ROBOTI, UČENÍ A KOPANÁ[1]

1. Úvod

Název příspěvku obsahuje poněkud neobvyklé spojení dosti odlehlých tématik. Chci ukázat, jak je tato kombinace užitečná. Hlavním **cílem příspěvku** je na tomto spojení ukázat, jaký je stav robotiky z hlediska užití technologií umělé inteligence (AI, artificial intelligence), a v podstatě, jaký je stav AI. AI se nebudu zabývat v celé šíři, soustředím se na jeden její důležitý aspekt, učení. To je také dáno tím, že se zabývám (strojovým) učením, tj. automatizací pořizování znalostí pro AI systémy.

Pro můj **přístup k učení**, aplikovatelném v reálném prostředí, je charakterická snaha o integraci všech kognitivních funkcí, tj. tedy např. rozpoznávání, dedukce – plánování, realizace plánu a učení. Integrací se AI příliš nezabývá (pomineme-li aplikační část AI). Výrazně upřednostňuje detailní analýzu jednotlivých kognitivních funkcí a jejich částí. Jednou z výjimek je robotika. Tam, z povahy problematiky, je integrace nutná. Robot musí mít minimálně následující funkce: funkci, která vnímá stav prostředí, funkci která rozhoduje co robot v nejbližší budoucnosti udělá, plánování, a funkci která rozhodnutí realizuje. Tyto funkce musí spolupracovat, musí být integrovány.

Loni se ve Stockholmu konala 16. IJCAI99 (International Joint Conference on Artificial Intelligence), největší světová konference o AI. Při přípravě na účast na této konferenci jsem zjistil, že její součástí bude i RoboCup99, mistrovství světa v kopané robotů. Bez emocí jsem se rozhodl, že se toho zúčastním. (Program konference byl nabitý, velmi zajímavý, někdy probíhalo až 10 akcí současně, takže bylo důležité dobře se rozhodnout.) "Bez emocí" jsem uvedl úmyslně. I když jsem se předem seznámil s tím, co bylo o jednotlivých lepších týmech prezentováno na Webu, to důležité jsem si neuvědomil: robotí kopaná má velký "**emoční náboj**". To může významně ovlivnit vývoj jak robotiky, tak samotné AI. Proto se domnívám, že jde o důležitý jev.

V tomto příspěvku krátce popíši jak roboti hrají kopanou, poté co při tom dělají a nedělají dobře a co v této souvislosti neděláme my Češi dobře. Hlavní slabinu robotů vidím v neadekvátním učení. Proto se stručně zmíním o tom, jak se roboti učí a jak by se učit měli. Některé další informace o robotí kopané lze nalézt v [Bůcha, 1999].

V rámci této úvodní části ještě problematiku uvedu stručným **historicko-futuristickým přehledem**: První roboti se začali konstruovat v 70-letech. V roce 1993 vznikl nápad uspořádat turnaj robotů v kopané. V roce 1996 nápad uzrál a padlo rozhodnutí uspořádat mistrovství světa. V roce 1997 se v Nagoyi, Japonsko, spolu s 15. IJCAI97 konal první ročník RoboCup97. Následující rok se spolu s mistrovstvím světa FIFA v lidské kopané, konal v Paříži RoboCup98. O RoboCup99 jsem se zmiňoval výše. Letos se v Melbourne koná RoboCup2000. Dlouhodobým cílem je postavit v roce 2050 tým humanoidních, tj. dvounohých robotů, kteří podle pravidel FIFA porazí současné lidské mistry světa v kopané. V roce 1999 se ve čtyřech kategoriích dohromady soutěží zúčastnilo okolo 100 týmů.

2. Jak (dobře) to hrají

2.1. Základy

Základem kopané, i robotí, je dát co nejvíce gólů a co nejméně dostat. Dát gól znamená **pohybovat** míčem tak, aby se dostal do branky. V robotí kopané míčem pohybuje robot. Aby robot mohl s míčem pohybovat, musí být sám mobilní. Dnes se robot pohybuje (v kopané) buď na kolech, nebo na nohou. Svůj pohyb nebo pohyb svých částí pak přenáší na míč. Buď ho strká, nebo kope.

