Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék

Tézisfüzet

Autonóm kiszolgáló robotok pályatervezése

Kovács Bence

Témavezető:

Dr. Korondi Péter, egyetemi tanár

Budapest, 2017.

Bevezetés

A robotokat jelenleg jellemzően az iparban alkalmazzák, ahol ismert környezetben, szakképzett operátorok üzemeltetik őket. A számítástechnika és a mesterséges intelligencia fejlődésével azonban egyre szélesebb körben alkalmazhatóvá válnak bonyolultabb feladatok elvégzésére, ismeretlen környezetben is. A robotikai trendek azt mutatják, hogy a következő évtizedekben a háztartásokban is megjelennek a robotok. Ezen az exponenciálisan növekvő területen új kutatási téma a mobil robotok pályatervezése otthoni környezetben.

A háztartásokban megjelenő robotok használata nem igényelhet szakképesítést; egyszerűen, intuitív módon kezelhetőnek kell lennie, és a robotoknak illeszkednie kell az emberi környezetbe. A korábbi kutatások az ember-ember kapcsolat alapján építették fel az ember-robot interakciót, ugyanakkor a mai robotika nem elég fejlett ahhoz, hogy elérje az emberi fizikai és kognitív képességeket. Ezért szolgál jobb mintául az ember-állat interakció a kiszolgáló robotok tervezéséhez. Az ember-kutya kapcsolat egy jó példa erre a paradigmára, mert a kutyák olyan szociális képességeket fejlesztettek a háziasítás során, amelyek alapján az ember következtet az állat szándékára, céljára, így a kutyákéra hasonlító mozgásjegyeket az ember mobil robotok esetén is hasonlóan értelmezhet. Tehát a robotok mozgásának nem csak helyváltoztató szerepe van, hanem egyben a szociális beilleszkedés egy eleme is, mely számottevő kommunikációs jelentést hordoz. Ezért vált az etorobotika hangsúlyos területté az autonóm kiszolgáló robotok pályatervezésében.

Előzmények - State of the art

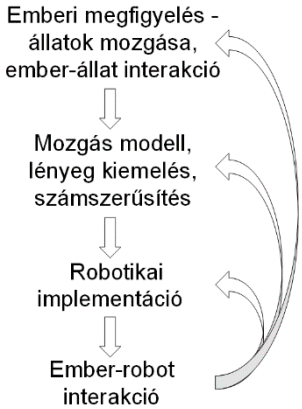
Számos kutatás témája a mobil robotok pályatervezése, mely olyan eredményeket hozott létre, mint a genetikus algoritmus [1], neurális háló [2], fuzzy logika [3], gépi tanuló módszerek [4], és a mesterséges potenciál tér alapú pályatervezés [5].

A globális pályatervezési technikákhoz információra van szükség a környezetről, ezért gyakran térképalkotással együtt vizsgálják őket [6]. Ezek a módszerek garantálják a pálya kiszámítását, amennyiben lehetséges, de a számítási igényük korlátozza a felhasználhatóságukat ismeretlen, dinamikusan változó környezetben. A lokális algoritmusok gyakran a dinamikus ablak megközelítésen [7], vagy a mesterséges potenciál tér alapú (APF - Artificial Potential Field) technikán alapulnak az egyszerű implementáció és alacsony számítási igény miatt. Mindkét módszer esetén a számítások bemenete közvetlenül a távolságérzékelő szenzorokból megkapható, számításigényes térkép alkotás nélkül. Az APF alkalmas globális információk nélkül is a valós idejű szabályzásra, de a lokális minimumok problémáját ráépülő globális technikával kell megoldani [8].

A szakirodalomban leírt módszerek célja valamilyen (idő-, távolság-, energia-) optimális pálya keresése. Foglalkoznak kutatások emberek környezetében történő pályatervezéssel is [9], de azok jellemzően az ütközéselkerülésre fókuszálnak. Munkám abban a tekintetben új, hogy nem műszaki szempontból optimális megoldást keres, hanem az ember-robot interakcióra fókuszálva kutatja mobil robotok pályatervezését.

