

FELADATKIÍRÁS

A feladatkiírást a tanszéki adminisztrációban lehet átvenni, és a leadott munkába eredeti, tanszéki pecséttel ellátott és a tanszékvezető által aláírt lapot kell belefűzni (ezen oldal *helyett*, ez az oldal csak útmutatás). Az elektronikusan feltöltött dolgozatban már nem kell beleszerkeszteni ezt a feladatkiírást.



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Autómatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék

Pályatervezési és pályakövető szabályozási algoritmusok fejlesztése robotautóhoz

DIPLOMATERV

Készítette

Csorvási Gábor

Konzulens

Kiss Domokos

2014. december 5.

Tartalomjegyzék

Kivonat	4
Abstract	5
1. Bevezető	6
1.1. Problémafelvetés	6
1.2. Pályatervezés elmélete	6
1.2.1. Alapvető fogalmak	6
1.2.2. Pályatervezők osztályozása	8
2. Útvonaltervezés C*CS pályákkal	10
2.1. Reeds-Shepp lokális pályák	10
2.2. C*CS lokális pályák	10
2.3. C*CS approximációs módszer	10
2.3.1. Globális tervező	10
2.3.2. Lokális tervező alkalmazása	10
2.4. $c\bar{c}S$	10
2.5. RTR	10
2.6. Eredmények	10
3. Pálya időparaméterezése	11
3.1. Jelölések	11
3.2. Korlátozások	11
3.3. Geometriai sebességprofil	11
3.4. Újramintavételezés	11
4. Pályakövető szabályozás	12
4.1. Pályakövetés	12
4.2. Virtuális vonalkövető szabályozás	12
4.3. Vonalkövetés valós roboton	12
5. Algoritmusok megvalósítása	13
5.1. Szimuláció – V-REP	13
5.1.1. Szerver program	13
5.1.2. Kliens program	13

5.2. Szimulációs eredmények	13
6. Megvalósítás valós roboton	14
6.1. Felépítés	14
6.2. Nehézségek	14
6.3. További tervek	14
Köszönetnyilvánítás	15
Irodalomjegyzék	16
Függelék	17

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott *Csorvási Gábor*, szigorló hallgató kijelentem, hogy ezt a diplomatervet meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, csak a megadott forrásokat (szakirodalom, eszközök stb.) használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Hozzájárulok, hogy a jelen munkám alapadatait (szerző(k), cím, angol és magyar nyelvű tartalmi kivonat, készítés éve, konzulens(ek) neve) a BME VIK nyilvánosan hozzáférhető elektronikus formában, a munka teljes szövegét pedig az egyetem belső hálózatán keresztül (vagy autentikált felhasználók számára) közzétegye. Kijelentem, hogy a benyújtott munka és annak elektronikus verziója megegyezik. Dékáni engedéllyel titkosított diplomatervek esetén a dolgozat szövege csak 3 év eltelte után válik hozzáférhetővé.

Budapest, 2014. december 5.

Csorvási Gábor
hallgató

Kivonat

Jelen dokumentum egy diplomaterv sablon, amely formai keretet ad a BME Villamosmérnöki és Informatikai Karán végző hallgatók által elkészítendő szakdolgozatnak és diplomatervnek. A sablon használata opcionális. Ez a sablon \LaTeX alapú, a *TeXLive* \TeX -implementációval és a PDF- \LaTeX fordítóval működőképes.

Abstract

This document is a L^AT_EX-based skeleton for BSc/MSc theses of students at the Electrical Engineering and Informatics Faculty, Budapest University of Technology and Economics. The usage of this skeleton is optional. It has been tested with the *TeXLive* T_EX implementation, and it requires the PDF-L^AT_EX compiler.

1. fejezet

Bevezető

1.1. Problémafelvetés

A helyváltoztatásra képes, úgynevezett mobil robotok esetében alapvető szituáció, hogy a robotnak a feladata végrehajtásához el kell jutnia egy célpontba. Ehhez önmagának kell az adott környezetben megterveznie a pályát és emberi beavatkozás nélkül kell sikeresen eljutnia a kívánt célpontba. A probléma nagyságrendileg nehezebb amikor a robot környezetében akadályok is találhatóak.

