

Navigácia mobilného robota (1)

Ján Pavlovkin, Ladislav Jurišica

Článok je venovaný navigácii mobilných robotov v prostredí s prekážkami. Na získanie informácie z prostredia je mobilný robot vybavený ultrazvukovými snímačmi. Na základe údajov zo snímačov je vytvorená mapa prostredia. Získané údaje sú spracované algoritmom na nájdenie možných ciest pohybu mobilného robota z východzieho bodu do cieľového bodu v pracovnom prostredí rozdelenom na plošné elementy.

Úvod

Autonómny mobilný robot sa dokáže pohybovať a orientovať v dobre štruktúrovanom prostredí, ako sú výrobné haly, chodby a nekomplikované miestnosti alebo iné ohraničené priestory, ale aj v neštruktúrovaných vonkajších prostrediach. Mobilný robot bez snímačov môže pritom plniť len úlohy pevnej automatizácie v tom istom nemiennom prostredí. Mobilný robot vybavený viacerými druhmi snímačov môže pracovať v neštruktúrovanom prostredí a adaptovať sa na zmeny v tomto prostredí. Pri riadení robota je potrebné plniť celý rad úloh [1], [2], [3], [4], [6].

Metódy navigácie mobilného robota

Proces navigácie pozostáva v podstate z troch opakujúcich sa krokov:

1. určenie presnej polohy na mape,
2. vyznačenie cieľa, referenčných bodov a možných prekážok na mape
3. na základe týchto informácií určenie nového kurzu.

Navigačná hierarchia podľa [4] je založená na navigačnom správaní, ktoré je klasifikované na základe zložitosti úlohy, ktorá sa má vykonať. Tým, že navigácia vyžaduje test dosiahnutia cieľa, sa odlišuje od ostatných foriem priestorového správania sa ako napr. prehľadávanie, obchádzanie prekážok, udržiavanie kurzu.

Hľadanie cesty je rozdelené do troch úrovní:

1. reakcia – rozpoznávanie - rozhodovanie,
2. topologická navigácia,
3. navigácia prehľadávaním mapy.

Hľadanie cieľa metódou reakcia – rozpoznávanie – rozhodovanie je spojením dvoch miest pomocou lokálnej navigačnej metódy. Metóda zahŕňa rozpoznanie cieľa a počiatočnej polohy. Po rozpoznaní počiatočnej polohy sa aktivuje lokálna navigačná metóda. V tomto kontexte je poloha definovaná ako určitá „senzorová situácia“, v ktorej je vybraná konkrétna lokálna navigačná metóda. Pri tejto metóde sa neplánuje sekvencia pohybov, ale vyberie sa iba najbližšia nasledujúca akcia, takže mobilný robot reaguje iba na aktuálnu situáciu. Táto navigácia sa ponúka ako elementárny navigačný krok pre vytváranie ciest. Cesty sú sekvencie reakcií na situáciu, v ktorých sa po dosiahnutí cieľa v jednom kroku odštartuje pohyb do ďalšieho kroku. Lokálna navigačná metóda môže byť v každom kroku rozdielna v závislosti od lokálneho prostredia. Cesta môže spájať miesta, ktoré sa nedajú dosiahnuť iba samostatnou lokálnou navigačnou metódou. Stále tu nie je zahrnuté žiadne plánovanie, pretože vedomosti sú limitované iba na ďalší krok.

Ak je jeden segment cesty blokovaný napr. prekážkou, mobilný robot sa musí podľa vyhľadávacej stratégie vrátiť do známeho miesta a zvoliť inú cestu.

