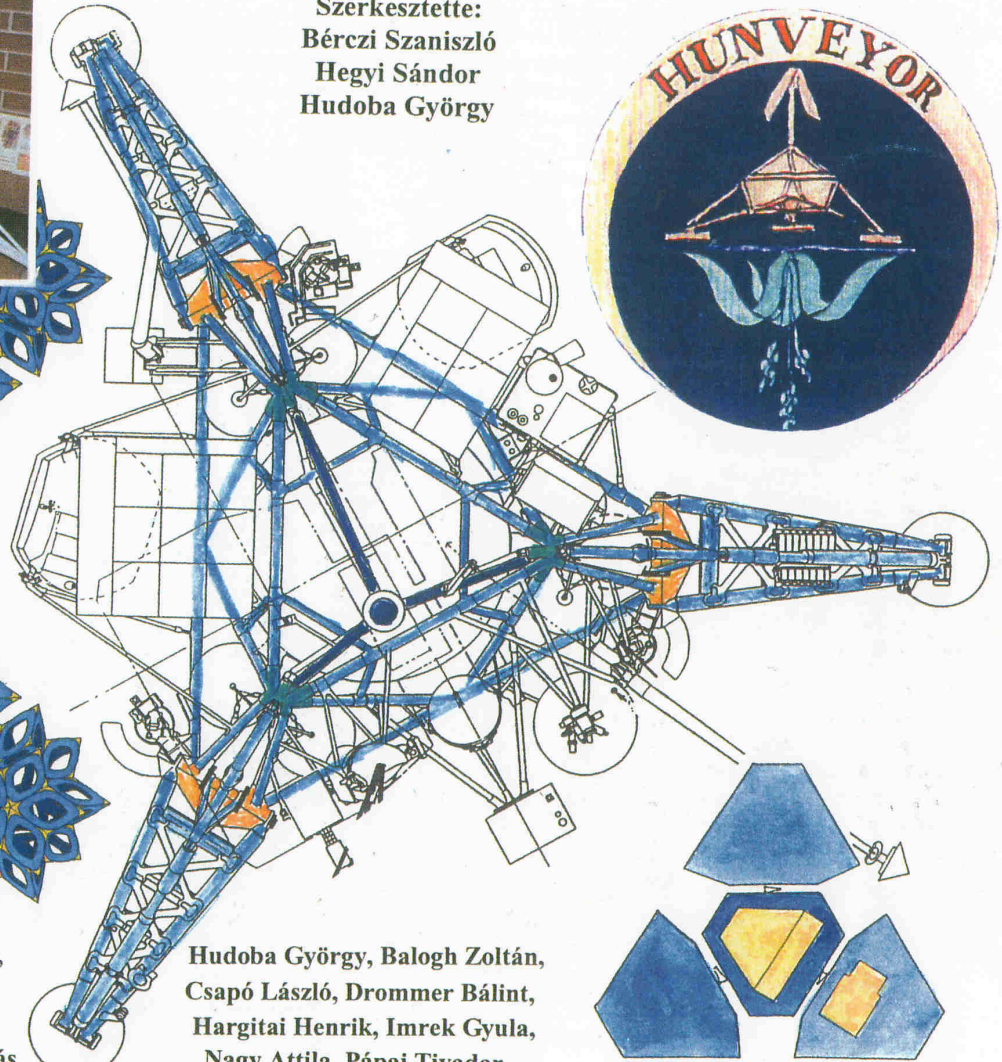
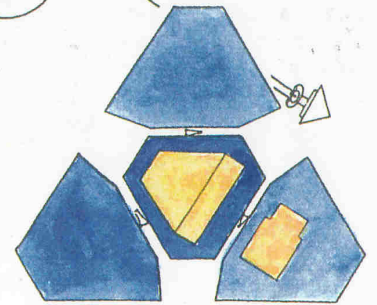


Szerkesztette:
Bérczi Szaniszló
Hegyi Sándor
Hudoba György



Bérczi Szaniszló, Hegyi Sándor,
Bíró Tamás, Bornemisza Imre,
Geresdi Attila, Halász Antal,
Keresztesi Miklós, Kókány András,
Samu Norbert, Sasvári Gábor, Senyei Rita, Siroki László, Varga Tamás

Hudoba György, Balogh Zoltán,
Csapó László, Drommer Bálint,
Hargitai Henrik, Imrek Gyula,
Nagy Attila, Pápai Tivadar,
Nagy Attila, Pápai Tivadar,



KIS ATLASZ A NAPRENDSZERRŐL (10):

FEJLESZTÉSEK A **HUNVEYOR - HUSAR** ŰRSZONDA MODELLEKEN

ELTE TTK Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport, Budapest, 2006

Bérczi Szaniszló, Hegyi Sándor, Hudoba György,
Balogh Zoltán, Bíró Tamás, Bornemisza Imre,
Csapó László, Drommer Bálint, Geresdi Attila, Halász
Antal, Hargitai Henrik, Imrek Gyula,
Keresztesi Miklós, Kókány András, Nagy Attila, Pápai
Tivadar, Samu Norbert, Sasvári Gábor,
Sényei Rita, Siroki László, Varga Tamás

KIS ATLASZ A NAPRENDSZERRŐL (10):
FEJLESZTÉSEK A HUNVEYOR - HUSAR
ŰRSZONDA MODELLEKEN

ELTE TTK Kozmikus Anyagokat Vizsgáló
Űrkutató Csoport, Budapest, 2006

Az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karán, a Fizikai Intézet Anyagfizikai Tanszékén az MTA Geonómiai Tudományos Bizottságával együtt működő Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoportnak több olyan füzete jelent már meg, amely naprendszerbeli kutatásokat mutat be. Második füzetünk tárgyalta azt, hogyan építhető meg egy egyetemi oktatási és kutatási célokra is felhasználható kísérleti gyakorló űrszonda modell rendszer, a Hunveyor. Már e füzetünk kitért az álló egység mellett tevékenykedő roverre, amit az elmúlt évek fejlesztései során a HUSAR (Hungarian University Surface Analyser Rover) névvel jelöltünk. A kettős robot modell együttesnek az a feladata, hogy kísérleti munkák keretében tegye lehetővé a planetáris testek felszínén lévő környezet vizsgálatát. A Hunveyor kísérleti terepasztalon foglal helyet, melyet a vizsgálandó égitest felszíni viszonyait modellezve alakítottunk ki. A Hunveyor és a Husar autó műszeres működtetését ma már nem csak ilyen teszt-területeken, hanem a hazai geológiai viszonyok nyújtotta lehetőségeknek megfelelően Mars-analóg tájakon végezzük.

Az összehasonlító planetológiának fontos területe az égitestek felszínének anyagvizsgálata az égitestre simán leszállt űrszondák segítségével. Előző atlaszainkban már részletesen elemeztük az égitesten egy helyben álló űrszondák által, ill. a felszínen mozgó műszaki egységek által végezhető anyagvizsgálatokat.

Az első landerek és roverek is a Hold felszínén végezték munkájukat, később a Marson is megvalósult mindkét robot-típus kutatóútja. Jelenleg a Mars felszínén zajlik a legfontosabb föltáró munka. Ott az Opportunity és a Spirit roverek kutatják a víz nyomait és a Mars geológiai történetének rétegtani szempontból rendkívül érdekes szakaszát.

Mindez aktualitást ad annak, hogy továbbfejlesszük oktatási és kutatási célból megkezdett robotépítő munkáinkat. A Hunveyor fejlesztésében az egyre autonómabb kialakítást tűztük ki célul. Erre egy szimulációs kísérlet tervezése is ösztökélt bennünket. Egy téli napon a Balaton jegére terveztünk teregyakorlatot, ahol szeretnénk megfigyelni rianásokat. Ehhez a már megépített kamera mellé hangérzékelő műszert is felszerelünk a Hunveyorra. A székesfehérvári Hunveyor-4 fedélzetén több lépésben is egyre függetlenebb lett az űrszonda modell a hálózattól, a szobai elrendezés kényelmesebb megoldásaitól. Ezek bemutatásával kezdjük a Hunveyor fejlesztéseket. A bolygófelszíni barangolásokhoz a Husar rover család több tagját fejlesztette ki a Husar-2-öt építő pécsi Hunveyor Csoport. Ezeknek a fejlesztéseknek a távlati célja a marsi környezetben való mozgás modellezése.

Talán a legtalálhatóbb példaképe a most bemutatásra kerülő Hunveyor-Husar fejlesztéseknek a Marsra eljutott Pathfinder és rovere, a Sojourner. Továbbra is az ihlető alapmodell a Surveyor űrszonda család, de a roverek fejlesztésében a kis atlasz írásakor is dolgozó MER roverek adták a legtöbb fejlesztési gondolatot.

A Hunveyor-Husar modellek fejlesztését a terepi szimulációk teszik a legérdekesebbé, a robotok használata teszi a vizsgálatokat égitestfelszíni kutatómunkává. Ezért néhány újabb teregyakorlatunkról is beszámolunk.

Az egész Hunveyor-Husar tevékenységcsoport érdekes, vonzó, mondhatni kalandos a fiatalok, diákok, egyetemi és főiskolai hallgatók számára. Új kis atlaszunknak tehát célja ez is: mozgósítani a diákok kedvét, erejét, fantáziáját egy sokszínűen összetett feladatra, amely a konstruáló fejlesztő munka mellett a távoli világok természetének aktív, méréseken keresztüli megismerésére is irányul.

E munka megjelentetését a Magyar Űrkutató Iroda az ELTE TTK / MTA Geonómia Bizottság Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport TP-290/2006 számú témapályázata keretében támogatta.

E támogatásért a MŰI-nek köszönetet mondunk.

Kiadja az ELTE TTK
Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport és az
UNICONSTANT, Püspökladány, Honvéd u. 3.

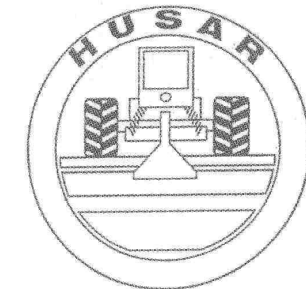
Bérczi Szaniszló, Hegyi Sándor, Hudoba György
(szerkesztők):

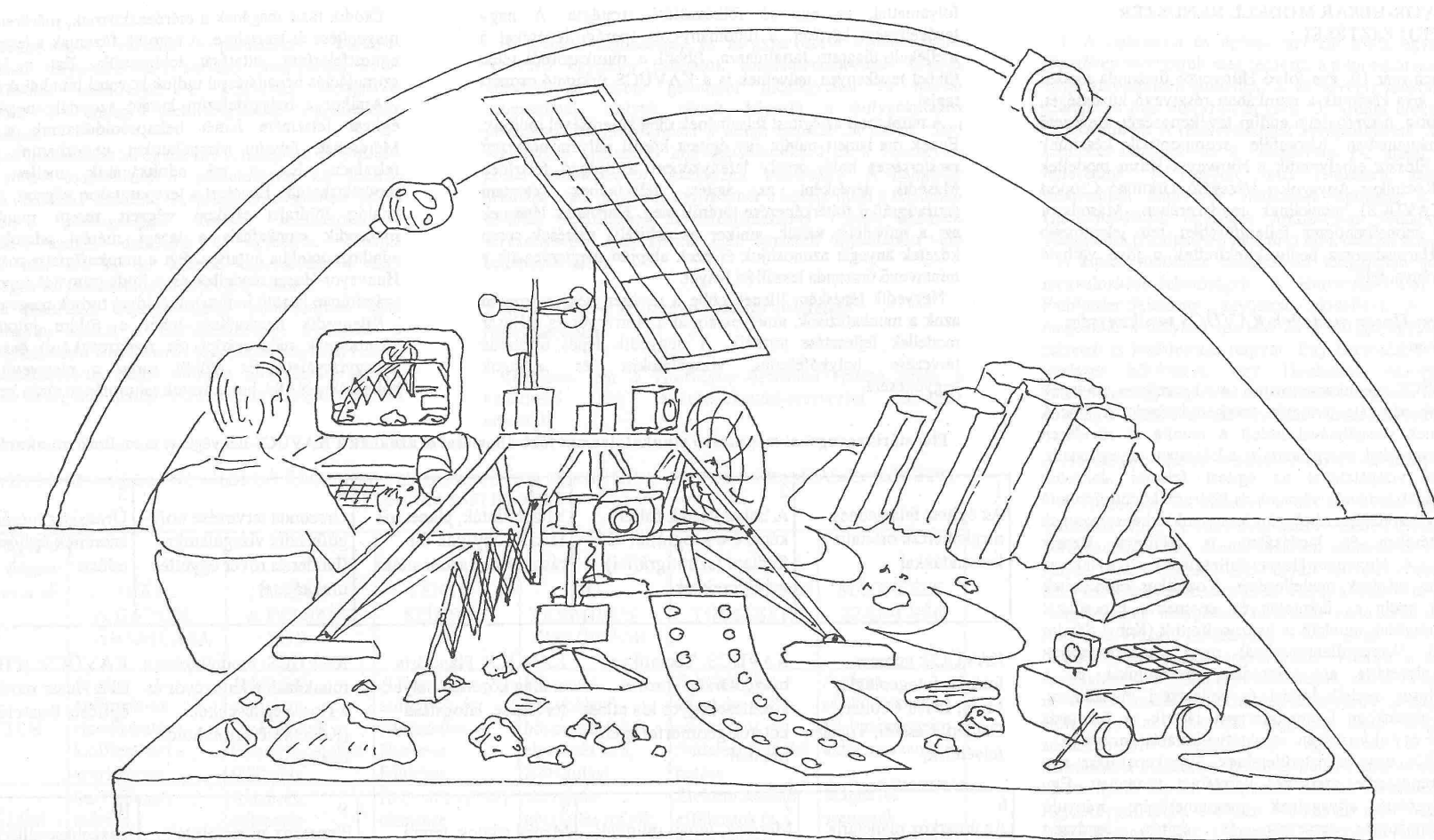
KIS ATLASZ A NAPRENDSZERRŐL (10):
FEJLESZTÉSEK A HUNVEYOR - HUSAR
ŰRSZONDA MODELLEKEN

ISBN 963 00 6314 X0

ISBN 963 86873 6 3

Ezt a munkánkat Földi Tivadarnak ajánljuk.





Bérczi Szaniszló, Hegyi Sándor, Hudoba György, Balogh Zoltán, Bíró Tamás, Bornemisza Imre, Csapó László, Drommer Bálint,
Geresdi Attila, Halász Antal, Hargitai Henrik, Imrek Gyula, Keresztesi Miklós, Kókány András, Nagy Attila, Pápai Tivadar,
Samu Norbert, Sasvári Gábor, Senyei Rita, Siroki László, Varga Tamás

KIS ATLASZ A NAPRENDSZERRŐL (10):

FEJLESZTÉSEK A **HUNVEYOR - HUSAR** ŰRSZONDA MODELLEKEN

ELTE TTK Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport, Budapest, 2006

A HUNVEYOR-HUSAR MODELL RENDSZER TOVÁBBFEJLESZTÉSEI

A 2007-ben már 10. éve folyó Hunveyor űrszonda modell fejlesztések arra készítetik a munkában résztvevő közösséget, hogy áttekinthet, összefoglalja eddigi tevékenységét. Bevezető kis tanulmányunkban háromféle szempontból készítettünk áttekintést. Először elhelyezzük a Hunveyor-Husar modellek építését a Koszmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport (röviden KAVÜCS) munkáinak rendszerében. Másodsor vizsgáljuk a modellrendszer fejlesztésében tett jelentősebb lépéseket. Harmadszorra pedig kitekintünk a jövő várható fejlesztési irányai felé.

A Hunveyor-Husar modellek KAVÜCS tevékenységi rendszerében

A KAVÜCS munkacsoportjai a kozmikus anyagok vizsgálatának négyféle területén tevékenykednek. A NASA holdközeteinek vizsgálatával indult a munka és rövidesen kiterjedt a meteoritek vizsgálatára is a közzetani anyagkutatás. Planetológiai vizsgálatokat az égitest felszíni alakzatok morfológiájának területén végzünk és közreműködött űrkutató csoportunk a Naprendszer bolygóit bemutató térképsorozatnak az elkészítésében és kiadásában is (Hargitai Henrik térképeinél). A Hunveyor-Husar fejlesztések képezték az égitestfelszíni mérések modellezését. Koszmikus szerkezetek tervezésénél pedig az űrkutatás és geometria kapcsolatát vizsgáló csoportunk munkáit is hasznosítottuk (Kabai Sándor szerkezeteit). Visszapillantásunknál most összekapcsoljuk mindezen planetáris anyagvizsgálati munkáinkat és a Hunveyor-Husar modell építési és fejlesztési munkáinkat. Mindegyik témánkban fontos szerepet játszik az űrkutatás oktatás is, de egy új formában, az oktatva-kutatási formában.

A KAVÜCS nagy téma-területeinek összekapcsolása egy magasabb rendszerbe szervezés keretében történhet. Egy távoli bolygótest anyagainak megismerésére irányuló műszaki-tudományos tervezési és építési rendszert tekinthetjük ilyen magasabb rendszernek. Nevezük végcélnak a bolygótestről begyűjtött anyagok vizsgálatát. Valójában ezt végezzük a NASA holdközeteinek esetében. De amíg egy műszaki-tudományos tervezési és építési rendszer ezekhez a közzetmintákhoz, vagy általában csak a felszíni anyagokról gyűjtött adatokhoz eljut, sok a teendő. Ezeket a teendőket, ezeket a szinte külön-külön üzemeket kívánó munkákat 10 nagy lépésre bontottuk. Ezeknek a nagy tevékenységi köröknek a nagy részét mi a KAVÜCS keretei között elsősorban megismerni, tanulni és modellezni tudjuk. Mégis, egy áttekintő munka során ha megismerkedünk az egész

folyamattal, az egy jó fölkészülési stratégia. A nagy tevékenységi köröket, a tudomány- és iparági lépéseket a mellékelt diagram tartalmazza. Ebből a munkasorból tehát többet tevékenyen művelnek is a KAVÜCS űrkutató csoport tagjai.

A munkasort az égitest felszínének megismerésével indítjuk. Ennek ma ismert módja egy égitest körüli pályára helyezett mesterséges hold, amely lefényképezi a bolygó felszínét. Második lépésként az égitest felszínének rétegtani (sztratigráfiai) föltérképezése történik meg. Harmadik lépésnek azt a műveletet vettük, amikor az orbitális mérések során közzetek anyagát azonosítjuk és ezek alapján megtervezzük a mintavevő űrszonda leszállási helyét.

Negyedik lépésként illenek ebbe a tevékenységi sorozatba azok a munkafázisok, amelyek során a Hunveyor és a Husar modellek fejlesztése történik. A negyedik lépés űrszonda tervezése bolygófelszíni vizsgálatokra és anyagok begyűjtésére.

Ötödik fázis magának a mérőeszköznek, mérőrendszernek a megépítése és tesztelése. A hatodik fázisnak a leszálló eszköz égitestfelszínre juttatását tekintettük. Ezt a lépést csak szimulációs bemutatással tudjuk követni munkáink során.

Amikor a bolygófelszín kutató szondák megérkeztek az égitest felszínére ismét bekapcsolódhatunk a munkába. Méréseket, felszíni vizsgálatokat végezhetünk az égitest felszínén. Ezt a mi adottságaink mellett sokrétűen modellezhetjük. Egyrészt a terepasztalon végzett, másrészt az analóg földrajzi tájakon végzett terepi munkákkal. A nyolcadik munkafázis a terepi mérési adatok "Földre", adatközpontokba juttatása. Ezt a munkafázist a mérés során a Hunveyor-Husar modellek és a földi irányítóközpont szerepű számítógép közötti kommunikációval tudjuk megvalósítani.

Kilencedik munkafázis lehet a földre jutott (NASA) közzetminták mikroszkópi (és spektroszkópi) összehasonlító anyagvizsgálata. Ez utóbbi során a résztvevő egyetemi hallgatók a NASA holdközeteinek tanulmányozásán keresztül

Planetáris anyagokat megismerő munkafolyamat főbb állomásai és azoknak a KAVÜCS-nél végzett modellező munkarészei

| | | | | |
|--|---|---|--|---|
| 1 Az égitest felszínének megismerésc orbitális űrszondákkal | 2 A bolygótestek föltérképezése geográfiai és földtani (sztratigráfiai) módszerekkel | 3 Közzetminták, planetáris felszíni anyagok forráshelyének azonosítása | 4 Űrszonda tervezése bolygófelszíni vizsgálatokra (lander és rover együttes munkájára) | 5 Űreszköz mérőrendszerének építése, tesztelése |
| KAVÜCS: geomorfológia, fotogeológia, MGS, Lunar Orbiter, Galileo, Cassini, Voyager felvételek, | KAVÜCS: Tematikus bolygóterkép sorozat készítése, egyes kis atlasz közzetek geomorfológiai munkái | KAVÜCS: Planetáris analóg közzetlelőhelyek tervezése, látogatása | KAVÜCS: modellezése e munkának a Hunveyor és a Husar építésekkel. (Közzetközzet szint: hold-bázis) | KAVÜCS: A Hunveyor és a Husar modellek építése, tesztelése |
| 6 Az űreszköz planetáris felszínre juttatása | 7 Mérésc, terepi munkák űreszközzel az égitest felszínén | 8 Mérési adatok, terepi közzetminták Földre juttatása (Apolló, Luna) | 9 Planetáris anyagminták vizsgálata (nemzetközi együttműködésben) | 10 Összehasonlító planetológiai és kozmopetrográfiai szintézis építése |
| | KAVÜCS: Terepasztali mérésc, szimulációk és Analóg terepeken végzett szimulációk, mérésc a Hunveyor-Husar modellekkel | KAVÜCS: A kapott mérési eredmények földolgozása. Végrehajtott munkák jelentéseinek tanulmányozása (pl. Surveyor munkák) | KAVÜCS: NASA Holdközeteinek vizsgálata | KAVÜCS: Az egész munkarendszert elemző, bemutató oktatási anyagok készítése a kis atlaszokban |

megismerkedhetnek számos planetáris kőzettani anyagfussal, bolygókőzettani kutatási programmal is. A kutatva tanulás lehetőségét a kozmikus anyagokkal párhuzamosan földi anyagok technológiáinak megismerésére is fölhasználjuk.

A befejező munkafázis az egész munkaprogram összegzése, melynek során összehasonlító planetológiai és kozmopetrográfiai szintézis születik. A program elágazásai szinte kimeríthetetlen gazdagsággal követik mindazokat a lehetőségeket, amikbe diákjaink és egyetemi, főiskolai hallgatóink már ma is be tudnak kapcsolódni a nagy űrügynökségek folyamatban lévő űrprogramjaiban.

Ebben a planetáris anyagvizsgálati munkasorban lehet igazán értékelni azokat a munkafázisokat, amelyeket a Hunveyor építése és a Husar rover fejlesztése képvisel. Fontos mindig tudatosítanunk, hogy mindezt modellezési szinten végezzük, de a nagyobb iparági vertikumban elfoglalt helyét is láthatjuk.

A munkák kidolgozása és megszervezése A munkákban résztvevő egyetemi hallgatók megismerkedhetnek számos műszaki és terepi geológiai megfigyelési és mérési programmal, melyek részét képezik a bolygókutatási programoknak is. Másrészt a terepi munkát „át tudják majd fogalmazni” műszeres közvetett munkává és a Hunveyor-Husar robotépitésén betervezett mérésekké. A hallgatók számára ezzel lehetőség nyílik (már a közép, majd a felsőfokú oktatási szakaszban) az űreszközökkel végzett komplex tevékenységek ipari szintű, igen összetett folyamatába való bekapcsolódásra.

Főbb lépések a Hunveyor-Husar modellek fejlesztésében

Korábban már a Hunveyor űrszonda építése során a következő főbb kutatási-oktatási-szervezési stratégiát követtük:

1. A fejlesztési és építési munkát több, egymásra épülő lépcsőben szerveztük meg (először a minimálűrszonda, később egyre autonómabb modellek) 2. Mindvégig működő egészsként szerepel a már elkészült egység. 3. Modul elven építünk és fejlesztünk. 4. A részrendszerek kompatibilisak. 5. Fejlesztési szinteket iktatunk be. 6. Kezdetben PC alapú elektronikát fejlesztünk. 7. Később linux rendszerre térünk át. 8. Célorientált Hunveyor változatok épülnek. 9. Az egyes Hunveyor-Husar egységek fokozatosan fölkapcsolódnak a világhálóra (elérhetőség más országok diákjai számára).

A Husar modellek belépésével méginkább szétágaztak a megvalósítási lehetőségek. A Hunveyor-Husar rendszer a Pathfinder-Sejourner együtttest modellezi. A műszerpark megoszlik a helyben maradó és a mozgó egység között. A méretek is kísérletezés tárgyai. Egy harmadik lehetőség is a rendszer bővítésére: egy Hunballon egység magasba emelkedhet egy légkörrel rendelkező bolygótést felszínén. Ma ez főleg a Titánra tervezett kutatás számára tervezhető így.

A Hunveyor-Husar modell rendszer távlatai

A Hunballon említésével a távlati tervek áttekintéséhez éreztünk meg. A Hunveyor-Husar modell rendszer a földi környezettudomány fontos kísérleti objektuma. A robotokon helyet foglaló technológiák olyan műveletsorokat alkotnak, amelyek mátrixba rendezhetők. Ezzel a Hunveyor mátrixszal a meglátogatott bolygótést felszínén zajló áramlásokat és a Hunveyor-Husar modelleken lévő mérő- és információs technológiákat kapcsolhatjuk össze. Amikor a mátrixot egy űrszonda elvi bemutatására használjuk, akkor az összekapcsolt mérő és információs technológiák térképét láthatjuk magunk előtt, mert az űrszonda: megszótt mérő, információs és adatfeldolgozó technológiák együttese. A Hunveyor-mátrixban a vízszintes irányban haladó méréstechnológiák és az oszlopokat képező környezeti áramok keresztezik egymást. Egy bolygófelszíni áramlást különböző mérési műveletekkel érzékelhetünk. Ezek a mérések képezik a mátrix oszlopait. Például a szél és a por áramlásába, anyagáramába különféle méréstechnológiai érzékelők nyúlnak bele. A Hunveyor-mátrix tehát egyszerre láttaja velünk a méréshez használt műszereket, és a környezet áramlásait. Mindezek a földi környezetben is hasznosítható ismeretek. Egy másik távlatos fejlesztési irány a számítástechnika terén végzett fejlesztések sokasága, a műszerek kicsinyítése, valamint a hozzáférhetőség elérése. Ezt a munkát és fejlesztési irányt segíti az, hogy az elmúlt 10 év során 5 évben kaptunk fejlesztési támogatást témapályázat keretében a Magyar Űrkutatási Irodától. Ezekért a támogatásokért a Hunveyor-Husar modell rendszert fejlesztő közösség nevében is köszönetet mondunk.

