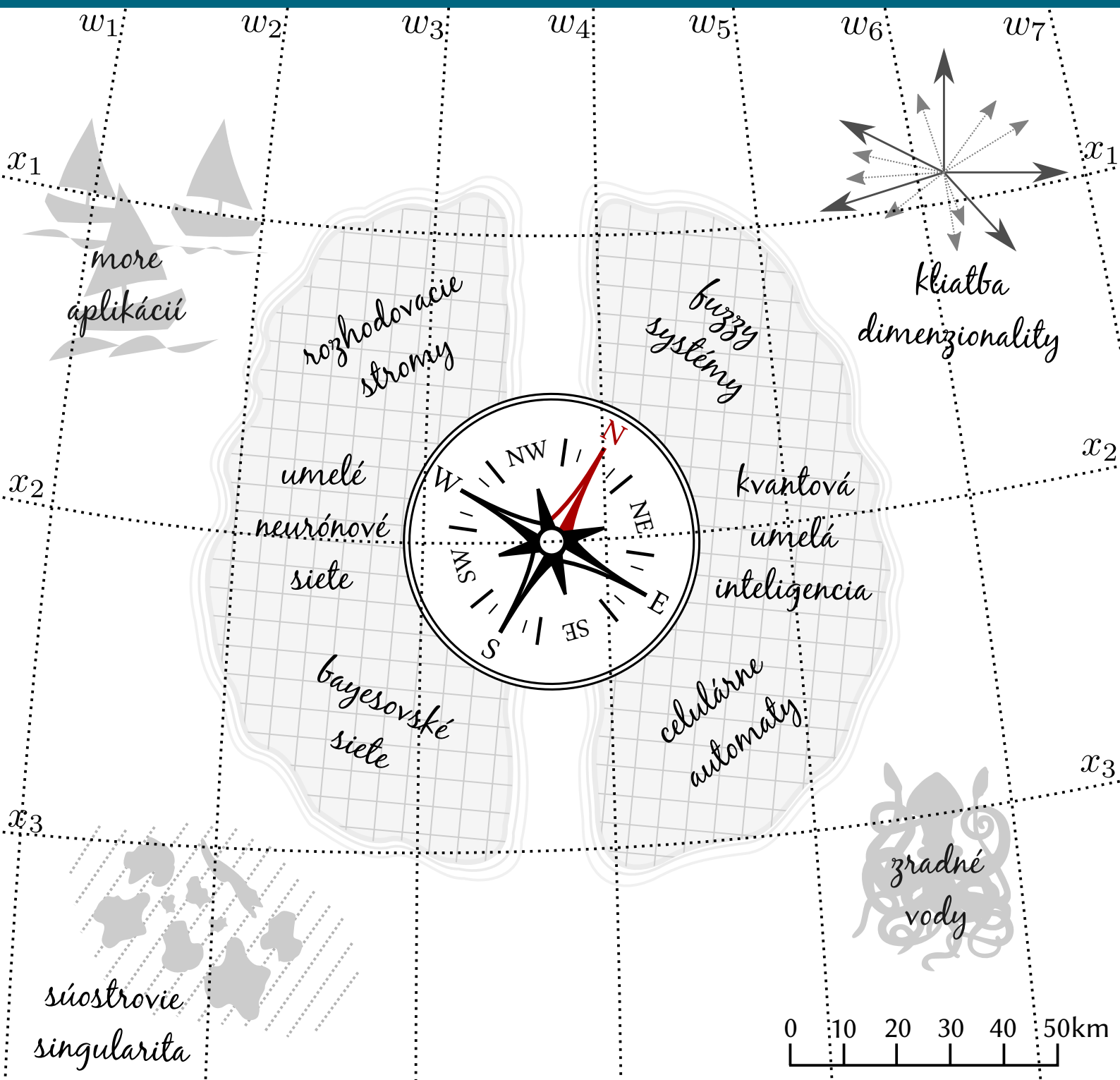


KOMPENDIUM VYBRANÝCH METÓD UMELEJ INTELIGENCIE

1



MICHAL GREGOR
ALEŠ JANOTA
MARIÁN HRUBOŠ

aby ste vo svete umelej
inteligencie neblúdili...

