjnijih ishoda” ili **korisnosti**

<sup>9</sup> Bogatstvo naroda - Istraživanja o prirodi i uzrocima bogatstva naroda (prim.prev.).

TEORIJA  
ODLUČIVANJA

(engl. *utility*), a *Frank Ramsey* (Frenk Remzi) (1931) i kasnije *John von Neumann* (Džon fon Nojman) i *Oskar Morgenstern* (Morgenštern) u svojoj knjizi *The Theory of Games and Economic Behavior*<sup>10</sup> (1944), poboljšali su tu formalizaciju.

**Teorija odlučivanja**, koja kombinuje teoriju verovatnoće sa teorijom korisnosti, daje formalni i potpuni okvir za donošenje odluka (ekonomsko ili drugačije) u uslovima neizvesnosti – to jest, u slučajevima u kojima verovatnosni opisi prikladno predstavljaju okruženje donosioca odluke. Ovo je pogodno za „velike” ekonomije, u kojima nijedan od agenata ne mora da obraća pažnju na delovanja drugih agenata kao pojedinaca. U slučaju „malih” ekonomija, situacija više podseća na **igru**: akcije jednog igrača mogu značajno uticati na korisnost drugog igrača (bilo pozitivno bilo negativno). **Teorija igara**, koju su razvili *Von Neumann* i *Morgenstern* (pogledajte takođe Luce i Raiffa, 1957), obuhvatila je iznenađujući rezultat da, za neke igre, racionalni agent treba da usvoji politike koje su (ili bar izgledaju da su) nasumične. Za razliku od teorije odlučivanja, teorija igara ne nudi jednoznačno pravilo za biranje akcija.

TEORIJA IGARA

OPERACIONA  
ISTRAŽIVANJA

U najvećem broju, ekonomisti se ne bave trećim pitanjem navedenim u prethodnom izlaganju, naime, kako donositi racionalne odluke kada isplativost akcija nije neposredna, već se javlja kao posledica nekoliko akcija preduzetih *u nizu*. Ovom temom se bavi oblast **operacionih istraživanja**, koja se pojavila u Drugom svetskom ratu kao posledica rada, u Velikoj Britaniji, na optimizaciji radarskih postrojenja, a kasnije je našla civilne primene u složenom upravljačkom odlučivanju. *Richard Bellman* (Ričard Belman) (1957) je svojim radom formalizovao klasu problema sekvencijalnog odlučivanja, poznatu pod imenom **Markovljevi procesi odlučivanja**, kojima se bavimo u poglavljima 17 i 21.

SATISFICIRANJE

Rad u oblastima ekonomije i operacionih istraživanja značajno je doprineo našem pojmu racionalnih agenata iako su se dugo istraživanja u veštačkoj inteligenciji razvijala duž putanja sasvim odvojenih od ovih. Jedan razlog za to je bila očigledna složenost donošenja racionalnih odluka. Jedan od prvih istraživača u oblasti VI, *Herbert Simon* (Herber Sajmon) (1916–2001) dobio je Nobelovu nagradu za ekonomiju godine 1978 za svoje rane radove u kojima je pokazao da modeli zasnovani na **satisficiranju** (engl. *satisficing*)<sup>11</sup>—donošenju odluka koje su „dovoljno dobre”, umesto tegobnog izračunavanja optimalne odluke—daju bolji opis stvarnog ljudskog ponašanja (Simon, 1947). Od 1990-ih godina došlo je do ponovnog javljanja interesa za teorijske metode odlučivanja u kontekstu agentskih sistema (Wellman, 1995).

## 1.2.4 Neuronauke

- Na koji način mozak obrađuje informacije?

NEURONAUKE

**Neuronauke** se bave proučavanjem nervnog sistema, posebno mozga. Iako tačan način na koji mozak omogućava misao predstavlja jednu od velikih misterija nauke, činjenica da on *zaista* omogućava misao prihvaćena je već hiljadama godina zbog činjenice da jaki udarci u glavu mogu voditi ka mentalnoj onesposobljenosti. Takođe, već dugo vremena se zna da se ljudski mozgovi na neki

<sup>10</sup> Teorija igara i ekonomskog ponašanja. (Prim.prev.)

<sup>11</sup> Reč engleskog jezika *satisficing* je kovanica od engleskih reči *satisfying* (= ispunjavanje, zadovoljavanje) i *suffice* (= biti dovoljan), a predložio je *H. Simon* (prim.prev.).

način razlikuju od drugih; oko 335. godine P.N.E. Aristotel je pisao: „Od svih životinja, čovek ima najveći mozak u odnosu na svoju veličinu”.<sup>12</sup> Ipak, tek sredinom 18. veka široko je prihvaćeno da je mozak sedište svesti. Pre toga, svest se smeštala u srce i u slezinu.

*Paul Broca* (Pol Broka) (1824–1880) je proučavao afaziju (gubitak moći govora) u pacijentata sa oštećenim mozgom, te je 1861. godine pokazao postojanje lokalizovanih oblasti mozga odgovornih za određene kognitivne funkcije. Posebno, on je pokazao da se govor generiše u delu leve polulopte i taj deo se danas naziva Brokina oblast.<sup>13</sup> Dotle, bilo je poznato da mozak čine nervne ćelije ili **neuroni**, ali je tek 1873. *Camillo Golgi* (Kamiljo Goldi) (1843–1926) razvio metode bojenja koje su dozvolile posmatranje pojedinih neurona u mozgu (pogledajte sliku 1.2). *Santiago Ramon y Cajal* (Kajal) (1852–1934) upotrebio je ovu metodu u svojim pionirskim proučavanjima neuronske strukture mozga.<sup>14</sup> Nikola Raševski (*Rashevsky*) (1936, 1938) prvi je primenio matematičke modele u proučavanju nervnog sistema.

Danas raspoložemo i nekim podacima o preslikavanjima između oblasti mozga i delova tela koje te oblasti kontrolišu, ili iz kojih primaju čulni ulaz. Takva preslikavanja mogu se korenito promeniti tokom nekoliko nedelja, a neke životinje izgleda imaju višestruka preslikavanja. Štaviše, ne razumemo u potpunosti način na koji druge oblasti preuzimaju funkcije kada je neka oblast oštećena. Skoro i da ne postoji teorija o tome kako se uskladištava neko pojedino sećanje.

Merenja aktivnosti netaknutog mozga počela su od 1929. kada je *Hans Berger* pronašao elektroencefalograf (EEG). Savremeni razvoj procesa dobijanja slika funkcionalnom magnetnom rezonancom (fMR) (Ogawa *et al.*, 1990; Cabeza i Nyberg, 2001) daje naučnicima koji se bave neuronaukama detaljne slike aktivnosti mozga, kakve dosad nisu imali, omogućavajući merenja, na interesantan način odgovarajuća kognitivnim procesima, koji se u trenucima dobijanja slika odvijaju. Ove mogućnosti su proširene naprecima ostvarenim u snimanjima neuronske aktivnosti pojedinačne ćelije. Pojedini neuroni mogu se stimulisati električno, hemijski, ili čak i optički (Han i Boyden, 2007), što dozvoljava snimanje neuronskih ulazno – izlaznih relacija. Uprkos ovim rezultatima, još uvek smo daleko od toga da razumemo kako kognitivni procesi funkcionišu.

Zaista zapanjujući zaključak je da *kolekcija jednostavnih ćelija može dovesti do misli, akcije i svesti* ili, kako je to sažeto rekao *John Searle* (1992), *mozgovi proizvode razum*. Jedina stvarna alternativna teorija je misticizam : da misli funkcionišu u nekom mističnom području koje je van fizičkih nauka.

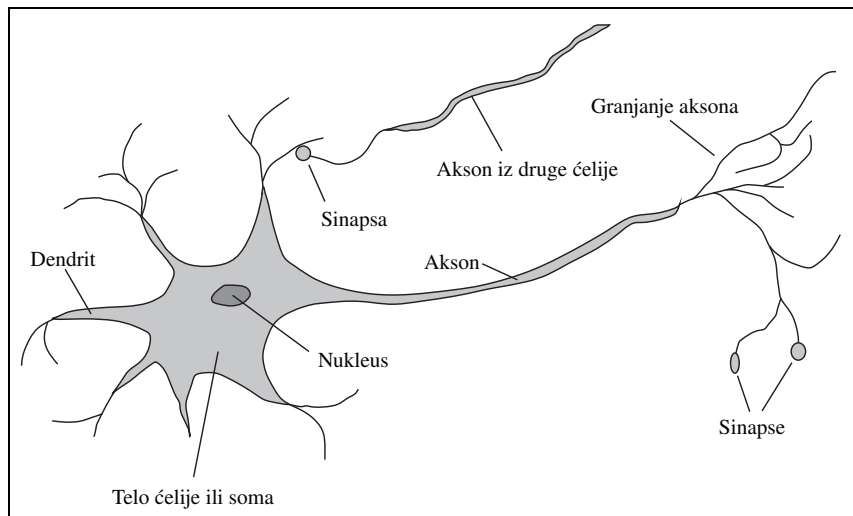
Mozgovi i računari imaju unekoliko različite osobine. Na slici 1.3 je pokazano da računari imaju trajanje ciklusa milion puta kraće nego mozak. Mozak to nadoknađuje daleko većim memorijom i povezanošću čak i od onih kod vrhunskog ličnog računara, iako najveći superračunari imaju kapacitet koji je sličan ka-



<sup>12</sup> Od tada, ustanovljeno je da sisar tupaja (red *Scandentia*) ima viši odnos veličine mozga prema masi tela.

<sup>13</sup> Mnogi citiraju Aleksandra Huda (*Alexander Hood*) (1824) kao moguću raniji izvor ovog rezultata.

<sup>14</sup> *Golgi* je ostao postojan u svom uverenju da se funkcije mozga izvršavaju primarno u kontinualnoj sredini u kojoj su neuroni smešteni, dok je *Cajal* predložio „neuronsku doktrinu”. Njih dvojica su podelili Nobelovu nagradu 1906., ali su održali međusobno suprotstavljene govore prilikom primanja nagrade.



**Slika 1.2** Delovi nervne ćelije neurona. Svaki neuron se sastoji od tela ćelije, ili some, koje sadrži jezgro ćelije (nukleus). Iz tela ćelije grana izvestan broj vlakana koja se nazivaju dendriti i jedno dugo vlakno koje se naziva akson. Akson se proteže velikom dužinom, znatno većom nego što to pokazuje odnos na ovom dijagramu. Obično, akson je 1 cm dug (100 puta prečnik tela ćelije), ali može dosezati i do 1 metar. Neuron ostvaruje spojeve sa 10 do 100.000 drugih neurona, vezama koje se nazivaju sinapsama. Signali se prostiru sa neurona na neuron komplikovanom elektrohemijskom reakcijom. Signali na kratko upravljaju aktivnošću mozga i, takođe, omogućavaju dugotrajne promene povezanosti neurona. Za ove mehanizme se smatra da obrazuju osnovu učenja u mozgu. Najveći deo obrade informacija dešava se u moždanoj opni, spoljnjem sloju mozga. Osnovna organizaciona jedinica izgleda da je stub tkiva od oko 0.5 mm u prečniku, koji sadrži oko 20.000 neurona, a prostire se punom dubinom opne, kod ljudi oko 4 mm).

SINGULARITET

pacitetu kod mozga. (Treba napomenuti, međutim, da mozak, izgleda, ne koristi sve svoje neurone simultano.) Futuristi su dali većinu ovih brojeva, ukazujući na približavanje **singularitetu** u kome računari dostižu nadljudski nivo performanse (Vinge, 1993; Kurzweil, 2005), ali gruba poređenja nisu naročito informativna. Čak i sa računarom praktično neograničenog kapaciteta, još uvek ne bismo znali kako da ostvarimo nivo inteligencije koji ostvaruje mozak

### 1.2.5 Psihologija

- Kako ljudi i životinje misle i deluju?

Obično se smatra se da je naučna psihologija započeta radovima nemačkog fizičara Hermana fon Helmholtza (*Hermann von Helmholtz*) (1821–1894) i njegovog studenta *Wilhelma Wundta* (1832–1920). *Helmholtz* je primenio naučnu metodu u proučavanju ljudskog viđenja, a njegovo delo *Handbook of Physiological Optics*<sup>15</sup> se i danas opisuje kao „najvažnija rasprava o fizici i fiziologiji

<sup>15</sup> Priručnik fiziološke optike (prim.prev.).

