

Elosztott intelligenciájú automatizált rendszer a VenusExpress űrmisszió kísérletének kalibrálására

BALAJTHY KÁLMÁN, SULYÁN JÁNOS, SZALAI LAJOS

KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet, {balajthy, sulyan, szlajos}@rmki.kfki.hu

SÓDOR BÁLINT, LIPUSZ CSABA, DR. SZALAI SÁNDOR

SGF Kft., {soba, lipusz.csaba}@freemail.hu, szalai@sgf.hu

Lektorált

Kulcsszavak: PC/104, elektromos leválasztás, rt-linux, LabWindows, párhuzamos programszálak

A VenusExpress az Európai Űrügynökség (European Space Agency – ESA) első kísérlete a Vénusz kutatására. A KFKI RMKI kutatói az ASPERA-4 (Analyzer of Space Plasma and Energetic Atoms) kísérlethez automatizált kalibráló-rendszert alakítottak ki. Az elosztott intelligenciájú adatgyűjtő rendszer PC/104 típusú processzoros kártyákra épülő, valós idejű operációs rendszerrel történik, a kezelői felület programja egy hordozható számítógépen Windows XP alatt fut. A rendszer sajátossága az egyes komponensek nagyfeszültség elleni védelme, elektromos leválasztása.

1. Bevezetés

A Vénusz kutatását a múltban orosz és amerikai űrszondák végezték. A legközelebbi bolygóról a legtöbb ismeretet a NASA Magellán űrszondája szolgáltatta. Az ESA a VenusExpressben a MarsExpress űrszondájának fődarabjait használja. Az eltérő feladatból és környezetből adódóan jelentős módosításokra is szükség volt. Ezek közül a legfontosabb volt a hővédő-rendszer átalakítása, másrészt a négyszer nagyobb sugárterhelés miatt az elektronikákat sugárzástűrően kellett kialakítani.

A VenusExpresszt a kazahsztáni Bajkonurban lévő űrközpontból 2005 novemberében Sojuz-Fregat rakétával indították. Az átrepülés 153 napig tart. A pálya a Vénusz sarkai felett húzódik, a legközelebbi pontja 250 km, a legtávolabbi, pedig 66 000 km a bolygótól. A bolygó térképezése mintegy 500 földi napig, azaz 2 Vénusz napig tart.

A KFKI RMKI kutatói az ASPERA-4 (Analyzer of Space Plasma and Energetic Atoms) kísérletben vesznek részt. Az ASPERA-4 kísérlet új információkat fog szolgáltatni a Vénusz közelében a plazma és a semleges gázok csatolásáról. Ezek az ismeretek alapvetőek a plazma folyamatok és a tömegegyensúly megértésében, a felső légkör, az ionosféra és a bolygófejlődés kutatásában. Az ASPERA-4 interdiszciplináris kísérlet a bolygó kutatás és az űrbeli plazma fizikájának területén.

A KFKI RMKI feladata az ASPERA-4 kalibrációjának biztosítása, amely elengedhetetlen a Vénusznál végzett mérések helyes kiértékeléséhez. A kalibrálás céljára automatizált kalibráló-rendszert kellett kialakítani a svédországi kirunai intézet (Institutet för rymdfysik – IRF) részecskegyorsítója mellett. A kalibrációs rendszer az ASPERA-4 kísérlet érzékelőinek az ionforrással való hitelesítésére szolgál, amelynek automatizálása nagyban meggyorsítja, és reprodukálhatóvá teszi a hitelesítő méréseket.

A megvalósított kalibráló rendszert az IRF fejlesztőivel együtt telepítettük 2005 tavaszán. Az elosztott in-

telligenciájú rendszer PC/104 típusú processzoros kártyákra épül, és a hordozható számítógéppel TCP/IP protokollon keresztül tartják a kapcsolatot. Ezek az Intel processzorokkal kompatibilis kártyákon Linux alapú valós idejű sokfeladatos operációs rendszer fut, míg a hordozható számítógép Windows rendszerben működik.

