

Reprezentácia prostredia mobilného robotického systému (2)

Roman Murár, Ladislav Jurišica

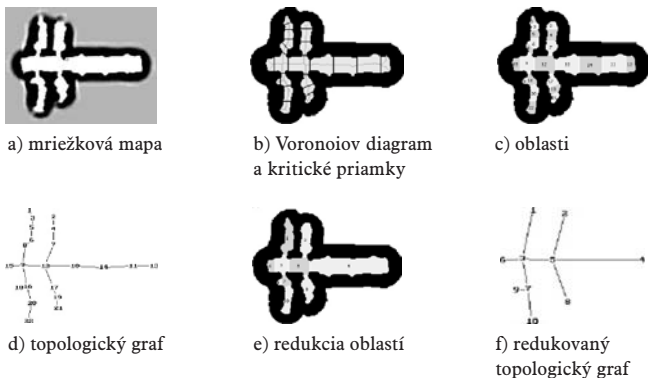
3.1 Tvorba topologickej mapy z metrickej mriežkovej mapy

Tento spôsob tvorby topologickej mapy vychádza z vopred vytvorenej metrickej mriežkovej mapy prostredia. Základná myšlienka je jednoduchá a veľmi efektívna: voľný priestor mriežkovej mapy je rozdelený na malý počet oblastí, oddelených tzv. kritickými priamkami. Kritické priamky zodpovedajú úzkym prejazdom (napr. dvere), ktorých hľadanie sa uskutočňuje využitím kostry prostredia. Rozdelená mapa je potom pretransformovaná do izomorfného grafu, kde uzly zodpovedajú oblastiam a hrany spojeniam medzi nimi.

Postup tvorby je nasledujúci [11], [12]:

- Prahovanie.** Pomocou prahovania hodnôt buniek mriežkovej mapy sú bunky rozdelené na bunky voľného priestoru (označené ako C) a obsadené bunky (označené ako \bar{C}).
- Voronioiv diagram.** Pre každý bod voľného priestoru $\langle x,y \rangle \in C$ existuje jeden alebo viac najbližších bodov obsadeného priestoru \bar{C} . Tieto body sa nazývajú bazové body bodu $\langle x,y \rangle$ a vzdialenosť medzi bazovým bodom a bodom $\langle x,y \rangle$ sa nazýva čistota $\langle x,y \rangle$. Voronioiv diagram [1] je súbor bodov voľného priestoru, ktoré majú najmenej dva rozdielne rovnako vzdialené bazové body (obr. 1b).
- Kritické body.** Základná idea v rozdelení voľného priestoru mapy spočíva v nájdení kritických bodov. Každý kritický bod $\langle x,y \rangle$ má tieto dve vlastnosti:
 - je súčasťou Voronioivho diagramu,
 - čistota všetkých bodov ε okolia $\langle x,y \rangle$ nie je menšia ako čistota bodu $\langle x,y \rangle$.
- Kritické priamky.** Kritické priamky sú vytvorené spojením každého kritického bodu s jeho bazovými bodmi. Kritické body majú presne dva bazové body, inak by neboli lokálnym minimom funkcie čistoty. Kritické priamky rozdeľujú voľný priestor mapy na disjunktne oblasti (obr. 1c).
- Topologický graf.** Rozdelená mapa je pretransformovaná do izomorfného grafu. Každá oblasť zodpovedá uzlu v topologickom grafe, každá kritická priamka hrane grafu (obr. 1d).

Vykonaním redukcie takto získanej topologickej mapy možno znížiť počet potrebných uzlov. Po takejto redukcii obsahuje topologická mapa len križovatky a s nimi susediace uzly (obr. 1e a 1f).



Obr.1 Tvorba topologickej mapy z mriežkovej mapy

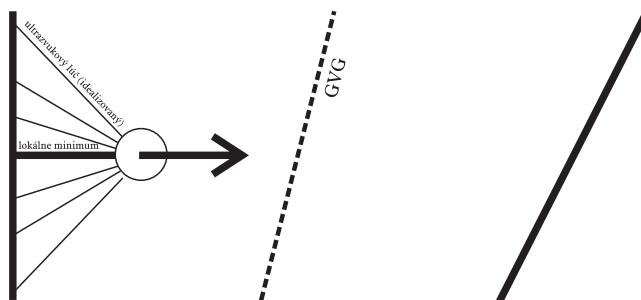
3.2 Priama tvorba topologickej mapy – zovšeobecnený Voronioiv graf (GVG)

Zovšeobecnený Voronioiv diagram predstavuje v rovine súbor bodov rovnako vzdialených od dvoch prekážok. GVG predstavuje jednorozmerný súbor kriviek, ktorý opisuje topológiu okolia robota. Konštrukcia GVG sa uskutočňuje priamo pri prieskume prostredia, teda bez potrebnej znalosti globálnej mapy prostredia ako v predchádzajúcom prípade.

