

AUTONOMNO PLANIRANJE GIBANJA STROJA ZA ČIŠĆENJE PODOVA

Sanja Horvatić, Marija Đakulović, Ivan Petrović

Zavod za automatiku i računalno inženjerstvo,
Fakultet elektrotehnike i računarstva,
Sveučilište u Zagrebu,
Unska 3,
HR-1000 Zagreb, Hrvatska

Sažetak

Problem autonomnog planiranja gibanja stroja za čišćenje svodi se na planiranje putanje od neke početne pozicije do završne pozicije u prostoru tako da stroj slijedeći isplaniranu putanju počisti sve dohvatljive pozicije u prostoru. Ovaj se problem naziva problemom potpunog pretraživanja prostora. U radu su razvijene dvije metode potpunog pretraživanja prostora: metoda transformacije udaljenosti te metoda transformacije putanje. Ideja se zasniva na postojećim metodama Zelinskog et al., ali se pri realizaciji algoritama rade značajne modifikacije kojima se uzimaju u obzir dimenzije stroja za čišćenje s naglaskom na sigurnost gibanja te smanjenje duljine putanje i vremena pretraživanja. Metode su implementirane u razvojnom okruženju Player/Stage te provjerene simulacijski. Obje metode su se pokazale kao učinkovite te bi mogle udovoljiti zahtjevima za rad u brojnim primjenama čišćenja raznih prostora.

AUTONOMOUS MOTION PLANNING FOR A FLOOR-CLEANING MACHINE

Abstract

The motion planning problem of a cleaning machine comes down to planning a path from some starting location to a final location in an area so that the machine cleans all the reachable positions in an area while following the planned path. This problem is called the problem of complete coverage of an area. Two methods of complete coverage of an area are developed in the paper: the distance transform method and the path transform method. The idea is based on the known methods of Zelinsky et al., but in the realisation of the algorithms significant modifications were made that took notice of the cleaning machine's dimensions, with an emphasis on safety of motion and reduction of path distance and search time. The methods are implemented in a player/stage software tool and tested in simulations. Both methods have shown themselves as effective and could meet the working demands in numerous applications involving cleaning of various areas.

1. UVOD

Autonomni strojevi za čišćenje su vozila koja se autonomno gibaju u poznatim prostorima. Primjene autonomnih strojeva za čišćenje su primjerice čišćenje podova prometnih sredstava, čekaonica, zračnih luka, itd. Problem planiranja gibanja stroja za čišćenje svodi se na planiranje putanje od neke početne pozicije do završne pozicije u prostoru tako da stroj slijedeći isplaniranu putanju počisti

sve dohvatljive pozicije u prostoru. Taj se problem naziva problemom potpunog pretraživanja prostora ili problemom trgovačkog putnika [1]. Dvije metode potpunog pretraživanja prostora predstavljene su u radu Zelinskog et al. [2] – metoda transformacije udaljenosti (TU) i metoda transformacije putanje (TP). Obje metode osiguravaju obilaženje svake točke prostora, ali generiraju različite putanje – metoda TU određuje putanju spiralnog oblika s mnogo skretanja, a

metoda TP određuje putanju koja prati oblik prepreka i ima manje skretanja. Međutim, predstavljene metode ne uključuju dimenzije stroja za čišćenje zbog čega neki dijelovi prostora koje stroj može dohvatiti ostaju neposječeni. Stoga se u ovom radu predlažu metode potpunog pretraživanja prostora TU i TP sa značajnim modifikacijama kojima se uzimaju u obzir dimenzije stroja za čišćenje. Razvijenim metodama dodatno se osigurava sigurnost gibanja stroja za čišćenje te smanjuje duljina putanje i vrijeme pretraživanja u odnosu na izvorne metode.

U nastavku su opisane izvorne metode potpunog pretraživanja prostora te su zatim predstavljene razvijene metode potpunog pretraživanja prostora. Naposljetku su dane simulacijske provjere predloženih metoda.