2. Hardver

A kalibráció automatizálására szolgáló rendszer hardver összeállításánál figyelembe kellett venni a meglévő kalibrációs laboratórium adottságait, a rendelkezésre álló helyet, az elektromos felületek és illesztő felületek paramétereit, elosztottságát és hogy a végcél a mért értékek, illetve szabályozási paraméterek egy képernyőn történő összegyűjtése, áttekinthető kiértékelhetősége volt. Speciális követelményként merült fel az egyes mérőállomások egymástól történő elektromos izolációja, nehogy egy adott helyen esetleg bekövetkező nagyfeszültségű átütés, illetve zavar tovaterjedhessen.

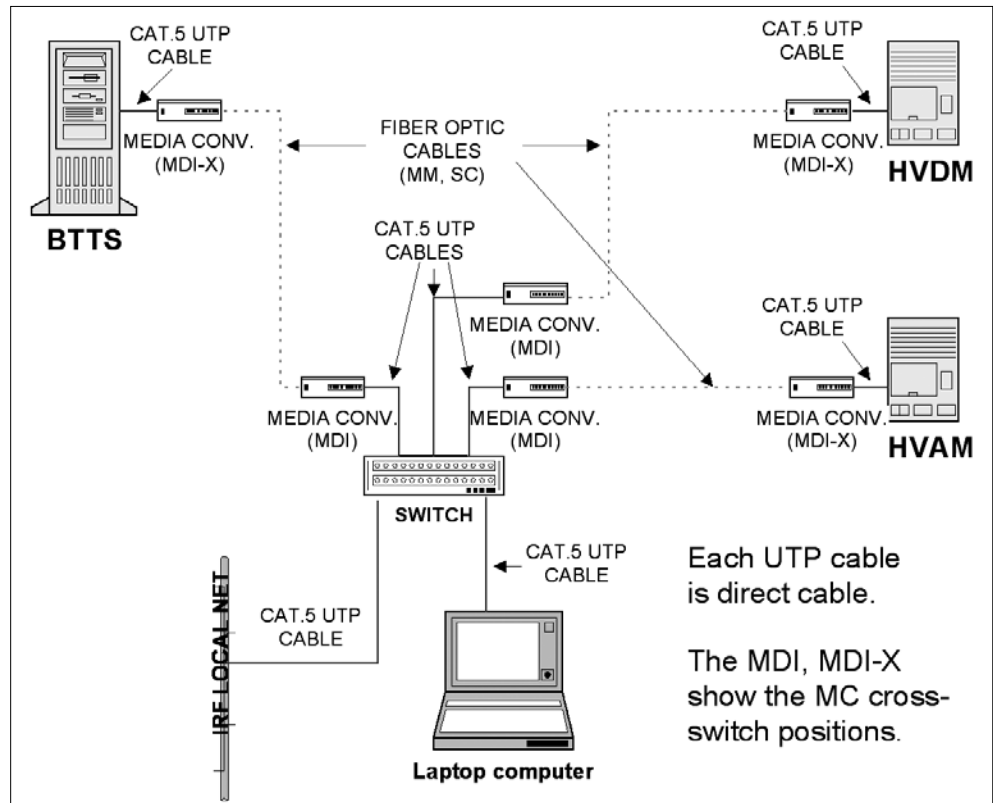
Cél volt, hogy a mérő egységek a mérendő mennyiségekhez közel legyenek elhelyezhetők a rendelkezésre álló viszonylag szűk helyen, és hogy a mérőállomás jövőbeni bővíthetősége is biztosítva legyen. Ezért választottuk a PC/104-es rendszer elemeit a hardver kialakításához. A kereskedelmi forgalomban kapható modulokhoz így mindössze három speciális hardver egységet kellett kifejlesztenünk. Figyelembe véve a mérendő értékek elosztottságát, három mérő-beavatkozó állomás kiépítése volt célszerű. Ezek Ethernet alapú lokális hálózattal kapcsolódnak a vezérlő-adatgyűjtő központi számítógéphez. Először az állomások elektromos izolációjának biztosítása végett vezeték nélküli (wireless) hálózat kialakításra gondoltunk; de a nagyszámú rádiófrekvenciás zajforrás és a már ott meglévő wireless hálózat miatt végül is a biztonságos kommunikációt lehetővé tevő üvegszál-optikai kábelezést választottuk.