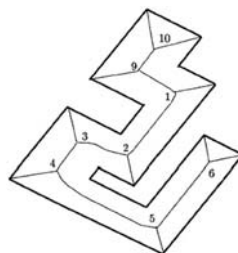
V neznámom prostredí je stratégia prieskumu ovplyvnená tvorbou Voronioivho grafu. Aby ho bolo možné tvoriť priamo pri prieskume, treba najskôr nájsť oblasť, v ktorej sú detegované dve rovnako vzdialené prekážky. Smer pohybu robota je preto spočiatku opačný ako smer k najbližšej prekážke (obr. 2). Následne pri prieskume treba sledovať vzdialenosti prekážok, čím možno dosiahnuť tvorbu a sledovanie bodov GVG. V bodoch, v ktorých sú detegované 3 alebo viac rovnako vzdialených prekážok, sa nachádzajú Voronioivove vrcholy. Príklad zovšeobecneného Voronioivho grafu je na obr. 3.

Topologická mapa je tvorená GVG. Voronioivove vrcholy GVG predstavujú vrcholy topologickej mapy a spojnice medzi nimi predstavujú hrany topologickej mapy [7]. Pre Voronioivove vrcholy platí, že $d_i(x) = d_j(x) = d_h(x)$, pre aspoň jedno h , kde $d_i(x)$ predstavuje najkratšiu detegovanú vzdialenosť od prekážky C_i (obr. 4). Vo Voronioivových vrcholoch je teda vzdialenosť minimálne od troch prekážok rovnaká.

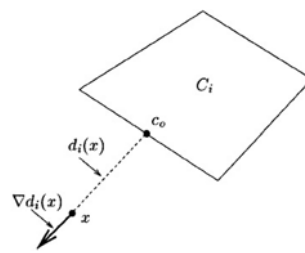
Navigácia medzi dvoma bodmi voľného priestoru nachádzajúcimi sa mimo GVG je založená na týchto krokoch. Najskôr treba naplánovať cestu zo štartovacieho bodu do bodu nachádzajúceho sa



Obr.2 Začiatok tvorby zovšeobecneného Voronioivho grafu (GVG) [7]



Obr.3 Zovšeobecnený Voronioiv graf (GVG), v ktorom sú symboly (uzly) očíslované [7]



Obr.4 Vzdialenosť medzi x a prekážkou C_i predstavuje najbližšiu vzdialenosť k prekážke [7]

na GVG. Následne je sledovaná cesta pozdĺž GVG do bodu blízkeho cieľovému bodu nachádzajúceho sa mimo GVG vo voľnom priestore. Nakoniec je potrebné naplánovanie cesty z bodu GVG do cieľového bodu. Ak možno uskutočniť všetky kroky tohto algoritmu, potom možno povedať, že existuje cesta medzi daným štartovacím a cieľovým bodom.

3.3 Hybridná (metricko-topologická) mapa

Často využívaná je forma reprezentácie, kombinujúca metrickú a topologickú formu reprezentácie. Umožňuje využívať výhody oboch prístupov, teda podrobnosť opisu metrickou mapou a úspornú a pre plánovanie výhodnú topologickú mapu. Na lokalizáciu sa využívajú prístupy pre metrickú aj topologickú reprezentáciu. Takto možno dosiahnuť vyššiu odolnosť lokalizácie.

Prostredie je opísané globálnou topologickou mapou, ktorá umožňuje plánovanie pohybu v rámci celého prostredia a lokálnymi metrickými mapami, ktoré možno využiť, ak je potrebná vyššia presnosť lokalizácie. Na lokalizáciu v rámci topologickej mapy sa využíva čiastočne pozorovateľný Markovov rozhodovací proces (POMDP [8]) a na metrickú lokalizáciu napríklad rozšírený Kalmanov filter (EKF) [2].