Táto publikácia bola vytvorená s podporou Kultúrnej a edukačnej grantovej agentúry MŠVVaŠ SR v rámci riešenia projektu KEGA c. 014ŽU-4/2018: „Rozšírenie obsahu študijného odboru o aktuálne požiadavky praxe v oblasti metód umelej inteligencie a IT.

Vedecký redaktor: prof. Ing. Milan Dado, PhD.

Recenzenti: prof. Ing. Iveta Zolotová, PhD.
 doc. Ing. Lenka Landryová, CSc.

Vydala Žilinská univerzita v Žiline/EDIS-vydavateľské centrum ŽU

© M. Gregor, A. Janota, M. Hruboš, 2018

ISBN 978-80-554-1539-0

Táto učebnica vznikla v rámci projektu KEGA 014ŽU-4/2018, ktorého názov „Rozšírenie obsahu študijného odboru o aktuálne požiadavky praxe v oblasti metód umelej inteligencie a IT“ vcelku zrozumiteľne naznačuje zámer jeho riešiteľov. Publikácia je jedným z výstupov prvého roku riešenia tohto projektu. Predstavuje úvodný pohľad na vybranú skupinu metód umelej inteligencie a informačných technológií, ktorý riešitelia zámerne poňali ako vysokoúrovňový prehľad a prvotné predstavenie skupiny metód, ktoré budú v neskorších etapách podrobnejšie rozpracúvané, a to až do konečnej podoby praktických postupov a návodov určených nielen pre akademickú aféru ale aj pre spolupracujúce subjekty z praxe.

Autori učebnice sú pracovníkmi Katedry riadiacich a informačných systémov (ďalej len KRIS) na Fakulte elektrotechniky a informačných technológií (pôvodne Elektrotechnickej fakulty) Žilinskej univerzity v Žiline. Spúšťacím impulzom pre vznik tohto projektu bolo zintenzívnenie spolupráce pracoviska autorov s priemyslom – konkrétne firmou Continental Matador Truck Tires, s. r. o., z ktorej vyplynuli požiadavky na viaceré zmeny a rozšírenia obsahu študijných programov ponúkaných v rámci študijného odboru automatizácia.

Sme svedkami oživenia záujmu o techniky umelej inteligencie v nadväznosti na permanentný nárast výpočtového výkonu, množstva údajov okolo nás ako aj rozvoja teoretického poznania. Technológie umelej inteligencie sa stávajú neoddeliteľnou súčasťou technologického priemyslu, čo pomáha riešiť mnohé náročné problémy v oblasti informačných vied.

Trochu netradičný názov učebnice nebol zvolený náhodne. Slovo „kompendium“ (z latinského *compendere*: „spolu vážiť“; *com-* (spolu), *pendere* (zavesiť, odvážiť)) sa veľmi často používa na označenie súhrnu poznatkov vedného odboru, ktorý je podávaný v skrátenej forme. V tomto prípade ide o zhrnutie viacerých metód umelej inteligencie, s ktorými pracovníci KRIS prichádzajú dlhobnejšie do styku, aktívne ich využívajú vo svojej výskumnej činnosti a v neposlednom rade sú tieto viac alebo menej obsiahnuté aj v pedagogickom procese. V prenesenom zmysle slova by sme mohli povedať, že výraz kompendium okrem toho, že začína rovnako ako výraz kompas, má ambíciu podobne ako kompas pomáhať čitateľovi zorientovať sa a nájsť správny smer. Preto je obálka učebnice

poňatá ako mapa sveta – sveta umelej inteligencie – a jej ústredným symbolom je práve kompas. Vzhľadom na všeobecne známy široký záber odvetvia umelej inteligencie si autori rozhodne nenárokujú pokrytie všetkých oblastí – vybrané hlavné témy kompendia sú vypísané okolo kompasu a symbolicky sú umiestnené na dvoch ostrovoch v tvare ľudského mozgu.

Veľa tvorivých podnetov pri čítaní tejto knihy a hľadanie toho správneho smeru v oblasti umelej inteligencie Vám želajú autori.