A megvalósított rendszer (1. ábra) üvegszál-optikai lokális hálózata 100 Mbit/s-os sebességgel működik, és bőséges tartalékkal rendelkezik a szükséges adatforgalom lebonyolításához.

Az „izolált kommunikáción” kívül a tápellátás izoláltságáról is gondoskodni kellett, hogy az egyes mérőhelyek a különböző csatlósokon keresztül a legkisebb mértékben befolyásolhassák egymást (2. ábra). Ha valamelyik mérőhely vészkipcsolására lenne szükség, azt a rádiófrekvenciás hálózati kapcsolóval gyorsan, a veszélyeztetett helytől távolról lehet megtenni.

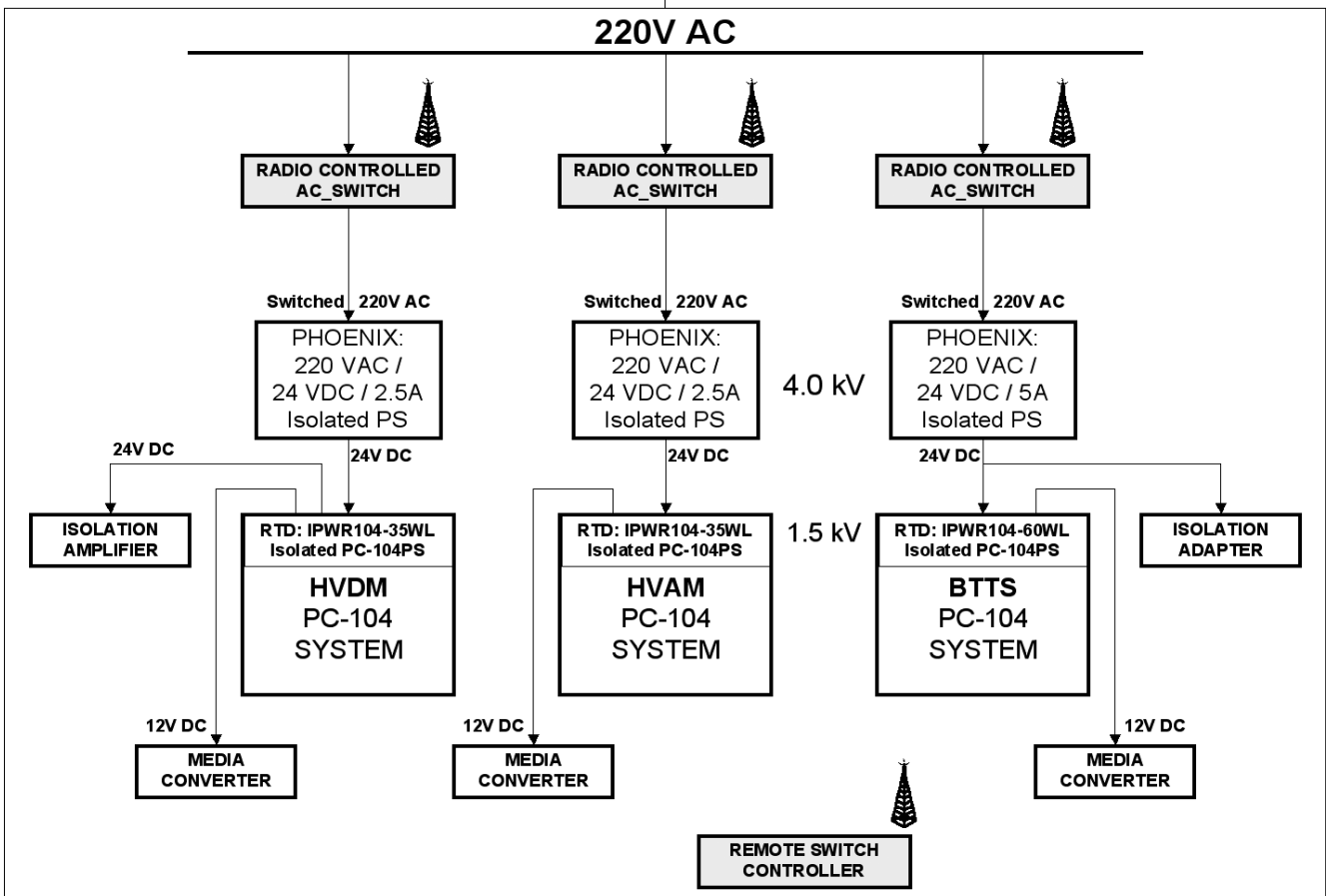
Az egyes mérőállomások fő funkciói:

1. **HVDM**: (High Voltages Direct Measurement: nagyfeszültségek közvetlen mérése). A nagyfeszültségeket a kalibrációhoz szükséges ion-generátor nagyfeszültségű bemenetein méri az általunk kifejlesztett nagyfe-



1. ábra A négy számítógépet tartalmazó kalibráló-rendszer

2. ábra A tápellátás galvanikus leválasztásának vázlatja



szültségű szondák és izolációs erősítők segítségével. Az osztó láncba számos biztonsági elem került beépítésre, hogy még véletlenül se juthasson nagyfeszültség az érzékeny kisfeszültségű mérőbemenetekre.

2. **HVAM:** (High Voltages on Analog Monitor: nagyfeszültségek (mérése) az Analóg Monitorral) Az ion forrás működtetéséhez szükséges nagyfeszültségek másik részét méri. A jeleket már átalakítva, a feldolgozáshoz alkalmas módon kapja az Analóg Monitor kimenetén.

3. **BTTS:** (Beam, Turn-Table and Sensor system): ion sugár, tárgyasztal és szenzor (mérő) rendszer.

Fő funkciói:

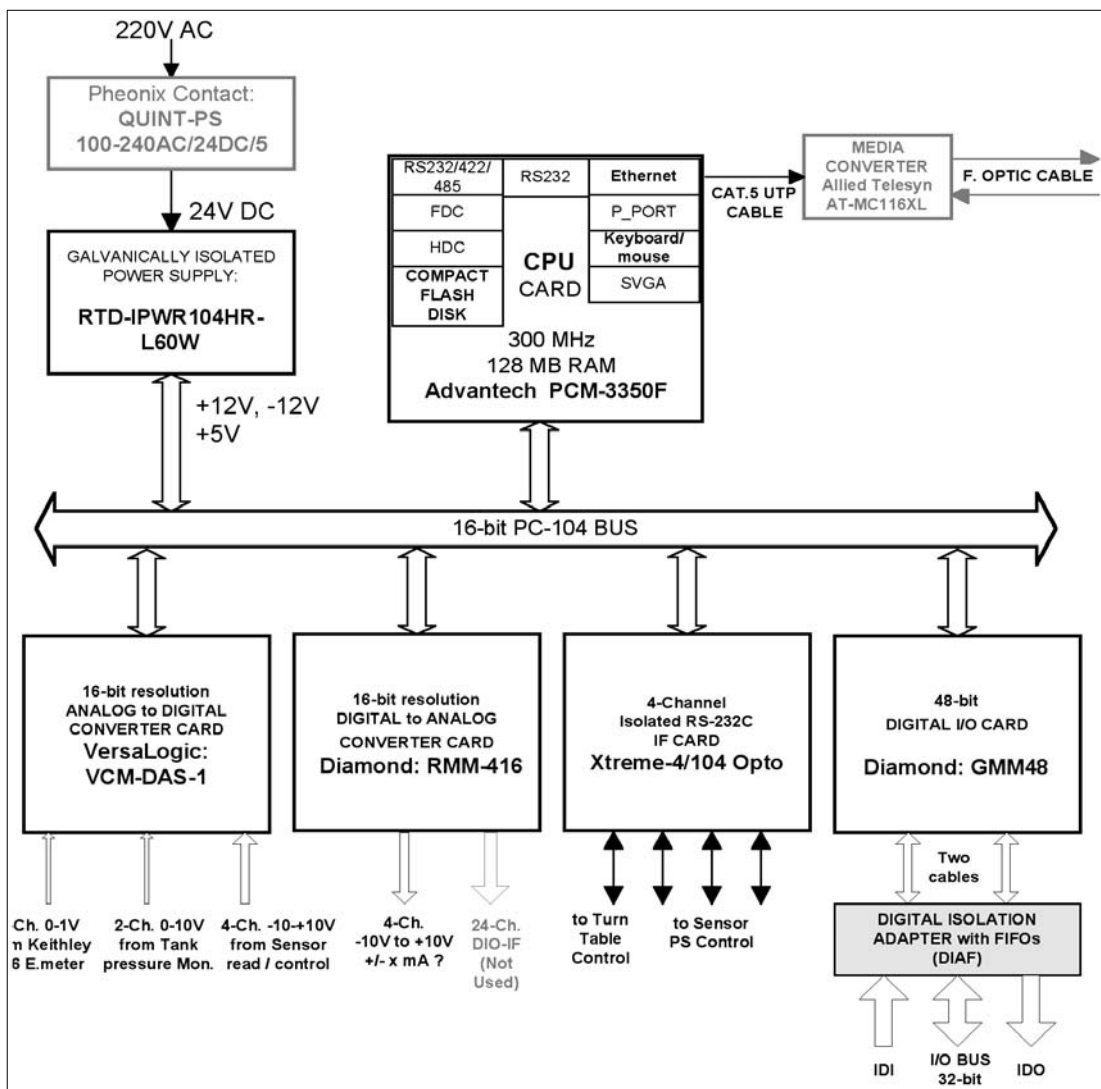
- az ASPERA-4 ENA (Energetic Neutral Atoms) érzékelőinek kalibrálására szolgáló másfél méter átmérőjű vákuum kamrában egy 10 cm átmérőjű párhuzamos ion sugár, illetve a sugár semleges komponenseinek útjába helyezett ASPERA-4 megfelelő mozgatása egy minden irányban mozgatható és elfordítható tárgyasztal segítségével
- a szenzorok által mért adatok számítógépbe juttatása
- a mérés paramétereinek (koordináták, nyomás, hőmérséklet stb.) pontos feljegyzése és mindezek központi géphez való továbbítása.

