

Kucsera Péter

kucsera.peter@kvk.uni-obuda.hu

AUTONÓM KIÁLLÍTÁSI MOBILROBOT FEJLESZTÉSE

Absztrakt

A cikkben egy valóságban kivitelezett autonóm működésű mobil robot kerül bemutatásra. A robot kiállításokon, vásárokon, az emberek között mozogva képes magára felhívni a látogatók figyelmét, a rajta elhelyezett reklámfelületek segítségével pedig a megbízó cégeket reklámozni. A fejlesztés során ipari komponensek kerültek alkalmazásra, mivel fontos szempont volt a megbízható, stabil működés. Az automatizálási és hajtás komponensek a Phoenix Contact termékpalettájáról, míg a szenzorok a Sick Sensors eszközei kerültek kiválasztásra, a fejlesztést e két cég szponzorálta. A robot sikeresen megépítésre került a Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Műszertechnikai Intézetében és első ízben nagy sikerrel mutathattuk be a Magyar Regula 2009 automatizálási szakkiállításon. A cikkben a robot fejlesztésének lépéseit, a szerzett tapasztalatokat ismertetem.

In this article an autonomous advertising mobile robot that has been realized in practice is going to be described. The whole development is based on industrial components. In the controlling and communication part, Phoenix Contact products were used, whereas the sensing was based on a Sick Laser Scanner. These two companies donated the whole project, and the final aim was to build up a working robot, which should advertise the companies on Hungarian and international exhibitions. The robot was successfully built up in the Process automation lab of the Budapest tech. Kando Kalman Faculty of Electrical Engineering and was exhibited with great success on Regula 2009, which is the biggest Hungarian automation exhibition.

Kulcsszavak: *mobil robot, ipari komponensek, PLC, lézer szkennel, szenzor ~ mobile robots, industrial components, PLC, laser scanner, sensor*

A fejlesztés célja egy olyan autonóm mobil robot megalkotása volt, amely képes sík terepen, alacsony sebességgel (max. 2 km/h) dinamikus környezetben, emberek között manőverezni. Elvárás volt a folyamatos legalább 1 órás működés. A robot a kiállítás területén haladva egy monitoron futó videó, vagy kép alapú reklámanyag segítségével képes magára vonni a

nézelődők figyelmét. A látogatók a robothoz lépve, a rajta elhelyezett reklámújságokból vehetnek.

Az elkészült robotrendszer alapvetően két fő részre osztható:

- mobil egység;
- telepített operátor és dokkoló egységek. (Esetünkben az operátorállomás egy hagyományos PC, a dokkolás pedig egy töltő csatlakoztatásával valósul meg.)

A mobil egység főbb komponensei:

- hordozó mechanika;
- meghajtó motorok és szervóhajtások;
- vezérlőrendszer;
- szenzorrendszer;
- kommunikációs eszközök;
- tápellátást biztosító eszközök;
- figyelemfelkeltést szolgáló eszközök.

