

Obsztanovka – Földi környezetismeret

**Nagy János, Balajthy Kálmán, Horváth István,
Sódor Bálint, Szalai Sándor, Lipusz Csaba, Vizi Pál Gábor**

MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, Budapest

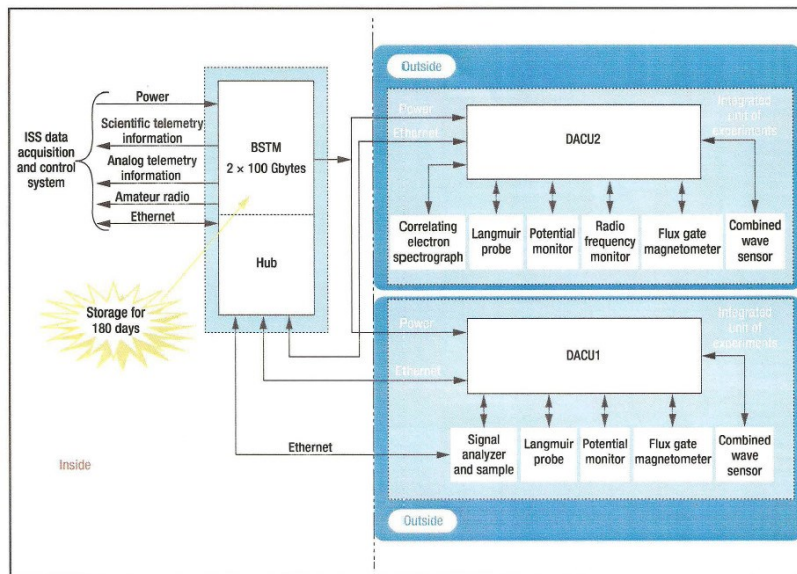
A Föld közeli világűr térségének felfedezése, vizsgálata segít minket abban, hogy jobban megértsük Naprendszerünket. A Föld környezete komolyan befolyásolja mindennapi életünket a távközlés, időjárás-előrejelzés és a Föld egyéb megfigyelése közben [1]. A megoldás érdekében megtervezhettük az Obsztanovka (Környezet) kísérlet fedélzeti adatgyűjtő berendezését a Nemzetközi Űrállomás (International Space Station, ISS) orosz szegmensének fedélzetére.

Az Obsztanovka kísérlet tervezésében kilenc csoport vett részt különböző országokból, tizenegy műszer alkalmazásával tanulmányozták, hogyan befolyásolja a Nap a magnetoszférát és az ionoszférát, valamint ezáltal a Föld időjárását. Az érzékelők és az adatgyűjtés vezérlése automata szoftver segítségével és földi parancsokkal valósult meg. A tervezés során a fejlesztést irányító bizottság különleges követelményeit is figyelembe kellett vennünk. Súly-, méret- és energiafelhasználás-korlátozások mellett a rendszernek extrém hőmérsékleteket, nyomást és vibrációt kellett elviselni. A követelmények vonatkoztak a fedélzeti elektronikus interfészekre és a tápegységre, továbbá az elvárt várható sugárzási és ionizációs kitettség a földinél tízszeresen nagyobb. Ahhoz, hogy a költségeket elfogadható szinten tartsuk, ipari minősítésű, katalógusból kapható alkatrészeket választottunk, miután alaposan teszteltük a mechanikai és hőmérséklettűrő viselkedésüket.

Repülő hardver és szoftver

Az Obsztanovka rendszer három számítógépet tartalmaz (1. ábra). A BSTM (Block Storage of Telemetry Information Unit, telemetria információ blokk tárolója, ld. a 2. ábrát), amelyet az ISS belsőjében helyeztek el, biztosította a kapcsolatot a távközlési berendezésekkel. Kapcsolatban állt az űrállomás külső falán levő két DACU egységgel (Data Acquisition and Control Units, adatgyűjtő és vezérlő egység). Egy-egy DACU hatot vezérelt a tizenegy érzékelő közül, a másik DACU a maradék öt érzékelőt; egyúttal redundanciát, azaz többszörözést biztosítva.

A számítógépek ipari minősítésű PC/104 kompatibilis processzor kártyákon alapultak. A kártyákat elláttuk az űrbéli tevékenységhez szükséges kiegészítőkkel, hűtőbordákkal, szerkezeti megerősítéssel.

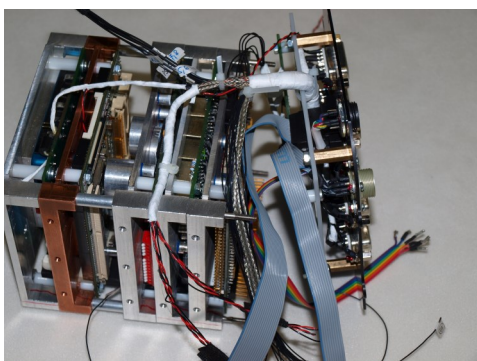


1. ábra

sítéssel és impregnálással, valamint kicseréltük az érzékeny alkatrészeket. E kártyák használatával az érzékelők és a telemetria interfész fejlesztésére összpontosíthattunk.

