

Plánování v robotice

Tomáš Effenberger

8. prosince 2013

1 Motivace

1.1 Situace na silnicích

Ročně zemře na silnicích více než 1,2 milionu lidí a dalších 50 milionů je zraněno [1]. Vsadím se, že jste si předchozí větu přečetli, aniž byste o ní pořádně popřemýšleli. Takže to zkusím říct jinak. Někdo, koho znáte, zemře při silniční nehodě. Je prakticky jisté, že se to během Vašeho života stane. Silniční nehody jsou z jednou z nejčastějších příčin smrti a mezi mladými lidmi (mezi 15 a 29 lety) dokonce tou vůbec nejčastější. Skoro všechny autonehody jsou přitom způsobeny lidskou chybou – lidé prostě nejsou dobrými řidiči, i když si to o sobě často myslí. Chybují snadno a následkem jsou těžká zranění nebo i smrt.

1.2 Autonomní auta

Co s tím? Lidé by měli přestat řídit. Přenechat řízení robotům, kteří budou řídit přesně a bezchybně. Zní to jako nějaké sci-fi? Příliš daleká budoucnost? Málokdo si dnes dokáže představit, že by ráno nasedl do auta, které by ho samo zavezlo do práce nebo do školy. Ve skutečnosti to už možné je. Na autonomních (tj. robotických) autech se pracuje už docela dlouho a v posledních několika letech se tahounům tohoto oboru podařilo dosáhnout ohromujících pokroků. Mnoho automobilek pracuje na vývoji autonomních aut a Daimler¹, Google i Parmská Univerzita už vytvořili autonomní auta, která mohou bez rizika na silnici – a řídí lépe než člověk. Jsme tak zvyklí na řidiče za volantem,

¹Výrobce automobilů značky Mercedes-Benz.

že je těžké si to představit, ale za několik let budou autonomní auta zcela běžným jevem. Už minulý rok tři americké státy povolili jízdu autonomních aut na veřejných silnicích zákonem. Do roku 2020 chtějí autonomní auta začít prodávat např. GM, Daimler, Audi, Nissan a BMW.[2, 3, 4, 5, 6]

Prosazení autonomních aut bude mít ohromný dopad. Přesnější, efektivnější, bezpečná a bezchybová jízda povede k ušetření peněz, času a především lidských životů. Ušetřeného času může být opravdu hodně. Komu cesta do práce zabere okolo 30 minut, ztratí každý den řízením jednu hodinu. Pokud nebude muset řídit, může tento čas strávit podle svých představ – a pokud ho zvládne využít pracovně (což je samozřejmě možné pouze u některých povolání), může každý den končit v práci o hodinu dříve. Kromě bezpečnosti a ušetřeného času je zde ještě jedna velká výhoda autonomních aut a tou je dostupnost i pro nevidomé a motoricky postižené.

1.3 Robotika

Z těchto důvodů je problematika autonomních aut pro mnohé vůbec nepřitažlivější oblastí robotiky. S roboty se ale setkáme i na mnoha jiných místech, zmiňme např. robotická ramena v průmyslových závodech, autopilota v letadle, chirurgického robota nebo autonomní vysavač.

V tomto článku se zaměřím především na tu část robotiky, která nejvíce souvisí s umělou inteligencí, a tou je plánování. Plánování je potřeba všude tam, kde chceme, aby se robot choval alespoň trochu inteligentně.

2 Cíl

Naším cílem je tedy auto, do kterého nasednu, řeknu mu, aby mě zavezlo k Fakultě informatiky, a ono mě tam zavezlo. Z pohledu plánování to na první pohled vypadá jednoduše – stačí přeci naplánovat cestu z bodu A do bodu B. To je jednoduchý grafový problém a pomocí prohledávání podle ceny (Uniform Cost Search) lze najít tu vůbec nejkratší cestu. Algoritmus navíc můžeme jednoduše vylepšit o heuristiku (vzdušná vzdálenost) a dopracovat se tak k A^* . Proč jim to teda v tom Googlu trvalo tak dlouho na tohle přijít?