	Superračunar	Lični računar	Ljudski mozak
Računske jedinice	10 <sup>4</sup> CPUs, 10 <sup>12</sup> tranzistora	4 CPUs, 10 <sup>9</sup> tranzistora	10 <sup>11</sup> neurona
Memorijske jedinice	10 <sup>14</sup> bitova RAM	10 <sup>11</sup> bitova RAM	10 <sup>11</sup> neurona
	10 <sup>15</sup> bitova diska	10 <sup>13</sup> bitova diska	10 <sup>14</sup> sinapsi
Trajanje ciklusa	10 <sup>-9</sup> sec	10 <sup>-9</sup> sec	10 <sup>-3</sup> sec
Operacija/sec	10 <sup>15</sup>	10 <sup>10</sup>	10 <sup>17</sup>
Ažuriranja memorije/sec	10 <sup>14</sup>	10 <sup>10</sup>	10 <sup>14</sup>

**Slika 1.3** Grubo poređenje sirovih računskih resursa raspoloživih *IBM BLUE GENE* superračunaru, uobičajenom ličnom računar iz 2008., i čovekovom mozgu. Podaci za mozak su u suštini nepromenljivi, dok se podaci za superračunar povećavaju za faktor 10 približno svakih 5 godina, što mu dozvoljava da dostigne grubo izjednačenje sa mozgom. Lični računar zaostaje po svim metrikama, izuzev po trajanju ciklusa.

ljudskog viđenja” (Nalwa, 1993, str.15). Godine 1879., *Wundt* je otvorio prvu laboratoriju za eksperimentalnu psihologiju, na Univerzitu *Leipzig* (Lajpcig). *Wundt* je insistirao na pažljivo upravljanim eksperimentima u kojima bi njegovi saradnici obavljali opažajne ili asocijativne zadatke vršeći introspektivna posmatranja svojih misaonih procesa. Pažljiva upravljanja [eksperimentima] bila su na dobrom putu da naprave nauku od psihologije, ali je subjektivna priroda podataka učinila malo verovatnim da bi neki eksperimentator ikada mogao osporiti sopstvene teorije. Biolozima, koji se bave proučavanjem životinjskog ponašanja, sa druge strane, nedostaju introspektivni podaci te su razvili objektivnu metodologiju, kao što je opisao *H. S. Jennings* (1906) u svom uticajnom radu *Behavior of the Lower Organisms* (Ponašanje nižih organizama). Primenjujući ovu tačku gledanja na ljude, **bihevioristički** pokret, koji je predvodio *John Watson* (Džon Votson) (1878–1958), odbacivao je *bilo koju* teoriju koja obuhvata mentalne procese na osnovu toga što introspekcija ne može da dà pouzdane argumente. Bihevioristi su insistirali na proučavanju samo objektivnih mera opažaja (ili *pobude*) pružene životinji i mera rezultujućih delovanja (ili *odziva*) životinje. Biheviorizam je otkrio mnoge činjenice o pacovima i golubovima, ali je bio manje uspešan u razumevanju ljudi.

BIHEVIORIZAM

KOGNITIVNA  
PSIHOLOGIJA

**Kognitivna psihologija**, koja posmatra mozak kao uređaj za obradu informacija, može se pratiti bar od radova Viljema Džejmsa (*William James*) (1842–1910). *Helmholtz* je takođe insistirao na tome da percepcija obuhvata neki oblik nesvesnog logičkog zaključivanja. U Sjedinjenim Američkim Državama kognitivna tačka gledišta bila je umnogome zasenjena biheviorizmom, ali u Kembridžu (*Cambridge*) u Odeljenju za primenjenu psihologiju, kojim je rukovodio *Frederic Bartlett* (Frederik Bartlet) (1886–1969), moglo je da napreduje kognitivno modeliranje. Delo *The Nature of Explanation* (Priroda objašnjenja), koje je napisao *Bartlettov* student i sledbenik *Kenneth Craik* (Kenet Kreik) (1943), snažno ponovo uspostavlja legitimnost takvih „mentalnih” termina kao što su

verovanja i ciljevi, obrazlažući da su oni upravo tako naučni kao, recimo, korišćenje pritiska i temperature u priči o gasovima, uprkos tome što su sačinjeni od molekula kojih u slučajevima verovanja i ciljeva nema. *Craik* je naveo tri ključna koraka agenta zasnovanog na znanju : (1) pobuda mora biti prevedena u internu predstavu, (2) predstava se obrađuje u kognitivnom procesu da bi se izvele nove interne predstave, a (3) ove se naizmenično ponovo prevode nazad u delovanje. On je jasno objasnio zašto je ovo dobro rešenje za agenta:

Ako organizam nosi „umanjeni model” spoljne realnosti i sopstvenih mogućih akcija u svojoj glavi, on je sposoban da isproba razne alternative, da zaključi koja od njih je najbolja, da reaguje na buduće situacije pre nego što se one pojave, da koristi znanje o prošlim događajima baveći se sadašnjim i budućim, i da na svaki način reaguje na mnogo puniji, sigurniji i merodavniji način na neočekivane slučajeve sa kojima se suočava. (*Craik*, 1943)

Posle *Craikove* smrti uzrokovane biciklističkom nesrećom 1945., njegov rad nastavio je *Donald Broadbent* (*Donald Broudbent*), čija je knjiga *Perception and Communication* (Percepcija i komunikacija) (1958) predstavljala jedan od prvih radova u kome su se psihološki fenomeni modelovali kao obrada informacija. U međuvremenu, u Sjedinjenim Američkim Državama, razvoj računarskog modeliranja vodio je ka stvaranju oblasti **kognitivnih nauka**. Za ovu oblast može se reći da je započeta na seminaru koji je održan septembra 1956. na *MIT*. (Videćemo da se ovo desilo samo dva meseca posle konferencije na kojoj je „rođena” i sama VI.) Na seminaru, *George Miller* (*Džordž Miler*) je predstavio rad *The Magic Number Seven* (Magični broj sedam), *Noam Chomsky* (*Noam Čomski*) je predstavio rad *Three Models of Language* (Tri modela jezika), a *Allen Newell* (*Alen Njuel*) i *Herbert Simon* (*Sajmon*) su predstavili rad *The Logic Theory Machine* (Mašina teorije logike). Ova tri značajna rada pokazala su kako se računarski modeli mogu upotrebiti da bi se razmotrila psihologija memorije, jezika i logičkog razmišljanja, respektivno. Danas je rasprostranjeno gledište (mada daleko od univerzalnog) među psiholozima da „kognitivna teorija treba da je kao računarski program” (*Anderson*, 1980); to jest, ona treba da opiše detaljan mehanizam obrade informacija, čime bi mogle biti realizovane neke kognitivne funkcije.

KOGNITIVNE  
NAUKE

## 1.2.6 Računarska tehnika

- Kako možemo napraviti efikasan računar?

Da bi veštačka inteligencija uspela, potrebne su nam dve stvari: inteligencija i naprava. Računar je izabrana naprava. Savremeni digitalni elektronski računar smislili su nezavisno i skoro istovremeno naučnici u tri zemlje učesnice Drugog svetskog rata. Prvi *operativni* računar bio je elektromehanički *Heath Robinson* (*Hiit Robinson*),<sup>16</sup> koji je 1940. napravio tim *Alena Turinga* (*Alan Turing*) sa jednom namenom: da dešifruje nemačke poruke. Godine 1943., ista grupa je razvila *Colossus* (*Kolos*), snažnu mašinu opšte namene zasnovanu na vakuum-

<sup>16</sup> *Heath Robinson* bio je karikaturista poznat po svojim crtežima neobičnih i apsurdno komplikovanih sprava za svakodnevnne poslove, kao što je sprava za mazanje putera na pečeni hleb (tost).

skim cevima.<sup>17</sup> Prvi operativni *programabilni* računar bio je Z-3, pronalazak K. Cuzea (*Konrad Zuse*) u Nemačkoj godine 1941. *Zuse* je smislio i brojeve sa pokretnim zarezom i prvi programski jezik visokog nivoa, *Plankalkül*. Prvi *elektronski* računar, ABC, sastavili su *John Atanasoff* (Atanasof) i njegov student *Clifford Berry* (Kliford Beri) između 1940. i 1942. na Državnom univerzitetu u Ajovi (*Iowa State University*). *Atanasoffova* istraživanja su bila slabo [finansijski] podržana i nisu privukla veliku pažnju; tim u kojem su bili *John Mauchly* (Mokli) i *John Eckert* (Ekert) razvio je računar ENIAC, kao deo tajnog vojnog projekta na *University of Pennsylvania*, za koji se ispostavilo da je najuticajniji prethodnik savremenih računara.

Od tada, svaka generacija računarskog hardvera donosi porast u brzini i kapacitetu i opadanje cene. Performanse su se duplicirale približno svakih 18 meseci, do oko 2005., kada je problem rasipanja energije naveo proizvođače da počnu sa umnožavanjem broja jezgara centralnih procesorskih jedinica (*CPU*) umesto umnožavanja brzine sistemskog sata. Sadašnja očekivanja su da će budući porast snage proisteći iz masivnog paralelizma – što predstavlja čudesnu konvergenciju sa osobinama mozga.

Naravno, bilo je uređaja za računanje pre elektronskih računara. Najranije automatizovane mašine, koje datiraju iz 17. veka, razmatrane su na strani 6. Prva *programabilna* mašina bio je razboj, koga je 1805. izumeo *Joseph Marie Jacquard* (Žozef Mari Žakar) (1752–1834), koji je koristio bušene kartice za memorisanje instrukcija u vezi sa šarama koje je trebalo izraditi na razboju. Sredinom 19. veka, *Charles Babbage* (Čarls Bebidž) (1792–1871) projektovao je dve mašine, od kojih nijedna nije završena. Mašina razlika (*Difference Engine*) bila je namenjena za izračunavanje matematičkih tabela za inženjerske i naučne projekte. Mašina je konačno napravljena i pokazano je da radi 1991. godine u Muzeju nauke (*Science Museum*) u Londonu (Swade, 2000). *Babbageova* Analitička mašina (*Analytical Engine*) bila je daleko ambicioznija: ona je obuhvatala adresabilnu memoriju, uskladištene programe, i uslovne skokove i bila je prva naprava sposobna za univerzalno izračunavanje. *Babbageova* saradnica *Ada Lovelace* (Lavlajs), kćerka pesnika Lorda *Byrona* (Bajron), bila je, možda, prva programerka na svetu. (Programski jezik *Ada* je dobio ime po njoj.) Ona je pisala programe za nezavršenu Analitičku mašinu i čak razmišljala o tome da bi mašina mogla igrati šah ili komponovati muziku.

VI isto tako duguje i softverskoj strani računarskih nauka, od koje su stigli operativni sistemi, programski jezici i alati potrebni za pisanje modernih programa (i radova o njima). Ali ovo je jedna oblast u kojoj je dug namiren: rad u oblasti VI prokrčio je put mnogim idejama, koje su se potom vratile u glavne tokove računarskih nauka, što obuhvata deljenje vremena (*time sharing*), interaktivne interpretere, lične računare sa prozorima i mišem, okruženja za brzi razvoj [softvera], tip podataka povezana lista, automatsko upravljanje memorijom i ključne pojmove simboličkog, funkcionalnog, deklarativnog i objektno-orijentisanog programiranja.

---

<sup>17</sup> U periodu posle rata, *Turing* je želeo da upotrebi ove računare za istraživanje u domenu VI – na primer, za jedan od prvih šahovskih programa (*Turing et al.*, 1953). Britanska vlada je sprečila njegove pokušaje.



## 1.2.7 Teorija upravljanja sistemima i kibernetika

- Kako naprave mogu raditi upravljajući same sobom?

Ktezibij iz Aleksandrije (oko 250 P.N.E.) je napravio prvu samoupravljajuću mašinu: vodeni sat sa regulatorom koji je održavao konstantnu brzinu toka. Ovaj pronalazak izmenio je definiciju onog što naprava može raditi. Do tada, samo živa bića su mogla modifikovati svoje ponašanje kao odziv na promene u okruženju. Drugi primeri samoregulišućih sistema upravljanja sa povratnom spregom obuhvataju regulator broja obrtaja parne mašine, koji je kreirao *James Watt* (Džejms Vat) (1736–1819), i termostat, koji je izmislio *Cornelis Drebbel* (Kornelis Drebel) (1572–1633), koji je, pored toga, izmislio i podmornicu. Matematička teorija stabilnih sistema sa povratnom spregom razvijena je u 19. veku.