A HUNVEYOR KISÉRLETI GYAKORLÓ ŰRSZONDA SZERKEZETE ÉS A PLANETÁRIS FELSZÍNI ÁRAMLÁSOK KÖZÖTTI KÖLCSÖNHATÁSI MÁTRIX

| Égítést-felszíni áramlások Hunveyor szerkezeti alrendszerek | SZÉL, A GÁZOK ÁRAMLÁSA | TALAJ, A FELSZÍNI POR | FÉNY, SZÍNEK | HŐ, TERMÍKUS VISZONYOK | ELEKTROMOS TÖLTÉSEK | MÁGNESES SZEMCSÉK |
|--|--|---|--|--|---|---|
| A VÁZ + FELÜLETEK | A nagy szélnyomás elsodorhatja, kibillentheti a szerkezetet | A felszíni poranyag lerakódhat a Hunveyor szabad felületein | A Nap fénye szóródhat, és tükröződhet a Hunveyor felületein | Bizonyos irányokban hőszigetelés/hőelvezetés kell, Hőtágulás! | Feltölthetik a vázát, ha nincs elektromos földelés. Ionfelhő hatása | A vázra rárakódhatnak a talaj mágnesesen aktív porszemcséi |
| ÉRZÉKELŐK + ELEKTRO- NIKA | Szélesség mérése. Tömegspektr. a kémiai összetétel mérésére. | Kiszűrés, műszerbe "becmelés", kémiai összetétel vizsgálat | Reflexiós színkép elemzése spektroszkóppal, felületek szövete, fényképek | Hőmérők, hőtágulás mérők, hőtágulás-bélyegek, | Elektrosztatikus effektusok és a holdi lebegő ionfelhő mérése | Mágneses szemcsék szelektálása; pl. alakzatra rárendeződéssel |
| ENERGIA- ELLÁTÁS | | A lerakódó por idővel gyengíti az energiatermelés hatékonyságát | Napelem termeli az űrszonda energiáját. kísérleti fókuszálása | Tükörrel vagy lencsével fókuszálható a napfény egy-egy kísérlethez | | |
| MOZGATÓ EGYSÉGEK | | A mozgó alkatrészeket a felszíni szállított portól védeni kell | | | | |

A HUNVEYOR-4 - TERVEZÉS ÉS MEGVALÓSÍTÁS

A Hunveyor-4 Székesfehérvárott, a Budapesti Műszaki Főiskola Kandó Kálmán Villamosmérnöki Főiskolai Kar Számítógéptechnikai Intézetében épül. A project elsődleges célja, hogy hosszú távon 1) értelmes és hangulatos keretet biztosítson a főiskolán folyó tudományos kutató és fejlesztő – azaz project, TDK és diplomamunkáknak 2) a projectben részt vevő hallgatók a) gyakorlatot szerezzenek a mérnöki tervező munkában, b) szervezésben és kivitelezésben, c) megismerkedjenek a legújabb, korszerű technikákkal és technológiákkal, d) gyakorlatot szerezzenek a „team-munkában”.

Az oktatási intézmények sajátossága, hogy egy-egy hallgató csak viszonylag rövid ideig tud részt venni a munkában. Idő közben a technikák és technológiák változnak és fejlődnek, ami az esetleg már meglévő részek újatervezését vagy átstrukturálását vonhatja maga után. Az alábbiakban bemutatjuk a Hunveyor-4 tervezésének és építésének egyes fázisait, elemezzük az első változat korlátait, s ismertetjük a továbbfejlesztett, a jelenleg megvalósítás fázisában levő Hunveyor-4b rendszertervét.

1. Általános célkitűzések

A megvalósítandó eszköz legyen a Surveyor űrszondák működő modellje, vagyis legyen képes környezetének felderítésére és monitorozására, geológiai és meteorológiai mérések végzésére, adatgyűjtésre, beleértve a fényképek készítését is. Tegye mindezt napjaink korszerű technikájának felhasználásával, s lehetőleg minimális költségigénnyel. A berendezés egyes részei már az építés fázisában is szolgáltatassanak adatokat, melyek legyenek elérhető a nyilvánosság számára. Ezért további követelmények is megfogalmazódnak a Hunveyor-4 modellel szemben: 1) a berendezés mind hardware, mind software vonatkozásában legyen moduláris, 2) a vezérlő software módosítása, lecserélése akár „távrolról” is megtörténhessen, 3) az űrszonda az Interneten keresztül bárki számára elérhető legyen, 4) gondoskodni kell a szonda fizikai és adatbiztonságáról.

Hunveyor-4 modell építése során az elvégzendő feladatokat a következők szerint csoportosítottuk:

- a) a Hunveyor-4 gyakorló űrszonda fém tartóvázának elkészítése
- b) különböző műszermodulok építése
- c) a szonda műszer-együttesének vezérlése
- d) egyéb kiegészítő és kiszolgáló elemek biztosítása (pl. tápegység)
- e) „földi irányító központ” létesítése

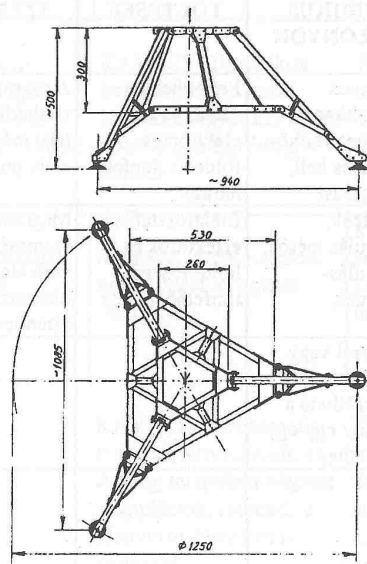
- f) WEB – szerver felállítása (a szonda külvilág számára való elérhetőségének biztosítására)
- g) terepasztal készítés

2. Megvalósítás

A témakiírást követő kezdeti, passzív várakozás nem hozott eredményt, ezért a 2001/2002-es tanév során először elkészítettük a fém tartóvázat. Ezt közszemlére téve az ismételt felhívásra már megmozdult a hallgatók fantáziája, aminek eredményeképp megindult az aktív szondaépítés. Ily módon számos dolgozat, konferencia előadás és diplomamunka is született. Várhatóan a lelkesedés a jövőben is folytatódni fog. A tervezés és építés egyes fázisait és dokumentumait a szonda honlapján megtalálhatja az érdeklődő (<http://hunveyor.szgti.bmf.hu>).

2.1 Fém tartóváz

A szonda fém tartóváza egy könnyűfémből készült tetraédes keret, mely méretét tekintve az eredeti Surveyor szonda mintegy negyed része. A többszintes szerkezet lehetővé teszi a műszermodulok optimális elhelyezését és megkönnyíti rögzítésüket. Az űrszonda helyzetének stabilitását hárompontos támaszték biztosítja.

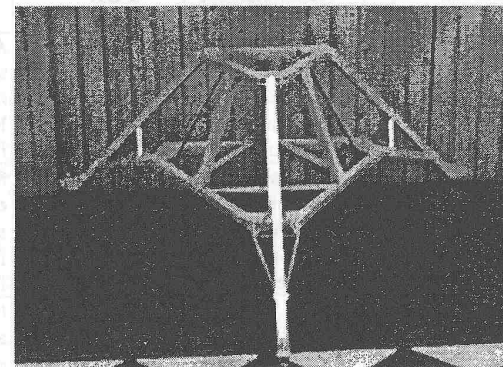


A teljes vázszerkezet anyagául az alumíniumot választottuk. A váz legtöbb alkatrésze 2 mm falvastagságú, 20 × 20 mm-es, négyzet keresztmetszetű, zárt szelvényből készült. A rudakat a vázszerkezet csomópontjaiban 3,2 mm átmérőjű húzószegescsel szerelt, 1 mm vastag alumínium csomólemezek kötik egymáshoz. A csomólemezek szegescskötései mindenütt epoxi ragasztóval is meg vannak erősítve.

A szükséges, további merevítő rudak anyaga 20 × 20 × 2 mm-es, továbbá 10 × 10 × 1 mm-es derékszögű szelvény, valamint 20 × 3 mm-es lapos szalag. Ez a megoldás nagyon könnyű és szilárd vázat eredményezett, és lehetővé tette, hogy a lábak leszerelhetők legyenek, ami megkönnyíti a szerkezet szállítását. A lábak végén önbeálló, gömbcsuklós talpak biztosítják a talajon való stabil felfekvését. A teljes vázszerkezet (a szegecsek és a csavarokat nem számítva) összesen mintegy 100 alkatrészből áll.

A megoldás további jellemzője, hogy a vázat alkotó rudak mindegyik felülete 40 mm-enként egy-egy 3,2 mm átmérőjű furattal van ellátva (összesen kb. 160 db furat!), így a szükséges szerelvények, szenzorok stb. felszerelése a rendelkezésre álló furatok felhasználásával nagyon egyszerű.

A választott megoldás egyetlen hátránya, hogy a derékszögű alumínium szelvények nem teszik lehetővé „térbeli” csomópontok kialakítását, fel kellett adnunk a legtöbb, az eredeti vázon alkalmazott merevítő elem alkalmazását, így a szerkezet csak körvonalaiiban őrizte meg az eredeti Surveyor jellegzetes tetraéder alakját.



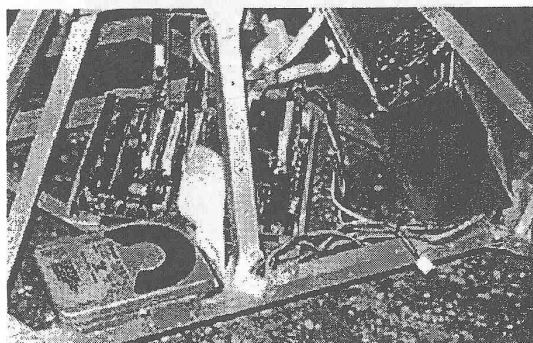
2.2 Elektronikus modulok

Az elkészült vázat „felöltöztetők”, a szondát megelevenítő eszközök tervezésekor a moduláris beépíthetőséget és a rendszerbe való integrálhatóság szempontjait vettük figyelembe.

Néhány lehetséges modul: 1) vezérlő egység, mely a felhasználóval való kommunikációt, a szonda többi moduljának irányítását, összehangolt működését, a gyűjtött adatok tárolását, illetve továbbítását végzi, 2) képfelvevő kamera modul, 3) különböző mérőeszközök és detektorok: például meteorológiai állomás mérő egységei a hőmérséklet, szélereősség és szélirány, csapadék, fényerősség mérésére. 4) robotkar és alrendszerei: ásó, fúró, talajmintavevő, penetrátor, 5) rádió távirányítású önjáró mérőmodul (kisautó), 6) „napraforgó” modul (napelemtábla mozgatás), 7) egyéb, infrastrukturális elemek: mint pl. tápellátás, Internet kapcsolat.

2.2.1 A vezérlő egység

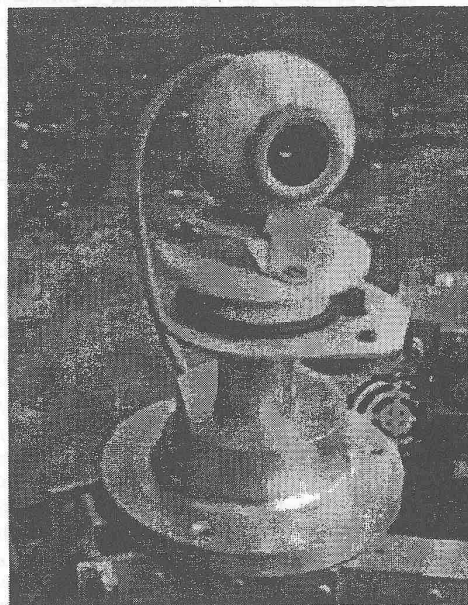
A Hunveyor -4 első verziójának vezérlő egysége egy hálózati kártyával bővített, két RS-232C, nyomtató és USB csatlakozóval ellátott PC alaplap. A hálózati kártyára a szonda Internetre kapcsolásához, az USB portra pedig a fedélzeti kamera csatlakoztatása érdekében volt szükség. A kamerát mozgató léptetőmotor vezérlése és pozicionálása a párhuzamos portról történik, a soros portokra pedig a kiskocsi illetve a meteorológiai állomás csatlakozik.



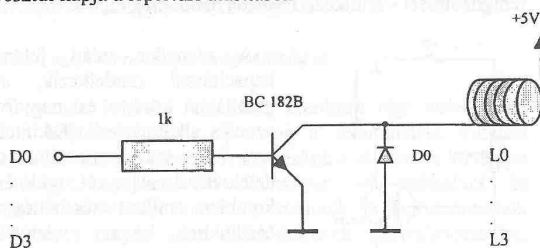
A vezérlő egység feladatai a következők: 1) a földi irányító központtal való kapcsolattartás, 2) a vett parancsok értelmezése, 3) a kapott parancsok alapján a szonda műszer-együttesének vezérlése, 4) a mért adatok visszaküldése.

A PC alaplapra épülő vezérlő egységet a Debian LINUX operációs rendszer alatt futó több, eszköz specifikus programcsomag valósítja meg. Az adatkezelési feladatok pedig Postgre SQL adatbázis használatával történnek.

2.2.2 A kamera modul



A Hunveyor -4 képfelvevő egysége egy webkamera, amely egy forgatható alaplpra van felszerelve. A forgatást egy négytekerces unipoláris léptetőmotor végzi, mely a vezérlő egységtől a párhuzamos port D0..D3 adatkimeneti vezetékein keresztül kapja a léptetési utasításokat.



A dióda (hármilven típus) a tekercesekben indukált esetleges feszültségimpulzusoktól védi a tranzisztort. A kamera nullpozícióját, melyet a forgó platformra rögzített pici mágnes jelöl ki, egy Hall-szonda érzékeli. A vezérlőprogram az ACK vezetéken olvassa be a keletkezett jelet.

2.2.3 A meteorológiai modul

A meteorológiai modul hőmérséklet, szélereősség, szélirány, megvilágítás-erősség (napsütés), valamint részecskesugárzás meghatározását teszi lehetővé. Az első verzióban a vezérlő egység az RS-232 soros porton olvashatta be a mért adatokat egy erre a célra tervezett illesztő kártyán keresztül. A HUNVEYOR-4b esetében a műszerek alapvetően változatlan formában kerültek át, azonban nem a soros portra, hanem egy speciális eszközvezérlő egységen (ld. később) keresztül USB-n kapcsolódnak a számítógéphez.

2.2.3.1 Hőmérséklet mérés

A hőmérséklet elektromos meghatározására három lehetőség áll rendelkezésre:

- Termoelektromos jelenség
- A fémek hő okozta ellenállás-változása
- A félvezetők hő okozta ellenállás-változása

Ellenálláshőmérők és termisztorok összehasonlítása:

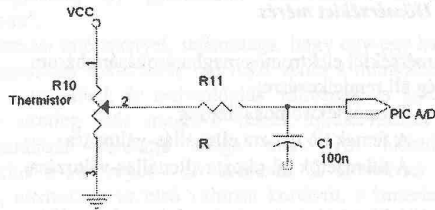
| Típus | Ellenálláshőmérők | Termisztorok |
|-----------------------|--|---|
| Mérési tartomány [°C] | -260...+1000 | -80...+180 |
| Mérési bizonytalanság | 0,1...1% | 1...2% |
| Érzékenység | 0,04...0,4ΩK ⁻¹ | 2...4 ΩK ⁻¹ |
| Előnyök | Pontos, széles méréstartomány, stabil | Nagy kimenőjel, olcsó, 2 mérővezeték |
| Hátrányok | Áramforrás kell, drága, pontos méréshez 4 vezeték kell, önfűtő | Áramforrás kell, nem lineáris jelleggörbe, korlátozott méréstartomány, önfűtő, törékeny |
| Alkalmazás | Energiaipar, vegyipar, élelmiszeripar, laboratóriumok | Egyedi, speciális műszerek |

A hőmérőknek a következő tulajdonságokkal kell rendelkezniük.

- A mérendő rendszer termikus állapotát ne változtassa meg, vagyis hőkapacitása elhanyagolható legyen a mérendő rendszeréhez képest

- A termikus egyensúly eléréséhez szükséges idő (beállási idő) kisebb legyen, mint a mérési idő, vagyis a beállási időnek kisebbnek kell lenni a mérendő hőmérsékletváltozás időtartamánál.
- Megfelelő érzékenységgel kell rendelkeznie a mérési tartományon belül.

A Hunveyor -4 projektben termisztort alkalmaztunk a hőmérséklet mérésére. A műszer földi, szabadtéri alkalmazása miatt a mérési tartomány több mint megfelelő. Az eszköz hitelesítések a mért feszültségértékekhez táblázatos formában lehet a kívánt hőmérsékletkálához tartozó értékeket rendelni.



2.2.3.2 Fényerősség mérés

A fényérzékelők olyan eszközök, melyek fényjel hatására valamilyen fizikai vagy kémiai folyamat révén elektromos válaszjelet adnak. Ide sorolhatók a 380...400nm-től a néhány μm -ig terjedő hullámhossztartományt detektálni képes érzékelők. A 380nm-nél kisebb hullámhosszon érzékeny detektorok az UV- és sugárzás-detektorok csoportjába tartoznak, hosszúhullámok érzékelésére távoli infravörös és a mikrohullámú szenzorok alkalmasak.

Az optikai sugárzás mérésére a következő fizikai hatásokat alkalmazzák:

- Belső fényelektromos hatás:
A nagytisztaságú félvezető anyag vezetőképessége attól függ, hogy adott idő alatt hány elektromos kötés szakad fel. Félvezető elemeknél fénybesugárzás hatására a félvezető rétegből töltéshordozók szabadulnak fel, a réteg vezetőképessége megnő.
- Külső fényelektromos hatás:
A fényvel besugárzott testből elektronok lépnek ki.
- Záróréteges fényelektromos hatás:
Besugárzás nélkül a p+ diffúziós tartományban lyukak, az n-típusú tömbben szabadelektron többlet van. A tiltott-sáv szélességnek megfelelő energiánál nagyobb energiával történő besugárzás hatására szabad elektron-lyuk párok jönnek létre. Ez a fotonokkal történő gerjesztés úgy működik, mint egy

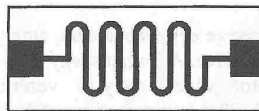
áramgenerátor. A tömbben keletkezett lyukak a p-típusú tartomány felé igyekeznek, a diffundáltatott rétegben keltett elektronok pedig a tömb felé fognak vándorolni.

- Termoelektromos hatás: Fém- vagy félvezetőben hőmérsékleti gradienst létrehozva termoelektromos feszültség keletkezik (Seebeck-hatás).
- Egyéb termikus hatások

A fényerősség mérésére az alábbi három eszköztípus jött számításba:

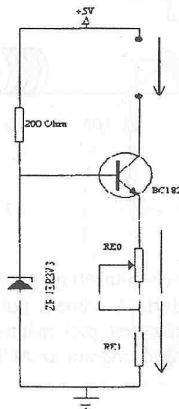
- fotóellenállás:
- fotodióda:
- fototranzisztor:

Mivel esetünkben csupán a fényerősség egyszerű detektálása volt a cél, a fotóellenállásra esett a választás. Működése a belső fényelektromos jelenségen alapul. A fotóellenállás értéke a megvilágítás-erősség logaritmusával arányosan változik. Leggyakrabban a CdSSe vegyület-félvezetőkötélből készített típusokat alkalmazzák, mivel ezek fényérzékenysége jól követi az emberi szem hullámhossz-függését. Több nagyságrendnyi megvilágítás-tartomány mérését teszik lehetővé. Hátrányuk, hogy a fényváltozásokra lassan reagálnak, ellenállásuk instabil és értékük függ attól is, hogy előzőleg milyen mértékű besugárzást kaptak.



fémgözelléssel - érintkező felületet alakítanak ki.

Fizikai megvalósításukat tekintve egy szigetelő hordozón, meander formában fényérzékeny ellenállásréteg helyezkedik el, melyen - általában

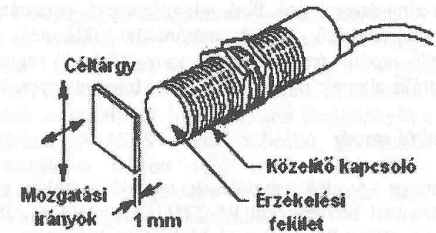


A meander miatt jelentős kapacitással rendelkezik, ami gátolja a közép- és nagyfrekvenciás alkalmazását. Tekintettel arra, hogy csak lassú változások detektálása volt a cél, ezek és a korábban említett más hátrányok esetünkben nem jelentettek korlátozó tényezőket.

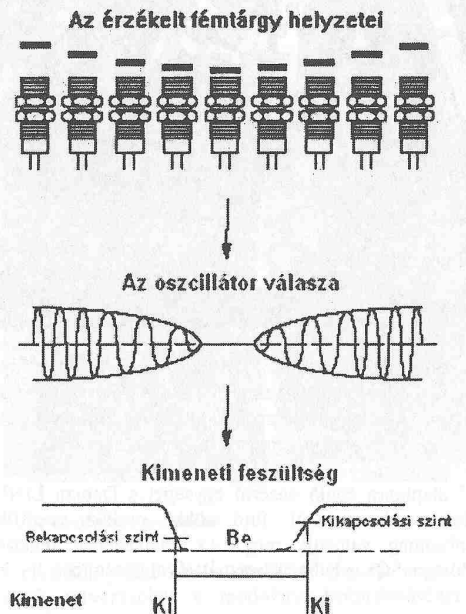
A fotóellenállást - a hőmérsékletmérés-ben alkalmazou NTK termisztorokhoz hasonlóan - hőkompenzált áramgenerátorral hajtjuk meg:

2.2.3.3 Szélesség és szélirány mérés

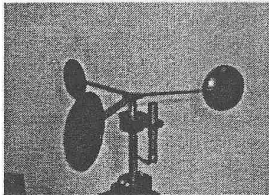
Ezt a feladatot egy speciálisan erre a célra készített eszköz, a „szélkakas” végzi. A periféria két adatot mér: a) szélességet és b) szélirányt. A mérőműszer induktív közelítéskapcsolókból épül fel.



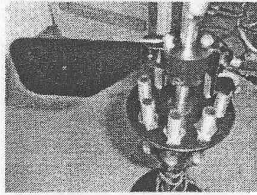
A sebességet egy érzékelő méri, ami a kanalakat tartó fémkarok minden áthaladásakor lead egy-egy impulzust - azaz fordulatanként háromat.



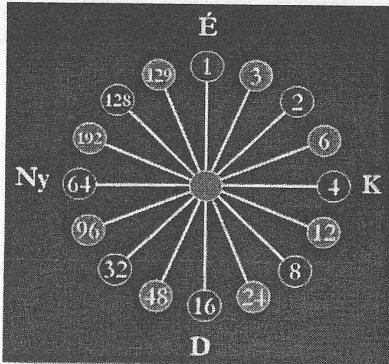
A szélirány nyolc érzékelő jeléből határozható meg. A nyolc kimenet megfelel egy nyolcbites értéknek, a bitsorban szereplő egyes vagy egyesek (egyszerre két érzékelő van aktív állapotban) megadják a szélirányt. A mechanikai kialakítás ugyanis lehetővé teszi, hogy egyszerre két szomszédos detektor is jelezzon. Ezzel az irányfelbontás megduplázódik.



A kanalas anemométer.



A szélirányjelző műszer



2.2.4. Egyéb kiegészítő és kiszolgáló elemek

Ebbe a pontba soroltuk a működtetéshez szükséges infrastrukturális elemeket, mint pl. tápellátás, napelem, akkumulátorok, Internet hálózat, terepasztal és tartozékai, mint fűtő betét, ventilátor, fényforrás, stb. A szonda első verziója nem rendelkezett napelemmel. Az energiaellátást a 230V-os hálózatra csatlakoztatott normál PC tápegység biztosította. Az Internetre való csatlakozás kábeles összeköttetésként valósult meg.

2.3. A szonda szoftverrendszere

A szonda logikailag két részre van felosztva. Az egyik a „Földi irányító központ”, a másik maga a szonda, az ún. „Vezérlőterem”.

2.3.1. Földi irányító központ

A földi irányító központot alapvető feladata a szonda vezérlőegységével való kommunikáció: elvégzendő tehát 1) a távoli szonda működésének ellenőrzése, 2) az irányító parancsainak továbbítása a szondára, 3) a szondán működő műszermodulok indítása, leállítása, 4) szükség esetén új műszermodul vezérlő programok feltöltése, 5) Internet felőli elérhetőség biztosítása.

A szondával való kommunikációnak és adatforgalomnak biztonságosnak és gyorsnak kell lennie. A biztonság adattitkosítással érhető el, ami megakadályozza, hogy illetéktelenül működtessék, vagy módosítsák a szonda programját, vagy a felhasználók a adataihoz hozzáférjenek.

2.3.2. A Vezérlőterem

A vezérlőterem funkciói biztosítják, hogy bármely, az Internetre kötött gépről: 1) a szonda irányításához az arra jogosult felhasználóknak be lehessen jelentkezni, 2) a szondán levő műszerekre használati időt lehessen foglalni, 3) az előzetesen lefoglalt műszereket lehessen működtetni, 4) a szonda által visszaküldött adatokat meg lehessen jeleníteni, elemezni és tárolni. Ennek érdekében többek között meg kellett oldani a következő feladatokat: 1) felhasználói adatbázis megtervezése és kezelése, 2) felhasználók felvétele és törlése, 3) felhasználói jogosultságok kezelése, 4) műszeridők lefoglalása és felszabadítása, 5) a használók tevékenységének naplózása, 6) a felhasználók értesítése, figyelmeztető elektronikus levél küldése, 7) WEB-es kezelőfelületek készítése. Ugyancsak fontos feladat volt a Hunveyor-4 honlapjának elkészítése is.