Mobilný robot používajúci predchádzajúcu metódu je obmedzený používaním stále rovnakých sekvencií miest. Cesty sú generované nezávisle na sebe a každý cieľ vyžaduje vlastnú cestu. Navigácia je adaptívna, ak je priestorová reprezentácia nezávislá na cieľi, t.j. ak môže byť rovnaká reprezentácia použitá pre viac cieľov. Tu už musí mať mobilný robot schopnosť zistiť, či dve cesty prechádzajú cez rovnaké miesto. Dve rôzne senzorné situácie asociované s rôznymi cestami prechádzajúce cez rovnaké miesto sa musia zlúčiť. Množina takto integrovaných ciest sa stane topologickou reprezentáciou prostredia. Toto môže byť vyjadrené matematicky prostredníctvom grafu, kde vrcholy reprezentujú miesta a hrany reprezentujú lokálne navigačné metódy spájajúce dva vrcholy. Každý vrchol sa môže stať štartom alebo cieľom cesty, takže sa dá nájsť alternatívna cesta. Skutočnosť, že rôzne cesty môžu viesť do rovnakého cieľa, vyžaduje plánovacie schopnosti, ktoré pomocou grafu generujú cesty. Plánovanie a integrácia ciest sú potrebné schopnosti pre topologickú navigáciu. Mobilný robot nemôže pri topologickej navigácii efektívne generovať nové cesty v neprebádanom teréne.

Pri topologickej navigácii musia byť rôzne cesty integrované lokálne. Pri navigácii prehľadávaním mapy sa vyžaduje vkladanie všetkých známych miest a ich priestorových vzťahov do súradnicovej sústavy. V tomto prípade musí byť známa celková priestorová reprezentácia. Naproti tomu topologická navigácia potrebuje poznať vzťahy iba medzi spojenými miestami. Mobilný robot, využívajúci navigáciu prehľadávaním mapy, je schopný nájsť nové cesty v neznámom teréne, ak mu vkladanie aktuálnych miest do mapy umožňuje vyvodzovať vzťahy medzi známymi miestami. Príkladom je hľadanie skratiek v neznámom teréne medzi nespojenými cestami alebo obchádzok okolo prekážok v neznámom teréne.

Väčšina súčasných plánovacích a logických systémov použitelných v mobilných robotoch je odvodená z predikátovej logiky prvého rádu. Prístup predikátovej logiky prvého rádu používa logické formuly, ktoré opisujú aktuálny stav sveta, klasifikujú objekty a predikujú pôsobenie činností mobilného robota. Pre bezkolízny pohyb mobilného robota v prostredí je nutné spojiť (kontinuálne) obnovovať aktuálne hodnoty vo formulách aktuálnymi údajmi z prostredia nameranými snímačmi.

Spôsoby reprezentácie prostredia pre mobilné roboty

Pre modelovanie vnútorných prostredí mobilného robota sa používajú dve základné paradigmy:

1. metrická (geometrická),
2. topologická (kvalitatívna).

Metrické prístupy sa vyznačujú relatívne veľkým množstvom pomerne presných údajov o priestorovej štruktúre prostredia pričom množstvo súvisí s veľkosťou modelovaného priestoru. V tejto skupine metód sú najrozšírenejšie mriežky obsadenia (occupancy grids) zavedené Moravcom a Elfesom [5], [6], [7] a histogramové mriežky navrhnuté Boresteinom a Korenom [8]. Prístup založe-



né na mriežke obsadenia reprezentujú prostredie jeho diskretizáciou do pravidelnej mriežky, v ktorej môže každá bunka označovať, napr. prítomnosť objektu v korenšpodujúcej oblasti prostredia.

Topologické prístupy reprezentujú pracovné prostredie mobilného robota pomocou grafu, abstraktnejším spôsobom, poskytujú menej informácií, ale umožňujú efektívne reprezentovať rozsiahle prostredia. Prostredie je modelované grafom, ktorého vrcholy reprezentujú miesta alebo orientačné body, ktoré sú na základe vhodného perceptuálneho kritéria považované za odlišné od okolia. Vrcholy v grafe sú spájané hranami (ak medzi nimi existuje priama cesta) a hrany vyjadrujú priestorový vzťah medzi vrcholmi. Priekopníkom topologického prístupu bol Kuipes [9], [10]. Ďalšie známe práce o metódach mapovania založených na grafoch sú napr. [11], [12], [13], [14].