---

[1] Toto je upravená verze příspěvku předneseného na konferenci AUTOS 2000, Automatizace ve strojírenství.

Musí ovšem vědět jak. Jak (se) pohybovat. Dělá si proto plán, který později provádí. V přípravě na to hraje důležitou roli další část robota, část **vnímání** stavu prostředí. Zde většinou pomocí snímací kamery robot sejme obraz prostředí, který následně zpracuje, Používají se nejrůznější kamery. Např. vítězové kategorie středních robotů užívali (v r.1998) Topica PAL CCD kameru, s rozlišením 704 x 510 pixelů a 30 snímky/s [Jamzad, 1999]. Pro srovnání, nejlevnější současné monitory vašich PC pracují s 1280 x 1024 pixely a frekvencí obnovování obrazu 65 snímků/s. Kamery je možno zaměřovat buď pomocí speciálních otáčecích a naklápěcích mechanizmů, nebo pomocí pohybu celého robota. Kromě kamer se požívají i další čidla, zejména dálkoměry a čidla dotyku. Někteří roboti měli i akustická čidla, mikrofony, ale nevím, že by je použili.

Pomocí čidel a následného zpracování informace z nich robot zjistí – identifikuje (nebo upřesní) existenci různých objektů, a jejich vlastností, např. polohy. Podle toho **naplánuje** svou další činnost. Není-li např. u míče, musí se k němu nejprve dostat. Při tom musí někdy obejít i nějaké překážky, např. protivníka. Je-li u míče, může míč vést, vystřelit na branku, nebo přihrát.

Podobně jako má zpracování sensorické informace několik úrovní, od úrovně jednotlivých pixelů, přes části objektů, např. hrany obrysů, až po identifikaci jednotlivých objektů, např. míče, brány, hráče-robota, je i **realizace** plánu několikaúrovňová. Na nejnižší úrovni jde o řízení motorů např. samostatně poháněných dvě kola. Používají se krokové motory, např. s krokem odpovídajícím 0,14° otočení motoru, s převodovkou 1:80 [Jamzad, 1999]. Na vyšších úrovních může jít o vedení míče z jednoho bodu do druhého, o přihrávku, na ještě vyšší úrovni o realizaci plánu, do kterého může být zapojeno i více hráčů.

2.2. Kategorie

V roce 1999 se oficiálně soutěžilo ve čtyřech kategoriích. Letos jich bude více, viz tab. 1.

V kategorii středních robotů hraje na hřišti 9×5 m v každém týmu maximálně pět robotů. Prostředí je barevné, např. brány jsou barevně odlišeny, „aby si je roboti nepletli“. Míč vypadá jako zmenšený basketbalový. Roboti mají průměr okolo 50 cm, výšku do 80 cm, váhu do 80 kg a pohybují se na kolečkách, která jsou samostatně poháněna motory (zdrojem energie jsou dobíjecí baterie). Někteří mají i kopací mechanizmus, s jehož využitím střílejí na bránu nebo přihrávají, videokamery, popřípadě další snímací čidla (dle libosti návrhářů). Čidla umístěná mimo robota nejsou povolena, např. není možné užít kameru, umístěnou někde mimo. Rádiem jsou propojeni se svými hlavními počítači, v nichž je uložena největší část robotí „inteligence“, tj. jejich hlavní programy.

V kategorii malých robotů hraje na hřišti o velikosti pingpongového stolu opět maximálně dvakrát pět robotů o průměru asi 15 cm. Míček mají menší (golfový) a nemají vlastní snímací kamery, ale kameru společnou pro jeden tým. Její signály zpracovávají počítače jednotlivých robotů, které (opět rádiem) své roboty řídí. Malí roboti jsou rychlejší než střední, pohybují se rychlostí do 2 m/s.