Célom azon megközelítések és módszerek áttekintése, amelyek megoldást nyújtanak az autonóm pályatervezés kérdéseire. Néhány módszert részletesebben is ismertetek, ezeket szimulátoron és valós robotokon is implementáltam, illetve teszteltem. A pályatervezéshez szorosan kapcsoló téma a mozgásirányítás, amivel szintén foglalkoznunk kell, hogy valós környezetben ténylegesen használható eljárásokat kapjunk.

1.2. Pályatervezés elmélete

Az elmúlt időszakban a pályatervezéssel kapcsolatban igen sok kutatás foglalkozott [4]. Ahhoz, hogy ezeket az algoritmusokat ismertessük, be kell vezetnünk néhány alapvető fogalmat.

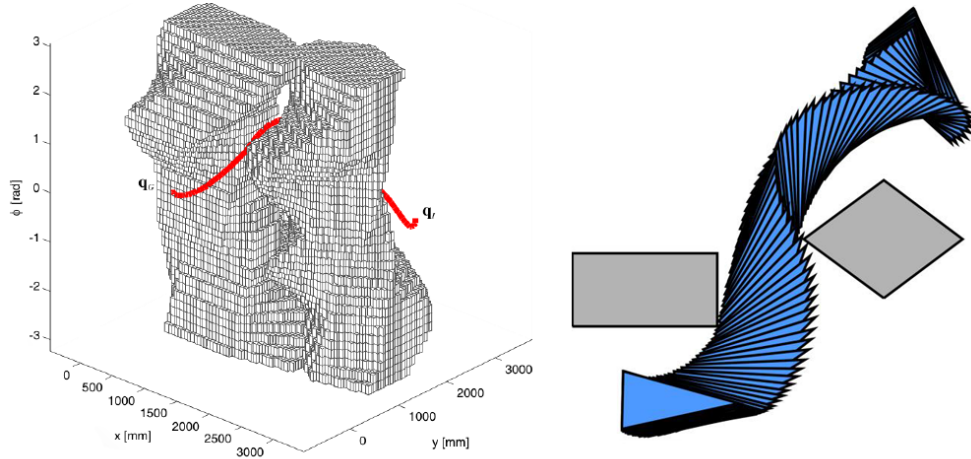
1.2.1. Alapvető fogalmak

A pályatervezés során a robot pillanatnyi állapotát a *konfigurációjával* írhatjuk le. Síkban mozgó robotok esetében a konfiguráció a következőket tartalmazza [5]:

$$q = (x, y, \theta), \tag{1.1}$$

ahol q a robot konfigurációja, x, y határozza meg a robot pozícióját a síkon és θ határozza meg a robot orientációját.

Egy lehetséges környezetben a robot összes állapotát, a *konfigurációs tér* adja meg, amit C -vel jelölünk. A konfigurációs tér azon részhalmazát, amely esetében a robot a környezetben található akadályokkal nem ütközik, *szabad (konfigurációs) térnek* nevezzük



1.1. ábra. Konfigurációs tér szemléltetése egy adott útvonal során. A konfigurációs térben a piros vonal jelzi a robot útját a célpontja felé [2].

(C_{free}). E halmaz komplementere azokat a konfigurációkat tartalmazza, amelyek esetén a robot ütközne az akadályokkal ($C_{obs} = C \setminus C_{free}$). A konfigurációs teret az 1.1. ábrán szemléltetjük.

