

Modeliranje in optimiranje človekove veščine

Tanja Urbančič

Institut Jožef Stefan, Odsek za inteligentne sisteme in Center za prenos znanja na področju informacijskih tehnologij, Jamova 39,
1000 Ljubljana, Slovenija, e-pošta: tanja.urbancic@ijs.si
Politehnika Nova Gorica, Visoka poslovno-tehniška šola, Vipavska 13, p.p.301, 5001 Nova Gorica, Slovenija

Raziskave strojnega učenja so potrdile možnost, da se računalnik na osnovi posnetkov človekovega izvajanja določene veščine lahko nauči izvajati to veščino na podoben ali celo izboljšan način. Pri tem je zelo pomembno, da omenjene metode omogočajo izgradnjo razumljivega modela človekove veščine. V prispevku obravnavamo vprašanje, ali lahko uporabimo te izsledke tudi za izboljšanje človekove veščine in še zlasti za večjo učinkovitost procesa, v katerem človek to veščino pridobiva. Predstavljeni so poskusi na področju učenja vodenja dinamičnih sistemov, pokazane pa so tudi širše možnosti za uporabo modeliranja in optimiranja človekove veščine na področju izobraževanja.

Ključne besede: strojno učenje, umetna inteligenca, modeliranje veščine, prenos veščine, optimiranje učenja

1. Uvod

Določena področja reševanja problemov ali izvajanja nalog zahtevajo izjemno izurjene profesionalce, od katerih ni odvisen le napredek tehnike in družbe, pač pa včasih dobesedno tudi človeška življenja. Zelo nazorne primere najdemo pri pilotih, zdravnikih, manj usodne, a vendarle pomembne pa na primer pri operaterjih na določenih napravah, voznikih žerjavov, ipd. Napredek na področju računalništva in informatike ponuja ogromno možnosti za pomoč pri izvajanju tovrstnih nalog, še zlasti pri zagotavljanju zanesljivosti, pravičnih reakcij v izjemnih primerih in podobno. Prav tako zanimive, a zaenkrat še veliko manj izkoriščene pa so možnosti, ki jih sodobne računalniške metode odpirajo na področju poučevanja tovrstnih veščin. Znano je, da je pot od začetnika do dobro usposobljenega izvajalca lahko izjemno dolga in draga, do vrhunsko usposobljenega pa seveda še toliko bolj. Pogosto je za razvoj veščine potrebnih ogromno izkušenj, te pa se pridobivajo bodisi na zelo dragih napravah (npr. posebni simulatorji letenja, ki v vseh fizičnih podrobnostih posnemajo avion), ob asistenci vrhunskih in seveda dragih ekspertov, ali pa med bolj ali manj učinkovitim samostojnim spopadanjem z realnimi situacijami, kar pa ima lahko v neoptimalnih izidih tudi dokaj visoko ceno.

S poskusi je bilo pokazano, da ima človek včasih drugačno predstavo o svojem izvajanju določene naloge, kot pa se to pokaže iz posnetkov tega izvajanja in iz njihovih naknadnih analiz (Urbančič, Bratko, 1994). To je posledica dejstva, da večje izvajanje določene naloge sčasoma postane precej podzavestno, zaradi česar ga je težko natančno opisati. Vse to otežuje tudi proces poučevanja takšne veščine, saj je včasih težko ugotoviti, kaj so pogloblitve razlike med izvajanjem posameznikov in kje ležijo ključni razlogi za njihov

uspeh ali neuspeh. Opisi lastnega izvajanja, kot jih podajajo ljudje sami o sebi, so tipično zelo nenatančni, včasih pa celo nekonsistentni z dejanskim dogajanjem. Zato je toliko bolj pomembna možnost, da bi tako učiteljem kot učencem na področjih, ki vključujejo veščine, omogočili bolj zanesljiv in sistematičen uvid v dejansko stanje pridobivanja posameznikove veščine. Nobena analiza ali diskusija sicer ne more v celoti nadomestiti lastnega poskušanja in izkušenj pri tovrstnih opravilih, možno pa je z njimi pospešiti proces učenja in tudi izboljšati njegove rezultate.

