

Reprezentácia prostredia mobilného robotického systému (1)

Roman Murár, Ladislav Jurišica

Tento článok hovorí o reprezentáciách vnútorného prostredia využívaných mobilnými robotickými systémami. Prostredie, v ktorom sa robot pohybuje a vykonáva úlohy, musí mať na použitie v inteligentnom rozhodovacom procese robota vhodnú formu reprezentácie. Reprezentácia prostredia môže byť vopred známa, teda môže byť vytvorená vhodným prostriedkom typu CAD alebo inak namodelovaná. Ak prostredie, t. j. ani jeho reprezentácia nie je známa, treba vykonať proces učenia. Tento proces je úzko spojený s využívaním už vytvorenej reprezentácie. Obidve fázy – učenie aj využívanie reprezentácie obsahujú množstvo problémov, ktoré treba riešiť. Hlavný je problém lokalizácie. Ide o problém globálnej lokalizácie a problém sledovania pozície robota. Základné typy reprezentácií možno rozdeliť do troch skupín, na metrické, topologické alebo hybridné. Pre každú z týchto reprezentácií predstavuje lokalizácia základný problém i keď odlišného charakteru. Na plánovanie, vykonávanie úloh a takisto na pochopenie štruktúry prostredia je výhodná topologická reprezentácia. Článok sa zameriava hlavne na tento typ reprezentácie, jej tvorbu a problémy s ňou spojené. Naznačená je možnosť a výhody doplnenia mapy o logické a systémom dedukované informácie.

Úvod

Úloha mobilného robota spočíva v autonómnej navigácii v prostredí. Preto je potrebné, aby mal k dispozícii určitú formu reprezentácie prostredia. Reprezentácia prostredia sa často nazýva mapou prostredia, pretože skutočne má v súčasnosti charakter mapy. Tvorba mapy prostredia je úzko spätá s problémom lokalizácie. Koherentnosť a odolnosť aktualizácií mapy závisí od odolnosti odhadu pozície. Pri dynamickej tvorbe mapy treba lokalizovať robot vzhľadom na už známe časti mapy. Je viac typov máp najčastejšie založených na type senzorových údajov a spôsobe ich reprezentácie.

1. Mapy prostredia

Typy máp možno rozdeliť do troch skupín – metrické, topologické, hybridné. Podľa toho, akú časť prostredia dané mapy reprezentujú, rozlišujeme lokálne a globálne mapy prostredia. Lokálne mapy reprezentujú blízke okolie mobilného robota, pričom globálne mapy reprezentujú celé skúmané prostredie. Mapy môžu byť optimalizované na reprezentáciu statického alebo meniaceho sa - dynamického prostredia.

1.1 Metrická mapa

Metrické mapy reprezentujú objekty v prostredí na základe ich geometrických závislostí. Najčastejšie sa používajú dve formy reprezentácie geometrických závislostí objektov.

Prvá forma spočíva vo výpočte karteziánskej reprezentácie prostredia, ktorú obvykle využíva rozšírená Kalmanova filtrácia (EKF [2]). Pri tvorbe sa najčastejšie využíva fúzia informácie o prejdenej vzdialenosti s údajmi zo senzorov snímajúcich okolie robota (ultrazvukové, laserové diaľkomery).

Druhá forma metrických máp má formu mriežkovej mapy obsadenosti, ktorá sa výhodne využíva v mnohých mobilných robotických systémoch. Mriežkové mapy obsadenosti pozostávajú z buniek, ktoré reprezentujú odhad obsadenosti danej oblasti v prostredí.

Výhodou metrickej mapy je možnosť dosiahnuť veľmi podrobnú reprezentáciu prostredia, zároveň však nevýhodou je náročnosť na záznamovú kapacitu a výpočtový výkon pri spracúvaní údajov mapy. Najpodstatnejšou nevýhodou je však to, že metrický prístup reprezentácie prostredia neposkytuje systém na reprezentáciu symbolických entít, ako dverí, stolov atď.

1.2 Topologická mapa

Topologická mapa predstavuje reprezentáciu prostredia na základe jeho významných vlastností. Táto mapa má formu grafu, kde

uzly reprezentujú významné vlastnosti a hrany reprezentujú vzťahy medzi vlastnosťami. Na tvorbu tejto mapy nemá vplyv neurčitost' v určení polohy mobilného robota. Nastáva tu však problém s rozpoznávaním a identifikáciou významných vlastností prostredia na základe ktorých sa uskutočňuje tvorba mapy aj identifikácia uzla v naučenej mape.

