



Navigácia mobilných robotov pomocou harmonických potenciálových polí (1)

V súčasnosti existuje množstvo metód na navigáciu mobilných robotov. Avšak v reálnych podmienkach charakteristických nepresnými dátami o prostredí a ďalšími obmedzujúcimi faktormi sa tieto prístupy stávajú ťažko využiteľnými. Výpočtová náročnosť je ďalší obmedzujúci problém, ktorému sa, zrejme, vo všeobecnosti nebude dať vyhnúť. V tomto príspevku sa zaoberáme využitím potenciálových polí, ktoré sú v spojení s prvkami výpočtovej inteligencie schopné hľadať jednak optimálne trajektórie pohybu a jednak riešiť tzv. robotické pasce.

Úvod

V súčasnosti jestvujú tri základné skupiny metód na navigáciu mobilných robotov: heuristické, exaktné a mriežkové (grid) algoritmy [4]. Typickým reprezentantom prvej skupiny sú Bug algoritmy, ktoré sú jednoduché, ale vhodné väčšinou iba pre tzv. statické prostredie, t. j. s nepohyblivými a nemennými prekážkami. Exaktné algoritmy ako grafy viditeľnosti a Voronoiove diagramy umožňujú matematicky korektným spôsobom nájsť najlepšiu (v tomto zmysle najkratšiu) trajektóriu. V prípade nemožnosti nájsť riešenie sú dokonca schopné výpočtový proces ukončiť, a tak predísť zacykleniu algoritmu. Problémom je však to, že vyžadujú veľmi presné údaje o prekážkach, čo v praktických aplikáciách môže byť vážny problém. Preto sa tiež väčšinou využívajú pre statické prostredie. Z tohto hľadiska sa mriežkové algoritmy zdajú vhodnejšie pre reálne prevádzkové podmienky, nakoľko v závislosti od chyby snímania možno definovať presnosť mriežky alebo navrhnuť viacvrstvové mriežky, ktoré najprv umožnia hrubú navigáciu a po priblížení robota k cieľu prepnú na presnejšiu mriežku, kde iba v tomto úseku vyžadujú presné snímanie. Takto možno okrem iného aj skrátiť dobu výpočtu.

Potenciálové polia (prvýkrát navrhnuté v [5]) patria do skupiny mriežkových algoritmov. Vychádzajú z metafory magnetického poľa alebo šírenia plynu v prostredí s rozdielnou teplotou. Pomocou nich tak možno modelovať prostredie s prekážkami ako potenciálové rozdiely a na ich základe určovať akčný zásah. Takáto reprezentácia vlastne

predstavuje vytvorenie istej „krajinky“, čo je veľmi vhodná forma prezentácie znalostí na využitie prostriedkov výpočtovej inteligencie. Ďalej bude táto možnosť prezentovaná na simulácii problému parkovania.

1. Potenciálové polia

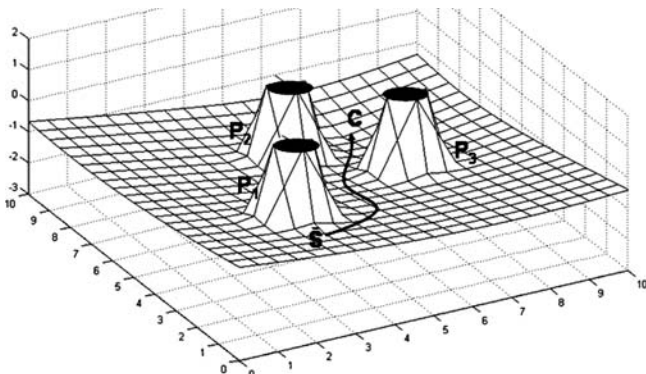
V prostredí pre pohyb robotov sú v podstate dva druhy objektov: ciele a prekážky. Vo vyjadrení pomocou potenciálového poľa by ciele mali robot priťahovať a prekážky ho od seba odpudzovať, t. j. v silovom vyjadrení pôjde o príťažlivé F_c a odpudivé F_p sily. V dvojrozmernom priestore X a Y bude celková sila $F(x, y)$ daná súčtom všetkých síl:

$$F(x, y) = F_c(x, y) + \sum_i F_{p_i}(x, y) \quad (1)$$

Množina všetkých síl pre všetky body priestoru (x, y) vytvára vektorové pole F (obr. 2). Podobne potenciálové pole U je zobrazením všetkých potenciálov $U(x, y)$, vypočítaných ako práca vykonaná medzi bodom (x, y) a bodom s nulovým potenciálom (x_0, y_0) pozdĺž cesty l :

$$U(x, y) = \int_{(x_0, y_0)}^{(x, y)} F \cdot dl \quad (2)$$

Potenciálové pole predstavuje tak priestor, ktorý pripomína istú „krajinku“ (obr. 1) s vrcholami zodpovedajúcimi prekážkam a údoliami predstavujúcimi ciele. Ak umiestnime mobilný robot do ľubovoľného bodu (x, y) , tak sa bude pôsobením gravitácie pohybovať po trajek-



Obr.1 Príklad potenciálového poľa s tromi prekážkami P_1 , P_2 , P_3 (čierne oblasti) a cieľom C s vypočítanou trajektóriou z bodu S

tórii s najstrmším zostupom, čo zodpovedá gradientu, a tým získame najrýchlejšiu cestu k cieľu. Okrem toho nastavením strmosti vrcholov možno definovať isté bezpečnostné odstupy, ktoré slúžia ako isté tolerančné pásma pre prípad nepresného snímania alebo akčného zásahu. Takýmto spôsobom vieme modelovať istý súlad medzi rýchlosťou a bezpečnosťou pohybu.

Potenciálové pole reprezentuje opis prostredia, ktoré môže byť získané buď v celku pred začiatkom pohybu robota alebo po častiach v závislosti od dosahu senzorov, čím sa zase šetrí čas. Avšak v druhom prípade už optimálnosť navrhnutej trajektórie nie je zaručená.

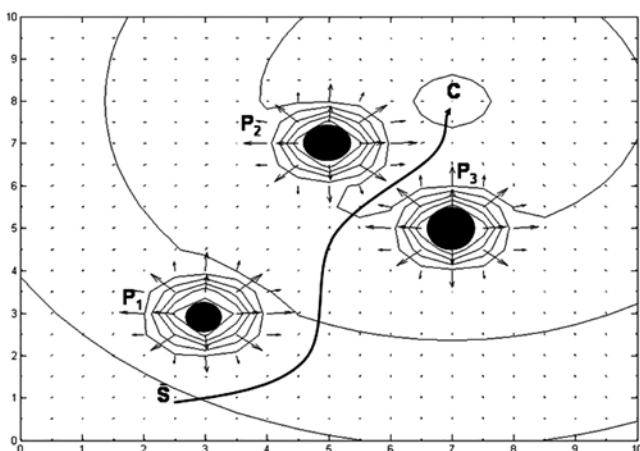
Vektorové pole predstavuje mapu hodnôt akčných zásahov, ich smer a veľkosť. Preto je z potenciálového poľa počítané ako:

$$F = -\nabla U \quad (3)$$

Navigácia tak pozostáva z dvoch fáz. Najprv je zo zosnímaných dát vytvorené potenciálové pole. Potom pomocou (3) je vypočítané vektorové pole. Obidve fázy sú výpočtovo značne náročné, avšak zvyčajne potrebujeme poznať iba časť vektorového poľa, takže sledovaním vznikajúcej trajektórie sa bude počítať akčný zásah iba v bodoch jej okolia, čím sa znovu ušetrí na výpočtoch.

Uvedený príklad je však na rozdiel od skutočnosti veľmi zjednodušený. Obsahuje iba jedno jediné minimum, v ktorom sa nachádza cieľ. Avšak v prípade nekonvexných prekážok vznikajú tzv. robotické pasce, ako to vidieť na obr. 3. V dôsledku tvaru prekážky P_2 robot uviazne v bode RP a nie je schopný dostať sa do cieľa C , nakoľko RP predstavuje lokálne minimum.