3 Komplikace

Tohle totiž nefunguje. Pokud by Vám tedy nevadilo, že auto pojede párkrát na červenou, cestou přejede nějakého chodce, sem tam vrazí do jiného auta a pokud to přežijete, tak neskončíte před Fakultou informatiky, ale nejspíš v úplně jiné části Brna a budete se snažit zaparkovat na již obsazené místo.

3.1 Nejistota

Skutečný svět je totiž plný událostí, které nejste schopni dopředu předpovědět. Nemůžeme dopředu vědět, kde v kterou chvíli budou kolem nás ostatní auta, jestli bude na semaforu červená nebo zelená, zda nebude silnici zrovna přecházet nějaký chodec a která místa na parkovišti budou volná a která obsazená. Nejistota navíc nevzniká jen vlivem okolí, zdrojem nejistoty je i robot samotný a jeho akce. Záleží samozřejmě na kvalitě použité konstrukce a součástek, nicméně obecně platí, že robot nikdy neudělá přesně to, co chcete (např. se otočí o 89° místo 90°). Dobře, robot tedy nemůže předvídat budoucnost (alespoň ne dostatečně dokonale), to není až zas tak překvapivé. Situace je ale ještě horší – robot není schopen přesně znát ani *současný stav*. Jednak bude prostě omezen použitým modelem světa. Větším problémem je ale nepřesnost senzorů (nedostatečná citlivost a především šum).

Všechny zdroje nejistoty lze zobecnit do dvou kategorií: *nedeterminismus* (nevíme, jak se změní stav světa v příštím okamžiku – nevíme, co udělají ostatní objekty a ani si nemůžeme být přesně jisti tím, co uděláme my) a *částečná pozorovatelnost* (neznáme přesný stav světa v tento okamžik).

3.2 Spojitost

Další problém je v tom, že skutečný svět není diskrétní (tj. složený ze spočetného množství stavů), ale spojitý, což neumožňuje přímou aplikaci grafových algoritmů (jako je UCS nebo A^*). Ostatně nic, co je spojitého nemůžeme přímo uložit v počítači, ten totiž umí pracovat výhradně s diskrétními (dokonce konečnými) údaji.

3.3 Neholonomicita

Auto není schopno provést libovolný plán, který mu předložíte (např. neumí zatočit na místě). Tomuto konstrukčnímu omezení se říká *neholonomicita*.

4 Jak se s tím vypořádat

Teď už se mi snad podařilo vytvořit dostatečně pesimistickou náladu, tak se raději podívejme na to, co s tím. Všechny zmíněné problémy je důležité vzít v úvahu a jejich řešení není úplně snadné. Vyřešit se ale dají, jak dokazují i úspěchy v posledních letech.

4.1 Průběžné plánování

První důležitá myšlenka je, že nemůžeme celý plán vytvořit dopředu a pak teprve vyjet a slepě vykonat tento plán. Dopředu prostě nemáme k dispozici důležité informace (o našem okolí ani o nás samotných), takže je potřeba paralelně provádět plánování (nebo přeplánování) po celou dobu jízdy. Ve skutečnosti bude plánování hierarchické, tedy rozděleno do více úrovní abstrakce, a zatímco nějaký hrubý plán cesty dopředu vytvořit můžeme, tak podrobnosti jednotlivých přesunů (např. z jedné křižovatky na druhou), už musíme plánovat podle aktuální situace (např. okolních aut).

4.2 Diskretizace spojitého světa

S tím, že svět není diskrétní se vypořádáme tak, že si ho *aproximujeme* diskrétním světem. Prostě si ho představíme rozmřížkovaný na malé čtverečky a takový svět již umíme v počítači reprezentovat jako graf a provádět na něm potřebné algoritmy. Čím větší tyto čtverečky budou, tím méně paměti budeme potřebovat na jeho uložení (a taky méně času při provádění algoritmu na těchto datech), ale na druhou stranu tím méně přesný model budeme mít k dispozici a tím větší budou chyby, které s nepřesností modelu souvisí. Taky je potřeba pamatovat na to, že samotná jízda se bude odehrávat opět ve spojitém světě. Jedna z možností je na závěr provést vyhlazení trasy a udělat ji tak sjízdnou pro auto.