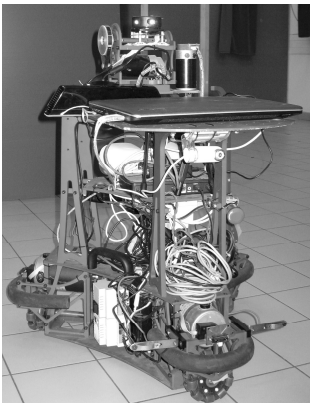
Módszertan

A természetes mozgás, és az élőlényszerűség nem mérnöki fogalmak, ezért etológusokkal együttműködve végeztem kutatásaimat. Az etorobotikai kutatások alapja az ember-állat interakció megfigyelése, mely alapján lényegi jellemzőket kiemelve robotokra implementálható modellek hozhatóak létre. A modellek valós, robotikai alkalmazásával vizsgálható az ember-robot interakció, mely a 1. ábra szerint visszacsatolást jelent a korábbi megfigyelések, modellalkotások, és implementációk pontosításához.



1. ábra: Az etorobotikai mozgás kutatás módszertana

Ezen kutatásokban munkám a mozgásminták matematikai leírására, és robotikai alkalmazására irányul. Tanulmányoztam a pályatervezés műszaki szakirodalmát, különös tekintettel azokra a módszerekre, melyek alkalmazhatóak ismeretlen, dinamikusan változó környezetben is. Ezek alapján, a pályatervezés eszközeinek felhasználásával kidolgoztam etológiai kísérletekben leírt mozgásminták matematikai megfogalmazását. Szimulációkat készítettem különböző paraméterek és dinamikus környezeti elrendezések mellett. A szimulációkat az 2. ábrán látható robottal, valós kísérletekkel is igazoltam.



2. ábra: Kísérleti holonomikus mobil robot

Az értekezés áttekintése, összefoglalása

A mesterséges potenciál tér (APF - Artifical Potential Field) alapú pályatervezési módszer azon ötleten alapszik, hogy az akadályok egy virtuális taszító erőt, míg a cél egy virtuális vonzó erőt fejtenek ki a robotra, az erők eredője pedig Newton II. törvénye alapján mozgatja a robotot. Munkám során olyan potenciál függvényeket és alkalmazási algoritmust dolgoztam ki, amivel a módszer alkalmazható ismeretlen, dinamikusan változó környezetben, adaptálva különböző állatok mozgására jellemző mozgásformákat.

1. tézis

Állatok akadályelkerülésére jellemző mozgásjellemzők matematikailag leírhatóak mesterséges potenciál tér alapú pályatervezéssel az (1) összefüggés szerinti akadály potenciál függvény alkalmazásával.

$$\boldsymbol{U_{rep}(x_o, \underline{v}_R, \underline{v}_{OBS})=}$$

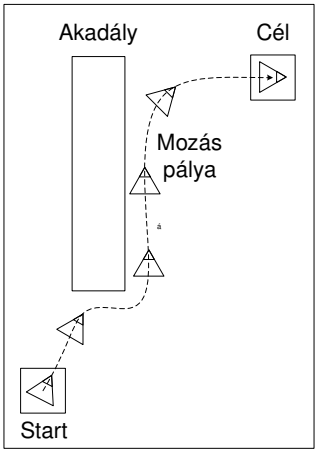
$$\begin{cases} \delta\frac{1}{4}x_o^4 - \delta\left(\frac{d_0+2d_1}{3}\right)x_o^3 + \delta\left(\frac{d_1^2}{2} + d_0 d_1\right)x_o^2 - \delta d_0 d_1^2 x_o + \\ +\delta\left(d_0 d_1^3 \frac{1}{3} - d_1^4 \frac{1}{12}\right) + \zeta\frac{\|\underline{v}_R - \underline{v}_{OBS}\|^2}{2a_{MAX}} & \text{, ha } x_o \le d_1 \\ \zeta\frac{\|\underline{v}_R - \underline{v}_{OBS}\|^2}{2a_{MAX}} & \text{, ha } x_o > d_1 \end{cases} \quad \textbf{(1)}$$

ahol x_o a robot és az akadály távolsága, $\underline{v}_R$ a robot sebesség vektora, $\underline{v}_{OBS}$ az akadály sebesség vektora, d_0 az akadály megközelítésének távolságára jellemző paraméter, d_1 az akadály hatósugarára és a függvény meredekségére jellemző paraméter, δ, ζ nem negatív konstansok, a_{MAX} a robot maximális gyorsulása.

