

# Lidská a počítačová logika

Ondřej Sýkora <ondrasej@centrum.cz>

zimní semestr 2005/2006

## Úvod

### Logika a odvozování v umělé inteligenci

Logika prvního řádu a odvozování v ní je základem velké části metod takzvané *klasické* umělé inteligence. To ji staví do zvláštní pozice, která ji dává nejen zvláštní prestiž, ale také na ni klade speciální nároky.

Motivací pro její použití lze vysledovat několik - základním, pro účely tohoto textu nepříliš zajímavým, je její jednoduchost a úspornost, která ale není v rozporu s požadavkem na schopnost vyjádřit velké množství informací.

Na první pohled je také velmi přístupné zdání, že formální logiku prvního řádu lze chápat jako formalizaci a logické zobecnění myšlenkových procesů odehrávajících se v lidském mozku. Je zde zřejmá analogie ve způsobu práce se symboly a s odvozovacími pravidly, je ale také možné postihnout různé odlišnosti stavějící oba způsoby práce s fakty do zcela odlišných pozic.

Velkou výhodou formálního způsobu práce s fakty je právě jeho *logičnost* - to, že jsou jeho metody postaveny na principech logického odvozování, mu dává velkou váhu při posouzení správnosti jeho výsledků. Takový výsledek je z principu důsledkem axiomů a pravidel, které jsou přijímány jako korektní, proto je nutné i výsledek brát jako korektní a správný fakt.

Dalším plusem logické metody je její jasný a efektivní systém odvozování obsahující jediné základní pravidlo, díky kterému je názorné jakou cestou se proces odvozování musí ubírat<sup>1</sup>.

Efektivitu systému vyvozování důsledků lze ale také chápat jako jeho nevýhodu, neboť jeho jasnost a jednoduchost může být při tvůrčí činnosti, jakou dokazování vět logiky nepochybně je, může být až příliš svazující a může tak odvádět pozornost od skutečného problému k technické stránce dokazování.

Klasické počítačové dokazování je také omezeno, pokud jde o vyvozování nových důsledků, nejlepší podmínky pro jeho práci nastávají pokud jsou jasné specifikováno jaké tvrzení za jakých předpokladů je nutno dokázat. Pokud jsou

---

<sup>1</sup>Nejde o velmi přesnou analogii - víme sice že tato cesta je dlážděna pravidlem *modus ponens*, nic ale nevíme o tom, na které křižovatce bychom měli odbočit, ani jakým směrem se vydat.

přijatelné předpoklady zadány jen nejasně nebo implicitně<sup>2</sup>, počítačové dokazování nemůže být dostatečně efektivní.

## Omezení dané způsobem dokazování v logice

Pro většinu systémů, se kterými se lze v umělé inteligenci nebo v reálném světě setkat, je charakteristická konečná, nebo alespoň rekursivní množina axiomů. Tím je také dána rekursivně spočetná povaha dokazovacího aparátu a další omezení vycházející z této povahy - množina pravdivých (dokazatelných) vět může být rekursivně spočetná, stejně tak může být rekursivně spočetná množina vět nepravdivých<sup>3</sup>. Protože ale při určité síle logického systému nejsou tyto množiny vzájemně svými doplňky, musí existovat formule, které jsou z obou množin nedosažitelné. Navíc množina těchto formulí, které nejsou dokazatelné ani vyvratitelné z principu nemůže být rekursivní, dokonce ani rekursivně spočetná. Kdyby byla rekursivně spočetná, stal by se podle Postovy věty rekursivní i celý logický systém.

## Odvozování v lidské mysli

Zdálo by se, že omezení dané teorií rekurze se dotýká jen počítačů a obecně výpočetních systémů se silou ekvivalentní částečně rekursivním funkcím nebo turingovu stroji, nelze ale vyloučit, že stejný problém se netýká jen umělých strojů, ale bude postihovat i lidský mozek.

Je zřejmé, že výpočetní síla lidského mozku - nebo spíše celého člověka - je minimálně stejně velká jako výpočetní síla turingova stroje. Toto lze ověřit například pomocí simulace činnosti turingova stroje na papíře. Zajistíme-li člověku potenciálně neomezené množství papíru a psacích potřeb pro simulaci pásky a seznam pravidel, podle kterých se řídí přechodová funkce<sup>4</sup>.

Zda je možné tvrzení obrátit a ukázat tak, že lidský mozek je nejvýše stejně silný jako turingův stroj zatím zřejmě nikdo z lidí neví. Humanisté tvrdí, že nikoliv, naproti tomu někteří vědci, filosofové a autoři vědecko-fantastické literatury se nás snaží přesvědčit o opaku.