Centralna figura u kreiranju onog što se danas naziva **teorijom upravljanja sistemima** bio je *Norbert Wiener* (Norber Viner) (1894–1964). *Wiener* je bio briljantan matematičar koji je radio sa *Bertrandom Russellom*, između ostalih, pre nego što je pokazao interes za biološke i mehaničke sisteme upravljanja i njihovu povezanost sa moći saznavanja. Kao i *Craik* (koji je takođe koristio sisteme upravljanja kao psihološke modele), *Wiener* i njegovi saradnici *Arturo Rosenblueth* (Rouzenblut) i *Julian Bigelow* (Džulien Bigilou) osporili su biheviorističko ortodoksno mišljenje (*Rosenblueth et al.*, 1943). Oni su posmatrali ponašanje koje vodi cilju kao ponašanje koje nastaje na osnovu regulacionog mehanizma kojim se pokušava minimizacija „greške” – razlike između trenutnog stanja i ciljnog stanja. U kasnijim 1940-im godinama, *Wiener*, zajedno sa Vorenom Mekalokom (*Warren McCulloch*), Volterom Pitsom (*Walter Pitts*), i Džonom fon Nojmanom (*John von Neumann*), organizovao je seriju uticajnih konferencija koje su istraživale nove matematičke i računске modele saznavanja. *Wienerova* knjiga *Cybernetics* (Kibernetika) (1948) postala je bestseler i upoznala je javnost sa mogućnošću nastanka veštačkointeligentnih mašina. U međuvremenu, u Velikoj Britaniji, *W. Ross Ashby* (Ešbi) (*Ashby*, 1940) prvi je iznosio slične ideje. *Ashby*, *Alan Turing*, *Grey Walter*, i drugi formirali su *Ratio Club* za „one koji su imali *Wienerove* ideje pre nego što se pojavila *Wienerova* knjiga”. Ešbi je u delu *Design for a Brain* (Projekat mozga) (1948, 1952) razrađivao svoju ideju da bi se inteligencija mogla kreirati korišćenjem **homeostaznih** uređaja koji sadrže odgovarajuće petlje povratne sprege radi postizanja stabilnog adaptivnog ponašanja.

Savremena teorija upravljanja, posebno grana poznata kao stohastičko optimalno upravljanje, ima kao svoj cilj projektovanje sistema koji maksimiziraju **funkciju cilja** u vremenu. Ovo se grubo poklapa sa gledištem VI: projektovanje sistema koji se optimalno ponašaju. Zašto su onda VI i teorija upravljanja dve različite oblasti, uprkos bliskih veza među njihovim osnivačima? Odgovor leži u bliskoj sprezi matematičkih metoda sa kojima su bili upoznati učesnici, i u odgovarajućim skupovima problema koji su bili obuhvaćeni sagledavanjem svakog od svetova. Diferencijalni račun i matična algebra, alati teorije upravljanja, sami po sebi preuzeti su u sistemima koji se mogu opisati konačnim skupovima kontinualnih promenljivih, dok je VI zasnovana delimično i kao način da se prevaziđu ova uočena ograničenja. Alati logičkog zaključivanja i izračunavanja dozvolili su istraživačima VI da razmatraju probleme kao što su jezik, viđenje i planiranje

TEORIJA  
UPRAVLJANJA  
SISTEMIMA

KIBERNETIKA

HOMEOSTAZNI

FUNKCIJA CILJA

koji su se nalazili potpuno van delokruga teorije upravljanja.

### 1.2.8 Lingvistika

- Kako se jezik odnosi prema misli?

Godine 1957, B. F. Skinner (Skinner) objavio je *Verbal Behavior* (*Govorno ponašanje*). Ovo je bio opsežan, detaljan prikaz biheviorističkog pristupa učenju jezika, koji je napisao najistaknutiji stručnjak u toj oblasti. No, ono što je neobično, prikaz knjige je postao isto tako poznat kao i sama knjiga i poslužio je za to da umalo potre interes za biheviorizam. Autor prikaza bio je lingvista Noam Chomsky (Čomski), koji je tada upravo bio objavio knjigu o svojoj teoriji, *Syntactic Structures* (Sintaksne strukture). Chomsky je ukazao na to da bihevioristička teorija ne tretira pojam kreativnosti u jeziku – nije objašnjeno kako dete može razumeti i formirati rečenice koje on ili ona nikada pre toga nisu čuli. Teorija Čomskog – zasnovana na sintaksnim modelima koji vuku korene od indijskog lingviste Paninija (oko 350 P.N.E.) – bila je u stanju da ovo objasni i, za razliku od prethodnih teorija, bila je dovoljno formalna da se u principu može programirati.

Savremena lingvistika i VI, potom, bile su „rođene” u približno isto vreme, i rasle su zajedno, ukrštajući se u hibridnoj oblasti nazvanoj **računska lingvistika** ili **obrada prirodnih jezika**. Ubrzo se pokazalo da je problem razumevanja jezika znatno složeniji nego što je to izgledalo 1957. godine. Razumevanje jezika zahteva razumevanje teme i konteksta, ne samo razumevanje strukture rečenica. Ovo bi moglo izgledati očigledno, ali to nije bilo široko prihvaćeno do 1960-ih godina. Većina početnog rada u podoblasti **predstavljanja znanja** (proučavanje načina stavljanja znanja u oblik koji računar može koristiti u rasuđivanju) bio je vezan za jezik i o njemu su saopštavali istraživači u oblasti lingvistike, a to je opet bilo povezano sa decenijama rada u oblasti filozofske analize jezika.

RAČUNSKA  
LINGVISTIKA

## 1.3 ISTORIJA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE

Pošto je temeljni materijal iza nas, spremni smo da damo prikaz razvoja same VI.

### 1.3.1 Nastajanje veštačke inteligencije (1943–1955)

Prvi rad koji je danas opšteprihvaćen kao rad iz oblasti VI napisali su Warren McCulloch (Mekalok) i Walter Pitts (Pits) (1943). Oni su crpili rezultate iz tri izvora: znanja osnovne fiziologije i funkcije neurona u mozgu; formalne analize iskazne logike koja potiče od Russella i Whiteheada; i Turingove teorije izračunavanja. Oni su predložili model veštačkih neurona u kome je svaki neuron okarakterisan time da je u stanju „on” (aktiviran) ili „off” (isključen), pri čemu se prebacivanje u stanje „on” javlja kao odziv na stimulaciju koja potiče od dovoljnog broja susednih neurona. Stanje neurona je zamišljeno kao „faktički ekvivalent iskazu koji je pokazao svoju adekvatnu pobudu”. Oni su pokazali, na primer, da se svaka izračunljiva funkcija može izračunati nekom mrežom pove-

zanih neurona i da se svi logički veznici (i, ili, ne i tako dalje) mogu ostvariti jednostavnim mrežnim strukturama. *McCulloch* i *Pitts* su takođe nagovestili da bi pogodno definisane mreže mogle učiti. *Donald Hebb* (Heb) (1949) pokazao je jednostavno pravilo ažuriranja kojim se modifikuju jačine veza između neurona. Njegovo pravilo, koje se danas naziva **Hebovsko obučavanje**, ostaje uticajan model do današnjeg dana.

Dva studenta sa Harvarda, *Marvin Minsky* (Minski) i *Dean Edmonds* (Din Edmonds), napravili su prvi računar – neuralnu mrežu 1950. godine. SNARC (Snark), kako je nazvan taj računar, koristio je 3000 vakuumskih cevi i dodat je mehanizmu automatskog pilota bombardera B-24 da bi simulirao mrežu od 40 neurona. Kasnije, na Prinstonu (*Princeton*), Minski je proučavao univerzalno računanje u neuralnim mrežama. Komisija za njegovu doktorsku disertaciju bila je skeptična u pogledu toga da li ovu vrstu rada treba smatrati matematikom, ali je *von Neumann* (fon Nojman), priča se, rekao: „Ako to nije sada, biće jednog dana”. *Minsky* je taj koji je kasnije dokazao uticajne teoreme, pokazujući ograničenja istraživanja u oblasti neuralnih mreža.

Postojao je izvestan broj ranijih primera radova koji se mogu okarakterisati kao VI i pre njega, ali je vizija Alena Turinga (*Alan Turing*) bila možda najuticajnija. On je držao predavanja na ovu temu početkom 1947. u londonskom Matematičkom društvu i jasno je formulisao uverljiv program rada u svom članku iz 1950. godine, “*Computing Machinery and Intelligence*” („Računarske mašine i inteligencija”). U tom članku, on je uveo Turingov test, mašinsko obučavanje, genetske algoritme i obučavanje pojačavanjem.

Predložio je ideju *Child Programme* (Program dete), objašnjavajući: „Uместo što se pokušava sa pravljenjem programa koji simulira razum odraslih, zašto se ne bi pokušalo sa pravljenjem programa koji simulira razum deteta?”

### 1.3.2 Rođenje veštačke inteligencije (1956)

*Princeton* je bio dom druge uticajne figure veštačke inteligencije, Džona Mekartija (*John McCarthy*). Pošto je tamo doktorirao 1951. i radio dve godine kao nastavnik, *McCarthy* se preselio u *Stanford*, a potom u *Dartmouth College* (Dartmut Kolidž), koji će postati oficijelno rodno mesto oblasti [veštačke inteligencije]. *McCarthy* je ubedio *Minsky*og, Kloda Šenona (*Claude Shannon*), i Natanijela Ročestera (*Nathaniel Rochester*) da mu pomognu da okupi američke istraživače koji se bave teorijom automata, neuralnim mrežama, i proučavanjem inteligencije. Oni su organizovali dvomesečni seminar u Dartmutu (*Dartmouth*) u leto 1956. U predlogu za seminar se kaže: <sup>18</sup>

Predlažemo da se relizuje proučavanje veštačke inteligencije, 2 meseca, 10 ljudi, tokom leta 1956. na *Dartmouth Collegeu* u *Hanoveru, New Hampshire*. Proučavanje će se vršiti na osnovu stava da svaki aspekt obučavanja ili bilo kog drugog svojstva in-

<sup>18</sup> Ovo je bilo prvo zvanično korišćenje termina koji je dao *McCarthy*: *veštačka inteligencija*. Možda bi termin „računska racionalnost” bio precizniji i manje preteći, ali je naziv „VI” ostao. Na 50. godišnjicu konferencije u Dartmutu, *McCarthy* je izjavio da se protivio terminima „računar” ili „računski” braneći *Norberta Weinerja*, koji je razvijao analogne kibernetске uređaje, a ne digitalne računare.

teligencije u principu može biti tako precizno opisan da se može napraviti mašina koja će ga simulirati. Pokušaće da se ustanovi kako da se naprave mašine koje koriste jezik, apstrakcije formi i pojmove, rešavaju one vrste problema koji su sada rezervisani za ljude, i poboljšavaju same sebe. Smatramo da se može ostvariti značajan napredak u rešavanju jednog ili više od ovih problema ako pažljivo izabrana grupa naučnika bude zajedno radila na tome jedno leto.

Bilo je 10 učesnika ukupno, među njima i *Trenchard More* (Trenčard Mor) sa *Princetona*, *Arthur Samuel* (Artur Semjuel) iz *IBMa* i *Ray Solomonoff* (Rej Solomonof) i *Oliver Selfridge* (Selfridž) sa *MITa*.

Dva istraživača sa Karnegi Teki (*Carnegie Tech*),<sup>19</sup> *Allen Newell* (Alen Njuel) i *Herbert Simon* (Sajmon), donekle su preuzeli glavnu reč. Iako su drugi imali ideje i u nekim slučajevima programe za posebne primene kao što su igra dame, *Newell* i *Simon* su već imali program za rasuđivanje, *Logic Theorist* LT (Lođžik tierist), za koji je *Simon* tvrdio: „Izumeli smo računarski program koji je sposoban da nenumerički misli, i na taj način smo rešili čuveni problem razum–telo”.<sup>20</sup> Ubrzo posle seminara, program je bio u stanju da dokaže većinu teorema iz poglavlja 2 iz dela *Russella* i *Whiteheada Principia Mathematica*. Priča se da je *Russell* bio ushićen kada mu je *Simon* pokazao da je program dao dokaz jedne teoreme kraći od onog u *Principia*. Urednici časopisa *Journal of Symbolic Logic* bili su manje impresionirani; odbili su rad čiji su koautori bili *Newell*, *Simon* i *Logic Theorist*.

Seminar u *Dartmouthu* nije doveo ni do kakvih novih proboja, ali su se na njemu sve važnije ličnosti oblasti upoznale. Tokom sledećih 20 godina, ovi ljudi i njihovi studenti i kolege sa *MITa*, *CMUa*, *Stenforda* (*Stanford*) i iz *IBMa* dominirali su oblašću.

Pogledavši predlog za seminar u *Dartmouthu* (*McCarthy et al.*, 1955), možemo videti zašto je bilo nužno da VI postane zasebna oblast. Zašto sve ono što je urađeno u VI nije moglo da se obavi pod imenom teorije upravljanja ili operacionih istraživanja ili teorije odlučivanja, oblasti koje su, naposljetku, imale ciljeve slične ciljevima VI? Ili zašto VI nije grana matematike? Odgovor na prvo pitanje je da je VI od početka prihvatila ideju kopiranja ljudskih sposobnosti kao što su kreativnost, samopoboljšavanje i korišćenje jezika. Nijedna druga oblast nije se okrenula ovim temama. Odgovor na drugo pitanje je metodologija. VI je jedina od ovih oblasti koja je u potpunosti grana računarskih nauka (iako operaciona istraživanja zaista takođe naglašavaju značaj računarskih simulacija), i VI je jedina oblast u kojoj se pokušava izgradnja mašina koje će funkcionisati autonomno u složenim, promenljivim okruženjima.

