



ZRÍNYI MIKLÓS NEMZETVÉDELMI EGYETEM
BOLYAI JÁNOS KATONAI MŰSZAKI KAR
Katonai Műszaki Doktori Iskola

Alapítva: 2002 évben

Kucsera Péter

AUTONÓM MŰKÖDÉSŰ SZÁRAZFÖLDI ROBOTOK
VÉDELMI CÉLÚ ALKALMAZÁSA

Doktori (PhD) értekezés

.....
tudományos témavezető
Dr. Kovács László
egyetemi docens

2009.

TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK	2
BEVEZETÉS	5
I. FEJEZET	
FÖLDI MOBIL ROBOTOK ÁLTALÁNOS ÁTTEKINTÉSE, FŐBB ALKALMAZÁSI TERÜLETEIK	9
1.1 A mobil robot fogalma, mobil robotok csoportosítása	9
1.2 Hazánkban működő mobil robotrendszerek	12
1.3 Néhány fontosabb katonai vagy polgári alkalmazású földi mobil robot platform.....	15
1.4 Mobil robotrendszer tervezéséhez szükséges általános szempontok és kritériumok meghatározása.....	25
1.5 Következtetések	27
II. FEJEZET	
A VÉDELMI CÉLÚ MOBIL SZÁRAZFÖLDI ROBOTOK RENDSZERTECHNIKAI FELÉPÍTÉSE	30
2.1 Hordozó mechanika	31
2.1.1 Két keréken gördülő hordozó platform.....	32
2.1.2 Három keréken gördülő hordozó platform	33
2.1.3 Négy keréken gördülő hordozó.....	34
2.1.4 Speciális, keréken gördülő robothordozók	34
2.1.5 Lánc talpas hordozóplatform	35
2.1.6 Egyéb hordozó eszköz megoldások.....	35
2.2 Energiaellátás.....	36
2.2.1 Akkumulátorok	36
2.2.2 Üzemanyagcella.....	38
2.2.3 Megújuló energiaforrások.....	41
2.2.4 Belső égésű motorok alkalmazása	41
2.2.5 Rendelkezésre állási idő.....	42
2.3 Meghajtás.....	43
2.3.1 Elektromos motorok	43
2.3.1.1 Egyenáramú kefések és kefe nélküli motorok.....	44
2.3.1.2 Váltakozó áramú motorok	48

2.3.2 Áttételezés.....	49
2.4 Szenzorok.....	50
2.4.1 Akadály felismerés	51
2.4.1.1 Futási idő mérésével történő távolságmérés	51
2.4.1.2 Lézeres távolságmérés háromszög módszerrel.....	53
2.4.1.3 Sztereókamerás távolságmérés, akadály felismerés	55
2.4.2 Helymeghatározás, navigáció	55
2.4.2.1 Globális helymeghatározó rendszer.....	56
2.4.2.2 Giroszkóp és gyorsulásérzékelő.....	57
2.4.2.3 Kerékelfordulás érzékelés.....	57
2.4.2.4 Kamerás pozicionáló rendszer	59
2.4.2.5 Elektronikus iránytűk.....	60
2.4.2.6 Szenzorfúzió	61
2.5 Hasznos terhek.....	63
2.6 Kommunikáció.....	64
2.7 Következtetések	68

III. FEJEZET

ROBOTVEZÉRLŐ RENDSZER KIALAKÍTÁSI LEHETŐSÉGEINEK

VIZSGÁLATA.....	70
3.1 Mikrokontroller alapú mobilrobot vezérlő	71
3.2 Beágyazott PC alapú mobilrobot vezérlő	73
3.3 Moduláris felépítésű ipari vezérlőrendszer.....	76
3.4 A vezérlőrendszer kialakítási lehetőségeinek összevetése	79
3.4.1 A vezérlőrendszerrel szemben támasztott követelmények	81
3.5 A megvalósított tesztrendszer felépítése.....	83
3.5.1 A mobil egység felépítése.....	84
3.5.2 IB IL EC AR 48/10A Szervo hajtás.....	85
3.5.3 Kerékelfordulás érzékelés.....	85
3.5.4 A dokkoló egység felépítése	88
3.5.5 Dokkolást segítő képfeldolgozó rendszer kialakításának lehetőségei .	89
3.5.6 Dokkolás folyamata	91
3.5.7 Operátor állomás kialakítása.....	92
3.5.8 Vezeték nélküli kommunikáció megteremtésének lehetőségei	94
3.6 Következtetések	96

IV. FEJEZET

VÉDELMI CÉLÚ SZÁRAZFÖLDI ROBOT KÖVETELMÉNYRENDSZERE, A KÖVETELMÉNYRENDSZER ALAPJÁN EGY LEHETSÉGES ALKALMAZÁS

TERVEZÉSE	98
4.1 Védelmi célú szárazföldi robot követelményrendszere	98
4.1.1 Mechanikai kialakítás	99
4.1.2 Meghajtás	99
4.1.3 Energiaellátás	100
4.1.4 Vezérlés	101
4.1.5 Navigáció, akadály felismerés	101
4.1.6 Egyéb szenzorok	102
4.1.7 Kommunikáció	102
4.1.7 Robotrendszer kiegészítő elemei	103
4.2 A követelményrendszer alapján kidolgozott megfigyelő robotrendszer kialakítása	103
4.2.1 Mechanika kialakítás	105
4.2.2 Energiaellátás	107
4.2.3 Vezérlés	107
4.2.4 Navigáció, akadály felismerés	108
4.2.5 Szenzorok	109
4.2.6 Kommunikáció	109
4.2.7 Következtetések	111
ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK	113
ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	116
AJÁNLÁSOK	117
PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK	118
FELHASZNÁLT IRODALOM	120
RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE	126
ÁBRAJEGYZÉK	127
KÉPJEGYZÉK	129
TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE	130

BEVEZETÉS

Védelmi célú felderítő, információszerző robotok alkalmazására és fejlesztésére napjainkban hatalmas igény mutatkozik. Az Amerikai Egyesült Államok által indított 230 milliárd dolláros Future Combat System (FCS) projekt a történelem legnagyobb technológiai kutatási programja, melynek központi részét a felderítő és csapásmérő robotok kifejlesztése alkotja. A projekt célja az, hogy az amerikai haderő egyharmadát 2015-re ember nélküli távvezérelt vagy autonóm robotok váltsák fel. Szakértők állítják, hogy ma több földi robot végez feladatokat Irakban, mint brit katona. Ez Afganisztánban 4000-nél több földi felderítő robotot jelent! [1] Az amerikai Védelmi Minisztérium 2007-ben kiadott programjában az ember nélküli robotjárművekre szánt 4 milliárd dolláros költségvetést 24 milliárd dollárra emelte, ezzel hatalmas lökést adva a hadiipar majdnem összes fejlesztő és gyártó vállalatának, valamint az egyetemi kutatólaboratóriumoknak. [1]

Mindezekből világosan látszik, hogy már napjainkban is számos robot végez különböző feladatokat különböző műveleti területeken, és ez a szám előreláthatólag rohamosan nőni fog. A robotok kiválthatják a harcoló katonákat, így talán egyszer megvalósulhat a „halott nélküli háború” elképzelése is. Ebben a háborúban nem katonák, hanem gépek harcolnak, a szembenálló felek akár technikai fejlettségüket összemérve dönthetik tehát el, hogy ki az erősebb.

A piacon kapható szárazföldi mobil robotok többsége igen kifinomult mechanikai megoldásokat tartalmaz, így képes szélsőséges terepviszonyokhoz alkalmazkodva a legkülönbözőbb feladatok elvégzésére. A legtöbb alkalmazott robot aknamentesítő, robbanóanyag felderítő funkciót lát el, található azonban felderítő, szállító és támadó feladatokat ellátó robotok és robotrendszerek is. Ezek a robotok jellemzően távvezéreltek, így nem rendelkeznek önálló döntéshozó képességekkel. Ugyanakkor, a távvezérelt, bonyolult robotok irányításához szakképzett személyzet, adott esetben több személy szükséges, és ebben az esetben a robot alkalmazhatóságát, túlélési esélyeit nagyban befolyásolja a kezelőszemélyzet ügyessége, tapasztalata, kiképzettsége és felkészültsége. Sok esetben a kezelő kénytelen látótávolságban maradni, így maga is veszélyben van.

Mindezeknek megfelelően világosan megfogalmazható igény mutatkozik olyan rendszerek fejlesztésére, ahol a rendszer képességei nem, vagy csak kis mértékben

függnek a kezelő képességeitől. Az iparban már évek óta sikerrel alkalmaznak szerelő, árutovábbító mobil robotrendszereket, melyek dinamikus környezetben, emberek között is képesek feladatuk gyors és hatékony módon történő ellátására. Hasonló autonóm rendszerek katonai célú alkalmazására már adottak a technológiai feltételek, így lehetséges egy ilyen rendszer hatékony működtetése. Autonóm döntéshozó képességgel ellátott robotok alkalmazása esetén bizonyos funkciókat a robot képes önállóan elvégezni (például menetstabilizálás, dokkolás, navigáció, akadály felismerés). Az autonómia fokának további növelésével a robot által végzett feladatok száma nőhet, így a kezelő alacsonyabb képzettségű személy is lehet, akinek csak az utasítást kell kiadnia és a gyűjtött adatokat kiértékelnie. Autonóm rendszerek esetében elképzelhető az is, hogy egy személy egy teljes robotrendszert kezeljen, így a rendszer hatékonysága tovább növelhető.

A Magyar Köztársaság esetében is kijelenthető az, hogy a tágabb értelemben vett védelmi szférában – honvédség, rendőrség, katasztrófavédelem – is nagy előnyökkel jár a különböző feladatokra felhasználható földi robotok alkalmazása. **Ezen eszközök olyan területeken való felhasználása, amely az ember számára különösen veszélyes, vagy fizikailag egyáltalán nem megoldható, hatalmas képességnövekedést eredményez, és hozzájárul az élőerő megóvásához.**

Mindezeknek megfelelően az autonóm működésű védelmi célú földi mobil robotrendszerek fejlesztése egy olyan fejlődő terület, melyben hazánknak részt kell vennie, hogy egyrészt lépést tartson a világban végbemenő technológiai fejlődéssel, másrészt ne váljon kiszolgáltatottá a különböző ilyen eszközöket gyártó más országokkal szemben.

Mindezek mellett azt a tényt is figyelembe kell venni, hogy autonóm földi robotok vezérlésére a világ több laboratóriumában folynak kísérletek, azonban magára az autonóm működésre, azaz az önálló, külső irányítástól független feladatvégzésre, amelybe beletartozik az önálló navigáció, önálló akadály felismerés és akadály elkerülés, önálló információszerzés és feldolgozás, valamint a körülményekhez történő adaptív alkalmazkodás problémája, még nem született minden igényt kielégítő megoldás.

Mindezeknek megfelelően munkám során a következő célokat tűztem ki:

1. A már meglévő mobil robot alkalmazások felkutatása, vizsgálata és elemzése. Ezek alapján olyan következtetések levonása, melyek **kiindulópontként szolgálhatnak egy**

védelmi célú autonóm felderítő robot kialakítása során. Hangsúlyozni kívánom, hogy **céлом az önálló feladatvégzésre alkalmas autonóm működésű robotok vizsgálata és fejlesztése**. Ez a cél messze túlmutat mind terjedelmében, mind a különböző rész-problémák összetettségében az egyszerű távvezérelt eszközök vizsgálatán.

2. Szárazföldi robotok rendszertechnikai felépítésének elemzésével és vizsgálatával, a főbb funkciók áttekintésével **specifikációt meghatározni a hordozó mechanika, az energiaellátás, a szenzorrendszerek és a vezérlőrendszer vonatkozásában**. Mindezek alapján céлом egy – védelmi célú autonóm mobil robotrendszerre vonatkozó – **általános követelményrendszer felállítása**.

3. További céлом a **gyakorlatban megvalósítható vezérlőberendezés** kialakítási lehetőségeinek vizsgálata, modellezése és gyakorlati megvalósítása.

4. Egyszerű, megbízható, kamerás pozicionáló rendszer segítségével megvalósítható, autonóm működésű robotrendszer esetében alkalmazható **dokkoló rendszer vizsgálata**, elemzése és a követelmények meghatározásához következtetések levonása.

5. Javaslatot tenni egy változatban **védelmi funkciót ellátó mobil robotrendszer megalkotására**, amely hazánkban is gazdaságosan üzemeltethető.

Munkám során a következő kutatási módszereket alkalmaztam:

Kiterjedt kutatómunkát folytattam a földi autonóm mobil robotok témájával kapcsolatos információk összegyűjtése és rendszerezése érdekében. A szakirodalmak és az interneten hozzáférhető publikációk tanulmányozásával, elemzésével bővítettem a kutatási céljaim eléréséhez szükséges elméleti ismereteimet. Fontosnak éreztem a kutatás során felállított tézisek gyakorlati megvalósíthatóságának vizsgálatát, így több vizsgált rendszert modell formájában megvalósítottam, majd a működő rendszer vizsgálatával alátámasztottam feltevéseimet. Megismertem a mobil robotika különböző területeihez kapcsolódó kutatási tevékenységeket hazánkban és külföldön. Hallgatóként és előadóként részt vettem több – az értekezésem témájához kapcsolódó – hazai és nemzetközi tudományos konferencián. Kutatási eredményeimet rendszeresen publikáltam szakmai kiadványokban valamint tudományos előadások, poszterelőadások formájában is.

A kitűzött célok elérése érdekében értekezésemet az alábbi fejezetek szerint építem fel:

I. fejezet Definiálom a mobil robotokkal kapcsolatos fontosabb alapfogalmakat. Általános áttekintést adok a földi robotokról. A különböző méretű, alkalmazhatóságú mechanikai kidolgozású hordozók ismertetésén túl, azokat a dolgozat további részeinek megalapozása érdekében, értékelem és elemzem, majd megalkotok egy, a földi autonóm mobil robotokra alkalmazható általános követelményrendszert.

II. fejezet Áttekintem a védelmi célú mobil szárazföldi robotok rendszertechnikai felépítését, a főbb funkcionális feladatok megvalósításának lehetőségeit, majd javaslatot teszek az egyes funkciókat ellátó részegységek konkrét kialakítására.

III. fejezet Elemzem az autonóm robot vezérlőegységének kialakítási lehetőségeit. Egy általam készített modell segítségével bizonyítom az ipari komponensek mobil robotikában történő használhatóságát. A fejlesztésem célja egy általános célú mobil robot vezérlő kialakítása. Szintén az elkészült modell segítségével bizonyítom, hogy dokkolást segítő kamerás pozicionáló rendszer alakítható ki, mely képes a mobil robot pontos pozícióra történő beállításának segítésére.

IV. fejezet A dolgozat alapján elkészítem egy védelmi célú területőrző földi mobil robotrendszer követelményrendszerét. A követelményrendszer alapján javaslatot teszek egy lehetséges gyakorlati alkalmazásra.

A mobil robotokat irányító algoritmusok kutatása hatalmas terület. Munkám során a mobil robot hardware felépítésére koncentrálok, és a vezérlő algoritmusok csak érintőlegesen kerülnek tárgyalásra.

I. FEJEZET

FÖLDI MOBIL ROBOTOK ÁLTALÁNOS ÁTTEKINTÉSE, FŐBB ALKALMAZÁSI TERÜLETEIK

1.1 A mobil robot fogalma, mobil robotok csoportosítása

A **robot** fogalmát a Nemzetközi Szabványügyi Hivatal (ISO8373:1996) a következők szerint állapítja meg: *„Automatikusan vezérelt, újra programozható sokoldalú beavatkozásra képes eszköz, mely három vagy több tengelyű mozgás végzésére képes. A robot lehet rögzített vagy helyváltatásra képes.”* [2]

A robotok elsősorban emberi feladatokat kivitelezésére tervezett gépek, kialakításuk lehet ember formájú, de jellemzően az emberhez hasonlító külső forma kialakítása nem szükséges és nem is praktikus. [3] Képességeiket, jelenlegi és majdani alkalmazásaikat főként a mobilitás és autonómia határozzák meg.

Érdekes elemzés tárgyát képezik például a napjainkban használt távvezérelt robbanóanyag hatástalanító robotok, mivel ezek gyakran nem automatikusan, hanem egy operátor irányításával hajtanak végre feladatokat, nem programozhatók és nem automatikus működésűek, tehát a definíciót szigorúan alkalmazva ezek az eszközök nem is nevezhetők robotnak. A robot definíciójában szerepel a mozgás képessége, tehát furcsa módon nem tekinthető robotnak sok olyan bonyolult számítógéppel vezérelt rendszer, melyek adott esetben a mesterséges intelligencia és a neurális hálózatok bonyolult algoritmusait implementálják (pl. sztereókamerás gépi látás).

Az **autonóm robot** fedélzetén hordozza a működéséhez szükséges vezérlőberendezést, így működése nem függ semmilyen külső vezérlő számítógéptől, mivel a fedélzeti vezérlő képes a szükséges döntések meghozására. [4] Az autonóm robotok általában egy nagyobb robotrendszer egy alrendszereként használatosak, így gyakran szükséges egy központi felügyelő számítógép is, azonban ez a rendszer csak a feladatot osztja ki a robotkomponenseknek és azok a feladat végrehajtását önállóan végzik.

A szárazföldi robotokat **alkalmazási területük szerint** két fő csoportba sorolhatjuk:

- katonai alkalmazású robotok (pl. felderítés, csapásmérés, aknamentesítés, sebesült- és ellátmányszállítás)

- polgári alkalmazású robotok (pl. logisztikai szállító és raktározó, katasztrófavédelmi, aknamentesítő, tudományos felderítő kutató robotok).

Elképzelhető azonban a katonai és polgári alkalmazások határterületén elhelyezkedő applikáció is. Az aknafelderítő robot például használható háborús körülmények között, illetve szintén alkalmazható békeidőben tűzszerészeti, katasztrófavédelmi feladatok ellátására is.

A szárazföldi mobil robotokat gyakran UGV¹-nek nevezik. Az UGV definíció szerint egy *„olyan hajtott, helyváltoztatásra képes mobil eszköz, amelyen nincs emberi személyzet a fedélzetén.”* [5] Ez a definíció feloldja a távvezérelt eszközök és a robot fogalmának ellentétét, mivel itt nem szerepelt a programozott automatikus működés kritériuma. Ember nélküli szárazföldi mobil robotok, azaz UGV-k katonai alkalmazása olyan környezetben különösen indokolt, amely ember számára valamilyen okból nem megközelíthető (pl.: harci gázzal vagy nukleáris sugárzással szennyezett), vagy nagyon kockázatosan megközelíthető, elaknásított vagy erősen őrzött terület. Nem háborús katonai – pl. békefenntartó, terrorellenes – műveletekben UGV-k alkalmazásával az emberáldozatok száma szintén jelentősen lecsökkenthető.

A szárazföldi mobil robotok polgári alkalmazásai is egyre elterjedtebbek és elfogadottabbak a világon. Kisméretű robotok alkalmazhatók a katasztrófa elhárításban, túlélők keresésére összedőlt épületekben, robbanóanyagok hatástalanításában. UGV-eket használnak az űrkutatásban – égitestek felszínének feltérképezésében –, vagy akár a régészetben – pl. a piramisok ismeretlen kamráiba történő bejutásra – és még sok speciális, ember által nem, vagy csak nehezen megközelíthető hely feltárására. Ezek az eszközök egyre fontosabb szerepet játszanak a mezőgazdaság, az ipar egyes területein (pl. növényvédő szer kipermetezése UGV-vel); és nem szabad megfeledkezni az emberek mindennapi életébe belopakodó autonóm mobil háztartási gépekről sem (porszívók, fűnyírók, stb.).

A robotok **vezérlésük módja szerint** három fő csoportba sorolhatók:

- a távvezérelt robotok fedélzetén lévő minden berendezést közvetlenül az operátor irányítja. Ebben az esetben a robotnak látótávolságon belül kell maradnia, vagy rendelkeznie kell olyan kétirányú adatkapcsolattal, mely alkalmas a környezetről megfelelő információk továbbítására. Ilyen robot lehet egy videó felvevő és továbbító egységgel felszerelt felderítő mobil robot;

¹ UGV - Unmanned Ground Vehicles – ember nélküli földi jármű.

- a félautonóm robot rendelkezik bizonyos fedélzeti intelligenciával, amely megvédi a robotot az operátor által nehezen észlelhető veszélyforrásoktól. Ilyen veszélyforrás lehet a túl nagy dőlésszögű emelkedő, melyet észelve a robot beavatkozik a távvezérlésbe, és vészjelet küld az operátornak;
- az autonóm mobil robot képes egy előre programozott, vagy véletlenszerű pálya önálló bejárására operátori beavatkozás nélkül.

A szárazföldi robotok **méretük szerint** öt fő csoportba sorolhatók: [6]

- makró robotok (normál méretű robotok): sok esetben egy már emberi irányításúra kifejlesztett közlekedési eszköz, vagy harci jármű beavatkozók, szenzorokkal, döntéshozó számítógépekkel történő kiegészítése;
- midi robotok (kisméretű robotok): méteres nagyságrenden belüli méretekkel rendelkeznek;
- mini robotok: tíz centiméteres nagyságrendbe eső kiterjedéssel bírnak;
- mikro robotok: csupán néhány centiméteres kiterjedésűek;
- nano robotok: szabad szemmel nem látható robotikai alkalmazások.

Napjainkban már számos olyan terület létezik, ahol sikerrel alkalmaznak szárazföldi mobil robotokat, ezek közül néhány fontosabb terület:

- felderítési feladatok:
kisméretű, hordozható, kamerával ellátott kivitelű robotplatformok alkalmazhatók olyan felderítési feladatoknál, ahol katonák jelenléte különösen veszélyes (pl. utcai harcok, akár épületen belüli felderítés);
- aknamentesítő, robbanóanyag felderítő és hatástalanító feladatok;
- csapásmérő földi robotok:
történtek kísérletek midi és makro méretű robotok fegyverrel történő ellátására, így a robot képessé tehető csapásmérésre, vagy saját védelmére;
- szállító málha robotok:
a katona terhelésének csökkentése céljából létrehozott olyan robotrendszer, amely a katona személyi felszerelésének szállítására alkalmas;
- nagyméretű szállító járművek:
logisztikai, áruszállítási feladatokat végrehajtó autonóm robotjárművek, amelyek akár konvojban haladó jármű menetoszlopok is lehetnek;
- katonai céltárgyak:
egy fegyverrendszer hatékonyságát nagyban befolyásolja az, hogy milyen mértékű tesztelésen esett át. A megfelelő tesztelés csak megfelelő harci

körülményeket imitálva lehetséges. Ilyen alkalmazásokban robotjárművek használata feltétlenül indokolt;

- őrző, védő, riasztó robotrendszerek:
területőrzési feladatokat ellátó robotrendszerek;
- kommunikációs és zavaró robotrendszerek:
a robot fedélzetén átjátszó relé állomás vagy zavaróadó található.

1.2 Hazánkban működő mobil robotrendszerek

Elsőként fontosnak tartom a hazánkban működő rendszerek bemutatását. Mobil robotokról beszélni Magyarországon sem irrealitás, mivel hazánk is rendelkezik több katonai és polgári alkalmazású mobil robotrendszerrel.

A Magyar Honvédség 2008-ban vásárolt egy, két robotból álló tűzserézs robotrendszert, mely egy Andros F-6A nehéz tűzserézs (megsemmisítő) robotból és egy TELEMATX könnyű tűzserézs robotból áll, valamint a rendszer tartozéka egy mini MACE vizes vágó berendezés. [7]



1. kép

Az ANDROS F-6A nehéz tűzserézs robot [8]



2. kép

Az ANDROS F-6A robot vezérlő egysége [7]

Az Andros F-6A nehéztűzserézs robot elektromos meghajtású, maximálisan 6 km/h sebességre képes, 300 méteres hatótávolságon belül. A robot súlya 220 kg, 132 cm hosszú, 73 cm széles és 143 cm magas. A roboton található manipulátor 2,7 m vízszintes és 140 cm függőleges távolságba képes kinyúlni, 30 kg súlyt képes felemelni. A robot irányítását segíti a manipulátorra szerelt és a platformra rögzített színes kamera (1. kép).

Az Andros F-6A távvezérelt működésű, vezérlése lehetséges száloptikás, vezeték nélküli rádióösszeköttetés, valamint hagyományos vezetékes összeköttetés segítségével. A vezérlőpanelen egy 15"-es LCD monitor kapott helyet, melyen megfigyelhető a robot állapota, fontosabb paraméterei és a kamerák képei. Az elhelyezett botkormányok és kapcsolók segítségével pedig a robot vezérlése lehetséges.

A TELEMATX könnyűtűzszerész robot elsősorban az improvizált robbanótestek elleni tűzszerész munkát segítheti. Ez a robot kiválóan alkalmas épületek, közterületek, gépjárművek átvizsgálására, robbanóanyagok felderítésére. Az eszköz irányítása száloptikán, vagy rádión keresztül történhet. Az alig nyolcvan kilogramm súlyú robottal könnyedén átvizsgálható mindenféle gyanús csomag. Ugyanakkor, mivel úgynevezett vízlövés leadására is képes, ezért szükség esetén az EOD² tevékenység során, vagyis a háborúkból visszamaradt, ám nem szállítható állapotban előkerült lőszer és lövedékek gyújtószerkezeteinek megsemmisítésére is alkalmas. A robotot egyébként öt kamerával szerelték fel, amelyek közül az egyik akár hőkameraként is használható [9] (3. kép). A robot speciális szerkezeti kialakításának köszönhetően nemcsak a manipulátor karját, hanem a futóművét is képes összecsucni, így az eszköz könnyen szállítható. A robot szállítási méretei: 75 cm magas és 40 cm széles. Működés közben a manipulátor kar és a speciálisan emelkedő futómű szerkezet lehetővé teszi a 2,3 m magasságban történő felderítést, illetve munkavégzést. Az elektromos meghajtású robot tápegysége minimálisan 2 óra biztonságos működést garantál -20 °C és +45 °C környezeti hőmérsékletek között.



3. kép

A TELEMATX könnyű tűzszerész robot és az operátor egység [10]

A fent említett tűzszerész robotok távvezérelt működésre képesek, tehát működtetésükhöz operátori irányítás feltétlenül szükséges.

² EOD - Explosive Ordnance Disposal – *Robbanóanyag hatástalanítás*

Autonóm mobil robotrendszer hazai alkalmazásaként meg kell említeni az Állami Egészségügyi Központban telepített SWISSLOG LTC2-FTS robotrendszert. A svájci cég által gyártott rendszer kórházak logisztikai, árutovábbítási feladatainak autonóm módon történő megoldására került kifejlesztésre. A kórházban közlekedő robottargoncák maximálisan 450 kg súlyú konténerok szállítására képesek, legnagyobb sebességük 4 km/h. Helyzetüket a hordozóplatform elejére és hátuljára rögzített lézerszenkerek segítségével, odometriás helymeghatározás segítségével képesek megállapítani. Az eljárás során a robot ismert tereptárgyak távolságát és irányát méri, így képes saját pozíciójának meghatározására. A több mobil egységből álló rendszer egy központi számítógép vezérli, mely szabványos Ethernet és WLAN hálózaton képes a mobil egységekkel, valamint a kiegészítő elemekkel kommunikálni. [11]



4. kép

Swisslog LTC2-FTS robottargonca (A képet készítette: Dr. Ványa László)

A robottargonca (4. kép) 1,7 m hosszú, 0,6 m széles, magassága 0,4 m, önsúlya 330 kg, meghajtása elektromos motorokkal történik. Az energiaellátásról egy 24 V 96 Ah-ás NiCd, vagy savas akkumulátor gondoskodik. A telep töltöttségét figyelve, lemerülés esetén a robot automatikus dokkolást hajt végre, a telepek feltöltése után folytatja munkáját. Mivel a rendszer több targoncából áll, fontos az optimális munkavégzés megszervezése. Figyelembe kell venni az éppen töltődő egységek állapotát, valamint a robotok helyzetét.

Az előzőekben bemutatott hazai alkalmazásban lévő robotrendszerek külföldi gyártásúak. Ugyanakkor a hazai műszaki egyetemek és főiskolák laborjai is foglalkoznak földi mobil robotkutatásokkal. Példaként kell megemlíteni a Budapesti

Műszaki Főiskola Neumann János Informatikai karának FOBOT és EXPLORATORES mobil robotjait.

Szintén hazai fejlesztésként kell megemlíteni az Aero-Target Bt. Meteor-3R típusú célrepülőgépét, amelyet a Mistral légvédelmi rakéták tesztelésére fejlesztettek ki. Ez az UAV megfelelően imitálva egy valódi harci repülő viselkedését, célként szolgál a légvédelmi rakéták tesztelése során. A fejlesztés során olyan fedélzeti robotegység került beépítésre a repülőgépbe, amely segítségével a repülő előre programozott sarokpontokat lejárva önálló repülésre képes.

1.3 Néhány fontosabb katonai vagy polgári alkalmazású földi mobil robot platform

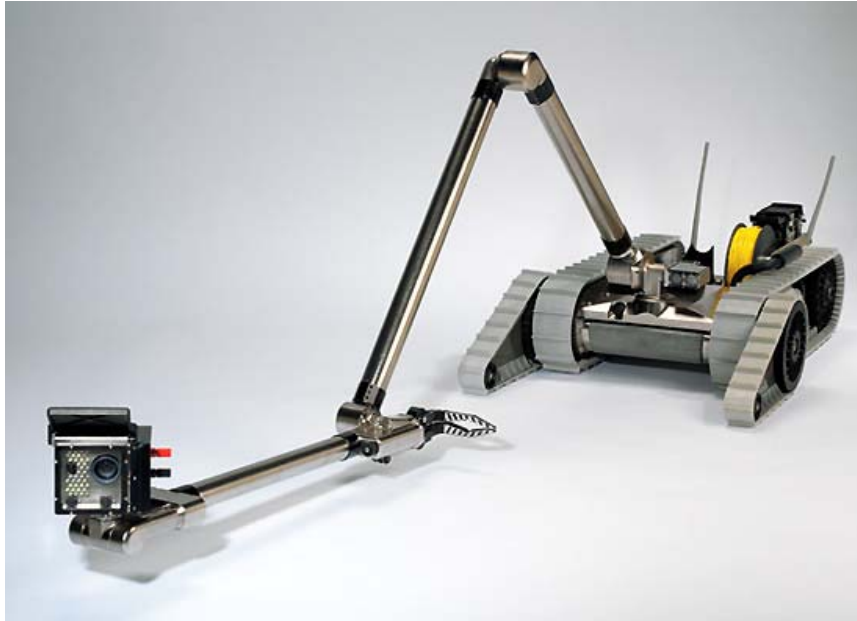
Az Amerikai Egyesült Államokban több laboratórium foglalkozik flexibilisen alkalmazható UGV-k fejlesztésével. [12] Az iRobot PackBot³ robotcsaládja ipari és katonai alkalmazásokra kifejlesztett általános célú robot (5. kép), melynek katonai változata több sikeres bevetésen vett részt az afganisztáni és az iraki háborúban. A PackBot Scout egy robotcsalád alapplatformjának tekinthető. Fedélzetén elhelyezett színes, fekete-fehér és infravörös kamerái segítségével alkalmas valós idejű képek továbbítására.

Teleszkópos karra rögzített fedélzeti kamerával felszerelve szintén valós idejű kép továbbítására alkalmas a PackBot Explorer⁴, amely a kamera kiemelésére, 360 fokos elforgatására is képes. A kiemelhető fejben a kamera mellett helyet kapott egy hangészlelő szenzor és egy lézer megvilágító, valamint egy hátsó színes kamera. A PackBot megfelelő aktuátorokkal,⁵ manipulátorokkal, szenzorokkal felszerelve tűzszerészeti és robbanóanyag semlegesítési funkciók ellátására is alkalmazható. A PackBot EOD három tagból álló teleszkópos karral van felszerelve, melynek végén az emberi kéz szorító- és tartófunkcióit ellátó karom helyezkedik el. A kar 2 méteres hosszúságúra nyújtható, így ember által nem megközelíthető helyeket is képes elérni.

³ Az amerikai iRobot cég általános célú kisméretű hordozható mobil robotja

⁴ Explorer: felderítő

⁵ Az aktuátor olyan beavatkozó szerv, amely az elektromos jelet mechanikai mozgássá alakítja. Ilyen eszköz lehet egy villanymotor vagy egy szervó rendszer.



5. kép

PackBot EOD robbanóanyag hatástalanító robot [13]

A PackBot család minden tagjának kis mérete és súlya lehetővé teszi a hátizsákos vagy kézi hordozhatóságot. A fejlettebb mobilitás érdekében a hagyományos lánctalpas struktúrát kiegészítették egy, a robot frontoldalán lévő állítható szögű segéd- vagy kapaszkodó lánctalppal, így a kis méret adta mobilitási problémák javíthatók. Az 1. táblázat a PackBot Explorer néhány technikai paramétereit tartalmazza.

1. táblázat: PackBot Explorer paramétereit. [14]

Meghajtás:	Elektromos
Maximális sebesség:	13 km/h
Hatótávolság:	366 m
Irányítási mód:	Vezeték nélküli távirányítás (RF)
Tömeg:	18 kg
Hossz:	69 cm
Szélesség:	41 cm
Magasság:	18 cm

A kisméretű UGV-k képesek bejutni üregekbe, szűk helyekre, de geometriai méreteikből adódóan nem képesek nagyobb akadályok áthidalására. A szabadsági fok növelésével azonban a robot geometriai méretei flexibilisebben konfigurálhatók, így a terepjáró tulajdonságok jelentősen javíthatók. Ilyen megoldások keresésével foglalkozik többek közt a SPAWAR System Center San Diego. Az általuk kifejlesztett robot

(NUGV – Novel Unmanned Ground Vehicle) egy központi testből és a test két végén tetszőleges szögben elforgatható két lánctalpból áll, így a szabadsági fok hatra növelhető (6. kép). A robot hossza 47 cm, szélessége 42 cm, magassága 22 cm, így kihajtott lánctalpállásban közel 130 cm-es hossz érhető el. A tápellátásról 18 darab 3.7 Voltos Li-ion⁶ akkumulátor gondoskodik, melyekből hat a központi testben, hat-hat pedig a lánctalpakban helyezkedik el. A motorok mindegyike alkalmas az UGV teljes súlyának mozgatására, így az elakadás esélye jelentősen csökkenthető.



6. kép

A lánctalpak beállítási lehetőségei NUGV roboton [15]

Az NUGV központi testének geometriájából adódóan a robot nem tesz különbséget föld felőli alsó és felső oldal között, így a felborulás esetén a robot zavartalanul képes továbbhaladni. Az NUGV kísérleti célú robotot az energiaforrások kapacitása nem teszi lehetővé küldetések végrehajtására. Az NUGV projekt továbbfejlesztése lehetne az egységek különválasztása.

Amennyiben három kis méretű robotplatform képessé tehető az összekapcsolásra, úgy a rendszer szétválva képes lehet szűk helyekre történő bejutásra, ám összekapcsolódva, a geometriai méreteit megnövelve szintén képessé tehető nagy méretű akadályok áthidalására. [16] Robotcsapatok alkalmazása esetén az egyes elemek

⁶ A Li-ion akkumulátor cellafeszültsége töltött állapotban mintegy 4 V (szemben az Ni-Cd akkumulátorok 1.2 V-os cellafeszültségével), így a kívánt feszültség kevesebb cella összekötésével nyerhető. Az akkumulátor kis súlyú, alkalmazása egyszerű, karbantartást nem igényel. Hátránya a viszonylag magas ár és a speciális töltésgény.

rendelkezhetnek eltérő funkciókkal, így a teljes rendszer képességei javíthatók. Például a kommunikáció hatótávolsága növelhető, ha az egyes robotkomponensek kommunikációs relé funkció ellátására képesek, vagy ha az elakadt robotelem kiszabadítását képes elvégezni a robotcsapat egy másik tagja. [16]

Hasonló innovatív mechanikai kiképzéssel kívánják a mobilitást növelni az Autonomus Solutions Inc. (ASI) mérnökei a Chaos fantázianevű robotnál. A robot a PackBot-hoz hasonlóan általános felhasználást tesz lehetővé. Az ajánlásban szélsőséges terepi viszonyokhoz (sivatag, hó, barlangi terep) alkalmazkodó felderítő robotként mutatják be a Chaost (7. kép). A robot a PackBot Explorerhez hasonló méretekkel bír, és szintén a kamera-kiemeléses technikát alkalmazza.



7. kép

Autonomus Solutions Inc. Chaos általános célú robotplatform [17]

A földi robotrendszerek fontos elemét képezi a távvezérlő és a valós idejű kép fogadó egység, az OCU⁷. A 8. képen az ASI többcélú vezérlő (control) modulja látható. Az eszköz érintőképernyős kijelzővel rendelkezik, melyen megjeleníthető az UGV-ről érkező valós idejű kép, valamint lehetőségünk van a megfelelő parancsok kiadására is. A teleoperáció az OCU két oldalán található botkormányokkal valósítható meg. A rendszerbe ágyazott számítógépen Tablet Windows XP operációs rendszer fut. A költségek csökkentésére az ASI egységesített irányító modult fejlesztett ki minden forgalmazott UGV-jéhez.

⁷ OCU Operator Control Unit – Kezelő-vezérlő egység.



8. kép

Autonomous Solutions Inc. OCU operátori kezelő munkaállomás [18]

A PackBot, az NUGV és a Chaos csak néhány kiragadott termék a piacon található kisméretű, általános alkalmazhatóságú robotok közül. Innovatív megoldásokkal, a szabadsági fok növelésével, a legmagasabb szintű miniatürizálással e kisméretű robotok bámulatos akadály-áthidalási és hasznos teherhordási tulajdonságokkal rendelkeznek. Ezek az eszközök hatékonyan alkalmazhatók a katonai felderítésben, katasztrófavédeleми feladatok ellátására, vagy különböző megfigyelési feladatok elvégzésére.

Természetesen, ha a kutatás eredményeként létrejön egy flexibilis mozgékony mobil roboteszköz a fejlesztés következő fázisában kísérletet tesznek a platform fegyverrendszerrel történő kiegészítésére. Egy ilyen fejlesztés eredménye a 2003-ban piacra bocsátott TALON. A robot SWORDS páncéltörő rakétával és M240 géppuskával felszerelt változatából 18 darabot 2005-ben Iraki területre szállítottak és teszteltek. [19]



9. kép

Foster Miller TALON SWORDS csapásmérésre is alkalmas mobil robot [20]

Természetesen a TALON nem az egyetlen fegyverrel ellátott mobil robot. Az összes mobil robotfejlesztő laboratórium kimondva, vagy kimondatlanul a hadiipar számára fejleszt, így egy megfelelő robot csapásmérésre történő alkalmazása csak idő kérdése.

A Boston Dynamics által forgalmazott, Big Dog névre hallgató, különleges négy lábú robot fő feladata a teherhordás (10. kép). Az 1 m hosszú, 70 cm magas, 75 kg tömegű robot gázzal táplált belsőégésű motorral biztosítja a fedélzetén a szükséges energiát. A robot közel 7 km/h sebességre képes, teherbírása 150 kg. A fejlesztők szerint a robot képes minden ember által megközelíthető terepen mozogni. A robot megfelelő szenzorokkal felszerelve felderítő, árutovábbító funkciókat láthat el.



10. kép

Boston Dynamics négy lábú mobil robot platform [21]

Az UGV-k következő nagy csoportja a hagyományos gépjárműplatformokra épülő, de gépi látással, digitális szenzorokkal, elektromechanikus beavatkozókkel felszerelt robotok. Ezen eszközök fejlesztési költségei alacsonyabbak, mivel hordozó platformnak alkalmazható valamely kereskedelemben kapható gépjárműtípus. A már említett Autonomous Solutions Inc. tevékenységi körébe tartozik bármely, a kereskedelemben kapható gépjárműtípus ember nélküli gyakorló célponttá, UTV⁸-vé való átalakítása (11. kép). Az UTV saját navigációs rendszerrel rendelkező autonóm robot, amely egy előre beprogramozott útvonalat jár be, célpontként szolgálva más katonai eszköz tesztelésére.

⁸ UTV- Unmanned Target Vehicle - Ember nélküli célpont jármű



11. kép

Autonomus Solutions Inc. UTV autonóm földi célpontjármű [22]

Hagyományos és kisméretű robotplatformok esetén is megoldandó probléma a robotok konvojban, azaz menetoszlopban történő biztonságos haladása. Robotkonvoj esetén nem szükséges minden mobil egység önálló irányítása, hanem elegendő csak egyet távvezérelni vagy irányítani, a többinek pedig azt az utasítást adni, hogy kövessék a kijelölt robotot. A konvoj haladása nem akadhat meg akkor sem, ha az oszlopban haladó egyik jármű megsérül, vagy elakad, valamint a járműveknek alkalmazkodniuk kell a dinamikus környezeti hatásokhoz is. Például vasúti síneken történő áthaladás esetén a konvoj szétválhat, majd később újra egyesülnie kell. A probléma tehát első látásra egyszerűnek tűnhet, de látható, hogy mégis viszonylag magas fokú autonómia és csoportos irányítási stratégia szükséges a feladat megfelelő megoldásához.