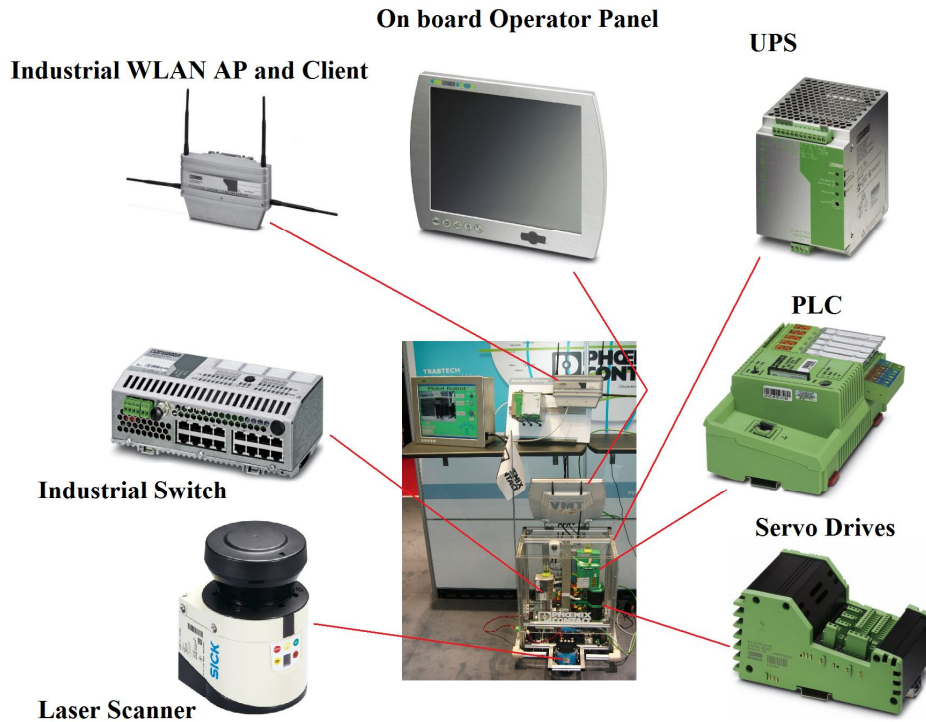
Az eszközök megválasztásánál fontos szempont volt a megbízható működés és a kompatibilitás, így a rendszer teljes egészében ipari komponensekből épül fel. A központi vezérlőegység egy, az iparban használt Phoenix Contact által gyártott ILC350PN típusú PLC (Programmable Logical Controller), melyhez ipari (InterBus) buszon keresztül csatlakoznak a szükséges perifériák és a hajtások. A rendszer moduláris kialakítású, így az esetleges bővítések újabb modulok csatlakoztatásával könnyen elvégezhetők. A PLC, a robot fedélzetén lévő egyéb eszközökkel Ethernet hálózaton kommunikál.

A navigációra és az akadály felismerésre egy SICK LMS100-típusú lézer szkennert használtunk. Ez a berendezés képes 270° -os nyílásszögben 0.25° -os felbontásban 20 m-es hatótávolságban távolság mérésére, maximálisan 50 Hz-es frissítési gyakorisággal. A szkennerekben szintén definiálhatók tetszőleges alakú védelmi zónák, melyek megsértése esetén a szkennerek képesek jelezni a vezérlőrendszernek. Esetleges ütközés esetén a robot rendelkezik egy olyan lökhárítóval, mely bármely irányból történő ütközés esetén ezt a vezérlőrendszernek képes volt jelezni egy kontaktus zárás segítségével.

A kommunikáció a már említett InterBus, Ethernet, valamint szabványos WLAN vezeték nélküli hálózaton zajlik. Csomóponti eszközként ipari switch-et alkalmaztunk.

A tápellátást szintén a Phoenix Contact által gyártott szünetmentes ipari tápegység biztosítja. Energiatárolóként 2 darab 12 V 12 Ah-ás gondozásmentes zselés akkumulátor szolgál, melyekkel biztosítható az egy órás folyamatos működés.