Omenjene težave želimo odpraviti z modeliranjem človekove veščine, s katerim bi v izbranem formalizmu lažje popisali bistvene značilnosti posameznih strategij in operativne podrobnosti izvajanja izbrane naloge. Poudarek ni toliko v tem, da bi model znal enakovredno posnemati posameznika pri njegovem izvajanju, kot v njegovi transparentnosti. Za razliko od subsimboličnih pristopov, kot so npr. nevronske mreže, nas tukaj zanimajo predvsem metode, ki izrazijo pravila v človeku razumljivi obliki (Michie 1995). Le tako jih je mogoče navezati na človekovo obstoječe znanje, jih z njim primerjati, preverjati in tako v iterativnem procesu izboljšati ne le generirano pravilo kot model reševanja naloge, pač pa v težjih primerih tudi obstoječe človekovo znanje o določenem problemu.

Na področju umetne inteligence je bilo objavljenih več študij, ki model človekove veščine gradijo iz posnetkov človekovega izvajanja s pomočjo programov za strojno učenje, npr. (Michie in sod. 1990; Sammut in sod. 1992; Urbančič in Bratko 1994). Rezultat je odločitveno ali regresijsko drevo, ki za različna stanja sistema prepisuje kontrolne akcije. Takšno drevo posnema izvajanje, zajeto v posnetkih, ki so služili kot vir učnih primerov. Podrobnejša predstavitev in analiza tovrstnih študij je bila objavljena v

članku (Bratko in Urbančič 1997), članek z bistveno izboljšavo metode, ki upošteva tudi kvalitativne vidike strategije, pa sta objavila Šuc in Bratko (2000).

V nadaljevanju najprej navajamo vrste znanja in vanje umestimo veščino kot poseben primer. Sledi opis značilnosti učenja veščine, kot so bile spoznane v več serijah poskusov učenja vodenja računalniškega simulatorja in fizičnega modela žerjava. Zaključki izvedenih poskusov so izhodišče za razpravo o možnostih širše uporabe v izobraževanju s posebnim poudarkom na še odprtih raziskovalnih vprašanjih.

2. O vrstah znanja

V vsakdanjem življenju uporabljamo besedo *znanje* v zelo širokem smislu. Že bežen razmislek pokaže, da je njen pomen v resnici večplasten. Tako npr. rečemo, da Vasja *zna* voziti kolo, da Iztok *zna* prepričati brata, da mu posodi kolo, da Staš *zna* popraviti kolo in razložiti, kako deluje. Podobno Strnad (1993) v razpravi o znanju, ki ga uporablja raziskovalec v fiziki, ugotavlja: »Znanje te vrste ima več plasti, ki se pokažejo, ko ga uporabimo v enakih okoliščinah, v spremenjenih okoliščinah, samostojno v novih okoliščinah in zvezah, povežemo z znanjem z drugih območij, vgradimo pregled nad celoto in v razumevanje celote ali celo ustvarimo novo znanje.«

Klasična znanost in filozofija sta se ukvarjali izključno s propozicionalnim znanjem (t.j. znanjem, za katerega imamo propozicionalni opis; misli torej izražamo s stavki). Klasična definicija propozicionalnega znanja, ki jo je vpeljal že Platon, vsebuje tri nujne in skupaj zadostne pogoje: utemeljenost, resnico in prepričanje. Na kratko, propozicionalno znanje je utemeljeno resnično prepričanje. Znanost deluje na intersubjektivnem nivoju, zato z utemeljenostjo mislimo navezavo na temeljna dejstva, ki jih priznava znanstvena skupnost. Utemeljitev so torej razlage, ki jih sprejemamo zato, ker povezujejo spoznano z osnovnimi spoznanji (najvišji zakoni, temeljna dejstva, odločilni razlogi ipd.) na nekem področju (Ule 1992).