<sup>19</sup> Sada *Carnegie Mellon University* (CMU).

<sup>20</sup> *Newell* i *Simon* su takođe izumeli jezik obrade lista, IPL, da bi napisali LT. Oni nisu imali kompjuter (prevodilac) i prevodili su ga u mašinski kod ručno. Da bi izbegli greške, radili su paralelno, izvikujući binarne brojeve jedan drugom dok su pisali svaku instrukciju kako bi se osigurali da su usklađeni.

### 1.3.3 Početni entuzijazam, velika očekivanja (1952–1969)

Početne godine razvoja VI bile su pune uspeha – na jedan ograničen način. Sa datim primitivnim računarima i programskim sredstvima toga vremena i uz činjenicu da su samo nekoliko godina ranije računari sagledavani kao stvari koje mogu raditi aritmetiku i ništa više, bilo je zadivljujuće kad god je računar uradio bilo šta iole pametno. Intelektualni sloj koji vlada naučnim životom i određuje pravila i načine ponašanja, u celosti, naginjao je tome da veruje da „mašina nikada ne može raditi  $X$ ”. (Pogledajte u poglavlju 26 dugu listu  $X$ ova koje je skupio *Turing*.) Istraživači VI prirodno su odgovorili pokazujući [da mašina može raditi] jedno  $X$  za drugim. *John McCarthy* pozivao se na ovaj period kao na „Pogledaj, mama, bez ruku!” eru.

Posle *Newellovog* i *Simonovog* početnog uspeha usledio je *General Problem Solver*, ili GPS. Za razliku od *Logic Theorista*, ovaj program je bio projektovan od početka tako da imitira ljudske protokole rešavanja problema. U okviru ograničene klase problema koje je mogao da tretira, pokazalo se da je redosled kojim program razmatra potciljeve i moguće akcije sličan onom sa kojim ljudi pristupaju istim problemima. Prema tome, GPS je verovatno bio prvi program koji je otelotvorio prilaz „ljudskog razmišljanja”. Uspeh GPS-a i programa koji su usledili, kao modela saznavanja naveli su *Newella* i *Simona* (1976) da formulišu čuvenu hipotezu o fizičkom simboličkom sistemu (*physical symbol system hypothesis*), kojom se tvrdi da „fizički simbolički sistem ima potrebna i dovoljna sredstva za opšte inteligentno delovanje”. Oni su imali u vidu je da bilo koji sistem (čovjek ili mašina), koji ispoljava inteligenciju, mora funkcionisati tako što obrađuje strukture podataka sastavljene od simbola. Kasnije ćemo videti da je ova hipoteza osporena na mnogo načina.

U *IBMu*, *Nathaniel Rochester* (Nataniel Ročester) i njegovi saradnici napisali su neke od prvih veštačkointeligentnih programa. *Herbert Gelernter* (1959) napravio je program *Geometry Theorem Prover*, koji bio sposoban da dokaže teoreme za koje bi mnogi studenti matematike rekli da ih je veoma teško dokazati. Od 1952, *Arthur Samuel* (Artur Semjuel) napisao je niz programa za igru dame, među kojima su one poslednje verzije mogle da se obuče da igraju na nivou jakog amatera. Istovremeno, on je dokazao da je netačna ideja da računari mogu da rade samo ono što im se kaže: njegov program se brzo obučio da igra bolje od svog kreatora. Program je demonstriran na televiziji u februaru 1956, ostavljajući dubok utisak. Kao i *Turing*, *Samuel* je imao problema sa dobijanjem računarskog vremena. Radeći noću, koristio je mašine koje su još uvek bile u odeljenju za testiranje u *IBM*ovom proizvodnom pogonu. U poglavljima 5 i 21 objašnjene su metode obučavanja koje je koristio *Samuel*.

*John McCarthy* (Džon Mekarti) se preselio iz *Darmoutha* na *MIT* i tamo je dao tri ključna doprinosa u jednoj istorijskoj godini: 1958. U *MIT AI Lab Memo No. 1*, *McCarthy* je definisao programski jezik visokog nivoa, **Lisp**, koji će ubrzo postati dominantan veštačkointeligentni programski jezik u sledećih 30 godina. Sa *Lispom*, *McCarthy* je dobio alat koji mu je bio potreban, ali je pristup retkim i skupim računarskim resursima takođe bio problem. Kao odgovor na to, on i saradnici na *MITu* izumeli su deljenje vremena (*time sharing*). Takođe te 1958, *McCarthy* je objavio rad pod naslovom *Programs with Common Sense* (Programi

FIZIČKI  
SIMBOLIČKI  
SISTEM

LISP

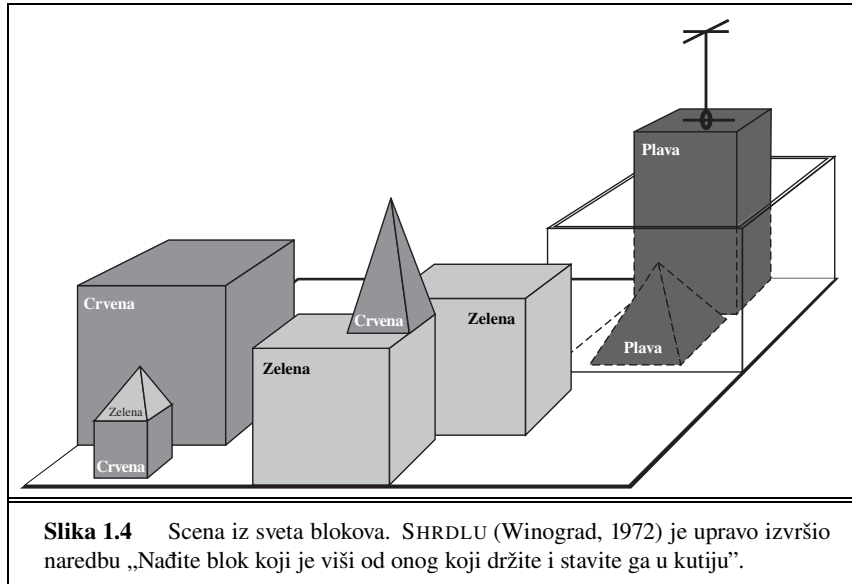
sa zdravim razumom ), gde je opisao *Advice Taker*, hipotetički program koji se može posmatrati kao prvi potpuni veštačkointeligentni sistem. Kao i programi *Logic Theorist* i *Geometry Theorem Prover*, *McCarthyjev* program bio je projektovan tako da koristi znanje u traženju rešenja problema. Ali, za razliku od drugih, ovaj program je trebalo da otelotvori opšte znanje o svetu. Na primer, *McCarthy* je pokazao kako bi neki jednostavni aksiomi omogućili programu da generiše plan vožnje do aerodroma. Program je, uz to, bio projektovan da može prihvatiti nove aksiome tokom normalnog rada, čime mu se omogućavalo da stekne kompetentnost u novim oblastima *bez njegovog ponovnog programiranja*. Na taj način program *Advice Taker* je otelotvoravao centralne principe predstavljanja znanja i rasuđivanja: da je korisno raspolagati formalnom, eksplicitnom predstavom sveta i njegovog funkcionisanja i biti sposoban za obradu ove predstave deduktivnim procesima. Upečatljivo je koliko mnogo toga iz tog rada iz 1958. važi danas.

1958. je isto tako i godina kada se *Marvin Minsky* (Marvin Minski) preselio na *MIT*. Međutim, njegova započeta saradnja sa *McCarthyjem* nije dugo trajala. *McCarthy* je naglašavao predstavljanje i rasuđivanje u formalnoj logici, dok je *Minsky* bio više zainteresovan za razvijanje programa koji funkcionišu da bi na kraju razvio protivlogička gledišta. Godine 1963, *McCarthy* je osnovao Laboratoriju za veštačku inteligenciju na *Stanfordu*. Njegov plan da upotrebi logiku za izgradnju konačnog programa *Advice Taker* preduhitrio je *J. A. Robinson* otkrivajući 1965. metodu rezolucije (potpuni algoritam dokazivanja teorema za logiku prvog reda; pogledajte poglavlje 9). Rad na *Stanfordu* u prvi plan je stavljao metode logičkog rasuđivanja opšte namene. Primene logike obuhvatale su upitno-odzivne sisteme i sisteme planiranja Kordela Grina (*Cordell Green*) (Green, 1969b) i robotski projekat *Shakey* (Šejki) na *Stanfordskom* istraživačkom institutu (*Stanford Research Institute SRI*). Drugi od ova dva projekta, koji je dalje obrađen u poglavlju 25, bio je prvi projekat u kome je prikazana potpuna integracija logičkog rasuđivanja i fizičke aktivnosti.

*Minsky* je nadgledao izvestan broj studenata koji su izabrali ograničene probleme za koje je izgledalo da njihovo rešavanje zahteva inteligenciju. Ovi ograničeni domeni postali su poznati kao **mikrosvetovi**. Program Džejmsa Slegla (*James Slagle*) *SAINT* (1963) bio je u stanju da rešava probleme integracionog računa formulisane u zatvorenoj formi, koji su tipični za nastavu na koledžima na prvoj godini. Program *ANALOGY* Toma Evansa (*Tom Evans*) (1968) rešavao je probleme geometrijskih analogija koji se koriste u testovima inteligencije. Program *STUDENT* Denijela Bobrova (*Daniel Bobrow*) (1967) rešavao je algebarske probleme iskazane rečima, kao što je ovaj koji sledi:

Ako je broj Tominih mušterija dva puta kvadrat od 20 procenata broja reklama koje je dao, a broj reklama koje je dao je 45, koliko Toma ima mušterija?

Najčuvaniji mikrosvet bio je svet blokova, kojeg čini skup čvrstih blokova smeštenih na sto (ili, češće, na simulaciju stola), kao što je pokazano na slici 1.4. Tipičan zadatak u ovom svetu sastoji se od preuređenja blokova na neki način, korišćenjem robotske ruke koja može uhvatiti po jedan blok odjednom. Svet blokova je bio okruženje projekta viđenja na kome je radio *David Huffman* (Dejvid Hafmen) (1971), rada u oblasti viđenja i prostiranja sa zadovoljavanja-



njem ograničenja Dejvida Volca (*Waltz*) (1975), teorije obučavanja Petrika Vinstona (*Patrick Winston*) (1970), programa za razumevanje prirodnog jezika Terija Vinograda (*Terry Winograd*) (1972) i planera Skota Falmana (*Scott Fahlman*) (1974).

Bujao je i početni rad koji se nadograđivao na neuralne mreže Mekaloka (*McCulloch*) i Pitsa (*Pitts*). Rezultati *Winograda* i *Cowana* (1963) pokazivali su kako veliki broj elemenata zajedno može predstavljati pojedini koncept, uz odgovarajući porast robustnosti i paralelizma. Metode obučavanja Heba (*Hebb*) proširili su *Bernie Widrow* (Berni Vidrou) (*Widrow* i *Hoff*, 1960; *Widrow*, 1962), koji je svoje mreže nazvao **adaline** (adaptivni linearni elementi), i *Frank Rosenblatt* (Rozenblat) (1962) sa svojim **perceptronima**. **Teorema konvergencije perceptrona** (*Block et al.*, 1962) tvrdi da algoritam obučavanja može podesiti snage veza perceptrona tako da se mogu prilagoditi bilo kojim ulaznim podacima ukoliko takvo prilagođenje postoji. Ovim temama bavimo se u poglavlju 20.

### 1.3.4 Doza realnosti (1966–1973)

Od samog početka, istraživači u oblasti veštačke inteligencije nisu bili stidljivi u predviđanjima svojih budućih uspeha. Često se citira sledeći iskaz *Herberta Simona* iz 1957.:

Nije moj cilj da vas iznenadim ili šokiram – ali najjednostavniji način da to kažem sažeto je da kažem da sada u svetu postoje mašine koje misle, koje uče i koje kreiraju. Štaviše, njihova sposobnost da rade ove stvari rapidno će rasti dok – u sagledivoj budućnosti – asortiman problema kojima se one mogu baviti ne bude iste prostornosti kao i asortiman [problema] na koje se primenjuje ljudski um.