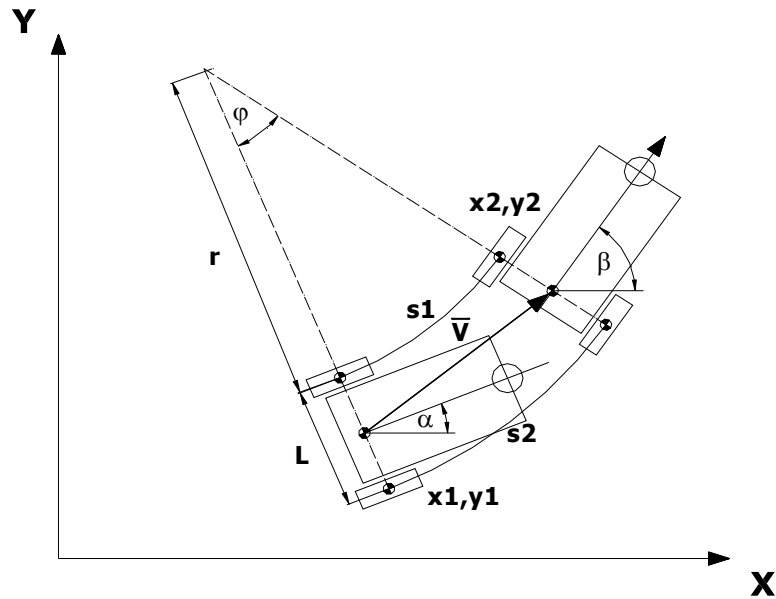
A reklámvideók lejátszására egy ipari IP65-ös védettségű panel PC szolgál, mely a további fejlesztések során elláthat vezérlési, adattárolási, vagy számítási feladatokat is. A panel PC szintén csatlakoztatva van a robot fedélzetén található Ethernet hálózathoz. A rendszer főbb komponensei az 1. ábrán láthatók.



1. ábra. A mobil robot rendszer főbb elemei

A fejlesztés során első feladat az eszközök összeintegrálás volt. Ezen belül a legnagyobb kihívást a LMS100-as szkennerek által küldött TCP/IP csomagok PLC programban történő kezelése jelentette. A szkennerek az általa mért szög és távolság adatokat, valamint a visszaérkező jel erősségét és egyéb technológiai paramétereket Ethernet TCP/IP csomagokban küldi, de mivel ez ~4-5 darab 1460 byte hosszúságú csomagot jelent, maximálisan 50 Hz gyakorisággal, és csomagonként szükséges a hasznos adatok kiválasztása és feldolgozása, ez komoly feladatot jelentett. A munkában nagy segítség volt az ipari switch-ek port tükrözési funkciója. A port tükrözéssel lehetőség nyílik két, a switch portjaira kapcsolódó, Ethernet hálózaton kommunikáló eszköz között zajló adatforgalom egy harmadik portra történő másolására, így a fejlesztő számítógépen egy protokoll analízátor program segítségével lehetőség nyílik a csomagok elemzésére.

A következő lépés a megfelelő navigáció és útvonaltervező eljárások kidolgozása volt. A cél az volt, hogy a robot egy előre definiált útvonalon haladjon, és, ha akadályt észlel a pályáján, az megpróbálja kikerülni. Korábbi robotfejlesztésekben alkalmaztuk a kerékelfordulás mérésének felhasználásával történő pozíciószámítást, mint inerciális navigációs módszert, kiegészítve egy kamerás pozícionálóval, mely felismerte a robotot és megadta annak pontos koordinátáit.



2. ábra. A modellen használt mechanikai elrendezés

Az adott mechanikai elrendezés figyelembe vételével a robot elmozdulása az 1. képlettel számítható. Az $s1$ és $s2$, a kerekek által megtett út hossza. Amennyiben a számítás gyakran elvégzésre kerül – azaz az $s1$ és $s2$ igen kis értékű az r - elfordulási ívhez képest –, akkor $s1$ és $s2$ köríven megtett úthosszak két egyenessel modellezhetők, így a számítás lényegesen egyszerűbbé válik.