V kategorii kráčejících robotů hrají v týmech maximálně tři roboti, hřiště je opět o velikosti pingpongového stolu. Míč mají oproti malým robotům vetší a měkčí. V předchozích kategoriích návrháři robotů navrhují jak hardware (hlavně jejich mechaniku a elektroniku), tak software, kdežto u kráčejících robotů pouze řídící program. Vlastní robot je standardní - umělý pes, hračka firmy Sony. Sony ho nazývá AIBO (http://www.world.sony.com/Electronics/aibo/index.html). Robot je 27 cm dlouhý, váží 1,6 kg a je poháněn baterií. Má nohy o třech kloubech a otáčení hlavy se třemi stupni volnosti, tj. „na všechny strany“. V hlavě má snímací kameru s rozlišením 180.000 pixelů a dálkoměr. Orientuje se pomocí zaměřování na 6 barevných lampiónků v rozích a středech hřiště. Má ještě dotyková čidla, v kloubech svých nohou má čidla úhlového zrychlení, rychlosti a polohy. Když se mu dobře daří, vrtí ocáskem. To je projev jeho emocí. (Sony inzeruje i další emoce.) Když se mu hodně nedaří, tak má něco jako nepodmíněný reflex; automaticky se „resetuje“, svalí se na zem a chvíli se z toho „vzpamatovává“. Docházelo i ke komickým situacím, kdy se většina hráčů válela na zemi. Tento robot je zcela autonomní, všechnu svou „inteligenci“ si nosí s sebou.

V kategorii simulovaných robotů se (téměř) vše odehrává v počítači, serveru. Na obrazovce se objeví nakreslené hřiště. Na něm hraje 2×11 „robotů“, kteří jsou zobrazeni jako pohybující se různobarevné body (podobně je zobrazen i míč). Pohyb hráčů je řízen dalšími počítači, připojenými přes LAN k serveru protokolem UDP/IP (TCP/IP protokol). Pohybují se velmi rychle, často je ani nestačíte sledovat. Jejich pravidla jsou blízká lidské kopané, např. hrají na ofsajd.

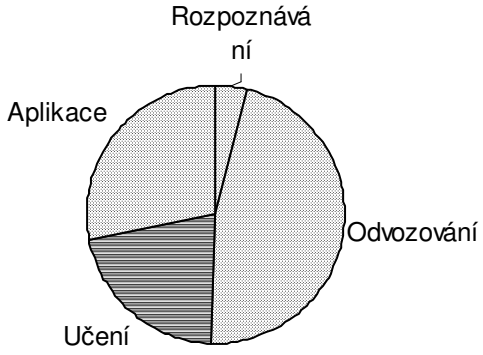
Roboti (všech kategorií) by měli být zcela autonomní. To ve skutečnosti neplatí zcela přesně. Asistenti je musí zapínat, porouchají-li se, odklízet, jsou-li vyloučení, taky neodejdou sami, ale musí být odneseni. Utkání robotů řídí lidský sudí, pouze určitá část rozhodování u simulovaných robotů je zajišťována počítačem.

3. Učení

3.1. Co nedělají dobře?

Cílem, pro který byl RoboCup založen, je „posílit výzkum v AI a robotice tím, že se poskytne standardizovaný problém, robotí kopaná, na kterém bude možno **vyzkoušet a integrovat** široké spektrum technologií; mezi tyto technologie patří principy návrhů autonomních agentů, spolupráce agentů, získávání strategií, uvažování v reálném čase, sjednocení senzorů a učení“. [RoboCup99, http://www.dsv.su.se/ijcai-99/].

Obr. 1: Pozornost věnovaná základním částem AI



Proč to vše? Proč se na to věnují nemalé finanční prostředky? Důvodem je, že inteligentní robotika má významný **aplikační potenciál**: Předpokládá se, že by se roboti mohli uplatnit v oblastech jako je uklízení domácností i úřadů, v automatizaci nemocnic, jako nejrůznější průvodci, jako záchranáři v nejrůznějších (např. v zemětřesením postižených) rizikových oblastech [Dean, 1999]. To je budoucnost. Co jim v tom brání dnes?