Termin kao što je „saglediva budućnost” može se interpretirati na razne načine, no *Simon* je dao i konkretnija predviđanja: da će u roku od 10 godina računar

biti šahovski šampion i da će mašina dokazati značajnu matematičku teoremu. Ova predviđanja su se obistinila (ili su se približno obistinila) za 40, umesto za 10 godina. *Simonovo* prekomerno pouzdanje proisteklo je iz povoljnih performansi ranih veštačkointeligentnih sistema primenjenih na jednostavne primere. U skoro svim slučajevima, međutim, ovi prvi sistemi pokazali su se neuspešnim kada su probani na širim izborima problema i na težim problemima.

Prva vrsta teškoća se pojavila zbog toga što veći broj ovih prvobitnih programa nije znao ništa o temi kojom su se bavili; njihov uspeh bio je zasnovan na jednostavnim sintaksnim manipulacijama. Tipičan primer je onaj u vezi sa naporima vezanim za prvobitno mašinsko prevođenje, koje je Nacionalni istraživački savet SAD (*U.S. National Research Council*) velikodušno finansijski podržao u pokušaju da ubrza prevođenje ruskih naučnih radova reagujući na lansiranje Sputnika 1957. U početku se mislilo da će jednostavne sintaksne transformacije zasnovane na gramatikama ruskog i engleskog jezika, i zamena reči iz elektronskog rečnika, biti dovoljne da očuvaju tačno značenje rečenica. Činjenica je da tačan prevod zahteva osnovno znanje da bi se razrešile dvosmislenosti i uspostavio sadržaj rečenice. Čuveni ponovni prevod rečenice *“the spirit is willing but the flesh is weak”* (srp. „duša želi, ali telo je slabo”, to jest, „duša hoće, al’ telo klokoće”) u obliku *“the vodka is good but the meat is rotten”* („votka je dobra, ali meso je loše”) ilustruje teškoće na koje se nailazilo. Godine 1966., jedan savetodavni komitet je u svom izveštaju zaključio da „ne postoji mašinsko prevođenje opštih naučnih tekstova, i ne sagledava se njegovo postojanje u neposrednoj budućnosti”. Vlada SAD je obustavila sva finansiranja akademskih projekata u vezi sa prevođenjem. Danas, mašinsko prevođenje je jedna nesavršena alatka, koja se široko koristi za prevođenje tehničkih, komercijalnih, državnih i internet dokumenata.

Druga vrsta teškoća proisticala je iz neukrotivosti (*intractability*) mnogih problema koje je VI pokušavala da reši. Većina prvobitnih VI programa rešavala je probleme isprobavajući razne kombinacije koraka sve dok se ne bi našlo rešenje. Ova strategija je u početku funkcionisala, jer je u mikrosvetovima bilo po nekoliko objekata, te i samo nekoliko mogućih akcija i vrlo kratkih sekvenci koje su vodile ka rešenju. Pre nego što je razvijena teorija računске složenosti, široko je bilo prihvaćeno da je „postupno prilagođenje” većim problemima jednostavno stvar bržeg hardvera i većih memorija. Optimizam koji je pratio razvoj dokazivanja teorema rezolucijom, na primer, brzo je usahnuo nakon toga što istraživači nisu uspeali da dokažu teoreme koje su obuhvatale više od nekoliko desetina činjenica. *Činjenica da program može naći rešenje u principu ne znači da program ima bilo koji od mehanizama potrebnih za nalaženje rešenja u praksi.*

Iluzija neograničene računске snage nije bila specifičnost programa rešavanja problema. Prvobitni eksperimenti u domenu **mašinske evolucije** (sad poznatom pod imenom **genetski algoritmi**) (Friedberg, 1958; Friedberg *et al.*, 1959) bili su zasnovani na nesumnjivo korektnom verovanju da se, generisanjem odgovarajuće serije malih mutacija u kodu mašinskog programa, može generisati program sa dobrim performansama za bilo koji konkretni zadatak. Ideja je, potom, bila da se proba sa slučajnim mutacijama sa procesom izbora da bi se očuvale mutacije koje izgledaju korisne. Uprkos hiljadama sati potrošenog vremena centralne pro-





cesorske jedinice, skoro da se nije pokazao bilo kakav napredak. Savremeni genetski algoritmi koriste bolja predstavljanja i pokazali su više uspeha.

Na neuspehu do koga je došlo u bavljenju „kombinatornom eksplozijom” zasnivao se jedan od glavnih kritičkih stavova prema VI sadržan u izveštaju *Lighthill* (Lajthil) (*Lighthill report*) (Lighthill, 1973), a taj izveštaj je bio osnova za odluku britanske vlade da okonča podršku istraživanjima u oblasti VI na svim izuzev na dva univerziteta. (Usmeno predanje daje unekoliko drugačiju i živopisniju sliku, sa političkim ambicijama i ličnim netrpeljivostima u pozadini ove odluke.)

Treća teškoća pojavila se usled nekih fundamentalnih ograničenja osnovnih struktura koje su upotrebljene za generisanje inteligentnog ponašanja. Na primer, knjiga Minskog i Paperta (*Papert*) *Perceptrons* (Perceptroni) (1969) dokazala je, iako se za perceptrone (jednostavan oblik neuralnih mreža) može pokazati da se mogu obučiti bilo čemu što su u stanju da predstavljaju, da oni mogu predstavljati vrlo malo toga. Posebno, perceptron sa dva ulaza (sa ograničenjem da je jednostavniji nego oblik koji je *Rosenblatt* izvorno proučavao) ne može se obučiti da vrši raspoznavanje kada su njegova dva ulaza različita. Iako se njihov rezultat nije odnosio na složenije, višeslojne mreže, finansiranje istraživanja u oblasti neuralnih mreža ubrzo se svelo skoro ni na šta. Ironija je da su novi algoritmi obučavanja povratnim prostiranjem [greške] (*back-propagation*) za višeslojne mreže, koji su uzrokovali enormno obnavljanje istraživanja u oblasti neuralnih mreža kasnih 1980-ih godina, prvo u stvari bili otkriveni 1969. (Bryson i Ho, 1969)

### 1.3.5 Sistemi zasnovani na znanju: Ključ za snagu? (1969–1979)

SLAB METOD

Slika podoblasti rešavanja problema koja se pojavila tokom prve dekade istraživanja u VI, sastojala se od mehanizama pretraživanja opšte namene kojima se pokušavalo povezivanje u niz elementarnih koraka rasuđivanja radi nalaženja potpunih rešenja. Takvi pristupi nazivani su **slabim metodama** jer, iako opšti, nisu prilagođeni velikim ili teškim primercima problema. Alternativa slabim metodama je da se koristi snažnije, za domen specifično znanje, koje dozvoljava veće korake u rasuđivanju i koje omogućava lakše baratanje slučajevima koji se obično javljaju u uskim oblastima stručnosti. Moglo bi se reći da, ako se želi rešiti težak problem, treba da već skoro znate rešenje.

Program DENDRAL (Buchanan *et al.*, 1969) je jedan prvobitni primer ovog pristupa. Program je razvijen na Stenfordu (*Stanford*), gde su *Ed Feigenbaum* (Fajgenbaum) (prethodno student *Herberta Simona*), *Bruce Buchanan* (Brjus Bjukanan) (filozof koji je postao računarski naučnik) i *Joshua Lederberg* (Džošua Lederberg) (genetičar, dobitnik Nobelove nagrade) formirali tim, čiji je cilj bio rešavanje problema zaključivanja o kojoj se molekularnoj strukturi radi, a na osnovu informacija koje se dobijaju korišćenjem spektrometra mase. Ulaz u program sastoji se od elementarne formule molekula (na primer,  $C_6H_{13}NO_2$ ) i spektra mase koji daje mase raznih fragmenata molekula generisanih kada je molekul bombardovan elektronskim zrakom. Na primer, spektar mase može sadržati pik (vršak, *peak*) u  $m = 15$ , što odgovara masi fragmenta metila ( $CH_3$ ).

Naivna verzija programa generisala je sve moguće strukture koje su u skladu sa formulom i onda je predviđala šta bi spektar mase trebalo da uoči za svaku, upoređujući ovo sa stvarnim izgledom spektra. Kao što bi se i moglo očekivati, ovo je neukrotivo već za molekule skromnih dimenzija. Istraživači, koji su radili na programu DENDRAL, konsultovali su analitičke hemičare i ustanovili su da oni rade tako što traže dobro poznate oblike pikova u spektru koji sugerišu jednostavne strukture u molekulu. Na primer, za raspoznavanje podgrupe ketona (C=O) (čija težina je 28), koristi se sledeće pravilo:

- ako** postoje dva pika u  $x_1$  i  $x_2$  takva da
- (a)  $x_1 + x_2 = M + 28$  ( $M$  je masa čitavog molekula);
  - (b)  $x_1 - 28$  je visoki pik;
  - (c)  $x_2 - 28$  je visoki pik;
  - (d) bar jedan od  $x_1$  i  $x_2$  je visok
- onda** postoji podgrupa ketona

Uviđanje da molekul sadrži određenu strukturu enormno smanjuje broj mogućih kandidata. DENDRAL je bio snažan jer:

Sve teorijsko znanje relevantno za rešavanje ovih problema preslikavano je iz njegovog opšteg oblika u [komponenti za predviđanje spektra] („prvi principi“) u delotvorne specijalne oblike („kuvarski recepti“). (Feigenbaum *et al.*, 1971)

Značaj sistema DENDRAL bio je u tome što je to bio prvi uspešan sistem *intenzivnog znanja*: njegova stručnost proisticala je iz velikog broja pravila specijalne namene. Sistemi koji su usledili isto tako su uključivali glavnu temu prilaza realizovanog u McCarthyjevom *Advice Takeru* – jasno razdvajanje znanja (u obliku pravila) od komponente rasuđivanja.

Imajući ovu lekciju na umu, Feigenbaum i saradnici sa Stenforda započeli su *Heuristic Programming Project (HPP)* radi ispitivanja granica do kojih se nova metodologija **ekspertskih sistema** može primeniti na druge oblasti ljudske stručnosti. Sledeći veći poduhvat bio je u oblasti medicinske dijagnostike. Feigenbaum, Buchanan i dr Edward Shortliffe (Edvard Šortlif) razvili su MYCIN za dijagnostikovanje infekcija krvi. Sa oko 450 pravila, MYCIN je bio u stanju da radi isto tako dobro kao i neki stručnjaci i znatno bolje od lekara početnika. U dva aspekta se znatno razlikovao od sistema DENDRAL. Prvo, za razliku od pravila sistema DENDRAL, ovde nije postojao opšti teorijski model iz kojeg bi pravila sistema MYCIN mogla biti dedukovana. Ona su morala biti prikupljena kroz ekstenzivno intervjuisanje stručnjaka, koji su ih, sa svoje strane, sticali iz udžbenika, od drugih stručnjaka i direktnim iskustvom na praktičnim slučajevima. Drugo, pravila su morala odražavati neizvesnost pridruženu medicinskom znanju. U sistemu MYCIN otelotvoren je račun neizvesnosti, koji je dobio ime **faktori izvesnosti** (pogledajte poglavlje 14), za koji je (u to vreme) izgledalo da se dobro uklapa u način na koji lekari procenjuju uticaj činjenica na dijagnozu.

Značaj domenskog znanja bio je isto tako očigledan u oblasti razumevanja prirodnog jezika. Iako je Vinogradov (*Winograd*) SHRDLU sistem za razumevanje prirodnog jezika izazvao veliku pažnju javnosti, zavisnost sistema od sintaksne analize uzrokovala je neke od istih problema kao što su bili oni koji su se javili u početnom radu na mašinskom prevođenju. Ovaj sistem je bio u stanju da prevaziđe višesmislenost i da razume na šta se odnose zamenice, ali to je

uglavnom bilo zbog toga što je bio projektovan za jednu određenu oblast – svet blokova. Nekoliko istraživača, među kojima je *Eugene Charniak* (Judžin Čarnjak), *Winogradov* student poslediplomskih studija, stipendista na MIT-u, sugerisao je da će robustno razumevanje jezika zahtevati opšte znanje o svetu i opšte metode korišćenja tog znanja.

Na Jejlu (*Yale*), lingvиста-preobraćen-u-VI-istraživača *Roger Schank* (Rodžer Šenk) naglašavao je ovu stvar, tvrdeći: „Ne postoji takva stvar kao što je sintaksa”, što je uzrujalo mnoge lingviste, ali je i poslužilo za započinjanje korisne diskusije. *Schank* i njegovi studenti izgradili su seriju programa (*Schank* i *Abelson*, 1977; *Wilensky*, 1978; *Schank* i *Riesbeck*, 1981; *Dyer*, 1983) koji su imali za zadatak razumevanje prirodnih jezika. Naglasak je, međutim, manje bio na jeziku *per se*, a više na problemima predstavljanja i rasuđivanja korišćenjem znanja potrebnog za razumevanje jezika. Razmatrani problemi su obuhvatili predstavljanje stereotipnih situacija (*Cullingford*, 1981), opisivanje organizacije kod čoveka (*Rieger*, 1976; *Kolodner*, 1983) i razumevanje planova i ciljeva (*Wilensky*, 1983).