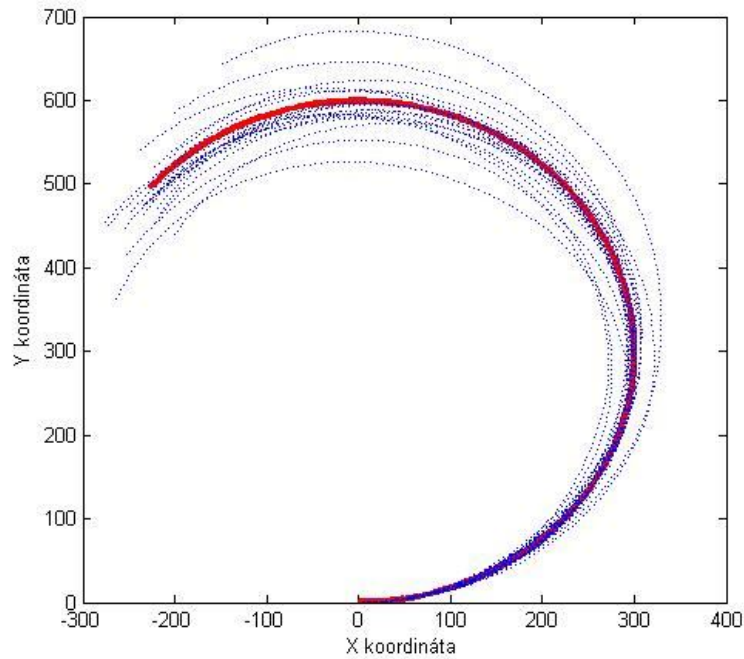
$$p' = f(x, y, \alpha, s1, s2) = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \alpha \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{s1+s2}{2} \cos\left(\frac{s1-s2}{2 \cdot L} + \alpha\right) \\ \frac{s1+s2}{2} \sin\left(\frac{s1-s2}{2 \cdot L} + \alpha\right) \\ \frac{s1-s2}{L} \end{bmatrix} \quad [1]$$

A számításhoz figyelembe kell venni a kerekek forgási irányát. Valamint eltérő képletek adódnak, amennyiben a kerekek forgási sebessége azonos. Azonos forgási sebesség, de ellentétes irány esetén a robot saját középvonala körül forog. Ha a kerekek sebessége azonos, valamint forgási irányuk is megegyezik, a robotok egyenes vonalú mozgást végeznek, a globális referencia koordináta-rendszerhez képest szögük nem változik.

A fent említett képletek programban történő megvalósítása, a keréknkóderek jeleinek lehető legsűrűbben történő kiolvasásával, a számítások lefuttatásával történik. Amennyiben a számítások nem megfelelő sűrűséggel kerülnek elvégzésre, a körív egyenessel történő helyettesítése nagy hibákat eredményez. A túl gyakori lefuttatás esetén az enkóderekről csupán néhány impulzus érkezik, a kerekítések miatt itt is nagy hiba keletkezhet. Célszerű tehát a pontosság növelése érdekében nagy felbontású enkóderek alkalmazása is.

A fent említett számítások alkalmazhatóságát egy MATLAB szimuláció segítségével vizsgáltam (3. ábra). A modell megalkotásához a következő körülményeket vettem alapul:

- feltételeztem, hogy a kerekek elfordulásának mérése során a mért érték véletlenszerű hibával terhelt;
- feltételeztem, hogy a hiba arányos a számításhoz alapul vett megtett út nagyságával ($s1, s2$);
- feltételeztem továbbá, hogy a két hajtott kerék hibája független egymástól.

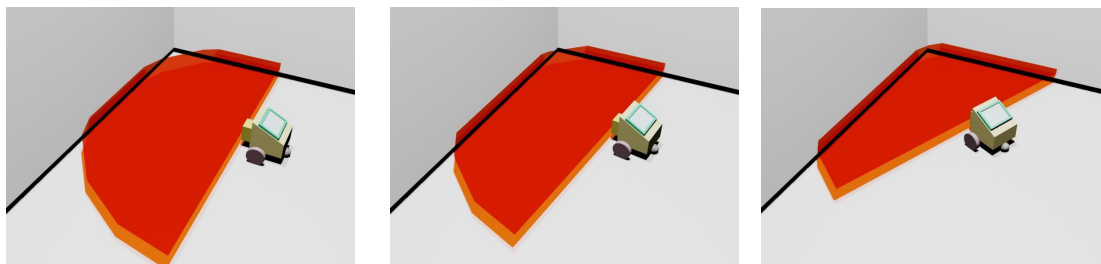


3. ábra. A kerékelfordulásból számított pozíció hibája.