Okrem uvedených prístupov existujú aj metódy, ktoré spájajú výhody a eliminujú nevýhody metrických a topologických prístupov v tzv. hybridných mapách. Hybridné prístupy reprezentácie priestoru využívajú na rôzne úlohy rôzne druhy reprezentácie prostredia. Napríklad problém vyhýbania sa prekážkam alebo zisťovania a modelovania objektov riešia pomocou metrických máp. Problém plánovania cesty je však riešený pomocou topologickej mapy, ktorú si robot vytvoril integráciou viacerých lokálnych metrických máp. Jednu z prvých hybridných metód tvorby mapy navrhol Trunom [15], ďalšie sú [16], [17], [18].

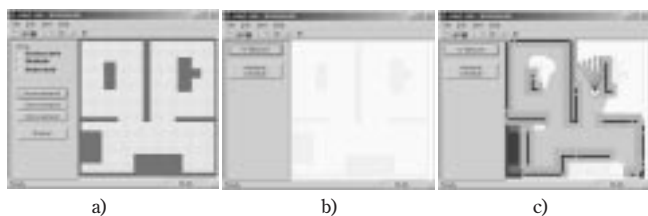
Najzložitejší prípad v navigácii mobilného robota nastáva v prípade, ak mobilný robot nemá žiadne apriórne informácie o svojom okolí, t.j. nepozná svoju polohu, uhol natočenia ani rozmery a štruktúru prostredia, v ktorom sa má pohybovať.

Predpokladajme dvojrozmerné prostredie, ktoré rozdelíme na konečný počet plošných elementov (PE), buniek. Pri tvorbe mapy prostredia je potrebné v prvom rade rozhodnúť, aká detailná má byť mapa prostredia. Môžeme uvažovať nasledovné možnosti:

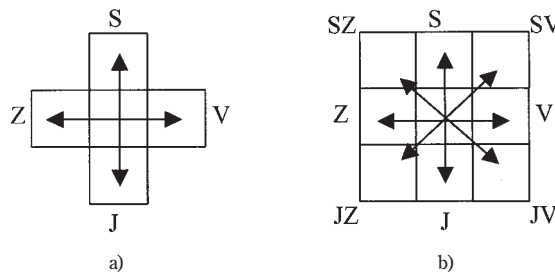
1. Mobilný robot sa „zmesť“ do „mapového elementu“. Tento model má tu výhodu, že počet mapových elementov je nízky a veľmi rýchlo sa dá prepočítať algoritmom „+1“.
2. Mapový element je 1 pixel. Dajú sa vytvárať veľmi detailne prostredia, je to však dosť komplikované aj výpočtovo náročné pre algoritmus „+1“.
3. Mapový element volíme medzi prvou a druhou možnosťou, napríklad 5 x 5 pixelov. V tomto prípade je problém zistiť, či robot dokáže prejsť medzi dvomi prekážkami, algoritmus „+1“ by sa musel adaptovať a z toho vyplývajú vyššie výpočtové nároky.

Detailnejšiu mapu prostredia s inkrementom menším ako sú rozmery robota pre reálnu prácu ani nepotrebujeme, pretože v reálnom prostredí mobilný robot neprejde cez priestor, ktorý má menšie rozmery ako sú fyzické rozmery mobilného robota.

Postup je nasledovný. Najprv sa zakreslia do pracovného prostredia stacionárne objekty a pracovné prostredie sa rozdelí na plošné elementy – PE (obr. 1a). Polohu nakreslených objektov je možné meniť označením a posunom na novú pozíciu. Všetkým PE pracovného prostredia sa prideli atribút nepreskúmaný (obr. 1b). Viacej PE vedľa seba môže tvoriť ľubovoľnú väčšiu prekážku, napr. štvorec, kruh alebo polygón (nepravidelný objekt). Jemnosť rozpoznávania prostredia môžeme vyjadriť pomerom veľkosti PE k veľkosti mobilného robota, napr. v prípade, ak je tento pomer