Kapcsolódó publikációk: [P1,P3,P5,P13-P15]

Háttér magyarázat

Az (1) összefüggés paraméteresen definiál állatok mozgására jellemző tulajdonságokat, mint a különböző akadályok megközelítésének távolsága, illetve a pálya menti sebesség a cél relatív pozíciójának és az akadályok pozíciójának függvényében. Ily módon létrehozható olyan lokális, online, dinamikusan változó környezetben is alkalmazható pályatervezési módszer, mely leír állatokra jellemző mozgásjegyeket. A javasolt függvény a szakirodalomban elterjedt függvényekkel ellentétben nem monoton, tehát az akadályok adott mozgásállapotban és távolságban nem feltétlenül taszítják, hanem vonzzák a robotot, így létrehozható a 3. ábrával szemléltetett kisemlősök mozgására jellemző akadály megközelítés is.



3. ábra: Kisemlősök mozgására jellemző akadály megközelítés

A robotra ható mesterséges erő vektorfüggvény meghatározható az (1) egyenlet szerinti potenciál függvény távolság szerinti deriváltjaként:

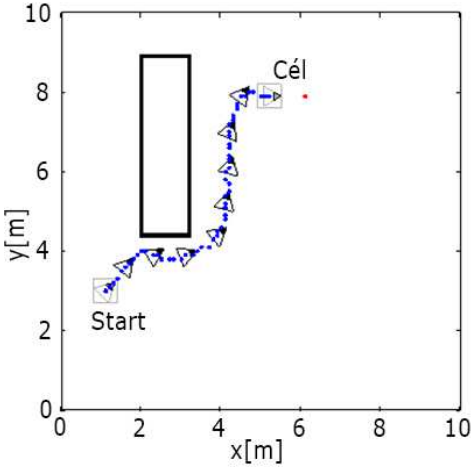
$$F_{rep}(x_o, \underline{v}_R, \underline{v}_{OBS}) = -\nabla U_{rep}(x_o, \underline{v}_R, \underline{v}_{OBS}) =$$

$$= \begin{cases} -\delta(x_o - d_0)(x_o - d_1)^2 \underline{n}_{OR} + \zeta \frac{\|\underline{v}_R - \underline{v}_{OBS}\|}{a_{MAX}} \underline{n}_{VOR} & , ha\ x_o \leq d_1 \\ \zeta \frac{\|\underline{v}_R - \underline{v}_{OBS}\|}{a_{MAX}} \underline{n}_{VOR}, & , ha\ x_o > d_1 \end{cases} \qquad (2)$$

ahol $\underline{n}_{OR}$ egységvektor, ami az akadálytól a robot irányába mutat, és $\underline{n}_{VOR}$ egységvektor, ami a cél robothoz képesti relatív sebességének irányába mutat.

Gyakorlati alkalmazás

A javasolt algoritmussal szimulációt végeztem a 3. ábra szerinti akadály megközelítés létrehozására. A 4. ábrán látható szimulációs eredményt az (1) szerinti potenciál függvény felhasználásával az alábbi paraméterek mellett kaptam: $\delta = 15, \zeta = 0.5,\ d_0 = 0.9\,m,$ $d_1 = 1.9\,m, v_{max} = 1.5\,m/s,$ $a_{max} = 3\,m/s^2, m = 20\,kg.$