Široko rasprostranjeni porast primena na probleme iz realnog sveta uzrokovao je konkurentni porast u zahtevima za radnim šemama predstavljanja znanja. Razvijen je veliki broj raznih jezika predstavljanja i rasuđivanja. Neki od njih su bili bazirani na logici – na primer, jezik *Prolog* postao je popularan u Evropi, a familija jezika *PLANNER* u SAD. U drugima, koji su sledili ideju *Minsky* o **okvirima** (*frames*) (1975), usvojen je strukturiraniji pristup, u kome se spajaju činjenice o posebnim objektima i tipovima događaja i raspoređuju tipovi po velikim taksonomskim (klasifikacionim) hijerarhijama sličnim biološkoj taksonomiji.

OKVIRI

### 1.3.6 VI postaje industrija (1980–sadašnjost)

Prvi uspešan komercijalni ekspertski sistem, *R1*, počeo je sa radom u kompaniji *Digital Equipment Corporation* (*McDermott*, 1982). Program je pomagao u konfigurisanju narudžbina novih računarskih sistema; procenjeno je da je do 1986. štedeo kompaniji 40 miliona \$ godišnje. Do 1988. *DEC*-ova grupa za VI razvila je 40 ekspertskih sistema, i još ih je bilo u razvoju. *DuPont* je imao 100 sistema u upotrebi i 500 u razvoju, sa procenjenom uštedom od 10 miliona \$ godišnje. Skoro svaka veća korporacija u SAD imala je sopstvenu VI grupu i koristila je ekspertske sisteme ili se bavila njihovim istraživanjem.

Godine 1981. Japanci su najavili projekat „Pete generacije” (*Fifth Generation project*), desetogodišnji plan izgradnje inteligentnih računara pod *Prologom*. Kao odgovor, u SAD je formirana Korporacija za mikroelektroniku i računarsku tehnologiju (*Microelectronics and Computer Technology Corporation-MCC*) kao istraživački konzorcijum zamišljen da održi nacionalnu konkurentnost. U oba slučaja, VI je bila deo šireg poduhvata, koji je obuhvatao projektovanje čipova i istraživanja u domenu sprežnika sa čovekom. U Britaniji, izveštajem *Alvey* (*Elvej*) ponovo je uspostavljeno finansiranje [VI istraživanja] koje je

bilo obustavljeno *Lighthill* izveštajem.<sup>21</sup>

U sve ove tri zemlje, međutim, projekti nikada nisu ostvarili svoje ambiciozne ciljeve.

U celini, VI industrija je načinila privredni uspon sa nekoliko miliona dolara u 1980. na milijarde dolara u 1988., obuhvatajući stotine kompanija koje su gradile ekspertске sisteme, sisteme viđenja, robote, i softver i hardver specijalizovan za ove namene. Ubrzo posle toga naišao je period nazvan „VI zima”, u kome su mnoge kompanije propale usled nemogućnosti da ostvare preterana obećanja.

### 1.3.7 Povratak neuralnih mreža (1986–sadašnjost)

Sredinom 1980-ih, bar su četiri različite grupe ponovo pronašle algoritam obučavanja **povratnim prostiranjem** do kojeg su prvi došli *Bryson* i *Ho* 1969. Algoritam je primenjen na mnoge probleme obučavanja u računarskim naukama i psihologiji, i široko razgllašavanje rezultata u zbirci radova *Parallel Distributed Processing* (Rumelhart i McClelland, 1986), (Paralelna distribuirana obrada) izazvalo je veliko uzbuđenje.

POVRATNO  
PROSTIRANJE

KONEKSIONISTIČKI

Ove takozvane **konekcionističke** modele inteligentnih sistema neki su videli kao direktne suparnike i simboličkim modelima koje su uveli *Newell* i *Simon* i logicističkom pristupu *McCarthyja* i drugih (Smolensky, 1988). Moglo bi izgledati očigledno da na nekom nivou ljudi obrađuju simbole – zapravo, *Terrence Deacon* (Terens Dikon) svojom knjigom *The Symbolic Species* (1997) (Simbolička vrsta) sugeriše da je ovo *definišuća karakteristika* ljudi – ali su najvredniji konekcionisti zapitali da li manipulacija simbola ima bilo kakvu stvarnu objašnjavajuću ulogu u detaljnim modelima saznanja. Odgovor na ovo pitanje nije dat, ali sadašnji stav je da su pristupi, konekcionistički i simbolički, komplementarni, a ne suprotstavljeni.

Kao što se desilo i sa odvajanjem VI i kognitivnih nauka, savremena istraživanja u oblasti neuralnih mreža granaju se u dve oblasti, jednu koja se bavi kreiranjem delotvornih arhitektura mreža i algoritama i razumevanjem njihovih matematičkih osobina, i drugu koja se bavi pažljivim modeliranjem empirijskih osobina stvarnih neurona i mnoštava neurona.

### 1.3.8 VI usvaja naučni metod (1987–sadašnjost)

Poslednjih godina svedoci smo revolucije kako u sadržaju, tako i u metodologiji rada u veštačkoj inteligenciji.<sup>22</sup> Sada je uobičajenije oslanjati se na postojeće teorije nego predlagati sasvim nove, zasnivati tvrdnje na rigoroznim teoremama ili čvrstim eksperimentalnim činjenicama, pre nego na intuiciji, i pokazivati važnost na realnim primenama, a ne na veštačkim primerima.

<sup>21</sup> Da bi se sprečila zabuna, smišljena je nova oblast, koja je dobila ime inteligentni sistemi zasnovani na znanju (*IKBS Intelligent Knowledge-Based Systems*), jer je veštačka inteligencija zvanično bila obustavljena.

<sup>22</sup> Neki su okarakterisali ovu promenu kao pobedu **pedantnih** – onih koji misle da VI teorije treba zasnovati sa matematičkom strogošću – nad **neurednim** – onih koji bi radije isprobavali mnoštva ideja, pisali neke programe, i potom procenjivali šta od toga izgleda funkcionalno. Oba pristupa su važna. Pomeraj ka urednosti ukazuje da je oblast dostigla nivo stabilnosti i zrelosti. Da li će ta stabilnost biti narušena novom neurednom idejom je neko drugo pitanje.

VI je delimično utemeljena kao pobuna protiv ograničenja postojećih naučnih oblasti, kao što su teorija upravljanja i statistika, ali sada VI obuhvata ove oblasti. *David McAllester* (Dejvid Mekelester) (1998) je rekao:

U početnom periodu veštačke inteligencije izgledalo je prihvatljivo to da nove forme simboličkog računanja, na primer, okviri i semantičke mreže, učine veći deo klasične teorije zastarelim. Ovo je dovelo do jednog oblika izolacionizma u kome je VI postala uveliko odvojena od preostalog dela računarskih nauka. Ovaj izolacionizam je trenutno napušten. Postoji spoznaja da mašinsko obučavanje ne treba da bude izolovano od teorije informacija, da rasuđivanje u uslovima neizvesnosti ne treba da bude izolovano od stohastičkog modeliranja, da pretraživanje ne treba da bude izolovano od klasične optimizacije i upravljanja i da automatsko rasuđivanje ne treba da bude izolovano od formalnih metoda i statičke analize.

Rečeno metodološkim rečima, VI je konačno čvrsto usaglašena sa naučnom metodologijom. Da bi bila prihvaćena, hipoteza mora biti potvrđena rigoroznim empirijskim eksperimentima, a važnost rezultata mora se analizirati statistički (Cohen, 1995). Sada je, moguće ponoviti eksperimente korišćenjem razdeljenih (javnih) skladišta test podataka i koda.

Oblast raspoznavanja govora ilustruje šablon. Godina 1970-ih, isproban je veliki broj raznih arhitektura i pristupa. Mnoge od njih bile su prilično *ad hoc* i slabe i bile su prikazane na samo nekoliko specijalno izabranih primera. Poslednjih godina, ovom oblašću počeli su da dominiraju pristupi zasnovani na **skrivenim Markovljevim modelima** (SMM-i). Bitna su dva aspekta SMM-a. Prvi, oni su zasnovani na rigoroznoj matematičkoj teoriji. Ovo je omogućilo istraživačima govora da grade na osnovi koju čine matematički rezultati postignuti tokom nekoliko decenija razvoja u drugim oblastima. Drugo, SMM-i se generišu procesom obučavanja korišćenjem velikog korpusa<sup>23</sup> realnih govornih podataka. Ovim je osigurana robustnost performansi, a u rigoroznim slepim testovima SMMi su ustaljeno poboljšavali svoje pokazatelje performansi. Tehnologija govora i sa njom povezana oblast raspoznavanja rukom pisanih znakova, već su u procesu prelaska u široko rasprostranjene industrijske i potrošačke primene.

Uočite da ne postoji naučna tvrdnja da ljudi koriste SMM-e radi raspoznavanja govora; tačnije, SMM-i daju matematički okvir za razumevanje problema i podršku inženjerskoj tvrdnji da oni dobro funkcionišu u praksi.

Mašinsko prevođenje se kreće istim putem kao i raspoznavanje govora. Godina 1950-ih javio se početni entuzijazam za pristup zasnovan na sekvenci reči, sa modelima kojima su sistemi obučavani u skladu sa principima teorije informacija. Taj pristup je 1960-ih izašao iz mode, ali se vratio kasnih 1990-ih i sada je dominantan u toj oblasti.

Neuralne mreže takođe se uklapaju u ovaj trend. Veći deo rada u vezi sa neuralnim mrežama 1980-ih godina bavio se pokušajem da se sagleda šta bi se moglo uraditi i da se sazna po čemu se neuralne mreže razlikuju od „tradicionalnih metoda”. Korišćenjem poboljšane metodologije i teorijskih okvira, oblast se razvila do tog stepena razumevanja na kojem se neuralne mreže sada mogu uporediti sa odgovarajućim metodama iz statistike, raspoznavanja oblika,

<sup>23</sup> Korpus – zbirka dokumenata, tekstova, podataka, građe, i slično, namenjena istraživanju. (Prim. prev.)

EKSPLOATISANJE  
PODATAKA

i mašinskog obučavanja i metode koje najviše obećavaju mogu se primeniti na svaku primenu. Kao rezultat ovih razvoja, takozvana tehnologija **eksploataisanja podataka** (*data mining*) iznedrila je bodru novu delatnost.

BAJESOVSKA  
MREDA

Knjiga Džudije Perla (*Judea Pearl*) (1988) *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems* (Verovatnosno rasuđivanje u inteligentnim sistemima) dovela je do novog prihvatanja verovatnoće i teorije odlučivanja u VI, praćenog ponovnim oživljavanjem interesa, što je sažeto izrazio *Peter Cheeseman* (Piter Čizmen) (1985) člankom “*In Defense of Probability*” („U odbranu verovatnoće”). Izmišljen je formalizam **Bajesovskih mreža** da bi se dozvolilo delotvorno predstavljanje neizvesnog znanja i rigorozno rasuđivanje njegovim korišćenjem. Ovim pristupom uveliko su prevaziđeni mnogi problemi verovatnosnih sistema rasuđivanja iz 1960-ih i 1970-ih godina; pristup sada dominira istraživanjima u VI u vezi sa neizvesnim rasuđivanjem i ekspertskim sistemima. Pristup dozvoljava obučavanje na osnovu iskustva i kombinuje najbolje strane klasične VI i neuralnih mreža. Rezultati *Judeae Pearl* (1982a), i Erika Horvica (*Eric Horvitz*) i Dejidva Hekermana (*David Heckerman*) (Horvitz i Heckerman, 1986; Horvitz *et al.*, 1986) promovisali su ideju *normativnih* ekspertskih sistema: onih koji deluju racionalno prema zakonima teorije odlučivanja i ne pokušavaju da oponašaju misaone korake ljudi stručnjaka. Operativni sistem *Windows*<sup>TM</sup> sadrži nekoliko *normativnih* dijagnostičkih ekspertskih sistema za otklanjanje problema. U poglavljima od 13 do 16 prikazana je ova oblast.

Slična nežna revolucija javila se u robotici, računarskom viđenju i predstavljanju znanja. Bolje razumevanje problema i njihovih složenih svojstava, kombinovano sa povećanim nivoom matematičke apstrakcije, odvelo je [istraživanja] ka izvodivim istraživačkim programima rada i robustnim metodama. Iako su veći stepeni formalizacije i specijalizacije doveli oblasti kao što su viđenje i robotika do toga da su postale donekle izolovane od „glavnog toka” VI u 1990-im, ovaj trend se poslednjih godina obrnuo kako su se alati, iz oblasti mašinskog obučavanja posebno, pokazali delotvornim za rešavanje mnogih problema. Već se sagledavaju značajne koristi koje daje proces reintegracije.