Z predchádzajúceho vyplýva, že tvar trajektórie priamo závisí od toho, ako skonštruujeme potenciálové pole. Jedným z možných riešení je



Obr.2 Vektorové pole vypočítané z potenciálového poľa na obr. 1



Obr.3 Príklad robotického pasce s prekážkami P_1 a P_2

využitie harmonických potenciálových polí (HPP), ktoré majú iba jedno minimum [3]. Základnou vlastnosťou HPP je podmienka splnenia Laplaceovej rovnice pre všetky premenné x_i :

$$\nabla^2 U = \sum_{i=1}^n \frac{\partial^2 U}{\partial x_i^2} = 0 \quad (4)$$

Pre jednoduchosť najprv uvažujme iba jednu premennú x . S využitím Taylorovho radu vypočítame hodnoty susedných bodov k $U(x)$, t. j. $U(x+1)$ a $U(x-1)$:

$$U(x+1) = U(x) + \frac{\partial U(x)}{\partial x} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial^2 U(x)}{\partial x^2} + \dots \quad (5)$$

$$U(x-1) = U(x) - \frac{\partial U(x)}{\partial x} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial^2 U(x)}{\partial x^2} - \dots \quad (6)$$

Ďalej zanedbáme zvyšné členy radov (5) a (6) a tieto rovnice sčítame:

$$U(x+1) + U(x-1) - 2U(x) \approx \frac{\partial^2 U(x)}{\partial x^2} = 0 \quad (7)$$

Pravá strana sa pre (4) rovná nule. Ako vidieť v (7), $U(x)$ je rovné aritmetickému priemeru hodnôt svojich susedov. Podobne pre dvojrozmerný priestor ($X \times Y$) budeme brať do úvahy susedné body, avšak v tomto prípade budú štyri. Rovnako ako v predošlom jednorozmernom prípade výsledné $U(x, y)$ sa bude rovnáť ich priemeru:

$$U(x, y) = \frac{1}{4} \cdot (U(x+1, y) + U(x-1, y) + \dots + U(x, y+1) + U(x, y-1)) \quad (8)$$

Takýmto spôsobom môžeme opísať všetky body HPP $U(x, y)$ a dostaneme sústavu n lineárnych rovníc, ktorej riešenie je však výpočtovo veľmi náročné. Na zjednodušenie výpočtu je preto vhodné použiť napr. Gaußovu-Seidelovu iteračnú metódu [1], [8].

2. Riešenie parkovania pomocou potenciálových polí a výpočtovej inteligencie

Komplexný problém parkovania nezahŕňa iba návrh trajektórie pre dané vozidlo v statickom prostredí, ale predpokladá aj dynamické zmeny, napr. pohyb viacerých vozidiel naraz, vznik rizika kolízie a pod. Vzhľadom na už spomenutú formu reprezentácie znalostí HPP o danom parkovisku (jeho tvare a obsadenosti jednotlivých boxov) sa ponúka možnosť prepojiť potenciálové polia s ďalšími prostriedkami, ako sú neurónové siete a fuzzy regulátory.

Jednak možno z potenciálových polí abstrahovať tvar parkoviska, na čo môžu byť využité neurónové siete, ktoré sa výhodne využívajú v rozpoznávaní obrazcov, a jednak možno v rámci potenciálových polí modelovať istú neurčitost' v podobe bezpečnostných odstupov vyžadovaných napr. nepresným snímaním, čo možno veľmi vhodne spracúvať pomocou fuzzy logiky.