Okrem lokalizácie treba však pri tomto type mapy riešiť problém prepnutia medzi metrickou a topologickou reprezentáciou. Na určenie vhodného bodu na prechod do inej formy reprezentácie sa využívajú metrické vlastnosti prostredia. Tieto tzv. orientačné značky prostredia sú vhodné aj pri tvorbe a lokalizácii v topologickej mape. Týmto značkami prostredia možno totiž rozlíšiť niektoré oblasti prostredia. Na rýchlu a pomerne jednoduchú detekciu pri využití laserového skenera, ale aj pri vizuálnom systéme, sa využívajú tieto dva typy charakteristických vlastností (značiek) prostredia:

- rohy (resp. vertikálne priamky pri vizuálnom systéme), charakteristické ich formou a orientáciou,
- vchody, ktoré predstavujú vhodné miesto na prepnutie medzi formami reprezentácie mapy.

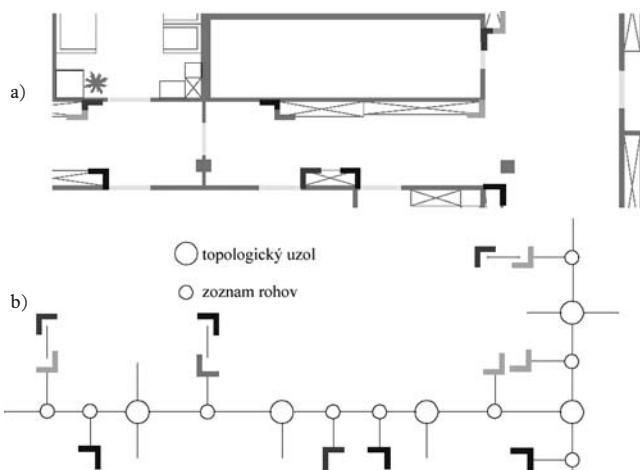
Výsledná forma takejto topologickej mapy má formu grafu, kde sú topologické miesta reprezentované uzlami obsahujúcimi informáciu o možnosti dosiahnutia pripojeného topologického alebo metrického miesta. Zároveň je mapa doplnená o zoznam značiek prostredia. Značky ležiace medzi dvoma miestami sú v mape reprezentované ako zoznam medzi dvoma uzlami. Príklad tejto formy reprezentácie je na obr. 5.

4. Problém tvorby topologických máp - uzatvorenie slučky

Problém uzatvorenia slučky možno definovať ako otázku, ako spoznať, že daná oblasť bola už predtým preskúmaná. Prostredie teda obsahuje cestu v tvare uzatvorenej slučky a táto slučka musí byť uzatvorená aj v mape. Prípad je znázornený na obr. 6 a 7.

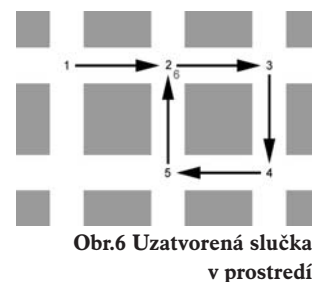
Tento problém súvisí s problémom lokalizácie a možno ho riešiť viacerými spôsobmi. Možno využiť grafové metódy, ktoré sú však použiteľné iba v niektorých prípadoch, pretože charakter niektorých situácií neumožňuje jednoznačnú identifikáciu uzlov. Viac sa využívajú metódy kombinujúce prídavné informácie o významných miestach – uzloch v mape. Ako prídavnú informáciu možno výhodne využiť odometriu, metrickú informáciu, textúry a podobne.

Každý uzol topologického typu mapy predstavuje stav prostredia detegovaný robotom na danom mieste. Samotná informácia o polohe daného miesta v topologickej mape nie je zaznamenaná. Ak by bola zabezpečená identifikácia týchto uzlov mapy v každej situácii, nebolo by potrebné riešiť problémy podobné problému uzatvorenia slučky. Tento problém sa vyskytuje hlavne v prostredí, kde sa viaceré miesta javia rovnaké. Ide hlavne o často spomí-