12. kép

Robotkonvojok a kutató laboratóriumban és bevetés közben [23][24]

A technológia fejlődésével új, korszerű eszközök törnek be a személyszállítás piacára is. A néhány éve piacra dobott és már hazánkban is egyre többször látható Segway Human Transporter (HT) remek alapplatformként szolgálhat UGV-k

fejlesztéséhez is. A Segway RMP (Robotic Mobility Platform) a Segway HT alapjaira épült viszonylag olcsó, remek terepjáró tulajdonságú, nagy teherbírású hordozó. Kedvező tulajdonságai közül csak néhányat kiemelve: maximális sebessége 13 km/h, kültéri és beltéri használata egyaránt lehetséges, hasznos teherbírása megközelítőleg 100 kg, képes az egyhelyben történő megfordulásra, egy feltöltéssel képes 15 km-es út megtételére, szabványos CAN⁹ interfésszel rendelkezik, így egyszerű csatlakozó felületet biztosít robotikai fejlesztésekhez (13. kép).



13. kép

Segway RPM két keréken egyensúlyozó földi robotplatform [25]

Az eddig említett UGV-k leginkább a katonai, a katasztrófa-elhárítási, kutatási területeken alkalmazhatók. Nem szabad azonban megfeledeznünk egyéb olyan polgári alkalmazásokról sem, ahol az UGV-k hathatós segítséget nyújthatnak. Ismét az Autonomous Solutions Inc. egy termékét véve alapul, a Predator fantázianévre hallgató UGV egy mezőgazdasági alkalmazását láthatjuk a 14. képen. A Predator GPS navigációs és képfeldolgozó rendszerével képes egy adott terület legoptimálisabb bejárására és a kipermetezni kívánt vegyszer egyenletes eloszlásban történő kijuttatására. A Predator fedélzeti elektronikáját ütközésdetektorok, szonár és lézeres akadályfelismerők, fejlett autonóm működést biztosító fedélzeti elektronikai rendszerek képezik.

⁹ Controller Area Network – RS485-ös soros fizikai rétegen alapuló ipari buszrendszer. Elterjedten alkalmazott az automatizálás és a gépjárműipar több területén.



14. kép

ASI Predator permetező robotrendszer [26]

Az ember nélküli mobil robotok fejlesztése során a méret csökkentése, a hatótávolság és a mobilitás növelése a három legfontosabb cél. A méret csökkentésének a miniaturizálás és az akkumulátorok teljesítménye szab határt. Jobb energiatároló eszközök kifejlesztése, valamely megújuló energiaforrás használata a hatótávolság növekedéséhez, a méret esetleges csökkenéséhez vezethet. A hatótávolságot befolyásoló tényező még a kommunikációs kapcsolat minősége. **Robotcsapatok alkalmazásával, a csapat egyes elemeihez relé funkciót rendelve, a kapcsolat sugara növelhető.** A mobilitás növelése az élővilágból vett ötletek segítségével napról napra javul. Fejlesztő laboratóriumokban már léteznek lépegető, a pókok mozgását modellező robotok, valamint emberi mozgást modellező kétlábú lépegetők is.

Az eddig ismert robotok emberek környezetében, sok esetben önállóan képesek feladatuk elvégzésére, a fedélzetükre telepített intelligens vezérlőrendszer segítségével. A robotok alkalmazhatóságát tehát nem csupán a mechanikai felépítésük, és a fedélzetükre telepített szenzorok befolyásolják, hanem a rendszert vezérlő program is. Bonyolultabb algoritmusok kidolgozásával az alkalmazhatóság kiterjeszhető.

Az algoritmusfejlesztési folyamat jól szemléltethető a DARPA¹⁰ „Grand Challenge” évről-évre (2004-2005) megrendezésre kerülő versenysorozatának vizsgálatával. A verseny célja, olyan autonóm, emberi beavatkozás nélküli földi jármű fejlesztése volt, amely képes a megközelítőleg 210 km-es távolságot 10 órán belül teljesíteni. A pálya koordinátáit közvetlenül a verseny előtt közölték a nevező csapatokkal, így nem volt lehetőség a pálya előzetes bejárására, esetleges robotbetanításra. A pályán megtalálható az összes életben is előforduló tereptárgy, alagút, szűk átjáró, szerpentin, nehezen járható út, sivatagi környezet. [27] A fejlődést egyértelműen bizonyítja, hogy amíg a

¹⁰ DARPA - Defense Advance Research Project Agency – Fejlett Védelmi Kutatási Ügynökség

2004-ben megrendezésre került versenyen a 210 km-es távból a legjobban teljesítő csapat is csupán 12 km-t tudott teljesíteni, addig a 2005-ben megrendezett versenyen már 5 csapat is sikerrel leküzdötte a bonyolult pályát. A Stanford Racing Team Stanley nevű Volkswagen Tuareg R5 típusú módosított terepjárójának 6 óra 54 percre volt szüksége a táv megtételéhez, ami 30 km/h átlagsebességet jelent (15. kép). Mivel az autonóm robotjárművek statikus környezetben már bizonyítottak, a következő kihívást egy dinamikus környezetben történő helytállás jelentette. A DARPA 2007-ben megrendezett Urban Challenge névre hallgató versenyén 96 km-es táv megtétele volt a cél hat órán belül, azonban a robotoknak a közúti közlekedéshez hasonló kialakítású pályán minden közlekedési szabályt be kellett tartaniuk és a pályán szimulációként közlekedő egyéb járművekhez is alkalmazkodniuk kellett. Ez már lényegesen bonyolultabb döntéshozó vezérlést jelentett, de ez sem okozott megoldhatatlan problémát a nevező csapatoknak. A győztes csapat 4 óra és 10 perc alatt tette meg a kijelölt távot, ami 22,5 km/h átlagsebességnek felel meg.

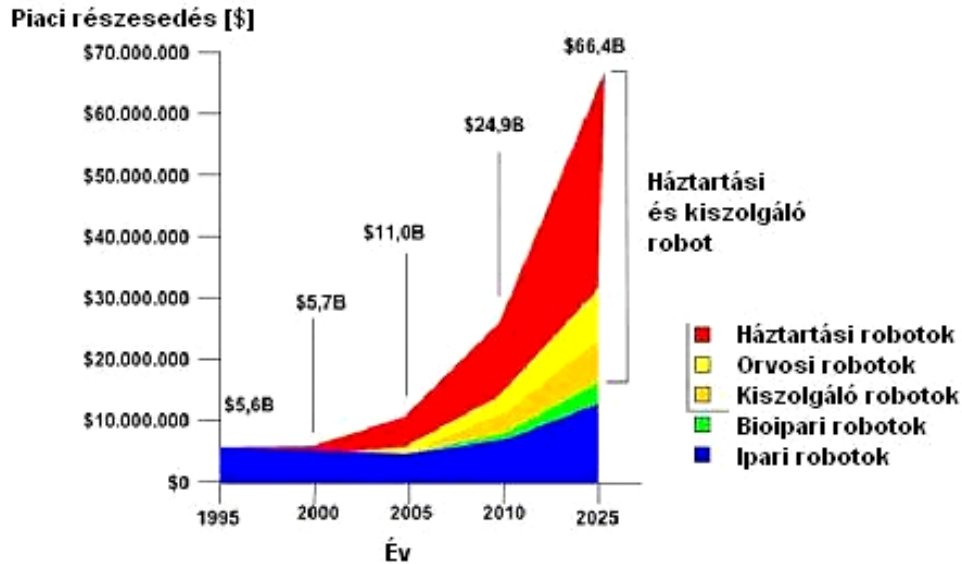


15. kép

A Stanford Racing Team Stanley nevű autonóm mobil járműve [28]

Az évről-évre végbemenő hatalmas technológiai fejlődésnek köszönhetően egyre több robotikai eszközzel találkozhatunk. Egyre nő azon feladatok száma, amely automatizálással már biztonságosabban megoldhatók, mint emberi irányítással. Érezhető azonban egy bizalmatlanság a robotikai eszközökkel szemben. Nem lenne könnyű olyan embert találni, aki nyugodt szívvel vállalna egy utazást egy akármilyen biztonságosnak ítélt robotautóval is. A mobil robotok társadalommal történő elfogadtatása nem történhet egyik napról a másikra, de már napjainkban is zajlik. Kisméretű mobil robotok már szép számmal megtalálhatók a háztartásokban,

gondoljunk csak az automata porszívózó, fűnyíró robotokra. Kis méretük, tömegük folytán nem jelentenek veszélyt sem az emberre, sem az élővilágra. Anyagi károkozó képességük kicsi. Szintén jelentős növekedés várható a mobil robotika alapjaira épülő játékpiacon.



1. ábra

Mobil robotok alkalmazásának várható alakulása (Fordította: Kucsera P.) [29]

A mobil robotok várható értékesítéséről látható egy grafikon (1. ábra). Az ábrából kitűnik, hogy a civil szférában, különösen a mindennapi életben használt robotok rohamos elterjedését jósolják a szakértők. A robotok elterjedésével, a bizalom is növekedhet, így olyan területeken is elfogadottá válhatnak mobil robotikai alkalmazások, ahol ma még társadalmi ellenállás tapasztalható.

1.4 Mobil robotrendszer tervezéséhez szükséges általános szempontok és kritériumok meghatározása

A fent bemutatott robot alkalmazások vizsgálata alapján a következő – a rendszer egészére vonatkozó –, a tervezésénél felmerülő szempontokat és kritériumokat állapítottam meg az alábbi területeken:

- *Mechanikai kialakítás*
 - Méret: A robot hordozhatóságát és akadály áthidaló képességét nagymértékben befolyásoló tényező. Kisméretű robot esetén kedvező hordozhatósághoz kedvezőtlen akadály áthidalási képesség társul. Kis méretben nehezen integrálható a megfelelő teljesítményű döntéshozó

egység és az energiatároló, így a hatótávolság is lecsökken. Amennyiben igény a robot fegyverzettel történő ellátása, vagy szükséges páncélzat, makró méretű mobil robot választása a legcélszerűbb.

- Helyváltoztatás képessége: Az alkalmazott terep és talajszerkezethez igazítva lehet: lánctalpas, keréken gördülő, lépegető és sikló mozgást végző. Szempont lehet a kételtű képesség is. Definiálni kell a maximális terepemelkedést, a gyorsulás és fékezés elvárt értékét és a sebességhatárokat. A robot terepjáró képességét nagyban befolyásoló tényező a szabad hasmagasság, melynek megválasztásánál mérlegelni kell az alkalmazási területet.
- Meghajtás: Alkalmazási területtől függően lehet elektromos vagy belső égésű motorok alkalmazásával. Szempont lehet a zaj, hő és égéstermék kibocsátás figyelembevétele (zárt térben például nem előnyös belsőégésű motorral hajtott robot).
- Működési tartományok: Egy mobil robotrendszer esetében meg kell határozni az alkalmazás során fellépő szélsőséges környezeti hatásokat (zaj, hő, fényviszonyok, nedvesség, páratartalom, hőmérséklet, rázkódás, gyorsulás). Szempont lehet akár az is, hogy a robot el-, vagy ledobható legyen, így számolni kell a nagy gyorsulás és rázkódás tényével. Ha a gázlóképesség, kételtűség szempont, a megfelelő védettségről és tömítettségről is gondoskodni kell.
- *Energiaellátás, energiagazdálkodás:* Alkalmazástól függően lehet belsőégésű motorral hajtott generátor, üzemanyagcella, akkumulátor, vagy szuperkondenzátor. Az energiaforrás megválasztásánál fontos mérlegelni a hatótávolság és a működési idő kérdéskörét. Kis hatótávolság esetén nem érdemes nagy súlyú telepekkel terhelni a robotot, azonban megfelelő energiaforrás nélkül nem érhető el a kívánt hatótávolság. A telep élettartama korlátozó tényező lehet. Szintén figyelembe kell venni a rendszer rendelkezésre állási idejét. A telep feltöltése alatt a robot nem képes küldetés végrehajtására, tehát rendelkezésre állási ideje csökken. Ezt a tervezésnél mérlegelni kell. Az energiamérleg javítható, ha az eszköz a fékezéskor keletkező energiát képes visszatáplálni vagy raktározni.
- *Vezérlőrendszer:* A vezérlőrendszer számítási teljesítménye határozza meg a robot autonómiájának fokát. Nagy teljesítményű vezérlővel intelligens rendszer

hozható létre, azonban számolni kell a vezérlőrendszer fogyasztásával is. A vezérlő rendszer természetesen csak a megfelelő algoritmusokat futtatva képes a megfelelő működésre.

- *Szenzorok:* A szenzorok határozzák meg a robot és a külvilág kapcsolatát, valamint ezek a szenzorok érzékelik a robot belső változásait. A megfelelő változások észlelése nélkül nem valósítható meg autonóm működés. Ismét definiálni kell a robot alkalmazási körülményeit (nappali, éjszakai működés, időjárási viszonyok, környező tereptárgyak). Egy épületen belül működő robot teljesen más szenzorokat igényel, mint egy sivatagban haladó egység.
- *Aktuátorok:* A környezetből szerzett információk feldolgozása után a robot jellemzően valamilyen beavatkozást, cselekvést végez. Ez a cselekvés lehet maga a helyváltoztatás, de felszerelhető a robot valamely manipulátorral, beavatkozóval is, mellyel képessé tehető egy adott feladat ellátására. Egy robbanóanyag hatástalanító robot általában antropomorf manipulátor karral rendelkezik, mellyel képes a robbanóanyag megfogására, áthelyezésére, esetleges hatástalanítására. Természetesen az alkalmazási terület szabja meg az alkalmazott beavatkozó szervet (a beavatkozó eszköz fegyver is lehet).
- *Kommunikáció:* A kommunikációs eszközök megválasztásánál az átvinni kívánt adatmennyiség és a hatótávolság, valamint a csatorna titkosítási lehetőségei azok, amiket elsőként mérlegelni kell. Amennyiben a robotról élő digitális, kódolt videó információ érkezik, a kommunikációs csatornával szemben támasztott követelmények lényegesen magasabbak, mint ha csak a robot aktuális pozíciója és néhány mérési adat kerül lesugárzásra. Sokszor a kommunikációs csatorna nem építhető fel egy lépcsőben. Barlangokban, vagy bonyolult kialakítású vasbeton épületeken belül történő felderítés esetén például nehezen hozható létre nagy sebességű digitális kapcsolat. Erre megoldás, robotcsapatok alkalmazása relé funkciót ellátó elemekkel.

1.5 Következtetések

Az első fejezetben definiáltam a szárazföldi mobil robotokkal kapcsolatos legfontosabb alapfogalmakat, majd áttekintettem a hazai és a világon előforduló néhány fontosabb földi mobil robotalkalmazást. A bemutatott földi mobil robotok mechanikai felépítésüket tekintve rendkívül kifinomultak, működésüket bonyolult számítógépes rendszerek segítik, de ma Irakban és Afganisztánban szolgálatot teljesítő földi robotok

mindegyike távvezérelt (eltekintve az esetleges titkos kísérletektől). A robotok működtetéséhez szakképzett személyzet szükséges. Az operátor jellemzően látótávolságban, vagy néhány száz méteren belül tartózkodik, így maga is veszélyben van. A fejlesztések következő fázisa a robotok autonómiájának növelése, mivel ebben az esetben az operátor a műveleti területen kívülről, biztonságból kezelheti a robotot. Autonóm rendszer esetén több robot kezelése is lehetséges egy fő operátori személyzettel. Az operátor feladata ebben az esetben már nem a robot botkormányokkal történő vezérlése, hanem, csupán az utasítások kiadása, és az információk kiértékelése. A kezelő tehát ebben az esetben már nem speciálisan kiképzett rutinos katona, csupán egy kevésbé szakképzett személy. Képzeljünk el egy 8 robotból álló 24 órás megfigyelő rendszert. A távvezérelt esetben 8 független kezelő szükséges több műszakban. Az általuk szerzett adatok összevetése csak bonyolult módon történhet, a kiértékelés körülményes. Egy ilyen rendszer kialakítható autonóm módon is. Ebben az esetben a robotok leprogramozott útvonalakat járnak be, képesek a változások észlelésére, így az egy fő operátor személyzet riasztására. Látható, hogy a rendszer alkalmazhatósága lényegesen egyszerűbb, hatékonysága magasabb. Egy másik elképzelhető autonóm mobil robotrendszer alkalmazható például járművek hatástalanítására. Az elképzelt rendszer észleli a gépjárművet, a gépjármű alá manőverezik, majd felrobban. Ez a rendszer nem lehet hatékony, ha nagyszámú jármű közeledik. (Nagyszámú távvezérlő személyzet szükséges, a feladatok kiosztása és a saját robotok kikerülése, valamint a gyors manőverek megvalósítása rendkívül körülményes). Egy autonóm mobil robot csapat esetén a mobil robotok együttműködve, optimális módon jelölik ki feladatukat, minden robot a kijelölt jármű alá jutva végzi feladatát, így a rendszer zökkenőmentesen és hatékonyan működik.

A DARPA Grand Challenge és Urban Challenge versenyei bizonyítják, hogy napjaink technológiai színvonalán már készíthető életképes autonóm mobil robotrendszer, mely képes alkalmazkodni akár valós, dinamikusan változó, emberközeli környezethez is.

A már meglévő mobil robot alkalmazások áttekintésével bizonyítottam, hogy napjaink technológiai színvonalán lehetséges védelmi célú **autonóm** felderítő robotok megalkotása, és ezek használatára nagyon nagy igény mutatkozik.

A autonóm mobil robotok említése kapcsán azonnal felmerül a robotcsapatok lehetősége és szükségessége. Ugyanúgy, ahogy egy katona nem képes minden feladat önálló módon történő végrehajtására, egy robot sem „érthet” mindenhez. Célszerű tehát

a feladatokat megosztani és egymással kommunikáló robotcsapatot alkalmazni. Robotcsapatok alkalmazásával, a csapat egyes elemeihez relé funkciót rendelve, a kommunikációs kapcsolat sugara növelhető. A robotcsapatokban működő elemek képességeihez képest több együttműködő robot alkalmazása esetén a teljes rendszer képességei növelhetők.

A robot méretének növelésével javul a robot akadály áthidalási képessége, azonban nem képes bejutni kis helyekre. Például, kisméretű robotok összekapcsolásával, a rendszer képes lehet nagyobb akadályok áthidalására, valamint szétkapcsolódva bejuthat szűk helyekre is.

A polgári szférában, különösen a mindennapi életben használt robotok rohamos elterjedését jelzik előre a szakértők. A robotok elterjedésével, a bizalom is növekedhet, így olyan területeken is elfogadottá válhatnak mobil robotikai alkalmazások, ahol ma még társadalmi ellenállás tapasztalható (katonai alkalmazású (támadó) autonóm robotok).

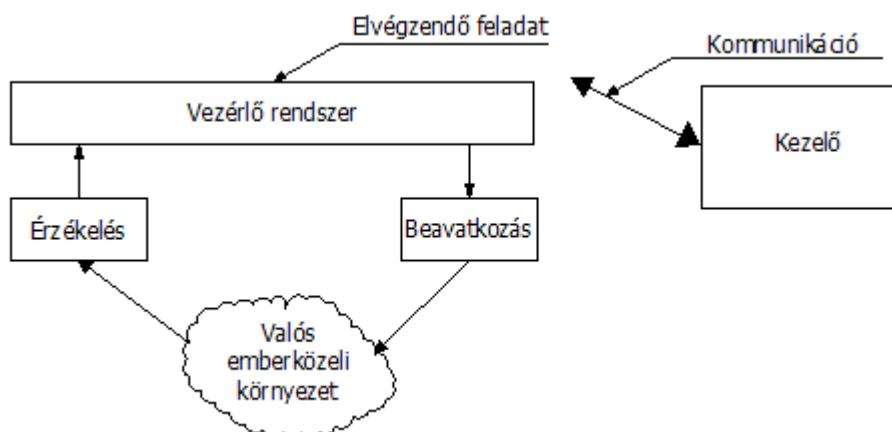
Ebben a fejezetben megvizsgáltam és bemutattam a hazánkban, illetve néhány példán keresztül a világban eddig alkalmazott roboteszközöket és ezek **alapján általános – a tervezésnél figyelembe veendő – következtetéseket vontam le a mechanikai kialakítás, az energiaellátás, a vezérlőrendszer, a szenzorok, az aktuátorok és a kommunikáció vonatkozásában.**

II. FEJEZET

A VÉDELMI CÉLÚ MOBIL SZÁRAZFÖLDI ROBOTOK RENDSZERTECHNIKAI FELÉPÍTÉSE

Az előző fejezetben ismertetésre került robotrendszerek áttekintése után, azok fedélzetén található szenzorok, vezérlő és beavatkozó berendezések kialakításának lehetőségeit vizsgálom.

A mobil robot érzékelői segítségével információt gyűjt környezetéből. A robot környezete lehet statikus és dinamikus (például, egy teherhordó robot emberek közvetlen közelében történő munkavégzésénél számolni kell a hirtelen emberi mozdulatok, helyzetváltoztatások lehetőségével). A gyűjtött információk egy megfelelő átalakítást, kondicionálást követően jutnak a vezérlőegység bemenetére. A vezérlőegység az előre definiált feladat figyelembevételével megkezdi a beavatkozó szervek, motorok, működtetését. A robot feladata lehet előre programozott, vagy egy kezelő által, egy kommunikációs csatornán keresztül kiadott tevékenység (2. ábra).



2. ábra

Mobil robot főbb egységeinek blokkvázlata (Szerk.: Kucsera P. AutoCAD2005)

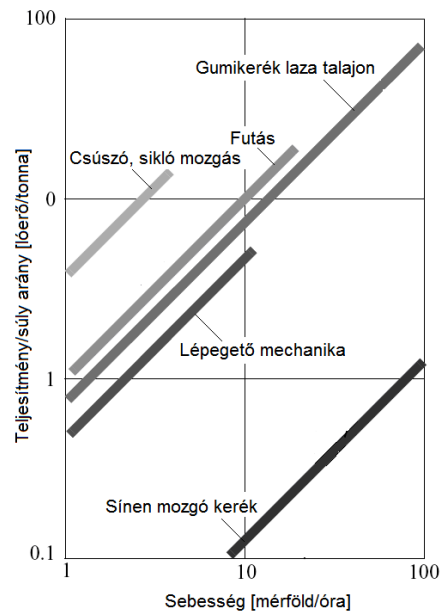
Ezek alapján tehát egy mobil robotrendszer a következő funkcionális egységekre bontható:

- **beavatkozó rendszer:**
 - hordozó mechanika (helyváltoztatásra képes alapplatform, energiaellátó rendszer, meghajtó motorok);
 - hasznos terhek (manipulátorok);

- **szenzorrendszer:**
 - akadály felismerés;
 - navigáció;
 - hasznos terhek (képrögzítő kamerarendszer, cél mérőműszerek);
- **vezérlőrendszer;**
- **kommunikáció;**
- **kezelőrendszer.**

2.1 Hordozó mechanika

A mobil robotok mechanikai kialakításuk alapján két fő csoportba sorolhatók: az élővilágban előforduló mozgási formákat utánozó robotokra, valamint a keréken, vagy lánctalpakon gördülő robotokra. Az élővilágból vett mozgási formákat utánzó mechanika szabadsági foka magasabb, ugyanakkor mechanikai felépítése bonyolultabb, mint a keréken gördülő platformé. A bonyolultabb mechanikai felépítés nagyobb súlyt, helyigényt és energiafogyasztást eredményez. A futó és járó robotok [30], valamint a fűregmozgást végző berendezések maximális sebessége lényegesen alacsonyabb, mint a laza talajon gördülő kerékre épített robotoké, valamint energiaigényük is közel azonos vagy akár magasabb is lehet (3. ábra). Ezen szempontokat figyelembe véve autonóm földi robot kialakítására **a keréken gördülő megoldások alkalmazását javaslom.**



3. ábra

A különböző mechanikai kialakítások maximális sebessége és teljesítmény igénye

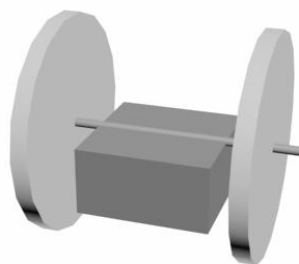
(Fordította: Kucsera P.) [31]

Mivel egy mobil robotrendszer lényege a helyváltoztató képesség, egy jól működő rendszer megalkotásához nélkülözhetetlen a megfelelő hordozóplatform megválasztása. A már említett okok miatt napjainkban a keréken gördülő mechanikai megoldások a legelterjedtebbek mind a mobil robotika területén, mind az ember által alkotott egyéb helyváltoztatásra alkalmas berendezések között. A kettőnél több keréken gördülő platformoknál az egyensúlyozás problémája megoldott, mivel általában az összes kerék érintkezik a földdel. A háromnál több kereket tartalmazó rendszerek esetében azonban a talajjal történő érintkezést a kerekek rugalmas felfüggesztésével kell megoldani.

A stabilitáson kívül fontos szempont a fordulékonyság, a manőverezhetőség, az irányíthatóság és az áthidalható környezeti akadályok jellege és mérete. Különböző környezetben alkalmazott robotok teljesen eltérő mechanikai kialakítást igényelnek, így a keréken gördülő platformok között is nagy eltérések tapasztalhatók. A hordozó platform elakadásának gyakori oka, hogy a hordozó egy nem várt esemény hatására felfordul, így mozgását nem képes folytatni. Amennyiben a platform szimmetrikus kialakítású, azaz felfordulás esetén is biztosított a kerekek vagy egyéb erőátviteli eszközök talajjal történő érintkezése, egy elakadást okozó hibaforrás kizárható. [32]

2.1.1 Két keréken gördülő hordozó platform

A statikus stabilitáshoz két kerék is elegendő, amennyiben a platform súlypontja a kerekek tengelyvonala alatt található, ez azonban csak viszonylag nagy átmérőjű kerekekkel oldható meg. A teljes fedélzeti elektronikát és mechanikát hordozó test hirtelen mozgásokra beleng, a platform könnyen elakad, mivel a kerekek nyomatékát csak a test súlya határozza meg, így ez az elrendezés nem terjedt el széles körben.



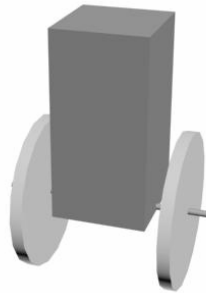
4. ábra

Statikusan stabil két kerekes elrendezés (Szerk.: Kucsera P. AutoDesk VIZ)

Dinamikus stabilitás érhető el egy hajtott és egy kormányzott kerék alkalmazásával, mely a kerékpár elrendezéshez hasonlítható. A robot fedélzetén elhelyezett gyorsulás és elfordulás érzékelők, valamint fejlett szabályzó algoritmusok segítségével napjainkban

már készülnek ilyen platformok. Ez az elrendezés jól alkalmazható szélsőséges terepviszonyok között, elakadás vagy eldőlés esetén azonban a rendszer nem képes visszaállni.

Kedvezőbb elrendezése miatt egyre elterjedtebb az a platform, melyen két hajtott kerék egymás mellett, azonos tengelyvonalban helyezkedik el, és a súlypont a tengelyvonal fölé kerül. A rendszer egyensúlyban tartását szintén gyorsulás és elfordulás mérők végzik. Az első fejezetben bemutatott Segway RPM is ezt az elrendezést követi.

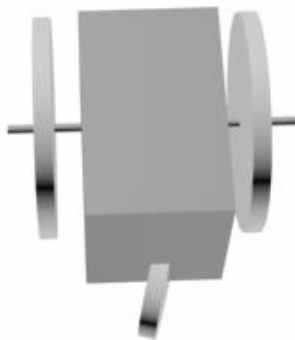


5. ábra

Dinamikusan stabil két kerekű elrendezés (Szerk.: Kucsera P. AutoDesk VIZ)

2.1.2 Három kerekűen gördülő hordozó platform

Elterjedt kísérleti robothordozó a két függetlenül hajtott keréssel és egy a platform támasztására szolgáló elfordulni, a platform helyzetét követni képes keréssel rendelkező összeállítás. Ez jól alkalmazható sík terepen, épületeken belül, azonban terepjáró képessége nem megfelelő. Az elrendezés előnye a rendkívül egyszerű felépítésből adódó könnyű vezérelhetőség. A kerekeket ellenkező irányba hajtva a platform képes a saját középpontja körüli elfordulásra. A kerekek elfordulását mérve a robot helyzete könnyen kiszámítható.



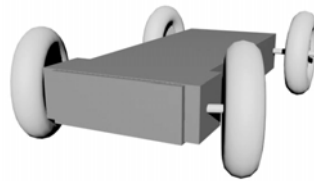
6. ábra

Három kerekűen gördülő, két függetlenül hajtott keréssel rendelkező hordozó
(Szerk.: Kucsera P. AutoDesk VIZ)

Szintén gyakori az egy hajtott és kormányzott, és két szabadonfutó keréken alapuló elrendezés, amely a targoncához hasonlítható.

2.1.3 Négy keréken gördülő hordozó

Napjaink leggyakrabban használt mobil eszköz hordozó platformja négy keréssel rendelkezik. A gépjárműiparban szerzett több évtizedes tapasztalatnak köszönhetően napjaink járművei már jó terepjáró képességekkel, nagy stabilitással és sebességgel rendelkeznek, így jól használható hordozói különböző mobil robotikai eszközöknek.



7. ábra

Négy keréken gördülő hordozó (Szerk.: Kucsera P. AutoDesk VIZ)

Ezekben az eszközökben alkalmazható első vagy hátsókerék hajtás, valamint hajtható az összes kerék is. A hagyományos járművekhez hasonló mechanikai felépítés alkalmazása célszerű abban az esetben is, ha kisebb méretű, néhány 10 cm-es robotra van szükség, mivel ezekhez már meglévő komponensek állnak rendelkezésre.

A négykerekű, két kormányzott keréssel rendelkező rendszer lényegesen rosszabb manőverező képességgel rendelkezik, mint a fent említett két- vagy háromkerekű rendszerek, azonban terepjáró képessége, stabilitása és sebessége lényegesen jobb. A háromnál több keréssel rendelkező platformok esetén az összes kerék földdel történő érintkezését rugalmas felfüggesztésekkel kell biztosítani.

Említést érdemel a négykerekű elrendezésű „BobCat” csúszó-kormányzású rendszer. Ennél a rendszernél a lánctalpas hajtáshoz hasonlóan, az elfordulás a jármű kerekeinek különböző sebességgel történő hajtásával jön létre. A rendszer rendkívül egyszerű mechanikai kialakítást tesz lehetővé, azonban rendelkezik a lánctalpas hajtás hátrányos tulajdonságaival is (kanyarodáskor nagy energiaigény, a kerekek elfordulásából a pozíció nem számítható).

2.1.4 Speciális, keréken gördülő robothordozók

A kerekek számának növelésével csökken a talajra nehezedő felületi terhelés, így a platform képes lazább talajon történő haladásra is. A hajtott kerekek számának

növelésével csökken a robot elakadásának veszélye, azonban a rendszer bonyolultsága nő. A kerekek megfelelő rugalmas felfüggesztése hajtott kerekek esetén bonyolult, így négynél több hajtott kerék alkalmazása csak speciális feladatok elvégzésénél indokolt. Adott esetben a vezérlő algoritmus fejlesztésével érdemes a szélsőséges terepakadályok kikerülését választani, semmint a mechanika bonyolultságát növelni.

2.1.5 Láncotalpas hordozóplatform

A kerekek alkalmazása esetén általában feltételezzük, hogy a kerék és a talaj között nem jön létre csúszás. Ez a vezérlés szempontjából sok előnnyel jár. Ismerve a robot mozgását leíró egyenleteket, valamint mérve a kerekek elfordulását, a robot relatív pozíciója számítható. A láncotalpas kialakítás esetében azonban az elfordulás a láncotalpak megcsúszásának hatására történik, így a pontos fordulási tengely függ a talaj anyagától. Láncotalpak alkalmazásával lényegesen kisebb felületi terhelés érhető el, azonban a tapadási súrlódás megnő. A láncotalp alkalmazása laza talajon rendkívüli manőverezhetőséget és terepjáró képességet eredményez, ez azonban hátránnyá válik normál terepviszonyok mellett. A láncotalpak hajtása rendkívül gazdaságtalan sima, jól tapadó talajon, forduláskor a láncotalpak csúsztatásához a normál hajtáshoz szükséges energia többszöröse szükséges.

2.1.6 Egyéb hordozó eszköz megoldások

Az állatvilágban fellelhető mozgásokat utánozó mechanikai megoldások általában bonyolultabb, nehezebben vezérelhető hordozóplatformokat igényelnek a mobil robotikai eszközöktől. Ugyanakkor azonban a komplexitás növelésével az akadályáthidaló képesség is nő. Kisméretű, néhány 10 cm-es keréken gördülő platformmal nehezen oldható meg egy lépcsőn történő feljutás, vagy romok közötti haladás. Például ilyen környezetben alkalmazhatók jól a lábakkal rendelkező lépegető mechanikák. Az első fejezetben említett Boston Dynamics Big Dog robotja egy jó példa az ilyen mechanikai megoldásnak, de léteznek hatlábú, pókhoz hasonló megoldások is. Hátrányuk a viszonylag lassú működés és a rossz hatásfok. Szintén említést érdemel egy másik érdekes, az állatvilágból vett megoldás, melyet szintén a már említett Boston Dynamics fejlesztett ki. Az RHEX névre hallgató platform a bogarak mozgásához hasonló módon képes helyzetének megváltoztatására (16. kép).



16. kép

Boston Dynamics RHEX nevű, hat csáppal rendelkező mobil robot platformja [33]

A robotot hat függetlenül vezérelhető motorra rögzített félkör alakú, gumival bevont csáp mozgatja. A csápok eltérő módon történő szinkronizálásával képes alkalmazkodni különböző terepviszonyokhoz. Mivel a robot szimmetrikus kialakítású, alul és felülnézetből azonos, így felborulás esetén zavartalanul képes továbbhaladni.

2.2 Energiaellátás

2.2.1 Akkumulátorok

Az akkumulátorok a kémiai áramforrások (segítségükkel a villamos energia termelése kémiai anyagok átalakulása révén történik) azon csoportja, amelyekben az átalakulás megfordítható, azaz villamos áram bevezetésével a kémiai anyagok visszaalakíthatók eredeti állapotukba, az áram termeléskor átalakult anyagok ellentétes irányú áram átadásával regenerálhatók. ("töltés", "kisütés").

Felépítés szerint a következő csoportba sorolhatók [34]:

- ólom, vagy savas akkumulátorok;
- oxigénrekombinációs, zárt ólomakkumulátorok;
- nikkel-kadmium akkumulátorok;
- nikkel metál-hidrid (NiMH) akkumulátorok;
- lítium-ion akkumulátorok (Li-ion);
- lítium-polimer (Li-polymer) akkumulátorok.

Ólom, vagy savas akkumulátorok

Rendkívüli elterjedtsége alacsony árának és kis belső ellenállásának (0,01 Ohm) köszönhető. Az alacsony belső ellenállásnak köszönhetően rendkívül nagy kisütőáram

érhető el. Mivel a kisütési és töltési feszültség nem tér el nagymértékben, a savas akkumulátor töltése a rákapcsolt fogyasztókkal párhuzamosan is történhet. Egy üzemelő cella feszültsége névlegesen 2 V. A magyarországi hőmérsékleti viszonyok között az üzemelő akkumulátor feltöltött állapotában a kénsav sűrűsége 1,28 kg/l. Egy teljesen kisütött ólomakkumulátor elektrolitjának a sűrűsége 1,1 kg/l érték alá is csökkenhet, aminek a fagyáspontja -12, -14 C°. A savas akkumulátorok hátránya a viszonylag alacsony ~30-40Wh/kg energiasűrűség és az alacsony, 500-800 maximális töltési ciklus.

Oxigénrekombinációs, zárt ólomakkumulátorok

Ez az akkumulátor típus a hagyományos ólom akkumulátoroknál 2,39 V fölötti cellafeszültségnél fellépő vízbontás jelenségét küszöböli ki. Az oxigénkombinációs zárt ólomakkumulátorban egy megfelelő katalizátor alakítja át a keletkező gázelegyet újra vízzé.

Nikkel-kadmium akkumulátor (NiCd)

A hatvanas években jelentek meg az első nikkel-kadmium (NiCd, anód és katód) akkumulátorok. Nagyon igénytelen, hosszú élettartamú akkumulátorok, de a savas ólomakkumulátornál drágábbak és rosszabb hatásfokúak. Egyes típusaik igen nagy kisütőáramot (a névleges tízszeresét) viselnek el. Energiasűrűségük kb. 45 Wh/kg. Élettartamuk körülbelül 2000 töltési ciklus és gyorsan tölthetők. Esetükben nagy probléma a kristályképződés, pontosabban az, hogy az akkumulátor aktív részecskéi, ha sokáig nem mozgatják meg őket, hajlamosak nagyobb kristályokba összeállni, ami csökkenti az akku kapacitását. A cellafeszültség 1-1,25 V közötti. Rendkívül érzékeny a túltöltésre és a túlzott kisütésre. Kedvezőtlen tulajdonsága a memória effektus. Helytelen töltés-, kisütés esetét megjegyzi, azután csak addig a szintig tölthető, ameddig korábban helytelenül töltötték.

Nikkel metál-hidrid (NiMH) akkumulátorok

Az elmúlt 5-6 évben a legtöbb kisméretű áramforrást igénylő területen a nikkel metál-hidrid (NiMH) technológia vette át a NiCd akkumulátorok helyét. Ezekben az akkumulátorokban a pozitív oldalon a NiCd akkukhoz hasonlóan nikkelt találunk, a negatív oldalon viszont egy speciális hidrogén-megkötő fémötvözet veszi át a kadmium helyét. Töltéskor ez a fémötvözet megkötöti a savas elektrolit hidrogénjét, kisütéskor pedig leadja azt. A NiMH akku töltése sokkal bonyolultabb, mint a NiCd-é. A megfelelő töltésszint eléréséhez az akkumulátor hőmérsékletét is figyelembe vevő,

bonyolult töltési algoritmus szükséges, ami megrágtja a töltőáramköröket. Feszültsége 1-1,25 V. A memória effektus kevésbé jelentős, mint az Ni-Cd akkumulátoroknál, de még mindig nem elhanyagolható. Hátránya a Ni-Cd-hoz képest, hogy várható élettartama rövidebb, maximális árama kisebb (60-70%). Energiasűrűsége 30-80 Wh/kg.

Lítium-ion akkumulátorok (Li-ion)

A legfiatalabb generációba tartozik a lítium-ion (Li-ion) technológia. Nevét onnan kapta, hogy a töltés tárolásáról lítium-ionok gondoskodnak, amelyek töltéskor a negatív, szén alapú elektródához, kisütéskor pedig a pozitív fénoxid elektródához vándorolnak. Az anódot és a katódot szerves elektrolit választja el egymástól. Ennek a típusnak a legnagyobb a kapacitása, amely a NiCd akkumulátorokénál kétszer nagyobb is lehet. A kimerült cella is képes legalább 3 V-ot szolgáltatni. Teljesen feltöltött állapotban mintegy 4 V a cellafeszültség. Az előnyök között szerepel még a kis súly, nagy energiasűrűség (~160Wh/kg), a jó hatásfok és az, hogy egyáltalán nem képződnek kristályok az akkumulátorban, így a memória effektus egyáltalán nem jelentkezik.

Lítium-polimer (Li-polymer) akkumulátor

A Li-ion utódja, a lítium-polimer (Li-polymer) akkumulátor. Hatalmas előnye, hogy nem, vagy csak nagyon kis mennyiségben tartalmaz folyékony elektrolitot, helyette speciális polimer választja el az anódot és a katódot. Ez nagyon vékony és nagyon rugalmas cellákat eredményezhet, mivel nem kell vastag falú burkolattal védekezni a folyadék kifolyása ellen.