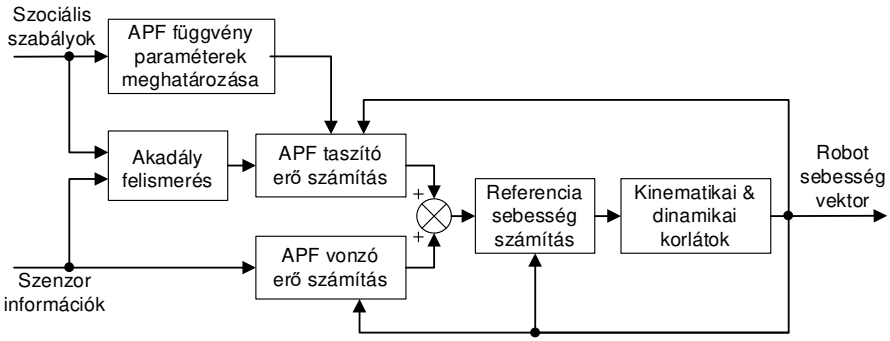


4. ábra: Kisemlősök mozgására jellemző akadály megközelítés szimulációja

A szimulációt a 3. ábrán látható robottal elvégzett valós robotikai kísérlet is igazolta. Jelen elrendezés nem tartalmaz lokális minimumokat, de az általánosabb alkalmazhatóságért az implementáció tartalmaz BUG algoritmus alapú módszert, mely észleli a csapdába kerülést, és kivezeti a robotot a lokális minimumból.

2. tézis

Szociális adaptivitással rendelkező (élő, élettelen, ismerős, ismeretlen akadályokat megkülönböztető) pályatervezési algoritmus az 5. ábra szerint megvalósítható.



5. ábra: Szociális adaptivitás megvalósítása mesterséges potenciál tér alapú pályatervezési módszer segítségével

Kapcsolódó publikációk: [P1,P2,P6-P8,P16]

Háttér magyarázat

Etológiai kutatások kimutatták, hogy a kutyák különböző mértékben közelítik meg a gazdájukat, ismert, ismeretlen személyt, és élettelen akadályt, melynek kommunikációs jelentése is van a környezetük felé. Mesterséges potenciál tér alapú pályatervezés esetén a szociális adaptivitás az akadályonként különböző, annak szociális szerepétől függő potenciál függvény alkalmazásával valósulhat meg, tehát kettő azonos kiterjedésű akadály a szociális szerepétől függően különböző teret generál. Az 5. ábra szerint az APF erő vektortér számítását a szenzor információkon felül olyan szociális szabályok is befolyásolják, melyek leírják a különböző szociális töltettel bíró akadályok megközelítésének sebességét és távolságát.

Az 5. ábra szerinti megvalósításban megfelelő potenciál függvények alkalmazásával létrehozható olyan dinamikus környezetben alkalmazható pályatervezési módszer, ami az egyes akadályokat a szociális szerepe alapján különböző módon közelíti meg.

Gyakorlati alkalmazás

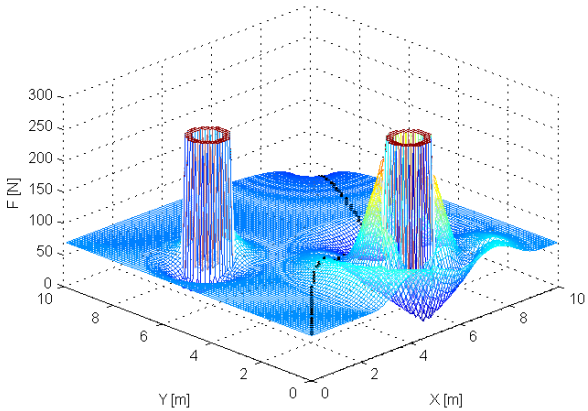
A 6. ábrán egy szimuláció során számított APF erő vektortér, valamint az abból számított szociális szerepnek megfelelő pálya látható. A szimulációs elrendezésben a start és cél pozíció egy tíz méter oldalú négyzet alapú helyiség átlójának végpontjaiban helyezkedik el. A két ugyanakkora, de különböző szociális szereppel bíró akadály (például: ismeretlen és ismerős személy) az elrendezésben szimmetrikusan helyezkedik el. Az akadályok különböző szociális szerepének hatása a különböző virtuális erőtérrel érhető el. A szimuláció során a (2) egyenlet szerinti erő-függvényt alkalmaztam az alábbi paraméterek mellett: $\delta = 3, \zeta = 0.5$, $v_{max} = 1.5\frac{m}{s}$,

$a_{max} = 3\ m/s^2$,

$d_{0(BAL)} = 1.78\ m$,

$d_{0(JOBB)} = 3.3\ m$,

$d_1 = 2\ m$, $m = 20\ kg$.