Jsou málo přizpůsobiví. Málo se umí učit. Pouze 40% robotů RoboCup99, a to ještě z těch nejlepších, tj. těch, co se umístili na prvních 3 místech, má funkci určení. Při tom jde vesměs o **jednoduché učení**, schopné naučit se jednu funkci, použitelnou v jedné situaci. Např. simulovaný robot se naučí střílet na branku [Stone, Veloso, 2000]. Použije k tomu 3000 popisů situací popsaných pomocí 40 atributů a dosáhne toho, že 70% pokusů dopadne úspěšně.

Ve vlastní hře roboti postrádají přesnější, vysoce strukturované **znalosti** nebo schopnosti je získat. Jinak by se např. nemohlo stát, aby roboti opakovaně měli potíže s odlišením svých spoluhráčů od míče. Roboti v kategorii kráčejících robotů měli modré a červené dresy. Míč byl oranžový. Několika týmům se stalo, že si spletli své červené spoluhráče s míčem, vzájemně do sebe strkali a míč nechali soupeři.

Další situace, opět častá, svědčící o potřebě učení a bez něj neřešitelná, byla tato: Míč byl těsně u mantinelu. Robot si spočítal místo kam se má dostat, aby mohl s míčem postupovat na bránu. Toto místo však bylo mimo hřiště. Hřiště bylo ohrazeno mantinelem, přes který se robot nemohl dostat. Přesto by to opakovaně donekonečna zkoušel, dokud by ho asistent nebo rozhodčí nevysvobodil. Podobná „dead-locková“ situace nastávala, když se roboti vzájemně zaklesli nohama.

I přesvědčivý vítěz v kategorii simulovaných robotů (soutěží prošel s celkovým skóre 110:0) [Stone, Riley, Veloso, 2000] referoval o problémech souvisejících s učením: V utkání s jedním soupeřem nebyla střelba na branku tak úspěšná, jak se čekalo. Ukázalo se, že to bylo tím, že soupeř postavil za brankáře ještě dalšího obránce. S tím jinak úspěšný tým nepočítal, své odhady úspěšnosti střelby založil na nesprávném modelu, za brankáře považoval obránce, a odhady pak byly nepřesné.

Prostředí robotů, ve kterém hrají je **jednoduché**. Přesněji, je jednoduché z hlediska robotů. Roboti jsou schopni v něm rozpoznat konečný počet předem daných objektů. Např. kráčející roboti rozpoznají míč, spoluhráče a protihráče, branku a orientační lampiónky. Ve skutečnosti je to reálné prostředí. Mohou se v něm projevit, a také se projevují, skutečnosti, se kterými robot nepočítá. Vyskytne-li se neznámý objekt, např. mantinel nebo vlastní noha nebo stín, neví si s ním rady. Dokonce i v kategorii simulovaných robotů se projevuje reálné prostředí – simulace probíhá pomocí reálných počítačů a komunikačních prostředků. Byl jsem svědkem diskuse, kdy si jeden účastník soutěže stěžoval, že mu jeho systém nepracuje dobře; bylo mu vysvětleno, že zřejmě nepočítá s ne 100%-ní spolehlivostí přenosových linek a to že je asi příčinou jeho potíží.

3.2. Učení

Tyto a podobné problémy by mohlo řešit **učení**, které bude schopné rozpoznat a popsat dosud neznámý objekt a rozpoznat i jeho relace k objektům známým. Dále bude potřeba, aby robot rozuměl a uměl **řídit** nejen míč, ale **i sám sebe**. Jeho jak hardwarové, tak softwarové, tak znalostní složky jsou poměrně složité a je potřebné

jim adekvátně rozumět a adekvátně je řídit. Je třeba, aby robot složité, strukturované prostředí řídil pomocí vysoce strukturované báze znalostí a aby s touto strukturovanou bází pracovalo i učení.