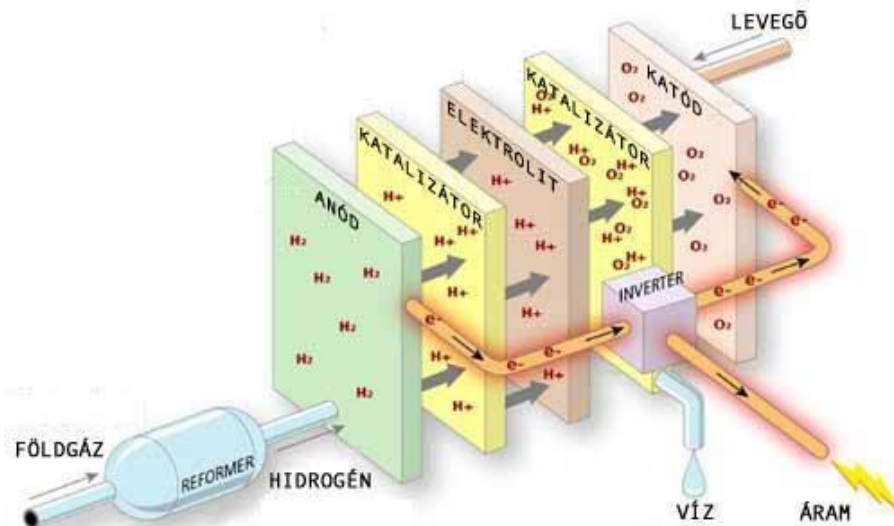
2. táblázat Akkumulátorok összehasonlítása. [36]

Típus	Fesz.	Energia sűrűség			Telj.	Hatásfok
	(V)	(MJ/kg)	(Wh/kg)	(Wh/l)	(W/kg)	(%)
Ólom-savas	2	0.11-0.14	30-40	60-75	180	70%-92%
Ni-Kadmium	1,2	0.14-0.22	40-60	50-150	150	70%-90%
NiMH	1,2	0.11-0.29	30-80	140-300	250-1000	66%
Li-ion	3,6	0.58	160	270	1800	99.9%
Li polimer	3,7	0.47-0.72	130-200	300	3000+	99.8%

2.2.2 Üzemanyagcella

Az üzemanyagcella és az akkumulátor közötti leglényegesebb különbség az, hogy míg az akkumulátor a töltöttség elvesztése után újratöltésre szorul, addig az üzemanyagcella

mindaddig képes energia szolgáltatására, míg üzemanyag áll rendelkezésre. Az üzemanyagcella két elektródából áll, egy elektrolit köré szendvicsszerűen préselve (8. ábra). Az anódon hidrogén, míg a katódon oxigén halad át. Katalizátor segítségével a hidrogénmolekulák protonokra és elektronokra bomlanak. A protonok keresztüláramlanak az elektroliton. Az elektronok áramlása mielőtt elérné a katódot, felhasználható elektromos fogyasztók által. A katódra érkező elektronok a katalizátor segítségével egyesülnek a protonokkal és az oxigénmolekulákkal, vizet hozva létre. A folyamat során hő is termelődik. Az üzemanyag-átalakítót (reformer) tartalmazó rendszerek képesek felhasználni bármely szénhidrogén tüzelőanyagot, a földgáztól kezdve a metanolon át a gázolajig. Inverter közbeiktatásával váltóáram is létrehozható. Mivel az üzemanyagcella nem égésen alapul, hanem elektrokémiai reakción, az emissziója mindig jóval kisebb lesz, mint a legtisztább égési folyamatoknak.



8. ábra

Az üzemanyagcella működése [38]

Az üzemanyagcellák közül napjainkban két típus terjedt el és kapható forgalomban [39]:

- a **PAFC (Phosphoric Acid fuel cell)** Foszforsav üzemanyagcella kiválóan alkalmas kisebb, telepített áramfejlesztő-telepek energiaforrásaként. Üzemi hőmérséklete aránylag magas, körülbelül 230⁰C ezért járművek hajtására csak körülményesen alkalmazható;
- **PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell)** üzemanyagcella két porózus elektródából áll. Az anód és a katód közöttük egy szilárd polimer

membrán helyezkedik el, melyen áthaladnak a hidrogén atomok elektron vesztett proton magjai. A folyamathoz szükséges katalizátor rendszerint egy vékony platinaréteggel bevont papír vagy textil. Az anód oldalon beáramló hidrogén atomok a katalizátor hatására megválnak elektronjaiktól, melyek elektromos feszültséget hoznak létre. Az elektronok a külső áramkör felé haladnak és működésbe hozzák az elektromos berendezést. Az elektronját vesztett pozitív töltésű hidrogén protonmagok tovább haladnak a polimer membránon keresztül a katód felé. A katódnál lévő katalizátor segítségével a hidrogén atommagok egyesülnek hiányzó elektronjaikkal, valamint a közvetlenül beáramló oxigénnel, ahol hő leadás mellett víz képződik melléktermékként. A feszültség a két Katalizátoron keletkezik.

A PEMFC viszonylag alacsony, $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti hőmérsékleten üzemel nagy áramot képes szolgáltatni és képes nagy terhelésingadozásokat is elviselni, viszont érzékeny a használt hidrogén tisztaságára. A szakértők szerint a PEMFC lehet a jövőben az akkumulátorok és elemek kiváltója, így helyet kaphat a mobil járművek fedélzetén is.



9. ábra

Üzemanyagcella konkrét megvalósítása [40]

Példaként a Westwood H-12 PEM üzemanyagcellája 12 W kimenő teljesítményre képes 5 V kimenőfeszültség mellett, $5\text{-}40\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérséklet tartományban (9. ábra). A cella $76\times 56\times 47\text{ mm}$ -es méretű, 225 g súlyú, 180 ml hidrogént fogyaszt percenként, maximális terhelés mellett. A cella hatásfoka 45% . A működéshez szükséges egy miniatűr nyomáscsökkentő és egy hidrogéntároló berendezés. Egy ilyen berendezés ára $1500\text{-}2500\text{ \$}$, tehát akár elérheti a félmillió forintot is! Ez elképesztően magas ár, figyelembe véve, hogy az üzemanyagcella csupán 12 W teljesítmény leadására képes. Véleményem szerint üzemanyagcellák alkalmazása napjainkban még aránytalanul költséges, így alkalmazásukat mobil robot eszközökön nem javaslom.

2.2.3 Megújuló energiaforrások

A legideálisabb megoldást az jelentené, ha a mobil robot berendezés képes lenne arra, hogy környezetéből előteremtse a működéséhez szükséges energiát. A napenergia villamos energiává alakítása napjainkban már nem jelent problémát, azonban a Földet érő 50-1200 W/m² sugárzási energia csupán körülbelül 20%-os hatásfokkal alakítható villamos energiává. [41] Egy tipikus Si kristály alapú szolár cella 1.5 W/cm² teljesítményt ad le 0.5 V DC feszültség és 3 A áram formájában teljes nyári napsütésnél (~1000 W/m²). A leadott teljesítmény szinte egyenesen arányos a napsütés intenzitásával, így felhős időben ez az érték akár huszadára is csökkenhet. A napenergia semmiképpen nem használható egy mobil robot fő energiaforrásaként. Egy 1 m²-es maximum 150W-os napelemtábla elhelyezése még egy nagyméretű mobil eszközön is problémát jelent, azonban a szolgáltatott energia nem elegendő egy a napelemtáblát hordozó rendszer táplálására.

Jól alkalmazhatók viszont **a napelemek egy energiatároló rendszer kiegészítő elemeként.** Felderítő célú mobil robot esetén amennyiben a robot elérte célját, képes lehet akár kinyitható táblákból álló napelemek segítségével, az operátorral történő állandó kommunikáció megvalósítására, valamint az energiatárolók visszatöltésére.

Mobil robotikai eszközökön egyéb megújuló energiaforrások, mint a szél, a víz, és a geotermikus energia nem, vagy csak nagyon speciális esetben használhatók, viszont **felhasználható a robot saját fölösleges helyzeti vagy mozgási energiája, melyet egy megfelelő rendszer visszatáplál az energiatárolókba.** A mobil egység fékezésekor keletkező energiát generátorokkal, vagy a működtető villanymotor generátoros üzembe történő kapcsolásával, villamos energiává alakítva visszatáplálja a rendszerbe.

2.2.4 Belső égésű motorok alkalmazása

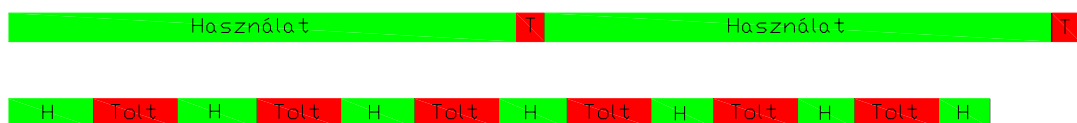
Belső égésű motorok alkalmazása esetén fontos szempont a halk működés, a megfelelő teljesítmény-súly arány, a kis méret és a megbízható működés. A sugárhajtások, amelyek a legjobb teljesítmény-súly aránnyal rendelkeznek nem elterjedtek földi mobil eszközöknél. A hagyományos 2 és 4 ütemű, valamint a dízel motorok 100-3000 W/kg teljesítmény-súly aránnyal rendelkeznek. [42] Egy 1 kg-os 1000 W/kg teljesítmény-súly arányú motor tehát 1000 W-os teljesítmény biztosítására képes kb. 20-32%-os hatásfokkal. 1 kg benzin (12,1 kWh/kg) tehát ezt a teljesítményt 3-4 órán keresztül képes táplálni. Így a teljes rendszer az üzemanyaggal maximum 2 kg-os. A belső égésű motorok teljesítmény-súly arányával csak a Li-ion és a Li-polimer akkumulátorok

tudnak versenyezni. Egy 2 kg-os Li-polymer akkumulátor 160 Wh/kg energiasűrűséggel rendelkezik, így ez az akkumulátor egy 1000 W-os fogyasztót csupán 20 percig képes üzemeltetni. A belső égésű motorok által létrehozott forgó mozgás megfelelő áttételezéssel és kuplungszerkezettel közvetlenül felhasználható a mobil platform meghajtására, valamint generátor hajtásával létrehozható a vezérlőberendezés táplálásához szükséges energia. Amennyiben csak elektromos berendezések működtetése szükséges, a teljesítmény-súly arány a generátor súlya és hatásfoka miatt romlik.

Felderítő robotok esetén, amennyiben a halk, észrevehetetlen működés fontos szempont, belső égésű motorok alkalmazása nem, vagy csak bonyolult módon, speciális hangszigetelés alkalmazásával oldható meg. Szintén nem alkalmazhatók belső égésű motorok zárt térben, ahol egyéb katonai személyzet is tartózkodik, mivel ezek motorok jelentős káros anyag kibocsátással rendelkeznek.

2.2.5 Rendelkezésre állási idő

Egy robotrendszer tervezésénél fontos szempont a rendszer rendelkezésre állási ideje is. A belső égésű és üzemanyagcellás energiaellátás esetén a működtető energia pótlása üzemanyag feltöltéssel történik, mely lényegesen kevesebb időt vesz igénybe, mint az akkumulátorok esetén a feltöltési folyamat. A már példaként említett 1 kg-os belső égésű motor 1 kg üzemanyagának pótlása egy-két perc alatt megoldható, azonban ugyanilyen méretű Li-polymer (24Ah) akkumulátor töltése legalább 20-30 percet vesz igénybe. Az akkumulátoroknál szintén figyelembe kell venni a használati idővel arányos kapacitáscsökkenést is.



10. ábra

Rendelkezésre állási idő belső égésű és akkumulátoros rendszerek esetén
(Szerk.: Kucsera P. AutoCAD2005)

Látható tehát, hogy az üzemanyaggal működő rendszerek rendelkezésre állási ideje lényegesen nagyobb, amennyiben az elhasznált energiát töltéssel kell pótolni. Akkumulátoros rendszereknél a rendelkezésre állási idő az akkumulátorok cseréjével

természetesen szintén növelhető, de ebben az esetben egy olyan dokkoló állomás szükséges, ahol megoldható az automatikus vagy manuális csere.

2.3 Meghajtás

A belső égésű hagyományos 4, vagy 2 ütemű és dízel motorok, a teljes rendszert vizsgálva (meghajtó motor és energiaellátó rendszer), a már említett okok miatt lényegesen jobb súly teljesítmény aránnyal rendelkeznek, valamint a használt üzemanyag (benzin, gázolaj) is lényegesen nagyobb mennyiségű energia előállítására képes ugyanazon tömegben, mint egy akkumulátor. A belső égésű motorokkal felépített rendszerek hatótávolsága, maximális sebessége tehát nagyobb, így nagy hatótávolságú 50-100 kg-nál nagyobb mobil robotrendszerek tervezésénél ajánlott belső égésű motorok alkalmazása. A belső égésű motorok rendelkeznek azonban néhány olyan tulajdonsággal, amelyek bizonyos esetekben kizárják alkalmazásukat:

- a működéshez oxigén szükséges, a keletkező égéstermék pedig káros a környezetre;
- a működés során hő, vibráció és zaj keletkezik;
- viszonylag bonyolult mechanikai felépítés, melynek kivitelezése körülményes kis méretben.

Zárt térben használt robotoknál, ahol a berendezés körül emberek dolgoznak nem megengedett káros égéstermék kibocsátása. (Szintén nem alkalmazható belső égésű motor ott, ahol nem áll rendelkezésre elegendő oxigén. Pl. Mars Rover). A kibocsátott rezgések, hő és zaj észlelhetővé teszik a robotot, így a rendszer felderítési feladatokra szintén nem alkalmazható. Kisméretű belső égésű motoroknál is biztosítani kell a megfelelő mechanikai elemek szilárdságát, így a súly-teljesítmény arány és a hatásfok leromlik, valamint, mivel a rendszer viszonylag komplex, indokolt valamilyen alternatív, egyszerűbb megoldás keresése.

2.3.1 Elektromos motorok

Az elektromos motorok hatásfoka akár a 95%-ot is elérheti, szemben a már említett belső égésű motorokkal, ahol a befektetett energia csupán körülbelül 30%-a alakul mozgási energiává, míg a fennmaradó 70%-ot hőként kell lesugározniuk. Megfelelő kialakítás mellett az elektromos motorok képesek leadni a működés közben keletkező hőt, így hűtőrendszer alkalmazása nem szükséges valamint a hőmérsékletsugárzás is

alacsony szinten tartható. Az elektromos motorok viszonylag széles fordulatszám tartományban képesek nagy nyomaték leadására, így fordulatszám váltó mechanika alkalmazása nem szükséges. A mechanikai felépítésük szintén lényegesen egyszerűbb, így működésük megbízhatóbb, karbantartásuk egyszerűbb.

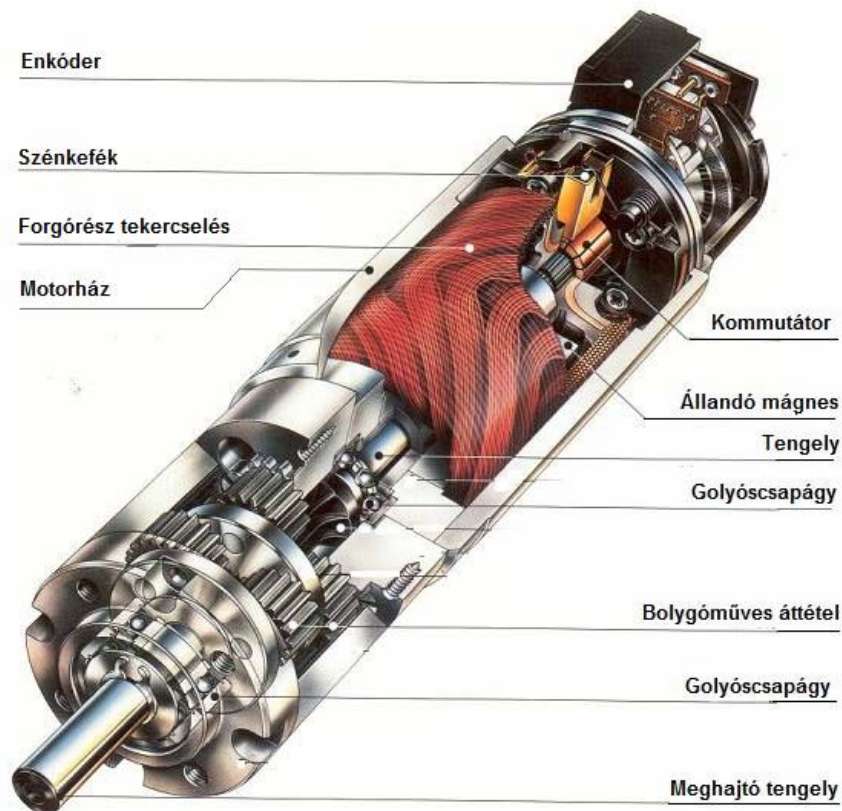
Az elektromos motorok két fő csoportba sorolhatók:

- egyenáramú motorok;
- váltakozó áramú motorok.

Mivel a mobil robot eszközök fedélzetén jellemzően egyenfeszültség áll rendelkezésre, váltakozó áramú motorok alkalmazása esetén egy megfelelő inverter szükséges, amely képes az egyenfeszültségből megfelelő háromfázisú váltakozó feszültség előállítására.

2.3.1.1 Egyenáramú kefések és kefe nélküli motorok

Minden egyenáramú motor rendelkezik egy csapágyazott tengellyel. Ezen a tengelyen van rögzítve a forgórész, a kefések motorok esetében egy három, vagy annál több pólusú tekercselés, valamint a kommutátor. A motor állórészén, a tekercseket körbevéve, pedig egy állandó mágnes kerül elhelyezésre. A kommutátor feladata, hogy a tekercseket mindig úgy gerjessze, hogy mágneses vonzóerő ébredjen a forgó és állórész között, mely a motor tengelyét forgásra készíti. A kommutátor egy a forgórészen rögzített vezetőből és a hozzá nyomott rugalmas, az állórészhez kapcsolódó érintkezőből áll. A rugalmas érintkező anyaga lehet grafit, vagy fém. A tekercsek gerjesztése tehát egy mechanikus kapcsoló segítségével történik. Ez a forgó érintkező a motor gyenge pontja, mivel a kapcsolás szikraképződéssel jár, mely rontja a motor hatásfokát, valamint a kommutátor érintkezői idővel elkopnak, így cserére szorulnak. A forgórész tekercselése történhet egy csillag alakban kialakított vasagra, vagy létrehozható mágneses hordozó nélküli tekercselés is. Ebben az esetben a tekercsek serleg alakban kerülnek kialakításra, egy hengeres állandó mágnes állórész körül. Ez az elrendezés lényegesen helytakarékosabb, azonban a gerjesztett tekercseken keletkező hő elvezetése körülményesebb.



11. ábra

Egyenáramú kefések motor magnétküli tekercseléses kialakításban [43]

A szénkefe nélküli elektronikus kommutációjú egyenáramú (BLDC¹¹) motor tulajdonképpen állandómágneses, négyszögmezős szinkrongép. Ezeknél a motoroknál a tekercsek gerjesztését a mágneses tér elfordulását mérő érzékelők vezérik. Az elfordulás mérése történhet külső Hall¹² szenzorokkal, vagy a gerjesztett tekercsek feszültségének mérésével. A szénkefe nélküli motoroknál a többpólusú tekercselés az állórészen foglal helyet, az állandó mágnes pedig a forgórészhez rögzített. A Hall szenzorok elhelyezhetők közvetlenül a forgórész mágneses terében, de előfordul, hogy egy külön szenzorházban egy segédmágnest rögzítenek a forgó tengelyhez, és a segédmágnes elfordulását érzékelik a Hall szenzorok.

A gerjesztett tekercsek feszültségének méréséből számított pozíciómeghatározást szenzornélküli (sensorless) elrendezésnek is hívják, mivel a mágneses tér irányának méréséhez nincs szükség külső szenzorokra, így a rendszer megbízhatósága növelhető. A forgórészen elhelyezett állandó mágnes a tekercsek gerjesztésétől függetlenül áramot

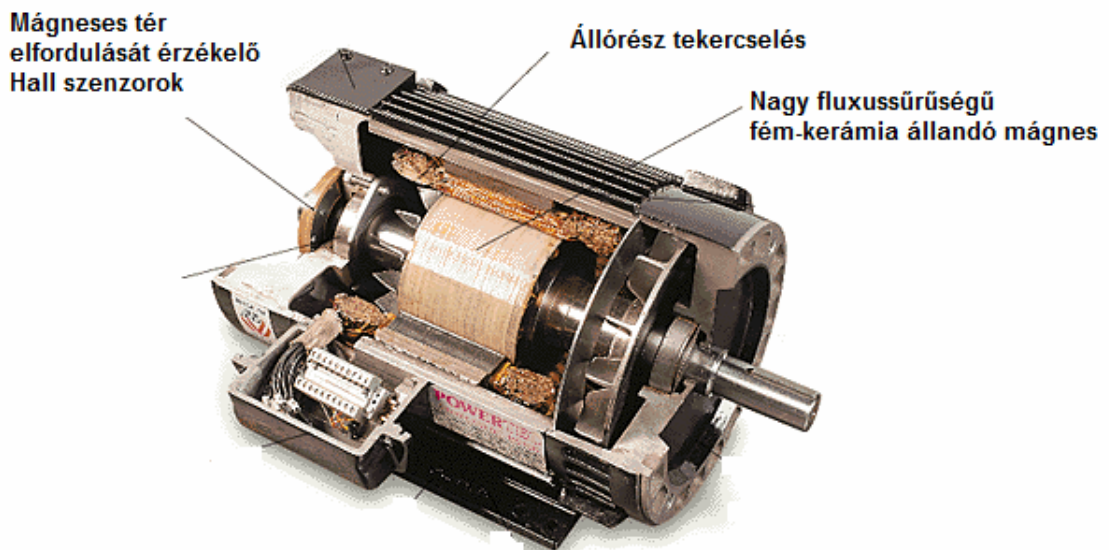
¹¹ Brushless Direct Current – Szénkefe nélküli egyenáramú motor

¹² Ha egy félvezető lapkán áram folyik keresztül és a lapkát rá merőleges mágneses térbe helyezik, az áram folyására merőleges irányban a lapkán feszültség keletkezik. Ez a feszültség a Hall feszültség. A feszültségváltozás figyelésén alapuló szenzort Hall szenzornak nevezzük.

indukál az állórész tekercseiben (BEMF Back Elektromotive Force) (Ez a jelenség a kefések egyenáramú motoroknál is jelentkezik). Az indukálódó áram a gerjesztő árammal ellentétesen hat. [44]

$$BEMF = N \cdot l \cdot r \cdot B \cdot \omega \quad [2.0]$$

Látható, hogy az indukálódó áram nagysága arányos a szögsebességgel [2.0], tehát a motor indításánál nulla. A motor indítása tehát „vakon”, a gerjesztő impulzusok sorrendi módon történő kiadásával lehetséges, azonban ebben a fázisban semmilyen visszacsatolás nem érkezik a motorról. A szenzor nélküli elrendezés egyszerűsítést jelent a motor oldalán, viszont lényegesen bonyolultabb számítási és vezérlési algoritmusokat eredményez a vezérlésben. A tekercsek feszültségét megfelelő erősítés után digitalizálni kell, majd kiszámítani a gerjesztések erősségét és fázisát. Erre a feladatra DSP¹³-k alkalmazása indokolt. Hall szenzorok alkalmazása esetén a vezérlés lényegesen egyszerűbb, céláramkörökkel megoldható.



12. ábra

Szénkefe nélküli egyenáramú motor [45]

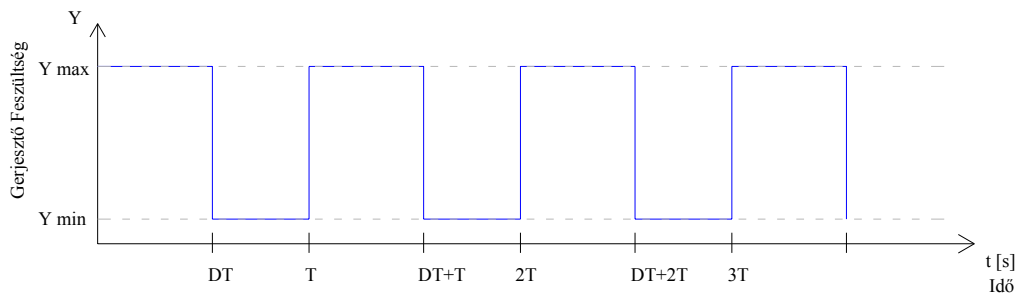
Robotikai alkalmazásoknál általában követelmény a motor fordulatszámának szabályozhatósága, valamint szükséges az elmozdulás mérése is (A motor elmozdulása arányos a kerekek elfordulásával, így információt szolgáltat a platform elmozdulásáról is.). A szénkefe nélküli motoroknál a mágneses tér elfordulásának érzékelésével már

¹³ DSP- Digital Signal Processor – Nagy sebességű matematikai számítások elvégzésére kialakított processzor

információ nyerhető a motortengely elfordulásának mértékéről, de a kefések motoroknál nem áll rendelkezésre olyan szenzor, amely hasonló információt szolgáltatna. A megoldás a tengelyre erősített optikai jeladó (enkóder), mely az elfordulás mértékével arányos számú digitális impulzust szolgáltat. Az elfordulás mérő szenzor működéséről a 2.4. fejezetben részletes leírás található.

Az egyenáramú motorok fordulatszáma a gerjesztő feszültséggel (terhelt esetben a betáplált teljesítménnyel) változtatható, így a fordulatszám szabályozása viszonylag egyszerű. A gerjesztő feszültség változtatása nem ajánlott egy sőtellenállás beiktatásával, mivel ebben az esetben az ellenálláson eső teljesítmény hő, azaz veszteség formájában jelentkezik a rendszerben. A gazdaságos megoldás a gerjesztő feszültség ki-be kapcsolásával, a kitöltési tényező változtatásával létrehozott úgynevezett PWM¹⁴-vezérlés.

A kitöltési tényező változtatásával változik a kapcsolt feszültség effektív értéke és ezzel a fordulatszám is [2.1] (13. ábra).



13. ábra

PWM jel magyarázó ábra (Szerk.: Kucsera P. AutoCAD2005)

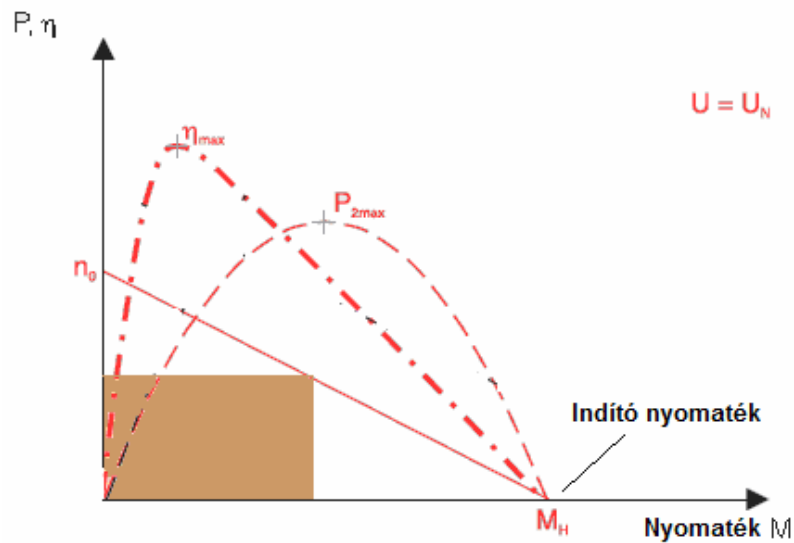
$$U_{eff} = \int_0^T f(t) \cdot dt = \frac{1}{T} \left(\int_0^{D \cdot T} y_{max} \cdot dt + \int_{D \cdot T}^T y_{min} \cdot dt \right) = D \cdot y_{max} + (1 - D) \cdot y_{min} \quad [2.1]$$

A 2.1-es képletben szereplő D – a kitöltési tényezőt (Duty Cycle) jelent.

Az 14. ábrán láthatók az egyenáramú motorok ideális jelleggörbéi. Természetesen a valós motorok nyomaték fordulatszám jelleggörbéje soha nem lineáris, de az ideális jelleggörbe vizsgálata jó közelítésként vehető alapul. A diagramból látható, hogy a fordulatszám a nyomatékkal fordítottan arányos. A kimenő teljesítmény (P) a fordulatszám és a nyomaték szorzatával arányos (azaz értéke arányos a görbe egy pontja

¹⁴PWM-Pulse With Modulation – Pulzus szélesség moduláció

által az 14. ábrán látható módon kijelölt téglalap területével), azaz a maximális teljesítményt más nyomatéknál jelentkezik mint a maximális hatásfok.



14. ábra

Egyenáramú motor ideális jelleggörbéi [46]

2.3.1.2 Váltakozó áramú motorok

A váltakozó feszültségről táplált motorokat két fő csoportba sorolhatjuk:

- szinkron motorok – fordulatszámuk megegyezik a gerjesztő feszültség frekvenciájával;
- aszinkron motorok – fordulatszámuk nem egyezik a gerjesztő feszültség frekvenciájával.

A szinkron motor felépítése gyakorlatilag megegyezik a szénkefe nélküli egyenfeszültségű motorok felépítésével, az egyetlen lényeges különbség, hogy a motorból nincs visszacsatolás, azaz nincsenek szenzorok, amelyek a vezérlőrendszer felé információt nyújtanának a motor megfelelő működéséről. A rendszer így még robusztusabb, még egyszerűbb.

Az aszinkron motor forgórésze egy zárt vezetőhurok, melyben a forgó mágneses mező hatására áram indukálódik. Az indukálódó áram mágneses mezőt hoz létre, mely a forgó gerjesztő mező hatására forgásba kezd. Természetesen, amennyiben forgási frekvenciája elérné a gerjesztő mező frekvenciáját, a gerjesztés megszűnne, így a motor fordulatszáma mindig kisebb a gerjesztő mezőétől. Az eltérés függ a terheléstől, tehát aszinkron motoroknál is szükséges enkóderek alkalmazása a pontos elfordulás mérésére.

A váltakozó áramú motorok egyenfeszültségről történő táplálása egy változtatható frekvenciájú inverter segítségével történhet. A motor jellemzőit az inverterrel előállított impulzusszélesség-modulált jel alapharmonikusának frekvenciája és amplitúdója határozza meg. A motor áramának figyelésével lehetőség nyílik nyomatékra történő szabályzásra is. A szinuszos váltakozó feszültség előállítása szintén PWM vezérlőjelek segítségével történik, melyek hídba kapcsolt félvezetőket vezérelnek.

3. táblázat Meghajtó motorok összehasonlítása.

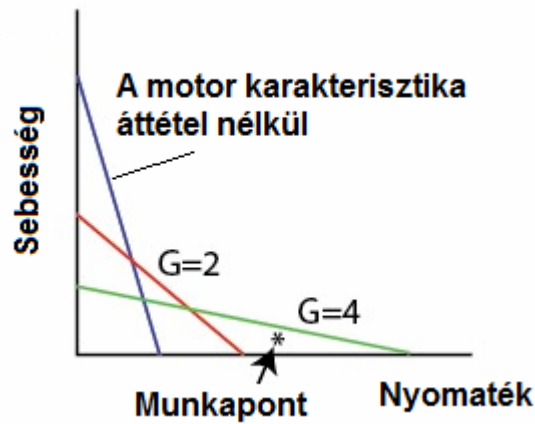
Típus	Előny	Hátrány	Vezérlés
Aszinkron AC	- Alacsony költség - Egyszerű felépítésű - Nagy teljesítményű - Hosszú élettartam	- A fordulatszám eltér a gerjesztő frekvenciától - Alacsony indító nyomaték	- Inverter
Szinkron AC	- A fordulatszám szinkronban van a gerjesztő frekvenciával - Hosszú élettartam	- Magas költség	- Inverter
Léptetőmotor	- Precíz pozicionálás egy fordulaton belül - Magas tartónyomaték	- Lassú - Rossz teljesítmény/súly arány	- Többfázisú DC - Többfázisú PWM
Szénkefe nélküli DC	- Hosszú élettartam - Jó hatásfok	- Magas költség - Bonyolult szabályzás	- Többfázisú PWM
Szénkefés DC	- Alacsony költség - Egyszerűen szabályozható	- Alacsony élettartam - Karbantartási igény	- Közvetlen PWM

2.3.2 Áttételezés

A megfelelő motor megválasztásához a szükséges fordulatszám tartomány és a megkívánt nyomaték figyelembevétele szükséges. A mobil robotot meghajtó motornál jellemzően a kis fordulatszám és a nagy nyomaték szükséges. A léptetők jellemzően alacsony fordulatszámmal és nagy nyomatékkal rendelkeznek, azonban alkalmazásuk nem ajánlott, mivel rossz a teljesítmény/tömeg arányuk. Normál AC illetve DC motoroknál a nyomaték növelhető áttételek alkalmazásával. Egy $n:1$ -es lassító fogaskerék hajtóműáttétellel a nyomaték n szeresére növelhető, azonban a sebesség n -ed részére csökken. Ha a kapott nyomaték már megfelel, azonban a fordulatszám már nem éri el a kíván értéket, egy nagyobb teljesítményű motor alkalmazása szükséges.

A szinuszmezős állandómágneses szinkronmotorokat és külső forgórészű, sokpólusú BLDC motorokat igen gyakran alkalmaznak áttétel nélkül (direct drive), a mozgó

mechanikai elemek számának, a mechanikai veszteségek és a tömeg csökkentése érdekében, ipari robotokban és villamos meghajtású járművekben egyaránt.



15. ábra

Áttételezett motor sebesség nyomaték jelleggörbéjének változása [46]

2.4 Szenzorok

A mobil robot fedélzetén található szenzorok a következő csoportosítás szerint vizsgálhatók:

- a robot belső változásait érzékelő szenzorok (például a kerekek elfordulását érzékelő jeladó);
- a környezet változásait érzékelő szenzorok (például ultrahangos távolságmérő, műholdas navigáció).

A robotok fedélzetén található szenzorokat feladatuk alapján a következő csoportokba sorolhatjuk:

- akadály felismerésre szolgáló szenzorok;
- helymeghatározásra, navigációra szolgáló szenzorok;
- információgyűjtő szenzorok (hasznos terhek).

Természetesen egy szenzor több funkciót is elláthat. A későbbiekben ismertetett távolságmérő rendszerek, melyek képesek egy 2 dimenziós térben történő pásztázásra, alkalmazhatók a helymeghatározásban, jeleik alapul szolgálhatnak az akadály felismerés műveletében, valamint megfigyelő, mozgásérzékelő funkciót is elláthatnak.

2.4.1 Akadály felismerés

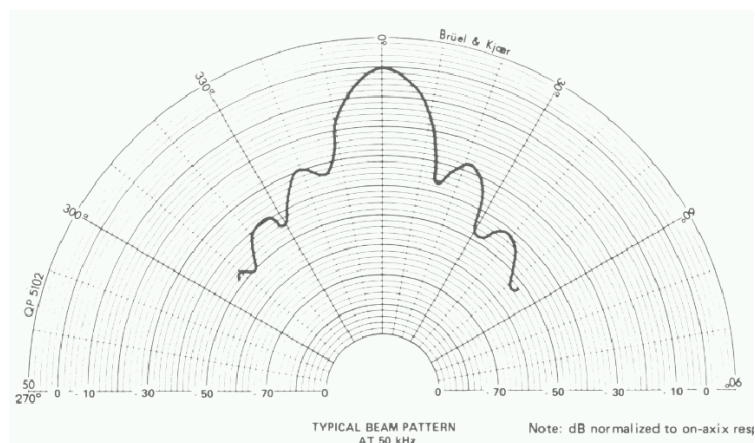
2.4.1.1 Futási idő mérésével történő távolságmérés

A mérés során kibocsátott sugár a céltárgyról visszaverődve részben visszajut a kibocsátás helyére. A mérés során a kibocsátott és visszaverődött sugárzás futási idejét, azaz a kibocsátás és visszaverődés közt eltelt időt mérik. Ezen idő és a terjedési sebesség ismeretében a távolság számítható. A használt sugárzás lehet fény, hang vagy mágneses sugárzás.

Ultrahangos távolságmérés

Ultrahangos távolságmérésnél általában 40-180 kHz közötti hanghullámot sugároznak, egy szelektív vevővel pedig érzékelik a visszaérkező hanghullámokat. A terjedési sebesség szobahőmérsékleten 342 m/s, tehát, ha egy 3 m-re lévő tárgy távolságát kell megmérni, a futási idő körülbelül 20 ms, amely egyszerű elektronikai eszközökkel is könnyen mérhető. A viszonylag hosszú futási idő azonban lassú mérést eredményez. Egy 10 m/s sebességgel haladó robot esetén a robot 20 cm-t halad minden mérés közt.

A hanggal történő távolságmérés másik hátránya a hang terjedési karakterisztikájából adódik. A 16. ábrán látható, hogy a hang főnyalábja körülbelül 30⁰-os nyílásszögű kúpban terjed. Ebből az következik, hogy a szenzor csak azt képes megállapítani, hogy az adott 30⁰-os tartományban található-e akadály vagy tereptárgy, és az milyen messze van, annak pontos pozíciójáról azonban nem ad adatot. Egy mobil robot környezetének teljes lefedéséhez több szenzor szükséges. A szenzorok nem sugározhatnak egy időben, így a mérés időtartama a szenzorok számával arányosan nő. Látható tehát, hogy az ultrahangos távolságmérő rendszer nem hatékony módja a környezet pásztázásának (lassú működés, pontatlan mérési eredmények), így **használatát nem javaslom professzionális földi mobil robot eszközökön**. A szakirodalmat tanulmányozva megállapítottam, hogy ultrahangos távolságmérő rendszerek használata kísérleti és labor eszközökön igen gyakori. Ennek magyarázata, a szenzorrendszer alacsony ára.

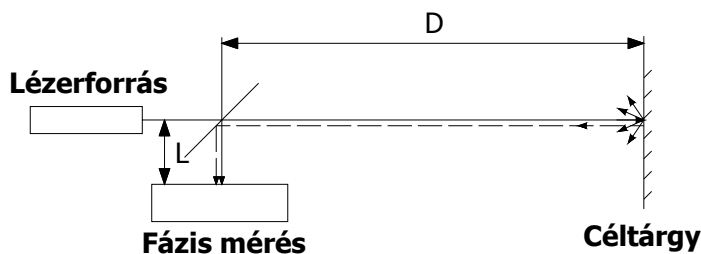


16. ábra

A hang terjedési karakterisztikája [47]

Lézeres távolságmérés

Mivel ez a mérési módszer is a futási idő mérésén alapul, az elvek megegyeznek a fent leírtakkal. Jelentős különbség van azonban a kibocsátott sugár terjedési sebességében. A fény terjedési sebessége 3×10^8 m/s, így szintén 3 m-re található céltárgy esetén a futási idő körülbelül 20 ns (szemben a hangnál számított 20 ms-al). A szenzor rendkívül gyors működésű, pontszerű lekérdezésre képes, azonban a rövid futási idők méréséből származó technikai problémák miatt a szenzor nagyon költséges.



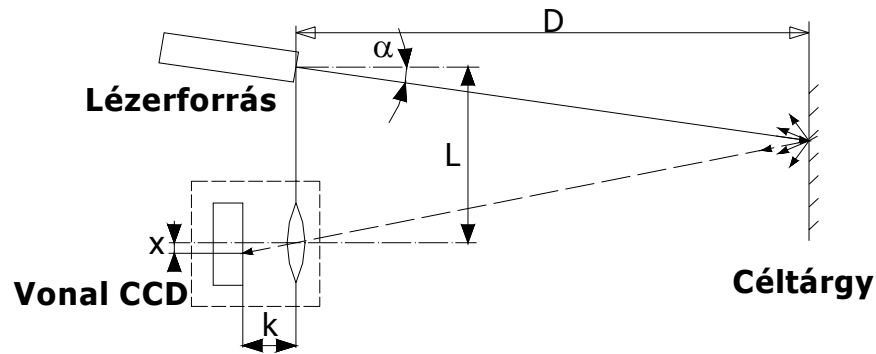
17. ábra

Lézeres távolságmérés fáziseltérés összehasonlítási elven (Szerk.: Kucsera P. AutoCAD2005)

Egyszerűbb konstrukciójú lézeres távolságmérési eljárást jelent 100%-os amplitúdó modulált jel sugárzása, majd a visszaverődő lézersugár amplitúdójának fázisösszehasonlítása a kibocsátott sugárral (17. ábra). Az AM moduláció frekvenciája ugyanakkor befolyásolja a mérési tartományt.

2.4.1.2 Lézeres távolságmérés háromszög módszerrel

Háromszög módszerrel történő távolságmérésnél a pontszerű lézersugár és a vonal CCD¹⁵ megfelelő elrendezésével a vonalkamerára beérkező fény irányvektorából számítható a céltárgy távolsága [2.3] (18. ábra).



18. ábra

Lézeres távolságmérés háromszög módszerrel (Szerk.: Kucsera P. AutoCAD2005)

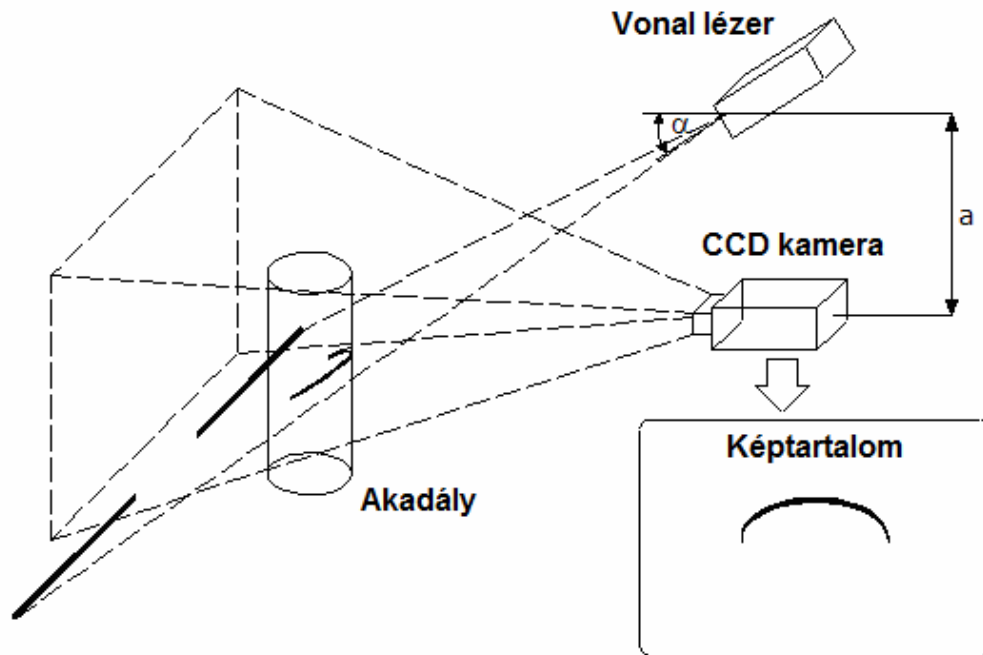
$$D = \frac{L}{\frac{x}{k} + \operatorname{tg} \alpha} \quad [2.3]$$

Az 18. ábrán felvázolt szenzornál, mely csak egy pont távolságának lekérdezésére képes, jobb tulajdonságokkal bír a 2 dimenzióban érzékelni képes háromszög módszeren alapuló szenzor (2D Triangulation Sensor) (19. ábra). Ebben az esetben a kibocsátott sugár nem egy pont, hanem egy vonallézer, az érzékelő pedig például egy PAL szabványú CCD kamera. Ha a robot előtt akadály található, a kamera képén a lézervonal pozíciója az alsó régióból a felső felé tolódik. Az akadály távolsága a lézervonal emelkedésével fordítottan arányos. A kamera egy képkockájának beolvasásával a teljes robot előtti terület leellenőrizhető, így egy PAL kamerát véve alapul 25 lekérdezés hajtható végre egy másodperc alatt.