## Struktura vědecké práce

Určité náznaky a analogie poukazující na možná omezení poznání lze nalézt například při pohledu na vývoj vědy v dějinách lidstva. Podíváme-li se s určitým

<sup>2</sup>odhlédneme-li také od problému jak takové požadavky na předpoklady odvozovacímu systému zadat

<sup>3</sup>Věta  $A$  je nepravdivá, pokud je dokazatelné  $\neg A$ ; jak ale ukazují Gödelovy a Churchovy důkazy, nedokazatelnost věty  $A$  je v bezesporné teorii nutnou, ale nikoliv postačující podmínkou dokazatelnosti její negace.

<sup>4</sup>Takových pravidel je konečné množství, protože přechodová funkce je zobrazení z konečné množiny stavů a konečné abecedy pásky

nadhledem na vývoj vědeckých teorií, lze si podle Thomase Kuhna<sup>5</sup> všimnout jevu, který do určité míry připomíná princip limitní vyčíslitelnosti.

Srovnáme-li jeden vědecký experiment a následnou revizi teoretického základu s jedním výpočtem rekursivní funkce, lze pak v postupném vývoji a zpřesňování teorie spatřit postup vývoje vědění v daném oboru.

Pod tím, jak jsou vědecké teorie s postupem svého vývoje schopny vysvětlit stále větší množství jevů dotýkajících se dané teorie, si můžeme představit její postupnou konvergenci k teorii správné<sup>6</sup>.

Jako možný důsledek takovéto konstrukce ale dostáváme že omezení, která se týkají výpočtu strojů se stejným způsobem aplikují i na vědeckou práci a v důsledku zřejmě i na myšlení jako takové.

## Rekursivně spočetná duše

Ostatně i sám postup dokazování tak, jak jej provádí člověk, se nápadně podobá způsobu hledání minimální hodnoty při výpočtu minimalizačního operátoru  $\mu$ . Nejprve dochází k formulování hypotéz, následované jejich ověřením a případnou aplikací výsledků na zkoumanou teorii.

Každý takový jednotlivý krok lze chápat jako uzavřenou konečnou operaci, jestli ale zřetěžením několika takových kroků dosáhneme požadovaného cíle často na první pohled určit nelze a jedinou možnou metodou ověření je samotná konstrukce důkazu.

## Nápady, analogie, klíčky

Zdá se, že velkou výhodou lidského uvažování proti počítačovému je velký rozhled a značně selektivní "heuristické" zpracování, které často umožňuje člověku odhadovat správná řešení bez jejich detailního zkoumání. Takováto intuice ale není vrozenou schopností, jedná se o schopnost, kterou je nutné rozvíjet a jejíž načení nemusí být snadné.

Velmi zajímavá je také schopnost uvažovat na základě podobnosti s již známými situacemi, nacházet analogie a využívat běžných znalostí novým a mnohdy nečekaným způsobem. Zdá se, že při "lidském" myšlení je upřednostňován právě takový způsob práce na úkor strojově přesného a exaktního plánování.

Určit, který z přístupů je se všemi svými důsledky výhodnější je nemožné, na první pohled se ale zdá, že ve světě, kde je nutné čelit stále novým situacím a často improvizovat se vyplácí spíše lidský způsob. Naopak v situacích, kdy jsou všechny možnosti jasně dané získávají počítače s jejich schopností provádět jednotlivé kroky velmi rychle, neúnavně a bezchybně velký náskok. Příkladem takového oboru jsou například logické deskové hry, kde počítače až na výjimky jasně dokazují svou převahu.

---

<sup>5</sup>Thomas Kuhn - Struktura vědeckých revolucí

<sup>6</sup>Nechávám stranou definici i definovatelnost metriky pro porovnávání správnosti teorií.

## Velký výsledek, nebo nedokonalost?

Pro přežití v reálném světě je jasně výhodnější přístup, který dokáže dávat pestřejší paletu výsledků a který umožňuje snadno improvizovat, na tuto schopnost lze také ale pohlížet jako na určitou "nedokonalost" lidského mozku, která je dána neschopností pracovat v přesném digitálním světě, resp. náročností takovéto práce.

Tím, že vybavování není zcela digitální<sup>7</sup>, vznikají při vybavování rozdílné asociace, které se v horším případě projevují jako duševní poruchy, v tom lepším ale umožňují spojovat do užitečných celků jinak nesouvisející informace.