A BTTS egység blokk vázlata a 3. ábrán látható.

A szenzorok adatainak vákuumkamrából való kihozatalához ki kellett fejleszteni egy Digitális Izolációs Adaptort, amely 32-bites 4 MByte/s-os kétirányú multiplexált vagy nem multiplexált (választható) adatbuszal, és az adatok átmeneti tárolására szolgáló 4 kilobájtos memóriával rendelkezik; valamint 3,5 kV-os izolációt biztosít a vákuumkamrában lévő eszközök és a külvilág között. Az adapter speciális kialakításának köszönhetően egy 32-bites 3,5 kV-al Izolált Digitális Input (IDI), és egy 32-bites 3,5kV-al Izolált Digitális Output (IDO) Portot is nyújt a PC/104-es processzor számára. Ez a tulajdonsága nagyban elősegíti a BTTS funkcióinak jövőbeni bővítését, ami az ASPERA sorozat következő példányainak vagy hasonló tudományos mérőberendezéseknek vákuumkamrában történő kalibrálását könnyíti meg.

3. Beágyazott processzorok szoftvere

A felhasználói igények elemzése alapján nyilvánvalóvá vált, hogy olyan sokfeladatos operációs rendszerre van szükség, amely a csatlakozó jelek valós idejű kezelését



3. ábra
A BSTM
blokkvázlata

is biztosítja. A szűkös anyagi erőforrások viszont a költségek minimalizálására ösztönöztek. A nyílt forráskódú programok ingyen állnak a fejlesztők rendelkezésére, viszont használatuk elmélyült tudást igényel. Támogatást „csak” az interneten elérhető nemzetközi programozói közösség nyújt. Egy vásárolt program esetén elvárható kézikönyvek és gyártói segítség nem áll rendelkezésre, viszont ami probléma eddig felmerült, az nagy valószínűséggel megtalálható valamely internetes fórumon.

A Linux operációs rendszer ideális a sokfeladatos megoldások kezelésére. Időosztásos feladatütemezése viszont nem garantálja a szigorúan vett valós idejűséget. Létezik azonban a Linuxnak egy nyílt forráskódú valós idejű (real-time RT) változata, az RT-Linux: Ez egy, a legszükségesebb, de elegendő szolgáltatást nyújtó valós idejű operációs rendszer (real-time kernel), amelynek legalacsonyabb prioritású feladataként fut a megszokott Linux környezet. A valós idejű feladatok kernel modulként betölthetők és akár el is távolíthatók. Lehetőséget ad az illesztők közvetlen kezelésére, megszakítás kezelő rutinok készítésére, nagy felbontású időzítések használatára. Az RT-Linux az FSMLabs terméke, de az utóbbi időben a Valenciái Műszaki Egyetem vette át a támogatását. Külön köszönet illeti Nicholas Mcguiret alias „Der Herr Hofrat”-ot szíves és önzetlen segítségéért.