2. POTPUNO PRETRAŽIVANJE PROSTORA STROJA ZA ČIŠĆENJE

2.1. Izvorne metode potpunog pretraživanja prostora

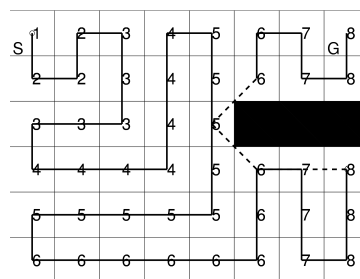
Metode potpunog pretraživanja prostora koriste dekompoziciju poznate karte prostora na kvadratna polja jednakih veličina stranica. Polja koja u sebi sadrže dijelove prepreka (zidova, stupova, namještaja) nazivaju se zauzetim poljima, a sva ostala polja slobodnima. Karta sastavljena od slobodnih i zauzetih kvadratnih polja naziva se mrežastom kartom zauzeća. Veličina polja određuje rezoluciju mrežaste karte. Što je polje manje to je preciznije opisan stvarni prostor zauzetim i slobodnim kvadratnim poljima (veća rezolucija). Dva su polja susjedna ako se dodiruju stranicom ili vrhom.

Metoda TU zasniva se na rasprostiranju tzv. valne fronte vrijednosti V_{TU} kroz sva slobodna polja u prostoru. Jedno se slobodno polje odabere kao početno polje S . Vrijednosti se dodjeljuju na način da polju S dodijeli vrijednost 1, poljima susjednim polju S dodijeli vrijednost 2, njihovim susjedima kojima već nije dodijeljena vrijednost dodijeli se vrijednost 3 i tako se vrijednosti poput vala dodjeljuju sve dok se svim slobodnim poljima ne dodijele vrijednosti. Završno polje G je ono polje kojem se posljednjem dodijelila vrijednost V_{TU} . Prateći potom rastuće ili jednake vrijednosti V_{TU} počevši od polja S sve do polja G , dobiva se putanja koja prolazi kroz sva slobodna polja u karti

prostora. Sljedeći pseudokod opisuje nalaženje takve putanje:

- L1: Postavi polje S kao trenutno*
L2: Postavi sva polja kao neposječena
L3: Petlja
L4: Nađi susjedno neposječeno polje s najmanjom V_{TU}
L5: Stani u susjedno polje i postavi ga kao trenutno i posječeno
L6: Ako nema susjednih neposječenih polja tada stani u nesusjedno neposječeno polje najbliže početnom polju i postavi ga kao trenutno i posječeno
L7: Kraj petlje

Na slici 1 prikazan je primjer određivanja vrijednosti V_{TU} i putanje na jednostavnoj karti prostora. Crtkanom linijom označen je skok od nesusjednog neposječenog polja (pseudokod, L6).



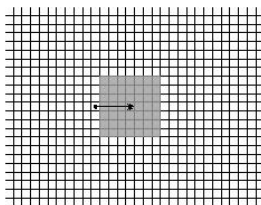
SI. 1. Određivanje putanje metodom transformacije udaljenosti.

Metoda TP vrlo je slična metodi TU, a od nje se razlikuje po načinu rasprostiranja valne fronte. Vrijednosti V_{TP} dodjeljuju se na isti način kao kod metode TU, osim za polja koja se nalaze u nekoj zadanoj okolini od prepreka. U tom se slučaju vrijednost V_{TP} dodatno uveća obrnuto proporcionalno udaljenosti polja od najbliže prepreke. Na taj su način dodijeljene veće vrijednosti poljima bliže preprekama nego onima jednako udaljenima od polja S , ali dalje od prepreka. Putanja koja prolazi kroz sva slobodna polja određuje se prethodno danim pseudokodom.

2.2. Proširenje metoda potpunog pretraživanja prostora

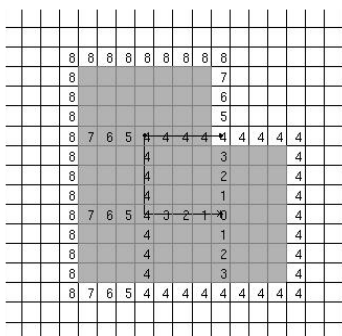
Izvorne metode ne uzimaju u obzir dimenzije stroja za čišćenje. Ako bi se razmatralo da veličina jednog polja u karti pokriva cijeli opseg stroja za čišćenje, tada bi se radilo o pregruboj reprezentaciji prostora u kojoj se gube detalji prostora i može se dogoditi da ne postoji niz slobodnih polja koja

vode kroz uski prolaz iako stroj za čišćenje može proći tim prolazom. Nasuprot ovom razmatranju, ako bi se koristila veličina polja kojom se precizno opisuje stvarni prostor (visoka rezolucija), tada bi određena putanja metodama TU ili TP bila preduga budući da bi stroj za čišćenje nekoliko puta prelazio preko istog područja u prostoru. Stoga su izvorne metode proširene na način da pretraživanje uzima u obzir masku slobodnih polja koja stroj prekriva svojim dimenzijama u prostoru. U primjeru prikazanom na slici 2 stroj za čišćenje pozicioniran u jednom polju istovremeno posjeti 48 polja u njegovoj okolini.