A mérési módszerhez szükséges komponensek alacsony ára lehetővé tette, hogy a szenzor vizsgálatának céljából egy tesztrendszert építsek. [48] Az általam épített szenzor egy ipari kamerából és egy vonallézer forrásból, valamint egy FPGA alapú vezérlő és feldolgozó áramkörből állt. A lézervonal képen történő elkülönítése úgy lehetséges, hogy a lézert kapcsolva, két képet készítve, a lézer ki és bekapcsolt állapotánál, a két képet egymásból kivonjuk. A kivonás után keletkező képtartalom kvantálás és szűrés után értékelhető ki (20. ábra). **Megállapítottam, hogy a mérési**

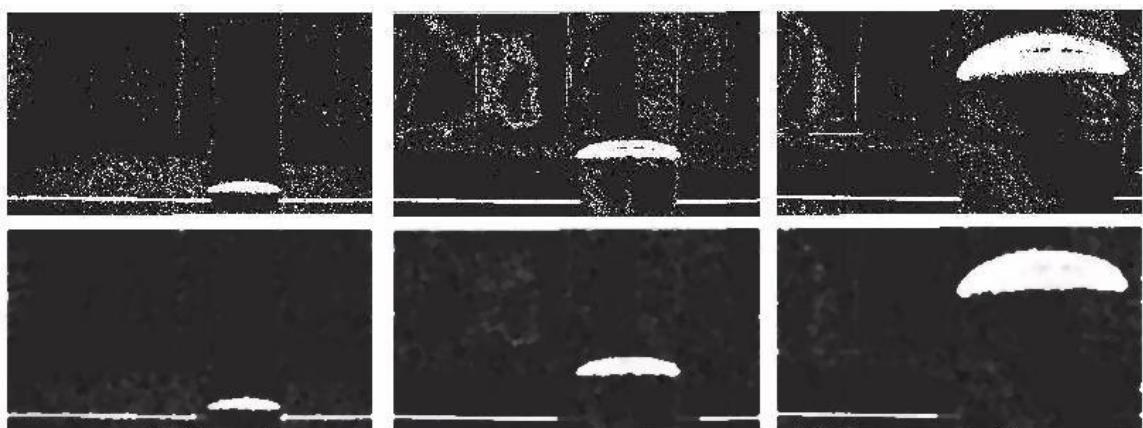
¹⁵ Charged Coupled Device – mátrixban vagy vonalban elrendezett fényérzékelő elemek.

módszer hátránya, hogy a környezet fényviszonyai nagymértékben befolyásolják a mérés alkalmazhatóságát. A szenzor kielégítő működést produkál alacsony környezeti fényerősség esetén, azonban nem használható világos, dinamikusan változó környezetben, ezért csupán labor körülmények közötti kísérleti szenzorként történő alkalmazását javaslom.



19. ábra

2 dimenzióban érzékelné képes háromszög módszeren alapuló távolságmérő szenzor (Szerk.: Kucsera P. AutoCAD2005)

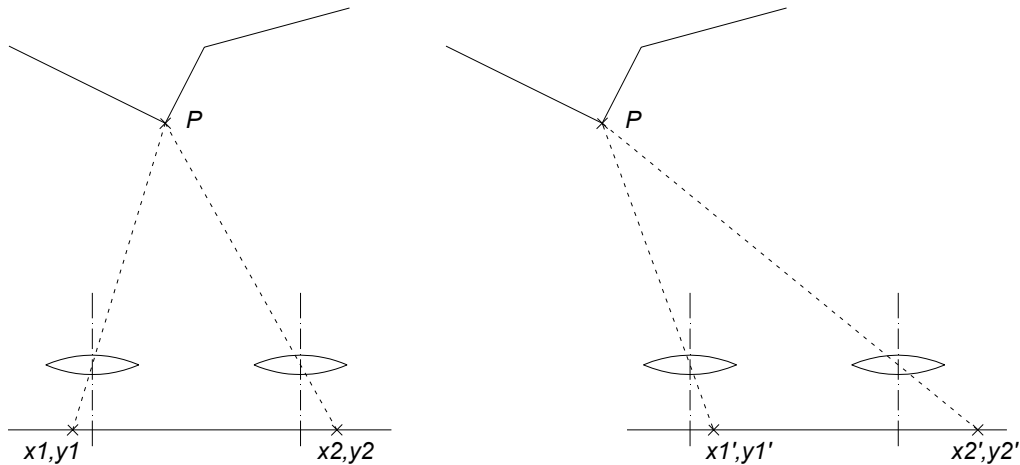


20. ábra

A kísérleti szenzor által készített képek szűrés előtt (1. sor) és szűrés után (2. sor). (Mérés, Kucsera P.)

2.4.1.3 Sztereókamerás távolságmérés, akadály felismerés

Sztereókamerás távolságmérésnél két különböző pozícióban elhelyezett kamera képét feldolgozva kapható meg egy adott pont, vagy test távolsága. A hagyományos kamerák a 3 dimenziós teret egy kétdimenziós pontmátrixá képezik le. [49] A tér egy pontja egy lencsén áthaladva egy fényérzékelőből álló mátrix egy pontjára érkezik.



21. ábra

Sztereókamerás távolságmérés elve (Szerk.: Kucsera P. AutoCAD2005)

Ha két különböző pontba elhelyezett kamera érzékeli ugyanazon pontot, a pont két különböző pozícióban lévő fényérzékelőt gerjeszt a két kamerában (21. ábra). Ismerve a kamerák fókusztávolságát és a két kamera egymáshoz viszonyított helyzetét, az adott pont távolsága kiszámítható. Dinamikus környezetben a problémát az jelenti, hogy két bonyolult képtartalom összehasonlításánál nem egyszerű egy referenciapont kijelölése, így a kamerák által vett kép először egy szűrési, előfeldolgozási fázison megy keresztül, majd a referenciapontot kijelölve történik meg a távolság kiszámítása.

2.4.2 Helymeghatározás, navigáció

A helymeghatározásra szolgáló rendszerek két nagy csoportba oszthatók:

- abszolút helymeghatározás során valamely rögzített referenciaponthoz viszonyítható a pozíció, így a hibát a mérés pontossága határozza meg, a hiba az időtől nem függ;
- az inerciális helymeghatározás során a pozíciót általában a gyorsulás és szöggyorsulás összetevők kétszeres integrálásával kapjuk meg. Ezzel a módszerrel rövid időn belül nagy pontosságú és nagy pozícionálási gyakoriságú

helymeghatározás végezhető, azonban a giroszkópok és gyorsulásmérő műszerek hibáinak halmozódása miatt a pontosság az idő múlásával nagy mértékben csökken.

2.4.2.1 Globális helymeghatározó rendszer

Jelenleg a világon három műholdas helymeghatározó rendszer működik. Az oroszországi, részben működőképes Glonass, az európai fejlesztésű, tesztüzemben futó Galileo és az USA által üzemeltetett NAVSTAR GPS¹⁶ rendszer. [50] Mivel a NAVSTAR GPS napjainkban a legelterjedtebb, a továbbiakban ez a rendszer kerül ismertetésre. A helymeghatározás 24 db nagy műhold segítségével történik, melyek a Föld felszíne fölött 20200 km-es magasságban keringenek, az Egyenlítővel 55°-os szöveget bezáró pályán. Egy-egy műhold naponta kétszer kerüli meg a Földet. Az égbolton sík terepen egyszerre 7-10 műhold látható, melyből a helymeghatározáshoz 3, a tengerszint feletti magasság meghatározásához pedig további egy műhold szükséges. A műholdak egymással szinkronban elektromágneses hullámcsomagokat bocsátanak ki, ezek a csomagok tartalmazzák a műhold koordinátáit és a kibocsátás időpontját. Mivel ismerjük a rádióhullámok terjedési sebességét, és ismerjük a rádióhullám kibocsátásának és beérkezésének idejét, ezek alapján meghatározhatjuk a forrás távolságát. A háromdimenziós térben három ismert helyzetű ponttól mért távolság pontos ismeretében már meg tudjuk határozni a pozíciót. A további műholdakra mért távolságokkal pontosítani tudjuk ezt az értéket. A jelenlegi GPS rendszerek polgári lakosság számára hozzáférhető pontossága 1-5 méter. A rendszer pontossága az üzemeltető által változtatható, háborús helyzetben, a jogosultsággal nem rendelkező felhasználók, a kódolás megváltoztatásával ki is zárhatók, így ezen rendszerekre katonai navigációt alapozni igen kockázatos. A globális helymeghatározás nem megfelelő egy dokkolást segítő navigációs rendszerként, mivel az 1-5 méteres pontosság ebben az esetben nem elég. Szintén nem használható GPS, ott ahol legalább három műholdra történő rálátás nem biztosított, így a GPS zárt térben vagy épületek között, illetve sűrű lombosított fák takarásában nem alkalmazható. **Mindezekből az a következtetés vonható le, hogy a GPS egyedülként alkalmazva nem megfelelő földi mobil robotok navigációs eszközeként.**

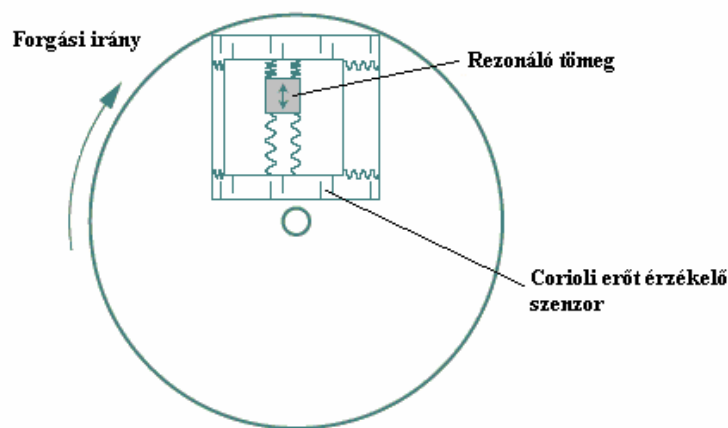
¹⁶ GPS - Global Positioning System – Globális helymeghatározó rendszer

2.4.2.2 Giroszkóp és gyorsulásérzékelő

A MEMS¹⁷ technológia elterjedésével napjainkban már elérhető áron beszerezhetőek olyan szenzorok, amelyeket néhány évvel ezelőtt csak a repülőgépgyártásban, űrkutatásban voltak használatban magas árak miatt. A giroszkópokat, gyorsulásérzékelőket ma már gyakran alkalmazzák az autóiiparban, robotikában és egyéb technológiák mozgásának vezérlésében.

A gyorsulásérzékelők egy rugalmasan rögzített tehetetlen tömegekből és a tömeg elmozdulását érzékelni képes kapacitásérzékelőből állnak. A gyorsulás mértéke arányos a tömeg elmozdulásával és ezen keresztül a kapacitás megváltozásával.

A MEMS technológiára épülő vibrációs giroszkópok a Corioli erő hatását érzékelik. A mechanikus giroszkópokban már alkalmazott, felpörgetett tehetetlen tömeg elfordításánál fellépő Corioli erő szintén észlelhető rezgő (transzlacionális) mozgást végző tömegeknél is. Ez az elmozdulás érzékelhető egy kapacitás változás mérésén keresztül (22. ábra).



22. ábra

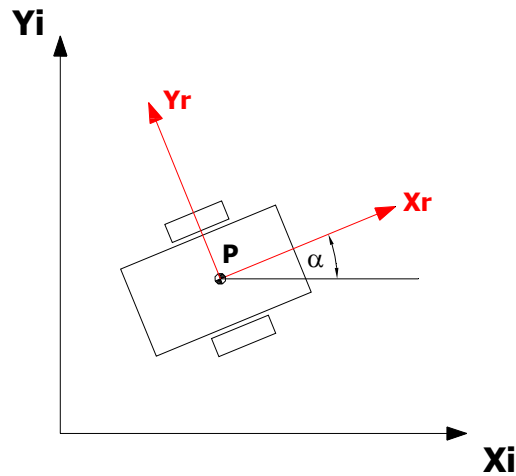
MEMS giroszkóp működési elve [51]

2.4.2.3 Kerékelfordulás érzékelés

A beltéri navigációra, valamint egy globális helymeghatározó rendszer kiegészítő navigációs rendszereként, alacsony ára és megbízható felépítése miatt az egyik leggyakrabban alkalmazott szenzor a kerekek elfordulását érzékelő egység, amely általában optikai jeladó. [52] A robot ismert mechanikai felépítését figyelembe véve és

¹⁷ Micro Electro Mechanical Systems

a kerekek elfordulását mérve a robot elmozdulás irányvektora kiszámítható (a külföldi szakirodalomban ez az eljárás Odometry néven elterjedt).



23. ábra

A robot mozgásának matematikai leírása (Szerk.: Kucsera P. AutoCAD2005)

A robot mozgását minden esetben egy referenciaponthoz viszonyítva végzi. Ha egy robot áru továbbítását végzi egy üzemcsarnokban, definiálva van egy olyan pont, például a robot dokkoló állomása, amihez képest a robot pozíciója megadható. Ez a pont továbbiakban a test koordináta-rendszer 0,0 pontjának, azaz origójának tekinthető, a robot pozíciója pedig ehhez a ponthoz képest a következő módon írható le [53]:

$$\xi_i = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \alpha \end{bmatrix} \quad [2.5]$$

A robot pozíciójának meghatározásához szintén szükséges a roboton egy olyan pont kijelölése, amelyet a robot középpontjának, bázispontjának tekintünk, a továbbiakban ezt 'P'-vel jelöljük. A roboton szintén szükséges egy irány kijelölése, mely megadja a robot önmagához viszonyított pozícióját. Így egy test koordinátasíkot kapunk (\$X_r, Y_r\$). A robot mozgásának modellezéséhez szükséges a két koordináta-rendszer közti kapcsolat megteremtése. Ez a kapcsolat az ortogonális rotációs mátrix segítségével lehetséges.

$$R(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad [2.6]$$

A mozgás vizsgálata esetén a rendszer a robot viselkedése a referencia koordináta síkban a következő egyenlettel írható le

$$\xi_i = R(\alpha)^{-1} \cdot \xi_r \quad [2.7]$$

A mozgást leíró egyenlet természetesen a mechanikai kialakítás figyelembe vételével írható fel. Egy egyszerű példát véve alapul, ahol a robot két függetlenül hajtott kerékkel és a platform mozgását tökéletesen követő támasztókerékkel rendelkezik, a következő módon írható fel:

$$\xi_i = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \alpha \end{bmatrix} = f(l, r, \alpha, \phi_1, \phi_2) \quad [2.8]$$

A mozgást leírása a kerekek közötti távolság l , a kerekek sugara r , a platform iránya α , és a kerekek sebessége alapján (ϕ_1, ϕ_2) lehetséges. Az egyenlet felírásához tehát először a robot saját koordináta-rendszeréhez viszonyított mozgását kell deklarálni, majd ezt a mozgást kell a referencia koordináta-rendszerhez képest megállapítani. A fenti példánál maradva, ha a robot két kereke azonos sebességgel azonos irányban forog, a robot az X_r tengely mentén egyenes vonalú mozgást végez. Ha a két kerék ellentétes irányban forog, a robot saját középpontja körül forog. Bonyolultabb eset, ha a kerekek eltérő sebességgel forognak, mivel ekkor a robot egy referenciapont körüli körpályán történő mozgást végez.

A fent említett módon történő kerékelfordulásból számított pozíció csak ideális esetben ad pontos értéket. Mivel a valóságban a kerekek gyorsításnál és lassításnál megcsúsznak. A módszer ebben a formában csak sík terepen ad megfelelő számított értékeket, így például egy szobai navigációra megfelelő, de nem alkalmazható utcákon vagy természetben, ahol az útvonal emelkedőket, lejtőket tartalmaz. A számítás idő szerint integráló jellegéből adódóan viszonylag kis arányú hiba a mérési idő növelésével felhalmozódik, így a mérési módszert mindenképpen ki kell egészíteni valamilyen abszolút helymeghatározási eljárással.

2.4.2.4 Kamerás pozicionáló rendszer

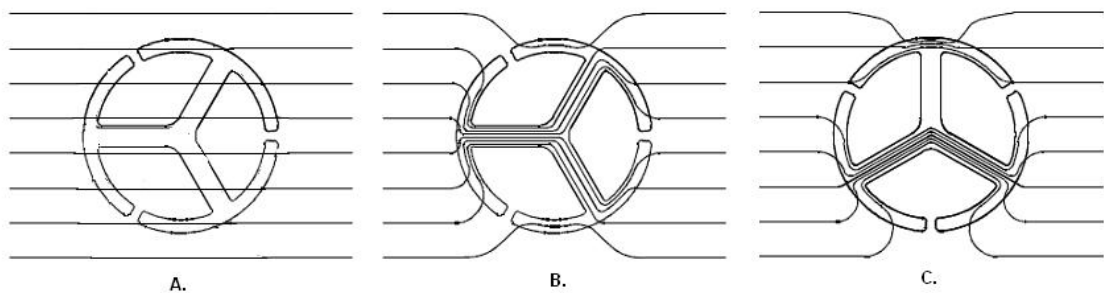
Zárt térben történő navigációra speciális esetekben jól alkalmazható rendszer alakítható ki egy fixen telepített analóg vagy digitális kamerából és egy hozzá kapcsolódó képfelismerő rendszerből. Amennyiben a képfelismerő képes érzékelni a robotot egy adott tartományon belül, és képes annak pozícióját és haladási irányát pontosan meghatározni, egy vezeték nélküli kommunikációs csatornán le tudja sugározni a robotnak a mért pozíció koordinátákat, ezzel korrigálni tudja az inerciális helymeghatározásból származó hibákat. [54] Mivel a pozíciót meghatározó kamera

fixen telepített, csak speciális rakodási, dokkolási feladatok elősegítésére alkalmazható ez a módszer.

2.4.2.5 Elektronikus iránytűk

A legegyszerűbb elektromechanikus iránytű egy jól csapágyazott tengelyből és az arra erősített állandó mágnesből áll. A tengely elfordulását optikai úton érzékelve információ nyerhető a Föld mágneses terének irányáról.

A Fluxgate iránytűk a mágneses tér mágneses vezető anyagokon történő áthaladási tulajdonságán alapul. Ha a mágneses térbe mágneses vezető anyagot helyeznek, a mágneses tér erővonalai az alacsonyabb ellenállású anyagon igyekeznek áthaladni (24. ábra B, C.), amit ebben az esetben a mágneses vezető képvisel. Ha azonban a mágneses vezetőt egy külső mágneses térrel telítettségre mágnesezzük, a telített mágneses vezető nem befolyásolja a mágneses erővonalak terjedését (24. ábra/A.).



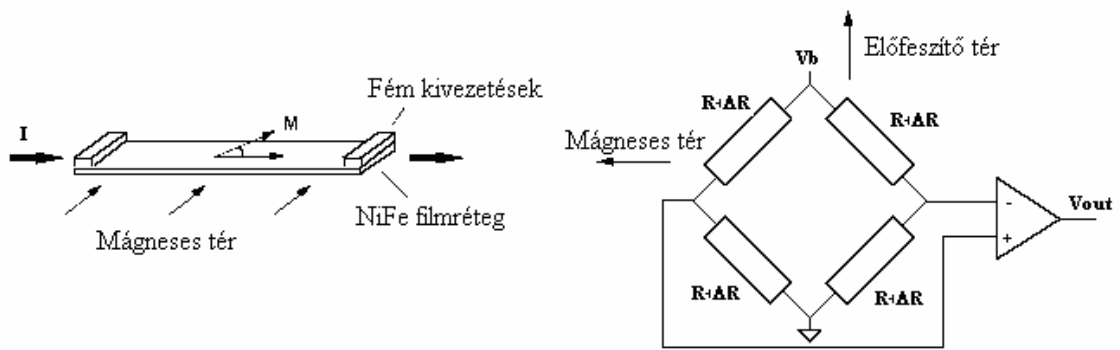
24. ábra

Fluxgate iránytű működési elve [55]

A 24. ábrán látható a különböző irányú mágneses terek hatása a speciálisan kialakított mágneses vezető anyagra. A mágneses tér mérése a sugárirányú „szarvakra” rögzített tekercsekben indukálódó áram mérésevel lehetséges.

Az Anisotropic Magnetoresistive mágneses szenzor (AMR) vastartalmú vékony filmrétege külső mágneses tér hatására megváltoztatja vezetőképességét. A mérés négy Wheatstone-hídba kapcsolt szenzorra történik (25. ábra).

$$\Delta V_{out} = \left(\frac{\Delta R}{R} \right) \cdot V_b \quad [2.6]$$



25. ábra

AMR mágneses szenzor működése [55]

A fent említett mágneses tér érzékelő szenzorokon kívül alkalmazhatók még Hall effektuson alapuló mágneses tér érzékelő szenzorok is.

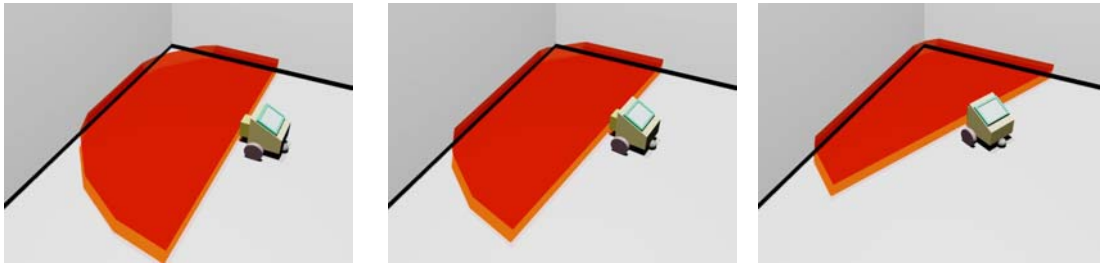
A mágneses tér érzékelő szenzorok jól használhatók valamely inerciális navigációs rendszer kiegészítő szenzoraként. Hátrányuk a lassú beállási idő, és a robot egyéb mágneses berendezéseinek zavaró hatásából adódó mérési hiba.

2.4.2.6 Szenzorfúzió

A navigáció általában nem oldható meg csupán egy, a fent említett szenzor, vagy rendszer alkalmazásával. **Megállapítottam, hogy csupán inerciális navigáció alkalmazásával a pozíció számítás hibája integrálódik, így a hiba az idővel arányosan nő.** Egy inerciális rendszer azonban hatékony kiegészítője lehet egy abszolút helymeghatározó rendszernek. Például, a GPS rendszer pontossága 1-5 m, de pozíció számítás során előfordul, hogy két számított pont között m-es nagyságrendbe eső eltérés tapasztalható, amihez természetesen nem tartozik valós elmozdulás. A mérési hiba kiküszöbölhető az inerciális helymeghatározáshoz használt szenzorok jeleinek figyelembevételével. Mivel a GPS nem használható beltéri navigációra, további lehetőséget jelent az inerciális navigációs rendszer kiegészítése egy lézeres lépáztázó (odometriás) rendszerrel (26. ábra).

A lézeres letapogatás a már említett lézeres távolságmérésen alapul. A letapogatás során a mérő lézersugarat 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

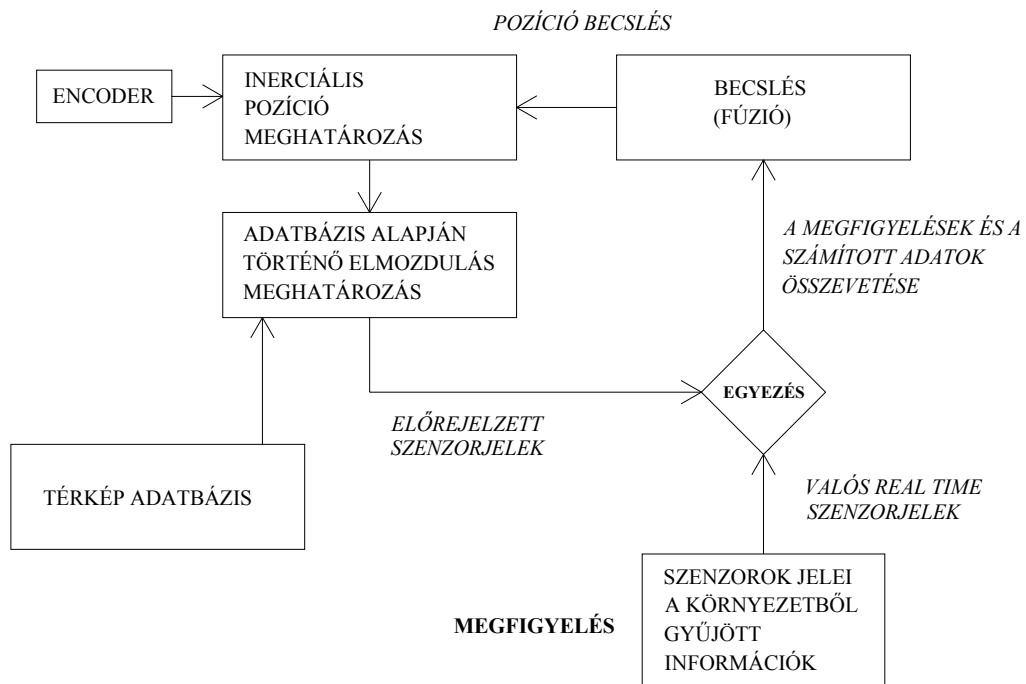
relatív pozíciója megváltozik, azonban az előző mérés eredményeit összevetve az újabb letapogatással, az elmozdulás és az elfordulás iránya és mértéke kiszámítható.



26. ábra

Beltéri navigáció megvalósítása Lézeres lépáztázás segítségével (Szerk.: Kucsera P. AutoDesk VIZ)

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 (27. ábra). [55]



27. ábra

Kálmán-szűrő segítségével történő mobil robot helymeghatározás (Szerk.: Kucsera P. AutoCAD2005)

2.5 Hasznos terhek

A hasznos terhek a robot fedélzetén olyan szenzorok és beavatkozók, amelyek nem a robot navigációját és az akadályok elkerülését szolgálják, hanem a környezetből szereznek valamilyen, a feladathoz szorosan kapcsolódó célinformációt, vagy a feladatellátásban játszanak szerepet. Így bár ezen eszközök jelentős része besorolható például a szenzorok, vagy a mechanika témakörébe, mégis érdemes ezeket külön tárgyalni. Ezen eszközök működésének ismertetésére egy rendkívül nagy tématerület, így dolgozatomban csupán felsorolás szintjén foglalkozom a szenzorokkal illetve a különböző beavatkozókcal.

Egy megfigyelő rendszerrel szemben támasztott gyakori igény, hogy a rendszer képes legyen valós idejű videó és képinformációk szolgáltatására. Ennek érdekében a robot fedélzetén telepíteni kell egy olyan kamerarendszert, mely képes az operátor által kívánt irányba történő elfordulásra. A kamera mozgatása történhet a robotplatform mozgatásával, vagy egy speciális mozgatómechanizmus kiépítésével. Egy mozgó platform esetén a kamera által vett információk kiértékelése gyakran nehézkes, mivel a bázisjármű elmozdulása és rezgése zavarja az operátort. Erre jelent megoldást egy girószkóp által stabilizált kamera felfüggesztő rendszer, mely képes a bázisjármű rezgéseinek kiszűrésére és a kamera adott irányban tartására.

Felderítési feladatok ellátásánál szintén szükséges a gyenge fényviszonyok melletti vagy éjszakai videófelvetelek készítése. Erre alapvetően két megoldás létezik:

- a környezetet megvilágítva, képinformáció nyerhető;
- a környezet hősugárzásának mérésével, hőkamerás felvételek készíthetők.

A környezet megvilágítása a nem látható spektrumba eső infra fény kibocsátásával célszerű. (Kibocsátható látható fény is, például reflektorok segítségével, azonban ez felderíthetővé teszi a robotegységet.)

Hőkamerák alkalmazása lényegesen költségesebb megoldást jelent, mivel a szenzornak a környezet hősugárzását kell észlelnie, azt a környezethez képest nagyságrendekkel alacsonyabb, stabil hőmérsékletre kell hűteni. Ez bonyolult, hely és teljesítményigényes feladat. A hőkamerák képe a mért hőmérséklet érték egy színskálára történő transzformálásával hozható létre.

Szintén felderítési információ nyerhető akusztikai szenzorok alkalmazásával. Akusztikai szenzorként alkalmazható a talajban vagy a levegőben terjedő rezgéseket mérő szenzor.

Egy mobil robot fedélzetén elhelyezhető tetszőleges egyéb felderítő szenzor, mint például:

- futásidő mérés elvén működő távolságmérő rendszerek (radar, LIDAR, lézerszkenner);
- vegyi felderítő szenzorok, sugárzást mérő szenzorok;
- elektronikai felderítő szenzorok.

Felderítési célra alkalmazhatók a robot fedélzetén található akadályfelismerő és navigációs célokat szolgáló szenzorok is. Egy lézerszkenner használható mozgásdetektálásra, térképezésre. Amennyiben a roboton gépi látáson alapuló vagy sztereókamerás képfeldolgozó rendszer van, annak jelei továbbíthatók az operátor felé, mint képinformáció.

Amennyiben a robot nem csupán képi felderítési feladatokat végez, fedélzetén elhelyezhetőek manipulátor eszközök, esetleg fegyverrendszerek is. Az első fejezetben említett robbanóanyag hatástalanító robotok egyik legfontosabb alkotórésze, a precíziós manipulátor kar, mellyel a robot képes szűk helyekre történő benyúlásra, robbanóanyagok felemelésére és áthelyezésére. Hasonló manipulátor használható különböző minták vételére is. A robot fedélzetén elhelyezett fegyver, vagy fegyverrendszer vezérlésére, irányítására különböző aktuátorok, kioldó szerkezetek alkalmazhatók.

Ugyanakkor további például szolgálhat az olyan hasznos teher, amely az elektronikai hadviselés területén megjelenő, zavaróadót jelent az autonóm mobil robot fedélzetén, amivel észlelve a kisugárzó állomást, képessé tehető annak a lehető legközelebbi megközelítésére, így a zavarás hatékonyságának növelése érhető el.

2.6 Kommunikáció

A kommunikációs berendezések hatótávolságuk szerint alapvetően három csoportba sorolhatóak [56]:

- nagy hatótávolságú kommunikáció (>10 km);
- közepes hatótávolságú kommunikáció (100 m-10 km);
- kis távolságú (rálátás biztosított és a távolság < 100m).

Nagy és közepes távolságú, nagysebességű digitális jelek átvitelére, a nagy sáv szélesség miatt a rádiófrekvenciás spektrumnak kizárólag a mikrohullámú része használható. E tartományba szokták sorolni a 1 GHz – 300 GHz közötti frekvenciákat.

Mivel a mikrohullámú sávban a frekvencia nagy, így a hullámhossz kicsi, tehát lehetőség van arra, hogy viszonylag széles sávú jellel modulálják a vivőt. A kis hullámhossz lehetőséget ad arra is, hogy kisméretű antennával, jól irányított módon keskeny nyalábot hozzunk létre. A mikrohullámok nem hajolnak el olyan nagyméretű tárgyak mentén, mint a Föld, ezért a földi környezetben közel egyenes vonalban terjednek. Az egyenes vonalú terjedés következtében kommunikáció ideális esetben az adó és a vevő közötti rálátás esetén jön létre, így amennyiben a rálátás nem biztosított, ismétlő vagy átjátszó állomásokat (Repeater) kell alkalmazni a hatótávolság növelése érdekében. Műholdas átjátszó állomás esetén az adó először felsugározza a továbbítani kívánt információt a műholdra (Uplink), majd a műhold egy másik vivőfrekvencián visszasugározza azt a vevőnek (Downlink). Amennyiben ez a hatótávolság sem lenne elég, mivel az adó és a vevő nem tartózkodik egy műhold által lefedhető területen, úgy több műhold közötti átjátszással hozható létre a kívánt kapcsolat. Napjainkban a teljes földfelszín digitális távközlő műholdakkal lefedett, így tetszőleges két pont között létrehozható digitális kommunikáció.

Példaként kell említeni az IRIDIUM műholdas rendszert, mely 66 alacsony Föld körüli pályán keringő műhold segítségével biztosít a Föld bármely pontján digitális mobil hang és adatátvitelt. Az Iridium adatátviteli modemek egy soros adatkommunikációs port segítségével képesek digitális adatok továbbítására. A modemek közt több kifejezetten katonai alkalmazásra kifejlesztett, a MIL-STD-810F szabványnak eleget tevő eszköz is megtalálható. [57] A GPS- rendszerekhez hasonlóan azonban az üzemeltetők képesek a szolgáltatások hadi helyzetben történő beszüntetésére, így katonai alkalmazásoknál ezt mindenképpen mérlegelni kell.

Napjainkban a hagyományos rádió rendszereket egyre inkább a digitális alapokon működő szoftver rádiók váltják fel. A szoftver rádió lényege, hogy az antennáról érkező jelet megfelelő kondicionálás után digitalizálják, majd digitális jelfeldolgozó áramkörök segítségével visszafejtik a sugárzott információt. A rendszer rendkívül rugalmas működésű, a működési mód változtatása a rendszer átprogramozásával megoldható, míg a hagyományos rádiórendszereknél a hardware változtatása is szükséges volt. [58] Az Amerikai Védelmi Minisztérium által indított JTRS¹⁸ program szoftver rádiók alkalmazásával kívánja megoldani az egyes katonai és kapcsolódó polgári komponensek kommunikációját. A szoftver rádió rendszer lehetőséget biztosít a legkülönbözőbb

¹⁸ Joint Tactical Radio System – Egyesített taktikai rádió rendszer

titkosítási és kódolási eljárások alkalmazására, így ugyanazon hardware eszköz használható különböző jogosultsági szinteken, eltérés csupán a rádió programjában van.

Az internet ma az egész világra kiterjedő világméretű számítógépes hálózat, mely hozzáférhető gyakorlatilag minden megfelelő eszközzel rendelkező felhasználó számára. Nagy hatótávolságú, nagy sebességű kommunikáció valósítható meg az internet segítségével, így, ha a mobil eszköz csatlakoztatható az internetre, a kezelő a világ bármely pontjáról képes az utasítások kiadására és a kapott eredmények elemzésére.

Közepes és kis hatótávolságú kommunikáció hozható létre nagy megbízhatóságú ipari kommunikációs komponensek segítségével. Mivel ezek az eszközök ipari környezetre, de polgári használatra lettek kifejlesztve, az FNFT¹⁹ által polgári használatra kijelölt 2,40 – 2,45 GHz vagy az 5.15 – 5.825 GHz közötti frekvencián üzemelnek. [59] Az eszközök használata nem engedélyköteles, így tetszőleges környezetben alkalmazhatók. Ez az előny azonban egyben hátrányt is jelent, mivel a használt sáv egyéb polgári applikációkkal is terhelt, így különleges eljárások, algoritmusok szükségesek a csatorna felosztására és az ütközések elkerülésére.

Talán a legelterjedtebb mikrohullámú adatátviteli szabvány a WLAN²⁰. Több frekvenciasávon, különböző adatátviteli sebességek mellett képes üzemelni. A maximális hatótáv 100 m körüli, a maximális adatátviteli sebesség pedig ipari eszközöknél 54 Mbps. A rendkívül magas adatátviteli sebesség lehetőséget biztosít valós idejű videó jelek digitális formában történő továbbítására. A hatótávolságot azonban nagymértékben befolyásolják a kommunikációs eszközök közötti tereptárgyak, az időjárás és az eszközök egymáshoz viszonyított helyzete. A két aktív kommunikációs eszköz közötti kapcsolatot az adó által kisugárzott teljesítmény, az antennanyereség, az átvivő közeg csillapítása, a vevő antenna nyeresége és a vevő érzékenysége együttesen határozzák meg. Szabad térben a hatótávolság lényegesen nagyobb, mint épületen belül, ahol a falakról visszaverődő hullámok erősítési és kioltási zónákat hoznak létre. Csillapítást jelent a megnövekedett páratartalom (köd, eső), valamint az adó és vevő között elhelyezkedő fal vagy növényzet. Irányított antennákkal növelhető az antennanyereség, azonban a lefedett terület alakja megváltozik.

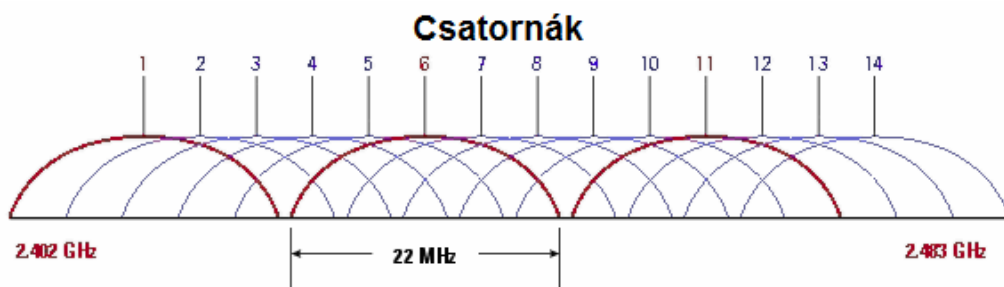
Egy WLAN hálózat alapvetően két fő elemből áll:

¹⁹ Frekvenciasávok Nemzeti Felosztási Táblázata

²⁰ Wireless Local Area Network – Vezetéknélküli helyi hálózat

- fixen telepített hálózati komponensekből, hozzáférési pontokból (Access Point, továbbiakban AP);
- mobil, azaz mozgó kommunikációs egységekből (továbbiakban kliens).

Gyakran előfordul, hogy egy AP nem képes a kívánt terület lefedésére. Ebben az esetben cellaszerű, a mobil telefonrendszerekből ismert elrendezés alkalmazása szükséges. A cellák kialakításánál fontos szempont, hogy a szomszédos AP-k egymást ne zavarják. Erre van lehetőség, mivel a WLAN szabvány a rendelkezésre álló frekvenciasávot 14 csatornára osztotta. A csatornák átlapolnak, tehát, ha cella struktúrájú hálózat létrehozása szükséges, csak három független csatorna jelölhető ki (1,6,11; 2,7,12; 3,8,13)

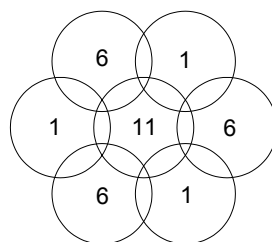


28. ábra

Szabványos WLAN eszközök sáviosztása (Ford., szerk.: Kucsera P.) [60]

A cellák kialakítása a következő ábrán (29. ábra) látható módon történhet. Ennél az elrendezésnél az egymás melletti cellák soha nem zavarhatják egymást.

Mivel a kliens a teljes lefedett területet képes bejárni, így gyakran előfordul, hogy egy cella határára érve, az addig használt AP-ről lecsatlakozik, majd egy másik AP-vel felveszi a kapcsolatot. Ezt a műveletet roaming-nak nevezik.



29. ábra

WLAN eszközök cellába rendezésének kialakítása (Szerk.: Kucsera P. AutoCAD2005)

Fontos, hogy a roaming folyamata a lehető leggyorsabban menjen végbe, mivel az AP váltás alatt az adatátvitel egy rövid időre megszűnik. Az ipari kommunikációs

eszközök fel vannak készítve ilyen jellegű feladatokra, így az AP váltás néhány másodperc alatt megtörténik.

Amennyiben a robotrendszer több elemből áll, létrehozható olyan vezeték nélküli összeköttetés, melyben bizonyos elemek csak átjátszó szerepet töltenek be. Példaként létrehozható egy olyan rendszer, ahol egy mobil robotot két nagy nyereségű pozicionálható antennával felszerelve elvezérelünk egy jó rálátást biztosító pontra. A vevő antennáját rápozicionálva a bázisállomásra, az adó antennájának nyalábjával pedig intelligens módon követve egy másik mobil egységet, vezeték nélküli kapcsolat hozható létre akár több kilométeres hatósugárban. A kapcsolathoz az átjátszó állomáson két különböző csatornán üzemelő WLAN komponensre van szükség. Erre az iparban már van kész eszköz, mely dupla AP (Double Access Point) névre hallgat.