Mivel egy kiállításon gyakori irányváltoztatás szükséges, valamint a robot viszonylag nagy területet jár be, az ismertetett módszer önmagában nem alkalmazható. Elvetettük a kamerás pozicionálás módszerét is, mivel tapasztalataink szerint a robot nem lenne képes még egy viszonylag nagy területet lefedő kamera látóterébe sem visszajutni csupán kerékelfordulásból számított helymeghatározás segítségével.

A megoldást véleményem szerint egy szenzorfüziós eljárás alkalmazása jelenti. Egy inerciális navigációs rendszer hatékony kiegészítője lehet egy abszolút helymeghatározó rendszernek. Beltéri navigációra megoldást jelent az inerciális navigációs rendszer kiegészítése egy lézeres lepásztázó (odometriás) rendszerrel (4. ábra).

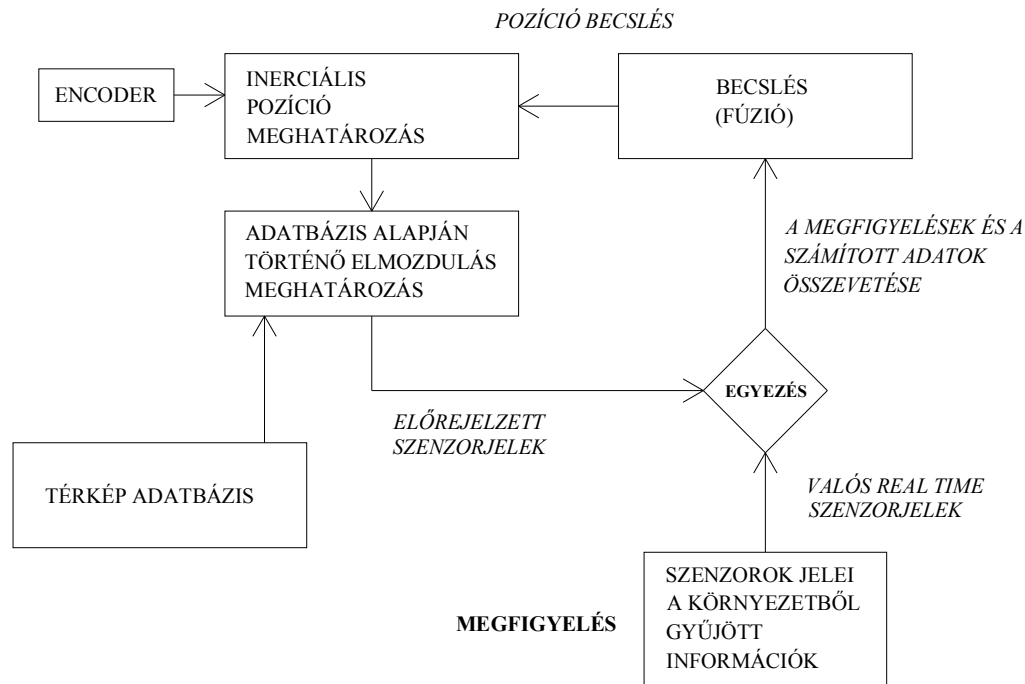
A lézeres letapogatás a már említett lézeres távolságméréseken alapul. A letapogatás során a mérő lézersugár vízszintes irányban eltérítjük, így egy adott nyílásszögben mérhető egy adott távolságon belül található tereptárgyak távolsága. A letapogatást követően tehát egy térkép jellegű pontsorozathoz juthatunk, melyen a környező térben található tárgyak helye van feltüntetve. A robot elmozdulása esetén a környező tárgyak relatív pozíciója megváltozik, azonban az előző mérés eredményeit összevetve az újabb letapogatással, az elmozdulás és az elfordulás iránya és mértéke kiszámítható.