6. ábra: APF módszer mesterséges erőtere és pálya szimulációja akadályonként különböző potenciál függvény esetén

3. tézis

Az állatok mozgására jellemző, a mozgás irányától eltérő orientáció (testhelyzet) adaptálható holonomikus mobil robotok pályatervezésébe a (3) összefüggés szerint meghatározott mesterséges potenciál tér alapú orientációs potenciál függvény alkalmazásával.

$$\boldsymbol{U_{ang}(\varphi_v, \varphi_{rob}, \varphi_T) = \sigma\left(a\,\varphi_v\,\varphi_{rob} + b\,\varphi_T\,\varphi_{rob} - \frac{\varphi_{rob}^2}{2}\right)} \qquad \textbf{(3)}$$

ahol $\boldsymbol{\varphi_v}$ a robot sebességvektorának iránya, $\boldsymbol{\varphi_{rob}}$ a robot orientációjának az x tengely pozitív félegyenesével bezárt szöge, $\boldsymbol{\varphi_T}$ azon vektor iránya, mely a robot aktuális pozíciójából a cél pozíciójában a robot munkaterére mutat, $\boldsymbol{\sigma}$ pozitív konstans, $\boldsymbol{a, b}$ nem negatív konstansok.

Kapcsolódó publikációk: [P1,P4,P9-P12]

Háttér magyarázat

Az állatok mozgása holonomikus, így képesek az orientációjuktól eltérő irányban, oldalra is mozogni. Etológiai kutatások kimutatták, hogy az állatok mozgásának irányától eltérő orientáció gyakran jelzi a cél irányát, vagy az állat szándékát. Ennek megfelelő mozgásminták ily módon kiszámíthatóbbá tehetik a robotok mozgását az emberek számára.

A pálya menti orientáció leírható a (3) egyenlet szerinti orientációs potenciál függvény segítségével. A robotra ható mesterséges nyomaték vektorfüggvénye kiszámítható a (3) egyenlet szögpozíció szerinti deriváltjaként:

$$\underline{\tau}(\varphi_v, \varphi_{rob}, \varphi_T) = -\nabla U_{ang}(\varphi_v, \varphi_{rob}, \varphi_T) =$$

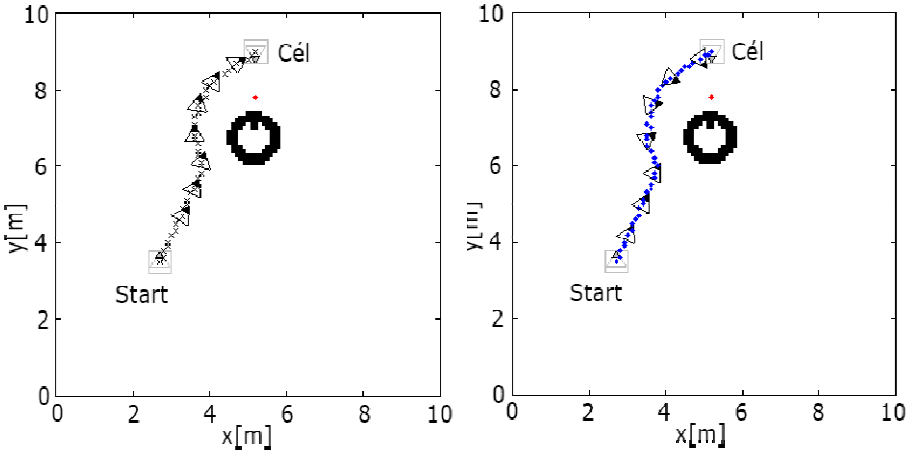
$$= \frac{\partial U_{ang}(\varphi_v, \varphi_{rob}, \varphi_T)}{\partial \varphi_{rob}} \underline{n}_z = \sigma(a\,\varphi_v + b\,\varphi_T - \varphi_{rob})\underline{n}_z \qquad (4)$$

ahol $\underline{n}_z$ a forgás egységvektora, mely az x-y síkból merőlegesen kifelé mutat. Az így megfogalmazott egyenleteket felhasználva a robot

orientációja az állatok mozgásához hasonlóan nemcsak a robot mozgásának irányától, de a robot munkaterének irányától is függ.