2.7 Következtetések

A napjainkban alkalmazott robotalkalmazások áttekintése és rövid elemzése után megállapítottam, hogy **az autonóm szárazföldi robotok legmegfelelőbb kialakítása makro és midi robotok formájában történhet.** Egy autonóm mobil robot fedélzetén hordozza a döntéshozó eszközöket, a szenzorrendszert, az energiaellátást biztosító eszközöket, a kommunikációs berendezéseket és a meghajtó motorokat. Megállapítom, hogy ezek a berendezések napjainkban még nem férnek el néhányszor tíz centiméteres helyen, vagy ha mégis, akkor a robot hatótávolsága rendkívül lecsökken.

Az elvégzett vizsgálatok alapján **megállapítottam, hogy amennyiben a különösen extrém terepviszonyok nem zárják ki, a keréken gördülő kialakítás a legelőnyösebb,** mivel nagyobb sebesség elérése képes és energiaigénye is alacsonyabb, mint például egy lépegető struktúrájú mechanika esetén. Amennyiben a kerekek talajon történő megcsúszását meg lehet akadályozni (intelligens kipörgés gátló rendszerekkel és fokozatos gyorsítással és fékezéssel), úgy a kerekek elfordulásából számítható elmozdulás gyors navigációs adatokhoz segíti a vezérlőberendezést. Természetesen ez a navigálást segítő információ mindig hibával terhelt, mivel nem veszi figyelembe a domborzat változásait, valamint a mérés során keletkező hibák integrálódnak, így idővel a számítás pontatlansága nő. Ennek ellenére, mivel a kerekek elfordulásának érzékelése nem igényel bonyolult hardware elemeket, javasolom ezen információ kisegítő navigációs adatként történő feldolgozását.

Kísérlettel bizonyítottam, hogy háromszög módszerrel kétdimenziós távolságmérés valósítható meg, azonban ez a mérési módszer rendkívül érzékeny a

környezeti fényviszonyokra és a környezet gyors változására, **ezért megállapítom, hogy ez a szenzor csak laboratóriumi, kísérleti célokra alkalmazható.** A szárazföldi mobil robotok fedélzetén a futási idő mérésén alapuló távolságmérő szenzorok alkalmazása szükséges. **Ajánlom tehát a robot navigációs és akadályfelismerő szenzoraként lézer szkennert alkalmazását.**

A fejezetben **bizonyítottam, hogy csupán egy szenzor alkalmazása soha nem nyújt megoldást a navigáció és az akadály felismerés megvalósítására,** a probléma több szenzor jeleinek összevetésével oldható csak meg. Minden mérőeszköz rendelkezik bizonyos hibával, amennyiben a hibákat összevetjük, gyakran ellentmondásos eredmények születnek. Erre a problémára jelent megoldást a szenzorfüzió, melynek során a különálló szenzorok által szerzett információk elemezve és összevetve kerülnek vizsgálatra. (Például a GPS rendszer pontossága méteres nagyságrendbe esik, pozíció meghatározás esetén előfordul, hogy a mért eredmények egymás után hirtelen méteres nagyságrendben eltérnek. Amennyiben a GPS rendszert giroszkópokból és gyorsulásérzékelőkből álló inerciális navigációs rendszerrel egészítjük ki, a GPS által mért hiba kiszűrhető).

A mobil robot a működtető energiát is kénytelen magával hordani, így az energiaszolgáltató egység súlya és mérete nagyban befolyásolja a mobil robot méretét és sebességét, a tárolt energia pedig a bevetési hatótávolságát. A lehetőségek áttekintése után **arra a következtetésre jutottam, hogy belső égésű motorokkal érhető el a legjobb energiasűrűség és a legjobb teljesítmény-súly arány,** azonban a működésükkel járó zaj és hőszugárzás sok esetben megnehezíti, vagy egyes esetekben ki is zárja alkalmazásukat, mivel a robot könnyen felderíthetővé válik. Véleményem szerint az **üzemanyagcellák alkalmazása jelentené a legideálisabb megoldást,** mivel a belső égésű motorokhoz hasonlóan a cella mindaddig képes energiát szolgáltatni, amíg üzemanyag áll rendelkezésre. Az üzemanyag újratöltése gyors folyamat, így a rendszer rendelkezésre állási ideje magas. Az üzemanyagcellák elterjedtsége azonban napjainkban igen alacsony, áruk magas, beszerezhetőségük bonyolult. **Amennyiben a rendkívül költséges üzemanyagcellák alkalmazására nincs lehetőség, vagy a feladat alkalmazásukat nem indokolja, a Li-polimer akkumulátorok alkalmazása jó megoldást jelent,** mivel ezek rendelkeznek a legjobb teljesítmény-súly aránnyal az ismert akkumulátor típusok közül, kereskedelmi forgalomban beszerezhetők, rendkívül magas számú töltési ciklust képesek elviselni, a terhelő áram és töltő áram megengedett mértéke szintén igen magas.

III. FEJEZET

ROBOTVEZÉRLŐ RENDSZER KIALAKÍTÁSI LEHETŐSÉGEINEK VIZSGÁLATA

Egy autonóm mobil robot talán legfontosabb része a döntéshozó vezérlőberendezés. A vezérlés határozza meg a robot képességeit, a vezérlőben futó algoritmusok határozzák meg a robot viselkedését.

A mobil robotok vezérlőberendezéseinek vizsgálata során arra a következtetésre jutottam, hogy a vezérlő fejlesztése alapvetően három főbb irányvonalon valósulhat meg [61]:

1. Céleszközökkel megalkotott egyedi fejlesztésű berendezés megalkotásával. Ebben az esetben a rendszer lelkét egy mikroprocesszor, mikrokontroller vagy FPGA²¹ alkotja. Mivel egyedi fejlesztésről van szó, nyomtatott áramkör tervezése, valamint megfelelő áramkörök kiválasztása és beültetése szükséges. A rendszer programozása gépi kódban, vagy megfelelő fordítóprogram segítségével magas szintű programnyelven történik, de a hardware ismerete mindenképpen feltétlenül szükséges.

2. Beágyazott PC alapú vezérlő használatával. Ebben az esetben a rendszer lelke egy ipari mikroprocesszor alapú alaplappal, melyen gyárilag ki vannak alakítva szabványos perifériák, úgymint merevlemez vezérlő, soros, párhuzamos, USB port. A kommunikációs portok segítségével lehetséges szabványos kommunikáció, azonban a digitális és analóg jelek fogadására és kiadására, valamint a hajtások működtetésére külső komponensek szükségesek. A PC alapú vezérlőn egy operációs rendszer futtatása szükséges. Az operációs rendszer lehet Windows vagy Linux alapú. Ugyanakkor, amennyiben a választott operációs rendszer nem teljesen elégíti ki az igényeket, megváltoztatása igen időigényes és nagy szakértelmet igénylő feladat. Hardware fejlesztés csak kis mértékben szükséges, azonban a megfelelő programkörnyezet kialakítása nehézkes, az esetleges változtatások időigényesek.

3. Ipari vezérlők használata esetén hardware fejlesztésre egyáltalán nincs szükség. A programkörnyezet rendkívül leegyszerűsített, a csatlakoztatott eszközök konfigurálása egyszerű. Ebben az esetben is egy mikroprocesszoros rendszer a központi egység, és szintén egy operációs rendszer segítségével valósítható meg a rendszerprogram

²¹ FPGA - Field-programmable gate array – Programozható módon összekapcsolható logikai kapuhalmaz

futtatása, azonban az egész hardware és software környezet ipari alkalmazásokra lett kifejlesztve, így a legfontosabb szempont az ilyen eszközöknél a megbízható működés. Az ipari vezérlők gyártói termékeiket az ipari szabványoknak megfelelően tesztelik, és garanciát vállalnak azok működésére. Az egyetlen hátrányuk az előző két megoldáshoz képesti viszonylag lassú működés.

A legmegfelelőbb katonai alkalmazású mobil robot vezérlő kiválasztására három hasonló képességekkel rendelkező modell került kialakításra. A modellek fejlesztése során a három különböző utat követve szűrtem le tapasztalataimat és választottam ki az általam vélt legmegfelelőbbet.

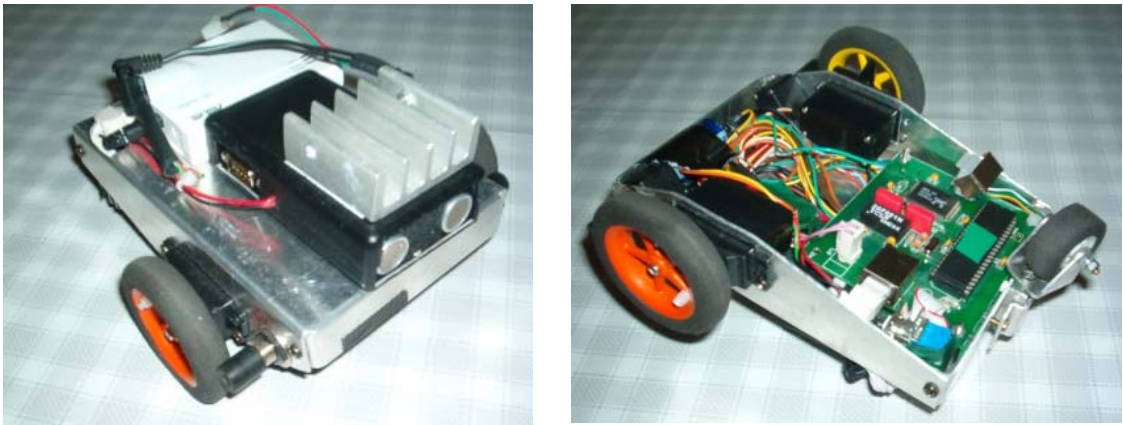
3.1 Mikrokontroller alapú mobilrobot vezérlő

Az általam készített tesztrendszer egy Microchip PIC mikrokontrollert használ központi döntéshozókét (17. kép). A használt mikrokontroller 10MIPS sebességre képes, tehát 1000 utasítás végrehajtásához 0,1 másodpercre van szüksége. A megadott adat gépi kódú, assembly utasításra értendő. A hajtások vezérlése a mikrokontroller által kiadott közvetlen PWM jelekkel történik. A szenzorok és beavatkozók megfelelő jelátalakítás után közvetlenül a mikrokontroller portjaira vannak kötve. Az operátor és a robot közti kommunikációra egységesen az Ethernet alapú megoldást választottam. A mikrokontroller egy Ethernet illesztő áramkör segítségével szabványos UDP²² csomagokat küld és fogad. A csomagok egy szabványos WLAN adapter segítségével kerülnek továbbításra. A rendszer szenzorként egy ultrahangos távolságmérőt használ, így képes az útjába kerülő tárgyak detektálására. A navigáció a kerekek elfordulásának figyelésével, inerciális módszerrel valósul meg. [62]

A fejlesztés első lépéseként a kialakítani kívánt áramkör kapcsolási rajzát kellett elkészíteni. A kapcsolási rajz elkészítésénél már tisztában kell lenni a tervezett rendszer képességeivel, mivel a későbbiekben a nagyobb változtatások a teljes áramkör áttervezését vonhatják maguk után. Mivel a teljes rendszer egy nyomtatott áramköri lapon került kivitelezésre, így a későbbi változtatások csak nehézkesen, az áramköri lap újratervezésével oldhatók meg. Az áramkör, valamint a nyomtatott áramköri lap tervezése megközelítőleg két hetet vett igénybe (Már több hasonló projektben vettem részt, így a szükséges programokat készség szinten kezeltem). Az áramköri lap legyártása és beültetése, majd beüzemelése további egy hetet vett igénybe. A megfelelő

²² UDP - User Datagram Protocol - Szabványos IP kommunikációs csomag

tanúsítványokkal rendelkező komponensek beszerzése igen körülményes, így ennél a fejlesztésnél a kereskedelemben kapható elektronikai komponenseket használtam. Hardware fejlesztéseknél gyakori, hogy az első áramkör nem elégíti ki teljes mértékben a kívánalmakat, így a fent említett ciklus többszöri megismétlése szükséges. Esetemben a második tervezett áramkör már működő prototípusként használható volt.



17. kép

Mikrokontroller alapú vezérlővel megvalósított kísérleti mobil robot (Készítette: Kucsera P.)

A végleges termék kifejlesztése még egy ciklust, azaz további két hetet vett volna igénybe. Természetesen a hardware és software fejlesztés párhuzamosan folyik, így előfordulhat az is, hogy hetek programfejlesztői munkája után derül ki az, hogy az áramkör hardware szinten nem teljesíti az elvárásokat. (A központi vezérlő túl lassú, vagy kevés a memória.) Ilyen esetben a fejlesztés hetekkel visszalép. Esetemben a teljes hardware fejlesztése, négy hónapot vett igénybe.

A vezérlő program megírása további 4 hónapba telt. Problémát jelentett a kommunikáció megoldása. Az Ethernet kommunikációra abban az időben még nem voltak kész megoldások, így egy külső Realtek controller segítségével önállóan kellett az IP kommunikációt leprogramozni. Az elkészült eszköz nyolc hónap után már alkalmas volt kísérletezési célokra, azonban a rendszer alkalmazhatósága és megbízhatósága messze nem volt megfelelő. Véleményem szerint legalább további két hónap kellett volna egy felhasználóbarát, megbízhatóan működő rendszer megalkotásához. Ez a rendszer azonban még messze nem teljesíti a MIL883²³

²³ MIL883- szabvány a katonai eszközök kialakítására és tesztelésére

szabványt. A rendszer megfelelő tesztelése szintén eszköz és időigényes feladat, mely hónapokat vesz igénybe.

Költség oldalról tekintve a felhasznált eszközök ára nem haladta meg a 200 Eurót, azonban egy valós fejlesztés esetén a dolgozó mérnökök óradíját is figyelembe véve a teljes fejlesztés költsége igen magas. **Nagy előny azonban, hogy amennyiben a kifejlesztett termék sorozatgyártásra kerül, az ilyen fejlesztések egy darabra eső költsége igen alacsony. Az elkészült rendszer azonban csak az adott feladatra alkalmas, így a felhasználói igények esetén a hardware változtatás, tesztelés igen körülményes és lassú.**

3.2 Beágyazott PC alapú mobilrobot vezérlő

A fedélzeti intelligens eszköz megválasztására a kézenfekvő megoldás egy hagyományos PC alapú számítógép. A processzor megválasztásánál fontos mérlegelni az autonómia fokát, valamint a méret és fogyasztási lehetőségeket. Egy akkumulátorral táplált kisméretű robotra nem ajánlott egy nagy fogyasztású Pentium 4-es laptop telepítése Windows XP operációs rendszerrel. Kisméretű robotok esetében optimális megoldást jelenthet egy beágyazott kisebb teljesítményű és méretű Pentium I. vagy Intel 5x86 alapú alaplapp, célspecifikus Linux operációs rendszerrel. Példaként említem meg az általam alkalmazott Advantech PCM5820 AMD GEODE processzorral szerelt ipari alaplappját. A PCM5820 233MHz-es Intel 5x86 kompatibilis processzorral maximum 128 MB memóriával, 2 db konfigurálható RS232/422/485 porttal, 100 Mbps átviteli sebességű Ethernet csatolóval rendelkezik. Az alaplaphoz nem szükséges billentyűzet és monitor csatolása. Nagy mennyiségű adat tárolása Compact Flash²⁴ (CF) kártyán történik, így a beágyazott számítógép nem tartalmaz mozgó, rezgésre, rázkódásra érzékeny alkatrészeket.

Mivel a rendszeradatok Flash alapú adathordozón vannak eltárolva, hagyományos operációs rendszerek alkalmazása nem megengedett. Egy korszerű Windows alapú operációs rendszer a rendszeradatokat folyamatosan frissíti az adattárolón, és mivel Flash alapú memóriák csak adott mennyiségű írási műveletre képesek, ez a memória kártya károsodásához, adatvesztéshez vezet. Az alkalmazott operációs rendszerrel szemben támasztott követelmények a következők [63]:

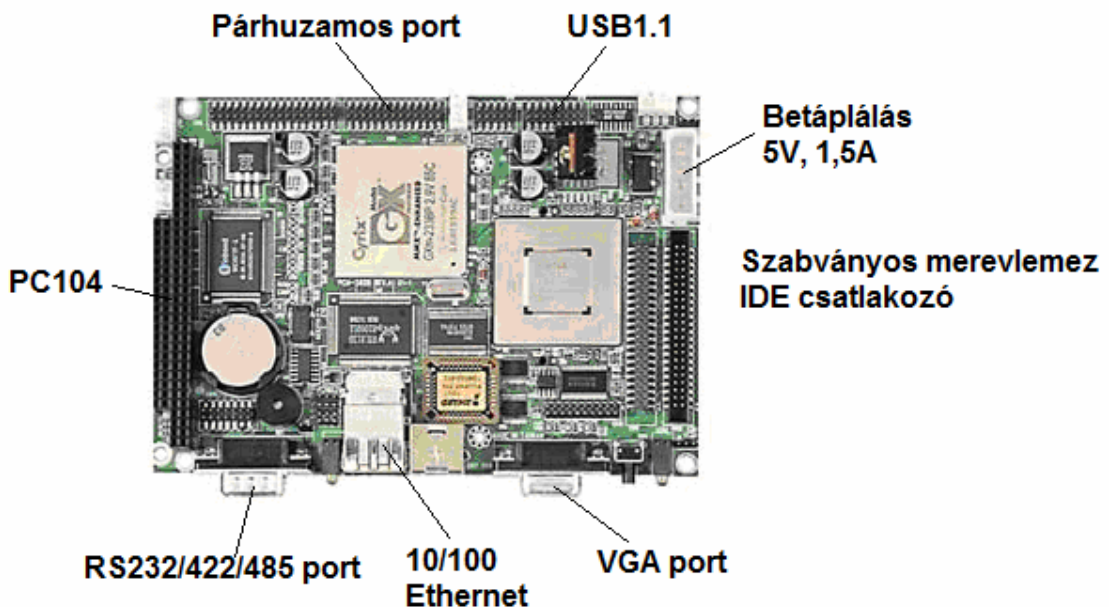
- megbízható, stabil működés;

²⁴ Félvezető alapú memória, amely tartalmát kikapcsolás után is megőrzi. A memória írási ciklusainak száma limitált.

- nyitott forráskódú, flexibilis rendszer;
- a Flash kártyára való írás korlátozhatósága.

A fent említett követelményeknek sok nyitott forráskódú speciálisan beágyazott rendszerekre tervezett Linux operációs rendszer eleget tesz. Az én választásom az uVex Linux nevű kiadásra esett. A rendszer adathordozón elfoglalt mérete 128 Mbyte alá csökkenthető, ebben a kiépítésben tartalmazza a rendszer működéséhez szükséges programokat, fejlesztéshez szükséges fordító és programeditáló programokat, valamint rendelkezik a következő tulajdonságokkal:

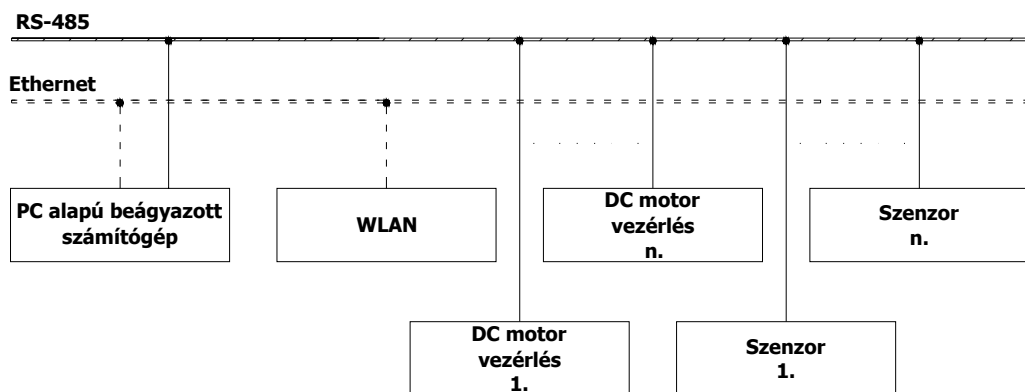
- bekapcsoláskor a Flash memória tartalmát a normál RAM-ba tölti egy ott létrehozott virtuális meghajtóra. Kikapcsoláskor a virtuális meghajtón található változásokat lementi a Flash memóriába, így az írási ciklusok száma egyre csökken;
- a rendszer automatikusan elindít egy terminálprogramot, melyen keresztül a beágyazott eszköz egy másik számítógépről elérhető. Ezen program segítségével történhet a program fejlesztés, átkonfigurálás, hiba detektálás és javítás;
- az operációs rendszer képes több felhasználói program párhuzamos futtatására (Multi-tasking), így ha egy program „szabálytalan műveletet hajt végre és leáll”, a terminálprogramon keresztül módosítható, és újraindítható, akár nagy távolságból, vezeték nélküli Ethernet alapú hálózaton keresztül is.



30. ábra

Advantech PCM5820 ipari beágyazott alaplap [64]

A fent említett alaplapon alkotja a második általam készített modell központi irányítóegységét. A kommunikáció a mikrokontrolleres roboton is használt szabványos WLAN adapter segítségével került megvalósításra. A szenzorok és a motorokat hajtó teljesítmény elektronika egy soros kommunikációs buszon, RS485 fizikai réteget használva lett felfűzve, így a központi vezérlő utasíthatja és lekérdezheti az általa kívánt modult. A rendszer funkciójában megegyezik az első modellel. Képes lejáruni egy leprogramozott útvonalat, ultrahangos érzékelővel felismerni és kikerülni az akadályokat.



31. ábra

Beágyazott PC alapú vezérlővel megvalósított mobil robot vezérlőrendszer felépítése

(Szerk.: Kucsera P. AutoCAD2005)

A rendszer fejlesztése a megfelelő ipari alaplapon kiválasztásával kezdődik. Fontos szempont a méret, a fogyasztás és a számítási teljesítmény, valamint a kívánt kommunikációs portok megléte. Az ipari alaplapon már tesztelt állapotban kerülnek a felhasználóhoz, megfelelő hardware környezetben teljesítik a legszigorúbb ipari szabványok követelményeit is. Ipari PC alkalmazása esetén a dobozolás nem mindig megoldott, így ki kell alakítani a megfelelő mechanikai paraméterekkel bíró hordozó dobozt és az ipari kivitelű csatlakozó felületeket. Ez esetben egy hetet vett igénybe.

A fejlesztés következő lépése az operációs rendszer megválasztása. Az operációs rendszer teremti meg a kapcsolatot a hardware és a felhasználó által használt program között, így jelentős fontossággal bír. Speciális alaplapon nem használhatók általános célú operációs rendszerek, mivel ezek sok olyan funkciót tartalmaznak, amire egy beágyazott alkalmazásban nincs szükség, míg olyan funkciók, amik elengedhetetlenek, a felhasználó számára nem hozzáférhetők. A Linux alapú rendszerek rugalmasságuk,

változatos kialakításuk miatt igen elterjedtek beágyazott alkalmazásoknál, így esett az én választásom is egy speciális UVEX névre hallgató Linux kialakításra. [65] Egy ilyen operációs rendszer telepítése viszonylag magas szintű számítógép kezelői ismeretet igényel. A rendszer testre szabása két hetet vett igénybe, majd újabb egy hónapba telt a rendszerprogram megírása. Az így kapott rendszer lényegesen rugalmasabb. Hardware módosítás nélkül csatlakoztathatók új szenzorok és beavatkozók a rendszerbuszra, csupán a vezérlő programot kell módosítani.

Az általam alkalmazott alaplap ára kevesebb, mint 400 Euró volt, de a rendszer működéséhez szükséges még az összes buszra csatlakozó modul megvásárlása is. Ipari szabványoknak megfelelő RS485 analóg és digitális I/O modulok kaphatók a már említett Advantech cégtől is, de sok más automatizálási eszközöket gyártó is rendelkezik ilyen modulokkal. Egy jól működő tesztrendszer kialakítható 2000-3000 Euróból. A tesztrendszer fejlesztési ideje hozzávetőlegesen egy hónap. A rendszer rugalmasan alakítható különböző feladatokra, viszonylag gyorsan, hardware változtatások nélkül. Számomra az egyetlen problémát az alkalmazott operációs rendszer és annak megbízhatósága jelentette. Amennyiben biztosak akarunk lenni az operációs rendszer teljes megbízhatóságában, annak teljes mértékű ismerete szükséges. A fejlesztés során gyakran tapasztaltam rejtélyes hibákat, melyek egyértelműen a használt operációs rendszerből eredtek. A hibákat nem sikerült megoldanom, csak megkerülnöm, így a programom komplikáltabb, instabilabb lett. Ugyanakkor egy új Linux kialakítás fejlesztése hónapokba telik, mely jelentősen meghosszabbítja a fejlesztési időt.

A rendszer hardware elemeinek bekerülési költsége magasabb, mint az egyedi hardware fejlesztés esetén, azonban sok idő nyerhető és a kialakított rendszer lényegesen rugalmasabb.

3.3 Moduláris felépítésű ipari vezérlőrendszer

A technológia fejlődésével, az ipari vezérlőberendezésekkel szembeni követelmények is egyre magasabbak. Ipari vezérlők, más néven PLC²⁵-k működnek napjainkban az erőművekben, gyárakban, bányákban, nagyobb járműveken, hajókon és milliónyi olyan alkalmazásban, ahol a nagy megbízhatóság, a hosszú élettartam alapkövetelmény. Egy ipari vezérlőrendszer, mely egy atomerőművet vezérel, nem tévedhet, így a biztonsági

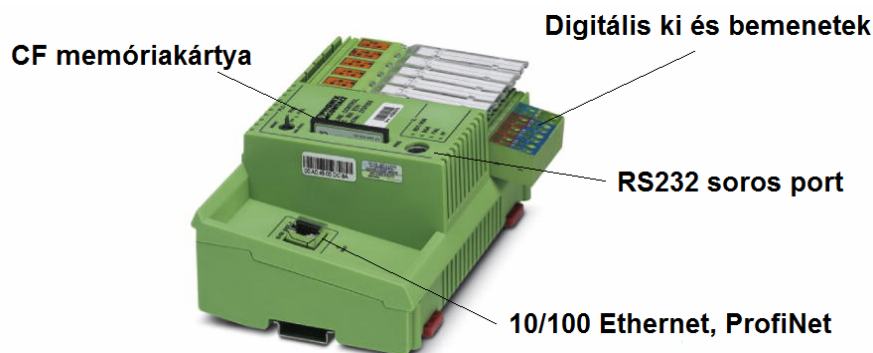
²⁵ PLC – Programmable Logical Controller – Programozható Logikai Vezérlő

követelmények, a berendezések tesztelési eljárásai mind olyan mértékű biztonságra törekednek, amely alkalmazhatóvá teszi ezen berendezéseket katonai célú applikációkban is.

Moduláris ipari berendezésekkel megvalósított mobil robot vezérlő kialakításának lehetőségei

Az ipari berendezések moduláris felépítése rendkívül rugalmas átkonfigurálható rendszer kialakítást tesz lehetővé. Mivel az iparban gyakran szükséges a rendszer fejlesztése, az egyes funkciók modulok, kártyák formájában történnek kialakításra, ezek a kártyák megfelelő kommunikációs csatornák, úgynevezett ipari BUS rendszerek segítségével kapcsolhatók össze, így a rendszer bővítése csak egy újabb kliens BUS-ra történő csatlakoztatását jelenti.

A rendszer központja a döntéshozó vezérlő program futtatására alkalmas CPU modul. A PLC központi modulja egy mikroprocesszoros rendszer, azonban csak azokkal a perifériákkal rendelkezik, amelyek az adott feladat végrehajtásához feltétlenül szükségesek. Példaként említhető a Phoenix Contact ILC390PN központi vezérlő CPU modulja, mely 0,2 ms alatt átlagosan 1000 utasítás futtatására képes. A modulon kialakításra került két nagy sebességű Ethernet port, melyen a CPU képes különböző IP alapú (TCP/IP) és ipari protokollokon (ProfiNet) történő kommunikációra. Szintén lehetőség van egyéb ipari BUS rendszerekre (Interbus) történő csatlakozásra is, képes soros vonali RS232/422/485 kommunikációra, valamint a modul saját I/O portokkal is rendelkezik. A program egy Compact Flash memóriakártyán kerül tárolásra. A PLC bekapcsolásakor a kártyán tárolt program a memóriába olvasódik, és a későbbiekben innen fut. A rendszerben nincs mozgó alkatrész, így nem érzékeny a rázkódásra, mechanikai behatásokra.



32. ábra

Phoenix Contact Ipari PLC vezérlője [66]

A periféria eszközök a CPU egység után fűzve egy speciális csatlakozóra kapcsolható, az egész egység mechanikai szilárdságáról egy hátsó tartósín gondoskodik. A csatlakoztatható perifériák lehetnek digitális és analóg be- és kimeneti kártyák és gyorsszámlálók. A termékpalettán megtalálhatók különböző hajtás modulok is, így a robotot működtető motor vezérléséhez nem kell mást tenni, csak megfelelően be kell kötni a kártyára. Példaként kell itt megemlítenem szintén a Phoenix Contact IB IL EC 48 AR/10A típusú hajtás vezérlőjét. A modul képes 48V-os maximális feszültségű és 10 A maximális áramfelvételű kefések és kefe nélküli motorok táplálására, csatlakoztatása a fent említett központi modulhoz egy mozdulattal megtehető. A hajtás képes fogadni a motorról érkező jeladó jeleket, önmagában képes pozíció, nyomaték és sebesség szabályzásra, így ezzel nem terheli a CPU erőforrásait.



18. kép

Ipari hajtásmodul [67]



19. kép

Ipari szünetmentes tápegység [68]

A vezérlőrendszer energiaellátására is létezik kész modul mely képes külső akkumulátorok segítségével a rendszer táplálására. Példaként a Phoenix Contact Quint UPS 24DC/40A szünetmentes tápegysége egy külső 12 Ah akkumulátor töltés és kisütésvezérlését végzi. A töltési fázisban a külső energiát az akkumulátor újratöltésére, valamint a vezérlőrendszer táplálására kapcsolja. Amennyiben a külső táplálófeszültség megszűnik, a vezérlőrendszer táplálása az akkumulátorok segítségével történik.

A példaként említett modulok összekapcsolásából csupán a modulok megfelelő módon történő összekapcsolásával viszonylag könnyen elkészíthető egy mobil robot vezérlőrendszere, úgy hogy az egész rendszer megbízhatósága, védettsége legszigorúbb ipari előírásoknak is megfelel. A rendszer megbízhatósága tovább növelhető redundáns

eszközök alkalmazásával, erre az ipari berendezést gyártó cégek szintén rendelkeznek megfelelő termékpalettával és kész technikai megoldásokkal.

Az elkészült mobilrendszer hardware fejlesztése egy napot vett igénybe! A modulok megfelelő összekapcsolása, a tápellátás biztosítása, valamint a szenzorok és beavatkozók bekötése után, már kezdődhetett a programozás. A programkörnyezet rendkívül barátságos. A CPU után kapcsolt modulokat a rendszer automatikusan felismeri és bekonfigurálja. Ipari vezérlő használata esetén kijelenthető, hogy csak a vezérlő program fejlesztésére koncentrálhat a mérnök. A vezérlő program megírása egy hónapot vett igénybe. Az elkészült rendszer már hónapok óta tesztelt, rendellenes működést nem tapasztaltam. A vezérlő rendkívül flexibilis, azaz új ki- és bemeneti pontok alakíthatók ki plusz modulok csatlakoztatásával. A maximális I/O szám esetünkben 8192. A használt CPU kihasználtsága 10%-volt. Látható, hogy az elkészült rendszer még lényegesen nagyobb feladatok elvégzésére is alkalmassá tehető.

A teljes vezérlőrendszer bekerülési költsége 6000-8000 Euró, azonban azonos rendszer alkalmazható tetszőleges hordozóplatformon, lényegesen komolyabb feladatokra is.

3.4 A vezérlőrendszer kialakítási lehetőségeinek összevetése

A 4. táblázat a prototípus fejlesztéséhez szükséges időt és költséget foglalja össze. A költségek egy elkészült prototípusra vonatkoznak. A mérnöki óradíjként 20 eurót számoltam.

4. táblázat Különböző robotvezérlő kialakítások fejlesztési idejének és költségeinek összehasonlítása.

Vezérlő típus	Hw. anyagköltség	Hw. fejlesztési, beüzemelési és tesztelési idő	Teljes hw. költség	Vezérlő pr. fejlesztési idő	Teljes fejlesztési idő	Teljes fejlesztési költség
Egyedi fejlesztésű vez.	200 Euró	Fejl.: 2 Hónap Teszt: 2 Hónap	13000 Euró	4 hónap	8 hónap	25000 Euró
Ipari PC alapú vez.	3000 Euró	7 nap	4120 Euró	6 hét	7 hét	9720 Euró
Ipari PLC alapú vez.	8000 Euró	1 nap	8160 Euró	1 hónap	1 hónap	11360 Euró

Egy fejlesztési menet megállapításánál nem csak a prototípus fejlesztési ideje és a költsége meghatározó. Példaként, ha egy 100 darabos széria legyártásának költségeit vizsgáljuk, az az egyedi fejlesztésű vezérlőnél (a gyártási költség ennél a szériánál 200 Euró-val számolva) 225 eurós darabárat eredményez. Ugyanezen széria ipari vezérlőkkel történő előállítására 8000 Eurós költséget jelent darabonként (nem számolva azt a kedvezményt, amit a gyártótól kapunk egy ilyen mennyiségű megrendelés esetén).

Mivel a katonai alkalmazások jellemzően speciális, sorozatba nem gyártható eszközöket igényelnek, különösen a mobil robotika fejlődő területén, így kis szériás 1-5 darabos gyártmányokkal érdemes számolni. Az is biztosra vehető, hogy még egy 5 darabos széria esetén is lehetnek eltérések az egyes robotok között attól függően, hogy milyen feladatra szánják őket, így a rendszer flexibilitása talán a legfontosabb szempont. Szintén fontos a rendszer megbízhatósága. Ebben ismét az ipari rendszerek aratnak győzelmet, mivel a nagy automatizálási eszközgyártók rendelkeznek a megfelelő fejlesztő és tesztelő bázissal, így a piacra dobott termék megbízhatósága szabványokban rögzített módon garantált. Ezen szempontok szerint súlyozott módon vizsgálva egy katonai alkalmazású szárazföldi robot vezérlőjét a következő táblázatot kapjuk. (A súlyozásnál az érték 1 a legkevésbé fontos esetben. A pontozásnál 1-es érték jelent a kedvezőtlen esetet, 5-ös érték a legkedvezőbbet.)

5. táblázat Különböző robotvezérlő kialakítások adott szempontrendszer szerinti vizsgálata

Vezérlő	Fejlesztés költsége	Gyártási költség	Fejlesztési idő	Rugalmas-ság	Megbízható-ság	Eredmény
Súlyozás (1-5 szorzó)	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	
Egyedi	<i>1</i>	<i>5</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	20 pont
Ipari PC	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>3</i>	42 pont
PLC	<i>5</i>	<i>1</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	76 pont

A súlyozásnál a gyártási költség és a fejlesztési költség nyilván nem elhanyagolható szempont, de mivel a fejleszteni kívánt robot nem egy kommersz háztartási gép, hanem egy katonai alkalmazású berendezés, a megmentett emberi életek ára nem mérhető pénzben. A fejlesztési idő és a rugalmasság fontos szempontok, mivel az eltérő igényekre történő speciális berendezéseknél nem szabható meg hosszú, bonyolult fejlesztési tevékenység és hosszú fejlesztési idő. A legfontosabb szempont a

megbízhatóság, mivel egy katonai alkalmazású rendszernek az állandó, megbízható működés elengedhetetlen.

Megállapítom, hogy az általam megalkotott követelményrendszer szerinti vizsgálat esetén a legjobb eredmény az ipari PLC-vel felépített moduláris vezérlő érte el.

3.4.1 A vezérlőrendszerrel szemben támasztott követelmények

Kutatásaim során céloom egy olyan flexibilis robotvezérlő egység megalkotása volt, amely hardware fejlesztés és átalakítás nélkül alkalmazható a legkülönbözőbb mobil robot platformokon. A rendszer kialakításánál figyelembe vett szempontok:

- ipari szabványoknak megfelelő, megbízható működés;
- moduláris kialakítás;
- megfelelő számítási teljesítmény;
- szabványos ipari BUS rendszereken történő kommunikáció lehetősége.

Az **ipari szabványoknak megfelelő, megbízható működés** csak olyan cégek képesek garantálni, amelyek rendelkeznek a megfelelő fejlesztő és tesztelő szakembergárdával, így a választásnál figyelembe kell venni a vezérlőberendezést gyártó cég ipari referenciáit.

A **moduláris kialakítás** meghatározó fontosságú, mivel ez határozza meg az elkészült rendszer rugalmasságát. Fontos, hogy a gyártó cég rendelkezzen megfelelő elemválasztékkal (ki- és bemeneti egységek, hajtásmodulok, kommunikációs modulok), így egy adott cég termékpalettájáról összeállítható legyen egy széles igényeket kielégítő vezérlőrendszer.

A **megfelelő számítási teljesítmény** ismét rendkívül fontos, mivel egy mobil robot egységen a navigáció, az akadály felismerés és az adott feladat elvégzéséhez szükséges számítások igénybe veszik a központi processzort. Fontos a lebegő pontos számokkal történő gyors műveletvégzés, a trigonometrikus és egyéb matematikai függvények alkalmazhatósága.

Szabványos **ipari BUS rendszereken történő kommunikáció** lehetősége elengedhetetlen, mivel a rendszerhez több szenzor, navigációs eszköz csatlakozik. Ezen eszközök rendszerbe integrálhatósága kulcsfontosságú.

Természetesen több olyan világméretű cég is van a piacon, amely képes eleget tenni a fent felsorolt követelményeknek. Választásom egy, az automatizálás piacán már évtizedek óta jelenlévő, azonban folyamatosan új fejlesztésű termékekkel előálló cégre

esett, melynek neve Phoenix Contact. **A cég termékpalettáját végigtanulmányozva megállapítottam, hogy a Phoenix Contact automatizálási termékekből létrehozható egy flexibilisen alkalmazható általános célú robotvezérlő egység.**

Egy általános moduláris vezérlőrendszerben a következő modulok szükségesek:

- központi vezérlőegység CPU;
- digitális, analóg ki- és bementi modulok;
- hajtásmodulok (kefés vagy kefenélküli motorok kezelésére);
- kommunikációs modulok (Ethernet, RS485, RS422, RS232 fizikai rétegen, különböző kommunikációs protokollok segítségével).

A Phoenix Contact négy különböző PLC családjából a két legnagyobb teljesítményű alkalmazható mobil robotok komplex vezérlésére. A vezérlő sebesség és a teljesítmény megválasztása feladat függő, a legnagyobb teljesítményű központi vezérlő átlagosan 0,05 ms alatt hajt végre 1000 utasítást (20MIPS²⁶). A program tárolására 8 MB áll rendelkezésre, az adatmemória 16 MB. A vezérlő alapkiépítésben kezeli az Ethernet, RS232 és alapú fizikai rétegeken folyó kommunikációs protokollokat, valamint az RS485 alapú INTERBUS ipari protokollt. Maximálisan 8192 I/O pont kezelésére képes, ami bőven meghaladja egy mobil robotrendszer igényeit. Táplálása 24 V-ról történik, maximális áramfelvétele 1,5 A. Természetesen nem minden esetben szükséges a legnagyobb CPU alkalmazása, mivel ez nagymértékben megnöveli a költségeket. A legnagyobb CPU ismertetése csak az elérhető maximális teljesítmény szemléltetésére szolgál. Amennyiben még nagyobb számítási teljesítményre lenne szükség, a feladatok felosztásával, több CPU alkalmazásával növelhető a műveleti sebesség.

A digitális ki- és bemeneti modulok 1, 2, 4, 8, 16 és 32 bites blokkokban vásárolhatók meg, csatlakoztatásuk a CPU-hoz egy speciális csúszó csatlakozó segítségével történik. Ez a művelet néhány másodpercet vesz csupán igénybe. Szintén hasonló modulok formájában vásárolhatók meg az analóg ki- és bemenetek (1, 2, 8 csatorna/ modul). Az analóg kártyák szabványos ipari jelszintek kezelésére képesek (4-20 mA, 0-20 mA, 0-10 V), a digitalizálás maximum 16 bites felbontással történik.

Hajtások vezérlésére több lehetőség is kínálkozik. Létezik kompakt hajtásvezérlő modul, amely képes kefés és kefe nélküli motorok kezelésére. Bemenetként csatlakoztatható az optikai enkóder, vagy Hall érzékelő. A modul önmagában képes sebesség, pozíció, vagy nyomaték szabályzásra, így ezeket a feladatokat nem a CPU-

²⁶ MIPS – Mega Instructin Per Second – Milliő utasítás per másodperc

nak kell elvégeznie. Amennyiben valamilyen speciális hajtást kellene vezérelni, lehetőség van külön enkóder kártya alkalmazására, valamint PWM jelek célkártyával történő előállítására.