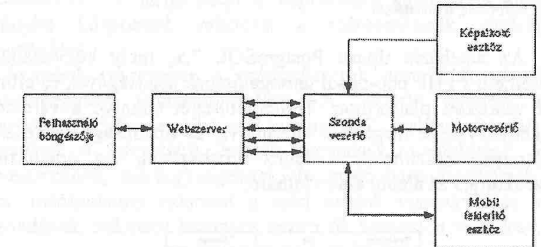
2.3.3. A szoftverrendszer megvalósítása

A szonda Internet felől való elérésére egy webszervert kellett készíteni, amely alkalmas a felhasználók kutatási programjainak tervezésére és naplózására. A szonda honlapjai lehetőséget nyújtanak a Hunveyor -4 építésével és üzemeltetésével kapcsolatos információk és dokumentumok elérésére, a projekt iránt érdeklődőknek információcserére, fórumok létrehozására, amely alapot adhat további Hunveyor projektekhez. Meg kellett valósítani a felhasználók regisztrációját, valamint létre kellett hozni egy felhasználói adatbázist a beviendő adatok számára. Mindezen túl el kellett készíteni egy megfelelő időfelosztó rendszert, ami a szonda erőforrásainak automatikus elérhetőségét és használatát ütemezi a felhasználók között, a honlapokon keresztül történő

előzetes igénybejelentéseik alapján.

A honlap dinamikus tartalommal bíró részeinek (fórum, vendégkönyv, hírek, felhasználók) moderálásához és napra készen való tartásához egy karbantartó felület is ki kellett dolgozni, melyet csak a szonda üzemeltetői érhetnek el. Titkosítás, biztonsági funkciók megvalósítása a felhasználók adatainak védelme érdekében feltétlenül szükséges volt.

A megvalósított rendszer eléréséhez a felhasználó böngészőjével csatlakozik a szondán futó webszerverre, ahol a Hunveyor -4 honlapján igénybe veheti a megvalósított szolgáltatásokat, és elérheti a szondával kommunikáló kliens oldali szoftvereket. A szonda a kliens oldal utasításai szerint vezérli a szonda eszközeit a kapcsolat időtartama alatt.



2.3.3.1 Az operációs rendszer

A szonda speciális feladatainak ellátására stabil, robusztus operációs rendszere volt szükség, szigorúan csak a feladat ellátására felkészítve. Ezek tükrében a Windows összes változata a Win CE kivételével nem felelt meg a feladatnak. Szabad forráskódú operációs rendszerként a Debian GNU / Linux -ra esett a választás, amely nagyon jól optimalizálható, minimális rendszermérete, kis hardverigénye teszi rugalmas, a feladatra alkalmas eszközzé. A soros, és párhuzamos portokat a programokból közvetlenül egyszerű elérni. Például az operációs rendszer magja lehetővé teszi, hogy a képalkotó eszközt mint fájlt kezeljük, s ez nagyban leegyszerűsíti a kép kiolvasását. Ideális szerverplatform, távolról könnyen menedzselhető. A rendszer moduláris felépítése karbantartását igen egyszerűvé teszi. Magas fokú túlélőképességgel rendelkező operációs rendszer – megfelelő fájlrendszer (ext3, reiser) alkalmazásával magas fokú hibátűrés valósítható meg.

2.3.3.2 A webszerver

Webszerverként az Apache-SSL-t választottuk, mivel számos eszköz, mely a megvalósításhoz szükséges, integrált modulként fut benne, például a PHP 4 modul, melynek segítségével az oldalak dinamikus tartalomkezelése, a közvetlen adatbázis kapcsolat, fájlműveletek, a felhasználók

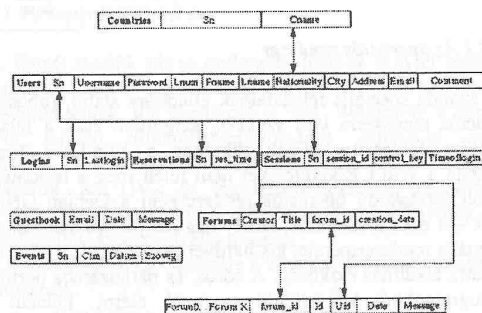
nyomon követése, és számos tevékenység megvalósítható. Mivel eleve titkosított csatornával dolgozik, a felhasználói azonosítók, és adatok eleve nagyobb biztonságban vannak, mint bármelyik másik webszerver esetében lennének.

2.3.3.3 A szerver oldali szkriptnyelv

Az oldal tartalmi része PHP-ben íródott, mivel a nyelv nagyfokú rugalmassággal rendelkezik, ideális honlapok készítéséhez, és alkalmazásával szükségtelemmé válik CGI-k használata. Lehetséges vele a legtöbb, a projektben felmerülő feladat megvalósítása.

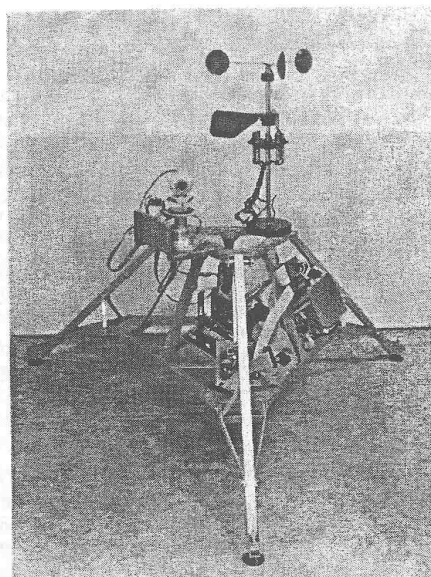
2.3.3.4 Az adatbázis

Az adatbázis típusa PostgreSQL 7.x, mely közvetlenül elérhető a PHP php-pgsql támogatásának segítségével, és elfut a választott platformon. Terhelhetőségét tekintve a várható igénybevételre megfelelő alternatíva, és biztonsági mentések könnyen készíthetők a teljes adatbázisról. Az adatbázis struktúrája az alábbi ábrán látható.



Az adatbázis segítségével valósul meg szinte minden adat tárolása, és az oldal legtöbb mechanizmusa. Ilyen a felhasználók nyomon követése, a felhasználók adatainak tárolása, az időfoglalások tárolása, az aktuális hírek, fórumok teljes tartalma, vendégkönyv, a regisztrációhoz használt országlista, és az egyes belépések adatai.

A Hunveyor-4 ezzel életre kelt, és a felépítés helyén, a laboratóriumban a kiépítettségének megfelelően hosszú ideig megbízhatóan működött. Ezen állapotát mutatja az alábbi ábra. A további részleteket és dokumentumokat illetően a Hunveyor-4 honlapjára utalunk.

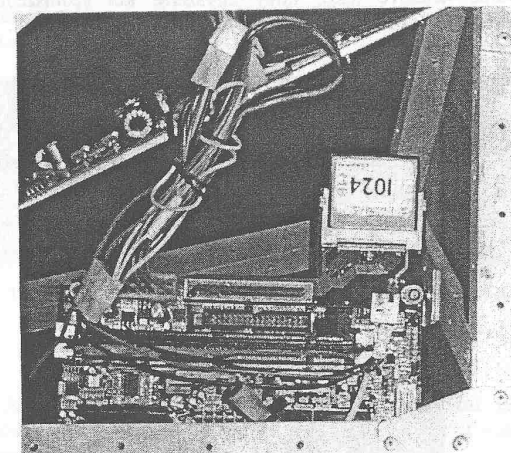


A HUNVEYOR-4 TOVÁBBFEJLESZTÉSE

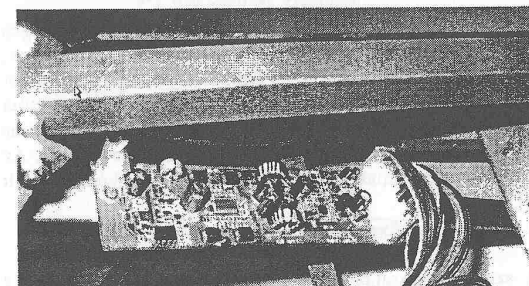
Bár az eredeti célkitűzés minden pontja még nem készült el, az építés és működtetés során felhalmozott tapasztalatok és a felmerült újabb igények alapján úgy döntöttünk, hogy a továbbfejlesztés során a már meglévő egységek ismételt újratervezése és megépítése által fokozatosan elérjük, hogy egyre hosszabb idejű autonóm működés és a távolból történő működtetés lehetősége valósuljon meg. Így válik lehetővé a **valódi terepi szimuláció**, a terepien való mérés, adatgyűjtés. Speciális közeli tervünk a jégkéreg dinamikus változásainak vizsgálata befagyott tavakon (pl. rianások a Balaton jegén). Ezért a Hunveyor-4 első változatán több módosítást hajtottunk végre annak érdekében, hogy a szonda terepre vihető, és ott eredményesen működtethető legyen:

- **Alaplap csere:** a korábbi PC alaplapot kicseréltük egy kis fogyasztású, hűtést nem igénylő VIA EPIA alaplapra. Ennek következtében a rajt futó Linux servert és a hardware-specifikus programokat is újra kellett építeni, telepíteni és tesztelni.
- **Mozgó alkatrész kiváltása:** a könnyebb szállíthatóság, ugyanakkor a stabilitás megnövekedése, valamint a kisebb energiafelhasználás érdekében - a merevlemez tárolót a valódi üresközőknél is használatos flash memóriával váltottuk ki

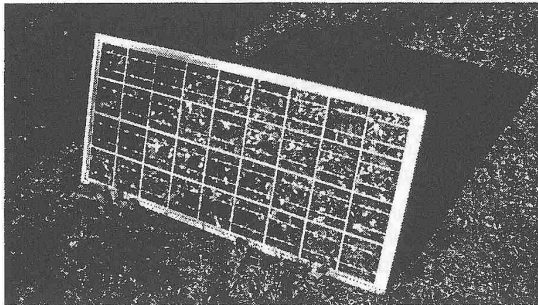
- megszüntettük a hűtőventillátort, melyet az új alaplap kisebb disszipációja tett lehetővé. Ez a lépés szintén közelít a valódi űrtechnikához, hiszen légüres térben értelmetlen a ventilátorok használata



- **Tápegység csere:** az új tápegység 12V egyenfeszültségből állítja elő az AT alaplaphoz szükséges összes feszültséget. Ezzel lehetővé vált az akkumulátorral való működtetés, a valódi terepi használat. Egy 7Ah-ás akkumulátor mintegy négy óráig volt képes üzemeltetni a szondát. Érdemes itt megjegyezni, hogy az energiaigény az operációs rendszertől is függ: Méréseink szerint Windows '98 esetében az áramfelvétel mintegy másfélszerese volt annak, mint amit a Debian Linux igényelt. Mindkét esetben a megvártuk, míg minden komponens betöltődik és elindul, s az operációs rendszer felhasználói parancsra vár.



- **Napelem:** A terepi működés idejének meghosszabbítása céljából napelemet is használunk. A napelem megfelelő áramkörön keresztül az akkumulátort tölti. Az egység 36 darab 100*100 mm-es cellából áll. A napelem anyagát tekintve egy polikristályos cellákból álló egység (Etilén-Vinil Acetát), mely névlegesen 50 W teljesítményre képes 12 V feszültség mellett. A cellákat a homlokoldalon biztonsági üveg, a hátoldalon Tedlar borítás védi.



A modul egy öntartó eloxált alumínium keret veszi körül. A cellák magas mechanikai szilárdságuknak köszönhetően hosszú élettartamot biztosítanak, anyagukat tekintve jó hatásfokúnak számítanak.

- **Rádiós kommunikáció megvalósítása:** mint ismeretes, a Hunveyor -4 bárki számára elérhető az Internet felől. A direkt vezetéklesség mellett rádióan keresztül is elérhetővé tettük a szondát, így a terepi méréseket, a környezet monitorozását távolról is el lehet végezni, még abban az esetben is, mikor a mérést végző személyes jelenléte zavarná, vagy lényegesen befolyásolná, esetleg lehetetlenné tenné a vizsgálatot.

Mint korábban már említettük, a Hunveyor-4 egy PC alaplap köré épül, és annak perifériáit használja az egyes eszközökkel való kommunikálásra. Konkrétan:

- USB port – a fedélzeti webkamera számára
- soros port – a meteorológiai állomás számára
- nyomtató port – a kamera forgató motor vezérlésére
-

A további bővíthetőség ezzel tulajdonképpen le is zárult.

Szoftver vonatkozásban mind a működtető és a távoli elérést biztosító Debian Linux operációs rendszer, az Apache webservert, valamint a PHP programok a webes felhasználói kezelőfelület előállítására, mind az adminisztráció és adatgyűjtés részére szükséges PostgreSQL adatbázis a szondát vezérlő alaplapon futott. Ennek a megoldásnak megvan az az előnye, hogy a szonda könnyen bemutatható, az IP címek egyeztetése után bármely számítógépről ethernet hálózaton összekötve egy böngésző segítségével közvetlenül elérhető, mozgatható. Hátránya viszont, hogy nagy tárolókapacitás igénye van. Amíg merevlemezt használtunk háttértárnak, addig ez nem okozott gondot, de a fogyasztáscsökkentés és terepi kivitel miatt alkalmazott, lényegesen kisebb méretű flash-memória azonban már korlátokat jelentett.

A korábbiakban felsorolt hardver és szoftver korlátok kiküszöbölése érdekében született meg az új rendszer terve.

A KÖVETKEZŐ GENERÁCIÓ RENDSZERTERVE

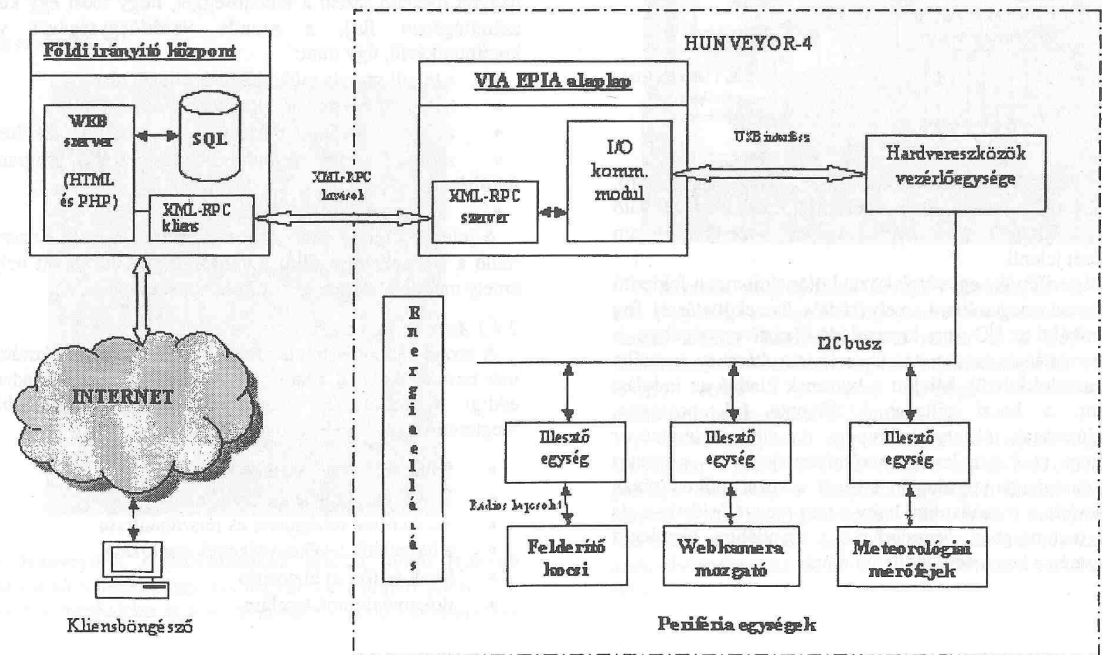
1. Hardver vonatkozások:

A hardver vonatkozásokat illetően látható, hogy a mérőeszközök és egyéb perifériális berendezések (mint pl.

későbbiekben a robotkar, színképelemző, ... stb.) többé nem lépnek közvetlenül kapcsolatba az alaplappal, hanem a számukra kialakított speciális illesztő egységen keresztül az ún. eszközevezérlővel kommunikálnak. Az alaplaphoz már csak a vezérlő egység kapcsolódik. A Hunveyor-4 második generációs rendszertervét az alábbi ábrán mutatjuk be.

Jelenlegi állapotában a Hunveyor-4 működtetését a szonda vázszerkezetére szerelt VIA EPIA PC alaplap s a rajta futó LINUX operációs rendszer, illetve az alatta futó több, eszköz-specifikus programcsomag valósítja meg. Az átalakítás egyik célja pont az, hogy ezt ne csak logikailag, hanem fizikailag is több részre bontsuk. Az egyik részegység lesz maga a PC alaplap a flash háttértárolón elhelyezkedő LINUX operációs rendszerrel. Ez tartja majd a kapcsolatot egyrészt a földi irányító központtal, másrészt a mérőeszközök vezérlő egységével.

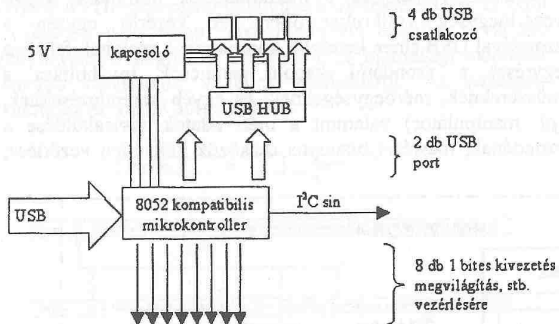
A másik részegység a mérőműszerek irányítását végző vezérlőegység (mikrokontroller). A vezérlő egység a szondával USB sínen keresztül kommunikál, melynek feladata egyrészt a szondától kapott parancsok továbbítása a műszereknek, mérőegységeknek, és egyéb berendezéseknek, (pl. manipulátor) valamint a mért adatok visszaküldése a szondának, másrészt bizonyos eszközök közvetlen vezérlése,



melyek számára felesleges lenne illesztő egységet készíteni (pl. világítás). A vezérlő mikrokontrollere egyben USB hub is, két csatlakozóval, mely egyike egy másik, négy csatlakozós USB hub-hoz kapcsolódik. Ezekon keresztül kommunikálnak majd a szonda kamerái.

Az egyes mérőegységek a vezérlőegységhez I²C sínen keresztül kapcsolódnak. Ilyen eszközök a már jelenleg is létező, de később az új struktúrához illeszkedő:

- meteorológiai állomás: szélesség, szélirány, hőmérséklet, fény, valamint nagyenergiájú részecskesugárzás mérése
- tovább fejlesztett, már sztereoképek készítésére is alkalmas webkamera szerelvény és annak mozgató egysége
- felderítő műszerkocsi



Újabb eszköz használatba vétele (pl. ásó, fűró, talajmintavető, ...stb.) ezek után már csak a sínre való illesztést, valamint a hozzá szükséges vezérlő program fejlesztését jelenti.

A fenti perifériális egységek közül külön érdemes a felderítő műszerkocsit megemlíteni, mely rádiós összeköttetéssel fog kommunikálni az I²C sínre kapcsolódó illesztő egységéhez. A kocsi útvonalának megtervezéséhez és irányításához speciális programmodul készül. Mielőtt a kocsinak kiadná az indulási parancsot, a kocsi pillanatnyi állapota (pl. pozíciója, akkumulátorának töltöttségi állapota, ... stb.), valamint az útvonalterv (a használandó mérőműszerek és a mozgás becsült energiaigénye) alapján elvégzi a kocsi működésének szimulációját, s megállapítja, hogy a terv megvalósítható-e, és a kocsi biztonságban visszatérhet-e a szondához. Nemleges válasz esetén a kocsi nem indítható útnak.

2. Szoftver vonatkozások:

A Hunveyor-4 második generációs rendszertervéből az is kiderül, a szoftver rendszer is gyökeres átalakuláson ment keresztül, mely a következő feladatokat jelenti:

- A Webszerver és az adatbázis-szerver leválasztása a szondáról, és a földi irányító központba történő telepítése. Ezzel a flash memória korlátozott tárolókapacitásából adódó probléma megoldódik, viszont terepen, vagy bemutatók alkalmából csak olyan géppel lehet a szondához kapcsolódni, melyen telepítve van a földi irányító központ.

- XML-RPC alapú, a földi állomás és az űrszonda közötti kommunikációs szoftver megírása, PHP nyelven.

- XML-RPC szerver a kérések fogadásához, feldolgozásához és a megfelelő parancskódok előállításához, C nyelven.

- I/O modul a szonda (PC alaplap) és a műszer-együttest vezérlő egység közötti kommunikációhoz, szintén C nyelven. A fizikai összeköttetés USB buszon keresztül valósul meg.

2.1 A Földi irányító központ

A földi irányító központ alapvető feladata a korábbiakhoz nagyon hasonló (azzal a különbséggel, hogy most egy külön számítógépen fut), a szonda vezérlőegységével való kommunikáció, úgy mint:

- a távoli szonda működésének ellenőrzése
- a működtető parancsok továbbítása a szondára
- a szondán működő műszermodulok indítása, leállítása
- szükség esetén új műszermodul vezérlő programok feltöltése

- Internet felőli elérhetőség biztosítása

A jelenlegi rendszerterv szerint mind az adatbázis szerver, mind a webszerver a földi irányító központban kapott helyet, amely már nem a szonda erőforrásait használja.

2.1.1 Az adatbázis szerver

A szonda adminisztrációs feladatait továbbra is a korábban már bevált PostgreSQL adatbázis szerver kezeli. Itt a feladat az eddigi tapasztalatok alapján a felhasználói adatbázis megtervezése és kezelése, úgy mint :

- felhasználók felvétele és törlése
- felhasználói jogosultságok kezelése
- műszerek telepítése és tesztelése
- a használók tevékenységének naplózása
- hírek és fórum biztosítása
- dokumentumok tárolása

2.1.2 A webszerver

Ez a szerver teszi lehetővé, hogy a szonda műszerparkját ne csak a helyszínről, a földi irányító központot megvalósító számítógépről, hanem az Internetről is kezelni lehessen. Biztosítani kell, hogy bármely, az Internetre kötött gépről

- a szonda irányításához az arra jogosult felhasználóknak be lehessen jelentkezni
- a szondán elvő műszerekre használati időt lehessen foglalni
- az előzetesen lefoglalt műszereket lehessen működtetni
- a szonda által visszaküldött adatokat meg lehessen jeleníteni, elemezni és tárolni

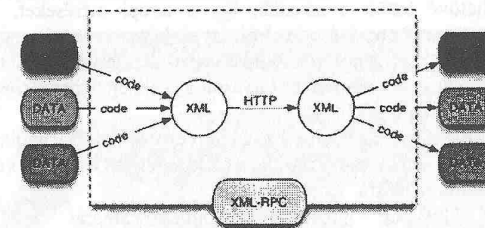
A felhasználóbarát kezelés megvalósítása érdekében többek között meg kell még oldani a következő feladatokat:

- a Hunveyor -4 honlapjának elkészítése és napra készen tartása
- a kezelőt segítő menürendszer/leírás elkészítése
- látványos webes kezelőfelületek készítése
- a felhasználók értesítése, figyelmeztető elektronikus levelek küldése

2.2 A szonda kommunikációs modulja

A szonda kommunikációs modulja az alábbi három elemből tevődik össze:

- XML-RPC kliens (PHP nyelven)
- XML-RPC szerver (C nyelven)
- I/O kommunikációs modul (C nyelven)



Mint látható, a szonda és a földi állomás közötti kommunikáció megvalósításához az XML-RPC protokollt választottuk. Az XML-RPC egy XML és HTTP alapú mechanizmust nyújt a hálózaton keresztül történő módszer-

vagy függvényhívások létrehozására. Az XML-RPC egy igen egyszerű, ám kifejezetten hasznos eszközkészlettel rendelkezik az eltérő rendszerek összekapcsolásához. Egyrészt a kérések és a válaszok formája XML nyelvezetű, ezáltal platform-független kommunikáció valósítható meg, másrészt az átvitelhez a HTTP protokollt alkalmazza, és magas szintű programozási felületet kínál, amellyel a fejlesztők a rendszerek közti interfészekre tudnak figyelni, és nem kell az interfészek közti kapcsolattartáshoz használt protokollal foglalkozniuk. A Hunveyor-4 projectben is ezek az okok vezettek arra, hogy a földi állomás és az űrszonda közötti kommunikációt XML-RPC protokollal valósítsuk meg.

A földi állomás webszerverén futó PHP programok – amelyek elsődleges feladata a felhasználói felület előállítása – egy jól definiált interfészen keresztül adják át az adataikat az XML-RPC kliensnek, amely szintén PHP nyelven készült el. A kliens XML-RPC hívásokkal szólítja meg az űrszondán lévő párját, az XML-RPC szerver, amely C nyelven íródott. Ebben a rétegben fontos feladat volt a távoli hívások számára kijelölt függvények, bemenő paraméterek, és válaszok gondos megtervezése.

2.2.1 Kommunikáció a szonda és a hardvereszközök vezérlőegysége között

Az XML-RPC alapú függvényhívások az adott kérésnek megfelelően előállítják a vezérlőegységnek szóló parancskódokat. Ezeket az I/O kommunikációs modulnak adja át, amely ezt USB-n küldi el a perifériák vezérlését irányító központi egységnek. Ennek a feladata, hogy értelmezze a parancskódokat, ez alapján vezérelje az I²C buszra csatlakozó mérőfejeket

Ebben a rétegben egyik fontos feladat a parancskódok definiálása, azaz a C nyelvű I/O kommunikáció protokolljának megtervezése, továbbá a fizikai csatornán történő párbeszéd lebonyolítása. Mivel az I/O modul különálló komponens a rendszerben, ezért a fizikai csatorna bármikor lecserélhető, hiszen csak az I/O modulban kell az ehhez szükséges módosításokat elvégezni, mivel az nem érinti a többi modul működését.

2.2.2 A parancskódok általános felépítése

A parancskódok felépítése az alábbi egységes szerkezetet követi:

| ADDR | LG | DI | CMD | DATA |
|-------|-------|-------|-------|------|
| 8 bit | 8 bit | 4 bit | 4 bit | |

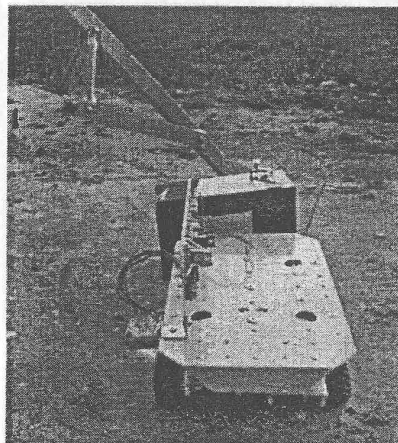
- ADDR: Az illesztő egység címe (decimális)
- LG: Hossz mező, ami megmondja a „hossz” mezőhöz követő bajtok számát. (decimális)
- DI: Device Identifier, eszköz azonosító. Egy adott illesztőn több eszköz is lehet, és ezeket azonosítjuk ezzel az értékkel (bináris)
- CMD: Command, parancskód. (bináris)
- DATA: adatmező, ami tetszőleges hosszúságú lehet.