Žilina IX/2018

Predslov	i
Zoznam skratiek	vi
1 Úvodné pojmy	1
1.1 Typy učenia: rozdelenie podľa druhu úlohy	3
1.2 Zovšeobecnenie	7
1.3 Globálne a lokálne zovšeobecnenie	11
1.4 Výpočtová zložitosť	14
2 Fuzzy prístupy	22
2.1 Teória fuzzy množín	24
2.2 Približné uvažovanie – fuzzy logika	32
2.3 Fuzzy regulátory	37
Kam ďalej?	44
3 Bayesovské siete	50
3.1 Definícia bayesovskej siete	52
3.2 Kauzálne siete a d-separácia	54
3.3 Práca s bayesovskou sieťou	56
3.4 Problém veľkosti tabuliek podmienených pravdepodobností	62
3.5 Naivný bayesovský model	67
3.6 Influenčné diagramy	75
3.7 Dynamické bayesovské siete	79
3.8 Objektovo-orientované bayesovské siete	80
3.9 Voľba softvérového nástroja	81
Kam ďalej?	83

4	Umelé neuronové siete a hlboké učenie	86
4.1	Model a základná teória	86
4.2	Kontrolované učenie v neuronových sieťach	91
4.3	Úlohy kontrolovaného učenia	109
4.4	Problém preučenia a ako mu predísť	112
4.5	Inicializácia váhovej matice	115
4.6	Škálovanie vstupov	116
4.7	Konvolučné siete a spracovanie obrazu	116
	Kam ďalej?	126
5	Rozhodovacie stromy	135
5.1	Štruktúra rozhodovacieho stromu	135
5.2	Ako zostavovať rozhodovacie stromy	136
5.3	Prerezávanie	148
5.4	TDIDT algoritmy sú lačné	151
5.5	Zovšeobecnenie v rozhodovacích stromoch	153
5.6	Metódy učenia pre rozhodovacie stromy	154
5.7	Príklad: Algoritmus ID3	156
5.8	Učenie pomocou komisií	162
5.9	Učenie pomocou komisií a rozhodovacie stromy	167
5.10	Fuzzy rozhodovacie stromy	169
	Kam ďalej?	172
6	Celulárne automaty	175
6.1	Jednorozmerné CA	176
6.2	Viacrozmerné CA	182
6.3	Hra života	184
6.4	Aplikácie	186
	Kam ďalej?	189
7	Úvod do kvantovej umelej inteligencie	194
7.1	Kvantový bit	194
7.2	Diracova notácia	196
7.3	Blochova sféra	197
7.4	Fyzická reprezentácia	199
7.5	Meranie qubitú	200
7.6	Evolúcia qubitú v čase	201
7.7	Multi-qubitový systém	202
7.8	Kvantové algoritmy	203
7.9	Zhrnutie základných princípov kvantového výpočtového modelu	206

Kam ďalej?	209
Poznámky	211

ZOZNAM SKRATIEK

- AN:** umelý neurón (angl. artificial neuron), s. 86
- ANN:** umelá neurónová sieť (angl. artificial neural network), s. 86, 89, 127, 131
- API:** aplikačné programové rozhranie (angl. application programming interface), s. 81
- CA:** celulárny automat (angl. cellular automaton), s. 175–177, 179, 181, 180–182, 184, 186, 192
- CART:** klasifikačný a regresný strom (angl. classification and regression tree), s. 146, 155
- CoA:** metóda ťažiska (angl. centre of area); tiež CoG, s. 36
- CoG:** metóda ťažiska (angl. centre of gravity); tiež CoA, s. 36
- CPD:** tabuľka podmienených pravdepodobností (angl. conditional probability distribution), s. 52
- CPT:** tabuľka podmienených pravdepodobností (angl. conditional probability table), s. 52, 60, 62, 65–67
- CSP:** problém spĺňania ohraňení (angl. constraint satisfaction problem), s. 204
- DBN:** dynamická bayesovská sieť (angl. deep Bayesian network), s. 79
- DFT:** dynamický poruchový strom (angl. dynamic fault tree), s. 79
- FIS:** fuzzy inferenčný systém, s. 33, 34, 40, 41, 46, 47
- FLC:** fuzzy regulátor (angl. fuzzy logic controller), s. 37
- FM:** fuzzy množina, s. 24, 26, 27, 29–31
- GUI:** grafické užívateľské rozhranie (angl. graphic user interface), s. 81
- ID3:** iteratívny dichotomizér 3 (angl. iterative dichotomiser 3), s. 154, 156
- LSTM:** Dlhá krátkodobá pamäť (angl. long short-term memory), s. 126
- MAP:** maximálna aposteriórna pravdepodobnosť (angl. maximum a posteriori probability), s. 69
- MCMC:** (angl. Markov chain Monte Carlo), s. 81
- NAG:** Nesterovov akcelerovaný gradient (angl. Nesterov accelerated gradient), s. 102
- NP:** nedeterministicky polynomiálna zložitosť (angl. nondeterministic polynomial complexity), s. 14, 17–19, 18–20
- OoBN:** objektovo orientované bayesovské siete (angl. object-oriented Bayesian networks), s. 80