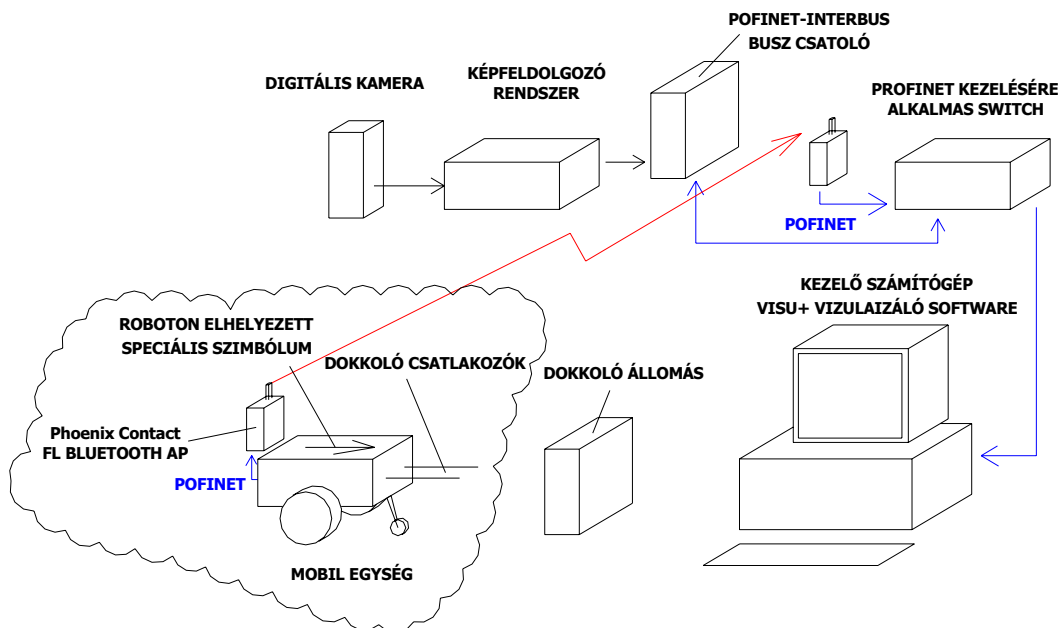
Kommunikációs modulokból is széles palettából választhatunk. Kezelhetők speciális eszközök RS232, RS485, RS422 fizikai rétegeken, valamint az összes fontosabb ipari BUS rendszerrel történő kommunikáció lehetséges céleszközök segítségével. A felsorolt eszközök mobil robotvezérlőként történő alkalmazhatóságát egy tesztrendszerrel kívánom bizonyítani. Az elkészült vezérlőrendszerben csak a fent felsorolt termékpalettáról válogatott eszközök találhatók.

3.5 A megvalósított tesztrendszer felépítése

Az általam megvalósított rendszer teljes felépítése a 33. ábrán látható. [69]

A rendszer alapvetően két fő részre bontható:

- **mobil egység**, mely tartalmazza a helyzetváltoztatáshoz szükséges mechanikai elemeket, motorokat, hajtásokat, az autonóm működést biztosító központi vezérlőegységet, és a mobil kommunikációs egységeket;
- **fogadó állomás**, mely tartalmazza a dokkoló egységet, a pozicionálást segítő képfelismerő rendszert, az operátor állomást és a telepített kommunikációs eszközöket.

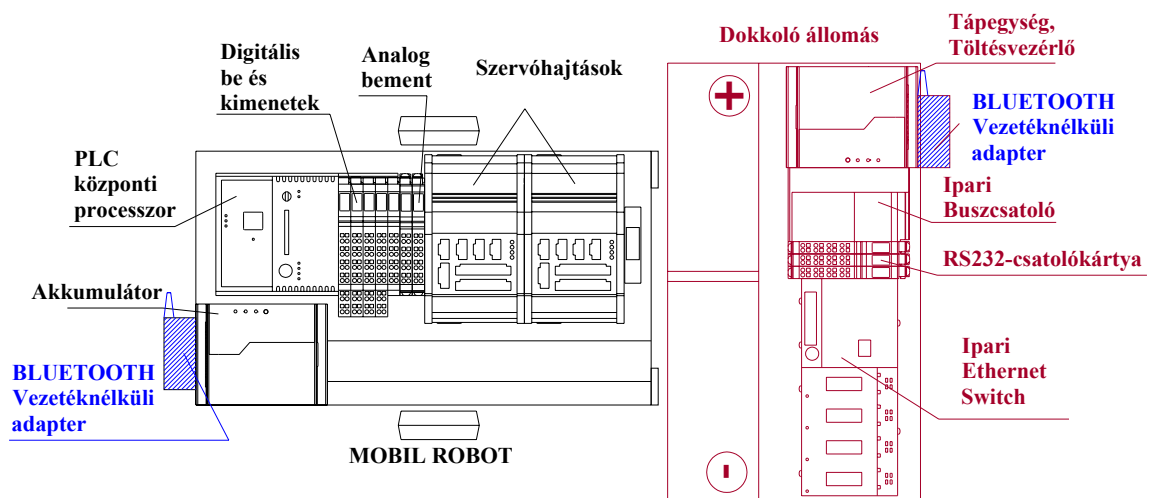


33. ábra

Az elkészült tesztrendszer felépítése (Készítette: Kucséra P. AutoCAD2005)

3.5.1 A mobil egység felépítése

A megvalósítás során nem volt anyagi lehetőség bonyolult mechanika kialakítására, így a robot mozgatása két függetlenül hajtott kerékkel és egy a platform mozgását követni képes támasztó kerékkel történik. A kerekek együttes azonos irányú és sebességű hajtása a robot egyenes haladását eredményezi, az eltérő sebesség kanyarodást eredményez. A kerekek ellenkező irányú hajtásával a robot képes a középtengelye körüli elfordulásra is. Az egyszerű mechanikai kialakítás alacsony költsége mellett rendelkezik még egy jó tulajdonsággal. Két függetlenül hajtott kerék esetében rendkívül egyszerű a robot pozícióját meghatározni a kerekek elfordulásának ismeretében.



34. ábra

Az elkészült robotvezérlő és dokkoló állomás hardware felépítése (Készítette: Kucséra P. AutoCAD2005)

A mobil egység fedélzeti eszközeinek kapcsolatát a 34. ábra szemlélteti. A kerekek elfordulását a tengelyre szerelt optikai elfordulás érzékelőkkel (optikai enkóder) lehet detektálni. A motorok szabályozása speciális hajtásszabályzó blokkokkal történik, melyek az enkóderek jeleit feldolgozva képesek a kerekeket egy adott fordulatszámra tartani, valamint képesek pozicionálási feladatok elvégzésére. Az egész rendszer vezérlését egy ipari PLC²⁷ végzi, ipari valós idejű Ethernet hálózaton keresztül. A kapcsolattartás az operátorral szabványos Bluetooth vezeték nélküli összeköttetés segítségével lehetséges. A rendszer 24 V-os tápfeszültségről üzemel, melyet egy ipari szünetmentes táp biztosít. Fontos megemlítenem, hogy a rendszer vezérlése teljes

²⁷ Programmable Logical Controller – Programozható logikai vezérlő

egészében ipari komponensekkel történik. A különböző modulok egy INTERBUS nevű ipari buszrendszeren kapcsolódnak egymáshoz, a rendszer bővítése a buszra történő további modulok felfűzésével lehetséges. Ipari elemek alkalmazása biztosítja a megfelelő megbízhatóságot, valamint a gyors fejlesztési időt. Mivel hardware fejlesztés nem szükséges, a rendszer konfigurálása és programozása után egy flexibilis, szabványos vezérlőrendszer hozható létre.

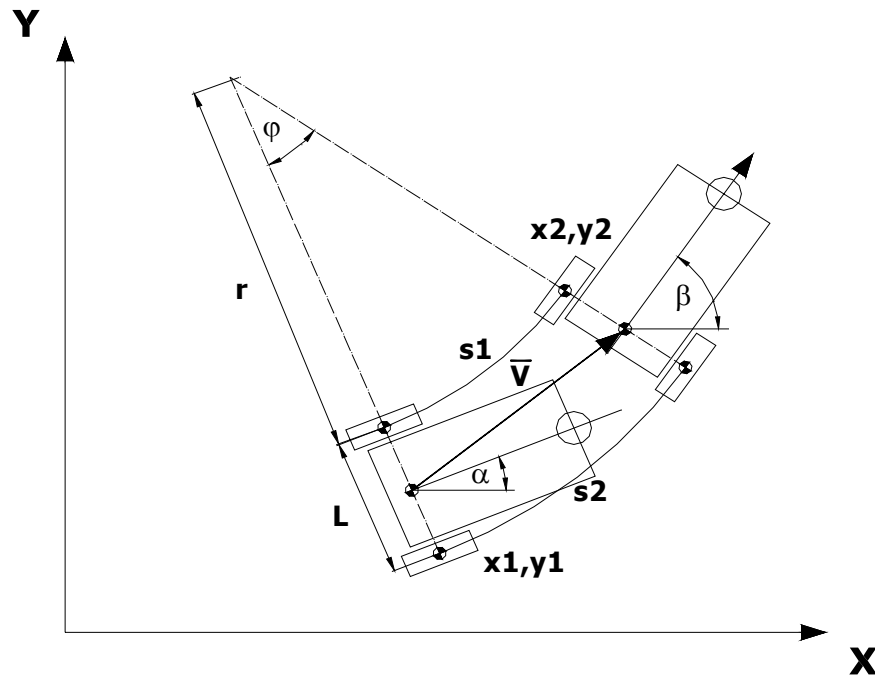
3.5.2 IB IL EC AR 48/10A szervo hajtás

Egy mobil eszköz működése szempontjából nagy jelentőséggel bír a hajtás minősége, megbízhatósága. Kis teljesítményű DC motorok hajtásvezérlésére a legegyszerűbb a pulzus szélesség moduláció (PWM²⁸) alkalmazása, így különböző kitöltési tényezőjű négyszög impulzusokkal megoldható a motor teljesítményének, ezen keresztül a fordulatszámának szabályzása. A szabályzó kör ellenőrző jele a már említett optikai enkóder lehet. Előnyös lenne azonban a motor fordulatszám szabályzását függetlenné tenni a PLC-ben futó rendszerprogramtól, mert egy bonyolultabb szabályzás jelentős részt emészt fel a rendszererőforrásokból. Az IB IL EC AR 48/10A szervo hajtás a motor fordulatszám szabályzásán kívül több plusz funkció elvégzésére képes, így alkalmas a motor fokozatos gyorsítására és fékezésére. Ezzel a funkcióval megakadályozható a kerekek kipörgése, megcsúszása az indulásnál és megállásnál. A hajtásvezérlő paramétereit egy speciális kommunikációs csatormán lehet átküldeni a helyi buszon (Local Bus), így írhatjuk a megfelelő regiszterek tartalmát, beállítva ezzel az adott paramétert. A paraméterezés nem egyszerű feladat, 120 különböző regiszterből hozzávetőleg 30 regiszter beállítása szükséges a megfelelő beállítások eléréséhez. A sebesség megkívánt értékét (speed setpoint) egy eltérő módon szintén a helyi buszon vezérlő és állapotváltozókon keresztül lehet írni és olvasni. A modul sokoldalúsága rendkívül bonyolult felépítést és paraméterezhetőséget eredményez, így használata egy kissé körülményes, azonban jelentős erőforrás-megtakarítást eredményez használata.

3.5.3 Kerékelfordulás érzékelés

A modellen használt mechanikai elrendezés látható a 35. ábrán. A robot két nagyobb méretű külön hajtott kerékkel és egy tetszőlegesen szabadon forgó támasztókerékkel rendelkezik. A hajtott kerekre kapcsolt optikai jeladók által szolgáltatott elfordulás információból a robot pozíciója a következő módon számítható.

²⁸ Pulse Width Modulation



35. ábra

Pozíció számítása a kerékelfordulás ismeretében (Szerk.: Kucséra P. AutoCAD2005)

$$\varphi = \frac{s1 - s2}{L} \quad [3.0]$$

$$|\bar{V}| = \frac{s1 + s2}{2} \quad [3.1]$$

$$\Delta x = |\bar{V}| \cdot \cos\left(\frac{\varphi}{2} + \alpha\right) \quad [3.2]$$

$$\Delta y = |\bar{V}| \cdot \sin\left(\frac{\varphi}{2} + \alpha\right) \quad [3.3]$$

Az adott mechanikai elrendezés figyelembe vételével a 3.0-3.3 képletek adódnak. Az $s1$ és $s2$, az enkóderek által mért 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. Az α a referencia koordináta-rendszerhez képesti szög, a φ a szögváltozást jelenti, V pedig az elmozdulás vektorát [3.4].

$$p' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \alpha \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} |\bar{V}| \cdot \cos\left(\frac{\varphi}{2} + \alpha\right) \\ |\bar{V}| \cdot \sin\left(\frac{\varphi}{2} + \alpha\right) \\ \varphi \end{bmatrix} \quad [3.4]$$

A fent említett módon a mobil robot elmozdulása a következő képletekkel számítható [3.5]:

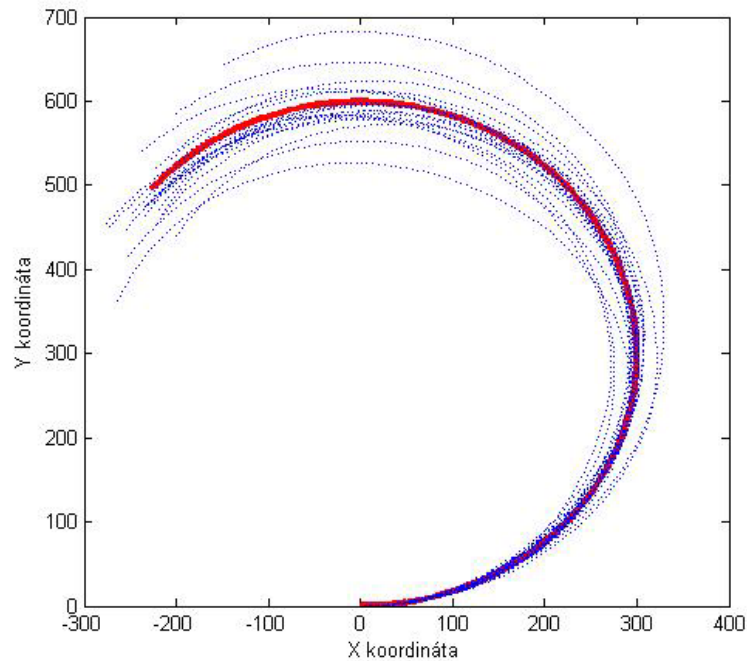
$$p' = f(x, y, \alpha, s1, s2) = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \alpha \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{s1+s2}{2} \cos\left(\frac{s1-s2}{2 \cdot L} + \alpha\right) \\ \frac{s1+s2}{2} \sin\left(\frac{s1-s2}{2 \cdot L} + \alpha\right) \\ \frac{s1-s2}{L} \end{bmatrix} \quad [3.5]$$

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. Ebben az esetben a képletben szereplő r végtelen értékű, így erre az esetre speciális algoritmus szükséges.

A fent említett képletek programban történő megvalósítása, az enkóderek 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. [71] 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.

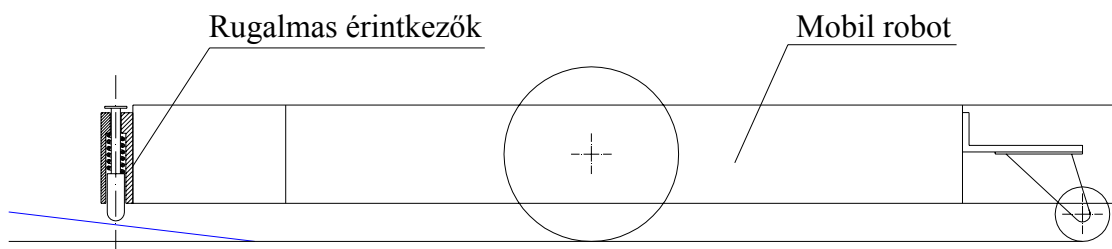


36. ábra

A kerékelfordulásból számított pozíció hibájának modellezése (Készítette: Kucsera P. MATLAB 7.0.1)

3.5.4 A dokkoló egység felépítése

A dokkolás egy rendkívül kritikus művelet, mivel a dokkolás során a robot egy adott pontra megadott irányból áll be, igen nagy pontossággal. Sikeres dokkolás esetén lehetséges a robot akkumulátorainak töltése, vagy a hasznos terhek cseréje.



37. ábra

A dokkolás során létrejövő elektromos kontaktus mechanikai kialakítása

(Készítette: Kucsera P. AutoCAD2005)

Az általam megalkotott rendszer rugalmas érintkezők segítségével hoz létre elektromos kontaktust egy ferde vezetősávval. Amennyiben a kontaktus létrejött a vezérlőrendszer ezt észleli, és a roboton található akkumulátort töltési üzemmódba kapcsolja.

3.5.5 Dokkolást segítő képfeldolgozó rendszer kialakításának lehetőségei

A dokkolás igen kritikus művelet, melynek során a mobil robot rendkívül precíz helymeghatározási módszert kell, hogy alkalmazzon. A kerekek elfordulásából számított pozíció meghatározás alkalmas a pálya lejárására, de nem alkalmas a dokkoló-állomásra történő rávezetésre .

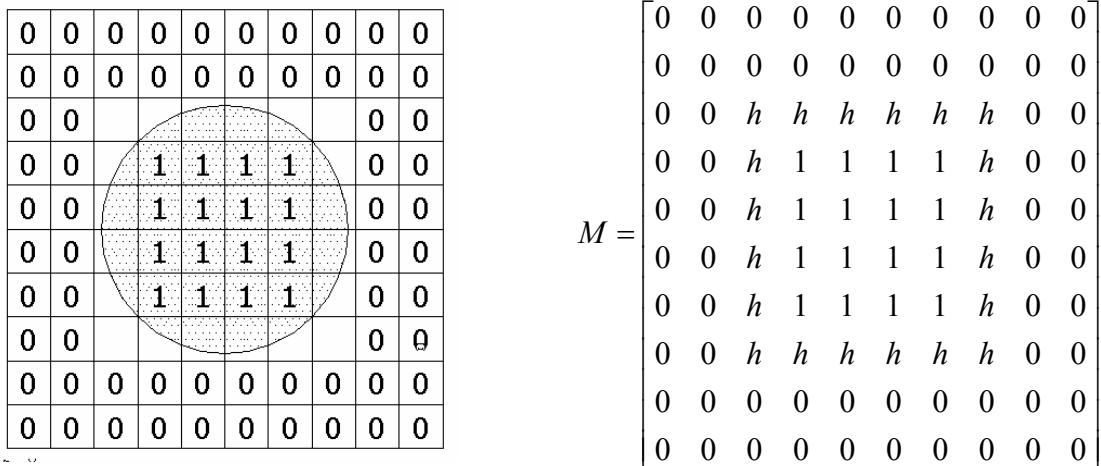
Tipikus megoldás a dokkoláskor valamilyen irányfény, vagy sugárzás kibocsátása, melyet a robot észlelve képes követni és az elvezeti a megfelelő dokkolási pontba. Szintén alkalmazható a földre festett eltérő színű pálya, vagy vonal. Ezen megoldások korlátozottan képesek dinamikus környezetben működni, mivel dinamikus objektumok (pl. mozgó emberek vagy járművek, esetleg egy másik robot) eltakarhatják a tájékozódást segítő jelzést. Előnyösebb, ha egy telepített helyen található fix rendszer képes felismerni, észlelni a mobil egységet, azt beazonosítva képes a megfelelő pozíció adatokat számára elküldeni. Az általam készített testrendszer is ezeket az elveket követi. Egy fixen telepített monokróm CCD kamera képét feldolgozó rendszer képes felismerni a robotra festett szimbólumot, és képes a szimbólum egy adott referenciaponthoz viszonyított koordinátáinak megállapítására. A képfeldolgozás első lépésében a kép világosságának átlagát kell leképezni, majd ezen átlaggal arányosan egy küszöbszinhez képest a képet szűrni kell. A szűrés után egy adott képpont értéke 1, ha a világossága nagyobb, mint az átlaggal arányos érték, 0, ha kisebb (3.7-es képlet).

$$p(x,y) = \begin{cases} 1 & \mu(x,y) > \mu_a \cdot \alpha \\ 0 & \mu(x,y) < \mu_a \cdot \alpha \end{cases} \quad [3.7]$$

Ahol $\mu(x,y)$ – az adott pont világosság értéke (brightness), μ_a – az átlagos világosság (average brightness), α – küszöbszint konstans értéke.

A szűrés után a kapott értékeket egy $m \times n$ (m az egy sorba eső képpontok száma, n az oszlopok száma) elemű mátrixban kell letárolni, és egy maszk-mátrixot kell rajta végig futtatni. Egy adott méretű kör alakú szimbólum keresésére alkalmazható maszk látható a 38. ábrán. Ahol a maszkban 0 érték látható, az adott szűrt képrész sem tartalmazhat csak 0 értéket, ahol pedig 1 van, a szűrt képnek is 1-nek kell lennie. A nem definiált részek tetszőleges értéket vehetnek föl.

Ezzel az eljárással lehetséges a képből egy adott méretű tömör, sötét kör alakú szimbólum kiszűrése, melynek környezetében egy adott távolságon belül csak világos környezet található.



38. ábra

Kereső maszk, adott méretű sötét körre.

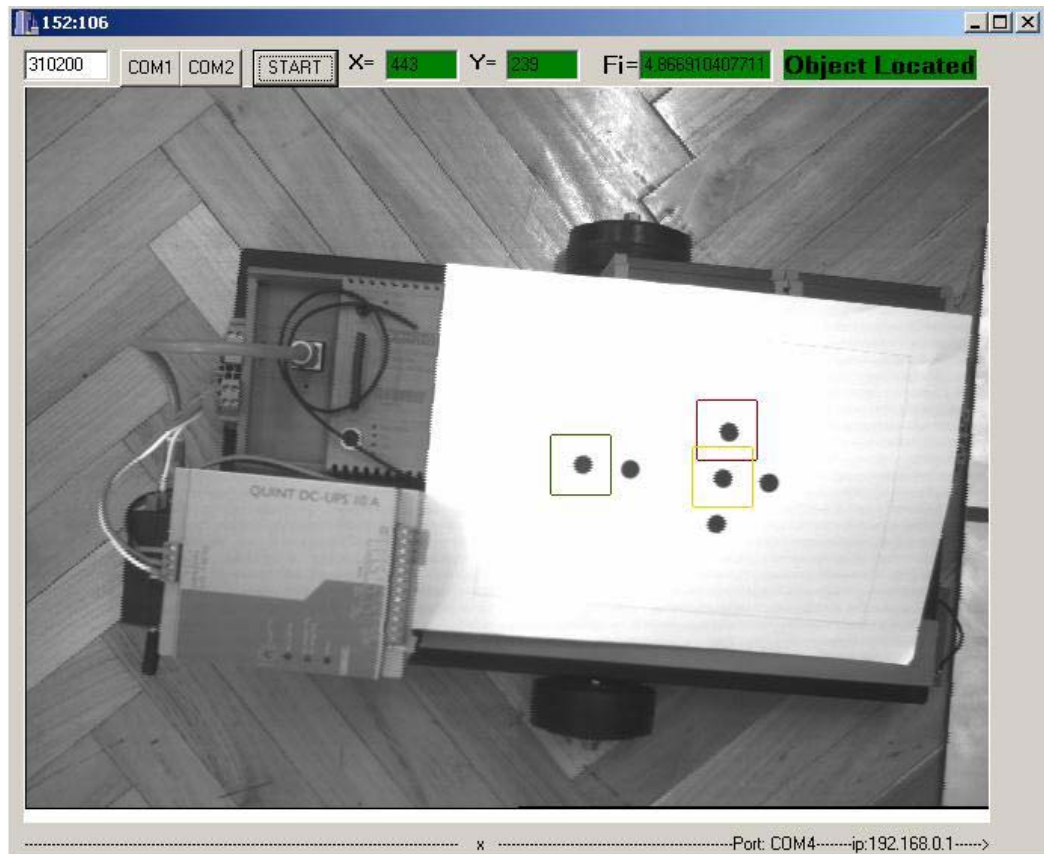
A következő lépésben azt kell vizsgálni, hogy ezek a körök egy adott geometriai elrendezés szerint helyezkednek-e el. A 39. ábrán a vizsgált teszt-elrendezés látható, mely 5 darab speciális geometriai elrendezés szerint elhelyezett fekete kiszínezett kört tartalmaz. Az elkészített program képes a szimbólum középpontjának koordinátáit megadni a képen belül, valamint képes megadni egy relatív irányszöveget.

Miután a program meghatározta a szimbólum pozícióját, a kapott adatokat át kell, hogy adja a robotrendszernek. Ez kétféleképpen történhet.

- szabványos adatátviteli réteg használatával (pl. RS232);
- közvetlenül a PLC regisztereit írva (OPC²⁹ szerver).

Bár az RS232-es soros átvitel rosszabb megoldás, viszont könnyebben kivitelezhető, így kevesebb energiát igényel, mely fontos szempont egy tesztrendszer kialakításánál.

²⁹ OLE for process control (Object-Linking and Embedding) – Folyamatirányítási nyitott kapcsolat és beágyazhatósági szabvány



39. ábra

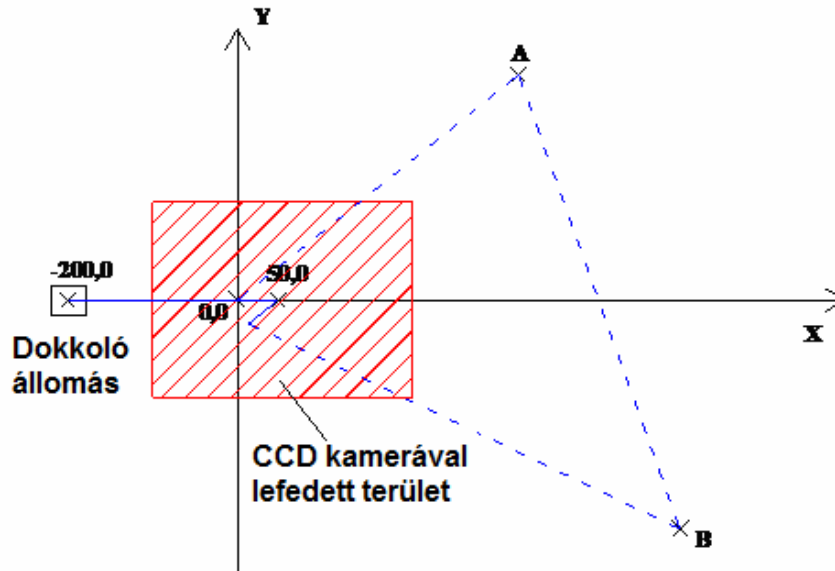
Dokkolást segítő képfeldolgozó rendszer felismerni kívánt szimbólumának képe, a képfelismerő programfutás közben. (Készítette: Kucsera P. Borland C++ Builder)

3.5.6 Dokkolás folyamata

A kerekek elfordulásából számított pozíció mindig hibával terhelt, így ez a helymeghatározási mód csak közelítő pozíció adatokat szolgáltat. A robot a kijelölt pálya lejárása közben csak megközelítőleg talál rá a kijelölt sarokpontokra. A pontos pozíció meghatározása lehetséges azonban a fent említett kamerás pozicionáló rendszer segítségével, így a dokkolás, vagy koordináta korrekció biztonsággal elvégezhető. A dokkolási stratégiára a következő algoritmust alkalmazható:

- a robot a pálya utolsó sarokpontját érintve megkezdí a visszatérést a dokkoló állomáshoz;
- eléri az általa 0,0 koordinátapontnak vélt helyet. Ebben a pontban mind a pozíció, mind az irányvektor egy hibás értéket jelez;
- a képfelismerő rendszer meghatározza a robot pontos pozícióját és irányát, majd ezt elküldi a vezérlőegységnek.
- a vezérlő felülírja a számított koordinátákat a kapott adatokkal, majd egy megadott pontba vezéreli a robotot, ráfordulva a dokkoló állomásra;

- a képfelismerő ismét meghatározza a robot pontos pozícióját, így korrigálva az esetleges hibákat;
- a robot megkezdi a dokkolást.



40. ábra

A dokkolás folyamata (Készítette: Kucsera P. AutoCAD2005)

A leírt dokkolási algoritmussal a robot a pályán történő tetszőleges kör bejárása után is 5 mm pontossággal visszatalált a dokkoló állomásra, tehát a modell alapján kijelenthetem, hogy a kialakított algoritmus sikerrel alkalmazható mobil robotok dokkolásának elősegítésére.

3.5.7 Operátor állomás kialakítása

A robotrendszer kezelhetőségét nagyban megkönnyíti egy felhasználó barát kezelőfelület. Ez a felület lehet hordozható kivitelű **céleszköz**, mely az adott feladatra került kiképezve. Tartalmazhat botkormányt (Joystick), vagy érintőképernyőt (Touch Screen). Kialakítása lehet ütésálló, akkumulátoros táplálású. Gyakrabban előfordul azonban, hogy az operátor állomás egy hagyományos, vagy **ipari kiképzésű PC** asztali számítógépekről ismert operációs rendszerrel (Windows).

Az operátor jellemzően nem a harcvezető tartózkodó katona, hanem egy bázisállomáson lévő kezelő. Autonóm robot esetén az operátor feladata a robot feladatának kiadása és a robot által gyűjtött információk kiértékelése. Amennyiben az operátor számítógépe megsérül, a robot zavartalanul képes küldetésének folytatására,

mivel a vezérlést a robot fedélzetén található CPU végzi. Ez indokolja azt, hogy az operátor állomással szemben támasztott megbízhatósági elvárások lényegesen lazábbak.

Az operátor által kezelt felület kialakításánál fontos szempont **az egyszerű, célratörő, átlátható kialakítás**. Gyakran az operátor nem rendelkezik mérnöki ismeretekkel, ezért nem szabad az általa kezelt felületet mérnöki szemmel alkotni. Nem előnyös egy képernyőn túl sok adat megjelenítése, mert így a kezelés körülményessé válik, a hibaüzenetek nem válnak elég szembetűnővé. Az esetleges hibák, események naplózása segíthet a küldetés dokumentálásában, a későbbi kiértékelésben, az esetleges operátori hibák megállapításában. Hibaeset bekövetkezése után a hibát nyugtázni kell, így tudatva a rendszerrel, hogy a hiba ki lett javítva.

Szintén fontos, amennyiben egy rendszert több operátor üzemeltet, hogy mindenki csak a saját jogosultsága által megengedett funkciókhoz férjen hozzá. A kezelést így csak megfelelő jelszó és felhasználónév megadása után kezdheti meg a kezelő.

Szintén az operátor állomás feladata a megfelelő adatok vezérlőből történő kinyerése.

Az operátor állomáson futó program lehet:

- egyedi igényekre kialakított program;
- ipari vizualizáló program segítségével készített operátor felület.

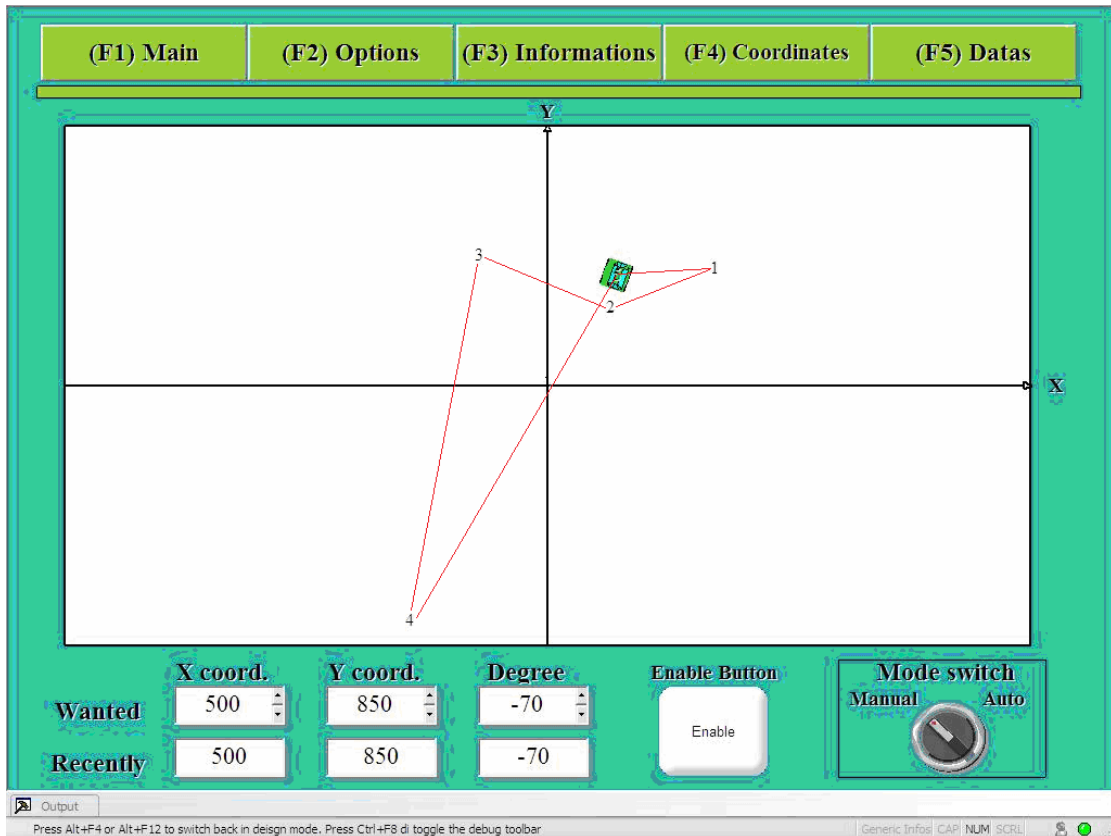
Az **egyedi igényekre kialakított program** módosítása körülményes, jellemzően a program írója szükséges minden változtatáshoz.

Az iparban használt vezérlők sok esetben szintén operátori kezelőfelületekhez csatlakoznak, így a fent felsorolt igények szintén felmerültek már ipari vezérlések kezelése kapcsán. Az igények kielégítésére a nagyobb automatizálási cégek kifejlesztették saját operátor felületkészítő programjaikat, melyeket SCADA³⁰ program néven forgalmazznak. Mivel az automatizálás piacán igen nagy a verseny, a cégek programjaikat, mint egy terméket próbálják értékesíteni, így a program képes más gyártók vezérlőihez is csatlakozni. Ez egy szabványos programfelület segítségével, úgynevezett OPC³¹ szerver segítségével, lehetséges, melyet minden PLC gyártó cég egy adott áron a felhasználó rendelkezésére bocsát. Tehát a kiválasztott vezérlő OPC szerverének telepítése után egy nyílt forráskódú felület hozható létre, melyre készíthető saját megjelenítő felület, vagy megvásárolható az egyik piacon kapható ipari SCADA program.

³⁰ SCADA - Supervisory Control And Data Acquisition – Felügyeleti vezérlés és adatfeldolgozás

³¹ OPC - Open Connectivity – Nyílt kapcsolódási felület

Az elkészült modell operátori felületének megalkotásához a Phoenix Contact saját SCADA programját használtam. Általában a szabványos felületek ellenére nehézkes több gyártó termékét egy rendszerré integrálni, egyszerűbb homogén rendszert létrehozni, ugyanazon gyártó termékeiből.



41. ábra

Az operátori felület kialakítása (Készítette: Kucsera P. Phoenix Contact, Visu+ 6.0)

Az elkészült operátori felületen elérhetők a robot vezérléséhez szükséges alapfunkciók: elindítás, leállítás, automata és kézi üzem közti kapcsolás. Az operátor kijelölheti a robot útvonalát, majd egy térképen követheti a robot által lejárt útvonalat, folyamatosan grafikus formában megjelenítve a robot aktuális helyzetét és irányát.

3.5.8 Vezeték nélküli kommunikáció megteremtésének lehetőségei

Szabad térben maximálisan 100m-es hatótávolság érhető el ipari WLAN eszközökkel. Példaként említeném a Phoenix Contact termékpalletájáról választott WLAN Mult Access Pont eszközt, mely egy alumínium ipari tokozásban két független WLAN kommunikációs egységet tartalmaz. Nagy különbség egy hagyományos irodai hálózati

eszközhöz képest az IP65-ös ipari tokozás, a 24V-ról történő táplálás és az különösen rövid inicializációs idő (20. kép).



20. kép
Phoenix Contact
Ipari WLAN Dual Access Point [72]



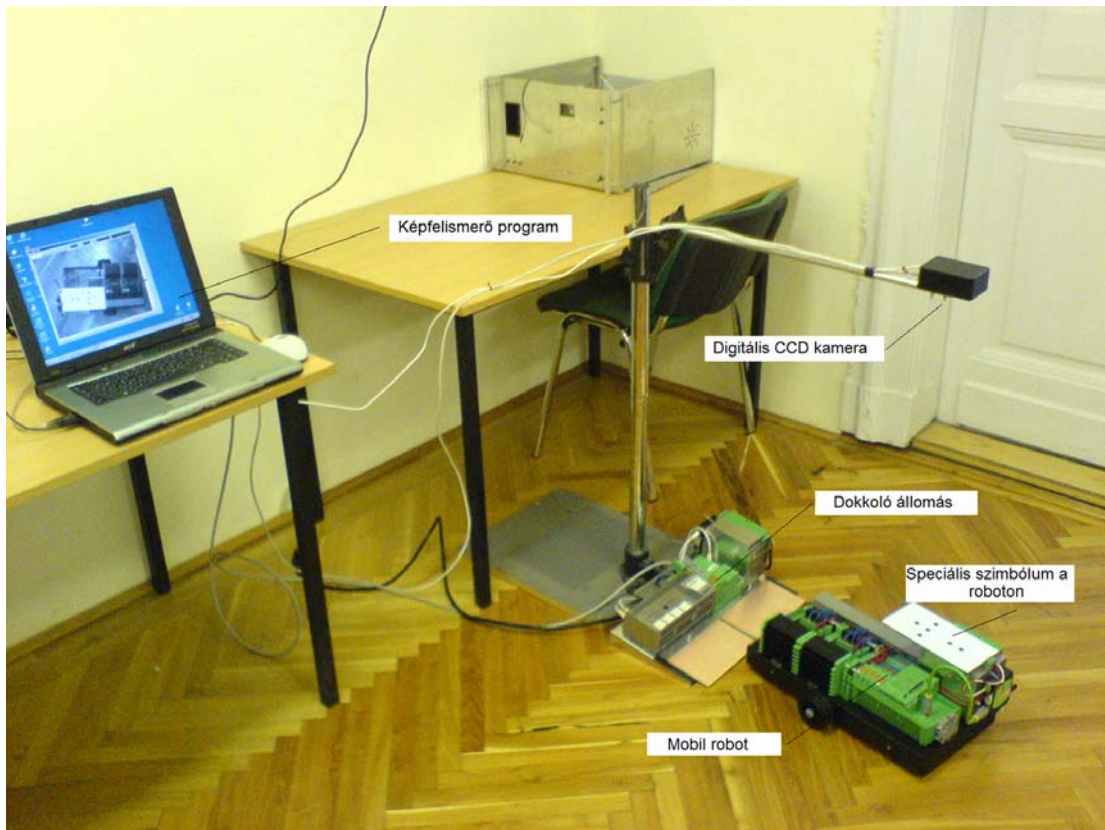
21. kép
Phoenix Contact
FL BLUETOOTH AP [73]

A 2.4 GHz-es sávban szintén elterjedt a Bluetooth³² vezeték nélküli technológia. Ez a technológia eredetileg számítógépekhez kapcsolt perifériaeszközök vezeték nélküli csatlakoztatására szolgált, ily módon csak kis működési rádiusszal rendelkezik (~10 m). A Bluetooth-nak azonban létezik ipari változata is, amely üzemekben, ipari környezetben, nagyobb távolságokra is képes kapcsolat létesítésére. Példaként említhető a Phoenix Contact FL BLUETOOTH AP nevű terméke (21. kép). Az eszköz alacsonyabb átviteli sebességgel bír (400 Kbps), de ipari kiképzése miatt szélsőségesebb körülmények között is alkalmazható, maximum 100 méteres távolságban.

Közepes távolságú vezeték nélküli adatátvitel szintén létrehozható szabványos WLAN eszközökkel, irányított antennák segítségével. A nagy távolságú mikrohullámú kommunikáció hátránya, hogy az adó és vevő között elhelyezkedő tereptárgyak csillapítják a vivőjelet.

Az elkészült rendszer tesztelése labor körülmények között hónapokig folyt. Az ipari vezérlő rendkívül megbízható működésének bizonyult. A leírt rendszert vezérlő program a használt PLC erőforrásainak 15-20%-át emésztette föl. Látható tehát, hogy a közepes teljesítményű vezérlő is képes igen komoly feladatok ellátására. A robotrendszer több ízben bemutatásra került mind hazánkban, mind külföldön, szakmai, valamint tudományos konferenciákon és mindenhol elnyerte a szakértők és a nézők tetszését is.

³² 2.4GHz-es sávban működő vezeték nélküli szabvány



42. ábra

Az elkészült teszrendszer (Készítette: Kucséra P. MS Paint)

3.6 Következtetések

Egy autonóm robot talán legfontosabb része a döntéshozó vezérlőegység és az ehhez tartozó perifériák. Ebben a fejezetben három különböző kialakítású vezérlőegység tulajdonságait vizsgáltam, és megállapítottam, hogy az ipari PLC-vel felépített moduláris vezérlőrendszer alkalmazása a legelőnyösebb szárazföldi védelmi célú mobil robotok irányítására. A moduláris felépítés igen rugalmas rendszert eredményez, a hardware fejlesztés ideje szinte nullára csökken. Egy tesztelt, ipari szabványoknak megfelelő vezérlőrendszer használata esetén a rendszer megbízhatósága jelentősen növekszik. Egyedi fejlesztésű vezérlők nem képesek versenyezni a világméretű automatizálási cégek laboratóriumaiban fejlesztett és tesztelt ipari komponensekkel, melyeknek működését a gyártó cég garantálja, és melyek évtizedek óta zavartalanul működnek több, adott esetben kritikus technológiát (vegyipari létesítmények, atomerőművek) irányító ipari környezetben.