4. ábra. Beltéri navigáció megvalósítása Lézeres lepásztázás segítségével

Mivel a robot folyamatosan mozog, a pásztázás során ismerni kell a robot sebességét és irányát, és ezzel a szkennert által mért eredményeket korrigálni kell. A pozíció számítását

szintén nagyban megkönnyíti a kerekek elmozdulásának méréséből származó információ. Ebben az esetben tehát a lézeres letapogatás és a kerékelfordulást érzékelő enkóderek jeleinek fúziójából nyerhető a pontos pozíció (5. ábra).



5. ábra. Kálmán-szűrő segítségével történő mobil robot helymeghatározás

Kísérletet tettünk a fent felvázolt módszer megvalósítására, azonban kénytelenek voltunk megállapítani, hogy egy kiállításon a környezet olyannyira dinamikusan tekinthető, hogy az odometriás helymeghatározási módszer nem, vagy csak nagyon nagy hibával alkalmazható. Gondoljuk csak bele egy gyakori szituációba. A robotot egy tucat látogató veszi körül, így a robot a környező statikus tereptárgyakból semmit sem lát, saját helyzetét tehát a mozgó látogatókhoz viszonyítja. Mivel a viszonyítási pontok nem rögzítettek, a számítás nem lehet pontos.

Az idő szorításában tehát kénytelenek voltunk kiegyezni egy bolyongó mozgást végző robottal, ebben az esetben viszont biztosítani kellett a robot, a kiállítás egy adott területén történő tartását. A bolyongó mozgást úgy definiáltuk, hogy amennyiben a robot maga előtt akadályt észlel, kezdjen elfordulni, amerre pedig szabad utat észlel, induljon el. Működési területként a kiállítás közlekedő részén elhelyezett szőnyeget definiáltuk. A robotnak a reklámozni kívánt pavilon közelében, egy adott működési sugárban kellett üzemeltetni.

A szőnyegen tartást egy színérzékelő szenzor segítségével oldottuk meg, mely érzékelt a padló és a szőnyeg színének eltérését. Az adott sugárban tartást pedig a kommunikációra használt WLAN eszköz jelerősségének figyelésével kívántuk megoldani. A módszer labor körülmények között működni látszott, azonban a kiállításon üzembe helyezve a robotot, felmerültek újabb előre nem látott problémák:

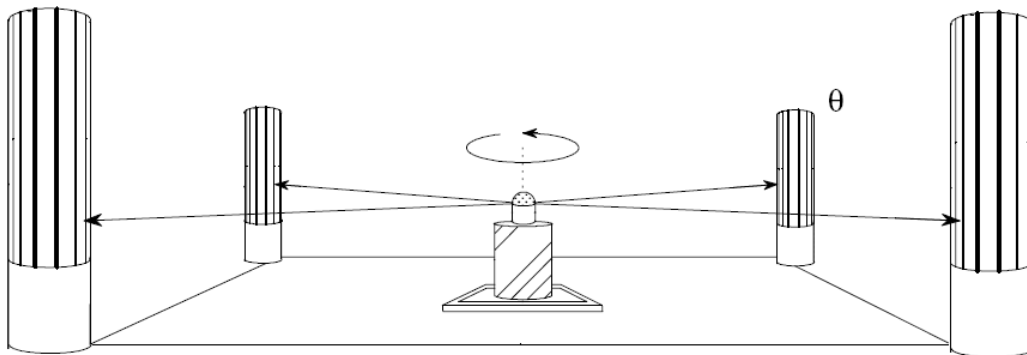
- a szőnyeg és a padló között ~5mm szintkülönbség volt;
- a kiállításon hirdető cégek többsége WLAN eszközöket használt;
- több pavilon néhány centivel kiemelkedett a padló síkjából.