A további részletek ismertetésétől eltekintünk, mert azok már messze túl mutatnak jelen leírás keretein, de az érdeklődők számára a szonda honlapjáról elérhetők.

A „HUSAR-4” FELDERÍTŐ JÁRMŰ ÉPÍTÉSE

A szonda környezetének tanulmányozása eredményesebben végezhető el, ha mobilizálható eszközparkkal, azaz felderítő műszerkocsival (HUSAR – Hungarian Surface Analyzer Rover) is rendelkezik, melyből több változat is készült.

1 Az első változat

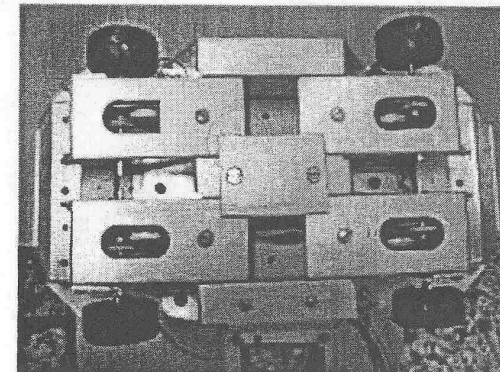


A Hunveyor-4 kutatószondához készült mobil felderítő eszköz első változata egy kis négykerekű, önjáró kocsí volt, amelynek meghajtása és irányítása a vezérlő számítógépről

soros vonalon küldött parancsok útján történt. Előlről és hátulról teljesen szimmetrikus, tehát nincs kitüntetett haladási iránya. Az energiaellátáshoz a jármű egy akkumulátort vitt magával. (A fényképen a kocsí bal oldalán a bekapcsolt spektrométer látható.)

A jármű alváza 20/40×2 mm-es, zárt alumínium profilokkal merevített, 2 mm vastag alumínium lemezből készült, amely 20 db, a különféle kiegészítő berendezések és szenzorok felfogatására szolgáló furattal volt ellátva

A jármű négy kereke az alvázhhoz külön-külön rugózottan, hosszanti lengőkarokkal csatlakozott. Mindegyik kerék külön egyenáramú motorról kapta a meghajtást egy dörzshajtáson és egy három-lépcsős, fordulatszám-csökkentő fogaskerék-hajtóművön keresztül. A jármű kormányzását a kerekek egyedi meghajtása biztosította, amely elvileg lehetővé teszi az igen kis helyen történő megfordulást, a talajviszonyoktól függően akár helyben is. A gyakorlatban a működése nem volt teljesen kielégítő.



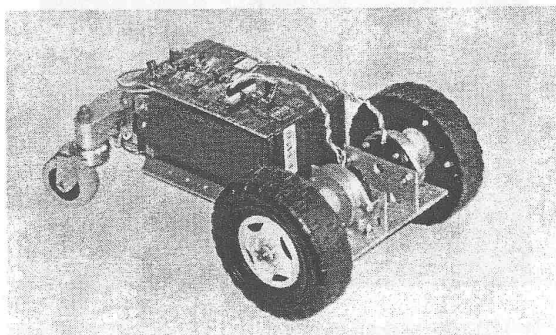
A kerekek meghajtására szolgáló dörzshajtás módosítása kb. 6-szoros, a fogaskerék-hajtómű módosítása 15-szörös lassító áttétel. Összmódosítás a motor és a kerék között: fordulatszámra kb. 90-szeres, kerületi sebességre kb. 10-szeres lassító áttétel. A jármű tömege akkumulátor és műszermodulok nélkül 875 gramm volt.

A jármű irányítását egy PIC mikroprocesszor végezte (a fényképen a vezérlő elektronika a kocsí bal oldalán álló panelen található) a központi egységtől érkező utasítások alapján. A mikroprocesszor kétirányú kommunikációt folytatott, a központi egységtől kapta az utasításokat, majd ezek elvégzése után az adatokat továbbította a leszállóegység felé.

2 A második változat

Az első változat legfőbb hibája a hajtó motorok és a dörzshajtás kis terhelhetősége és a korlátozott terepjáró képesség a kisméretű kerekek miatt. Az egyenáramú hajtómotorok gyengesége és a dörzshajtás megcsúszása terhelés nélkül is bizonytalanná tette a kormányzást.

A javított változat a réginél nagyobb és nehezebb, nagyobb teherbírású. Traktorszerű felépítésű: két „terepmintázató”, nagyméretű (120 mm átmérőjű, 30 mm széles), léptetőmotorokkal meghajtott kerékekkel és két kisebb (50 mm-es) szabadonfutó, kormányzott kerékekkel van felszerelve, amelyek hasonlóan a bevásárlókocsihoz, önbeállók. A kormányzás a hajtó motorok különböző fordulatszámúval való meghajtásával történik, amely a kormányzott, önbeálló kerekeket a megfelelő irányban és mértékben, automatikusan elfordítja. A jármű haladási iránya tetszőleges lehet, az önbeállóan kormányzott kerekek lehetnek elől, vagy hátul. Az utóbbi megoldás látszik célszerűnek a kitüntetett („előre”) haladási irány megválasztására.

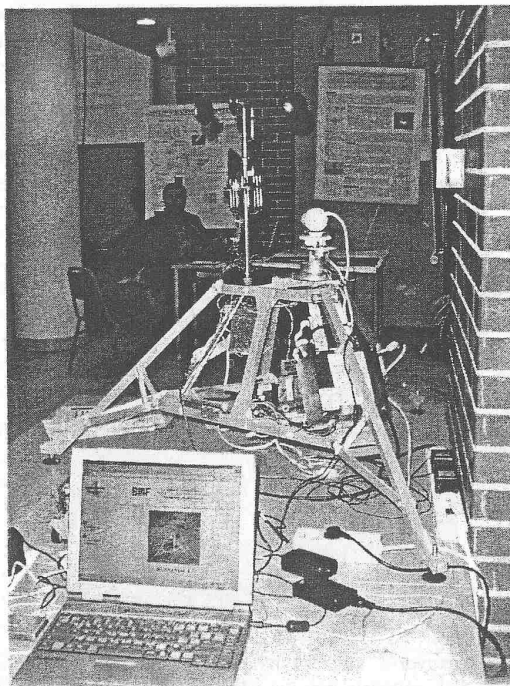


A meghajtott kerekek nem rugózottak, a szabadonfutó kerekek azonban egy közepesen csapágyozott, rugóerő ellenében elforduló, vízszintes gerendára (traktor „mellsőhíd”) vannak szerelve, ami egyenletlen terepen is biztosítja a kerekek talajjal való érintkezését. A nagy méretű kerekek lehetővé tették a talajtól mért szabad magasság megnövelését, ami most a jármű közepén minimálisan 30 mm, egyébként 50 mm. Az alváz anyaga üvegszálváz, kétoldalt rézfóliával bevont epoxi-lemez, amelyet elcsavarodás ellen egy ragasztással és szegeccseléssel rögzített 40/20×2 mm-es, zárt, négyszögű alumínium profil merevít. Az alvázon levő furatok lehetővé teszik az energiaellátó akkumulátor és bármilyen érzékelő

vagy egyéb szerelvény egyszerű felszerelését. A jármű tömege akkumulátor nélkül kb. 1,5 kg.

A jármű új változatában a meghajtást két léptetőmotor biztosítja, amelyek egybeépített fordulatszám-csökkentő fogaskerék-hajtóművel hajtják meg a kerekekre szerelt műanyag fogaskerekeket: a fogszámok aránya kb. 20-szoros lassító áttételt ad. Ez a módosítási viszony a motor tengelyén levő fogaskerék kerületén ható erőt a meghajtott kerék kerületén elméletileg kb. hatszorosára növeli. A valóságban a mechanikai veszteségek miatt ennek a vonóerőnek legfeljebb fele áll rendelkezésre, ami kb. 10°-os emelkedő leküzdését teszi lehetővé egy 2,5 kg tömegű akkumulátorral megterhelve.

A léptetőmotorok egy fordulathoz 24 lépés tartozik. Az áttételek figyelembevételével számítva a motorok egy-egy lépésére kb. 0,8 mm-nyi utat tesz meg a jármű. Méréseink szerint a biztonságos, lépéskihagyás nélküli meghajtáshoz alkalmazható maximális lépésszám másodpercenként 70 ... 75, így az ajánlott sebesség kb. 50 mm/s, azaz kb. 3 m/min.



A Hunveyor-4 az Űrnapon

A jelenlegi Hunveyor-Husar csoportok

Hunveyor-1.

Eötvös Loránd Tudományegyetem, TTK, Fizikai Intézet, A-nagyfizikai Tanszék, Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport, Budapest. Hunveyor-1b és -1c. A minimálűrszonda 1997 őszén készült el, a Husar-1 1998 őszén. Programszervező Bérczi Szaniszló.

<http://planetologia.elte.hu/>

Hunveyor-2.

Pécsi Tudományegyetem, TTK, Informatika és Általános Technika Tanszék, Pécs. Hunveyor-2 minimálűrszonda 1998 tavaszán, Husar-2a, Husar-2b és Husar-2c. Lego Husar változat. Programszervező: Hegyi Sándor.

<http://www.ttk.pte.hu/ami/urkutato/index2.htm>

Hunveyor-3.

Berzsenyi Dániel Főiskola, Technika Tanszék és Természettudományi Tanszék, Szombathely. Hunveyor-3 minimálűrszonda 2001 tavaszán. Programszervező: Károssy Csaba, Nemes József.

Hunveyor-4.

Budapesti Műszaki Főiskola, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Számítógéptudományi Intézet, Székesfehérvár. A Hunveyor-4 minimálűrszonda 2003 tavaszán, a Husar-4 2004-ben készült el. Programszervező: Hudoba György.

<http://hunveyor.szgti.bmf.hu/>

Hunveyor-5.

Nyugat-Magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Termőhelyismereti Tanszék, Sopron. Hunveyor-5 minimálűrszonda fejlesztés alatt. Programszervező: Gucsik Arnold.

Hunveyor-6.

Dorogi Gimnázium. A Husar-6 2004-ben készült el. Programszervező: Nyerges Gyula.

Hunveyor-7.

Pannonhalmi Főapátsági Gimnázium. A Hunveyor-7 előkészületben. Programszervező: Pintér Ambrus

Hunveyor-8.

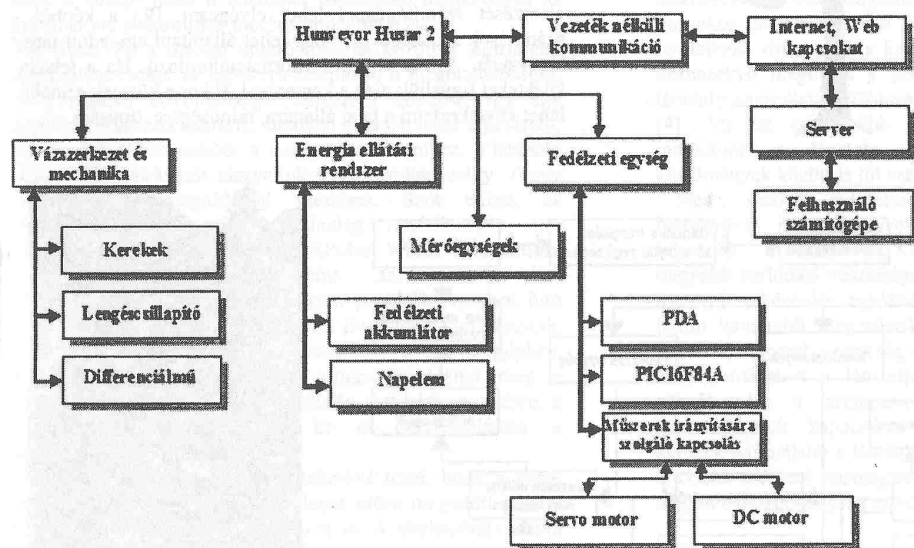
Simonyi Károly Szakközépiskola, Pécs. A Hunveyor-8 előkészületben. Programszervező: Bíró Tamás.

Hunveyor-9.

Tatai Gimnázium, Tata. Programszervező: Maknics András.

A HUSAR-2A ROVER FEJLESZTÉSE

A Husar-2a robottal vezeték nélküli (wireless, WI-FI) technológia segítségével tudunk kommunikálni a roboton található PDA-számítógép segítségével. A PDA vezérli az autón található PIC processzort (a soros porton keresztül), amely utasításaival forgatja a szervo motorokat és egy áramkörön keresztül irányítja a DC motor forgási sebességét. A PDA programja Visual Basic nyelven íródott, a PIC processzor pedig PIC Basic nyelven. A HUSAR-2a robotautó, szerkezetének köszönhetően, képes oldalazva haladni, kis íven kanyarodni és nagyobb tárgyakon áthaladni.



A Husar-2a robotautó blokkvázlata a Hunveyor rendszer blokkvázlatába illesztve.

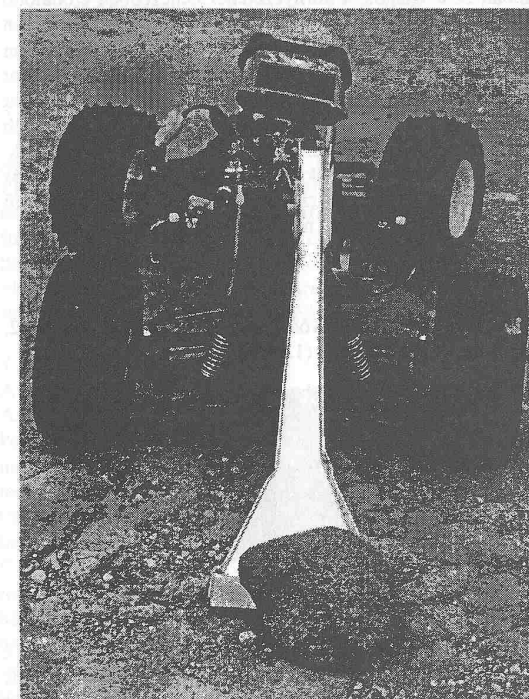
A Husar-2a robotautó kormányzást két szervomotor végzi. Ezeket a gyufásdoboznál kisebb eszközöket kifejezetten modellezők számára fejlesztették ki. Vezérlésük eredetileg analóg, de mi egy mikrokontroller segítségével irányonként 64 lépésre osztottuk. Mivel a szervók proporcionális vezérlésűek, ezért ha az esetleges tereptárgyak elmozdítanak a kijelölt iránytól a kormányt az automatikusan visszaáll.

Az alap fedélzeti elektronika tartalmaz egy PIC 18F627-es mikrokontrollert. Szükség esetén ez lecserélhető egy nagyobb

teljesítményűre, ami pl. RF adó-vevőt is tartalmaz. A programozó készülék, amit a mikrokontrollerek programozásához készítettünk alkalmas majdnem minden Microchip által gyártott mikrokontroller programozására. A fedélzeti mikrokontrollernek csak azokat a funkciókat kell megvalósítani, amiknek akkor is működni kell, ha valami összetett számítási feladattal van elfoglalva a fedélzeti számítógép, ami egy HP ipaq PDA. A PDA és a mikrokontroller közötti adatforgalom vagy soros (RS232) vagy USB 1.1 protokollon történik.

A képeket illetve mozgó képet a WIFI-n keresztül a vezérlő számítógépre küldi ez a gép bármely internetre kapcsolt gépre lehet, ami legalább ADSL sebességgel kapcsolódik a netre. A kamerák páronként képesek az emberi szemhez hasonlóan egy adott távolságban „fókuszálni”, így képes sztereoszkópos képet illetve filmet közvetíteni a robot mind a négy oldaláról. Ezeknek a képeknek a megtekintéséhez két módot is kidolgoztunk. Az egyik a szokásos színeltolós, színszűrős módszer (piros zöld szemüveg), a másik a váltott képes, 3D szemüveges megoldás.

A sztereoszkópos képre azért is szükség van, mert a robot egyik végén egy három szabadságfokú robotkar van, amivel anyagmintákat lehet gyűjteni és a képek a pontos célzást segítik. A robotkar az anyagmintát a fedélzeten elhelyezett analízátorokhoz emeli. A kar elég erős ahhoz is, hogyha esetleg a robot elakadna képes kihúzni magát.



A Husar-2a a szentbékállyai terepgyakorlaton egy lherzolit zárványt tol maga előtt.

A HUSAR-2B ROVER FEJLESZTÉSE

A Husar-2b a Pécsi Tudományegyetemen készült a Hunveyor-2 és Husar-2 robot család részeként. A Hunveyor-Husar robot modellekkel magyarországi Mars-analóg helyszíneket látogattunk meg 2005-ben. Szentbékállán, Hegyestűn, és a Pécsi bányában a nyíltzríni fejtésen készítette a fotókat.

A Husar-2b kipróbálásának helyszíne: Utah sivataga

Többféle felszínen is kipróbáltuk a Rovert. Ezek közül a legérdekesebb az a „badland” terület, ahol a dombtalpi részen kisebb-nagyobb kőzetdarabok vannak fölhalmozódva. Másol olyan kőzetréteg kibukkanáson mozgott a rover, amihez hasonlót az Opportunity látott egy marsi kráter peremén. Utahban ez a világos, a környezeténél nehezebben erodálódó homokkő egyes területeken épp a felszínen van, és lassan feldarabolódó „kockakőjárdát” alkot. Másol a rover olyan mikro-folyóvölgyekben mozgott, amelyeket a hóolvadáskor lefolyó víz alakított ki. Különleges formájú, rétegzett homokkővek között is mozgott a Rover. A Husar-2b kipróbálásáról fényképek és mozgóképfelvételek is készültek. A rover fő feladatai voltak: a nagy hőmérsékleti ingadozás mérése a rászerezelt mérőműszer segítségével, a terepről mozgó felvétel készítése a vezeték nélküli mini-kamera segítségével.

A nedvesség detektor

A detektor két részből tevődik össze: egy érzékelő fejből (2. ábra) és egy kijelző részből (1. ábra).



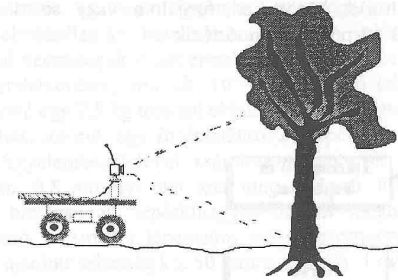
(1. ábra)

(2. ábra)

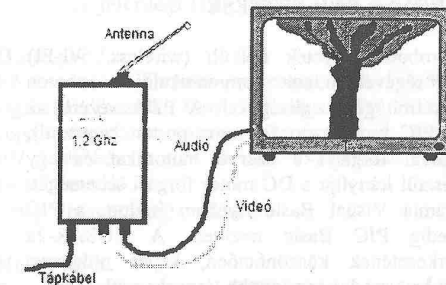
A nedvesség érzékelése esetén a LED világítani kezd. Az érzékelő fejet két rézlapocskára alkotja, melyek egymás mellett helyezkednek el. A lapok közé kerülő nedvesség zárja az áramkört és ekkor kezd el világítani a LED a panelon. Az autó az érzékelő részt maga alatt hordozza. Elkészítése nem bonyolult, Pécssett, az egyik általános iskolában a 8. osztályos gyerekek (kötelező jelleggel) elkészítik ezt a munkadarabot.

A vezeték nélküli kamera

A kamera a Husar-2b elején helyezkedik el, egy hengeren. Energiaellátását egy napelem és egy akkumulátor biztosítja. A kamera, mint adó, 200 - 400 méteres körzetbe képes színes képet sugározni a vevőnek - domborzati viszonyoktól függően. (3. ábra)

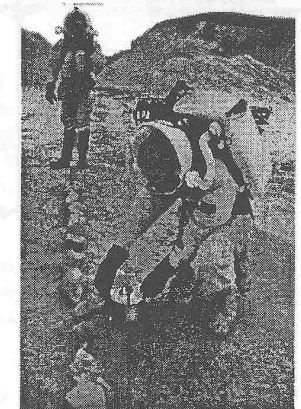
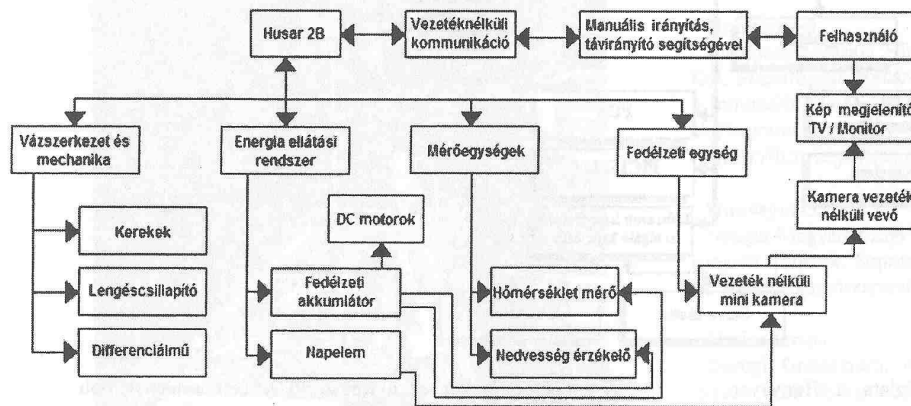


3. ábra



4. ábra

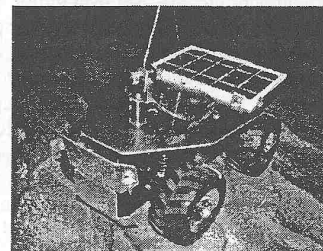
A beérkezett kép rengeteg információt tartalmaz, ennek elemzését számítógéppel lehet elvégezni. Pl.: a képből - számítások segítségével - meg lehet állapítani egy adott tárgy távolságát. A kép vizuális információhordozó. Ha a felszíni kőzeteket figyeljük meg a kamerával, akkor a kőzetek színéből lehet következtetni a talaj állagára, minőségére, típusára.



A Husar-2b Utahban (Hargitai H.)

A kamera által közvetített kép segíti a tájékozódást, a rover irányításához elengedhetetlenül szükséges. Ha a bejövő képet digitalizáljuk, és képelemző programoknak vetjük alá, akkor a számítógép képes az alakfelismerésre, ezáltal felismeri az akadályokat és a rover tárgyakat tud kikerülni.

A program a sötét és a világos színek közötti különbséget figyeli és kiszűri a tárgyak kontúrját, így jól tudja elemezni a képet. Ha a rover egy helyben áll és hirtelen a kamera elé belép valami, azt irányítók rögtön észreveszik, így ez a módszer mozgásérzékelésre is alkalmazható.



A HUSAR-2C ROVER FEJLESZTÉSE

1. Bevezetés

Az 1997 óta több változatban is megépült HUNVEYOR (Hungarian University Surveyor) fix telepítésű űrszonda-modell és a hozzá kapcsolódó HUSAR (Hungarian University Surface Analyser Robot) felderítő robotautó [1,2] sorozat bebizonyította, hogy olcsó és könnyen elérhető alkatrészekből és technológiákkal is lehetséges marsi analóg körülmények között sikerrel működő rendszert építeni. Szenzorai segítségével közzettani, kémiai, meteorológiai vizsgálatokat végezhetett, akár részben, vagy egészben automatikusan is. A platform – kialakításánál fogva – alkalmas oktatási célokra is: mind a közép- mind a felsőfokú oktatásban megkönnyíti az informatika, elektronika, mechatronika oktatását.

A Husar-2C a sorozat önjáró robotjai között a legfrissebb tag. Fejlesztésekor az egyszerű felépítést, a megbízhatóságot, és a könnyű bővíthetőséget helyeztük előtérbe, így egy rugalmas rendszert kaptunk, amelyen gyorsan lehet fejleszteni.

A továbbiakban először a mechanikai felépítést, a láncfalp előnyeit és hátrányait tárgyaljuk a közönséges négy- (vagy hat-) kerekes megoldással szemben. Szót ejtünk az elektronikai felépítésről, a jelenleg rendelkezésre álló szenzorokról, a motorok PWM (Pulse Width Modulation) alapú meghajtásáról, valamint az ATMEGA128 mikrokontrollerrel felépített központi panelről. Az ezen futó TinyOS operációs rendszerrel külön fejezetben foglalkozunk. A láncfalpas jármű rádióval kapcsolódik a számítógéphez, melyen az általunk fejlesztett program valósítja meg a magasabb rendű funkciókat: lehetőség van kézi vezérlésre, a marsjárón található perifériák ki- és bekapcsolására, a szenzorok lekérdezésére.

A legfontosabb fejlesztésünk lehetővé teszi, hogy a robot önállóan követhessen egy tetszőleges előre megadott pályát, akár változó terepviszonyok mellett is. A tájékozódás alapja egy 8 LED-ből kialakított mintázat a láncfalpason, melynek képét egy rögzített kamera figyeli, és a számítógépen futó program dolgozza fel. A változó terepviszonyok miatt megkövetelt alkalmazkodóképesség ideális eszköze a fuzzy szabályozás [3], amelynek implementációját a szoftverekkel foglalkozó fejezetben ismertetjük. Legvégül az eddigi eredmények ismertetése mellett foglalkozunk a jövőbeni fejlesztésekkel is.

2. Mechanikai felépítés

A Husar-2C rover alapjaként egy Hen Long gyártmányú, a 2. világháború Tiger 1 tankját mintázó RTR (Ready To Run) modell szolgált. Ez a jelenleg elérhető modellautóhoz képest számos előnyt adott: Az alapkiépítésű modell is igen nagy

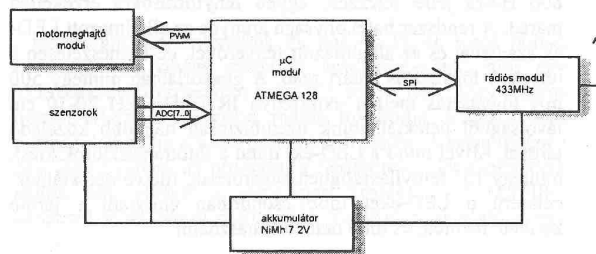
nyomatékú motorokkal rendelkezik, de a további bővítés lehetősége is megvan; a motorok a láncfalpakhoz igen nagy, mintegy 1:180-as áttétellel csatlakoznak, így a modell kis sebesség mellett sem veszíti el erejét, ami fontos, ha precíziós mozgásokat akarunk megvalósítani. Nem utolsósorban a tank alozó lemezén sok hely van az áramköröknek, illetve az eredetihez képest több, vagy nagyobb kapacitású akkumulátor elhelyezésére is van lehetőség.