A robotvezérlővel szemben támasztott szempontrendszer alapján egy teszrendszer alakítottam ki, melynek vezérlőrendszere csak moduláris ipari komponenseket tartalmaz. A komponenseket a Phoenix Contact, világméretű

automatizálási eszközgyártó cég termékpalettájából válogattam. Az elkészült vezérlőrendszer és a hozzá tartozó perifériák a modellen található kiépítésben képesek két, keféss vagy kefe nélküli egyenáramú enkóderes, vagy hall szenzorokkal ellátott motor kezelésére. Szintén lehetőség van analóg és diszkrét bemeneti jelek fogadására, valamint analóg és diszkrét kimeneti jelek kiadására. A vezérlőrendszer központi CPU egysége egy ipari PLC, mely képes egy mobil robot vezérléséhez szükséges számítások elvégzésére. A szükséges kommunikáció egy Ethernet alapú, de a hagyományos TCP/IP protokollnál lényegesen biztonságosabb, úgynevezett PROFINET protokoll segítségével történik. A vezeték nélküli kapcsolat ipari WLAN vagy ipari BLUETOOTH eszközök segítségével valósítható meg. A rendszer programozása magas szintű, ipari szabványoknak megfelelő felületen zajlik. Az operátor állomás szintén ugyanezen cég által fejlesztett környezetben készült. **Látható, hogy minden komponens adott egy teljes robotvezérlő rendszer megalkotásához.** A rendszer fejlesztése csupán újabb modulok csatlakoztatását igényli, így gyorsan és megbízhatóan alakíthatók ki különböző képességű vezérlőrendszerek. A rendszer tesztelése során nem volt tapasztalható semmilyen rendellenes működés. A vezérlőprogram a CPU erőforrásainak csupán 15 - 20%-át használta, így a rendszer képessége még jelentősen tovább fejleszthetőek.

A szárazföldi mobil robot működése során **kritikus művelet a dokkolás**, mivel ekkor nagy pontosságú pozícióra történő beállítás szükséges. A dokkolás jellemzően épületen belül vagy egy épület közelében történik, így például GPS jelek vétele nem lehetséges. A dokkolás közbeni navigációra jelent megoldást egy olyan képfeldolgozó rendszer, amely egy a roboton található szimbólumot, vagy magát a robotot felismerve, megállapítja annak pozícióját és ezt az adatot továbbítja a robot vezérlőjének. A rendszer alkalmazhatóságát vizsgáltam a megépített robotrendszeren és **megállapítottam, hogy megfelelően alkalmazható.** A dokkolás jellemzően egy a dokkoló által kibocsátott sugárnyaláb követésével valósul meg, ez a megoldás azonban nehezen alkalmazható dinamikus környezetben, mivel a robot környezetében mozgó gépek, személyek eltakarhatják a kibocsátott nyálábot. **A kamerás pozicionálás képes alkalmazkodni a dinamikus környezethez.** A kamerát a robot fölött, például a dokkoló helység mennyezetére érdemes rögzíteni, így semmi nem takarhatja le.

IV. FEJEZET

VÉDELMI CÉLÚ SZÁRAZFÖLDI ROBOT

KÖVETELMÉNYRENDSZERE, A KÖVETELMÉNYRENDSZER ALAPJÁN EGY LEHETSÉGES ALKALMAZÁS TERVEZÉSE

4.1 Védelmi célú szárazföldi robot követelményrendszere

Mielőtt a követelményrendszer felállításra kerülne, definiálni kell az alkalmazási területet. Az általam felállított követelményrendszer egy Magyarországon bevethető, tehát a magyar időjárási és domborzati viszonyokhoz alkalmazkodó robotrendszert ír le. A hőmérséklet hazánkban -20°C és $+45^{\circ}\text{C}$ között ingadozik. A robot jellemző alkalmazása egy katonai bázis közelében kültéren és épületeken belül (csarnokok, raktárak) történhet, kötött talajon, földúton, murván, vagy úthálózattal ellátott területen. A definiált maximális emelkedés 30° , ez az emelkedés azonban csak helyenként fordul elő, így nem elvárt a maximális sebesség a legnagyobb emelkedés esetén. A robot nem üzemeltethető víz alatt, azonban bármely irányból ráfröccsenő víz nem károsíthatja működését. Szintén elvárás a porral szembeni rezisztencia (ez az ipari IP65-ös védettségnek felel meg). [74] Maximálisan 5g rázkódás engedett meg (DIN EN 60068-2-29), tehát nem elvárás a robot eldobhatósága. A robot minimális has-magasságát 150 mm-re definiálom.

A követelményrendszer felállítása során a következő területeket vizsgáltam:

- mechanikai kialakítás;
- meghajtás;
- energiaellátás;
- vezérlés;
- navigáció, akadály felismerés;
- egyéb szenzorok;
- kommunikáció;
- robotrendszer kiegészítő elemei.

4.1.1 Mechanikai kialakítás

Védelmi célú szárazföldi robotok hordozóplatformjának tervezésénél, **keréken gördülő mechanikai kialakítást javaslok**, mivel az adott terepviszonyok mellett ebben az esetben nyerhető a legnagyobb sebesség a legkisebb betáplált energiával. A keréken gördülő mechanikai kialakítás egyszerű felépítést, halk működést és jó terepjáró képességet eredményez.

4.1.2 Meghajtás

A meghajtómotor megválasztásánál elektromos és belső égésű motorok alkalmazása lehetséges. Mivel a robot zárt térben működik, belső égésű motorok alkalmazása nem lehetséges, a motor által kibocsátott égéstermék miatt. A belső égésű motorok esetében a kisugárzott hő és akusztikai rezgések miatt egy felderítő robot könnyen észrevehetővé válik. Ezen hatások csökkentése (hangszigetelés) körülményes és költséges. A belső égésű motorok nagy előnye a rendkívül előnyös teljesítmény-súly arány (P/m), amennyiben a teljes rendszer, azaz a motort és a tápláló energiát biztosító rendszert is vizsgáljuk.

6. táblázat Elektromos és belső égésű motorok megválasztásának szempontjai

Motor típus	Zaj	Hő	Káros Anyag	P/m	Rendelkezésre állás	Komp-lexitás	Vezérelhetőség
Belső égésű	-	-	-	+	+	-	-
Elektromos	+	+	+	-	-	+	+

Az elektromos motorok halk működésre képesek, hő kibocsátásuk nem jelentős, működésük során semmilyen káros anyag nem keletkezik. Működtetésük akkumulátorról (esetleg üzemanyagcelláról) történik, a robot a működtető energiát magával hordozza, így a teljesítmény-súly arány leromlik. Az elektromos motorokat tápláló akkumulátorok lemerülése esetén, azokat tölteni kell. Mivel a töltés hosszú időt vesz igénybe a rendszer rendelkezésre állása leromlik. A belső égésű motorok üzemanyag utántöltése lényegesen rövidebb időt vesz igénybe. A elektromos motorok széles fordulatszám tartományban képesek nagy forgató nyomaték biztosítására, így nem szükséges váltó és kuplungszerkezet alkalmazása, valamint elektromos jelekkel lehetséges a fordulatszám változtatása. Ez nagyban megkönnyíti a motor vezérelhetőségét. A belső égésű motorok mechanikailag bonyolultabb szerkezetek, ezért

meghibásodási valószínűségük és karbantartási igényük magasabb. A két motortípus tulajdonságainak összehasonlítása a 6. táblázatban látható.

Amennyiben a rendelkezésre állás és a teljesítmény súly-arány (ez általában a hatótávolsággal arányos érték) a két legfontosabb szempont és nincs olyan paraméter, ami a belső égésű motorok alkalmazását kizárná (zaj, hő, káros anyag kibocsátás) javasolt belső égésű motorokkal hajtott robotplatform alkalmazása.

Elektromos motorok alkalmazása esetén kefe nélküli egyenáramú motorok alkalmazását javaslom, mivel egy mobil robot meghajtására ez a motortípus rendelkezik a legjobb paraméterekkel.

4.1.3 Energiaellátás

Egy autonóm mobil robot fedélzetén hordozza a működtetéséhez szükséges energiát. Belső égésű motorok esetében ez a motort tápláló üzemanyagot jelenti. Egy autonóm mobil robot fedélzetén minden esetben szükség van elektromos energiára is, a vezérlő és döntéshozó eszközök, aktuátorok és szenzorok táplálására. Ez az energia egy belsőégésű motorral hajtott platform esetén származhat a motorra kapcsolt generátorból. Generátor használata esetén is szükséges azonban egy akkumulátor, amely a motor leállása esetén képes a rendszer újraindítására és a kommunikáció fenntartására. Elektromos platformok esetén ez az akkumulátor jelenti az elsődleges energiahordozót, tehát megválasztása kritikus fontosságú. A legelőnyösebb megoldást üzemanyag cellák alkalmazása jelentené, mivel működésük egyedüli feltétele az üzemanyag megléte, töltésük pedig az üzemanyag utántöltéssel lehetséges (mint a belső égésű motoroknál), azonban ezen eszközök ára napjainkban még irreálisan magas, alkalmazásukat így nem javaslom. Az akkumulátor megválasztásánál fontos szempontok:

- súly-teljesítmény arány;
- megengedett töltési ciklusok száma, az akkumulátor károsodása nélkül;
- töltő és kisütő áram nagysága;
- ár.

Az akkumulátorok fejlesztése napjainkban dinamikusan zajlik, így nehéz megállapítani, hogy a piacon található akkumulátorok közül melyik felel meg leginkább a fent leírt négy követelménynek. Napjainkban Li-polimer akkumulátorok alkalmazása megoldást jelent előnyös tulajdonságaik és költséghatékonyságuk miatt.

4.1.4 Vezérlés

Védelmi célú mobil robotalkalmazásoknál ipari eszközökből felépített vezérlőegység alkalmazását javaslom. Az ipari automatizálási eszközök nagy megbízhatóságúak és szigorú tesztelési eljárásokkal validáltak, így megbízható működésüket a gyártó cég és jelentős számú működő alkalmazás bizonyítja (atomeróművek, autógyarak...). **A piacon már több világméretű cég is rendelkezik olyan eszközökkel, amelyek segítségével létrehozható egy teljes mobil robot vezérlőrendszer (annak ellenére, hogy ezek az eszközök nem kifejezetten erre a célra kerültek kifejlesztésre), így hardware fejlesztésre egyáltalán nincs szükség.**

4.1.5 Navigáció, akadály felismerés

Hatékony abszolút navigáció valósítható meg műholdas globális helymeghatározó rendszer (GPS) alkalmazásával. A GPS nem használható azonban épületeken belül, vagy olyan helyeken, ahol a rálátás nem biztosított. A GPS rendszerekkel kapcsolatban szintén probléma, hogy a rendszert üzemeltető szervezet háborús körülmények között leronthatja, vagy akár meg is szüntetheti a szolgáltatást. **Ezek alapján egy GPS vevő rendszerbe integrálása szükséges, de a navigáció nem bízható csupán erre az egy eszközre.**

A navigáció egy lehetséges módja, a pozíció kiszámítása az elmozdulásból, vagy a gyorsulás és elfordulás mérésével. Az elmozdulás a kerekre rögzített enkóderek segítségével, a gyorsulás és elfordulás, gyorsulásmérők és girószkopok segítségével lehetséges. A számítás a szenzorok által szolgáltatott információk integrálásával történik, így a mérés során fellépő hiba is integrálódik. (A kerékelmozdulás mérésével a hiba az elmozdulással arányosan, a gyorsulás és elfordulás mérésével pedig az idővel arányosan nő.) **Ez a rendszer sem használható tehát kizárólagos helyzet meghatározásra, azonban rendkívül hasznos és olcsó kiegészítő szenzorként a rendszerbe integrálását feltétlenül javaslom.**

Napjainkban a lézertechnika és a képfelismerő rendszerek fejlődésével elérhetővé váltak olyan szenzorok, melyek képesek egy tér 2 vagy 3 dimenziós lepszárazására, így egy olyan mérési sorozat képződik, amely megadja a szenzor környezetében található tárgyak irányát és távolságát. A mérés történhet lézersugár segítségével (Lidar, lézer szkennerek), a fény futási idejének mérésével, vagy sztereókamerás képfeldolgozó rendszer alkalmazásával. A szenzor által szolgáltatott információk alkalmazhatók a környező akadályok felismerésére, de segítséget nyújtanak a robot pozíciójának

meghatározásában is. A környező tereptárgyak a robot mozgása közbeni figyelésével, a robot elmozdulása számítható. A sztereókamerás 3 dimenziós látás rendkívül számításigényes és nem 100%-ig megbízható eredményt szolgáltató eljárás, így a Lidar vagy lézer szkennerek alkalmazása megbízhatóbb mérési eredményt szolgáltat. **Megállapítom tehát, hogy egy jól működő mobil robothoz szükséges és kihagyhatatlan egy 3 dimenziós letapogatást végző távolságmérő rendszer (Lidar, lézer szkennerek).**

4.1.6 Egyéb szenzorok

A mobil robot kezelhetőségét nagyban megkönnyíti, a fedélzetére telepített kamera, vagy kamerarendszer. A telepített kamera vagy kamerák felfüggesztése történhet egy giroszkóppal stabilizált platformon, így a robot mozgásából adódó rezgések a képinformációból kiszűrhetők, valamint lehetőség nyílik a kamera egy ponton tartására, egy adott objektum megfigyelésére. A nem látható tartományba eső infra fény kisugárzásával, a környezet sötétben is megfigyelhető, hőkamerák alkalmazásával pedig lehetőség nyílik a környezet hősugárzásának 2 dimenziós kép formájában történő leképezésére.

A robot alkalmazási területétől függően elhelyezhetők még akusztikai, sugárzás és rezgésmérő valamint elektronikai felderítő szenzorok is.

4.1.7 Kommunikáció

A kommunikációs eszközök megválasztásánál figyelembe kell venni az átvinni kívánt adatmennyiséget. Amennyiben a robot fedélzetéről valós idejű digitális videójelet továbbítunk, ez csak nagy sebességű, széles sávú kommunikációs csatornán valósulhat meg. Amennyiben az adó és a vevő közötti rálátás biztosított, a kommunikáció megvalósítható digitális mikrohullám sávban működő eszközök segítségével (Pl. ipari WLAN). Ha a rálátás nem biztosított, földi vagy műholdas átjátszóállomás beiktatása szükséges. **Robotcsapatok alkalmazása esetén kijelölhetők olyan robotkomponensek, amelyek a kommunikáció megteremtése érdekében relé funkciót látnak el.**

4.1.7 Robotrendszer kiegészítő elemei

Egy valóságos robotrendszer működéséhez nem csupán a mobil robot egységek szükségesek. **A rendszer folyamatos működéséhez elengedhetetlen a működtető energia pótlása. Ez egy dokkolás követő feltöltés segítségével valósul meg.** A robotrendszer fontos része tehát a dokkoló állomás, vagy állomások. Dokkolás során pontos pozícióba állás szükséges, ez gyakran nem valósítható meg a robot fedélzetén található navigációs eszközökkel. Ilyen esetben egy kiegészítő pozícionáló rendszer telepítése szükséges.

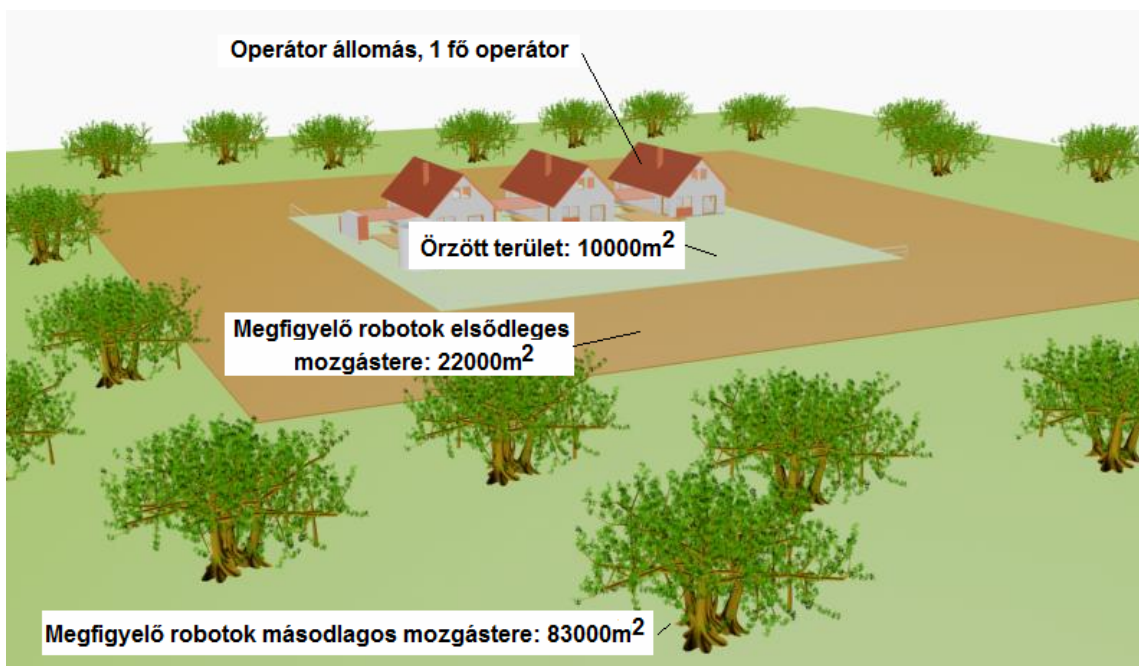
A rendszer működését megfigyelő és a parancsokat kiadó operátor vagy operátorok megfelelő munkahelyének kialakítása szintén elengedhetetlen. Az operátori munkaállomás jellemzően egy nagy megbízhatóságú számítógép, mely kapcsolatban áll az összes robotegységgel, képes azok állapotát lekérdezni, útvonalukat módosítani. **Az operátor állomáson futó program megbízhatósága és rugalmassága szintén fontos, ezért ipari SCADA rendszerek alkalmazását javaslom erre a feladatra.**

4.2 A követelményrendszer alapján kidolgozott megfigyelő robotrendszer kialakítása

A tervezett autonóm mobil robotrendszer alkalmazható egy katonai létesítmény őrzésvédelmi feladatainak ellátására valamint határvédelmi (pl. migrációfigyelés) feladatok végzésére. A rendszer egy fő operátori személyzetből, az adott terület lefedéséhez szükséges számú mobil robotból, és a robotok energiapótlását elősegítő dokkoló rendszerből és a komponensek közötti kommunikációt létrehozó eszközökből áll. A robotok mozgása előre definiált útvonalakon egy térképadatbázisban rögzített módon történik, a mobil robotok azonban az adott útvonalon előre kiszámíthatatlan időben és irányban jelenhetnek meg. A robotrendszer elemei véletlenszerűen megfigyelő módba állva, mozdulatlanul vizsgálják környezetüket, majd ismét mozgásba kezdenek. Őrzési feladatok végzésénél fontos a rendszer kiszámíthatatlansága. Egy kiszámítható rendszer esetén, amennyiben a behatoló rendelkezik tapasztalati információkkal a járőröző robotok előfordulási helyével és idejével kapcsolatban, a rendszer könnyen kijátszhatóvá válik. A felderítő robotok hőkamerával képesek érzékelni a környező élőlényeket, valós idejű képet továbbítani, a képinformáció alapján észlelni a mozgást, valamint hangérzékelő szenzorokkal felderíteni a mozgó

járműveket. Amennyiben a robot a normálistól eltérő működést észlel, riasztja az operátort.

Az operátor egy számítógép előtt ülve képes fogadni a robotokról érkező riasztásokat, képes a robotok által továbbított képek fogadására, kiértékelésére, képes a robotegységek útvonalának kijelölésére vagy megváltoztatására, valamint a robotok állapotának (akkumulátor töltöttség, rendszerdiagnosztika) lekérdezésére. A robotok, amennyiben karbantartási vagy energiapótlási igényük van, önállóan visszatérnek a bázisra. Magukat azonosítva egy speciális dokkoló épületbe navigálnak, ahol feltöltik akkumulátoraikat, vagy jelzik a meghibásodás kijavításának igényét.



43. ábra

Mobil területőrző robotrendszer feladatául szánt katonai létesítmény és környezete

(Készítette: Kucséra P. AutoCAD2005)

Példaként, a kialakítani kívánt robotrendszer őrizzen egy kisméretű katonai bázist, mely egy 100 m x 100 m-es négyzet alapú területen lett kialakítva. A robot jellemzően a bázis körüli 40 m-es sávban járőrözik, de esetenként rajtaütés szerűen kimozdul a környező 120 m-es sávba is. Így a megfigyelt terület 115600 m². Erre a feladatra két fős mobil robotrendszer kialakítását javasolom, mivel feltétel, hogy a terület állandó megfigyelés alatt álljon, így amíg az egyik robot a dokkolóban pótolja a működtető energiát, a másik képes a fő feladat ellátására. Nagyobb megbízhatóságú rendszer alakítható ki több robot alkalmazásával, ez azonban a költségeket is nagymértékben növelné.

4.2.1 Mechanika kialakítás

A mechanika kialakításnál két fontos szempontot kell figyelembe venni. Járőröző robot esetén rendkívül fontos a **hangtalan működés és a lehető legkisebb méret**, így a robot tevékenysége észrevétlen marad. A méretet úgy kell megválasztani, hogy a robot fedélzetén elférjenek a hordozni kívánt vezérlő-, és szenzorrendszerek, valamint a robot képes legyen az adott feladat elvégzéséhez szükséges üzemideig történő működésre. Nagyobb méretű robot alkalmazása esetén javítható a terepjáró képesség, valamint a robot képessé tehető a saját rendszerének védelmére (páncélzattal látható el). Túlságosan kisméretű, könnyű robot, megfelelő védelem nélkül könnyen elmozdítható, hatástalanítható, ellopható, így a méret meghatározásánál 100 kg-nál nagyobb súlyú robot fejlesztését javaslom.

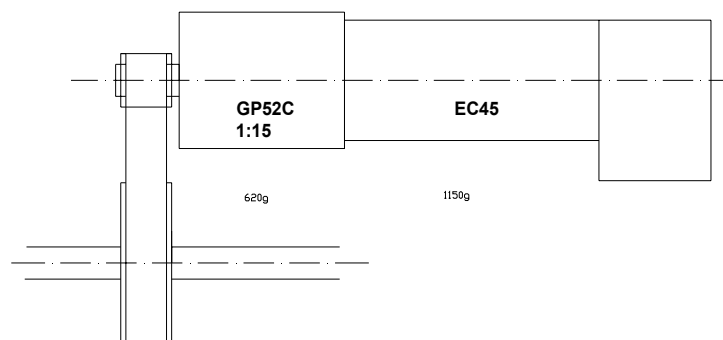
A fent említett okokat figyelembe véve a nagyobb hatásfok elérése érdekében a keréken gördülő mechanikai megoldások alkalmazása indokolt. A rendszer tervezésénél fontos szempont az elkészült rendszer költsége, valamint a rendszer flexibilitása. Ezért, egy már meglévő jó terepjáró képességű, kisméretű katonai személyszállító jármű elektromos hajtású átdolgozott változata megfelelő alapplatform lehet egy védelmi célú katonai robotrendszer kifejlesztésére. Szintén javasolnám a két hajtott kerékkel rendelkező giroszkóp segítségével egyensúlyozó mechanikát, mivel ez bizonyítottan mozgékony, jó terepjáró képességgel rendelkező hordozója lehet a tervezett rendszernek. Az elektromos hajtás indokolt, mivel a hangtalan működés alapkövetelmény. A motor megválasztásánál egyenáramú szénkefe nélküli motorok alkalmazását javaslom, mivel ezek jó hatásfokkal, teljesítmény-tömeg aránnyal rendelkeznek, valamint ritkábban igényelnek karbantartást. Ha egy 100 kg körüli súlyú robotot feltételezünk, ennek meghajtására 500 watt teljesítményű motor már megfelelő lehet, így a rendszer maximális sebessége 20 km/h körül alakul (A 4.1-es képletben $A=0.2\text{m}^2$, $c_w=0,4$). [75] A számítás nem veszi figyelembe az emelkedőn, süppedős talajban történő haladást, így csak közelítésként szolgál.

$$P_{motor} = \frac{P_{Gördülési} + P_{Légellenállás}}{\eta} = \frac{m_{\delta} \cdot g \cdot f \cdot v + \frac{\gamma \cdot c_w \cdot A \cdot v^3}{2}}{\eta} \quad [4.1]$$

- P_{motor}** Elektromos motor névleges teljesítménye (kW)
P_{Gördülési} A gördülési ellenállás leküzdéséhez szükséges teljesítmény (kW)
P_{Légellenállás} A légellenállás leküzdéséhez szükséges teljesítmény (kW)
η A hajtáslánc hatásfoka (jellemzően 0.9 - 0.95)

m₀	Megengedett legnagyobb tömeg (kg)
g	Nehézségi gyorsulás (9,81 m/s ²)
f	Gördülési ellenállási tényező (jellemzően 0.01 - 0.02)
γ	A levegő sűrűsége (1,2 kg/m ³)
c_w	Légellenállási tényező
A	Homlokfelület mérete (m ²)

Példaként a rendszer meghajtására két darab Maxon EC45 típusú motort választottam. Az EC45 üresjáratú fordulatszáma 12000 fordulat/perc, mely túlságosan magas közvetlenül a kerekek hajtására. Egy 40 cm átmérőjű kereket feltételezve, a 20 km/h maximális sebességet alapul véve 265 fordulat/perc sebességű közvetlen hajtás szükséges, tehát a motorra egy 1:45 osztású áttétellel képes a kívánt fordulatszám szolgáltatására. Az áttételezés lehetséges megvalósítása történhet egy bolygóműves áttételfej csatlakoztatásával lehetséges, majd egy láncos, vagy fogasszíjas kapcsolattal átadható a kereket hajtó tengelynek. Példaként egy 1:15 bolygóműves áttételt választottam, majd egy 1:3 fogasszíj áttételt alkalmaztam.



44. ábra

Mobil robot hajtását végző motor, áttétel, és fogasszíj hajtás

(Készítette: Kucséra P. AutoCAD2005)

A kiválasztott motor hatásfoka 83%, az áttételé 90%, így a hajtás összesített hatásfoka (a fogasszíj-hajtást nem számítva) 74,7%. A maximális forgatónyomaték az áttételezés után 12,7 Nm motoronként. Egy motor súlya az áttételekkel, tengelyekkel együtt kb. 3-4 kg.

4.2.2 Energiaellátás

A rendszer energiaellátására a legideálisabb megoldás, üzemanyagcellák alkalmazása lenne, azonban ilyen rendszer vásárlása napjainkban még rendkívül költséges.

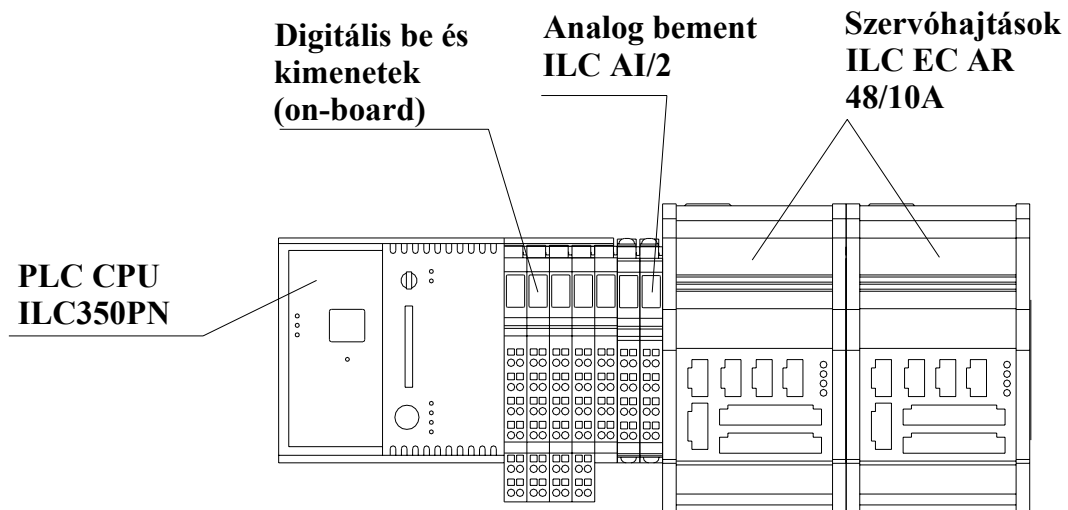
Szintén jó megoldást jelent Li-polimer akkumulátorok alkalmazása. A fent említett 500 W motorteljesítmény esetén feltételezve egy 24V-os DC motort, a maximális áram 21 A. Egy a kereskedelmi forgalomban kapható LFP90AHA típusú akkumulátort véve alapul a következő paraméterekkel számolhatunk [76]:

- cellafeszültség: 3,2V;
- kapacitás: 90Ah;
- méret: 215 x 115 x 61 mm;
- súly: 3kg.

A fent említett cellákból 8 darab szükséges az említett rendszer táplálására, az üzemidő maximális terhelésnél megközelítőleg 4,3 óra, a hatótávolság pedig ~100 km. Az akkumulátorok súlya 24 kg, mérete 215 x 115 x 488 mm. A maximális áram impulzusszerűen 900 A lehet, állandó értéken pedig 270 A. 72 A-es töltő és kisütő áram esetén a gyártó 3000 töltési ciklust garantál. Az akkumulátorok cseréje tehát ideális esetben 300.000 km megtett út után esedékes, azaz 17400 óra (~ 2 év) folyamatos üzem után. A töltés megközelítőleg 1,5 órát vesz igénybe. Az akkumulátorok kereskedelmi ára jelenleg körülbelül 1200 euró. (Az ólom akkumulátorok ára lényegesen alacsonyabb, azonban ugyanezen 90 Ah rendszer kialakítása ólom akkumulátorokból több mint 100 kg súlyt eredményezne, ami meghaladja a tervezett rendszer teljes súlyát. Az ólom akkumulátorok csak 800 körüli töltési ciklust engednek meg, így a rendszer karbantartási gyakorisága is nő.)

4.2.3 Vezérlés

A vezérlést az általam fejlesztett általános célú robotvezérlő segítségével oldanám meg. A tesztrendszeren elhelyezett vezérlőrendszer tartalmazza az összes olyan modult, I/O felületet, ami a fent említett rendszer vezérléséhez szükséges. A rendszer ismertetése a 3. fejezetben már megtörtént

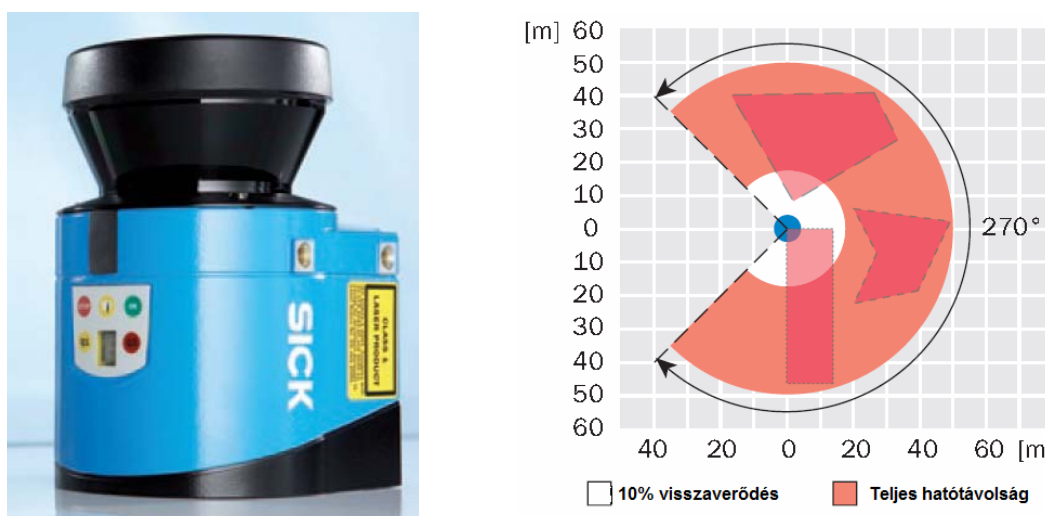


45. ábra

Az általános vezérlő eszközei (Készítette: Kucséra P. AutoCAD2005)

4.2.4 Navigáció, akadály felismerés

A navigációt a 3. fejezetben leírt szenzorfüzió segítségével javasolom megvalósítani. A környezet feltérképezése lézeres letapogatás segítségével lehetséges. A feladatra a legnagyobb lézeres távolságmérő ipari eszközöket gyártó cég, a SICK LMS100-as eszközt választottam. A mérés 270° -os nyílásszögben 50 m-es maximális hatótávolságon belül történik. A szögfelbontás $0,5^\circ$, a statikus pontosság 40 mm. A szenzor képes szabványos ipari hálózatokra történő csatlakozásra, így a vezérlő rendszerhez kapcsolása nem jelent problémát.



46. ábra

SICK LMS100 lézeres távolságmérő rendszer képe és a mérési tartomány [77]

Az LMS100 képes érzékelni a robot környezetében található tárgyak távolságát, a teljes tartomány lepásztázása 50 Hz-es frekvenciával történik, így ha a robot 20 km/h sebességgel halad, 14 cm-es elmozdulás alatt képes a szenzor a környezet teljes lepásztázására. A vezérlő algoritmus elkészítése során figyelembe kell venni a pásztázás idejét és a platform mozgási sebességével korrigálni kell a szenzor által mért eredményeket.

Az LMS100 nem csak az akadályok felismerését és a navigációt segíti, hanem alkalmazható a környezet megfigyelésére, esetleges behatólok detektálására is.

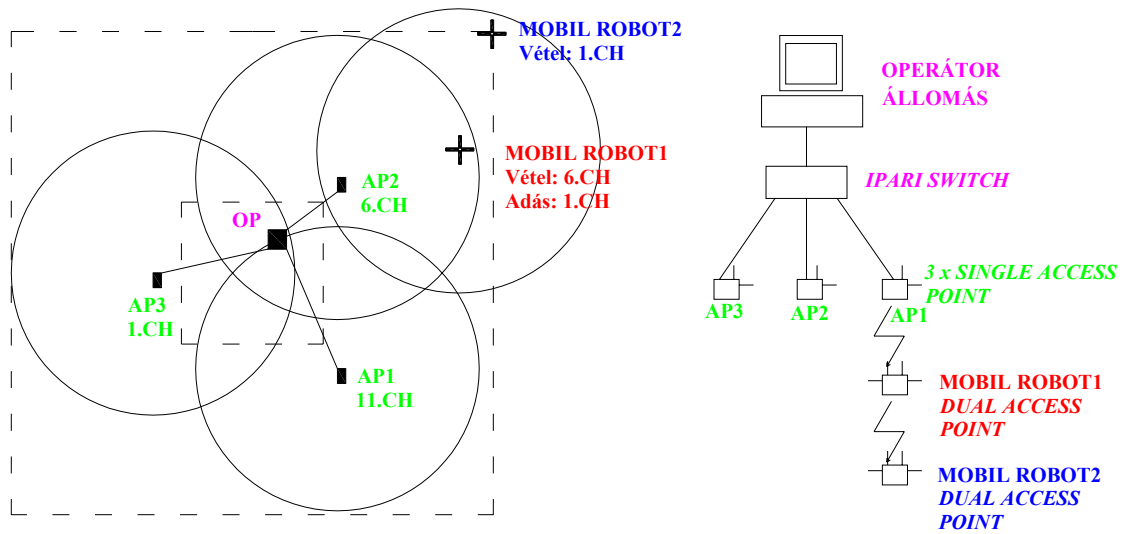
4.2.5 Szenzorok

Mivel a robot területőrzési feladatokat lát el, a platformon helyet kell biztosítani a bevetés környezetéhez igazodó felderítő szenzoroknak. Célszerű egy IP kamera elhelyezése, mely közvetlenül csatlakoztatható a robot fedélzetén található ipari Ethernet hálózatra, így képes az operátor felé valós idejű videójel továbbítására. Szintén indokolt lehet mozgásérzékelők, hőkamerák elhelyezése is.

4.2.6 Kommunikáció

Az őrizni kívánt katonai létesítmény körül járőröző robotokkal történő vezeték nélküli digitális kommunikáció megvalósítható ipari Ethernet és WLAN eszközökkel. A mobil egységeken Dual Access Point-ok kerülnének elhelyezésre, melyek három fixen telepített hozzáférési ponttal tudnának kapcsolatot létesíteni. A fix AP-k közötti kapcsolat ipari Ethernet hálózaton valósítható meg, a hozzáférési pontok egy ipari switch segítségével történő összekötésével. Ugyanezen switch-re kapcsolódna az ipari kialakítású operátor számítógép. A rendszerben egy mobil egység mindig átjátszó funkciót lát el, amennyiben a másik mobil egység a fixen telepített hozzáférési pontok hatósugarán kívül helyezkedik el. Látható, hogy a kialakított vezeték nélküli hálózat teljes mértékben lefedi a bázis területét és egy kb. 60 méteres környező sávot. A kialakított hálózat teljesítménye lehetővé teszi a roboton található digitális kamera jeleinek továbbítását, valamint a hálózat egyéb célú hasznosítását. IP lapú kamerarendszer jelei továbbíthatók, és egyéb berendezések csatlakoztatását is lehetővé teszi (beléptető, azonosító rendszer, belső számítógép hálózat, Internet csatlakozási

lehetőség). A szükséges eszközök ipari kialakításúak így az áruk is lényegesen magasabb a hagyományos irodai eszközökhöz képest.



47. ábra

Ipari vezeték nélküli hálózat kialakítása (Készítette: Kucsera P. AutoCAD2005)

Mint, ahogy azt korábban már láthattuk az operátor állomás megválasztásánál a megbízható működés és a könnyű kezelhetőség a két legfontosabb szempont. Több automatizálási eszközöket gyártó vállalat is gyárt ipari kialakítású nagy megbízhatóságú ipari számítógépeket. Az ilyen eszközök ára egy nagyságrenddel (tízszeres) magasabb a hagyományos irodai PC-knél. Egy hasonló mobil robotrendszer irányítását egy olyan kompakt PC-vel oldanám meg, amely egy házban tartalmazza a megjelenítő érintőképernyős monitort is. Így az egész rendszer csupán két csatlakozási ponttal rendelkezik (Ethernet RJ45, betáp). Amennyiben van arra igény, hogy az operátor állomás hordozható legyen, célszerű egy vezeték nélküli kliens integrálása is. A ház kialakításánál IP65 tokozást javaslok, mivel így a számítógép megfelelően védett a portól és nedvességtől. A ház anyaga lehetőleg ütésálló kialakítású legyen. A fent említett elvárásoknak megfelelő eszköz található a Phoenix Contact termékpalettáján is. A TRM5015 15” érintőképernyővel, ipari WLAN klienssel, IP65 könnyűfém házzal rendelkezik. Egy a fent említett rendszer operátori felületének futtatására alkalmas hardware eszköz ára 5000 Euró.

4.2.7 Következtetések

A tervezett rendszer két 100 kg súlyú, körülbelül 20 km/h maximális sebesség elérésére képes mobil robotból, egy operátor állomásból és a robot és az operátor közötti kapcsolatot létrehozó nagy sebességű vezeték nélküli kommunikációs eszközökből áll. A mobil robot egységek elektromos kefe nélküli motorokkal vannak meghajtva, a szükséges energiát Li-polimer akkumulátorok biztosítják. Egy töltéssel min. 4,3 óra folyamatos működés érhető el, az akkumulátorok töltése 1,5 órát vesz igénybe. A rendszer által megfigyelt terület 115600 m². A megfigyelt területen a robotok véletlenszerű sebességgel és irányban haladnak, néha megállva, megfigyelő módba kapcsolva. A rendszer vezérlését az általam tervezett ipari PLC alapú általános robotvezérlővel lehet megoldani. A rendszer vezérléséhez és a kommunikáció megvalósításához szükséges eszközök méretét, súlyát, fogyasztását és megközelítő árát a 7. táblázat tartalmazza. Az árak megállapításánál kapcsolatba léptem az adott termék forgalmazójával és árajánlatot kértem az adott eszközre. Természetesen egy működő rendszer kialakításához elengedhetetlen a megfelelő hordozó mechanika elkészítése, mely szintén komoly összegeket emészt fel. A kiszámított összeg első látásra hatalmasnak tűnik, de ha ugyanezen feladatok ellátását katonák végzik, (6 katona 3000 Euró/hó fizetéssel) a rendszer vezérlőjének ára a katonák 1,3 havi fizetésével egyenlő. Véleményem szerint a fent leírt feladatra alkalmas rendszer alakítható ki 200.000 Euróból, így a rendszer megtérülési ideje egy-két év (nem számítva a fejlesztési költségeket).