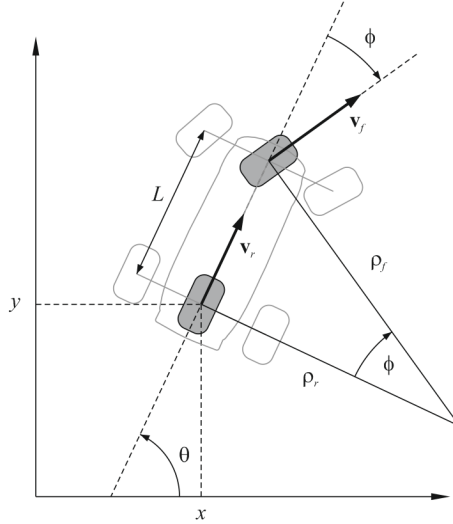
A korlátozások ismerete alapvető fontosságú a pályatervezés és mozgásirányítás során. A környezetben elhelyezkedő akadályokat *globális korlátozásoknak* tekintjük, a robothoz kapcsolódó korlátozásokat pedig *lokális korlátozásoknak* [5]. A lokális korlátozásokat a robot konfigurációs változóinak differenciál-egyenletével írhatjuk le, ezért gyakran nevezik őket *differenciális korlátozásoknak* is. Differenciális korlátozások vonatkozhatnak sebesség (kinematikai) és gyorsulás mennyiségre is (dinamikai korlát). Dolgozatomban csak kinematikai korlátozásokkal fogok foglalkozni, dinamikai korlátokkal nem.

Egy autó esetén mindenki számára egyértelmű, hogy csak bizonyos íveken tudunk mozogni, egy adott konfigurációból nem tudunk a konfigurációs tér bármely irányába elmozdulni, habár a szabad tér bármely konfigurációjába eljuthatunk. Autónál emiatt nem olyan egyszerű például a párhuzamosan parkolás. Azokat a robotokat, amelyek ehhez hasonló korlátozásokkal rendelkeznek, *anholonom rendszereknek* nevezzük. Az anholonom korlátozásról akkor beszélünk, ha a korlátozás olyan differenciál egyenlettel írható le, amely nem integrálható.

Az általam vizsgált robottípus az *autószerű robot*, egy anholonom rendszer. Viszont léteznek olyan robotok, amelyek nem rendelkeznek anholonom korlátozásokkal (holonom rendszerek), ilyenek például az omnidirekcionális robotok. Egy omnidirekcionális robot képes bármilyen konfigurációból a tér bármely irányába elmozdulni.

Robotmodell

Az általam vizsgált robot típust, az autószerű robotot mindenki jól ismeri és elterjedtsége megkérdőjelezhetetlen, de a kinematikai leírása már kevésbé ismert, ellenben az 1.2. ábra segítségével könnyedén levezethető:



1.2. ábra. Autószerű robot modellje.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= v_r \cos \theta \\ \dot{y} &= v_r \sin \theta \\ \dot{\theta} &= \frac{v_r}{L} \tan \phi,\end{aligned}\tag{1.2}$$

ahol L az első és hátsó tengelyek távolsága, ϕ a kormánysszög, v pedig a hátsó tengely középpontjának tangenciális sebessége, amelyet a robot referenciapontjának nevezünk.

1.2.2. Pályatervezők osztályozása

Mielőtt belekezdenék az általam megvizsgált pályatervező algoritmusok részletesebb ismertetésébe, tekintsük át az irodalomban használatos módszereket.

Geometriai tervezés szerinti csoportosítás

A pályatervezők geometriai módszerei szerint alapvetően két csoportot különböztetünk meg: a *globális tervezők* és a *reaktív tervezők* csoportját [5].

A globális tervezők esetében a konfigurációs tér egészét figyelembe vesszük a tervezéskor, míg a reaktív tervezők csupán a robot környezetében lévő szűkebb tér ismeretére építenek. A globális tervezők előnye, hogy képesek akár optimális megoldást is találni, míg a reaktív tervezők egy lokális minimumhelyen ragadhatnak, nem garantálható, hogy a robot eljut a célponthoz. A globális tervezés hátránya azonban a lényegesen nagyobb futási idő, ezért gyakran változó vagy ismeretlen környezet esetén előnyösebb lehet a reaktív tervezők használata.

A reaktív tervezők esetében a robot alakját körrel szokták közelíteni, ezzel is egyszerűsítve a tervezés folyamatát. Ezzel szemben globális algoritmusok a robot pontos alakját figyelembe veszik, aminek nagy jelentősége van szűk folyosókat tartalmazó pálya esetén.