A valós idejű operációs rendszer használatát különösen indokolta, hogy négy soros vonalon illesztett eszközt kellett kiszolgálni. Többen találkozhattak már azzal a jelenséggel, hogy a soros vonalon kiadott lekérdező parancsra előbb érkezik meg a válasz, mint ahogy az azt fogadó olvasó utasítás végrehajtódna. Persze nem minden esetben, csak ha a program éppen az író és olvasó rendszerhívás között függesztődik fel. Erre pedig elég nagy az esély, ha több program fut egy hálózatba kapcsolt gépen. A következmény az üzenetváltás és a program elakadása.

Valós idejű operációs rendszer használata esetén a soros vonalak kezelése teljes egészében a programozó hatáskörébe tartozhat. A standard Linux driver használata helyett saját real-time kernel modulral optimalizálhatja az adatforgalmat. Biztosítani tudja, hogy mindig álljon rendelkezésre szabad terület az adatok fogadására, és a felhasználói programnak csak az alkalmazott protokoll szerinti teljes mondatokat továbbítson. A kommunikáció megszakadásának időzítéssel való figyelése (watchdog) is egyszerűbben kezelhető.

Nagy mennyiségű adat pontos időzítéssel való beolvasása az I/O lapról ugyancsak megoldhatatlan valós idejű operációs rendszer használata nélkül. A kalibrálható rendszerhez készült csatolókárttyáról másodpercenként több száz kilobájt adatot kell kiolvasni, és adatvesztés nélkül továbbítani az Ethernet csatolón. Az analóg jelek konverziójának 1 kHz-es ciklusa sem lenne kivitelezhető valós idejű óra (real-time clock) használata nélkül.

Az RT-Linux alatt minden időkritikus feladat megoldható a valós idejű operációs rendszer kernel moduljai

segítségével. A kernel modulok természetesen a kernel memória területét látják. A rendelkezésükre álló címtartomány ezáltal behatárolt. A nagy sebességgel gyűjtött adatokat úgynevezett real-time fifo illesztőn keresztül lehet a Linux programoknak átadni, ahol már a virtuális címkezelés segítségével nagy adatterületet használhatnak átmeneti adattárolásra, és ahonnan az adatokat a TCP/IP protokollkezelő rutinok segítségével továbbítják az Ethernet hálózaton. A feladat ezen része már nem időkritikus. Természetesen az RT-Linux operációs rendszer sem csodaszer, a lehetetlent ennek segítségével sem lehet megvalósítani. Amennyiben adott idő alatt több adatot gyűjtünk, mint amennyit képesek vagyunk eltárolni, akkor itt is fellép az adatvesztés. Ezért fontos, hogy a projekt elején, a feladatok megfogalmazásakor már pontosan meghatározzuk, hogy mekkora idő alatt mekkora adatmennyiséget milyen módon kell kezelni.

Ezen korlátok ismeretében kell megválasztani azt a hardvert, ami képes kielégíteni az igényeket, valamint a megfelelő operációs rendszert, illetve programozási eszközöket, amelyekkel a kritikus paraméterek teljesíthetők. Az ASPERA-4 kalibráló rendszer legkritikusabb része a nagymennyiségű adat beolvasása, illetve ez Etherneten való továbbítása volt. A két folyamat közé elegendő puffert kellett illeszteni, mivel az Etherneten való adattovábbítás időviszonyai nem determinisztikusak. A feladatok két szinten való megoldása biztosítja, hogy a kalibráció minden adata pontosan mintavételezve kerüljön beolvasásra, míg az adatok továbbítása, eltárolása időben kissé késleltetve, a változó terhelést kiegyenlítően történik.