Tabulka 1: Počty týmů RoboCup2000

Země	Kategorie								
	Humanoid	Střední	Záchranář	Simulování	Simulování (Jr)	Malí	Kráčející	(prázdné)	Celkový součet
Japan	1	5		16	1	2	1		26
Germany		7	1	7		2	1		18
Iran	1	2		13	1	1			18
?		3		8	2	2			15
Australia	1	1		4		6	2		14
Singapore		4		1		6			11
USA		2		4	1	3	1		11
Portugal		3				1			4
Sweden		1		3					4
Italy		1		2					3
Brazil				2					2
Catalonia				1		1			2
France				1		1			2
China				1		1			2
Korea		1				1			2
New Zealand						1	1		2
Russia				2					2
Venezuela				2					2
Belgium						1			1
Canada				1					1
Croatia				1					1
England				1					1
Finland				1					1
Malaysia				1					1
Netherlands		1							1
P. R. China				1					1
Romania				1					1
United Kingdom				1					1
Celkový součet	3	31	1	75	5	29	6		150

Učení se v AI věnuje značná pozornost (viz.obr.1). (Zastoupení jednotlivých složek odhaduji na základě počtu článků, které jsou jim věnovány na IJCAI99 [Dean, 1999].) Učení se zabývá hlavně jednoduššími přístupy [Verdenius, van Someren, 1997; Mitchell, 1997]. Jde o to, aby se pozornost věnovala také složitějším formám učení. Určité náznaky určitého posunu v tomto směru jsou již patrné. Např. [Stone, Veloso, 2000] se zabývá učením na několika znalostních úrovních, [Pfleger, Hayes-Roth, 1998] se zabývají hierarchiemi složených objektů, [Zupan a kol., 1999] se zabývají hierarchiemi pojmů, [Veloso, 1995] se zabývá integrací učení a plánování. [Bůcha, 2000] se zatím na úrovni logického návrhu snaží o integraci všech těchto (a dalších) postupů.

3.3. Co my neděláme dobře

V současné době je na celosvětové úrovni patrná jistá snížená důvěra ve vědu a výzkum (VaV). V Čechách je situace asi ještě horší, ve srovnání třeba se západoevropským průměrem. Je to mj. patrné z HDP, který se věnuje na VaV. Robotí kopaná je část VaV, která je relativně vysoce atraktivní. Je to asi tím, že:

- lidé se setkávají s problematikou, kterou znají (kopaná je nejrozšířenější sport na světě)
- lidé, zejména mladí, rádi hrají a mají rádi legraci
- a rádi soutěží.

Tuto atraktivnost je třeba využít.

Dále uvádím tabulku 1 letošních účastníků RoboCup2000 (založenou na http://www.robocup2k.rmit.edu.au/). (Otazník, „?“, ve sloupci „Země“ znamená, že pro některé přihlášené týmy nebyla identifikována země jejich původu.) Z tabulky je patrné, že aktivity RoboCup se rozšiřují, např. počty kategorií, počty účastníků. Tabulka také naznačuje, které země dělají, podle mého názoru, moudrou-informační politiku. Čechy mezi ně zatím nepatří, protože. nevyužívají atraktivnosti robotí kopané. Češi se zatím, na rozdíl od Portugalců a Japonců, nemohou pochlubit tím, že „premiér navštívil RoboCup“. Důvod je celkem jasný. Je to poměrně drahé. Ne premiérská návštěva, ale náklady na výzkum. Základní vybavení pro jeden tým kráčejících robotů odhaduji na 28.000 USD, pro tým malých robotů na 50.000 USD.

3.4 Hodnocení

Hodnocení trénovacích příkladů je přirozenou součástí učení. Algoritmy AI i učení je potřebné také vyhodnocovat. To musí být součástí jakéhosi meta-učení. Umělá inteligence se proto sama zabývá hodnocením svých technologií. Poměrně složitě, ale systematicky a přesně počítá nebo měří různé spolehlivosti či chybovosti a jednotlivé technologie srovnává. V publikovaných pracích se můžete dočíst formulace jako: Popsanou metodu jsme otestovali na těch a těch standardních testovacích vzorcích. Pro srovnání jsme provedli na stejných vzorcích testování několika dalších známých metod. Pro většinu testovacích vzorků dává naše metoda nejméně o 3,1%

lepší výsledky než další nejlepší testované metody. Nebo: Vytvořili jsme systém na řízení dopravy velkoměsta. Průjezdnost se zlepšila o 5,2%.