SI. 2. Primjer prekrivanja polja u okolini središnje točke stroja za čišćenje.

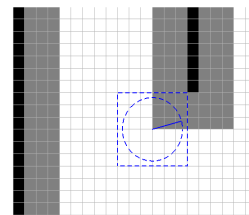
Kao u izvornoj metodi TU, rasprostranjem valne fronte određuju se vrijednosti V_{TU} svakom slobodnom polju počevši od polja S . Sva polja ispod maske stroja zabilježena su posjećenima. Susjedna polja koja se razmatraju su ona koja dodiruju masku stroja svojom stranicom ili vrhom. Prateći potom rastuće ili jednake vrijednosti V_{TU} i u svakom koraku postavljanjem posjećenosti svakom polju ispod maske stroja počevši od polja S sve do polja G , dobiva se putanja koja prolazi kroz sva slobodna polja u karti prostora. Slika 3 prikazuje posjećenost prostora nakon tri pomaka stroja kroz prostor. Brojčane vrijednosti naznačene su samo na razmatranim susjedima koji dodiruju masku stroja.



SI. 3. Posjećenost prostora nakon prolaska kroz tri točke prostora.

Kako bi se odredilo u koja polja stroj za čišćenje smije doći, a da pritom svojom maskom ne ulazi u

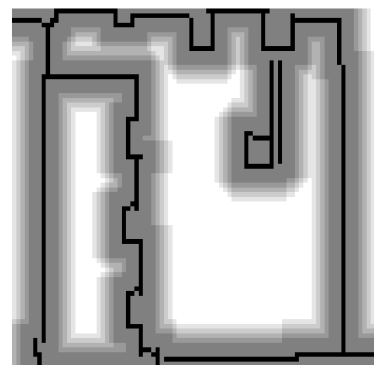
niti jednu prepreku, potrebno je proširiti prepreke za dimenzije stroja. Time su određena sva dostupna (dohvatljiva) polja. Polja u okolini stvarnih prepreka su zabranjena, ali obavezna za posjećivanje. Drugim riječima, stroj ne smije u njih doći svojim centrom, nego ih mora pokriti rubom maske. Primjer proširivanja prepreka za dimenzije stroja prikazan je na slici 4. Crnom su označene stvarne prepreke, a sivom proširene prepreke za dimenzije stroja za čišćenje.



SI. 4. Primjer proširivanja prepreka za dimenzije stroja za čišćenje.

Ako se stroj za čišćenje nađe u poziciji koja nema neposjećeno susjedno polje, a prostor nije u potpunosti posjećen, koristi se algoritam A* [3] za pronalaženje najkraće putanje od trenutnog polja do nesusjednog polja najbližeg polju S i najmanje vrijednosti V_{TU} . Algoritam A* koristi se i za širenje valne fronte budući da je vrijednost transformacije udaljenosti zapravo ekvivalent broju polja koje obuhvaća najkraći put od početne do trenutne točke.

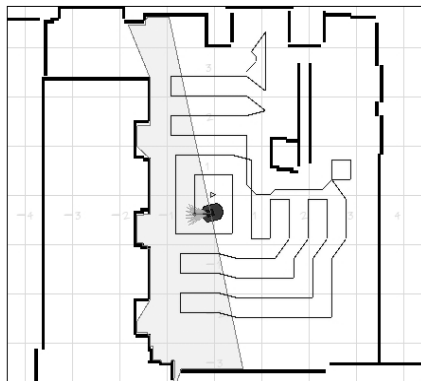
Kao i u izvornoj metodi TP koriste se dodatne vrijednosti blizine prepreka koje otežavaju polja bliže preprekama odgovarajućim faktorom. Primjer takvog otežavanja polja u okolini prepreka prikazan je na slici 5. Svjetlije nijanse sive označavaju nižu vrijednost težine.