A fentiek mellett a láncfalpas meghajtás előnyeit is kihasználhattuk: összesen két motor meghajtásával és irányváltoztatásával kell foglalkozni, míg egy modellautó esetén négy különálló motor, vagy motor és irányváltoztató szervomotor meghajtását kell biztosítani, ami a fedélzeti mikrovezérlőn futó programot is bonyolítja. Különösen laza, homokos talajon fontos a kisebb talajnyomás: egy kerekkel rendelkező rover csak a kereknek érintkezik a talajjal, így kézenfekvő megoldás a kerek számának növelése, vagy láncfalp használata. Előbbire példa a NASA Sojourner rovere [4]. Mi az egyszerűbb mechanikai megvalósítás miatt maradtunk a láncfalp mellett, amely marsi analóg körülmények között is jól szerepelt [5].

Nem szabad megfeledkeznünk a láncfalpas hajtás hátrányairól sem, amelyek még megoldandó problémát képeznek: a közvetlen, kerekes meghajtással szemben nagyobb súrlódási veszteségei vannak. Erre jellemző, hogy a motorok fékezésére egyáltalán nincs szükség, a rover egy lejtőn hamarabb megcsúszik, mint hogy elkezdjen gurulni lefelé. A nagyobb veszteség oka egyrészt a nagyobb leosztású áttétel, másrészt a láncfalp maga, valamint a láncfeszítő görgők. Ez a szempont olyan helyzetben, ahol az akkumulátorok kapacitása kevés, megfontolandóvá teszi kerek használata a láncfalppal szemben. A másik probléma a kisebb elérhető hasmagasság, amely bonyolultabb, sziklás talajon a mozgékony csökkenéséhez vezethet.

3. Fedélzeti elektronika

A HUSAR-2C fedélzeti elektronikájának tömbvázlata 3.1 ábrán látható.



3.1 ábra

3.1 Tápellátás

A tápellátást jelenleg egy hatcellás, 7.2V-os NiMH akkumulátor biztosítja, 1800mAh névleges kapacitással. Töltéséről egy saját tervezésű akkumulátortöltő gondoskodik, amely képes a nem teljesen lemerült blokkot kisütni mintegy 1V/cella feszültségig, így elkerülve az ún. memóriaeffektust. A kisütött akkumulátort ezután mintegy 4 óra alatt tölti fel. A 3.1 táblázat alapján a teljesen feltöltött akkumulátor – főleg terepviszonyoktól függően – 30 perc és 1 óra közötti működési időt tesz lehetővé a jelenlegi felépítés mellett.

| modul | áramfelvétel |
|---------------------|--------------|
| motorok | 0.5A ... 2A |
| fémkereső szenzor | 0.1A |
| ütközési detektorok | 0.7A |
| μC modul | ? |
| rádiós modul | ? |
| összesen | 1.5A ... 3A |

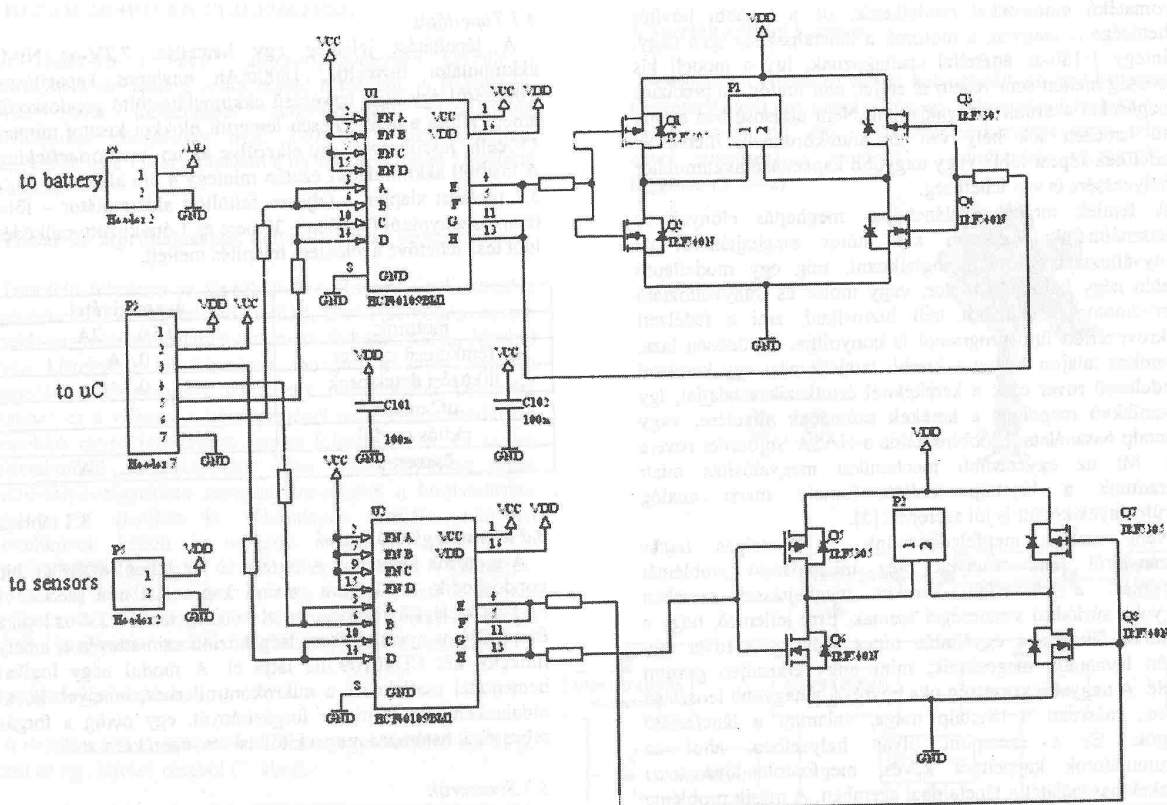
3.1 táblázat

3.2 Motormeghajtó modul

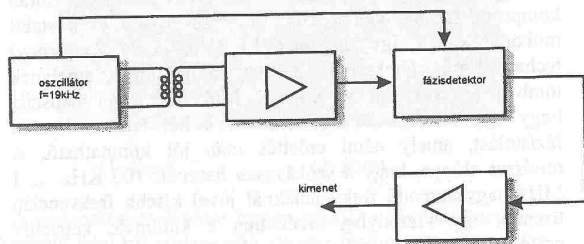
A motorok közvetlen vezérléséről két teljes MOSFET hid gondoskodik, a 3.2 ábra szerinti kapcsolási rajz szerint. A FET-ek kielégítő vezérlése miatt szükség van a 3.3V-os logika és a 7.2V-os nyers tápfeszültség közötti szintáttevésre, amely funkciót két CD40109 IC látja el. A modul négy logikai bemenettel csatlakozik a mikrokontrollerhez, amelyek közül oldalanként egy a motor forgásirányát, egy pedig a forgás sebességét határozza meg a kitöltési tényezők keresztül.

3.3 Szenzorok

A HUSAR-2C fedélzetén jelenleg kétféle szenzort teszteltünk. Az egyik egy egyszerű fémkereső. Ennek tervezése során kompromisszumot kellett kötni az érzékenység és a stabil működés között, így egy ún. VLF (Very Low Frequency) technológiájú fémkereső mellett döntöttünk, amelynek tömbvázlata a 3.3 ábrán látható. Működése azon alapszik, hogy egy közeli fémtárgy elhúzza a két tekercs közötti fázistolást, amely némi erősítés után jól kimutatható. A rendszer előnye, hogy a szokásosan használt 100 KHz ... 1 MHz nagyságrendű frekvenciáknál jóval kisebb frekvencián üzemel, így viszonylag érzéketlen a különféle kapacitív csatolásokra, amelyek szintén befolyásolnák a mérést. Az ilyen elven működő fémkereső a fázistolás iránya alapján képes különbséget tenni a ferromágneses valamint diamágneses fémek között.

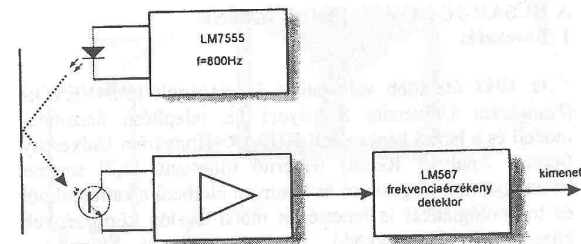


3.2 ábra



3.3 ábra

A másik kipróbált szenzor egy optikai reflexiós elven működő ütközéserzékelő. Mivel ennek a szenzornak működnie kell változatos fényviszonyok mellett, ezért a 3.4 ábra szerinti



3.4 ábra.

3.4 A processzormodul (mitmót)

A BME Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszékén fejlesztették ki azt a moduláris, elektronikus építőkészletet, amit a marsjáró modell vezérlésének alapjául választottunk (3.1 kép). Ezeknek az eszközöknek a neve „mitmót”, ami a tanszék nevének rövidítéséből (MIT) és az angol *mote* (porszem) szó kiejtés szerinti leírásából származik, és arra utal, hogy szenzorhálózati alkalmazásokra fejlesztették ki, melyek alapja az intelligens por (smart dust), ami nagyszámú parányi, intelligens, kommunikációra képes érzékelőből álló rendszer. Moduláris felépítésének köszönhetően az adott alkalmazáshoz illeszkedő konfiguráció állítható össze.

Egy összeállított készülék alapját egy processzormodul alkotja, mi egy Atmel ATmega128, 8 bites mikrovezérlőt tartalmazó példányt használtunk. Ez a controller 128 kB programmemóriát, 4 kB adatmemóriát és többek között I2C, SPI, UART, 8 csatornás ADC és 8 csatornás PWM perifériát tartalmaz. Erre az alapra építhetők toronyszerűen a további kártyák.

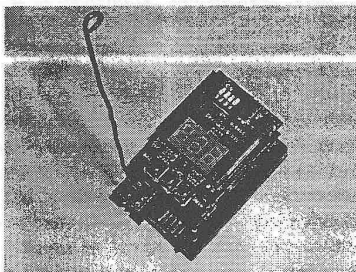
A modell kommunikációját egy rádiós adó-vevő kártya biztosította, amely egy Integration gyártmányú, IA4420 típusú, 433-434 MHz-es ISM sávban működő, frekvenciamodulációt használó, digitális rádiós IC-t tartalmaz. Ez a modul SPI buszon keresztül kényelmesen illeszthető a processzorhoz.

Használtunk egy gombokat, kapcsolókat, LED-eket és számkijelzőt tartalmazó modult is, de csak tesztelési és hibajelzési célokra.

A marsjáró vezérléséhez egy saját modult készítettünk, amely a motorvezérlő egységhez (3.2 fejezet) és az érzékelőkhöz (3.3 fejezet) biztosít csatlakozási pontot. Került rá egy Texas Instruments gyártmányú SN754410 típusú, négy fél hidból álló meghajtó IC, ami logikai szintekkel vezérelhető, de képes a teljes akkumulátor-feszültséget

elrendezést valósítottuk meg. A LED-ek és fototranzisztorok infravörös tartományban működnek. Ezzel a kapcsolástechnikával elértük, hogy a detektor csak a keresett 800 Hz-es jelre jelezzon, egyéb fényforrásokra érzéketlen marad. A rendszer hatékonysága arányos az alkalmazott LED-ek számával és az alkalmazott fényerővel, de természetesen a növekvő fogyasztás határt szab. A gyakorlatban mintegy 500 mA fogyasztás mellett extrafényű IR LED-ekkel 20-30 cm távolságból detektálhatunk üzembiztosan nagyobb közeledő tárgyat. Mivel mind a LED-ek, mind a fototranzisztorok kicsi, mintegy 15° fényfásszögben sugároznak, illetve detektálnak, célszerű a LED-eket több csoportban elosztani a jármű kerülete mentén, és több detektort használni.

kapcsolgatni a rákötött fogyasztókra: például LED-ekre, motorokra, szervomotorokra.



4. A TinyOS

4.1 A TinyOS és a NesC

A TinyOS operációs rendszert a kaliforniai Berkeley egyetemen fejlesztették ki, speciálisan a szenzorhálózati alkalmazások igényeihez igazítva. Szorosan kötődik hozzá a NesC nyelv, amelyben a TinyOS komponensek vannak megvalósítva és amiben programokat lehet írni az operációs rendszer alá. Ez a C nyelv kibővített változata, amely komponens-orientált elemeket is tartalmaz. A NesC nyelven írt programok *komponensekből* állnak, amelyek kétirányú *interfészek*en keresztül kapcsolódhatnak egymáshoz. Az interfészek a kétirányúságát a *parancsok* és *események* adják (egy interfész ezekből állhat). Az interfészt megvalósító komponens implementálja a parancsokat, az interfészt használó komponensből pedig meg lehet hívni ezeket. Az eseményeknél fordított a helyzet: ezeket az interfészt megvalósító komponens válthatja ki, az esemény hatására futtatandó kód viszont az interfészt használó komponensben van. A komponensek tehát nyújtanak és használnak interfészeket, de egy felsőbb szinten meg kell mondani, hogy hogyan kapcsolódnak egymáshoz. Ez az összeköttetés az úgynevezett konfigurációkban történik meg. A rendszer ezen kívül kezel még *taszkokat* is, ehhez egy egyszerű, nem preemptív ütemezőt használ.

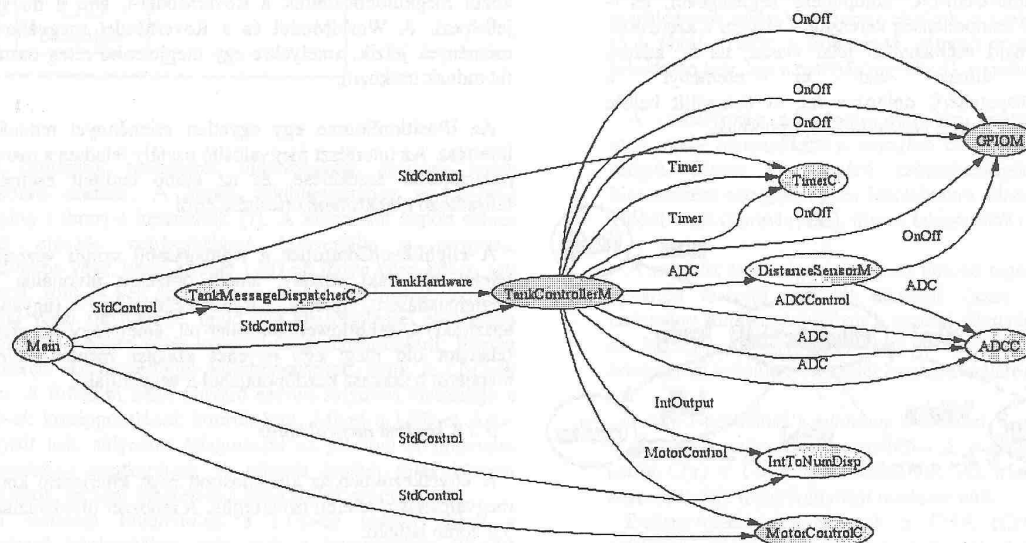
A TinyOS előre megírt komponensekből áll, amelyek elfedik a hardware-ek közötti különbséget, mert minden platformra külön meg vannak írva a hardware függő részek, így a programozást már csak egy magasabb, absztrakt szinten kell elvégezni. A TinyOS/NesC programozás gyakorlatban úgy folyik, hogy el kell készíteni a saját interfészeket és komponenseket NesC nyelven, ezek között kell lennie egy legfelső szintű konfigurációnak. Fordításkor egy előfordító egy C nyelvű kódot készít a NesC forrásokból, majd

hagyományos C fordítóval készül el a gépi kód, amit be lehet programozni a mote-okba. A TinyOS helytakarékos, mert csak azokat a programrészleteket fordítja bele az elkészülő kódba, amelyeket a legfelső szintű konfigurációban közvetlenül vagy közvetve használjuk.

4.2 A saját fejlesztés

Mitmóra korábban még nem voltak megírva a platformfüggő részek, így először ezeket kellett megvalósítani. A legnagyobb feladat a rádiós IC kezelése volt, ez a legbonyolultabb komponense a rendszernek. A TinyOS-nek van saját rádiós kommunikációs stack-je, azaz csomagformátuma és a csomagok küldését és fogadását lehetővé tevő komponense. A rádión kívül a soros portot is ugyanazon a komponensen keresztül lehet kezelni, így a mitmót és a számítógép között is hasonló csomagok mennek.

4.1.ábra.



Ez utóbbit úgy használjuk ki, hogy a PC-re soros porton keresztül egy olyan mitmót csatlakoztattunk, ami egy TOSBase nevű programot futtat. Ez annyit tesz, hogy a soros porton érkező csomagokat rádión továbbítja, a rádión vett csomagokat pedig a soros porton küldi vissza. A számítógépen egy Java nyelven írt program, a SerialForwarder csatlakozik ehhez, ami elvégzi a soros port kezelését, és TCP/IP-n keresztül lehet hozzá csatlakozni. Ezekkel gyakorlatilag egy

átjárót képzünk a TCP/IP és a TinyOS rádiós protokollja között.

A csomagformátum a következő: 2 byte cím (address), 1 byte üzenettípus (type), 1 byte csoport cím (group), 1 byte adat hossz (length), length byte adat (data) és 2 byte CRC. Az egységek tehát 16 bites címekkel rendelkeznek, emellett egy 8 bites csoport cím is létezik, ami az azonos területen elhelyezkedő, de különböző alkalmazást futtató eszközök interferenciájának elkerülésére szolgál. Az üzenettípus egy 8 bites mező, ami azonosítja, hogy a csomagban milyen fajta üzenetre számíthatunk, eszerint a mező szerint történik meg az üzenetek szétválogatása, azaz ez alapján dől el, hogy melyik komponens dolgozza fel a fogadott csomagot. Az üzenet tartalmaz egy hossz mezőt, ami az utána következő adat mennyiségét határozza meg, ez alapértelmezés szerint maximum 29 lehet. Az átviteli hibákat 16 bites CRC ellenőrző összeggel ismeri fel.

Az adat rész felosztása tetszőleges, általában egy struktúrát szoktak benne elhelyezni, mi is így tettünk. Kétféle üzenettípust definiáltunk, az egyiket a parancsok küldésére, a másikat a marsjárótól érkező válaszra.

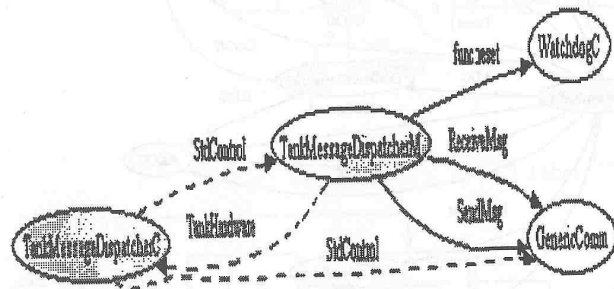
A parancsüzenet háromféle lehet: A „mozgás” utasításban szerepel, hogy melyik láncfalp mekkora feszültséget kapjon, és maximum mennyi ideig. A szervókat beállító parancs 3 szervómotor kívánt pozícióját tartalmazza. Ezt a későbbiekben, az új, több PWM kivezetéssel rendelkező

processzormodul segítségével tudjuk majd kihasználni. A harmadik parancsüzenet egy 8 bites mezőt tartalmaz, amivel 8 fogyasztót vagy funkciót lehet ki-be kapcsolni.

A visszafelé küldött üzenetek az ütközésetektorok állapotát, és a fémdetektor által mért értéket tartalmazzák. Ebben az üzenetben lehet még beletenni a további szenzorok mérési eredményeit, valamint az akku feszültségét is.

Az egész alkalmazás komponensszerkezete a 4.1 ábrán látható: a buborékok a komponensek, a közöttük lévő nyilak az összeköttetések, a nyílon az interfész típusa található.

A Main komponens az inicializálást és a komponensek elindítását végzi, és az operációs rendszer része. A TankMessageDispatcherC konfiguráció (4.2 ábrán részletezve) végzi az üzenetek szétválogatását, a háromféle parancsüzenetnek megfelelően hívja meg a TankHardware interfészt megvalósító TankControllerM modul megfelelő parancsát. A TankControllerM vezérli a motorokat a hozzá kapcsolódó MotorControlC komponens segítségével, és – főként az ADC komponensen keresztül – elvégzi a szenzorok lekérdezését, majd eseményben jelzi vissza, ha az adatok rendelkezésre állnak. Ezt az eseményt a TankMessageDispatcherC dolgozza fel, és összeállít belőle egy üzenetet, amit rádióon visszaküld a központnak.



5. A szoftveres rész

A PC-n futó szoftver elkészítéséhez a Microsoft .NET környezetét használtuk, a programot C# nyelven írtuk, fejlesztőkörnyezetünk a Microsoft Visual Studio 2005 volt. A webkamera kezeléséhez korábban megírt kódrészleteket, a képfeldolgozáshoz és a pozíció meghatározásához már rendelkezésre álló függvénykönyvtárakat (AForge Imaging Library [6], Open Source Computer Vision Library [7]) is felhasználunk némi átdolgozás után.

5.1 A program „gerince”

A szoftvernek először a „gerincét” készítettük el, amely meghatározza a program struktúráját, de elég általános annak érdekében, hogy a későbbiekben könnyen bővíthető legyen, és a már megírt és megvalósított részek is cserélhetőek legyenek. Ez interfészekből, illetve absztrakt osztályokból áll, amelyeket igyekeztünk úgy megtervezni, hogy minden olyan továbbfejlesztésre alkalmas legyen, amire a későbbiekben szükség lehet.

A szoftver struktúrája az 5.1 ábrán látható.

Az alábbiakban a fontosabb interfészek és osztályok szerepét foglaljuk össze. A WorldModel a világot reprezentálja, amelyben a marsjáró mozog. A világban előforduló tárgyakat ObjectModel-ek reprezentálják, melyeknek pozíciója, orientációja és kiterjedése van. Ezek közül megkülönböztettük a RoverModel-t, ami a marsjárót jelképezi. A WorldModel és a RoverModel megváltozását események jelzik, amelyekre egy megjelenítő réteg osztályai fel tudnak iratkozni.

Az IPositionSource egy egyetlen eseménnyel rendelkező interfész. Az interfészt megvalósító osztály feladata a marsjáró pozíciójának érzékelése, és az előbb említett eseményre feliratkozó objektumok értesítése erről.

A HighLevelController a legmagasabb szintű vezérlésért felelős absztrakt osztály, amely összetett útvonalon való végighaladásért felelős. Rendelkezik egy (ugyancsak absztrakt) LineFollowerController-rel, amely egy egyszerűbb feladatot old meg: egy egyenes szakasz mentén vezeti a marsjárót a szakasz kezdőpontjából a végpontjáig.

5.2 A konkrét megvalósítás

A következőkben az általánosított részt kiterjesztő konkrét megvalósítás részleteit ismertetjük. A rendszer blokkvázlata az 5.2 ábrán látható.

A szoftver három fő egységből áll: a grafikus felhasználói felületből, a marsjáró konfigurációjából és a pozíció meghatározására szolgáló részből. Ezek külön-külön lecserélhetőek, mivel szabványos interfészekkel kapcsolódnak egymáshoz. Létrehozhatunk például egy másfajta rover konfigurációt egy kerekes jármű számára. A lényeg az, hogy legyen benne egy RoverModell és egy HighLevelController, ami kívülről elérhető. A pozíció meghatározás is lecserélhető, a lényeg, hogy valami megvalósítsa az IPositionSource

interfészt, azaz legyen egy eseménye az újabb detektált pozíció jelzésére. A megjelenítést szintén le lehet cserélni, vagy újabb fajta megjelenítő komponens is lehet a meglévőhöz hozzáadni.

5.3 Webkamera illesztése a rendszerhez

Mivel a rendszer egyes elemeit cserélhetővé akartuk tenni, ezért a webkamera kezelését is a lehető legegységesebbé akartuk tenni. Ehhez átalakítottunk egy Windows API hívásokat használó webkamera kezelő C# osztályt, hogy az általunk használni kívánt kamerát akár futás közben is kiválaszthassuk, és beállításait megváltoztathassuk.

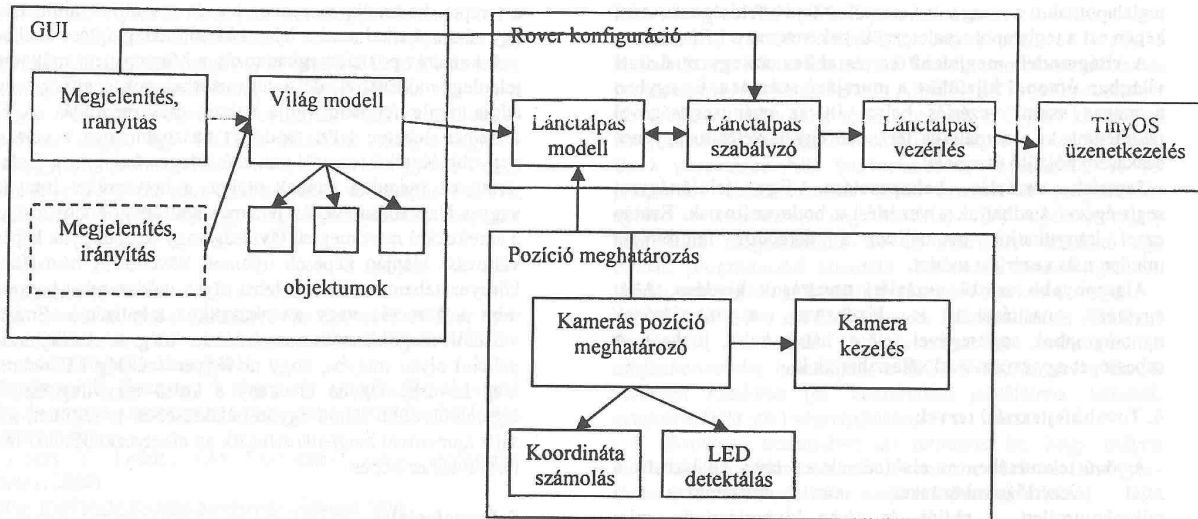
A jelenlegi összeállításban egy egyszerű, 640x480-as felbontású Genius kamerát használtunk. A belső paramétereinek kalibrációját a Camera Calibration Toolbox for Matlab [8] segítségével végeztük. Ez néhány – sakktabláról készült – felvétel alapján meghatározza a kamera fókusztávolságát, a kameratengely helyét a képen és az optika nemlineáris torzításának paramétereit.