Takový je dnešní trend. Před nějakými patnácti lety se statistika a pravděpodobnost v umělé inteligenci téměř neužívala, vše bylo deterministické (nebo nedeterministické). Dnes je zas téměř vše pravděpodobnostní. A je to pochopitelné - vývoj přirozeně postupuje od jednodušších řešení k složitějším (i když móda také hraje roli). Význam robotí kopané je také v tom, že nedostatky robotů zviditelňuje, že použití složitých vyhodnocovacích postupů pro objevení zřejmých nedostatků dělá zbytečným.

4. Závěr

Ve svém příspěvku jsem se snažil ukázat, jaké jsou dnešní možnosti robotů z hlediska jejich inteligence. Roboti dnes již robotí kopanou hrají. To znamená, že jsou v dosti reálném prostředí schopni řešit poměrně složité úkoly. Dávají góly. Někdy ovšem i do vlastní branky. Polovina z nich vyhrává, polovina prohrává. V tom jsou podobni lidem. Občas se také ještě dostávají do bezvýchodných situací. To je, podle mého názoru, převážně dáno tím, že se neučí nebo učí neadekvátně. Další kognitivní funkce jsou v rámci AI poměrně propracovány, např. identifikace, dedukce, organizace znalostí. Učení je třeba ještě dále propracovat.

Poděkování:

Tato práce byla částečně podporována grantem GA ČR 102/99/1564. Děkuji také za kritické připomínky Ivana Nagy.

Literatura

[1] BŮCHA, J.: On Efficiency of Learning: A Framework and Justification. Ontology Learning Workshop, 14th European Conference on Artificial Intelligence, Berlin, 2000.
[2] BŮCHA, J.: Robotí kopaná, *Vesmír* 78 (1999), prosinec, s. 687-689.
[3] DEAN, T. (Ed.): IJCAI-99, Proceedings of the Sixteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, Vol. 1 a 2. Stockholm, Sweden. San Francisco, Morgan Kaufmann Publishers, 1999.
[4] JAMZAD, M.: CS-Sharif ROCS99 team in middle-sized robots league. Robocup 1999 Team Description, p. 118-126, http://www.ida.liu.se/ext/RoboCup-99/.
[5] MITCHELL, T. M.: Machine Learning. McGraw-Hill Companies, N.Y., 1997, 414 p.
[6] PFLEGER, K. - HAYES-ROTH B.: Learning of Compositional Hierarchies for the modeling of context effects. Stanford University, Knowledge systems Laboratory Report KSL-98-04, 1998, 8 p.
[7] STONE, P. – VELOSO, M.: Layered Learning. Eleventh European Conference on Machine Learning. ECML 2000, to appear. http://www.research.att.com/~pstone/papers.html.
[8] STONE, P. – RILEY, P. – VELOSO, M.: The CMUnited-99 Champion Simulator Team. In "RoboCup-99: Robot Soccer World Cup III", M. Veloso, E. Pagello and H. Kitano (eds.), 2000. Springer Verlag, Berlin. http://www.research.att.com/~pstone/papers.html.
[9] TAMBE, M. et al.: Building agent teams using an explicit teamwork model and learning. *Artificial Intelligence* 110 (1999), Issue 2, June, pp. 215-239.
[10] The Soar Project at Carnegie Mellon University. http://www.cs. cmu.edu/afs/cs.cmu.edu/project/soar/public/www/home-page.html, 1998.
[11] The Third International Workshop on RoboCup, IJCAI-99, http://www.dsv.su.se/ijcai-99/, 1999.
[12] VELOSO, M. a kol.: Integrating Planning and Learning: The PRODIGY Architecture. *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence* 7 (1995), no. 1.
[13] VERDENIUS, F. - VAN SOMEREN, M.: Applications of inductive learning techniques: a survey in the Netherlands, *AI Communications* 10 (1997), no. 1.
[14] ZUPAN, B. - BOHANEC, M. – DEMŠAR, J. – BRATKO, I.: Learning by discovering concept hierarchies. *Artificial Intelligence* 109 (1999), pp. 211 – 242.

Ing. Jindřich Bůcha, CSc., Ústav teorie informace a automatizace, AV ČR (bucha@utia.cas.cz)