### 1.3.9 Nastanak inteligentnih agenata (1995–sadašnjost)

Ohrabreni, možda, napretkom u rešavanju potproblema VI, istraživači su uz to počeli ponovo da posmatraju problem „čitavog agenta”. Rezultat *Allena Newella*, Džona Lirda (*John Laird*) i Pola Rouzenbluma (*Paul Rosenbloom*) u vezi sa sistemom SOAR (Newell, 1990; Laird *et al.*, 1987) je najpoznatiji primer arhitekture potpunog agenta. Jedno od najvažnijih okruženja za inteligentne agente je Internet. VI sistemi su postali toliko uobičajeni u primenama zasnovanim na Vebu, da je sufiks „-bot” ušao u svakodnevni jezik. Štaviše, tehnologije VI su u osnovama mnogih internet alata, kao što su mašine za pretraživanje, sistemi preporučivanja i objedinjivači (*aggregators*) veb lokacija.

Posledica pokušaja da se naprave potpuni agenti je saznanje da bi moglo biti potrebno da se pre toga izolovane podoblasti VI donekle reorganizuju pošto njihove rezultate valja povezati ujedno. Posebno, sada je široko prihvaćeno da senzorski sistemi (viđenje, sonar, raspoznavanje govora i tako dalje) ne mogu davati savršeno pouzdane informacije o okruženju. Stoga, sistemi rasuđivanja i

planiranja moraju biti sposobni da tretiraju neizvesnost. Druga veća posledica agentskog gledišta je da je VI postavljena mnogo bliže drugim oblastima, kao što su teorija upravljanja i ekonomija, koje se takođe bave agentima.

Napredak do koga je došlo u poslednje vreme u upravljanju robotskim automobilima proistekao je iz kombinovanja pristupa koji su obuhvatili bolje senzore, integraciju opažanja na osnovu teorije upravljanja, lokalizaciju i mapiranje, kao i izvestan stepen visokonivskog planiranja.

Uprkos ovih uspeha, neki od uticajnih osnivača VI, među kojima su *John McCarthy* (2007), *Marvin Minsky* (2007), *Nils Nilsson* (1995, 2005) i *Patrick Winston* (Beal i Winston, 2009), izrazili su nezadovoljstvo napretkom VI. Oni smatraju da bi VI trebalo da stavlja manji naglasak na kreiranje verzija primena koje se stalno poboljšavaju i koje su dobre za određeni zadatak, kao što su vožnja automobila, igranje šaha, ili raspoznavanje govora. Umesto toga, oni veruju da VI treba da se okrene svojim korenima izraženim težnjom ka, kako je rekao *Simon*, „mašinama koje misle, koje uče i koje kreiraju”. Ovo nastojanje oni nazivaju **VI ljudskog nivoa – VILjN** (*human-level AI – HLAi*); prvi simpozijum oni su održali 2004. (Minsky *et al.*, 2004). Ovo nastojanje zahtevaće veoma velike baze znanja; *Hendler i dr.* (1995) razmatraju odakle bi ove baze znanja mogle proisteći.

VI LJUDSKOG  
NIVOA

Sa prethodnom povezana je ideja podoblasti **veštačke opšte inteligencije – VOI** (*Artificial General Intelligence – AGI*) (Goertzel i Pennachin, 2007). Istraživači te podoblasti održali su prvu konferenciju i organizovali su časopis *Journal of Artificial General Intelligence* godine 2008. VOI traži univerzalni algoritam obučavanja i delovanja u bilo kom okruženju, a ima svoje korene u radovima Reja Solomonofa (*Ray Solomonoff*) (1964), jednog od onih koji su prisustvali dartmutojskoj (*Dartmouth*) konferenciji 1956., koja je značila početak VI. Obezbeđivanjem da je ono što stvaramo stvarno **prijateljska VI** (*Friendly AI*) bave se između ostalih i (Yudkowsky, 2008; Omohundro, 2008); prijateljskoj VI vrat ćemo se u poglavlju 26.

VEŠTAČKA  
OPŠTA  
INTELEGENCIJA

PRIJATELJSKA  
VI

### 1.3.10 Raspoloživost veoma velikih skupova podataka (2001–sadašnjost)

Tokom 60 godina istorije računarskih nauka, naglasak je bio na *algoritmu* kao glavnoj temi proučavanja. Ali neki noviji rezultati iz VI nagoveštavaju da za mnoge probleme više ima smisla pažnju obratiti na *podatke*, a manje brinuti o tome koji algoritam treba primeniti. Ovo je tačno zbog rastuće raspoloživosti veoma velikih izvora podataka; na primer, biliona reči engleskog i milijarde slika sa Veba (Kilgarriff i Grefenstette, 2006); ili milijarde osnovnih parova genomskih sekvenci (Collins *et al.*, 2003).

Jedan od uticajnih radova koji sledi ovaj pravac je rad Jarovskog (*Yarowsky*) (1995) o utvrđivanju jednoznačnog značenja reči: ako je data reč „luk” u rečenici, da li se ona odnosi na biljku, ili na geometrijski (građevinski) pojam? Raniji pristupi rešavanju problema oslanjali su se na primere koje je označio čovek kombinovane sa algoritmima mašinskog obučavanja. *Yarowsky* je pokazao da se zadatak može rešiti, sa tačnošću iznad 96%, bez ijednog obeleženog primera. Umesto označnih primera, za date veoma veliki korpus neoznačenog teksta i

samo rečničke definicije dva značenja – „geometrijski, građevinski luk” i „bilje, život luka” – mogu se označiti primeri u korpusu, i iz njega izvršiti **početno punjenje** radi obučavanja novim šemama koje pomažu označavanju novih primera. *Banko i Brill* (2001) pokazuju da metodi kao ovaj pokazuju čak bolje performanse sa povećanjem veličine raspoloživog teksta sa milion reči na milijardu reči i da poboljšavanje performanse na osnovu korišćenja više podataka prevazilazi sve razlike do kojih dolazi usled izbora algoritma; prosečan algoritam sa 100 miliona reči neoznačenih podataka obučavanja nadmašuje najbolji poznati algoritam sa 1 milionom reči.

Kao drugi primer, *Hays i Efros* (2007) razmatraju problem popunjavanja praznina na fotografiji. Pretpostavite da koristite *Photoshop* da biste uklonili nekadašnjeg prijatelja sa grupe fotografija, ali je onda potrebno ispuniti oblast uklanjanja nečim što je u skladu sa pozadinom. *Hays i Efros* su definisali algoritam koji vrši pretraživanje kroz kolekciju slika, da bi pronašao nešto što će biti u skladu. Oni su ustanovili da je ponašanje njihovog algoritma bilo slabo kada su koristili kolekciju od samo deset hiljada slika, ali da je prešlo prag i postalo odlično kada su povećali kolekciju na dva miliona fotografija.

Rezultati kao ovaj nagoveštavaju da se problem „uskog grla znanja” u VI – kako da se izrazi sve znanje koje je potrebno sistemu – u mnogim primenama može rešiti metodama obučavanja, umesto da se koristi rukom kodirano inženjerstvo znanja, pod uslovom da algoritmi obučavanja raspolažu sa dovoljno podataka na koje bi se primenili (*Halevy et al.*, 2009). Novinari su uočili veliki talas novih primena i napisali su da posle „VI zime” možda dolazi novo proleće (*Havenstein*, 2005). Kao što *Kurzweil* (2005) piše, „danas, mnogo hiljada primena VI je duboko ugrađeno u infrastrukturu svake aktivnosti”.

## 1.4 NAJNOVIJI REZULTATI

Čime se može VI danas baviti? Sažeti odgovor je teško dati, zato što postoji toliko mnogo aktivnosti u tako mnogo podoblasti. Ovde dajemo nekoliko primera; ostalima se bavimo kroz knjigu.

**Robotska vozila:** robotski automobil bez vozača *STANLEY* kretao se preko teškog terena u pustinji *Mohavi* u SAD (*Mojave Dessert*) brzinom od 22 mph (35,4 km/h), prvi prešavši stazu od 132 milje (212 km) i pobedio je 2005. na *DARPA Grand Challenge* takmičenju. *STANLEY* je *Volkswagen Touareg* opremljen kamerama, radarskim i laserskim daljinomerima da bi opažao okruženje, i softverom na samom vozilu radi upravljanja pravcem kretanja, kočenjem, i ubrzanjem (*Thrun*, 2006). Sledeće godine, vozilo *BOSS* sa *CMU* je pobedilo na takmičenju *Urban Challenge*, bezbedno se krećući kroz saobraćaj ulicama zatvorene vazduhoplovne baze, poštujući saobraćajna pravila, ne ugrožavajući pešake i izbegavajući druga vozila.

**Raspoznavanje govora:** putnik koji pozove avionsku kompaniju *United Airlines* da bi rezervisao kartu za let može obaviti čitavu konverzaciju samo sa sistemom za automatsko raspoznavanje govora i upravljanje dijalogom.



**Autonomno planiranje i raspoređivanje:** na udaljenosti od stotinu miliona milja od Zemlje, program *Remote Agent* (Udaljeni agent) koji je kreirala NASA postao je prvi autonomni program za planiranje ugrađen na platformu, za upravljanje raspoređivanjem redosleda operacija na svemirskom brodu (Jonsson *et al.*, 2000). REMOTE AGENT je generisao planove na osnovu ciljeva visokog nivoa postavljenih iz baze na Zemlji, i nadzirao izvršavanje tih planova – otkrivajući, dijagnostikujući i otklanjajući probleme onako kako su se oni pojavljivali. Sledbenik prethodnog programa, program MAPGEN (AI-Chang *et al.*, 2004) planira dnevne operacije NASA-inih robota *Mars Exploration Rover*, a MEXAR2 (Cesta *et al.*, 2007) je planirao misiju – oba, i logističko i naučno planiranje – u slučaju misije *Mars Express* Evropske svemirske agencije (*European Space Agency*) godine 2008.

**Igr(ice):** IBMov program DEEP BLUE postao je prvi računarski program koji je porazio svetskog šampiona u šahovskom meču, pobedivši Garija Kasparova rezultatom 3,5 prema 2,5 u egzibicionom meču (Goodman i Keene, 1997). Kasparov je rekao da je osećao „novu vrstu inteligencije” sa druge strane table. Magazin *Newsweek* opisao je meč sledeći rečima: „Poslednja odbrana mozga”. Vrednosti akcija IBMa je bila porasla za 18 milijardi \$.

Šampioni (ljudi) su proučili Kasparovljev izgubljeni meč i bili su u stanju da igraju nerešeno nekoliko sledećih mečeva u narednim godinama, ali je u nedavnih nekoliko mečeva čovek-računar, računari ubedljivo pobeđivao.

**Borba protiv neželjene pošte:** svaki dan, algoritmi obučavanja klasifikuju preko milijardu poruka kao neželjenu elektronsku poštu (*spam*), omogućavajući tako primaocu da ne mora da gubi vreme brišući ono, što bi za mnoge korisnike, moglo predstavljati 80% ili 90% svih poruka, kada ga algoritmi ne bi uklonili. Pošto pošiljaoci neželjene pošte neprekidno ažuriraju svoje taktike, teško je statički programiranim pristupom rešiti problem, te najbolje funkcionišu algoritmi obučavanja (Sahami *et al.*, 1998; Goodman i Heckerman, 2004).

**Logističko planiranje:** Tokom krize u Persijskom zalivu 1991, snage SAD su postavile program *Dynamic Analysis and Replanning Tool* DART (Alat za dinamičku analizu i replaniranje) (Cross i Walker, 1994) da izvršava automatizovano logističko planiranje i raspoređivanje transporta. Ovo je obuhvatalo do 50.000 vozila, teret i ljudstvo istovremeno, i moralo se voditi računa o početnim tačkama, odredištima, rutama i razrešavanju konflikata između svih parametara. VI metode planiranja generisale su plan u nekoliko časova, a isto to bi, uz primenu starijih metoda, zahtevalo nedelje. Agencija za odbrambene napredne istraživačke projekte (*Defense Advanced Research Project Agency*) (DARPA) saopštila je da je ova jedna primena više nego isplatila Agencijinih 30 godina investiranja u VI.

**Robotika:** Korporacija *iRobot* prodala je preko dva miliona *Roomba* robotskih usisivača za korišćenje u domaćinstvima. Kompanija takođe isporučuje grubljeg robota *PackBot* u Irak i Avganistan, gde se on koristi za baratanje opasnim materijalima, uklanjanje eksploziva i identifikovanje lokacije snajpera.