A kamera expozíciós idejét általában viszonylag rövidre állítjuk be. Ezzel elérjük, hogy normális megvilágítási körülmények között csak a LED-ek fényét lehessen látni, másrészt ezzel elkerüljük a képek elmosódását.

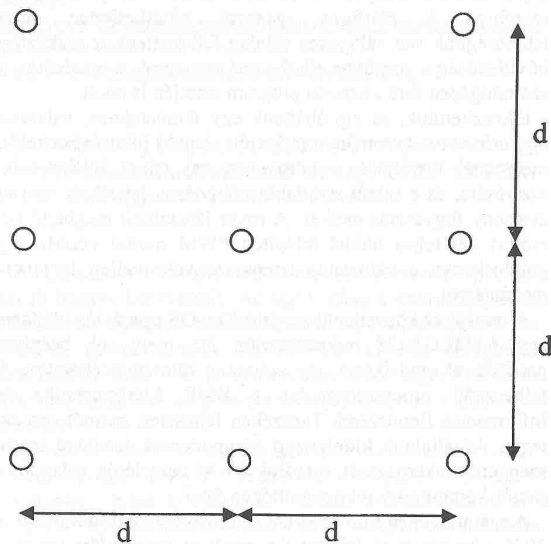
5.4 Képfeldolgozás és a pozíció meghatározása

A szabályozó algoritmusok működéséhez szükség van arra, hogy mindig tudjuk, hogy a marsjáró éppen hol van és milyen irányba néz. Ennek a problémának a megoldására a bevezetőben is említett módszert választottuk: Egy rögzített, külső kamera figyel a munkaterületet, ami a bázisállomáson vagy a terep fölött – műholdként – található. A roboton jelzőfények (LED-ek) vannak a könnyű feldolgozhatóság és felismerhetőség érdekében. A LED-ek egy 3x3-as négyzetrács alakba vannak elrendezve, de hiányzik az egyik oldalközéppont, hogy ne legyen forgásszimmetrikus (5.3 ábra).

A rács távolság most 45,7 mm (1,8 inch), ennek növelésével a pontosság is növelhető. Feltecszük, hogy a terepen nem találhatóak a LED-ekhez hasonlóan fényes vagy fényesebb objektumok, vagy legalábbis nem állandó jelleggel és nem a marsjáró közelében. A kamera képét egy számítógép dolgozza fel, több lépésben, amit a következőkben ismertetünk:



5.2 ábra



5.3 ábra

A kamerától rendszeres időközönként egy-egy újabb képkocka érkezik. A képek feldolgozásához az AForge Imaging Library-t használtuk [7]. A kamerától kapott színes képet először szürkeskálássá konvertálja a program, figyelembe véve, hogy a fehér LED-ek fénye kissé kékes, így a piros, zöld és kék színtelepeket rendre 0,2; 0,3; 0,5 súllyal veszi figyelembe, majd egy küszöböléssel elválasztja egymástól a háttér sötét képpontjait a fényfoltoktól. Ezután megkeresi az összefüggő komponenseket, amik a LED-ek képei. A foltokon belül fényerő szerint súlyozva kiszámítja a LED-ek középpontjának koordinátáit. Mivel a LED-ek képe kiterjedt folt, súlyozott átlagolással ez pixelnél is finomabb felbontásban megkapható. A küszöb értékét futás közben változtatja, ha nem megfelelő a talált foltok száma.

Ha valósan bizonyultak a LED-ek helyei, akkor a következő képkockában már csak a környékükön kijelölt téglalap alakú tartományban keresi újra a mintázatot, amivel gyorsabb képfeldolgozás érhető el és kiszűrhetőek a kiszemelt tartományon kívüli zavaró fények.

A program azonosítja, hogy melyik fényfolt melyik LED-nek felel meg a marsjárón. Ehhez a kamera képének egyenestartóságát és a konvex burkot megtartó tulajdonságát használja az algoritmus.

A LED-ek képének koordinátái, a LED-ek marsjárón való elhelyezkedése és a kamera belső paraméterei alapján az

OpenCV (Open Source Computer Vision Library, [6]) `calc_extrinsic` függvénye segítségével meghatározza a kamera koordináta-rendszere és a marsjáró koordináta-rendszere közötti eltolást és forgatást, majd ebből egy újabb transzformációval a marsjáró helyzetét és orientációját az előre felvett referencia-koordináta-rendszerhez képest. (Ez illeszkedhet például a pálya oldalaihoz, a bázisállomáshoz vagy a modell kiindulási helyzetéhez.) Ezt az adatot kapja meg a szoftver többi komponense, mivel a feldolgozást végző osztály megvalósítja az `IPositionSource` interfészt.

5.5 A szabályozás

A `LineFollowerController`-t megvalósító osztály úgy próbál egy egyenes szakaszt követni, hogy a szakasz végpontja helyett, a marsjáró és a követendő szakasz végpontjának helyzetétől függő pseudocélpontra szabályoz. Ezen pseudocélpontra megkapjuk, ha a marsjáróból a szakaszba merőlegesen mutató vektorral eltoljuk a szakasz végpontját (5.4 ábra). Tehát a követendő célpont mindig a szakasz túloldalán lesz, így a marsjáró igyekszik a szakaszon maradni.

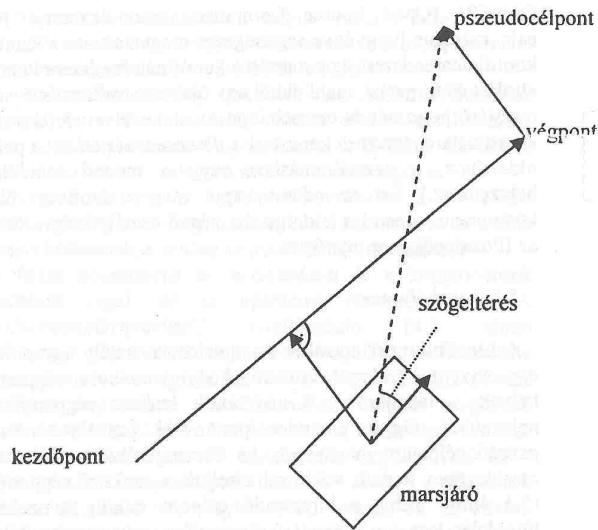
A szabályozást egy fuzzy irányítási rendszerrel oldottuk meg, mely bemenetként a marsjáró és a pseudocél közötti szöveget, illetve a marsjáró szögsebességét kapja meg, kimenetként pedig az egyes láncfalpasokra adandó vezérlőjelek különbségét (kormányzás), illetve átlagértékét (sebesség) adja.

A szöghöz és a szögsebességhez tartozó tagsági függvények egyaránt Ruspini partíciót alkotnak (azaz az értelmezési tartomány minden pontjában a tagsági függvények értékének az összege 1), úgy hogy ezek a tagsági függvények az értelmezési tartományok szélét leszámítva háromszög alakúak.

Fuzzy T-normának a *minimum* műveletet, S-normának pedig a *maximum* műveletet használtuk. A komplementum képzést pedig $C(x) = 1-x$ módon számoltuk. Az irányítási rendszer Mamdani-féle fuzzy irányítási rendszer volt.

Defuzzifikációs módszernek a COA (Center of Area) módszert választottuk a kimeneti jel folytonosságának biztosítása érdekében.

A fuzzy szabályozást az indokolja, hogy a webkamera képének a szabályozóhoz való eljutása során jelentős idő telik el, emiatt a rendszer nem lesz lineáris, ráadásul a késleltetésnek is lehet bizonyos ingadozása, amely a helyzetet tovább bonyolítja. Ezen felül a szabályok rugalmasan bővíthetőek, módosíthatóak, valamint emberi nyelven történő megfogalmazásuk könnyen átültethető a „fuzzy világba”.



5.4 ábra

A HighLevelController-t megvalósító osztály figyeli, hogy a következő célpontnak egy általunk megadott sugarú környezetében vagyunk-e, és ha igen, akkor „ugrunk” a következő célpontra (ha létezik ilyen).

5.6 A felhasználói felület

A programhoz készült GUI a következő funkciókat látja el:

Csatlakozás a SerialForwarderhez. A SerialForwarderről a 4.2 fejezetben már volt szó, ezen keresztül lehet a rádiós üzeneteket küldeni és fogadni. A SerialForwarderrel a .NET-ben írt program TCP/IP-n keresztül kommunikál, a kapcsolat létrehozását (cím megadásával) és megszüntetését a programból lehet irányítani.

Webkamera paramétereinek beállítása. Több webkamera esetén kiválaszthatjuk, hogy melyiket szeretnénk használni, beállíthatjuk a felbontását és a képkockák sebességét (FPS), valamint a többi kamera paramétert, melyek közül az expozíciós idő a legfontosabb. Megadhatóak még a kalibráció során kapott belső kameraparaméterek – a fókusztávolság és a torzítás – is.

A webkamera képének feldolgozás előtti és utáni megjelenítése. A feldolgozás előtti képen megjelenítjük azt a

téglalapot, ahol a marsjárót keressük. Majd a feldolgozás utáni képen ezt a téglalapot részletezzük, bekeretezve a LED-eket.

A világmodell megjelenítése, és ebben az egyszerűsített világban útvonal kijelölése a marsjáró számára. Ez egyben a magas szintű vezérlés helye. Itt az egér segítségével jelölhetünk ki a sematikus térképen egy követendő egyenes szakaszokból álló útvonalat.

Joystick vezérlés bekapcsolása. Egy jelölőnégyzet segítségével átadhatjuk a vezérlést a botkormánynak. Ezután ezzel irányíthatjuk manuálisan a marsjárót, felülbírálva minden más vezérlési módot.

Alacsonyabb szintű vezérlési utasítások kiadása. Akár egyszerű utasításokat is kiadhatunk a marsjárónak nyomógombok segítségével (előre, hátra, balra, jobbra). A sebességet egy csúszkával választhatjuk ki.

6. Továbbfejlesztési tervek

A jövő tekintetében az első célunk az, hogy elkészítsük a saját vezérlőáramkörtünket, ami tartalmazza a mikrokontrollert, a rádiót, és olyan kivezetéseket, amire robotfejlesztéskor kifejezetten szükség van: A szenzorokhoz 8 analóg bemenet, a motorokhoz és szervomotorokhoz 6 PWM kimenet, 16 általános célú I/O port, a bővíthetőség érdekében pedig 2 UART, valamint SPI és I2C csatlakozási lehetőségek. A bázisállomásként működő mitmót helyére is egy kompakt felépítésű, USB portra csatlakoztatható egységet tervezünk.

A fejlesztés kezdeti szakaszában egy négykerekű terepjáró modellt is irányítottunk ugyanilyen hardverrel, célunk, hogy azt is újra beüzemeljük, és szoftveres oldalról is támogassuk a láncaltapas mellett a kormányozható kerekekkel rendelkező modelleket is. Ehhez el kell készíteni a szabályzást ilyen jellegű járművekhez is. A rádiós rétegben a címzés lehetővé teszi, hogy a modelleket akár egy időben is, egymástól függetlenül irányítsuk. Amennyiben több jármű is van egyszerre a terepen, kooperálhatnak is egymással.

Az infravörös ütközésetektől kivül több, hasonló elvű távolságméréssel is próbálkoztunk, ezzel kapcsolatban biztató eredményeink vannak. Sajnos a szélsőséges fényviszonyok és a különböző fényviszaverő képességű felületek befolyásolják a mérést, így ezzel kapcsolatban még méréseket kell végeznünk. Kézenfekvő és gyakran használt megoldás még az ultrahangos távolságmérés, egy ilyen elven működő szenzort is tervezünk készíteni.

Terveink között szerepel még a minél inkább autonóm működés is. A szenzorok segítségével a robot érzéklni tudja a környezetét, és képes lehet arra, hogy önálló döntéseket is hozzon, például kikerülje az akadályokat, önállóan derítse fel

a terepet, használja a szenzorokat és reagáljon rájuk. Ennek egy célszerű alkalmazása lehet közetminták gyűjtése önállóan.

A kamerás pozíciómeghatározás a Marson nem működne a jelenlegi módszerrel, de a fejlesztéshez sok segítséget nyújt addig, amíg fel nem váltja valami más megoldás. A Föld felszínén lehetne GPS rendszert használni erre a célra, ha nagyobb léptékű terepről van szó. Idegen bolygón a felderítő járművek magukra vannak utalva, a helyzetüket iránytűvel vagy a Nap állása alapján határozhatják meg, elmozdulásukat a kerekekkel mért megtett távolság vagy tereptárgyak képének változása alapján képesek nyomon követni. A bázisállomás környezetében továbbra is lehet olyan módszereket használni, mint a kamerás vagy az akusztikus lokalizáció. Emiatt a mostani megoldásunkat is érdemes még továbbfejlesztetni, például olyan irányba, hogy ne legyen szükség LED-ekre, és még kevésbé legyen érzékeny a külső megvilágításra. Az elgondolás több jármű együttműködésében is segíthet, mivel saját kamerával meghatározhatják az elhelyezkedésüket másik járművekhez képest.

7. Összefoglalás

Az általunk készített HUSAR2-C láncaltapas rover marsi analóg körülmények közötti tesztje bebizonyította a láncaltapas hajtás számos előnyét a kerekekkel rendelkező járművekkel szemben. A platform egyszerű bővíthetősége miatt lehetőségünk van változatos célokra felkészíteni az eszközt, a bővíthetőség a járművön elhelyezett szenzorok, a meghajtás, a számítógépen futó központi program szintjén is adott.

Elkészítettünk, és kipróbáltunk egy fémdektort, valamint egy infravörös tartományú reflexión alapuló ütközésérzékelőt, melyeknél ügyeltünk a környezeti zaj minél tökéletesebb kizárására, és a minél stabilabb működésre, lehetőség szerint alacsony fogyasztás mellett. A rover láncaltapait meghajtó két motort két teljes hiddal felépített PWM modul vezérli, így gondoskodva a változatos terepviszonyok mellett is precíz mozgásról.

A marsjárót közvetlenül vezérlő TinyOS operációs rendszer egy ATMEGA128 mikrovezérlőn fut, mely sok beépített perifériával rendelkezik, így optimális választás céljainkra. A felhasznált processzormodul a BME Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszékén fejlesztett mitmót sorozat tagja. Az általunk kidolgozott komponensek lehetővé teszik a szenzorok lekérdezését, motorok PWM vezérlését, valamint a rádiós kommunikációt a számítógép felé.

A számítógépen futó program Microsoft Visual Studio .NET 2005 környezetben készült C# nyelven szem előtt tartva a további bővíthetőséget. A kommunikáció a roverrel egy USB porton csatlakozó 433 MHz frekvencián működő rádiós

modullal történik, a számítógépen futó program lekérdezheti a járművön található szenzorokat, illetve irányíthatja a motorokat. Az általunk megírt GUI lehetővé teszi a közvetlen kézi vezérlést, de megadhatunk egy útvonalat is, melyen a rovernek végig kell mennie. Az utóbbi esetben szükséges szabályzás alapja egy LED-es mintázat, melyet egy, a számítógéphez csatlakoztatott webkamerával figyelünk, így meghatározva a jármű tényleges helyzetét és mozgási irányát. Az ebből képzett hibajelet egy fuzzy szabályozókör dolgozza fel.

8. Irodalom:

- [1] Sz. Bérczi, S. Kabai (szerk.): From Surveyor to Hunveyor Concise Atlas series of the Solar system (2). (ELTE KAVÜCS - Uniconstant, Püspökladány, 2002)
 [2] Sz. Bérczi, B. Drommer, S. Hegyi, Gy. Hudoba: Development of the Hunveyor experimental space probe model by the Husar discovery rover.
 [3] Kóczy T. László, Tikk Domonkos: Fuzzy rendszerek (Typotex, 2000)
 [4] <http://mpfwww.jpl.nasa.gov/rover/sojourner.html>
 [5] <http://www.magyarokamarson.hu>
 [6] Open Source Computer Vision Library
<http://www.intel.com/technology/computing/opencv/index.htm>
 [7] Image Processing Lab in C# (AForge Image Processing Library)
http://www.codeproject.com/cs/media/Image_Processing_Lab.asp
 [8] Camera Calibration Toolbox for Matlab
http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/

A Microchip cég PIC 16F84 és PIC 16F873 jelű mikroprocesszorainak alkalmazhatósága a HUNVEYOR és a HUSAR egyetemi űrszonda modelleken

A XX. század 70-es éveiben a mikroprocesszorok fejlesztése két fő irányra koncentrált. Az egyik irány a számítógépekben alkalmazott komplett utasításkészletű (CISC) processzoroké, amelyek szinte minden matematikai művelet elvégzésére alkalmasak. Ezeket a processzorokat lehet ugyan vezérlési feladatra használni, de a bonyolultságuk és az árak miatt nem érdemes.

A másik irány a csökkentett utasításkészletű (RISC) processzoroké, melyek kifejezetten vezérlési feladatok elvégzésére lettek kifejlesztve. Ezeknél a processzoroknál a felépítés egyszerűbbé válása során nagyobb működési sebesség érhető el, ami egyik előnyös tulajdonságuk.

Ennek a csökkentett utasításkészletű (RISC) processzorcsaládnak a tagjai a Microchip cég által gyártott

PIC 16F84 és PIC 16F873 jelű processzorok. A PIC 16F84 processzor 2 porttal rendelkezik, melyek közül az A port 5 bites, a B port 8 bites kialakítású. Mindkét port kimenetként és bemenetként is programozható. A PIC 16F873 jelű processzor kissé bonyolultabb felépítésű, amelynél a C port kialakítása bonyolultabb vezérlési feladatok végrehajtását teszi lehetővé. Ez a processzor A/D konverterrel is rendelkezik. A két processzor utasításkészlete közel azonos. A programozás nyelve a Microchip cég MPLAB IDE nyelve, amely könnyedén megtanulható, de az Interneten található egy BASIC programozási útmutató is a hozzá tartozó égetővel. Ennek kipróbálása a 2006/2007-es tanévben történik majd.

A PIC 16F84-et a Pécsi Egyetem Informatika és Általános Technika Tanszékén a processzorok működésének megismertetésére használjuk, a PIC 16F873-at pedig kisebb vezérlési feladatok (pl. közlekedési jelzőlámpa, teherlift, magnóvezérlés stb.) végrehajtására.

A következő szakaszban azt mutatjuk be, hogy milyen feladatok megoldása látszik kivitelezhetőnek a Hunveyor-Husar űrszonda modelleken ezekkel a processzorokkal.

A Hunveyor-Husar rendszerénél alkalmazott motorok sebességének szabályozása

A Hunveyor egyetemi gyakorló űrszonda modellen a mozgató feladatok végrehajtására egyenáramú (DC) törpemotorokat használunk.

A DC motorok fordulatszáma egyszerűen szabályozható a rákapcsolt feszültség szabályozásával. Hogyan érjük el ezt mikroprocesszorral?

A mikroprocesszort úgy programozzuk, hogy állítson elő az egyik kimenetén négyszögjelet. Ennek a négyszögjelnek az egyenkomponense teljesítmény-tranzisztorok alkalmazásával hajtja meg a motorokat. A kitöltési tényező megváltoztatásával az egyenkomponens értéke megváltozik, ezáltal a motor fordulatszáma is változik.

Aluláteresztő szűrőként a motor mechanikus tehetetlensége használható, nem igényel külön elektronikus megoldást.

A kitöltési tényező megváltoztatása két bemenet felhasználásával megoldható, vagy a PIC 16F873 alkalmazásával az RS 232 porton végrehajtható.

A Husar rover előtti terepi akadály kikerülése

Ha a Hunveyor fedélzetén ultrahangot, vagy fényt kibocsátó fedélzeti forrást helyezünk el, akkor annak kibocsátott jele a tereptárgyokról visszaverődik. A visszavert ultrahang-, vagy fényjel érzékelhető, ha megfelelő szenzorokat is elhelyezünk a

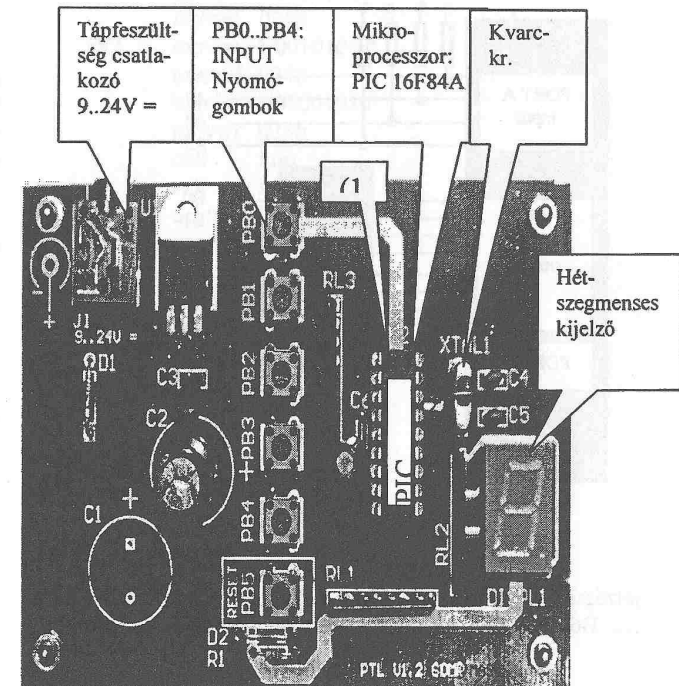
szonda modell fedélzetén. A jeladók és a szenzorok elhelyezése alapos átgondolást igényel.

A tereptárgyokról visszavert jel alkalmas lehet a mozgó egység (Husar rover) kormányzására, hogy a nagyobb akadályokat kerülje el. Hogy ezt elérjük, a mikroprocesszorba beégetett programnak nemcsak az érzékelők által érzékelt visszavert sugarakat kell valamilyen rendszer szerint felhasználnia, hanem az akadály kikerülésének pontos módszerét is tartalmaznia kell.

A lánctalpas Husar rover megoldásnál a kormányzás végrehajtását a két lánctalp meghajtómotorjának be- vagy kikapcsolásával érjük el, ami a vezérlési feladatot nagymértékben leegyszerűsíti. A két motor vezérlése összesen 4 kimenetet igényel: kettő a motor ki-be kapcsolását végzi, kettő pedig a motorok forgásirányát határozza meg.

A két általam leírt feladat természetesen egyszerre egy mikroprocesszorral is megoldható.

Az ábrán a tanszékünk által használt PIC 16F84 mikroprocesszor oktatópaneljét látjuk.

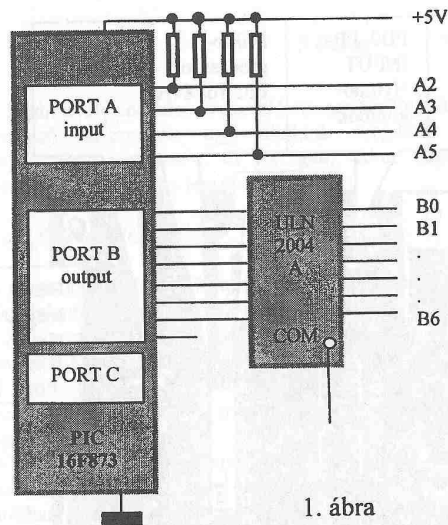


MIKROKONTROLLEREK ALKALMAZÁSA AZ IRÁNYÍTÁSBAN

A roverek, mérőberendezések irányító rendszere tárolt programot beolvas, értelmez és végrehajt. Erre a célra kiválóan alkalmasak a kis helyigényű és alacsony energiafogyasztású mikroprocesszorok és mikrokontrollerek.

PIC 16F873 mikrokontroller

A 28 lábú IC a külvilággal három porton keresztül (A, B, C) tartja a kapcsolatot. Kísérleti vizsgálatainkban az A port 2. 3., 4., 5. bitjét digitális inputként használtunk, a B port 8 bitjét digitális outputként működtettük. A 0., ... 6. bithez nyitott kollektoros teljesítmény fokozat (ULN 2004A) van csatolva a nagyobb áramfelvételi beavatkozók működtetésére (1. ábra).



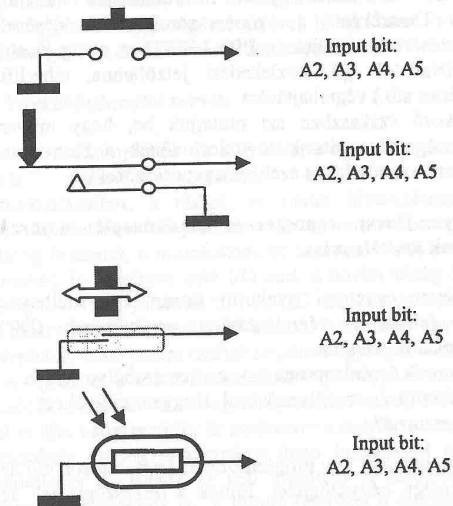
1. ábra

Az input bitekre a továbbiakban A2, ..., A5 jelzéssel, a teljesítményerősítő utáni output bitekre B0, ..., B6 jelzéssel fogunk hivatkozni. Induktív jellegű

beavatkozó szervek működtetésénél a teljesítményfokozat védelme érdekében a COM lábat is be kell kötni.

Szenzorok beolvasása

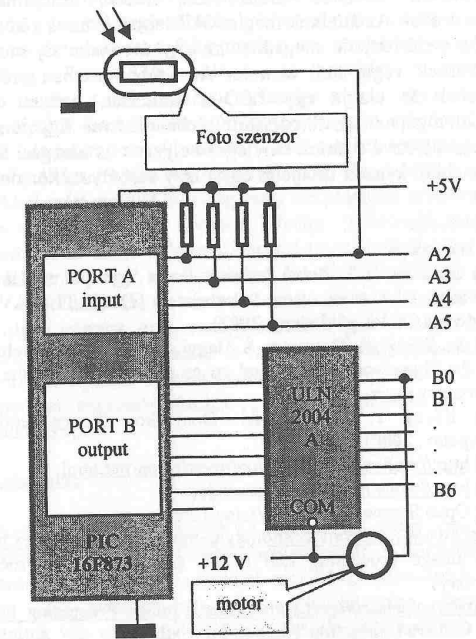
Az A port olyan érzékelőket tud fogadni, amelyek aktív állapotban GND potenciált kapcsolnak az adott bitre. Kísérleteinkben kézi nyomógombot, végállás kapcsolót, reed-relét, foto ellenállást használtunk (2. ábra).