Výhodou topologickej mapy je, že má nižšie nároky na záznamovú kapacitu ako metrická mapa a preto ju možno bez väčších problémov použiť pri prieskume i väčších prostredí. Značnou výhodou je aj robustnosť voči chybám v určení polohy robota v karteziánskych súradniciach, pretože táto informácia nie je prioritne dôležitou pri tvorbe a využívaní tohto typu mapy. Výhodou je taktiež, že pri funkčnom systéme rozpoznávania vlastností prostredia je plánovanie v tomto prípade jednoduchšie.

1.3 Hybridná mapa

Hybridná mapa je kombináciou oboch predchádzajúcich typov máp. Mapa pozostáva, podobne ako topologická mapa, z uzlov a hrán spájajúcich uzly. Uzly reprezentujú významné miesta v prostredí. V tomto prípade však hrany aj uzly môžu byť opísané topologickou, ale aj metrickou formou mapy.

Táto forma mapy využíva výhody oboch foriem, teda metrický opis zabezpečuje vyššiu podrobnosť reprezentácie prostredia, pričom topologický opis zabezpečuje odolnosť voči chybám lokalizácie. Okrem problému lokalizácie treba však riešiť otázku určenia a detekcie miest, v ktorých je potrebné prepnutie z jednej formy na druhú formu reprezentácie.

2. Lokalizácia

Pri každom zo spomínaných typov máp treba riešiť problém lokalizácie, i keď pri každom type je to iný špecifický problém. Lokalizácia predstavuje problém nájdenia korešpondencie polohy robota v reálnom prostredí s polohou robota v naučenej alebo učenej mape prostredia [9]. Polohou robota sa pri metrických mapách rozumie pozícia a natočenie (x, y, φ) , pri topologických mapách predstavuje uzol, v ktorom sa robot nachádza. Lokalizáciu možno rozdeliť na dva subproblémy – lokálnu a globálnu lokalizáciu.

Lokálna lokalizácia, resp. sledovanie polohy je problém určenia polohy robota počas jeho pohybu. Polohu mobilného robota možno určiť na základe integrácie prírastkov polohy v čase, pričom musí byť známa začiatočná poloha. Prírastky polohy sa určujú využitím odometrie, ktorá je však zaťažená neurčitostami vplyvajúcimi na určenie polohy. Pre tieto neurčitosti odometrie sa najčastejšie na integráciu údajov z odometrie využíva Kalmanova



filtrácia [2]. Najvhodnejšie je však využitie odometrickej informácie v kombinácii s lokalizáciou založenou na iných informáciách (napr. o prostredí).

Globálna lokalizácia predstavuje problém určenia polohy robota pri vplyve globálnej neurčitosti. Tento problém vystupuje napríklad v prípade určenia polohy mobilného robota vo vopred naučenej mape bez poznania začiatkovej polohy robota. Globálne prístupy lokalizácie majú pritom dve základné výhody: Prvou je, že poskytujú vyšší stupeň autonómnosti, pretože netreba poznať začiatkovú polohu. Druhou výhodou je, že pri poznaní začiatkovej polohy zabezpečujú vyššiu odolnosť, pretože umožňujú opravu v prípade lokalizačnej chyby.

Väčšina prístupov lokalizácie využíva, pre neurčitost údajov zo senzorov, pravdepodobnostnú reprezentáciu polohy robota, vždy teda ide o odhad polohy robota.

Ako najčastejšie využívané metódy lokalizácie možno charakterizovať rozšírenú Kalmanovu filtráciu (EKF), Markovovu lokalizáciu, lokalizáciu Monte Carlo, čiastočne pozorovateľný Markovov rozhodovací model (POMDP).

3. Tvorba topologickej a hybridnej mapy

Topologická mapa predstavuje model prostredia vhodný pre rozhodovacie procesy robotického systému avšak, neobsahuje všetky informácie potrebné pre inteligentné systémy riadenia.

Naproti tomu hybridná mapa obsahuje navyše prídavné informácie o vlastnostiach prostredia. Informácia o topologickej stavbe prostredia je často doplnená metrickou (mriežkovou) formou, čím je dosiahnutý podrobnejší opis vlastností prostredia. Topologický opis prostredia doplnený o ďalšie informácie o vlastnostiach, miestach, predmetoch v prostredí teda naznačuje vhodné smerovanie pre tvorbu reprezentácie prostredia inteligentných systémov.

Uvažovanie a rozhodovanie je úzko navzájom spojené s reprezentáciou dát, a preto takéto formy opisu nemožno chápať ako úplné a nerozšíriteľné.

V súčasnosti využívané postupy tvorby topologických máp možno rozdeliť do dvoch skupín – nepriama a priama tvorba topologickej mapy.