Seveda se v znanosti in izobraževanju ne ukvarjamo samo s sistematično in metodično pojasnitvijo pojavov, vsekakor pa je to tisti cilj, ki omogoča doseganje ostalih ciljev, npr. reševanje problemov, ki jih ljudem zastavlja narava, človeška družba, tehnika ipd. (Ule 1992). Pri tem so pomembni tudi odgovori na vprašanja »kaj« in »kako«, čeprav z njimi ne dosežemo sistematične povezave s celoto znanja. Tako npr. Ryle (1978) na podlagi prepričanja, da vsega znanja ne moremo zaobjeti s pojmom propozicionalnega znanja, razlikuje med »vedeti *da*« (angl. knowing that) in »vedeti *kako*« (angl. knowing how).

Vsakdo je že kdaj obstal pred mojstrstvom človeka, ki se je v določeni veščini izuril do popolnosti. Ostrmimo nad tem, kako vrhunski športnik obvlada svoje telo. Občudujemo natančnost in hitrost, s katero vrhunski voznik obvlada svoje vozilo. Če bi ga vprašali, *kako* to počne, bi najverjetneje dobili odgovor, da so bistvene izkušnje. Ugotovili bi, da se marsikateri od svojih reakcij sploh ne zaveda, še manj pa jih *zna* razložiti. Gre za *veščino*, ki je operativna in jo je mogoče pokazati oziroma opazovati, zelo težko pa jo je natančno

opisati. Zato je tovrstno znanje težko prenosljivo in zelo zahtevno za poučevanje. Kot prepoznavno geslo veščine bi lahko izbrali »know how«, za njeno zunanjo manifestacijo pa »show how« (Michie 1986), saj je očitno tovrstno znanje veliko lažje manifestirati s prikazom *primerov* kot pa podati njegov besedni opis.

Sčasoma človek ob ponavljajočem se reševanju določene naloge razvije način ravnanja, ki se je izkazal za uspešnega. Spreminja ga samo, če ga v to prisilijo nove okoliščine. Če ga uspemo opisati, dobimo *strategijo* in s tem tudi določen vpogled v prej netransparentno veščino. Pridobimo pa tudi določeno stopnjo prenosljivosti in s tem možnost, da morda skrajšamo in olajšamo učenje tistim, ki se v veščini šele urijo.

3. Učenje veščine

Na Institutu Jožef Stefan smo izvedli več serij poskusov z učenjem veščine, v katerih so skupine prostovoljcev razvijale veščino ročnega vodenja dinamičnega sistema. V nadaljevanju opisujemo tiste, pri katerih je bil poudarek na opazovanju poteka človekovega samostojnega učenja in na vplivu, ki ga ima na ta proces posredovanje informacij o uspešnih strategijah, ki so jih za isto nalogo razvili drugi. Ob dejstvu, da je možno na podlagi posnetkov izvajanja in na podlagi drugih prijemov (anketiranje, vizualizacija) priti do modela veščine, nas zanima vprašanje, ali je možno model uspešnega izvajanja enostavno predati učencu in pričakovati uspeh tudi od njega?

3.1 Učenje vodenja računalniškega simulatorja

Skupina šestih prostovoljcev se je učila ročno voditi računalniški simulator žerjava s pojavno obliko, ki je spominjala na računalniško igrice in ni dajala informacije o tem, za kateri dinamični sistem gre. Na zaslonu so se podobno kot na merilnih instrumentih prikazovale le sprotne vrednosti posameznih fizikalnih spremenljivk in tudi naloga je bila izražena s ciljnim vrednostmi vseh šestih spremenljivk, do katerih je bilo potrebno pripeljati sistem v čim krajšem možnem času. To je mogoče s pritikanjem na tipke \neg , \otimes , $-$ in \hat{Z} , ki vplivajo na spremembe ustreznih kontrolnih spremenljivk. Če je vnaprej določen čas potekel pred uspešnim zaključkom naloge ali če je katerakoli od spremenljivk padla izven vnaprej določenega območja vrednosti, je bil poskus prekinjen in označen kot neuspešen. Celoten proces učenja je bil posnet na računalniške datoteke, ki so podrobno zabeležile potek vsakega poskusa vključno z vsemi kontrolnimi posegi posameznika.