2. ábra

Szenzor által kiváltott beavatkozás

A rover sötétben áll, világosan elindul. Kísérleti hardver összeállítás a 3. ábrán látható. A foto érzékelő a PORT A 2. bitjéhez (A2) van csatlakoztatva, a 12 V-os motor a PORT B 0. bitjéhez (B0). A teljesítményerősítő tranzisztor védelmében a COM pont (védő dióda) is be van kapcsolva.



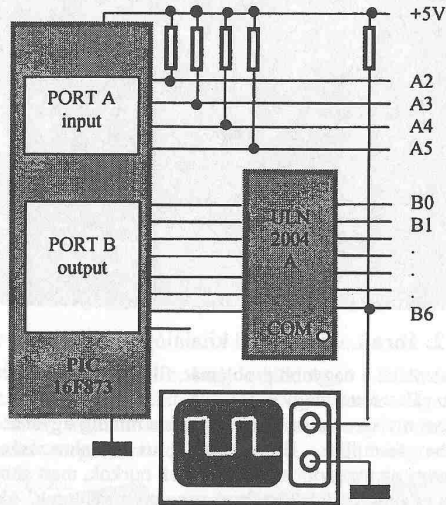
3. ábra

```

Assembly program:
List p=16F873
#include „P16F973.INC”
bsf    status,5
movlw  0FFh
movwf  trisa
clrf   trisb
movlw  06h
movwf  adcon1
bcf    status,5
eleje  btfscc PORTA,2
goto   eleje
hurok  bsf    PORTB,0
goto   hurok
end
    
```

A programot a flash eepromba ívetve a rover sötétben áll, világosban elindul.

Alacsony frekvenciás négyszögjelek generálása (4. ábra)



4. ábra

A jelek a B6 biten generálódnak, oszcilloszkópon jelenítjük meg. Program:

```
List p=16F873
#include „P16F973.INC”
bsf status,5
movlw 0FFh
movwf trisa
clrf trisb
movlw 06h
movwf adcon1
bcf status,5
eleje bcf PORTB,6
call imp
bsf PORTB,6
call szunet
goto eleje
```

```
imp movlw b'00001000'
movwf 022h
v01 decfsz 020h,1
goto v01
decfsz 021h,1
goto v01
decfsz 022h,1
goto v01
return
szunet movlw b'00001100'
movwf 025h
v02 decfsz 023h,1
goto v02
decfsz 024h,1
goto v02
decfsz 025h,1
goto v02
return
end
```

Az impulzus szélességet az alapidő nyolcszorosára állítja be a 022h regiszter b'00001000' értéke, a szünet időtartama az alapidő tizenkétszerese, ezt a 025h regiszter b'00001100' dekrementálás előtti tartalma biztosítja. Az alapidő 16 MHz-es órajelnél 50 ms. A PORTB 6. bitjéhez csatlakozó ellenállás helyett izzólámpát, piezoelektromos zümmögőt is kapcsolhatunk.

DC motor fordulatszámának csökkentése

Impulzus szélesség -impulzus szünet arányának változtatásával a fordulatszám változtatható. A periódus időt néhány wattos motornál 10 ms-ra választjuk. A motor a PORTB,1 -hez van kötve. A 025h regiszter tartalma decimálisan 255, ennyiszor ismétli a program az impulzus - szünet periódust. A c28 címkejű programrész az impulzus időtartamát 2 ms-ra, a szünetét 8 ms-ra időzíti. A c82 címkejű programrészben az arány fordított. Ez felel meg a magasabb fordulatszámnak.

```
List p=16F873
#include „P16F973.INC”
```

```
bsf status,5
movlw 0FFh
movwf trisa
clrf trisb
movlw 06h
movwf adcon1
bcf status,5
movlw b'11111111'
movwf 025h
c28 movlw b'00001010'
movwf 024h
movlw b'00101010'
movwf 023h
call imp
call szunet
decfsz 025h,1
goto c28
movlw b'11111111'
movwf 025h
c82 movlw b'00101010'
movwf 024h
movlw b'00001010'
movwf 023h
call imp
call szunet
decfsz 025h,1
goto c82
vege goto vege
imp bsf portb,1
v01 decfsz 020h,1
goto v01
decfsz 024h,1
goto v01
return
szunet bcf portb,1
v02 decfsz 020h,1
goto v02
decfsz 023h,1
goto v02
return
end
```


LEGO MINDSTORMS ROBOTOK

1. Bevezetés

A HUNVEYOR (Hungarian Universty Surveyor) fix telepítésű űrszonda modell és a hozzá kapcsolódó HUSAR (Hungarian University Surveyor Analyser Robot) robotautók megépítésével olyan eszközök jöttek létre, amelyek remek tanulási és probléma-megoldási feladatokat kínálnak tanulóknak, hallgatóknak, tanároknak és oktatóknak számára egyaránt. Ezen eszközök megépítéséhez és fejlesztéséhez számos mechatronikai és vezérlés-technikai problémát kellett megoldani. Az űrszondát elhagyó egységek építése izgalmas feladat mindenkinek. Ennek első lépése valamilyen robotkar építése, amely a közvetlen környezetből tud információt és mintát gyűjteni. A második egy a felderítő robot építése. Mindkét esetben léptetőmotorokat és különféle szenzorokat használhatunk fel, majd ezek által szolgáltatott adatok feldolgozása értékelése és ezen adatok alapján egy döntés meghozása a feladat. Például, hogy egy terepakadályt kikerüljön a robot vagy keresztül haladjon rajta. Ezen problémák alapszintű megoldásához és az első lépések megtételéhez nyújt nagy segítséget a LEGO MINDSTORMS építőkészlet, amely tartalmaz motorokat és egyszerű érzékelőket és egy „központi egységet”, amelyet számítógép segítségével és a készlethez tartozó saját programozási nyelven lehet felprogramozni.

A fejlesztésnek a célja az volt, hogy a tanulók megismerkedjenek olyan rendszerekkel, ahol ki kell használniuk a kreativitásukat és a probléma megoldó képességeiket. Maga a programozási rendszer is eltér az órákon megszokott módszerektől, mert itt meg kell ismerniük a megszakításos elvű programozást, amelynek lényege, hogy a főprogramot bármikor megszakíthatjuk és felfüggeszthetjük annak működését amíg a megszakítást kérő rész le nem fut. Ezt követően a főprogram a megszakítás helyétől indul tovább. Ezzel a technikával lehet a mikrokontrollerek többségét is programozni.

2. Feladatok

A megoldandó feladatoknál a hallgatók teljesen szabad kezet kaphatnak. Csupán a feladat fő követelményeit kell szemelőt tartani. Ezen feladatok közül szeretnék most négyet kiemelni. Az első egy labirintusból kitaláló robot, amely egy falakkal határolt útvesztőből keresi meg a kivezető utat. A második egy tűzoltó robot, amely egy erős fényforrást felkutató és azt, mint tűzfészket jelez. A harmadik egy válogató robot, amely különféle LEGO elemeket válogat szét színárnyalatuk szerint. A negyedik pedig egy rajzoló robot, amivel különféle alakzatokat lehet megrajzolni.

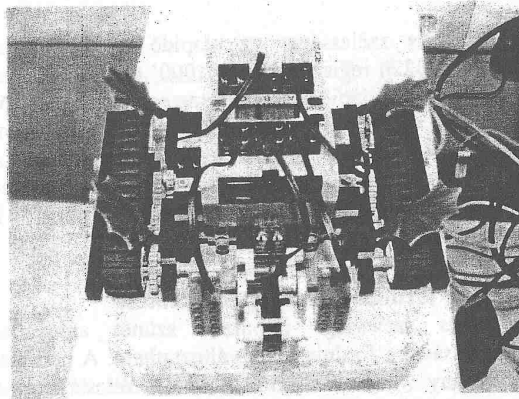
A robotok közös jellemzője, hogy miután megépítették őket

egy feladat elvégzése után külön beavatkozás nem kell a működésükhöz. Az első két robot alkalmas esetlegesen felderítő robotok első generációjának megépítésére, amelyek akár planetáris környezetben is alkalmasak barlangok és földalatti járatok felderítésére. A harmadik robot egy kiértékelő egység leegyszerűsített szimulációs eszköze, amely érzékelőktől függően különféle közetminták válogatására és begyűjtésére is alkalmas. Végül a negyedik robot pedig a precíziós mozgások megvalósítására mutat remek példát, mert ebben az esetben több léptetőmotor egyidejű és pontos mozgatása szükséges. A feladatok mindegyike része lehet egy komplex rendszernek. Most pedig következzenek a feladatok részletes ismertetései és a tapasztalataim összegzése, amelyeket a Pécsi Tudományegyetem technika és számítástechnika szakos hallgatóknak tartott kurzusokon szereztem.

3. Robotok

3.1 Labirintusból kitaláló robot

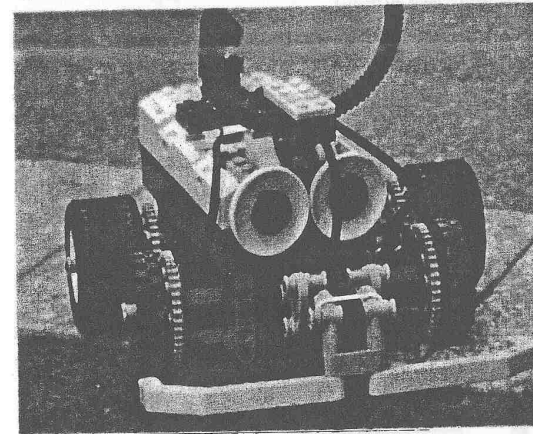
A robottal kapcsolatos feladat, hogy egy falakkal határolt útvesztőből a lehető legrövidebb idő alatt kitaláljon a robot. A



1. ábra Labirintusból kitaláló robot I.

feladat megoldásánál a hallgatóim első nagy problémája az esetek többségében az volt, hogy milyen kialakítású robotot készítsenek. A többség egy kétkerék meghajtású kerekeken mozgó robotot épített. Ennek előnye, hogy kis helyeken képes elfordulni, ami egy planetáris környezetben mozgó robotnál szintén fontos szempont. Így energiát lehet megtakarítani és kis helyekre lehet elkalauzolni a robotot. A hallgatók mindegyike kivétel nélkül egy vagy két nyomásérzékelőt alkalmazott a roboton. A két érzékelő előnye, hogy meg tudja

állapítani, hogy melyik irányból érkezett az akadály és azt ki tudja kerülni. A következő lépés az algoritmus megalkotása



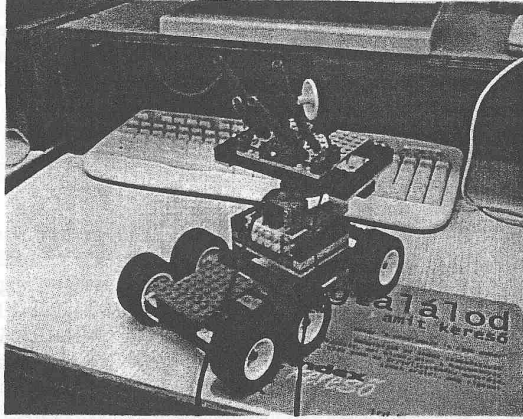
2. ábra Labirintusból kitaláló robot II.

volt. Ez jelentette a nagyobb problémát. Ehhez a többség azt a megoldást választotta, hogy a robotok ha egy falnak ütközik akkor tolasson vissza valamennyit és utána mindig ugyanabba az irányba forduljon. Ezen algoritmus alkalmazásának feltétele, hogy az útvesztőben ne legyenek hurkok, mert abban az esetben egy idő után körbe fog keringeni a robotunk. Akik két érzékelőt használtak azok valamivel könnyebb helyzetbe voltak, mert az érzékelők meg tudják állapítani a fal irányát és rövidebb idő alatt képesek elfordulni. A hallgatók által készített robotok közül néhányról készült képet lehet megtekinteni.

3.2 Fényforrás felkutató robot

A robot fő feladata, hogy a környezettől lényegesen eltérő fényforrást megtalálja és azt megközelítse. Ezzel a feladattal lehet imitálni egy esetleges tűz megkeresését és annak oltását. Planetáris környezetben ily módon lehet megoldani esetleg a robotnak a szondához történő gyors visszatérését vagy esetlegesen egy feltöltő helyhez történő pontos navigálást. A hallgatóim többsége az előző labirintusos robottal kombinálták össze. Ennek eredménye éppen már egy egész okos kis robotot kaptak. Mások külön csak a fény felkutatására alkalmas részletet építettek. Az építéshez a LEGO készletben található fényérzékelő egységet használták fel. Az algoritmus ebben az esetben igen egyszerű, mert mindig a fény intenzitásuk maximális értéke felé forogtatja az eszközt és azt a lehető legjobban megközelítik. Az algoritmus igen egyszerű de remekül érzékelteti a megszakításos programozás fontos

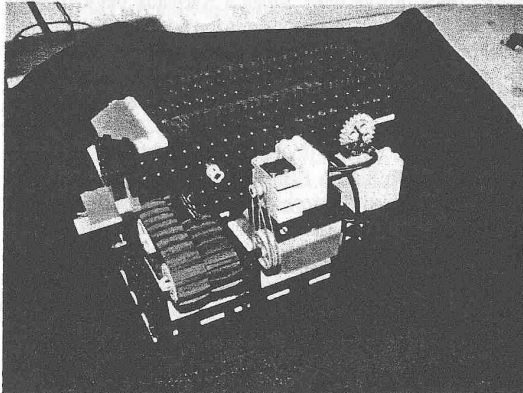
tulajdonságait.



3. ábra Fényforrást felkutató robot

3.3 Válogató robot

Robot feladata az volt, hogy a különböző LEGO elemeket a szintük szerint szétválogassa. Első lépésben a világos és sötét elemeket majd a színeket is próbálja megkülönböztetni. A feladat megoldásához kétféle megoldást dolgoztak ki a



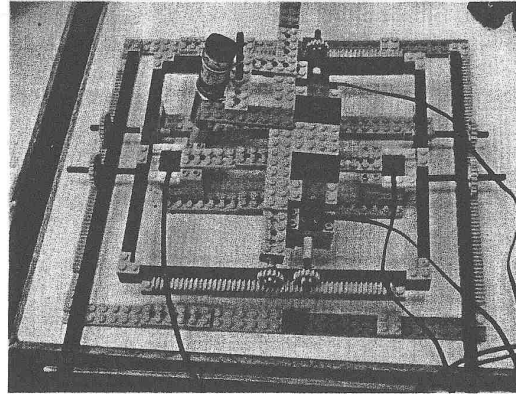
4. ábra Válogató robot

hallgatók. Az egyik a futó szalagos válogató, a másik pedig egy kar segítségével történő válogatás. A futószalagos megoldásnál az elemek árnyalatától függően jobb illetve bal irányba kerültek ki az építőelemek. A karos megoldásnál is ez volt a helyzet, ott azonban az elhelyezés pontosabb lehetett. A válogatás megvalósításához szintén a fényérzékelőket

használták, ahol ebben az esetben az egyes alkatrészekről visszaverődő fényt érzékeltek és ennek intenzitásából következtek az árnyalatokra. Ezt a robotot planetáris környezetbe beillesztve oly módon lehet használni, hogy a szín melletti vizsgálatot ki lehet egészíteni valamilyen kémiai vagy fizikai tulajdonság vizsgálatával és ennek eredményitől függően a minta begyűjtésre kerül vagy vissza kerül a felszínre.

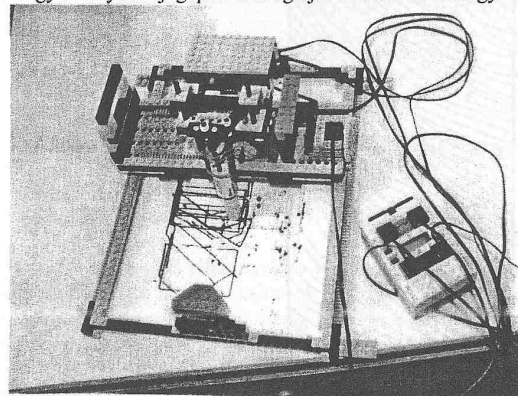
3.4 Rajzoló robot

A robot megépítésénél annyi kikötés volt, hogy képes legyen egyszerű alakzatok megrajzolására (ilyen volt a téglalap és



6. ábra Rajzoló robot I.

valamilyen ív). A hallgatók kétféle ötlettel álltak elő. Volt aki a hagyományos rajzgépek analógiáját követte és két egymásra

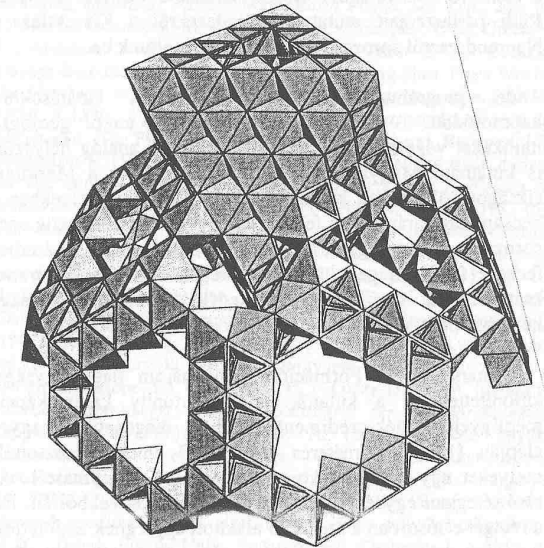


5. ábra Rajzoló robot II.

merőleges irányba mozgatott rudazat segítségével rajzolt. A másik megoldás pedig egy autó jellegű, ahol a tollat az autóhoz rögzítették és így rajzolták meg az alakzatokat. A robot remek gyakorlási lehetőséget biztosít arra, hogy több motor egyidejű pontos és aprólékos mozgatását megoldják. Az előzőekben ismertetett robotok közül ezzel volt a legtöbb problémájuk. Maga a szerkezet megalkotása során gondot jelentett a megfelelő tömegarányok kiválasztása illetve a mozgatás megoldása. A programozás során nehézséget jelentettek a motorok pontos időzítései, hogy a megfelelő alakzat kialakuljon.

4. Tapasztalatok

Ezzel az eszközzelrendszerrel (LEGO MINDSTORMS építőkészlet) illetve a robotika témájával könnyen jól motiválhatóak a hallgatók. A résztvevők kreativitása a kurzus során sokat fejlődött. Ez elsősorban a különféle robotok építési sebességében volt egyértelműen lemérhető, illetve az elkészült vezérlő programok is egyre tökéletesebbek voltak a végére. A megépített robotok egy részét illetve azok egyes részleteiket, ha nem is LEGO-ból, de más eszközökből remekül alkalmazták a HUSAR építése során.



A borító Kabai Sándor grafikáinak felhasználásával készült.

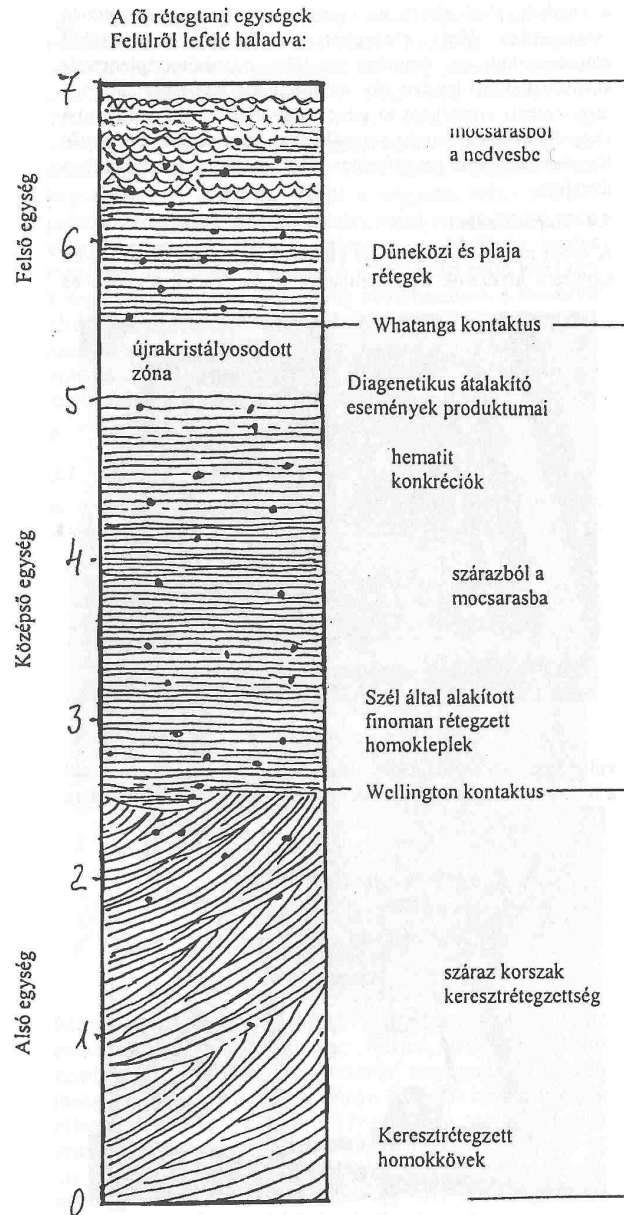
LÁTOGATÁS A HUNVEYORRAL PLANETÁRIS ANALÓG HELYSZINEKEN, MAGYARORSZÁGON

Az űrkutatás oktatást sokféleképpen színessé tehetjük a Hunveor és a Husar egyetemi modellek fölhasználásával. E munka egyik lehetőségét a planetáris analóg helyszínek fölkeresése jelenti. A terepen valódi helyszíni méréseket végezhetünk, míg a terepasztalon minden szimuláció "mesterséges". A terepi munka érdekessége a földi geológiai részletek megismerése, mégis a jelen lévő műszerek a planetáris geológiai irányt idézik föl.

Az elmúlt években már több planetáris analóg helyszínt fölkerestünk hazánkban. Jártunk Szentbékállán, ahol a marsi shergottitok kapcsolatrendszeréhez hasonló viszony van a basalt (bazalttufa) és a benne található zárványok között. Hegyestűn a basalt kiterési központjának metszetét figyelhettük meg. Ugyanilyen oszlopos elválású kiterést láthattunk Béren, de andezitben. A mecseki fonolit vénuszi, a szarvaskői gabbró és a darnóhegyi láva a holdi kőzetek párhuzamát képviselte. A dunavarsányi kavicsok a nagy távolságból szállított kőzeteket, a nógrádi éles kavicsok a szél koptató munkáját képviselték. A fülöpházi homokdűnék vagy a gánti vörös sivatagból kibúvó sziklák a jelenlegi maris táj földi párhuzamait mutatták. Mindezekről a Kis Atlasz a Naprendszerről sorozat 9. füzetében számoltunk be.

Idei programunk a legfrissebb marsi kutatásokhoz kapcsolódott. A MER kutatóautók olyan terepi geológiai munkákat végeztek, amiknek többféle földi analóg helyszíne is kutatható Magyarországon. Az Opportunity a Meridiani síkságon több olyan krátert is fölkeresett már, melyekben a becsapódás harántolta a felső rétegeket és szabaddá tette ezek sorozatát a megfigyelésre. Legelőbb az Eagle kráterben fedezte föl a rétegek üledékes jellegét, majd az Endurance kráterben föl is térképezte az üledékek 7 méter vastagságú kőzetoszlopát, melyet Burns Formációnak neveztek el.

A marsi Burns Formáción belül három nagy egységet különítettek el a kutatók az Opportunity kamerápein megfigyelt üledék-szedimentológiai és diagenetikus jegyek alapján [1]. A 7 méteres szakaszt 3 emeletre osztották, melyeket egy-egy kontaktus zóna választ el egymástól. Az alsó rétegtani egység keresztarétegzett homokkövekből áll. Ezt a réteget elsősorban a szél által alakított egységnek tekintették. Az alsó egységet a Wellington kontaktus választja el a középső rétegtani egységtől.



A középső rétegtani egységben a vízszintesen és kis szögben rétegzett homokkövek uralkodnak. Ezt a homokréteget is a szelek alakították ki, de a szeles időszakokat ritkán nedves mocsaras időszakok is megszakították, mert ritkásan ugyan, de áramlási fodrok is beékelődnek a vízszintes rétegek közé. A középső egységet a Whatanga kontaktus választja el a felső rétegtani egységtől. Ez a kontaktus zóna egy diagenetikus, újrakristályosodott réteget alkot, amit kapillárisan fölcsivárgó víz hozott létre [1].

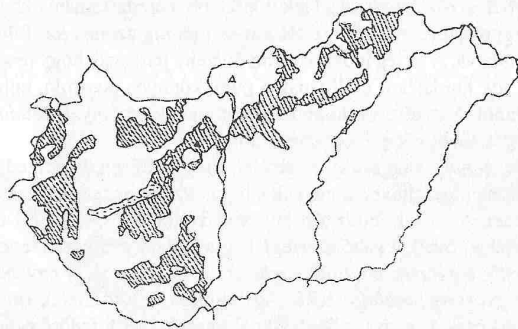
Az felső rétegtani egységet váltakozva épít föl szél által kialakított homokrétegek és víz alatti, ún. dűneközi rétegek. Összegezve a megfigyelt rétegeket azt tapasztalták, hogy mindhárom rétegtani egység annak őrzi a nyomát, hogy fölfelé haladva növekedett a víz szerepe az üledéksor kialakításánál. Mivel a 7 méteres rétegoszlop csak egy rövid szakaszt mutat be a marsi időszakokból, elsősorban a sivatagos és nedvesebb időszakok váltakozására kereshetünk földi párhuzamot. Ilyen a magyarországi pliocénben következett be.

Keresztarétegzett homokrétegek Magyarországon

A Kárpát-Medencében a földtörténeti újkorban hasonlóan nedves és kiszáradásos időszakok közötti változás következett be és ezek az események jelentős keresztarétegzett üledéksorokat hoztak létre. Maga a Kárpátok hegyvonulata a Krétától a Miocénig folyamatosan formálódott a Tisza, a Pelso és Dáciai mikrolemezek mozgásának nyomán. Korábban a Tethys-tenger töltötte ki a kialakuló hegykoszorú közötti területet, ami azonban a Paleogénben (Eocén, Oligocén) a terület fokozatosan elzáródott a nyílt tengertől és a Paratethys tengerré alakult, amely fokozatos bezáródással beltóvá, a Pannon-tóvá alakult át. A Pannon-tó fokozatosan feltöltődött a Miocénben. Az üledéksorban fölhalmozódott rétegek jól mutatják ezeket az eseményeket: legalul a tengeri üledékek találhatók, majd a tavi üledékek rétegei, végül a feltöltő folyók hordalékrétegei következnek. A Pannon-medence kiszáradása tovább folytatódott a Pliocénben is, amikor sivatagos viszonyok is kialakultak [3, 4].