Je možné, že kdyby se lidské myšlení vyvíjelo v prostředí šachových partií, došla by evoluce k jinému uspořádání a způsobu práce mysli, ve skutečném světě vítězí myšlení, které je sice nepřesné, ale do určité míry širší.

## Uvažování počítačů

Pro uvažování počítačů (počítačové odvozování) je charakteristická zejména jeho přesnost - každé odvození je provedeno na základě přesně definovaných předpokladů, po jejich úspěšném ověření dostáváme platnost exaktního, přesně definovaného důsledku.

## Omezení dané strukturou odvozování

To, v čem se mohou počítačové systémy jevit omezené je jejich pevné provázání s konkrétním způsobem vyvozování, zde konkrétně s predikátovou logikou prvního řádu. Narozdíl od člověka tak současné odvozovací metody nejsou schopny pracovat s nadhledem a v případě potřeby nahradit operace s fakty operacemi s tvrzeními o faktech. Takovýto postup je ale nezbytný ve chvíli kdy je třeba popisovat vlastnosti funkcí.

Důležité je, že pro dokázání samotných tvrzení o vlastnostech nebo funkcích není třeba silnější výpočetní model, ale jiný úhel pohledu. Důkazy tvrzení o speciálních objektech sice mohou pracovat se speciálními objekty a s proměnnými pro tyto objekty, samotný proces dokazování ale vždy zůstává rekursivně spočetný.

## Nelogické přístupy v umělé inteligenci

I ve světě počítačů existují modely, které se snaží odstranit mnohdy svazující přesnost a jednoznačnost výpočtu. Zejména se jedná o infromatické aplikace fuzzy logiky a umělé neuronové sítě.

Fuzzy logika sice umožňuje lepší popisování a modelování jevů odehrávajících se ve "skutečném světě", stále se ale jedná o přesnou metodu, které je "jen" rozšířená o práci mezi logickou nulou a logickou jedničkou, aproximační schopnosti ze chybí.

---

<sup>7</sup>ve smyslu *buď si vybavím informaci celou a zcela přesně, nebo si ji nevybavím vůbec*

Neuronové sítě se naopak ve většině architektur vyznačují velmi dobrou schopností aproximovat, naopak problémem u nich je práce s konkrétními fakty. V neuronové síti je základem kódování vstupních a výstupních dat i vah sítě (parametrů systému) pomocí reálných čísel, takové kódování je ale velmi vzdálené od zápisu logických formulí a nalézt správné kódování znalostí a faktů pro zpracování neuronovou sítí může být velmi obtížné.

## Syntetické řešení

Bylo by zajímavé pokusit se o konstrukci počítačového odvozovacího systému, který by se pokoušel řešit alespoň některý z problémů vyskytujících se v současných metodách odvozování.

Větším z omezení podle mého názoru je omezení dané pevnou strukturou výpočtu, které neumožňuje cílenou, ale přitom dostatečně volnou možnost změny stylu výpočtu. Přitom se přímo nabízí k použití způsob vývoje myšlení velmi podobný tomu, jaký využívala sama příroda při "tvorbě" lidské mysli. Konkrétně se jedná o evoluční metody, v případě plánovacího systému nejspíše o jeho variantu zvanou *Genetické programování*.

Potenciální úspěšnost použití evolučních metod pro vývoj je z největší míry závislá na tom, zda dokážeme nalézt vhodnou formu reprezentace odvozovacího systému které by jednak umožňovaly snadnou konstrukci systému na základě kódu a na kterých by bylo možné snadno provádět genetické operace křížení a mutace.

Samozřejmě se nabízí možnost evoluce programů v jazyce LISP pomocí *Genetického programování*, tato možnost ale má nevýhodu spočívající v tom, že při evoluci není prohledáván jen prostor relevantních řešení, ale prostor všech programů využívajících zadané funkce a konstrukce, který pochopitelně je mnohem širší.

Životaschopnost systémů lze porovnávat jednak na základě jejich schopnosti řešit konkrétní sadu problémů např. mírou úspěšnosti a časem stráveným při řešení, jednak na základě složitosti jejich kódu, aby se tak v případě řešení u kterého délka kódu není pevně zadaná předešlo jeho neúměrnému růstu.

## Závěr

V mnoha případech se při vývoji a výzkumu nových technologií ukázala inspirace přírodou jako užitečné a často vedoucí k zajímavým novým výsledkům a je možné možnosti pro další zkoumání by proto mohla přinést i v oboru zkoumání počítačového myšlení.