- P:** proporcionálny regulátor, s. 39, 40
- P:** polynomiálna zložitosť (angl. polynomial complexity), s. 17, 18
- PD:** proporcionálny derivačný; proporcionálny diferenčný (regulátor), s. 39–41, 40, 41
- PI:** proporcionálny integračný (regulátor), s. 39, 40
- PID:** proporcionálny integračno derivačný (regulátor), s. 38–40, 44
- PS:** proporcionálny sumačný (regulátor), s. 40, 41
- PSD:** proporcionálny sumačno diferenčný (regulátor), s. 38–42
- ReLU:** jednotka (neurón) s rektifikovanou lineárnou funkciou (angl. rectified linear unit), s. 88
- SGD:** stochastický klesajúci gradient (angl. stochastic gradient descent), s. 108
- TDIDT:** indukcia rozhodovacích stromov spôsobom zhora nadol (angl. top-down induction of decision trees), s. 137, 138, 140, 151, 152, 154, 155

V tejto úvodnej kapitole sa budeme venovať ozrejmieniu niektorých základných pojmov z oblasti umelej inteligencie a strojového učenia. Pôjde väčšinou o všeobecnejšie pojmy a koncepty, ktoré súvisia s obsahom viacerých kapitol – preto ich uvádzame na tomto mieste. Konkrétnym oblastiam, prístupom a metódam sa už budeme venovať v osobitných kapitolách.

Na tomto mieste sa nebudeme pokúšať o poskytnutie komplexného prehľadu úloh a metód spadajúcich do oblasti umelej inteligencie. Predsa len však vymenujeme aspoň niektoré najdôležitejšie odvetvia. V prvom rade chceme upozorniť, že oblasť umelej inteligencie zahŕňa nielen oblasť strojového učenia (hoci tá je jej významným odvetvím), ale aj iné odvetvia. Oblasť umelej inteligencie rieši napríklad nasledujúce typy úloh:

- **reprezentácia poznatkov** (vrátane neurčitých poznatkov, nepresných poznatkov, odvodzovania nových poznatkov a pod.);
- **strojové učenie:**
 - kontrolované učenie,
 - nekontrolované učenie,
 - učenie s odmenou, ...
- **optimalizácia** (spojitá, diskretná, lokálna, globálna, ...);
- smart a inteligentné **riadenie**;
- **plánovanie a rozvrhovanie**;
- **analýza dát** (inteligentné spracovanie dát, extrakcia príznakov, predikcia, analýza zhlukov, ...)

V oblasti umelej inteligencie existuje nepreberné množstvo metód a prístupov, ktoré sa tieto úlohy snažia rozličnými spôsobmi riešiť. Je veľmi ťažké, azda až nemožné, poskytnúť vyčerpávajúci prehľad, preto vymenujeme len niektoré dominantné oblasti:

- **Fuzzy prístupy:** Reprezentácia vágnych poznatkov a operácie s nimi. Logická inferencia, vágne výpočty (fuzzy aritmetika), riadenie na báze lingvistických pravidiel (fuzzy riadenie), fuzzy algoritmy, fuzzy kognitívne mapy, ...