7. táblázat A tervezett mobil robotrendszer főbb paraméterei és költségei

Egység neve	Méret [mm]	Súly	Fogyasztás	Ár
Motor	2x 50x50x200	2x 1,8 kg	2x250W	2x600Euró
Akkumulátor	215x115x488	24 kg	(+90Ah, 24V)	1200 Euró
Vezérlés	70x150x400	~3kg	24W	8000 Euró
Navigáció	102x152x105	1,1kg	12W	3000 Euró
Mobil Com.	250x160x65	1 kg	10W	1500 Euró
Operátor állomás	-	-	-	5000 Euró
Kommunikáció fix	-	-	-	3000 Euró
Összesen	-	32,7 kg	546W	22900 Euró

A tervezett rendszer előnyei:

- moduláris felépítésű vezérlőegység, egyszerű fejleszthetőség, hardware változtatás nélkül;
- ipari komponensekből felépülő, ipari szabványoknak megfelelő, rendkívül megbízható rendszerkialakítás;
- a kommunikáció a mobil hálózatokhoz hasonló módon, cellaszerűen fejleszthető;
- a telepített nagy sebességű vezeték nélküli kommunikációs hálózat felhasználható egyéb adatátviteli célokra a bázis területén;
- halk működés, alacsony karbantartási szükségletet biztosító kefenélküli elektromos meghajtás;
- a Li-polimer akkumulátoroknak köszönhetően hosszú működési idő és gyors töltési idő, így magas rendelkezésre állás.

A fent leírt rendszer egy lehetséges katonai szárazföldi mobil robotalkalmazást mutat be. A rendszer alkalmazása különösen indokolt olyan környezetben, ahol a robotok háborús, vagy egyéb különösen veszélyes körülmények között járőröző katonákat helyettesítenek. A rendszer alkalmazhatóságának eldöntésénél fontos figyelembe venni a megmenthető emberi életek fontosságát, így nem lehet tehát pusztán anyagi alapon kalkulálva dönteni.

ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK

Értekezésemben definiáltam a szárazföldi mobil robotokkal kapcsolatos legfontosabb alapfogalmakat, majd áttekintettem a hazai és a világon előforduló néhány fontosabb földi mobil robotalkalmazást. **Megállapítottam, hogy napjaink földi mobil robot eszközei mechanikai felépítésüket tekintve rendkívül kifinomultak, de ma Irakban és Afganisztánban szolgálatot teljesítő földi robotok mindegyike távvezérelt.** A fejlesztések következő fázisa a robotok **autonómiájának** növelése, mivel ebben az esetben az operátor a műveleti területen kívülről, biztonságos helyről kezelheti a robotot. Autonóm rendszer esetén több robot kezelése is lehetséges egy fős operátori személyzettel. Az operátor feladata ebben az esetben már csak az utasítások kiadása, és az információk kiértékelése, így alacsonyabb képzettségű operátor is képes a feladat ellátására. **A DARPA Grand Challenge és Urban Challenge versenyei bizonyítják, hogy napjaink technológiai színvonalán már kialakítható életképes autonóm mobil robotrendszer, mely képes alkalmazkodni akár valós, dinamikusan változó, emberközeleli környezethez is.**

Az autonóm mobil robotok említése kapcsán azonnal felmerül a **robotcsapatok** lehetősége és szükségessége. Ugyanúgy, ahogy egy katona nem képes minden feladat önálló módon történő végrehajtására, egy robot sem „érthet” mindenhez. **Javaslatot tettem a feladatok megosztását lehetővé tevő, egymással kommunikáló és együttműködő robotcsapatok alkalmazására, így a teljes rendszer képességei tovább növelhetők.**

Megvizsgáltam és bemutattam a hazánkban, illetve néhány példán keresztül a világban eddig alkalmazott roboteszközöket, és ezek **alapján általános – a tervezésnél figyelembe veendő – következtetéseket vontam le a mechanikai kialakítás, az energiaellátás, a vezérlőrendszer, a szenzorok, az aktuátorok és a kommunikáció vonatkozásában.**

A napjainkban alkalmazott robotrendszerek áttekintése és rövid elemzése után megállapítottam, hogy **az autonóm szárazföldi robotok legmegfelelőbb kialakítása makro és midi robotok formájában történhet.**

Az elvégzett vizsgálatok alapján **megállapítottam, hogy amennyiben a különösen extrém terepviszonyok nem zárják ki, a keréken gördülő mobil robot kialakítás a legelőnyösebb,** mivel a kerekes hordozójármű nagyobb sebesség elérésére képes, és

energiaigénye is alacsonyabb, mint például egy lépegető struktúrájú mechanika esetén. Amennyiben a kerekek talajon történő megcsúszását meg lehet akadályozni (intelligens kipörgés gátló rendszerekkel és fokozatos gyorsítással és fékezéssel), úgy a kerekek elfordulásából számítható elmozdulás gyors navigációs adatokhoz segíti a vezérlőberendezést.

Kísérlettel bizonyítottam, hogy háromszög módszerrel kétdimenziós távolságmérés valósítható meg, azonban ez a mérési módszer rendkívül érzékeny a környezeti fényviszonyokra és a környezet gyors változására, **ezért megállapítottam, hogy ez a szenzor csak laboratóriumi, kísérleti célokra alkalmazható.** A szárazföldi mobil robotok fedélzetén a futási idő mérésén alapuló távolságmérő szenzorok alkalmazása szükséges. **Ajánlom tehát a robot navigációs és akadályfelismerő szenzoraként lézer szkennert alkalmazását.**

Bizonyítottam, hogy csupán egy szenzor alkalmazása soha nem nyújt megoldást a navigáció és az akadály felismerés megvalósítására, a probléma több szenzor jeleinek összevetésével, fúzionálásával oldható csak meg.

A mobil robot a működtető energiát is kénytelen magával hordani, így az energiaszolgáltató egység súlya és mérete nagyban befolyásolja a mobil robot méretét és sebességét, a tárolt energia pedig a bevetési hatótávolságát. A lehetőségek áttekintése után **arra a következtetésre jutottam, hogy belső égésű motorokkal** érhető el a legnagyobb energiasűrűség és a legjobb teljesítmény-tömeg arány, azonban a működésükkel járó zaj és hőszugárzás sok esetben megnehezíti, vagy egyes esetekben ki is zárja alkalmazásukat, mivel a robot könnyen felderíthetővé válik. Véleményem szerint az **üzemanyagcellák alkalmazása jelentené a legideálisabb megoldást**, mivel a belső égésű motorokhoz hasonlóan a cella mindaddig képes energiát szolgáltatni, amíg üzemanyag áll rendelkezésre. Az üzemanyag újratöltése gyors folyamat, így a rendszer rendelkezésre állási ideje magas. Az üzemanyagcellák elterjedtsége azonban napjainkban igen alacsony, árak magas, beszerezhetőségük bonyolult. **Amennyiben a rendkívül költséges üzemanyagcellák alkalmazására nincs lehetőség, vagy a feladat alkalmazásukat nem indokolja, a Li-polimer akkumulátorok alkalmazása jó megoldást jelent.**

Egy autonóm robot talán legfontosabb része a döntéshozó vezérlőegység és az ehhez tartozó perifériák. A harmadik fejezetben három különböző kialakítású vezérlőegység tulajdonságait vizsgáltam, **és megállapítottam, hogy az ipari PLC-vel felépített moduláris vezérlőrendszer alkalmazása a legelőnyösebb szárazföldi védelmi célú**

mobil robotok irányítására. A moduláris felépítés igen rugalmas rendszert eredményez, a hardware fejlesztés ideje szinte nullára csökken. Egy tesztelt, ipari szabványoknak megfelelő vezérlőrendszer használata esetén a rendszer megbízhatósága jelentősen növekszik.

A vezérlő berendezés kialakításánál **három lehetséges fejlesztési irányt állapítottam meg.** Az első, az egyedi fejlesztésű mikrokontroller vagy FPGA alapú rendszer kialakítás, a második a beágyazott ipari PC alapú vezérlő, a harmadik pedig az ipari PLC alapú vezérlőrendszer. **Megállapítottam, hogy kis gyártmányszériák esetén az ipari PLC alapú rendszerek alkalmazása a legkedvezőbb,** mivel ezek használatával rendkívül flexibilis rendszer alakítható ki, hardware fejlesztés nélkül. Az ipari eszközök szigorú szabványokban rögzített megbízhatósági kritériumoknak megfelelő berendezések, használatukkal lényegesen nagyobb megbízhatóság érhető el, mint egyedi fejlesztésű berendezések alkalmazásával. Az ipari eszközök ára magas, azonban kis szériás gyártás esetén megtakarítás érhető el mind a mérnöki órák tekintetében, mind a fejlesztési időben.

Egy univerzális PLC alapú mobil robot vezérlő megalkotásával és tesztelésével **bizonyítottam az ipari eszközök mobil robotokban történő alkalmazhatóságát,** valamint azt, hogy ipari komponenseket gyártó cégek termékeiből kialakítható egy teljes mobil robot vezérlőrendszer. Munkám során **kifejlesztettem egy flexibilis, általános célú robotvezérlőt,** mely hardware fejlesztés nélkül alkalmazható földi mobil robotok fedélzetén. Az általam készített univerzális mobil robot vezérlő képes tetszőleges szárazföldi hordozóeszközök vezérlésére, a szenzorok jeleinek fogadására. A rendszer előnye a moduláris kialakítás, mivel megfelelő modulok csatlakoztatásával a rendszer a legkülönbözőbb platformokon alkalmazható.

Az elkészült modell fejlesztése során a dokkolás lehetőségeit kutattam és megalkottam egy dokkolást segítő képfeldolgozó rendszert, melynek működését kísérletekkel igazoltam. A képfeldolgozó rendszer képes egy, a robot fedélzetén elhelyezett szimbólum felismerésére és pozíciójának meghatározására, így a dokkolás során szükséges navigációt a dokkoló állomás fölé telepített kamerás pozicionáló rendszer képes sikeresen ellátni.

A megalkotott **általános követelményrendszer alapján javaslatot tettem egy valós katonai alkalmazású szárazföldi autonóm mobil robotrendszer kialakítására.** A rendszer egy katonai terület őrzését, felügyeletét végezheti. A vezérléshez, a navigációhoz és a meghajtáshoz szükséges eszközöket specifikálva, gyakorlati eszközöket választva vizsgáltam a rendszer főbb paramétereit és a fejlesztés költségeit.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Megvizsgáltam és elemeztem a hazánkban, illetve a világban eddig alkalmazott roboteszközök jellemző típusait, és ezek alapján tudományos alapossággal **meghatároztam a szárazföldi mobil robotrendszer tervezéséhez szükséges általános szempontokat és kritériumokat.**
2. A szárazföldi robotok rendszertechnikai felépítését áttekintve **javaslatot tettem szárazföldi, autonóm mobil robot eszköz vonatkozásában a hordozó mechanika, az energiaellátás, a szenzorrendszerek és a vezérlőrendszer konkrét kialakítására.**
3. Megvizsgáltam egy általam készített ipari PLC alapú autonóm mobil robotvezérlő működését, és megállapítottam, hogy ezzel nagy megbízhatóságú rugalmas robotvezérlő készíthető. Ennek megfelelően ipari eszközökből felépítve, rövid fejlesztési idő alatt valósítható meg a mobil robot központi vezérlőrendszere. **Mindezekkel bizonyítottam, hogy flexibilis, nagy megbízhatóságú robot vezérlőrendszer alkotható ipari eszközök segítségével.**
4. Megalkottam egy kamerás pozicionáló rendszer modellt, amelyet vizsgálva **megállapítottam és bizonyítottam, hogy kamerás pozicionáló rendszerrel gyors és biztonságos módon oldható meg a dokkolás kritikus művelete szárazföldi mobil robotok esetén.**
5. Az általam kidolgozott követelményrendszer alapján **javaslatot tettem egy lehetséges védelmi funkciót ellátó mobil robotrendszer kialakítására.**

AJÁNLÁSOK

Az általam tervezett szárazföldi autonóm mobil robotrendszert javaslom alkalmazni katonai területek őrzésére, határőrzési feladatok ellátására, épületen belüli és szabadtéri területőrzési funkciók betöltésére, így javaslom az értekezést a Magyar Honvédség és Magyar Rendőrség figyelmébe. Ajánlom egy hasonló kialakítású rendszer gyakorlati megvalósítását, és külföldön küldetést teljesítő ENSZ vagy NATO missziók felderítő kiegészítő eszközekén történő alkalmazását.

A tervezett rendszer szintén alkalmazható polgári létesítmények őrzésére, valamint a létesítményeken belüli árutovábbító funkciók ellátására.

A mobil robotika rohamos fejlődése szükségessé teszi a mobil robotrendszerek oktatásba történő beintegrálását. Ajánlom a dolgozatot autonóm mobil robotrendszerek oktatásával vagy fejlesztésével foglalkozó felsőoktatási intézményeknek.

Budapest, 2009. 01. 05.

Kucsera Péter

PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK

Lektorált hazai cikkek:

1. **Autonóm mobil szárazföldi robotok helyzete és alkalmazási lehetőségei a 21. században**, Robothadviselés 5. Tudományos Konferencia 2005. nov. 24., Bolyai Szemle 2006, XV. Évf. 1. szám p. 204-217, ISSN 1416-1443
2. **Zárt térben használható földi mobil robotok navigációs és akadályfelismerő szenzorrendszerei, a beltéri navigáció lehetőségei**, GÉP A Gépipari Tudományos Egyesület műszaki folyóirata, 2006/5 LVII. évfolyam p. 29-36. ISSN 0016-8572
3. **Moduláris felépítésű mobil robotikai alkalmazások kialakítási szempontjai**, Hadmérnök I. Évfolyam 3. szám - 2006. december ISSN 1788-1919
4. **Autonóm szárazföldi mobil robotok térhódítása**, Hadmérnök II. Évfolyam 1. szám - 2007. március ISSN 1788-1919

Hazai folyóirat cikkek:

5. **Intelligens szárazföldi mobil robotok napjainkban**, Metagalaktika 2007 v9.5 p.186-191. ISSN 0209-9934
6. **Zsúri különdíjjal tért haza a BMF Kandó csapata a Design Challenge 2007 nemzetközi robotépítő versenyről**, Hadmérnök II. Évfolyam 2. szám - 2007. június ISSN 1788-1919

Lektorált idegen nyelvű cikkek:

7. **Sensors For Mobile Robot Systems**, Academic and Applied Research in Military Science, Volume 5, Issue 4, 2006 p.645-658. ISSN 1588-8789
8. **Industrial Component-based Sample Mobile Robot System**, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 4 Issue Number 4 2007 ISSN 1785-8860

Konferencia kiadványok:

9. **Introduction to Mobile Robotics XXIIIth Kandó Conference 2006** ISBN 963-7154-42-6

10. **Industrial Modular Structure Mobile Robot Application** Proceedings of 16th Int. Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region - RAAD 2007 Ljubljana, 2007, p.413-418. ISBN 978-961-243-067-2
11. **Modular industrial mobile robot systems, mobile robot docking XXV.** International Wissenschaftliches Kolloquium Schweinfurt 2007 Konferenciakaidvány
12. **Experimental mobile robot system built up from industrial components** 8th International Symposium of Hungarian Research on Computational Intelligence and Informatics Budapest 2007 ISBN 978-963-7154-65-2
13. **Mobil szárazföldi robotok hordozó platformjának kialakítási lehetőségei** XXIVth Kandó Conference 2008 ISBN 978-963-7154-74-4
14. **Szárazföldi autonóm mobil robotok vezérlőrendszerének kialakítási lehetőségei**, Robothadviselés 8. Tudományos konferencia 2008, *Kiadvány megjelenés alatt.*

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **NOEL SHARKEY**, *Cassandra or False Prophet of Doom: Ai Robots and War*, IEEE Intelligent Systems, 2008. 08
- [2] **ISO** „*Manipulating industrial robots*”. ISO8373:1996 Nemzetközi Szabványügyi Szervezet
- [3] **KÖMLÓDI F.** „*Autonóm mobil robotok IT3 tanulmány*”, <http://www.nhit-it3.hu/>
Letöltve: 2008.02.20
- [4] **GIBILISCO S.**, „*Concise Encyclopedia of Robotics*”, McGraw-Hill 2003
- [5] **VÁNYA L.** „*Excepts from the history of unmanned ground vehicles development in the USA*”, AARMS 2003/2, ZMNE, Budapest, 2003
- [6] **VÁRHEGYI I.** „*Robotok és az információs hadviselés.*” Hadtudományi Tájékoztató 2001/7. sz., II. rész, Budapest, 2001
- [7] **GÁCSE Z.**, *Tűzszerész és felderítő robotok a magyar haderőben*”, Hadmérnök, Robothadviselés 7. tudományos szakmai konferencia különszám, 2007 november
- [8] „*F6A – The Industry’s Most Versatile Platform*”,
<http://www.ms.northropgrumman.com/Remotec/f6a.htm>, Letöltve: 2009.01.04
- [9] **SZÜCS L.** „*Tanulják a robot kezelését*”,
http://www.honvedelem.hu/cikk/0/9952/robotkezeloi_tanfolyam.html, Letöltve: 2009.01.04
- [10] **GÁCSE Z.**, *Tűzszerész és felderítő robotok a magyar haderőben*”, Hadmérnök, Robothadviselés 7. tudományos szakmai konferencia különszám, 2007 november
- [11] **VÁNYA L.** „*Alkalmazott robottechnológia a Magyar Honvédségben*”, Robothadviselés 7. Hadmérnök különszám
- [12] **KUCSERA P.**, „*Autonóm mobil szárazföldi robotok helyzete és alkalmazási lehetőségei a 21. században*”, Robothadviselés 5. Tudományos Konferencia 2005. nov. 24., Bolyai Szemle 2006, XV. Évf. 1. szám p.204-217, ISSN 1416-1443
- [13] **iROBOT** “*PackBot EOD Unmanned Tactical Mobile Robot*”,
<http://www.armedforces-int.com/categories/tactical-mobile-robots/irobot-packbot-eod-unmanned-tactical-mobile-robot.asp> Letöltve: 2008.10.12
- [14] **GÁCSE Z.** „*Szárazföldi robotok.*” Robothadviselés 4. Nemzetközi tudományos konferencia kiadványa 61. oldal, Budapest, 2005

- [15] **BLACKBURN, M. AND R. BAILEY**, "*Foundations for Learning and Adaptation in a Multidegree-of-Freedom Unmanned Ground Vehicle*", SPIE Proc. 5421: Intelligent Computing: Theory and Applications II, Orlando, FL, April 12-13
- [16] **BABAK SHIRMOHAMMADI, CAMILLO J. TAYLOR, MARK YIM, JIMMY SASTRA, MIKE PARK**, „*Using Smart Cameras to Localize Self-Assembling Modular Robots*”, Proceedings of the 1st ACM/IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras, September 2007, pages 76-80.
- [17] **ASI** „*Chaos High Mobility Robot*”,
<http://www.autonomoussolutions.com/products/chaos.html> Letöltve: 2005.10.12
- [18] **ASI** „*Mobi High Mobility Robot*”,
<http://www.autonomoussolutions.com/products/mobi.html> Letöltve: 2005.10.12
- [19] **GÁCSER Z.** „*Robotok a katonák szolgálatában*”, Robothadviselés 8. Tudományos konferencia 2008
- [20] **FOSTER MILLER**, „*TALON SWORDS*”
<http://www.botjunkie.com/wp-content/uploads/2008/04/swords300dpi.jpg>,
 Letöltve: 2009.01.04
- [21] **BOSTON DYNAMICS** „*The Most Advanced Quadruped Robot on Earth*”,
<http://www.bostondynamics.com/content/sec.php?section=BigDog> Letöltve
 2008.05.21
- [22] **ASI** „*Unmanned Target Vehicle*”,
<http://www.autonomoussolutions.com/products/utv.html> Letöltve: 2005.10.12
- [23] **H. G. NGUYEN, N. PEZESHKIAN, M. RAYMOND, A. GUPTA J. M. SPECTOR**, Autonomous Communication Relays for Tactical Robots, Proceedings of ICAR 2003, The 11th International Conference on Advanced Robotics, Coimbra, Portugal, June 30 - July 3, 2003
- [24] **KOLESZÁR B.**, „*Szárazföldi robottechnikai eszközök tervezésének és alkalmazásának biztonsági szempontjai*”, Robothadviselés 8 Tudományos konferencia
- [25] **NGUYEN, H.G., MORRELL, J., MULLENS, K., BURMEISTER, A., MILES, S., FARRINGTON, N., THOMAS, K., GAGE D.**, "*Segway Robotic Mobility Platform*," SPIE Proc. 5609: Mobile Robots XVII, Philadelphia, PA, October 26-28, 2004.
- [26] **ASI** „*Predator*”,
<http://www.autonomoussolutions.com/research/projects/predator.html> Letöltve:
 2005.10.12

- [27] <http://www.darpa.mil/grandchallenge/rules.html> Letöltve: 2005.10.12
- [28] „*Stanford Racing Team's Entry In The 2005 DARPA Grand Challenge*”,
<http://www.darpa.mil/grandchallenge/techpapers.html>, Letöltve:2005.10.12
- [29] <http://www.roboticstrends.com/sportsarticle728.html> Letöltve: 2005.10.12
- [30] **GYULA M.**, „Kétlábon járó robot modellezése”, Informatika a felsőoktatásban 2008, Mester Gyula, Kétlábon járó robot modellezése, pp. 1-8, Debrecen, 2008. augusztus 27-29.
- [31] **SIEGWART, R. NOURBAHSH, I.R.** „*Introduction to Autonomous Mobile Robots*”
The MIT Press Massachusetts institute of Technology Cambridge 2004
- [32] **KUCSERA P.**, „*Mobil szárazföldi robotok hordozó platformjának kialakítási lehetőségei*”, XXIVth Kandó Conference 2008 ISBN 978-963-7154-74-4
- [33] **SARANLI U., RIZZI A., AND KODITSCHKEK D.E.**, „*Multi-Point Contact Models for Dynamic Self-Righting of a Hexapod*” ,Proceedings of the Sixth International Workshop on the Algorithmic Foundations of Robotics (WAFR '04), July, 2004, pp. 75-90.)
- [34] **ABBAFY ZS.** „Az akkumulátorok világa”,
<http://www.cab.u-szeged.hu/local/archi/1998II/h636610.htm>, Letöltve: 2008.09.23
- [35] **LINDEN D., REDDY T. B.** „*Handbook Of Batteries 3rd Edition.*” McGraw-Hill, New York, 2002 ISBN 0-07-135978-8
- [36] „Accumulator and Battery Comparison”
<http://www.mpoweruk.com/specifications/comparisons.pdf>, Letöltve: 2008.09.23
- [37] „*PTE TTK elektromosság tan - előadás anyag*” http://www.ddkkk.pte.hu/alkfiz/konyvtar/elektromossagtan/5/e5_ea.htm, Letöltve: 2008.10.10
- [38] „*Az üzemanyagcella működési elve*”,
http://library.thinkquest.org/05aug/01704/hun/tud_tech/Galery/galeria-uzcellmukodese.htm, Letöltve: 2008.05.23
- [39] **CURTIN S.** „*Types of Fuel Cells*”, <http://www.fuelcells.org/basics/types.html>,
Letöltve: 2008.05.23
- [40] **WESTWOOD**, „*Hydrocell Alkaline Hydrogen Fuel Cells*”,
www.valeswood.com/alkaline-fuel-cells.php Letöltve: 2008.05.23
- [41] „*Napelem működése*”, <http://www.acrux.hu/sun/napelem.html> Letöltve:
2008.05.23

- [42] „*Power to Weight Ratio*”
<http://everything2.com/title/power%2520to%2520weight%2520ratio> Letöltve:
 2008.05.23
- [43] http://hades.mech.northwestern.edu/wiki/images/d/d0/Motor_cutaway.png
 Letöltve: 2008.05.23
- [44] **MICROCHIP**, „*Sensorless BLDC motor control*”, Microchip Application Note AN970, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00970A.pdf>,
 Letöltve: 2008.10.10
- [45] **POWERTEC**, „*POWERTEC Brushless DC Motors*”,
<http://www.powertecmotors.com/ferrite.html> Letöltve: 2008.05.23
- [46] **MAXON MOTOR**, „*Maxon motor 03/04 catalogue*”, Sachseln, 2004
- [47] **H. CHOSET, K. NAGATANI, N.A. LAZAR**, „*The Arc-Transversal Median Algorithm A Geometric Approach to Increasing Ultrasonic Sensors Azimuth Accuracy*” IEEE Transactions on Robotics and Automation, VOL. 19, NO. 3, June 2003 p. 514.
- [48] **KUCSERA P., Sensors For Mobile Robot Systems**, Academic and Applied Research in Military Science, Volume 5, Issue 4, 2006 p.645-658. ISSN 1588-8789
- [49] **HYUNGSUCK CHO** „*Opto-Mechatronic System Handbook*”, CRC-Press 2003, ISBN 0-8493-1162-4
- [50] **HÍRKÖZLÉSI ÉS ENERGIAÜGYI MINISZTERIUM** „*A Galileo programról, Közlekedési*”, Hírközlési és Energiaügyi Minisztérium hivatalos honlapja, <http://galileo.khem.gov.hu/page.php?name=galileo>, Megnyitva 2008.11.03
- [51] **GREEN J., KRAKAUER D.**, „*New iMEMS® Angular-Rate-Sensing Gyroscope*”, <http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/37-03/gyro.html#return1>, 2006 Február
- [52] **MESTER GY.** „*Intelligent Mobile Robot Controller Design*”, Proceedings of the Intelligent Engineering Systems”, INES 2006, pp. 282-286, London, United Kingdom, 2006
- [53] **J. BORESTEIN, H.R. EVERETT, L. FENG** „*Where Am I? Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning*” University of Michigan, Michigan 1996
- [54] **SCHUSTER GY.** “*Fuzzy Control of a simulated mobile robot*”, XV. Internationales wissenschaftliches Kolloquium 1999 in Bremen, p.186

- [55] **SIEGWART, R. NOURBAHSH, I.R.** “*Introduction to Autonomous Mobile Robots*”
The MIT Press Massachusetts institute of Technology Cambridge 2004
- [56] **GEHER K.** „*Híradástechnika*”, Műszaki könyvkiadó, Budapest 2000
- [57] **IRIDIUM**, „*NAL Research Satellite Tracker: Model 9601-DGS*”,
<http://www.iridium.com/products/product.php?linx=0267>, Letöltve: 2008.05.23
- [58] **POPESCU F., VIZITIU C., BALAN C., ENACHE F.**, „*Advanced radio technologies in the field of military communications*”, Hadmérnök különszám, New challenges in the field of military science, nemzetközi tudományos szakmai konferencia
- [59] **NEMZETI HÍRKÖZLÉSI HATÓSÁG**, „*Frekvenciasávok nemzeti felosztási táblázata*”, 2. melléklet a 346/2004. (XII. 22.) Kormány rendelethez
- [60] **ALEXANDER B., INGO H.** “*Industrial networks*”, Hüthig Verlag GmbH & Co. Heidelberg 2005. ISBN 3-7785-2950-1
- [61] **KUCSERA P.** „*Szárzöldi autonóm mobil robotok vezérlőrendszerének kialakítási lehetőségei*”, Robothadviselés 8. Tudományos konferencia
- [62] **KUCSERA P.** „*Zárt térben használható földi mobil robotok navigációs és akadályfelismerő szenzorrendszerei, a beltéri navigáció lehetőségei*”, GÉP A Gépipari Tudományos Egyesület műszaki folyóirata, 2006/5 LVII.évfolyam p.29-36. ISSN 0016-8572
- [63] **KUCSERA P.** „*Introduction to Mobile Robotics*”, XXIIIth Kandó Conference 2006 ISBN 963-7154-42-6
- [64] **ADVANTECH**, „*Data Sheet for PCM-5820*”,
http://www.advantech.com/Support/sr_detail.asp?SR_ID=1%2BGE%2B1047&SEARCH_TYPE=Datasheet, Letöltve 2008. 11.10
- [65] Linux for mini wifi routers/APs/clients, <http://sandbox.cz/~covex/linux/uvex.html>
- [66] **PHOENIX CONTACT**, “*Installing and Operating the Inline Controllers*” ILC 330 ETH, ILC 350 ETH, ILC 350 ETH/M and ILC 350 PN ,
http://eshop.phoenixcontact.com/_um_en_ilc_330_350_6959_en_05.pdf, Letöltve: 2008.10.10
- [67] **PHOENIX CONTACT**, “*Inline Servo Amplifier for DC Motors With and Without Brushgears*”, http://eshop.phoenixcontact.com/phoenix/db_en_ib_il_ec_ar_48_10a__pac_6976_en_01.pdf, Letöltve: 2008.10.10
- [68] **PHOENIX CONTACT**, “*Uninterruptible Power Supply Unit for Universal Use*”,
http://eshop.phoenixcontact.com/phoenix/db_en_quint_dc_ups_24dc_10_101998_01_gb.pdf, Letöltve: 2008.10.10

- [69] **KUCSERA P.** „*Industrial Modular Structure Mobile Robot Application*”.
 Proceedings of 16th Int. Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region -
 RAAD 2007 Ljubljana, 2007, p.413-418. ISBN 978-961-243-067-2
- [70] **KUCSERA P.** „*Modular industrial mobile robot systems, mobile robot docking*”,
 XXV. International Wissenschaftliches Kolloquium Schweinfurt 2007
 Konferenciakaidvány megjelenés alatt.
- [71] **MATHWORKS, INC.:** “*Matlap 7.0 Release 14 Help*”, 2004.
- [72] **PHOENIX CONTACT,** “*User Manual for the WLAN Devices FL WLAN 24 (D)AP
 802.11 and FL WLAN 24 EC 802.11*”, [http://eshop.phoenixcontact.com/phoenix/
 um_en_fl_wlan_ap_ec_7190_en_01.pdf](http://eshop.phoenixcontact.com/phoenix/um_en_fl_wlan_ap_ec_7190_en_01.pdf), Letöltve: 2008.10.10
- [73] **PHOENIX CONTACT,** “*Hardware and Software of Bluetooth Access Points*”,
[http://eshop.phoenixcontact.com/phoenix/
 um_en_fl_bluetooth_ap_7281_en_02.pdf](http://eshop.phoenixcontact.com/phoenix/um_en_fl_bluetooth_ap_7281_en_02.pdf), Letöltve: 2008.10.10
- [74] **HARKAY T.** „*Számítógépes folyamatautomatizálás*” BMF főiskolai jegyzet. BMF,
 Budapest 2000
- [75] **PATTANTYÚS Á.G.,** „*Pattantyús Gépész- és Villamosmérnökök Kézikönyve 2.
 kötet*”, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1961.
- [76] **EVPERMANENT,** „*Electric Car*”, <http://www.evpermanent.com/en/info1en.php>,
 Letöltve: 2008.10.10
- [77] **SICK,** “*LMS100 Laser Measurement System application manual*”,
[www.sick.com/home/factory/news/autoident/lms_100/en,
 LMS100_ProductInformation.pdf](http://www.sick.com/home/factory/news/autoident/lms_100/en,LMS100_ProductInformation.pdf), Letöltve: 2008.10.10

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

- AC** – Alternate Current – *Váltakozó áram*
- AM** – Amplitude Modulation – *Amplitúdó moduláció*
- AMR** – Anisotropic Magnetoresistive – *Anizotropikus mágneses vezető*
- AP** – Access Point – *Hozzáférési pont*
- ASI** – Autonomous Solutions Inc. – *Autonóm megoldások vállalat*
- BEMF** – Back Electromotive Force – *Visszaható elektromágneses erő*
- CCD** – Charged Coupled Device – *Töltés csatolt eszköz*
- CF** – Compact Flash – *Kompakt flash-memória*
- CPU** – Central Processor Unit – *Központi processzor egység*
- DARPA** – Defense Advance Research Project Agency – *Fejlett védelmi kutatási ügynökség*
- DC** – Direct Current – *Egyenáram*
- DSP** – Digital Signal Processor – *Digitális jelfeldolgozás*
- OOD** – Explosive Ordnance Disposal – *Robbanóanyag hatástalanítás*
- FCS** – Future Combat System – *A jövő haderő rendszere*
- FNFT** – Frekvenciasávok Nemzeti Felosztási Táblázata
- FPGA** – Field-programmable gate array – *Programozható kapumátrix*
- GPS** – Global Positioning System – *Globális helymeghatározó rendszer*
- MEMS** – Micro Electro Mechanical Systems – *Mikro elektronikai mechanikus rendszer*
- MIPS** – Mega Instruction Per Second – *Millió utasítás másodpercenként*
- OCU** – Operator Control Unit – *Operátori irányító egység*
- OPC** – OLE for process Control (Object-Linking and Embedding) – *Eszköz csatolás és beágyazás a folyamat automatizálásban*
- PAFC** – Phosphoric Acid fuel cell – *Foszforos üzemanyagcella*
- PEMFC** – Proton Exchange Membrane Fuel Cell – *Proton cserélő membrán üzemanyagcella*
- PLC** – Programmable Logical Controller – *Programozható logikai vezérlő*
- PWM** – Pulse With Modulation – *Pulzus szélesség moduláció*
- RMP** – Robotic Mobility Platform – *Robotikai mozgó platform*
- SCADA** – Supervisory Control And Data Acquisition – *Felügyeleti vezérlés és adatfeldolgozás*
- UDP** – User Datagram Protocol – *Felhasználói üzenet protokoll*
- UGV** – Unmanned Ground Vehicle – *Embernélküli földi jármű*
- UPS** – Uninterruptible Power Supply – *Szünetmentes tápegység*
- UTV** – Unmanned Target Vehicle – *Embernélküli céljármű*
- WLAN** – Wireless Local Area Network – *Vezeték nélküli helyi hálózat*

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra Mobil robotok alkalmazásának várható alakulása (Fordította: Kucsera P.) [29].....	25
2. ábra Mobil robot főbb egységeinek blokkvázlata (Szerk.: Kucsera P. AutoCAD2005).....	30
3. ábra A különböző mechanikai kialakítások maximális sebessége és teljesítmény igénye (Ford.: Kucsera P.) [31].....	31
4. ábra Statikusan stabil két kerekes elrendezés (Szerk.: Kucsera P. AutoDesk VIZ)	32
5. ábra Dinamikusan stabil két kerekes elrendezés (Szerk.: Kucsera P. AutoDesk VIZ)	33
6. ábra Három keréken gördülő, két függetlenül hajtott kerékkel rendelkező hordozó (Szerk.: Kucsera P. AutoDesk VIZ).....	33
7. ábra Négy keréken gördülő hordozó (Szerk.: Kucsera P. AutoDesk VIZ)	34
8. ábra Az üzemanyagcella működése [38]	39
9. ábra Üzemanyagcella konkrét megvalósítása [40]	40
10. ábra Rendelkezésre állási idő belsőégésű és akkumulátoros rendszerek esetén (Szerk.: Kucsera P. AutoCAD2005)	42
11. ábra Egyenáramú kefések motor magnélküli tekeréscelések kialakításban [43].....	45
12. ábra Szénkefe nélküli egyenáramú motor [45].....	46
13. ábra PWM jel magyarázó ábra (Szerk.: Kucsera P. AutoCAD2005).....	47
14. ábra Egyenáramú motor ideális jelleggörbéi [46]	48
15. ábra Áttételezett motor sebesség nyomaték jelleggörbéjének változása [46]	50
16. ábra A hang terjedési karakterisztikája [47]	52
17. ábra Lézeres távolságmérés fáziseltérés összehasonlítási elven (Szerk.: Kucsera P. AutoCAD2005).....	52
18. ábra Lézeres távolságmérés háromszög módszerrel (Szerk.: Kucsera P. AutoCAD2005).....	53

19. ábra 2 dimenzióban érzékelni képes háromszög módszeren alapuló távolságmérő szenzor (Szerk.: Kucsera P. AutoCAD2005)	54
20. ábra A kísérleti szenzor által készített képek szűrés előtt (1. sor) és szűrés után (2. sor). (Mérés, Kucsera P.)	54
21. ábra Sztereókamerás távolságmérés elve (Szerk.: Kucsera P. AutoCAD2005)	55
22. ábra MEMS giroszkóp működési elve [51]	57
23. ábra A robot mozgásának matematikai leírása (Szerk.: Kucsera P. AutoCAD2005)	58
24. ábra Fluxgate iránytű működési elve [55]	60
25. ábra AMR mágneses szenzor működése [55]	61
26. ábra Beltéri navigáció megvalósítása Lézeres lépáosztás segítségével (Szerk.: Kucsera P. AutoDesk VIZ)	62
27. ábra Kálmán-szűrő segítségével történő mobil robot helymeghatározás (Szerk.: Kucsera P. AutoCAD2005)	62
28. ábra Szabványos WLAN eszközök sávkiosztása (Ford., szerk.: Kucsera P.) [60]	67
29. ábra WLAN eszközök cellába rendezésének kialakítása (Szerk.: Kucsera P. AutoCAD2005)	67
30. ábra Advantech PCM5820 ipari beágyazott alaplap [64]	74
31. ábra Beágyazott PC alapú vezérlővel megvalósított mobil robot vezérlőrendszer felépítése (Szerk.: Kucsera P. AutoCAD2005)	75
32. ábra Phoenix Contact Ipari PLC vezérlője [66]	77
33. ábra Az elkészült tesztrendszer felépítése (Készítette: Kucsera P. AutoCAD2005)	83
34. ábra Az elkészült robotvezérlő és dokkoló állomás hardware felépítése (Készítette: Kucsera P. AutoCAD2005)	84
35. ábra Pozíció számítása a kerékelfordulás ismeretében (Szerk.: Kucsera P. AutoCAD2005)	86
36. ábra A kerékelfordulásból számított pozíció hibájának modellezése (Készítette: Kucsera P. MATLAB 7.0.1)	88
37. ábra A dokkolás során létrejövő elektromos kontaktus mechanikai kialakítása (Készítette: Kucsera P. AutoCAD2005)	88

38. ábra Kereső masz, adott méretű sötét körre (Szerk.: Kucsera P.)	90
39. ábra Dokkolást segítő képfeldolgozó rendszer felismerni kívánt szimbólumának képe, a képfelismerő programfutás közben. (Készítette: Kucsera P. Borland C++ Builder)	91
40. ábra A dokkolás folyamata (Készítette: Kucsera P.)	92
41. ábra Az operátori felület kialakítása (Készítette: Kucsera P. Phoenix Contact, Visu+ 6.0)	94
42. ábra Az elkészült tesztrendszer (Készítette: Kucsera P. MS Paint)	96
43. ábra Mobil területőrző robotrendszer feladatául szánt katonai létesítmény és környezete (Készítette: Kucsera P. AutoCAD2005).....	104
44. ábra Mobil robot hajtását végző motor, áttétel, és fogasszík hajtás (Készítette: Kucsera P. AutoCAD2005)	106
45. ábra Az általános vezérlő eszközei (Készítette: Kucsera P. AutoCAD2005)	108
46. ábra SICK LMS100 lézeres távolságmérő rendszer képe és a mérési tartomány [77]	108
47. ábra Ipari vezeték nélküli hálózat kialakítása (Készítette: Kucsera P. AutoCAD2005)	110

KÉPJEGYZÉK

1. kép Az ANDROS F-6A nehéz tűzszerész robot [8]	12
2. kép Az ANDROS F-6A robot vezérlő egysége [7]	12
3. kép A TELEMEX könnyű tűzszerész robot és az operátor egység [10]	13
4. kép Swisslog LTC2-FTS robottargonca (Készítette: Dr. Ványa László).....	14
5. kép PackBot EOD robbanóanyag hatástalanító robot [13]	16
6. kép A lánctalpak beállítási lehetőségei NUGV roboton [15]	17
7. kép Autonomous Solutions Inc. Chaos általános célú robotplatform [17]	18
8. kép Autonomous Solutions Inc. OCU operátori kezelő munkaállomás [18]	19
9. kép Foster Miller TALON SWORDS csapásmérésre is alkalmas mobil robot [20]..	19

10. kép Boston Dynamics négy lábú mobil robot platform [21].....	20
11. kép Autonomus Solutions Inc. UTV autonóm földi célpontjármű [22].....	21
12. kép Robotkonvojok a kutató laboratóriumban és bevetés közben [23][24].....	21
13. kép Segway RPM két keréken egyensúlyozó földi robotplatform [25].....	22
14. kép ASI Predator permetező robotrendszer [26].....	23
15. kép A Stanford Racing Team Stanley nevű autonóm mobil járműve [28]	24
16. kép Boston Dynamics RHEX nevű, hat csáppal rendelkező mobil robot platformja [33].....	36
17. kép Mikrokontroller alapú vezérlővel megvalósított kísérleti mobil robot (Készítette: Kucsera P.).....	72
18. kép Ipari hajtásmodul [67]	78
19. kép Ipari szünetmentes tápegység [68]	78
20. kép Phoenix Contact Ipari WLAN Dual Access Point [72].....	95
21. kép Phoenix Contact FL BLUETOOTH AP [73]	95

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

- 1. táblázat** PackBot Explorer paraméterei.
- 2. táblázat** Akkumulátorok összehasonlítása.
- 3. táblázat** Meghajtó motorok összehasonlítása.
- 4. táblázat** Különböző robotvezérlő kialakítások fejlesztési idejének és költségeinek összehasonlítása.
- 5. táblázat** Különböző robotvezérlő kialakítások adott szempontrendszer szerinti vizsgálata
- 6. táblázat** A tervezett mobil robotrendszer főbb paraméterei és költségei
- 7. táblázat** A tervezett mobil robotrendszer főbb paraméterei és költségei