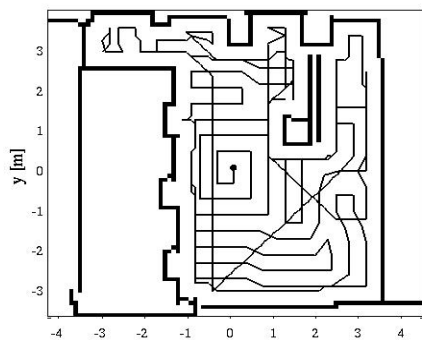
SI. 5. Otežane vrijednosti polja udaljenih od prepreka za manje od 4 polja.

2.3. Simulacijski rezultati

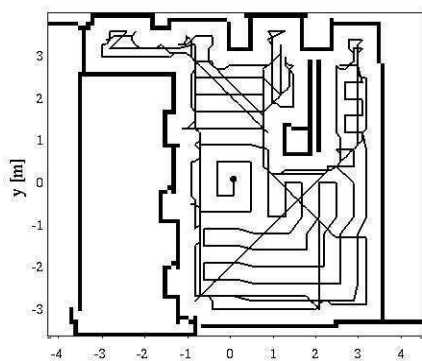
Metode potpunog istraživanja prostora razvijene su u programskom okruženju Player/Stage za simuliranje i upravljanje mobilnim platformama. Primjer simulacijskog okruženja prikazan je na slici 6. Osjenčano područje označava domet senzora udaljenosti kojime stroj otkriva prepreke u prostoru.



Sl. 6. Stroj za čišćenje u Player/Stage radnom okruženju.



Sl.7. Putanja dobivena metodom TU.



Sl.8. Putanja dobivena metodom TP.

U izvornom radu Zelinskog *et al.* [2] prednost se daje metodi TP budući da nema mnogo skretanja te

se prati oblik prepreka. Međutim, testiranja razvijenih metoda na različitim prostorima pokazala su da je duljina putanje mnogo veća kod metode TP nego kod metode TU. Slike 7 i 8 prikazuju rezultate razvijenih metoda TU i TP na odabranoj karti prostora. Obje su metode testirane s početnom pozicijom u (2.900 m, 2.800 m, 0°). Metoda TU odredila je putanju spiralne konture duljine 105.84 m, dok je metoda TP odredila putanju koja prati oblik prepreka, a duljine je 127.61 m.

3. ZAKLJUČAK

U ovom su radu predložene metode potpunog pretraživanja prostora autonomnog stroja za čišćenje podova s ciljem učinkovitog i sustavnog pretraživanja prostora. Ideja predloženih metoda zasniva se na metodama Zelinskog *et al.*, ali su znatno proširene kako bi se mogle koristiti na autonomnom stroju za čišćenje. Naime, izvorne metode ne uzimaju u obzir dimenzije stroja za čišćenje. Pretpostavimo li da stroj za čišćenje ima dimenzije točno jednog polja u karti, postoji problem izrade karte s poljima takvih dimenzija te se uvelike smanjuje točnost reprezentacije prostora. Predložene metode rješavaju taj problem uzimajući u obzir dimenzije stroja za čišćenje, pritom stavljajući naglasak na sigurnost u zaobilazanju prepreka te osiguravanje potpunog, sustavnog pretraživanja uz smanjenje vremena i putanje. Simulacijski rezultati pokazuju prednosti predloženih metoda te ukazuju da bi mogle udovoljiti zahtjevima za rad u brojnim primjenama koje potpuno pretraživanje ima, poput čišćenja podova prometnih sredstava, čekaonica, zračnih luka i slično.

4. LITERATURA

- [1] S. M. LaValle, *Planning Algorithms*, Cambridge University Press, Cambridge, 2006.
- [2] A. Zelinsky, R.A. Jarvis, J.C. Byrne, S. Yuta, Planning Paths of Complete Coverage of an Unstructured Environment by a Mobile Robot, *Int. Conf. on Advanced Robotics (ICAR)*, stranice 533-538, 1993.
- [3] P.E. Hart, N.J. Nilsson, B. Raphael, A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths, *IEEE Trans. on Systems Science and Cybernetics*, 4(2), stranice 100-107, 1968.