**Mašinsko prevođenje:** Računarski program automatski prevodi sa arapskog na engleski jezik, dozvoljavajući osobi koja govori engleski da vidi naslov “*Ardoğan Confirms That Turkey Would Not Accept Any Pressure, Urging Them*

to *Recognize Cyprus*”<sup>24</sup>. Program koristi statistički model izgrađen na osnovu primera prevoda sa arapskog na engleski i primera engleskog teksta od dva biliona reči (Brants *et al.*, 2007). Nijedan od računarskih naučnika iz tima ne govori arapski, ali oni zaista razumeju statistiku i algoritme mašinskog obučavanja.

Ovo je samo nekoliko primera veštačkointeligentnih sistema koji danas postoje. VI nije magija ni naučna fantastika – već nauka, tehnika i matematika, a ova knjiga daje uvod u VI.

## 1.5 REZIME

Ovim poglavljem definiše se VI i uspostavlja kulturni ambijent u kome je ona razvijena. Neke od važnih poenti su sledeće:

- razni ljudi pristupaju VI imajući na umu različite ciljeve. Dva važna pitanja koja se postavljaju su: da li ste zainteresovani za mišljenje ili za ponašanje? Da li želite da modelirate ljude, ili funkcionisanje polazeći od idealnog standarda?
- U ovoj knjizi usvojili smo gledište da se inteligencija uglavnom bavi **racionalnim delovanjem**. U idealnom slučaju, **inteligentni agent** preduzima najbolju moguću akciju u datoj situaciji. Proučavamo problem izgradnje agenata koji su inteligentni u tom smislu.
- Filozofi (počevši od 400 P.N.E.) učinili su da VI bude razumljiva razmatrajući ideje da je razum na neki način sličan mašini, da funkcioniše nad znanjem kodiranim u nekom unutrašnjem jeziku i da se misao može upotrebiti za izbor akcije koju treba preduzeti.
- Matematičari su dali alate za manipulaciju iskazima logičke izvesnosti, kao i neizvesnim, verovatnosnim iskazima. Oni su isto tako postavili osnovu za razumevanje izračunavanja i rasuđivanja o algoritmima.
- Ekonomisti su formalizovali problem donošenja odluka kojim se maksimizira očekivani ishod za donosioca odluke.
- Neuronaučnici su otkrili neke činjenice o tome kako mozak funkcioniše i o tome koje su sličnosti i razlike funkcionisanja mozga i računara.
- Psiholozi su prihvatili ideju da se ljudi i životinje mogu posmatrati kao mašine za obradu informacija. Lingvisti su pokazali da se korišćenje jezika uklapa u ovaj model.
- Inženjeri računarstva obezbedili su sve snažnije mašine koje čine primene VI mogućim.
- Teorija upravljanja bavi se projektovanjem uređaja koji rade optimalno na osnovu povratne sprege iz okruženja. U početku, matematička sredstva teorije upravljanja bila su potpuno različita od onih u VI, ali oblasti se približavaju jedna drugoj.

<sup>24</sup> „Ardogan potvrđuje da Turska neće prihvatiti bilo kakav pritisak, kojim bi se od nje zahtevalo da prizna Kipar” (prim.prev.).

- Istorija VI imala je cikluse uspeha, pogrešnog optimizma i, kao rezultat toga, umanjenja entuzijazma i sredstava koja su ulagana. Bilo je takođe i ciklusa uvođenja novih kreativnih pristupa i sistematskog poboljšavanja najboljih postojećih.
- VI je brže napredovala u prošloj deceniji zbog većeg korišćenja naučne metode u eksperimentisanju i poređenja pristupa.
- Savremeni napredak u razumevanju teorijske osnove inteligencije ide ruku pod ruku sa poboljšavanjima mogućnosti stvarnih sistema. Podoblasti VI postale su integrisanije i VI je uspostavila zajedničke temelje sa drugim disciplinama.

---

## BIBLIOGRAFSKE I ISTORIJSKE NAPOMENE

Metodološki status veštačke inteligencije razmatra se u knjizi Herba Sajmona (*Herb Simon*) *The Sciences of the Artificial* (Nauke o veštačkom) (1981), u kojoj se analiziraju istraživačke oblasti koje se bave složenim napravama. Knjiga objašnjava kako se VI može posmatrati i kao nauka i kao matematika. Cohen (1995) daje pregled eksperimentalne metodologije u okviru VI.

Turingov test (Turing, 1950) razmatraju Shieber (1994), koji oštro kritikuje upotrebljivost primeraka testa u takmičenju za Loebnerovu nagradu, i Ford i Hayes (1995), koji tvrde da sam test nije od koristi za VI. Bringsjord (2008) daje savete ispitivačima u Turingovom testu. Shieber (2004) i Epstein i dr. (2008) napravili su zbirke jednog broja članaka o Turingovom testu. Knjiga Džona Hoglenda (*John Haugeland*) *Artificial Intelligence: The Very Idea* (1985) (Veštačka inteligencija, prava ideja) daje čitljiv prikaz filozofskih i praktičnih problema VI. Antologije značajnih prvih radova u VI skupili su Webber i Nilsson (1981) i Luger (1995). *Encyclopedia of AI* (Shapiro, 1992) sadrži pregledne članke o skoro svakoj temi iz VI, kao i *Wikipedia*. Ovi članci obično predstavljaju dobru ulaznu tačku u istraživačku literaturu o svakoj temi. Pregledna i razumljiva istorija VI data je u knjizi Nilsa Nilsona (*Nils Nilsson*) (2009), jednog od onih koji su zasnivali oblast.

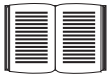
Najnoviji radovi objavljuju se u zbornicima značajnih konferencija o VI : *International Joint Conference on AI* (IJCAI) koja se održava svake dve godine, godišnja *European Conference on AI* (ECAI) i *National Conference on AI*, češće poznata kao *AAAI*, po organizaciji koja je sponzor konferencije. Glavni časopisi za opštu VI su *Artificial Intelligence*, *Computational Intelligence*, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, *IEEE Intelligent Systems* i elektronski *Journal of Artificial Intelligence Research*. Postoji, takođe, mnogo konferencija i časopisa posvećenih određenim oblastima i njih navodimo u odgovarajućim poglavljima. Glavna profesionalna društva za VI su Američko udruženje za veštačku inteligenciju (*American Association for Artificial Intelligence – AAAI*), *ACM* Specijalna interesna grupa za veštačku inteligenciju (*the ACM Special Interest Group in Artificial Intelligence-SIGART*) i Društvo za veštačku inteligenciju i simulaciju ponašanja (*Society for Artificial Intelligence and Simulation of Behaviour-AISB*). Časopis društva *AAAI AI Magazine* sadrži

mnogo tematskih i uvodnih članaka, a veb lokacija društva, [aaai.org](http://aaai.org), sadrži novosti, uvodne radove i osnovne informacije.

## VEŽBE

Vežbe koje slede imaju za cilj da podstaknu diskusiju, a neke bi mogle biti shvaćene kao semestralni projekti. Alternativno, preliminarna rešenja mogu se dati sada i ova rešenja se mogu preispitati po završetku čitanja knjige.

**1.1** Definišite svojim rečima: (a) inteligenciju, (b) veštačku inteligenciju, (c) agenta, (d) racionalnost, (e) logičko rasuđivanje.



**1.2** Pročitajte originalan *Turingov* rad o VI (Turing, 1950). U radu, on razmatra nekoliko primedbi na svoj predloženi poduhvat i svoj test inteligencije. Koje od primedbi još uvek imaju težinu? Da li su njegova opovrgavanja [primedbi] valjana? Možete li smisliti nove primedbe na osnovu razvoja od vremena u kome je on napisao rad? On u radu predviđa da će, do 2000 godine, računar imati 30% šansi da prođe petominutni Turingov test koji bi vodio neiskusni ispitivač. Šta mislite kolike bi bile šanse računara danas? A u sledećih 50 godina?

**1.3** Da li su refleksna delovanja (kao što je uzmicanje od vrele peći) racionalna? Da li su ona inteligentna?

**1.4** Pretpostavimo da smo proširili *Evansov* program ANALOGY tako da on može postići 200 poena na standardnom testu inteligencije. Da li bismo, u tom slučaju, imali program koji je inteligentiji od čoveka? Objasnite.

**1.5** Neuronska struktura morskog puža iz porodice *Aplysia* je široko proučavana (proučavanje je počeo dobitnik Nobelove nagrade *Eric Kandel*) jer se ona sastoji samo od oko 20.000 neurona, od kojih su većina veliki i sa njima se može lako manipulirati. Usvajajući da je trajanje ciklusa za *Aplysia* neuron približno isto kao i za neuron čoveka, kolika je njegova računarska snaga, izražena preko ažuriranja memorije u sekundi, u poređenju sa vrhunskim računarom opisanim na slici 1.3?

**1.6** Na koji način introspekcija – izveštavanje o nečijim unutrašnjim mislima – može biti netačna? Da li bih ja mogao grešiti u pogledu predmeta mog razmišljanja? Diskutujte.

**1.7** U kojoj meri su sledeći računarski sistemi primerci sistema veštačke inteligencije:

- skeneri bar koda u supermarketima.
- Mašine pretraživanja veba.
- Telefonski meniji koji se aktiviraju glasom.
- Algoritmi usmeravanja (rutiranja) na Internetu koji se dinamički odazivaju na stanje mreže.

**1.8** Mnogi predloženi računski modeli kognitivnih aktivnosti sadrže veoma kompleksne matematičke operacije, kao što su konvolucija slike sa Gausijanom

ili nalaženje minimuma funkcije entropije. Većina ljudi (i sigurno nijedna životinja) nisu baš nikada učili ovu vrstu matematike, skoro niko je nije učio pre fakulteta, i skoro niko ne može izračunati konvoluciju funkcije sa Gausijanom napamet. Kakvog smisla ima reći da „sistem viđenja” izvršava ovu vrstu matematike, kada stvarna osoba nema predstavu kako da je izvrši?

**1.9** Zašto bi evolucija težila da daje sisteme koji deluju racionalno? Za ostvarivanje kojih ciljeva su takvi sistemi projektovani?

**1.10** Da li je VI nauka, ili je tehnika? Ili nije nijedno od toga, ili je oboje? Objasnite.

**1.11** „Nesumnjivo da računari ne mogu biti inteligentni – oni mogu raditi samo ono što im njihovi programeri kažu [da rade]”. Da li je druga tvrdnja istinita i da li ona implicira prvu?

**1.12** „Nesumnjivo da životinje ne mogu biti inteligentne – one mogu raditi samo ono što im govore njihovi geni [da rade]”. Da li je druga tvrdnja istinita i da li ona implicira prvu?

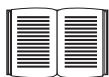
**1.13** „Nesumnjivo da životinje, ljudi i računari ne mogu biti inteligentni – oni mogu raditi samo ono što su im, atomima koji ih čine, naložili zakoni fizike [da rade]”. Da li je druga tvrdnja istinita i da li ona implicira prvu?

**1.14** Izvršite istraživanje literature u oblasti VI da biste ustanovili da li sledeći zadaci mogu u ovom trenutku biti rešeni korišćenjem računara:

- a. korektno igranje stonog tenisa (ping-ponga).
- b. Upravljanje automobilom u centru Kaira, u Egiptu.
- c. Upravljanje automobilom u mestu *Victorville, California*.
- d. Kupovanje namirnica za nedelju dana na pijaci.
- e. Kupovanje namirnica za nedelju dana na Webu.
- f. Korektno igranje bridža na takmičarskom nivou.
- g. Otkrivanje i dokazivanje novih matematičkih teorema.
- h. Pisanje priče sa namerom da bude smešna.
- i. Davanje kompetentnog pravnog saveta u specijalizovanoj oblasti prava.
- j. Prevođenje govornog engleskog u govorni švedski u realnom vremenu.
- k. Izvršavanje složene hirurške operacije.

Za, u ovom trenutku, neizvodive zadatke, pokušajte da ustanovite o kojim teškoćama se radi i da predvidite da li će, ako uopšte budu, te teškoće biti prevaziđene.

**1.15** U raznim podoblastima VI održavaju se takmičenja tako što se definiše standardni zadatak i pozivaju se istraživači da daju sve od sebe u njegovom rešavanju. Primeri za ovo obuhvataju *DARPA Grand Challenge* takmičenje robotskih automobila, takmičenje u planiranju *The International Planning Competition*, *Robocup* robotsku fudbalsku ligu, *TREC* skup u vezi sa izdvajanjem uskladištenih informacija i takmičenja u mašinskom prevođenju i raspoznavanju govora. Ispitajte pet od ovih takmičenja, i opišite napredak načinjen tokom godina. U kojoj meri su takmičenja unapredila nivo najnovijih dostignuća u VI?



U kojoj meri su ona nanela štetu oblasti VI odlaćeci energiju od rada na novim idejama?