Prostovoljci so se v prvi fazi učili popolnoma samostojno, le z lastnim poskušanjem, brez medsebojne komunikacije in tudi brez vsakih vnaprejšnjih napotkov učitelja. Vsak je imel na razpolago 200 poskusov za učenje. Temu je sledila diskusija z analizo naučenih strategij in izmenjavo izkušenj, zatem pa smo z dodatnimi 50 poskusi želeli preveriti učinek tako dobljenih spoznanj in napotkov.

Vseh šest oseb je v prvih 200 poskusih uspelo obvladati nalogo, vendar so bile med njimi zelo velike razlike tako v

hitrosti učenja kot v strategiji, zanesljivosti in hitrosti naučenega vodenja sistema. Nekateri so se nagibali k hitremu, a nezanesljivemu vodenju, drugi pa so izvajali nalogo bolj konzervativno, počasneje, a veliko bolj zanesljivo.

Različni vidiki učenja vključno s pričevanji prostovoljcev in grafičnimi prikazi tipičnih potekov učenja so natančno opisani v (Urbančič 1994). Rezultat, ki je najbolj pritegnil pozornost in tudi spodbudil nadaljnje raziskave, se nanaša prav na učinke, ki jih je imela izmenjava izkušenj na izvajanje v dodatnih 50 poskusih. Na zelo nazoren način je bilo pokazano, da so po diskusiji opazno izboljšale izvajanje le osebe, ki so že pred tem dosegle določeno raven na podlagi lastnega poskušanja in so prejete konkretne informacije lahko aplicirale na svoj nepopoln, a v bistvenih potezih pravilen način izvajanja. Le-tega so na podlagi prejetih informacij uspele v določenih podrobnostih spremeniti in tako izboljšati rezultat, torej izvesti nalogo v krajšem času. Ena od njih je čas izboljšala za celih 24.85%. Osebe, ki pred razpravo še niso dovolj obvladale naloge, si tudi z besednimi navodili niso uspele pomagati. Ker je naloga pretežno senzorična in motorična, navodila pa na povsem drugem, besednem nivoju, pride do težav, če želimo na podlagi navodil dejansko posnemati izvajanje nekoga drugega. Ena od oseb celo poroča o zmedbi, ki jo je začutila v poskusu sinteze navodil z njenim lastnim načinom vodenja. Možna razlaga bi bila tudi, da so osebe po določenem času »ujete« v svoj način izvajanja, ki ga je včasih zelo težko spremeniti. To bi lahko bil tudi razlog, da ni bilo opaziti izrazitega (a preverjeno še možnega) napredka pri nekaterih osebah, ki so že prej dosegale dobre rezultate.

3.2 Učenje vodenja fizičnega modela žerjava

Skupina šestih prostovoljcev je imela nalogo, da se s poskušanjem nauči voditi laboratorijsko napravo – fizični model žerjava. Naprava ima šest senzorjev in krmilno elektrono. Voditi jo je možno s programom na računalniku ali pa ročno preko tipkovnice in sicer tako, da sprožamo naslednje akcije: premikaj voziček v levo, premikaj voziček v desno, dvigaj breme, spuščaj breme, prekini trenutno akcijo. Konkretna naloga vsakega posameznika je bila, da se nauči breme premakniti iz začetnega v končni položaj, pred tem ga še dvigniti na določeno višino, ga zanihati za kot najmanj 6 stopinj in potem izniti tako, da amplituda ne presega ene stopinje. Nalogo je potrebno izvesti v čim krajšem času, hkrati pa paziti, da ne pride do trka. Če je določen čas iztek pred zaključkom naloge ali če je prišlo do trka, se poskus označi kot neuspešen.