Az általam bemutatott algoritmusok is figyelembe veszik a robot pontos alakját.

A globális tervezők esetén megkülönböztetünk mintavételes és kombinatorikus módszereket [4]. A mintavételes módszerek a konfigurációs teret véletlenszerűen mintavételezik és ez alapján próbálnak utat keresni a célpontba. Ellenben a kombinatorikus módszerek a környezet pontos geometriai modellje alapján terveznek utat. Ezen algoritmusok előnye, hogy ha nem létezik megoldás, akkor ezt véges időn belül képesek eldönteni, ám a mintavételes tervezők ezt nem tudják véges időn belül megtenni.

Irányított rendszer szerinti csoportosítás

A robotok, mint irányított rendszerek esetén megkülönböztetjük az anholonom és holonom rendszereket a pályatervezők csoportosítása esetén is. Anholonom rendszerek esetén önmagában a robot állapotváltoztatása sem triviális feladat. Azokat az eljárásokat, amelyek képesek egy anholonom rendszert egy kezdő konfigurációból egy cél konfigurációba eljuttatni az akadályok figyelembe vétele nélkül, *lokális tervezőknek* hívjuk [4].

Gyakran már a globális tervező figyelembe veszi a robot korlátozásait és ennek megfelelő geometriai primitíveket használ de, a globális tervező által megtervezett pályát közelíthetjük egy lokális tervezővel is, ha az anholonom robotunk közvetlenül nem tudná lekövetni a globális pályát. Ezt az eljárást, approximációs módszernek nevezik. Egy ilyen algoritmusra látunk példát a következő fejezetben.

2. fejezet

Útvonaltervezés C^*CS pályákkal

2.1. Reeds-Shepp lokális pályák

2.2. C^*CS lokális pályák

2.3. C^*CS approximációs módszer

2.3.1. Globális tervező

2.3.2. Lokális tervező alkalmazása

2.4. $c\bar{c}S$

2.5. RTR

2.6. Eredmények

3. fejezet

Pálya időparaméterezése

3.1. Jelölések

3.2. Korlátozások

3.3. Geometriai sebességprofil

3.4. Újramintavételezés

4. fejezet

Pályakövető szabályozás

4.1. Pályakövetés

4.2. Virtuális vonalkövető szabályozás

4.3. Vonalkövetés valós roboton

5. fejezet

Algoritmusok megvalósítása

5.1. Szimuláció – V-REP

5.1.1. Szerver program

5.1.2. Kliens program

5.2. Szimulációs eredmények

6. fejezet

Megvalósítás valós roboton

6.1. Felépítés

6.2. Nehézségek

6.3. További tervek

Köszönetnyilvánítás

Ez nem kötelező, akár törölhető is. Ha a szerző szükségét érzi, itt lehet köszönetet nyilvánítani azoknak, akik hozzájárultak munkájukkal ahhoz, hogy a hallgató a szakdolgozatban vagy diplomamunkában leírt feladatokat sikeresen elvégezze. A konzulensnek való köszönetnyilvánítás sem kötelező, a konzulensnek hivatalosan is dolga, hogy a hallgatót konzultálja.

Irodalomjegyzék

- [1] L. E. Kavraki, P. Svetska, J.-C. Latombe, and M. H. Overmars. Probabilistic roadmaps for path planning in high-dimensional configuration spaces. 12:566–580, 1996.
- [2] D. Kiss and G. Tevesz. A model predictive navigation approach considering mobile robot shape and dynamics. *Periodica Polytechnica - Electrical Engineering*, 56:43–50, 2012.
- [3] S. M. LaValle. Rapidly-exploring random trees: A new tool for path planning. Technical report, Computer Science Dept., Iowa State University, 1998.
- [4] S. M. LaValle. *Planning Algorithms*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 2006. Available online at <http://planning.cs.uiuc.edu/>.
- [5] Bruno Siciliano and Oussama Khatib. *Handbook of Robotics*. Springer, 2008.

Függelék