4.3 Konfigurační prostor

Pokud chceme, aby náš plánovací algoritmus přímo našel přípustnou trajektorii, místo pouhé dráhy (křivky), musíme prohledávat nikoliv geometrický prostor světa, ve kterém se pohybuje, nýbrž prostor všech možných konfigurací našeho robota v tomto světě. Například konfigurace auta není dána pouze jeho souřadnicemi na mapě, ale také vektorem rychlosti a případně

i vektorem zrychlení. Souhrn všech možných konfigurací se označuje jako konfigurační prostor.

Plánování v konfiguračním prostoru má dvě výhody. Jednak umožňuje zajistit, že nalezená trajektorie bude proveditelná autem, jednak máme k dispozici přímo akce, které musíme provést, abychom trajektorii projeli. Naopak nevýhodou je zvýšení počtu dimenzí, ve kterých hledání optimální cesty probíhá, a tedy značné zhoršení časové a paměťové složitosti algoritmu.

4.4 A* a jeho varianty

Konfigurační prostor lze reprezentovat grafem, v němž uzly jsou jednotlivé konfigurace a hrany spojují sousední konfigurace. Na takovém grafu můžeme provádět standardní grafové algoritmy, např. právě A*. Problémem je potřeba neustále přeplánovávat, existují však různá vylepšení základního A*, která umožňují využít předchozího plánu (např. D*, D* Lite).

4.5 Plánování, lokalizace a mapování

Celá práce autonomního auta se skládá ze tří vzájemně hodně provázaných částí: plánování, lokalizace a mapování. Ta část mapování může být dost zjednušená v momentě, kdy máme k dispozici mapu, ale stejně si musíme dát pozor, protože nikdy nebudeme mít úplně dokonalou a aktuální mapu, může např. dojít k nějakým dočasným dopravním omezením atp. Lokalizace se může zdát v případě auta jako jednoduchý úkol, máme přeci k dispozici GPS. Takhle jednoduché to ale není, GPS nám neumožňuje zjistit naši polohu ani zdaleka tak přesně, jak bychom si přáli. Auto však disponuje také senzory pro měření vzdáleností od okolních objektů a pomocí různých pravděpodobnostních modelů co nejpřesněji odhaduje svoji polohu, ale i polohu ostatních vozidel v okolí.

4.6 Pravděpodobnostní modely

Pravděpodobnostní modely (nazývané též filtry) nám umožňují vypořádat se s nepřesností senzorů a motorů. Místo toho, abychom pracovali s přesnou polohou, kde auto v daném časovém okamžiku je, využíváme normální rozložení, jehož střední hodnota je nejpravděpodobnější poloha auta a směrodatná odchylka určuje míru nejistoty. S každým novým měřením se tato nejistota

snižuje, s ubíhajícím časem a našemi akcemi naopak zvyšuje. Tohle se týká především lokalizace, ale při plánování s tím musíme počítat.

4.7 Markovovy rozhodovací procesy

Z tohoto pohledu jsou dobré algoritmy, které vypočítají plán, kterým by se mělo auto řídit nejen v jednom konkrétním stavu ale i v těch okolních, kam se snadno může dostat kvůli stochastickému charakteru našich akcí, případně i akcí okolních aut. To umožňuje např. metoda Markovových rozhodovacích procesů, založená na Bellmanových rovnicích. Tuto metodu lze dále vypešit na tzv. částečně pozorovatelné Markovovy rozhodovací procesy, které umožňují zahrnout do plánu potřebu provádět akce, které sice nevedou přímo k cíli, ale zjistíme díky nim potřebné informace.

5 Dosažené výsledky

5.1 Autonomní auta

Přestože plně autonomní auta zatím nejsou dostupná veřejnosti, mnoho výrobců automobilů již nabízí modely s určitými autonomními schopnostmi, např. samostatné popojíždění v kolonách nebo parkování. Dá se očekávat, že v příštích letech bude možné pořídit čím dál více autonomnější auta a nejpozději do roku 2020 chce většina předních světových automobilek zahájit prodej autonomních aut. Podle odhadů IEEE bude do roku 2040 75% všech aut autonomních.