Prostovoljci so se tudi v tem poskusu v prvi fazi učili samostojno, torej z lastnim poskušanjem in brez medsebojne komunikacije. Vsak je imel na razpolago 60 poskusov za učenje in potem 10 »inštruktorskih« poskusov, v katerih naj ne bi eksperimentirali, pač pa čim lepše prikazali svoj način vodenja. Tej fazi je sledila diskusija z analizo naučenih strategij in izmenjavo izkušenj, zatem pa smo z dodatnimi 20 poskusi želeli preveriti učinek tako dobljenih spoznanj in napotkov.

Na podlagi izkušnje iz zgodnejših poskusov, ki je pokazala, da ljudje z veliko težavo in z razmeroma majhno natančnostjo, včasih pa celo na podlagi zmotnih prepričanj opisujemo svoje lastno izvajanje naloge z besedami, smo se

v tem primeru odločili diskusijo nasloniti na vizualno predstavitev osnovnih značilnosti uporabljene strategije ter jo le izjemoma dopolniti s kvantitativnimi informacijami. To je omogočilo precej hitrejšo analizo in ugotavljanje bistvenih podobnosti oziroma razlik med izvajanjem posameznikov ter ugotavljanje skupnih kvalitativnih značilnosti izvajanja tistih, ki so bili pri vodenju uspešnejši.

Največje razlike v poteku učenja so se pojavile pri tem, kako hitro je posameznik obvladal nalogo. Sami so to opisali kot trenutek, ko veš, da boš od takrat naprej izvajal poskuse praviloma uspešno. Različna je bila tudi hitrost izboljševanja izvajanja, pri čemer hitrost izboljševanja ni nujno povezana s hitrostjo učenja na začetku. Tudi če je posameznik hitro osvojil tehniko, to še ni pomenilo, da jo bo tudi hitro izboljševal. Nasprotno je oseba, ki je tehniko osvojila relativno pozno, kasneje rezultate zelo izboljšala in dosegla tudi najvišjo zanesljivost izvajanja. Tudi v tem nizu poskusov so nekateri po diskusiji opazno napredovali, tako je npr. ena oseba izboljšala čas za 13.5%, ena pa celo za 20%. Ponovno pa je prišlo tudi do pojava, ko oseba ni uspela dovolj spremeniti izvajanja, da bi prišlo do izboljšanja. Sama pojav opisuje z besedami »Očitno sem preveč naravnana na to strategijo« in potrjuje hipotezo, ki smo jo postavili že ob prvem nizu poskusov. Podrobnejši opis poskusov in rezultatov je dosegljiv v (Urbančič in sod. 1998).

4. Kako izboljšati učinkovitost učenja

Opisane rezultate lahko strnemo v misel, da je možno na učinkovitost učenja večšine bistveno vplivati, če upoštevamo, v katerem trenutku je učeča se oseba že zrela za določen napotek. Prezgodnji poseg učitelja lahko zgreši svoj namen, ker ga učenec še ni sposoben sprejeti in upoštevati. Prepozna poseg sicer ni nujno neuspešen, vendar pa terja od učeče se osebe dodaten napor, da se najprej oddalji od svojega načina, ki se ga je medtem že dodobra oprijela, in ga nadomesti z drugimi.

V vsakem primeru ne zadošča, da učencu opišemo model uspešnega izvajanja in pričakujemo, da ga bo prej ali slej osvojil. Potrebno se je poglobiti tudi v njegovo trenutno razumevanje problematike in trenutno strategijo reševanja naloge. Je v grobem pravilna, a nepopolna? Je napačna v kakšni od bistvenih potez? Pri določenih nalogah pride v poštev tudi vprašanje, ali je kljub razlikam med njo in strategijo učitelja morda inovativna in perspektivna, čeprav še ne popolnoma razvita in dodelana? Posamezniku lahko resnično pomaga ne le model učiteljevega izvajanja naloge, pač pa primerjava med modelom učiteljevega in trenutnim modelom učenčevega izvajanja ter na podlagi te primerjave generiran pravi nasvet ob pravem času. To kaže na možnost uporabe modeliranja človekove večšine v precej širšem smislu, kot je bilo zaslediti doslej. Medtem ko se večina že omenjenih študij uporabe strojnega učenja za modeliranje večšine osredotoča na posnemanje uspešnih izvajalcev in v redkih primerih še na razumevanje njihove strategije, menimo, da bi bilo za uspešno pomoč ljudem pri učenju smiselno generirati tudi model trenutnega razumevanja oziroma stanja večšine pri učencu. Ta naloga zahteva primerno konceptualizacijo v vsakem