A padló és a szőnyeg szintkülönbsége miatt a robot, ugyan észlelte, hogy elhagyta a szőnyeget, de visszajutnia, csak nagy erőlködések árán sikerült. Ennek oka a viszonylag kisméretű kerekekben keresendő. Erre a hibára a kiállításon derült fény, korigálása jelenleg

zajlik. A terhelt WLAN spektrumnak köszönhetően a WLAN vételi jelerősség a pavilontól akár 10 méterre gyakran egyik pillanatról a másikra nullára csökkenhetett, így a robot mozgása zavarttá, kiszámíthatatlanná vált. Az alacsony kiemelésű pavilonokat az elhelyezett lézerszkennerek nem tudta észlelni.

A fent felsorolt hibák a funkciók többségének kiiktatásához vezettek. Tapasztaltuk, hogy a lézerszkennert javasolt a földhöz lehető legközelebb elhelyezni, így a viszonylag alacsony tereptárgyak is észlelhetők, azonban így nem vagyunk képesek egy a földdel nem „érintkező” (például asztallap) érzékelésére, ilyen helyeken a robot fennakadhat.

A szerzett tapasztalatokat elemezve egy újabb ötlet született. A szkennerek képesek nem csak a távolság, de a visszaverődési intenzitás (RSSI) mérésére is. Speciális fényvisszaverő prizmák alkalmazásával lehetőségünk nyílna „világítótoronyok” elhelyezésére, melyeket a robot észlelve, képes lenne pozíciójának viszonylagos meghatározására (6. ábra).



6. ábra. Speciális fényvisszaverők alkalmazásával megvalósított navigáció

Figyelembe kell venni azonban ebben az esetben is azt, hogy a környezet rendkívül dinamikus (gyakran egyenesen rosszindulatú). Tapasztaltuk, hogy a látogatók kiismerve a robot működését, igyekeznek azt a rossz irányba terelni, bebizonyítva annak „butaságát”. Ilyen környezetben nem biztosítható tehát, hogy a robot látja az elhelyezett jelzőprizmákat. Megoldást ebben az esetben is a rendelkezésre álló információk fúziója jelenti.

A megépített mechanika és vezérlő és szenzorrendszer több évre megfelelő alapot nyújt vezérlő, navigációs és akadályelkerülő algoritmusok fejlesztésére. Fontos hangsúlyoznom azt, hogy, mivel egy valós alkalmazásról van szó, a rendszernek akár egyszerűbb algoritmusokkal, de működnie kell. Látató, hogy hatalmas eltérés van egy laborban tesztelt kutatási célokra tervezett rendszer és egy valós applikáció között. Valódi applikáció esetén olyan körülményeket is figyelembe kell venni, melyek a tervező asztalon talán fel sem merülnének, így egy ilyen fejlesztés rendkívül hasznos és tanúságos.



7. ábra. Néhány kép az elkészült robotról

Irodalom

- [1] Introduction to Autonomous Mobile Robots. Siegwart, R, Nourbahsh I R, The MIT Press Massachusetts institute of Technology Cambridge 2004
- [2] Modeling of the Control Strategies of Wheeled Mobile Robots. Mester Gy, Proceedings of The Kandó Konferéncia, pp. 1-4, Budapest, 2006. ISBN 963-7154-42-6
- [3] Microcontrollers, Actuators and Sensors in Mobile Robots. István Matijevis I4th Serbian-Hungarian Joint Symposium on Intelligent Systems September 29-30, 2006 Subotica, Serbia
- [4] LMS100 Laser Measurement System application manual
www.sick.com/home/factory/news/autoident/lms_100/en,
 LMS100_ProductInformation.pdf, (2008.10.10)
- [5] J. Borestein, H.R. Everett, L. Feng „Where Am I? Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning” University of Michigan, Michigan 1996