5.2 Robotická chirurgie

Už dnes se můžete v nemocnicích (i v České republice) setkat s robotickými systémy, které lékařům asistují při chirurgických operacích. Nejrozšířenější je chirurgický robot typu Da Vinci, vytvořený v roce 2009, který se skládá ze čtyř robotických ramen s potřebnými nástroji. Zákrok sice fyzicky vykonává robot, ten je ale vzdáleně ovládán chirurgem pomocí citlivých joysticků. Již v roce 2006 však proběhla první chirurgická operace provedená robotem bez asistence člověka [7] a od té doby se uskutečnilo několik dalších.

5.3 Domáci roboti

Domáci roboti jsou skupinou robotů, kteří pomáhají s nějakou rutinní činností v domácnosti nebo na zahradě. Asi nejznámějším příkladem je autonomní vysavač a autonomní sekačka, ale pořídit lze také samočistící kočičí záchod, robota pro čištění oken nebo robota, který bude hlídat Váš dům proti vloupání.

Právě autonomní vysavače se už dostali do mnoha domácností. Nejlevnější lze pořídit i za několik málo tisíc korun, ale ti kvalitní přijdou alespoň na 10 tisíc. Zvláště levnější modely mohou mít problém s kabely, do kterých se zamotávají, nebo s předměty na podlaze (např. miska pro psa). Z hlediska plánování a inteligentního chování na tom ty levnější robotické vysavače nejsou o moc lépe než třeba myčka nebo pračka. Většinou objíždějí předprogramované křivky (např. spirála, písmeno Z) s určitými prvky náhody, která zajišťuje, že dřív či později projede celou místnost. Pokud potřebují dobít baterie, sami zajedou do své nabíjecí stanice. Dražší přístroje umí i plánovat a díky tomu taky úklid trvá kratší dobu. Lokalizace může být prováděna např. pomocí infračervených senzorů. Někteří roboti umí určit tvar místnosti podle tvaru stropu. Oblast, kterou mají uklízet lze vymežit pomocí tzv. virtuálních zdí – což je prostě krabíčka, která vysílá infračervený paprsek.

5.4 RoboCup

RoboCup je mezinárodní soutěž, v níž proti sobě týmy robotů hrají modifikovanou verzi fotbalu. Oficiálním cílem projektu je do poloviny 21. století vytvořit tým zcela autonomních humanoidních robotů, kteří vyhrají fotbalový zápas podle oficiálních pravidel FIFA proti vítězům světového šampionátu.[8] Přestože k dosažení takového cíle máme zatím ještě hodně daleko, RoboCup rozhodně plní úlohu popularizace robotiky a plánování, které je při týmovém sportu klíčové.

6 Závěr

Plánování v robotice je oblastí umělé inteligence, která má potenciál ovlivnit náš každodenní život. Pevně věřím, že konvergujeme do stavu světa takového, v němž se díky robotům nebudeme muset zdržovat těmi nudnými manuálními úkony, které nás nebaví – ať už to je sekání trávy, vysávání, žehlení či řízení auta.

Reference

- [1] World Health Organisation. *Global status report on road safety 2013*. World Health Organisation, 2013.
- [2] Liane Yvkoff. GM: Expect self-driving vehicles by 2020. *CNET*, April 2013.
- [3] Irene Presinger. Daimler aims to launch self-driving car by 2020. *Reuters*, September 2013.
- [4] Drew Johnson. Audi predicts self-driving cars by 2020. *Left Lane News*, April 2013.
- [5] Joseph B. White. Nissan expects to market self-driving cars by 2020. *The Wall Street Journal*, August 2013.
- [6] Stephen Elmer. BMW targets 2020 for self-driving cars. *AutoGuide*, April 2013.
- [7] United Press International. Robot carries out operation by itself, 2006.
- [8] RoboCup. Robocup: Objective, 1998.