A Pannon-tó visszahúzódása idején főleg a vízfolyások alakították ki keresztarétegzett üledéksorokat, amikor a folyásirány változásával az üledékek áramlása jellegzetes rétegződési mintázatokat hozott létre [7, 8]. Ugyanígy keresztarétegzett üledéksorokat alakít ki a sivatagi szélirány változása is [5, 6]. Ilyen rétegek a magyarországi Neogén (Miocén, pliocén) üledékek sorozatánál sokhelyütt megtalálhatók.

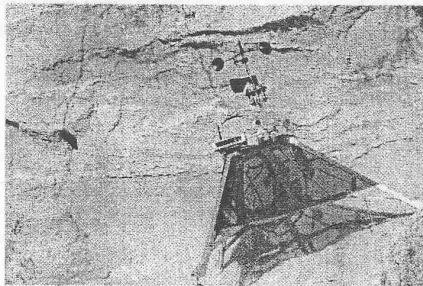
Ilyen helyek közül néhányat megemlítettünk: a központi dombvidéken, Budapest környezetében a Rákos patak völgye, Galga völgye vagy a Zagyva völgye mentén Salgótarjánig. A Cserhát-hegység északi részén az Ipoly-völgyig, a Mátra-hegység északi oldalán Pétervásáráig, a Dunántúlon a Vértes előterében, Somogyban a dombságban, a Marcali-háton, a Vasi-háton. Az üledéksoroknak jó feltárásai vannak Galgahévízen, Gödöllőn, Isaszegen, Egyházashengelen, Sósartyánon, Vértesacsán, Bérbaltaváron. Mi a galgahévízi és a vértesacsai föltárásokat látogattuk meg.



Neogén üledékek a felszínen Magyarországon. A bejelölt három ponton jártunk a Hunveyorral terepgyakorlaton. Budapesttől keletre Galgahévizet, nyugatra Vértesacsát, északra pedig Nógrádot jelöli a háromszögjel.

Galgahévíz

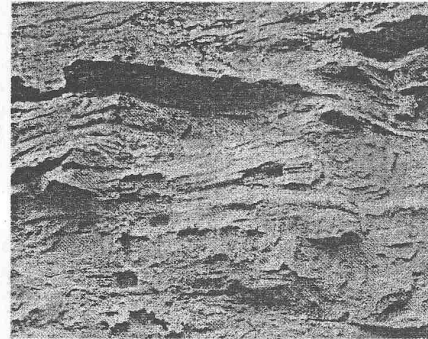
A község északnyugati szélén található az a homokfal, melynek rétegein jól megfigyelhető a keresztarétegzettség. Ezt az üledékszerkezetet folyóvízi áramlások alakították ki [7].



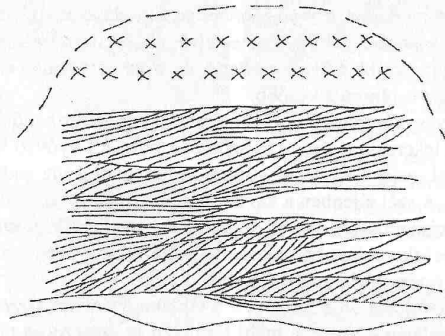
A Hunveyor-4 Galgahévízen a Pliocén homokfalnál.

Vértesacsá

A községtől északnyugatra található az a völgybevágás, melynek fala harántolja a keresztarétegzett homokrégeket. A folyó északnyugati irányból szállította üledékeit délkeleti irányba (Uhrin, 2005).



A vértesacsai Csönget-völgyben a keresztarétegzett homoksorozatot folyóvíz alakította ki [8].

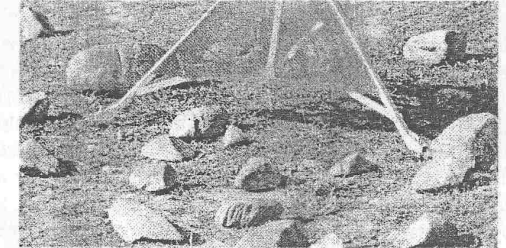


A falon megfigyelt keresztarétegzett homokrégek a Csönget-völgyben.

Nógrád

Nógrád községtől északnyugati irányban a szántóföldeken gyűjthetők azok az éles kavicsok (dreikanterek), melyek a sivatagos időjárás egyik bizonyítékai. A marsi hasonló jelenségekkel a Spirit találkozott a Guszev kráter környékén járva. Az erős szelek lecsiszolják a kőzetdarabok felszínét és irányváltáskor (szél vagy a kődarab elmozdulása) keletkeznek

a háztetőszerű lapok, melyek éleken találkoznak, amint azt a marsi Adirondack ciklán [2] és a nógrádi darabokon is megfigyelhetjük. Cholnoky Jenő is ír ilyen dreikanterekről a Balatonfelvidéken.



A Hunveyor-4 Nógrádon éles kavicsok "sivatagi" mars analog táján "landolt". (2005, október 9-én)

Irodalom: [1] Grotzinger, J. P., Arvidson, R. E., Bell, J. F., Calvin, W., Clark, B. C., Fike, D. A., Golombek, M., Greeley, R., Haldemann, A., Herkenhoff, K. E., Jolliff, B. L., Knoll, A. H., Malin, M., McLennan, S. M., Parker, T., Doderblom, L., Sohl-Dickstein, J. N., Squyres, S. W., Tosca, N. J., Watters, W. A. (2005): Stratigraphy and sedimentology of a dry to wet eolian depositional system, Burns formation, Meridiani Planum, Mars. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **240**, p. 11-72.; [2] Golombek, M. P.; Grant, J. A.; Crumpler, L. S.; Greeley, R.; Arvidson, R. E.; The Athena Science Team (2005): Climate Change from the Mars Exploration Rover Landing Sites: From Wet in the Noachian to Dry and Desiccating Since the Hesperian, *XXXVI LPSC*, # 1539.; [3] Sümeghy J. (1955): *A magyarországi pliocén és pleisztocén*. (The Pliocene and Pleistocene in Hungary). Budapest; [4] Schweitzer F. (1995): Desertification in the Carpathian basin during the late miocene-early pliocene. *Acta Geographica ac Geologica et Meteorologica Debrecina* (Spec. Issue), Debrecen. pp. 113-118.; [5] Schweitzer F. (1997): On late Miocene - early Pliocene desert climate in the Carpathian Basin. In: *Geomorphology and changing environments in Central Europe*. Ed. by Bremer, H. - Lóczy D. Berlin, Stuttgart. Gebrüder Borntraeger. 37-43. (*Zeitschrift für Geomorphologie*. Supplementband 110.); [6] Schweitzer F., Ször Gy. (1997): Geomorphological and stratigraphical significance of Pliocene red clay in Hungary. In: *Geomorphology and changing environments in Central Europe*. Ed. by Bremer, H. - Lóczy D. Berlin, Stuttgart. Gebrüder Borntraeger. 95-105. (*Zeitschrift für Geomorphologie*. Supplementband 110.); [7] Uhrin A. (2005): Pliocén folyók szedimentológiai rekonstrukciója a Gödöllői-dombságon. (Reconstruction of Pliocene fluvial channels, Gödöllő Hills, Hungary) *Ált. Földt. Szemle*, **29**, 5-23. [8] Uhrin A. (2005): Pliocén folyóvízi üledékek szedimentológiai vizsgálata a Vértes délkeleti előterében. M.Sc. Thesis. Eötvös Univ. Budapest. [9] Cholnoky J. (1915): *A Balaton*, Budapest.

A formakincs jellegzetességei és hasonlóságai a Mars Desert Research Station környezetében és a Marson

A Mars Society által felépített és üzemeltetett Mars Desert Research Station (MDRS) Utah száraz, *biancane* típusú (legömbölyített dombokból álló) badlandes (*felárkolt kopáros*) területén található, ahol a felszín formálásában legfontosabb a víz heves és időszakos felszínalakító munkája, a defláció; télen a fagy és a hóolvadás hatása. Bár a Mars jelenlegi felszínét nem a folyóvíz alakítja, a utahi környezet mégis az egyik legjobb Mars-analógia. A növénymentes vörös agyag- és homokkő borította felszín vizuálisan is hasonlóvá teszi a területet. Utahban az év nagy részére forró szárazság jellemző, ám a tél hideg, hó is esik, így a fagy folyamatai is megjelennek. Nyáron az időszakos vizek medrei rövid időre vízzel telnek meg, mely árvízszerűen vonul le. Ez ahhoz hasonlít, amikor a Mars korai történetében az áradásos völgyek és káosz-területek kialakultak. A Mars felszínét azóta a szél és a jég alakítja. Összhatásában ugyanazok hasonló hasonló formakincset hoznak létre, ám Utahban sokkal rövidebb idő alatt.

Terepmunka. 2006. januárjában az MDRS 42. legénységének tagjaként végezhettem a kutatómunkát, melynek legfontosabb eleme a szakfanderes terepmunka volt. Ez a Marson a jövőben dolgozó geológus munkáját szimulálta. A terepmunkát nehezítette a zárt szakfander, a vastag kesztyűk, az íróeszközök és mintavevő zacskók nehézkes kezelése és a nehéz terepi mozgás. Két hét során 11 terepi sétán (EVA) voltunk, az adatok rögzítését és feldolgozását pedig a lakóegységben végeztük. A terepmunka bebizonyította, hogy egy emberes kutatás nagyságrendekkel gyorsabb, mint egy automata roveres felderítés: egy ember egy négy órás terepbejárás alatt szakfanderben is képes akkora terep felderítésére, mint amekkorát a Marson tartózkodó MER roverek két év alatt jártak be. A terepmunka közben elneveztük az újonnan „felfedezett” alakzatokat, sajátos helyi névanyagot hozva létre.

Husar rover. A terepen kipróbáltuk a Pécsi Tudományegyetemen Kókány András által épített Husar 2b rovert.

A terület jellemzése. A terület környezeténél alacsonyabban fekszik; körben mindenfelé magas szakadékokban végződik. Növényzet a magas fennsíkokon és a mély, feltöltődő folyóvölgyekben található. A lepusztuló területeken a lepusztulás gyorsabb, mint ahogy a növényzet meg tudna települni.

Folyamatok. A felszínt mállás és az aprózódás alakítja. Téle a fagyos talajfolyás, nyáron a heves esők és árvizek mindent magukkal ragadva pucolják le a felszínen lévő kavicsokat; míg a legkisebb szemcseméretű port és homokot a szél hordja el. Néhány helyen a gyér növényzet (fücsomók) megköti a homokot és

szélzászlókat növesztenek. Ezek a homokdombok akár tíz cm-esre is megnöhetnek. A Marson pl. *Tyrrhena-fel föld* területén gyakoriak a kráterek peremétől induló a szélzászlók.

Homokfodrok. Kétféle területen találhatóunk homokfodrokat, mindkettőt időszakos vízfolyások medrében: az egyiket a víz mozgása hozta létre – ezek a száraz évszakban „befagyva” láthatók. A másik típus a szélmozgatta homok. A völgyek mélyén felhalmozódik a homok és a völgyben végigfújó szél a völgy futására merőleges fodrokba rendezi.

Sarkos / éles kavicsok. Sivatagi környezetben az egyirányban fújó, homokszemeket magával sodró szél lecsiszolja a kavicsok szélverte oldalát. Később a kavics elmozdul és más része áll szemben a szélllel, így jön létre az él rajta. Ilyen éles kavicsok a Mars felszínén is találhatóak, akár csak azok a kavicsmezők, ahol a szél fényesen csillogóra csiszolta a kavicsok felületét.

Kavicsmezők. A területen számos helyen található olyan kavicsmezők, melyen cm nagyságrendű, jól osztályozott méretű, éles peremű kavicsok hevernek a lepusztított, sima felszínen, általában időszakos folyóvölgyekben. Ezek a kavicsmezők éles peremmel érnek véget és környezetükben máshol nem található kavics a felszínen. Egyes esetekben a kavicsok pontosan egy delta alakú, puha üledékes felszínen hevernek. A folyóvíz rakta le a kavicsokat, melyet szállított. Nagyobb méretűeket nem tudott szállítani, ezért nincsenek nagyobb kavicsok, a kisebbeket viszont a szél kifújta a kavicsmezőből. Az éles elvégződés magyarázata lehet, hogy a víz tovább folytott mellette, és valamiért onnan ezeket a kavicsokat is elhordta később.

A vízfolyások legnagyobb közeit a sodorvonalban tudják szállítani. A lekerekített kavics és szögletes homok folyóvízi környezetre utal, mert a kavicsot görgeti, a homokot a víz sodrásával szállítja. A szél ellenben a kavicsokat alig tudja megmozdítani, a homok viszont szaltációval, szökelléssel szállítódik. A szögletes kavics és lekerekített homok szél alakította környezetre utal. Itt a hirtelen árvizek lehetnek a felszínalakítók.

Tanúhegyek. Mind a Marson – a táblahegyvidékek (*fretted terrain*) területén –, mind a utahi területen számos meza található (amerikai elnevezésük: *butte [bjút]*). Mind a Földön, mind a Marson vastag törmelékcsoknya veszi körül őket, melyet a Földön vízmosások szabdalnak.

Differenciális erózió. A terület morfológiáját alapvetően meghatározzák az eltérő ellenállású, vízszintesen települt kőzetrétegek. Ha egy kőzetben az erózióknak eltérő mértékben ellenálló rétegek találhatóak, a könnyen erodálódó (pl. agyagkő) rétegek hamarabb eltűnnek, mint az ellenállóbbak (pl. homokkő), így sajátos formák jöhetnek létre. Ezek egyike a „Kockakőjárda”. Ez akkor alakul

ki, amikor a felszínen egy keményebb, párhuzamos törésvonallal szeldelt, felszínre párhuzamosan települt réteg található. Amikor az erózió eléri ezt a réteget, sajátos mintázatban pusztul le. A differenciális erózió gombszikiákat, kőbálványokat is létrehozott a területen: ahol ha egy köztömeg tetején keményebb, alatta puhább réteg van, a keményebb fedőréteg sokáig védheti az alatta lassan kierodálódó puha réteget. A kemény fedőközet mindaddig a helyén marad, amíg annyira ki nem kopik alóla az őt tartó réteg, hogy leborul a torony tetejéről (az esőverte, puha anyagú felszínen kialakuló kavicssapkás földpiramisok is hasonlóak).

Völgyek. A régió növénymentes, puha felszínű kopáros térszínein a folyóvízi erózió nyomai a legkülönfélébb mérettartományokban megfigyelhetők, milliméterestől km-es méretig azonos morfológiát mutatva. A térség időszakos folyóvizeire jellemző, hogy rendkívül sok hordalékot szállítanak a puha könnyen pusztuló, puha felszínből. A terület északi határára van állandó vízfolyás (*Muddy Creek*), a többi völgy időszakos (vádi).

Lejtős tömegmozgások. A terület meglehetősen bővelkedik növénymentes lejtőkben, melyek a lejtős tömegmozgások ideális térszínei. A mezák lejtői tört lejtők (fazettával (*sziklafallal*) és törmelékletjével), a változó rétegű hegyoldalak szerkezeti teraszos lejtő, a gyorsan pusztuló kopárosoké domború vagy egyenes (*azaz gyorsan pusztuló*) lejtő. Az lejtőkön lejtőtörmelék (kolúvium) csak a magas sziklafalaknál vagy kemény fedőréteggel fedett dombokon található: a puha dobok lehodott anyagát hamar elhordja, lekoptatja az erózió és defláció.

Szferulák (konkréciók). A régióban épp a Lakóegység és a Csillagda közötti út mentén lehetett apró homokkőszferulákat találni. Ezeket a talajvíz alakította ki, mikor egy vízzáró rétegen lassan átszivárgott és ott kioldott meszes anyagokat, melyeket egy központi „mag” körül lerakott, összecementálva a környezetét. Így jönnek létre a konkréciók: rétegzett, gömb, ovális vagy szabálytalan, elágazó, lekerekített alakú kőzetdarabok. Cementáló anyaguk lehet kalcit, hematit stb. A dunamenti löszbák képződése is hasonló, ott kalcit a cementáló anyag. Itt is megfigyelhetünk szabálytalan, „baba” alakú kiválásokat, de a szabályos gömbök is gyakoriak. A marsi konkréciók (blueberry) anyaga hematit (vas-oxid).

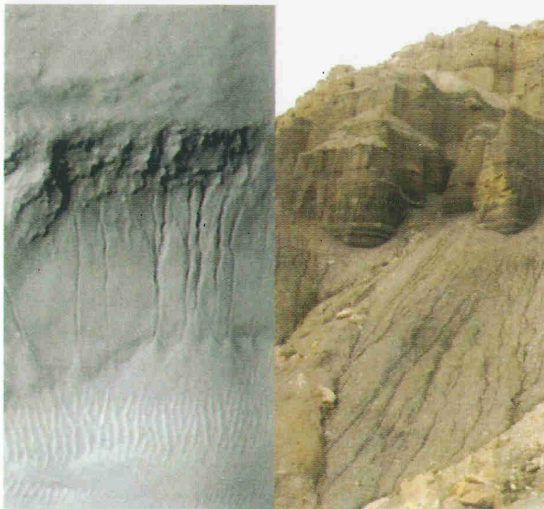
Sokszög mintás talaj. Néhány helyen jól megfigyelhetők voltak a szárazság során keletkezett sokszög mintás talajok. A marsi poligonális mintázatú felszín (*regolit*) valószínűleg nem (csak) kiszáradás, hanem (inkább) fagy hatására keletkezik (fagyékek segítségével; ezek a Földön az örökfagy területén jellemzőek). A marsi poligonok mérete földinél sokszor egy nagyságrenddel is nagyobb. Sokszög mintázat osztályozatlan szemcséjű talajban a nagyobb kavicsok irányított „vándorlásával” is kialakulhat.



A St. Mary-fok a Marson a Victoria kráter peremén (Opportunity)



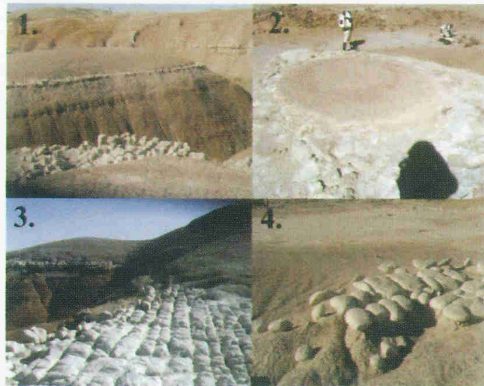
Kilátás a utahi badland-katlan pereméről



↑ Polygonális mintázatú talaj a Marson (balra) és Utahban (jobbra), eltérő nagyságrendben ← A *Skyline Rim* törmeléktagaróján csorgók vágnak barázdákat (jobbra). A meredek falról lehulló közettömbök a sziklafalon hátráló törmelékgaratot alakítanak ki. A törmelék-kúpok felszínei különböző korúak. Az egyik lejtőrészen a folyóvízi erózió vájta csurgóvölgyek láthatók, valószínűleg ez átélte a legutóbbi esős időszakot, míg a másik lejtőrészen nincsenek völgyek; ez egy újabb csuszamlás vagy törmelékmlás miatt lehet. Balra: Csorgók a Marson. Aljuknál megfigyelhetők törmelék- vagy hordalékkúpok



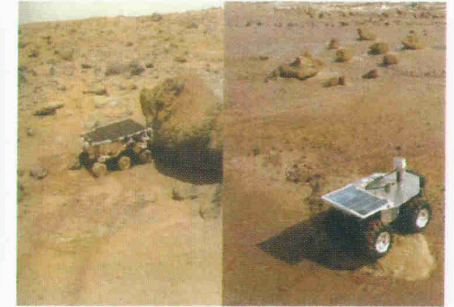
Kőjárdák: Jobbra fenn: Husar egy kockakőjárdán Balra fenn: kockakőjárdá a Marson az Eagle kráter oldalán (Opportunity)



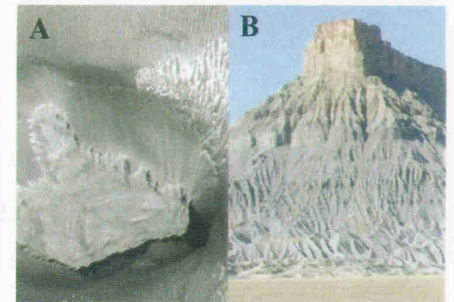
A puha köztben vékony, kemény közetréteg lepusztulása. 1: a kemény réteg még a mélyben van, de a peremen kilátszik. 2: a puha, vörös agyagkőréteg hamarosan végleg eltűnik 3: felszínen a vékony, kemény, párhuzamos törésvonalak mentén erodáló réteg. 4: a kemény, kockakővekre szétesett felszín végnapjai szétgurulásuk előtt.



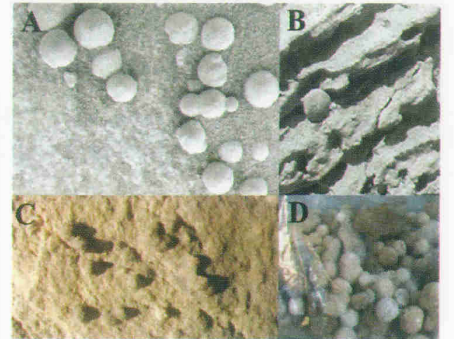
Jól osztályozott szemcseméretű, éles határral elvégződő kavicsmezők Utahban



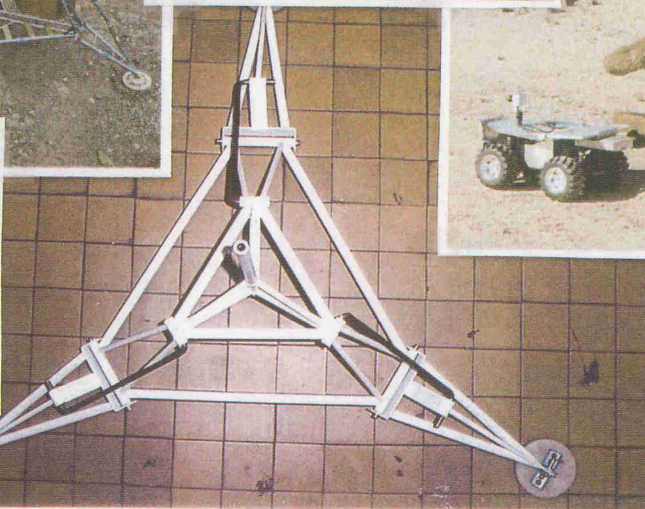
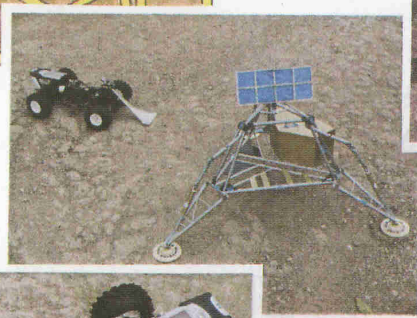
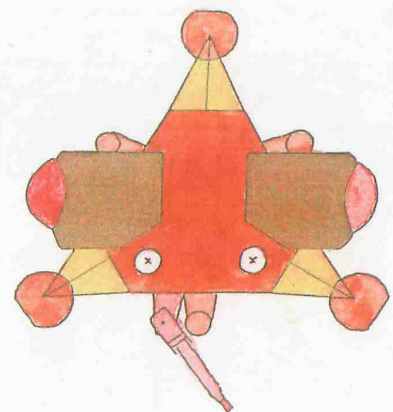
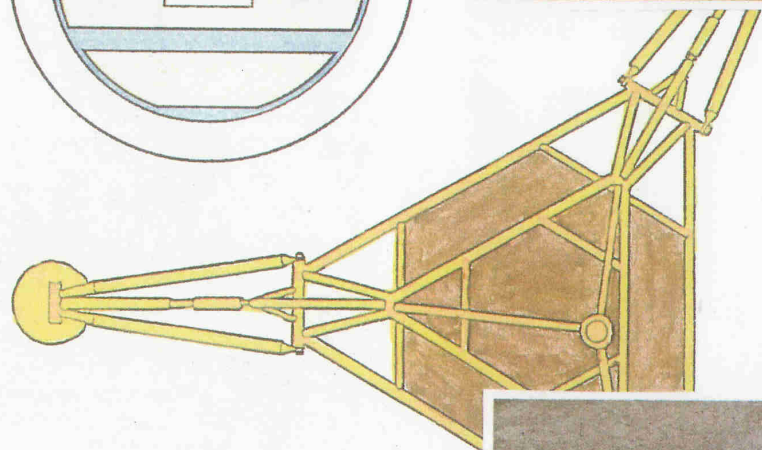
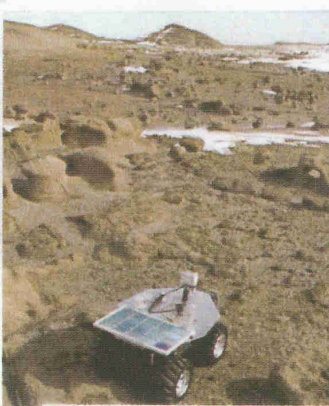
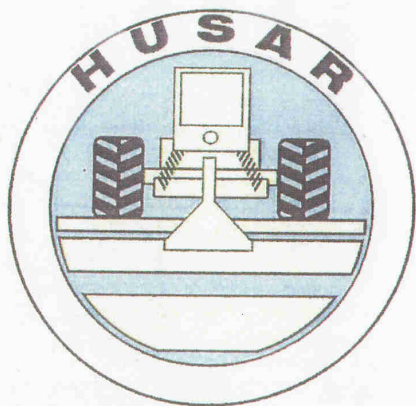
A roverok keréknyomai is információkat adnak a regolit felső részének tulajdonságairól (por, sivatagi kéreg, nedvesség). Balra: a Sojourner a Marson, jobbra a Husar 2b Utahban.



A: marsi tanúhegy törmelékszkonyvával, felül-nézetben B: a *Factory Butte* kemény fedőrétegu táblahegy erősen erodálódo, barázdákkal felszaladt törmelékszkonyvával



Konkréciók: A, B: „blueberry” az öt befoglaló, finoman rétegzett köztben a Marson. Ezeket a rétegeket lehetséges, hogy egy tóban évszakos üledéklerakódás hozta létre (a földi glaciális tavak laminit (varv) rétege). C: Kőborsók a lakóegység környékén, az öt befoglaló köztben. D: Bezacskozva: mintha csak a Marson gyűjtöttük volna...



Ezt a munkánkat Földi Tivadarnak ajánljuk.