Gyakorlati alkalmazás

A 7. ábra szerinti szimulációs elrendezésben a robot a start pozícióból indulva megkerül egy akadályt, és azzal szembe fordulva éri el a cél pozícióját. A feladat munkaterének irányát (φ_T) a 7. ábrán pirossal jelölve adtuk meg. Az (a) szimulációban a robot orientációja végig megegyezik a robot sebességvektorának irányával, míg a (b) elrendezésben a (3) szerinti potenciál függvényt felhasználva az orientáció függ a munkatér irányától is.



(a) ***(b)***

7. ábra: Holonomikus robot pályatervezésének orientációs szimulációja
(a) Az orientáció megegyezik a sebességvektor irányával
(b) Az orientáció függ a cél pozíciótól is

A 7 (b) szimuláció az (1) és (3) potenciál függvények alkalmazásával, az alábbi paraméterek mellett készült: $\alpha = 100$, $\beta = 1.2$, $\gamma = 4$, $\delta = 15$, $\zeta = 0.5$, $d_0 = 1.4\,m, d_1 = 2\,m$ $v_{max} = 1.5\,m/s\,, a_{max} = 3\ m/s^2$, $m = 20\,kg, \sigma = 1, a = 0.02, b = 0.98$.

Irodalomjegyzék

[1] P.S. Xuan Zou, Bin Ge, Improved Genetic Algorithm for Dynamic Path Planning, Int. J. Inf. Comput. Sci. IJICS. 1 (2012) 16–20.

[2] J. Ni, X. Li, X. Fan, A Dynamic Risk Level Based Bioinspired Neural Network Approach for Robot Path Planning, in: World Autom. Congr., 2014: pp. 829–833. doi:10.1109/WAC.2014.6936167.

[3] N.A. Mai, K. Janschek, Generic system architecture for behavior-based mobile robot control using fuzzy logic, 2012 Int. Conf. Control. Autom. Inf. Sci. (2012) 253–258. doi:10.1109/ICCAIS.2012.6466598.

[4] K. Charalampous, I. Kostavelis, A. Gasteratos, Thorough robot navigation based on SVM local planning, Rob. Auton. Syst. 70 (2015) 166–180. doi:10.1016/j.robot.2015.02.010.

[5] S. Ge, Y. Cui, Dynamic motion planning for mobile robots using potential field method, IEEE M. Conf. Control Autom. (2002) 207–222. http://www.springerlink.com/index/J6148PQ6724Q7871.pdf.

[6] I. Nagy, From Exploring to Optimal Path Planning : Considering Error of Navigation in Multi-Agent Mobile Robot Domain The Multi-Agent System Used for Potential Field- based Map Building, Acta Polytech. Hungarica. 11 (2014) 39–55.

[7] D. Kiss, G. Tevesz, A Receding Horizon Control Approach to Navigation in Virtual Corridors, Appl. Comput. Intell. Informatics SACI 2011. 1 (2012) 356.

[8] Y. Zhu, T. Zhang, J. Song, An Improved Wall-Following Method for Escaping from Local Minimum in Artificial Potential Field Based Path Planning, Control. (2009) 6017–6022.

[9] A. Cherubini, R. Passama, P. Fraisse, A. Crosnier, A unified multimodal control framework for human-robot interaction, Rob. Auton. Syst. 70 (2015) 106–115. doi:10.1016/j.robot.2015.03.002.