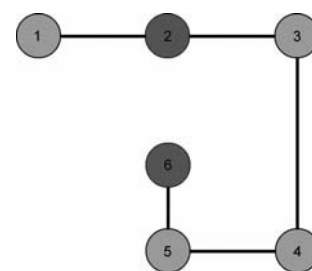


Obr. 5 a) časť chodby s extrahovanými vlastnosťami prostredia – rohmi a vchodmi, b) topologická mapa reprezentovaná grafom [13]

nané vnútorné kancelárske prostredia, ktoré sú často jednotvárne a často nemožno nájsť charakteristické vlastnosti daného miesta, ktoré by ho odlišovali od ostatných. V takýchto prípadoch treba spätne vyhodnotiť prejdenu dráhu. Tento spôsob však nezabezpečuje ani stopercentnú správnosť určenia, resp. identifikácie miesta, v ktorom sa robot už predtým nachádzal. Riešenie na zlepšenie tejto identifikácie, ale aj využiteľnosti mapy spočíva vo využití inteligentných systémov rozhodovania. Topologická mapa čisto charakteru grafu však v prípade jej využitia v inteligentnom rozhodovaní nemusí stačiť. Ako sa naznačilo v predchádzajúcom texte, možnosťou je napríklad rozšírenie tejto topologickej informácie o metrickú reprezentáciu významných miest – uzlov. Doplnením metrickej informácie možno dosiahnuť lepšiu identifikáciu miest.



Obr.6 Uzatvorená slučka v prostredí



Obr.7 Slučka v grafe, ktorú treba uzatvoriť

Hlavným krokom k zlepšeniu využiteľnosti informácií môže byť záznam nielen informácií o prostredí zo sensorov, ale aj záznam rôznych charakterov a vlastností prostredia dedukovaných systémom. Príkladom môže byť napríklad záznam toho, že sa obchádza jedna konzistentná prekážka (obr. 6). Ďalšími môže byť napríklad pri detekcii dverí záznam vlastnosti dverí, že môžu byť zatvorené alebo otvorené, teda otvárajúce priechod do ďalších miest prostredia. Pri takejto modifikácii topologickej mapy už nemožno hovoriť o mape, ale o reprezentácii prostredia.

Takáto reprezentácia musí okrem možnosti záznamu logických a iných systémom dedukovaných vlastností poskytovať aj možnosť ich modifikácie, rozšírenia, doplnenia a pod., teda všetky základné vlastnosti reprezentácie dát inteligentného rozhodovacieho systému. Samotný proces uvažovania a rozhodovania totižto úzko súvisí s formou reprezentácie údajov, možno povedať, že dokonca tvoria jeden neoddeliteľný celok.

5. Riadenie s využitím mapy

Pri zabezpečení identifikácie miest v mape s miestami v prostredí, teda pri funkčnej lokalizácii je riadenie s využitím mapy značne jednoduchšie ako pri prvotnom prieskume prostredia. Navigácia v prostredí môže byť buď využitím topologických informácií,



alebo na presnejšiu navigáciu na danom mieste možno využiť metrickú formu mapy. Pri navigácii v prostredí s využitím mapy však treba uvažovať o zmene prostredia. V prípade zmeny prostredia môže dôjsť k zablokovaniu jednej cesty k cieľu, môže sa objaviť nová cesta, ktorá predtým nebola zaznačená v mape. Túto novú informáciu treba zaznačiť do mapy. Pomocnými môžu byť v tomto prípade logické, resp. systémom dedukované informácie. Napríklad uzavretie predtým známej cesty môže nastať pre zatvorenie dverí, iné dvere môžu byť otvorené. Každá neplatná cesta potom nemusí byť vymazaná, stačí len doplniť informáciu o dverách a iných dočasných prekážkach, ktoré môžu rozhodovať o prejazdnosti danej cesty.

Záver

Topologická mapa predstavuje vhodnú formu reprezentácie prostredia, odstraňujúca rôzne problémy spojené s určením polohy systému. Iba topologické informácie v mape však nestačia, hlavne v prípadoch lokalizácie v jednotlivých prostrediach. Využívaným doplnkom k topologickej je často metrická informácia, ktorá umožňuje presnejší opis prostredia, avšak pri jej použití treba riešiť problém určenia polohy (x, y, φ) . Vhodnou formou môže byť reprezentácia obsahujúca aj logické, dedukované a iné inteligentným systémom zistené informácie. Pri takejto reprezentácii sa predpokladá úzke spojenie inteligentného systému rozhodovania s reprezentovanými údajmi. Využitím tejto formy môžu byť tak zjednodušené problémy spojené s lokalizáciou v prostredí, navigáciou v naučenej mape, zmenou prostredia a iné.

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., NOURBAKSHI, 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.

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

50