Obr.1 Skúmanie pracovného prostredia mobilným robotom: zelená farba – voľný priestor, modrá farba – prekážky



Obr.2 Možné smery pohybu mobilného robota v pravidelnej mriežke

1 : 1, jemnosť rozpoznávania je malá. Opačný prípad je veľkosť PE 1 x 1 pixel a mobilný robot by bol zobrazený napr. nxn pixelmi. Vhodný je kompromis napr. 1 : 5, čiže PE má rozmer napr. 6 x 6 pixelov, mobilný robot má rozmer 30 x 30 pixelov.

Pre výpočet sa zvolí rýchlosť pohybu mobilného robota (napr. 0,1 m/s). Na začiatku činnosti nemá mobilný robot žiadne informácie o svojom okolí a pomocou senzorov skúma prostredie. Postupne zisťuje, ktoré mapové elementy sú voľné, ktoré ešte nepozná (ležia mimo dosahu senzora) a ktoré objekty sa javia ako prekážky na dráhe jeho pohybu (obr. 1c). Úlohou je, aby mobilný robot preskúmal čo najväčšiu časť pracovného prostredia. Simulácia skúmania pracovného prostredia mobilným robotom je zobrazená na obr. 1.

Postup skúmania pracovného prostredia je nasledovný. Snímač mobilného robota vysiela lúče. Keď lúč narazí na prekážku, tak sa zapamätá, že všetky plošné elementy až po plošný element, ktorý sa javí ako prekážka sú voľné. Posledný plošný element je prekážka. V prípade, že lúč nenarazí na prekážku, tak všetky elementy cez ktoré lúč prešiel sú uložené ako voľné a posledný sa uloží do zásobníka ako element, ktorý bude potrebné ešte preskúmať.

Problémom zostávajú dynamické prekážky. Na základe vysielačných lúčov snímačom mobilného robota a matice PE sa dá zistiť, že niektorý PE je raz voľný a inokedy obsadený. V niektorých prípadoch by stačilo, aby mobilný robot dokázal pre každý takýto nestabilný (premenlivý) PE vytvoriť prediktívnu funkciu, čiže dopredu predpovedať, kedy bude PE voľný a kedy nie.

Pre simuláciu je dôležitá vzdialenosť medzi dvomi pixelmi v digitálnom obraze. Jej meraním získavame informáciu o pohybe mobilného robota. Vzdialenosť medzi dvomi bodmi, napr. P a Q so súradnicami bodu $P(x_P, y_P)$ a $Q(x_Q, y_Q)$ môže byť definovaná viacerými spôsobmi. Napr.

Euklidova vzdialenosť D_E v klasickej geometrii je definovaná nasledovne:

$$D_E((x_P, y_P), (x_Q, y_Q)) = \sqrt{(x_P - x_Q)^2 + (y_P - y_Q)^2} \quad (1)$$

Výhodou je, že je to skutočná vzdialenosť, nevýhodou sú vysoké výpočtové náklady ak nie sú použité celočíselné hodnoty.

Vzdialenosť medzi dvomi bodmi v rovine môžeme tiež vyjadriť ako minimálny počet elementárnych krokov v pravidelnej mriežke, ktoré sú potrebné na pohyb z východzieho bodu (štartu) označeného P do cieľového bodu (cieľa) označeného Q . V prípade dovoleného pohybu len v smere osí x a y (obr. 2a), (horizontálne a vertikálne), (Východ – Západ, Sever – Juh), vzdialenosť D_4 môžeme vyjadriť nasledovne:

$$D_4((x_P, y_P), (x_Q, y_Q)) = |x_P - x_Q| + |y_P - y_Q| \quad (2)$$

Plošný element (PE) má štyroch susedov. Ľubovoľné dva plošné elementy majú štyri susedné, ak vzdialenosť $D_4 = 1$ z každého ďalšieho.