Tézisekhez kapcsolódó saját publikációk

[P1] B. Kovács, G. Szayer, F. Tajti, M. Burdelis, P. Korondi, A Novel Potential Field Method for Path Planning of Mobile Robots by Adapting Animal Motion Attributes, Elsevier Robotics and Autonomous Systems. DOI: 10.1016/j.robot.2016.04.007. IF: 1.95 (2016)

[P2] G. Szayer, B. Kovács, F. Tajti, P. Korondi, Feasible utilization of the inherent characteristics of holonomic mobile robots, Rob. Auton. Syst. (2017). doi:10.1016/j.robot.2017.04.002. IF: 1.95 (2016)

[P3] F. Tajti, B. Kovács, G. Szayer, P. Korondi, Variable Robot Geometry Optimization Method to Avoid Tip Over Situations During Slow Motion on Unknown Terrains, Acad. Appl. Res. Mil. PUBLIC Manag. Sci. 15 (2016) 301–323.

[P4] F. Tajti, G. Szayer, B. Kovács, P. Barna, Optical flow based odometry for mobile robots supported by multiple sensors and sensor fusion, Automatika. 57 (2016) 201–211. doi:10.7305/automatika.2016.07.886. IF: 0.38

[P5] F. Tajti, G. Szayer, B. Kovács, M.A.P. Burdelis, Mobile Robot Performance Analysis for Indoor Robotics, Period. Polytech. Civ. Eng.(2015) 123–131.IF:0.271

[P6] B. Kovács, G. Szayer, F. Tajti, Design of a universal robot controller, Periodica Polytechnica-Mechanical Engineering 55:(2) pp. 95-100. (2011)

[P7] F. Tajti, G. Szayer, B. Kovács, P. Korondi, Shop-floor controller based on RT-middleware technology, Journal Of Mechanics Engineering And Automation 3:(11) pp. 686-694. Paper 3-JMEA-E20130808-1. (2013)

[P8] F. Tajti, G. Szayer, B. Kovács, P. Korondi, Industrial robotics for ERP controlled smart factories, Recent Innovations in Mechatronics (RIiM) Vol. 2. (2015). No. 1-2. pp. 1-9. (2015) doi:10.17667/riim.2015.1-2/6.source.

[P9] G. Szayer, B. Kovács, B. Varga, Etho-robot, Workshop on Cognitive and Eto-Robotics in iSpace CERiS'10. Budapest, Magyarország, 2010.03.09-2010.03.10. Budapest

[P10] B. Kovács, G. Szayer, F. Tajti, P. Korondi, I. Nagy, Robot with Dog Type Behavior, International Conference on Electrical Drives and Power Electronics. High Tatras, Szlovákia, 2011.09.28. *pp. 347-352.*

[P11] F. Tajti, G. Szayer, B. Kovács, P. Korondi, Holonomic based robot for behavioral research, Workshop on Cognitive and Eto-Robotics in iSpace 2013, Budapest, Magyarország, 2013.03.19-20.

[P12] F. Tajti, G. Szayer, B. Kovács, P. Korondi, Robot base with holonomic drive, The 19th World Congress of the International Federation of Automatic Control, 2014. Augusztus, 24-29.

[P13] B. Kovács, G. Szayer, F. Tajti, V. Devecseri, P. Korondi, Szociális robotok a 21. században: MOGI Robi a hűséges társ, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság. Kolozsvár, Románia, 2012.04.19. Kolozsvár: pp. 238-241.

[P14] Kovács Bence, Tajti Ferenc, Szayer Géza, Mobil robotok pályatervezése ismeretlen környezetben, in: Robot. 2014, Budapest, 2014. http://robothadviseles.hu/program_rw14.html.

[P15] Tajti Ferenc, Kovács Bence, Szayer Géza, Változó geometriájú mobilrobotok irányítása terepviszonyok között, in: Robothadviselés, Budapest, 2014. http://robothadviseles.hu/program_rw14.html.

[P16] Szayer Géza, Tajti Ferenc, Kovács Bence, Holonomikus hajtások hatékony alkalmazása beltéri vagyonvédelmi robotoknál, in: Robothadviselés, Budapset, 2014. http://robothadviseles.hu/program_rw14.html.