Pod nepriamymi možno rozumieť prístupy, kde sa na vytvorenie topologickej mapy využíva najskôr vytvorená iná forma reprezentácie prostredia. Následne spracovaním tejto reprezentácie sa tvorí topologická mapa. Často využívaná je najskôr tvorba globálnej metrickej mriežkovej mapy prostredia a z nej sa následne vytvára topologická mapa. Na to sa využívajú metódy založené na Voronoiových diagramoch [11], tvorbe kostry mapy [5] a iné [15], [16], využívajúce rôzne prístupy hľadania významných miest, reprezentovaných uzlami topologickej mapy.

Priame prístupy taktiež často výhodne využívajú inú formu reprezentácie, avšak globálnu topologickú mapu vytvárajú priamo bez nutnosti vytvárať najskôr globálnu mapu iného typu reprezentácie (najčastejšie metrická). Do tohto typu metód možno zaradiť napríklad metódu zovšeobecneného Voronoiovhovho grafu (GVG [6]).

Literatúra

[1] BERG, M., KREVELD, M., OVERMARS, M., SCHWARZKOPF, O. (2000): Computational Geometry: Algorithms and Applications. Second Edition, Chapter 7 Voronoi diagrams, Springer-Verlag.

[2] BISHOP, G., WELCH, G. (1995): An Introduction to the Kalman Filter. University of North Carolina at Chapel Hill.

[3] DROCOURT, C. a kol. (2001): Simultaneous Localization and Map building paradigm based on omnidirectional stereoscopic vision. Proc. of the IEEE Workshop on „Omnidirectional Vision Applied to Robotic Orientation and Nondestructive Testing (NDT)“ at 10th International Conference on Advanced Robotics (ICAR '01). Budapest, Hungary, p. 73 – 79.

[4] FOX, D. a kol. (1999): Monte Carlo Localization: Efficient Position Estimation for Mobile Robots. Proceedings of the Sixteenth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI '99).

[5] HANZEL, J., JURIŠICA, L. (2004): Model of Indoor Environment Build from Ultrasonic Measurements. Proceedings the 6th international scientific-technical conference Process control.

[6] CHOSET, H., BURDICK, J. (1996): Sensor Based Motion Planning: The Hierarchical Generalized Voronoi Graph. The International Journal of Robotics Research 19, no. 2, p. 96 – 125.

[7] CHOSET, H., NAGATANI, K. (2001): Topological Simultaneous Localization and Mapping (SLAM): Toward Exact Localization Without Explicit Localization, IEEE transactions on Robotics and Automation.

[8] KAEHLING, P. L., LITTMAN, L. M., CASSANDRA, R. A. (1998): Planning and Acting in Partially Observable Stochastic Domains. Elsevier Preprint.

[9] KORTENKAMP, D., BONASSO, P. R., MURPHY, R. (1998): Artificial Intelligence and Mobile Robots. Case Studies of Successful Robot Systems, AAAI Press/The MIT Press.

[10] REMOLINA, E., KUIPERS, B. (2004): Towards a general theory of topological maps. Artificial Intelligence. Elsevier Science Publishers Ltd., Essex, UK.

[11] THRUN, S. a kol. (1998): Map Learning and High-Speed Navigation in RHINO, AI-based Mobile Robots: Case Studies of Successful Robot Systems, MIT Press.

[12] THRUN, S. (1998): Learning metric-topological maps for indoor mobile robot navigation. Artificial Intelligence, vol. 99, n. 1., p. 21 – 71.

[13] TOMATIS, N. (2001): Hybrid, Metric – topological, Mobile robot navigation. Ph.D. n° 2444, Department of Microengineering, Swiss Federal Institute of Technology, École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL).

[14] TOMATIS, N., NOURBAKHSI, I., SIEGWART, R. (2002): Hybrid Simultaneous Localization and Map Building: Closing the Loop with Multi-Hypotheses Tracking. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Washington DC, USA.

[15] VÓRÓS, J. (2004): Quadtree-based path panning using potential fields. In: Proceedings 13th International workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region RAAD '04, Brno University of Technology, p. 41 – 45.

[16] VÓRÓS, J. (2005): Mobile robot path planning using quadtree-based potential fields. In: AT&P journal PLUS6 Mechatronika 2005 „CD“, p. 71 – 75.

Pokračovanie v budúcom čísle.

Ing. Roman Murár
prof. Ing. Ladislav Jurišica, CSc.

Katedra automatizácie a regulácie FEI
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava
e-mail: roman.murar@stuba.sk
ladislav.juristica@stuba.sk

28