4. Kezelői felület

Az érzékelők kalibrálási folyamata egy hosszantartó mérési sorozat, hogy az érzékelő paraméterfüggését nagyszámú mérési eredmény alapján lehessen meghatározni. Ez egy hosszán tartó ismétlődő folyamat, melynek során egy vagy több mérési paraméter megváltoztatásával ismételt mérési sorozatot hajtanak végre. Ez jellegzetes esete az automatizált mérőrendszereknek. Az ASPERA-4 érzékelőjének kalibrálásakor az automatizált rendszer első változatban annak négy tengely irányú helyzetét kellett vezérelni a többi paraméter mérése mellett (vákuum érték, az ionforrás különböző paramétereit biztosító nagyfeszültségek), amelyeket csak naplózni kellett. A vákuumban lévő helyzetbeállító elektronika egy USA gyártmányú készülék, amelyik nem rendelkezik abszolút helyzetviisszajelzéssel és soros RS 232 szabványú ACSII karaktervezérléssel.

Az operátori kezelő felület egy Windows XP alatt futó C nyelvben fejlesztett program. A grafikus kezelői felület kialakításának a meggyorsítása miatt a National Instrument LabWindows/CVI fejlesztő környezetét használtuk, amely kiemelkedően sok könnyen kezelhető könyvtári függvénnyel rendelkezik erre a célra. A kapcsolat a beágyazott processzorokkal TCP/IP protokollú

Ethernet hálózaton keresztül valósul meg. A helyzetbeállító elektronika vezérlése az annak közelében lévő beágyazott processzoron keresztül történik a PC által kiadott ASCII karakter sorozat konvertálás nélküli továbbításával.

A helyzetbeállító (továbbá néhány más beállító elem) automatikus vezérlése egy könnyen szerkeszthető és olvasható külső fájl feldolgozásával történik. A vezérlés szintaxisa az XML nyelvre épül. Az XML szintaxis használata mind a fájl elkészítését, mind annak futtatását megkönnyítette. A helyzetbeállító elektronika működtető XML fájl készítése nem csak egy szövegszerkesztő vagy „XML editor” segítségével állítható elő, hanem a kezelői programban megvalósítottuk a működtetési szekvenciák fájlba való írását is. Természetesen a mérési idők kivárása helyett megfelelő időértékek számszerű beírásával tárolható az adott állapothoz tartozó adatgyűjtési időtartam.

Az ASPERA4 műszer automatizált kalibrációs kezelői felülete a 4. ábrán látható.

A kifejlesztett program az általunk fejlesztett más adatgyűjtő rendszerekhez hasonlóan két programszál-t tartalmaz (lásd jelen számunk „Adatgyűjtő és vezérlő számítógép a Nemzetközi Űrállomás Obsztanovka kísérletéhez” című cikkét). A kezelői felület és az adatok grafikus megjelenítése képezi az egyik szál-t, míg a véletlenszerűen és többnyire csoportosan érkező események fogadása és tárolása egy másik szálban történik. Ez a két szál-as működés megakadályozza,

hogy egy eseményre való várakozás adatvesztést okozzon véletlenszerűen érkező érzékelő adatfolyamban. Az adattárolás (archiválás) az esemény fogadással van azonos szálban, míg annak megjelenítése és a kezelői beavatkozások a másik szálban kezelődnek.

5. Összefoglalás, kitekintés

A kalibráló rendszert 2005 márciusában helyeztük üzembe az IRF kirunai telephelyén. Az azóta eltelt időben a rendszert sikeresen használják. A felhasználók lehetségesnek tartják, hogy minimális változtatási igényeik lesznek, amennyiben újabb műszereket fejlesztenek ki, és azok illesztéséhez esetleg másként kell vezérlő adatokat küldeni.

Jelenleg még nem tudtak konkrét változtatási igényt megfogalmazni. Felmerült továbbá, hogy az IRF uppsalai intézetében is szükség lenne egy hasonló kalibráló rendszerre. Ennek specifikációja illetve a költségviselő megtalálása a közeljövőben történik.

Irodalom

- [1] <http://www.mps.mpg.de/en/projekte/venus-express/aspera4/>
- [2] <http://ars.asi.it/esa/venusexpress/aspera4.pdf>

4. ábra A Windows alatt futó program kezelői felülete