posameznem primeru, določanje pravega trenutka za posnetek stanja učenčeve veščine, določitev prioritet oziroma primerne vrstnega reda korakov, ki učinkovito pripeljejo do želenega rezultata, čim hitreje opažanje pojavov, ki učenca oddaljujejo od uspeha in še veliko drugih vprašanj, ki so izziv za raziskave strojnega učenja in sicer oddaljen, a ne neuresničljiv obet za učinkovitejše in uspešnejše človekovo učenje veščine.

Literatura

- [1] Bratko I., Urbančič T.: Transfer of control skill by machine learning. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol.10, No.1, 1997, str. 63–71.
- [2] Michie D.: Machine learning and knowledge acquisition. *Experts systems: Automating Knowledge Acquisition* (eds. Michie D., Bratko I.). Addison Wesley, 1986.
- [3] Michie D.: Consciousness as an Engineering Issue, Part II. *Journal of Consciousness Studies*, Vol.2, No.1, 1995, str. 52–66.
- [4] Michie D., Bain M., Hayes-Michie J.: Cognitive models from subcognitive skills. In: *Knowledge-Based Systems in Industrial Control* (Eds. Grimble M., McGhee J., Mowford P.), Stevenage: Peter Peregrinus, 1990, str. 71–99.
- [5] Ryle, G.: *The Concept of Mind*. Penguin Books Ltd., Harmondsworth, Middlesex, England, 1978.
- [6] Sammut C., Hurst S., Kedzier D., Michie D.: Learning to fly. *Proceedings of the Ninth International Workshop on Machine Learning* (Eds. Sleeman D., Edwards P.), Morgan Kaufmann, 1992, str. 385–393.
- [7] Strnad J.: Ali mora znati, kdor uči? *Obzornik za matematiko in fiziko*, letnik 40, št. 1, 1993, str. 23–31.
- [8] Šuc D., Bratko I.: Skill Modeling through Symbolic Reconstruction of Operator's Trajectories. *IEEE Transaction on System, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, Vol.30, No.6, 2000, str. 617–624.
- [9] Ule A.: *Sodobne teorije znanosti*. Znanstveno in publicistično središče. Ljubljana, 1992.
- [10] Urbančič T.: *Avtomatizirana sinteza znanja za vodenje sistemov*. Doktorska disertacija, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Univ. v Ljubljani, 1994.
- [11] Urbančič T., Bratko I.: Reconstructing human skill with machine learning. *Proceedings of the 11th European Conference on Artificial Intelligence ECAI 94* (Ed. Cohn A.), John Wiley & Sons, 1994, str. 498–502.
- [12] Urbančič T., Križman V., Filipič B.: Učenje in izpopolnjevanje človekove veščine vodenja. *Zbornik sedme elektrotehniške in računalniške konference ERK '98* (Ur. Zajc B.), Ljubljana, Slovenska sekcija IEEE, 1998, zv. B, str. 133–136.

Tanja Urbančič je raziskovalka na Odseku za inteligentne sisteme Instituta Jožef Stefan in docentka za področje računalništva in informatike na Politehniko v Novi Gorici. Na Institutu Jožef Stefan vodi Center za prenos znanja na področju informacijskih tehnologij, na Politehniko Nova Gorica pa Visoko poslovno-tehniško šolo. Raziskuje modeliranje in prenos človekove veščine ter uporabo metod umetne inteligence pri upravljanju z znanjem. Koordinira izobraževalni del mednarodnega projekta Data mining and Decision support for business competitiveness: A European virtual enterprise. Je avtorica številnih mednarodnih publikacij.



Čebela, Tim, 1.b razred, Osnovna šola Neznanih talcev, Dravograd, mentorica: Mateja Kovše, svetovalka: Ivana Mori