Vzhľadom na výpočtovú zložitosť HPP a potrebu práce v dynamickom prostredí bola navrhnutá hybridná štruktúra pozostávajúca z týchto častí a nimi plnených úloh [6], [8]:

1. HPP – začiatkový návrh trajektórie v inicializačnom kroku. Všetky prekážky sú považované predbežne za statické. Trajektória je opísaná ako postupnosť orientačných značiek.
2. Neurónová sieť – ako regulátor snažiaci sa udržať pohyb robota po orientačných značkách. Bola použitá sieť typu back-propagation.
3. Fuzzy regulátor – Mamdaniho regulátor riešiaci kolízne situácie, t. j. ak sa robot z nejakého dôvodu priblíži príliš blízko k prekážke (oblasť bezpečnostného odstupe) alebo neurónová sieť stratí kontakt s orientačnými značkami. Obidve situácie sú spôsobené aj v prípade, keď sa nejaké iné vozidlo dostane do priestoru predpísanej trajektórie (nastane dynamické prostredie). V takomto prípade fuzzy regulátor prevezme riadenie od okamihu, keď bude znovu nadviazaný bezpečný kontakt s orientačnými značkami.

Na základe nasnímaných údajov (napr. prehľadová kamera) je navrhnuté potenciálové pole, následne je vypočítané vektorové pole a po určení štartovacieho bodu sa z neho získa začiatková trajektória (obr. 4 – bude publikovaný v 2. časti tohto seriálu). Robot začne svoj



pohyb. V každej perióde vzorkovania je pomocou neurónovej siete určený akčný zásah, v tomto prípade uhol natočenia a zrýchlenie. Zároveň je sledovaná situácia na parkovisku pomocou snímačov robota. Použitý simulátor robota využíva tzv. sonarovú percepciu, podrobnejšie v [7]. Ak je prostredie statické alebo ak sa robot nedostane do oblasti bezpečnostného odstupu a ak si neurónová sieť udrží kontakt s orientačnými značkami, tak sa riadenie bude naďalej vykonávať pomocou neurónovej siete, ináč ho preberie fuzzy regulátor. V takomto prípade má riadenie dva ciele, jednak sa vyhnúť prekážke a jednak znovu nájsť orientačné značky. Po ich splnení je riadenie znovu prebraté neurónovou sieťou (obr. 7 – bude publikovaný v 2. časti tohto seriálu).

Literatúra

- [1] BARRETT, R. at al.: Templates for the Solution of Linear Systems: Building Blocks for Iterative Methods; 2nd ed., Philadelphia, PA: SIAM, 1994, ISBN 0-89871-328-5.
- [2] BELL, G., WEIR, M. K.: Forward Chaining for Robot and Agent Navigation using Potential Fields; In: Proceedings of 27th Australasian Computer Science Conference (ACSC2004), Australian Computer Science Communications, Vol. 26, N. 1, Dunedin, New Zealand, pp. 265 – 274, ISBN 1-920682-05-8, ISSN 1445-1336, 2004.
- [3] CONNOLLY, C. I.: Harmonic functions and collision probabilities; In: Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA), pp. 3015-3019, 1994.
- [4] DUDEK, G., JENKIN, M.: Computational Principles of Mobile Robotics; Cambridge University Press, Cambridge, ISBN 0-521-56021-7, 2000.

[5] KHATIB, O.: Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots; In: Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol. 2, pp. 500 – 505, 1985.

[6] SZÁSZI, T.: Mobile Robot Path Planning by Cognitive Maps. In: CIT-AI-2006, FEI TU Košice, pp. 284 – 291, 2006.

[7] VAŠČÁK, J.: Nastavovanie parametrov fuzzy regulátora pomocou genetických algoritmov. In: Kognice a umělý život V., Vol. 2, Smolenice, Slovakia, 2005, pp. 589 – 600, ISBN 80-7248-310-2.

[8] VAŠČÁK, J.: Navigation of Mobile Robots by Computational Intelligence Means. In: SAMI 2007, 5th Slovakian – Hungarian Joint Symposium on Applied Machine Intelligence, Poprad, Slovakia, 2007.

Pokračovanie v budúcom čísle.

Dr. Ing. Ján Vaščák

Technická univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a umelej inteligencie
 Letná 9, 042 00 Košice
 e-mail: Jan.Vascak@tuke.sk

Ing. Tomáš Szászi

Honeywell
Navigation & Guidance Systems Aerospace
 Tuřanka 96/1236, 627 00 Brno, ČR
 e-mail: tomas.szasz@honeywell.com

47