A távközlési csatorna átviteli képessége és az oroszországi láthatósági feltételek korlátozottak voltak, ezért csak az adatok 10%-ának leküldésére volt mód. A maradék adattömeg egyenként 200 GByte-os eltávolítható merevlemezekre került, ezeket a kozmonauták szállították vissza a Földre hathavonta. A tárhely a lemezen az érzékelők adatai és a számítógépek fedélzeti információi között lett felosztva. Minden eszközre napi 80 Mbyte kiosztott tárhely jutott, a fel nem használt napi adag naponta arányosan újra felhasználhatóan szét lett osztva az érzékelők adatainak arányában. Az adatok az ISS órajelével lettek elmentve, amely a földi pontos idővel szinkronizált. Ez alapján az adatok mérési helye a felszínhez viszonyítva 200 méteres pontossággal rekonstruálható maradt.

Annak érdekében, hogy biztosítsuk minden hardverelem ellátottságát pontos idővel, egy valós idejű (real-time) Linux működtető rendszert választottunk, amely a SUSE 8.1 Linuxon alapult. Ezt a Linuxot a www.kernel.org-ról származó 2.4.19-es real-time kernellel egészítettük ki és egybeépítettük az RTLinuxszal. Speciális igényrendszerünknek megfelelően újraserkesztettük, így csak a legszükségesebb rendszerelemeket tartalmazta a minimális memória-felhasználás érdekében, hogy minél több memória-felhasználási lehetőség maradjon a mérések számára.



2. ábra

A hardverelemeket az operációs rendszer kernelébe töltött real-time taszkokon keresztül kezeltük. Ezek a programok magas prioritásúak és megszakításokat képesek kezelni. Képesek Linux szintű programoktól adatokat átvenni vagy küldeni, mindezt valós idejű FIFO-kon keresztül (first-in first-out queues). Az adatok a számítógépek között Ethernet IP-n kerültek át. Szerver oldalon egy program egy porthoz kapcsolo-

lódik, és várakozik a kliensre, hogy felépítsen egy kommunikációs útvonalat ehhez a csomópont-hoz. Amikor a szerver adatot küld, a kliens elfogadja az adatot és fordítva. A lényeg, hogy számos kommunikációs útvonal létezhet egyszerre.

A tudományos és fedélzeti adat FIFO használatával került a Linuxhoz. A program „read_send” két párhuzamos szálon dolgozik, az egyik kiolvassa a FIFO-ból az adatokat és eltárolja egy cirkuláris pufferben. A másik szál létrehoz egy kommunikációs útvonalat a BSTM felé, mint egy IP szerver, és ezen át küldi az adatokat. Ez az szál tartja karban a kommunikációs útvonalat, észleli a meghibásodásokat és visszaállítja az útvonalat.

A fedélzeti adat, amely az eszköz és érzékelők állapotáról tartalmaz információkat, magas prioritású és letöltődött a Földre. Mindezen adatok alapvető információt szolgáltatottak a működés összességéről és elemzésük biztosította a lehetőséget a szükség szerinti beavatkozásra, bár az operátor lehetőségei korlátozottak. Ha egy érzékelőnek problémája akadt, például magas hőmérséklet vagy rendellenes áramfelvétel, akkor az operátor egy távparancs segítségével ki- és bekapcsolhatta. Az érzékelők különböző működési módokban lehettek, mindegyik más-más adatsebesség-tartományban.

A rendszer tervezése

A rendszer tervezése során ketten főleg a hardveren dolgoztak, a többiek négyen pedig a szoftveren. A tervezés, megvalósítás, tesztelés és dokumentálás több évet vett igénybe. A tervezés 2003 márciusában kezdődött. A legnehezebb munka a pontos követelmények begyűjtése volt a különböző résztvevőktől. Miután meghatároztuk az adatmennyiséget, a mintavételi arányt és a fizikai interfészeket, véglegesítettük a hardver- és szoftverkövetelményeket. Az érzékelő és adatgyűjtő rendszer ezredmásodperces válaszidőt igényelt, amit következetes real-time operációs rendszerrel lehetett biztosítani.

Az RTLinuxot választottuk költségvetési szempontok alapján, mivel ingyenesen elérhető és jól támogatott. A példaprogramjai alapján viszonylag rövid idő alatt meg tudtuk tervezni a szükséges meghajtó programokat. Az egyetlen probléma a közvetlen memóriaelérés interfésszel volt a betölthető kernel modulban. Belekerült néhány hétbe, míg megismerkedtünk a virtuális és fizikai címek feltérképezésével. A fejlesztés C nyelven folyt, fejleszteni és tökéletesíteni is több nekifutásban volt lehetőségünk, mivel az indítást több alkalommal is elhalasztották.

A repülő szoftver RAM-ban futott. A betöltő eszköz egy EEPROM kártya volt. A boot process közben egy RAM diszk készül, a betöltő eszköz tartalma bemásolódik ide, majd a real-time operációs rendszer felépül a real-time applikációkból. Egy példa: az Obsztanovka analóg jel mintákat küld folyamatosan 100 kHz-ig. Egy pontos mintavételező frekvenciát karban kell tartani, mivel az adatvesztés nem engedhető meg. Ezt a követelményt csak egy kernel modulal valósíthatjuk meg, amelyik közvetlen memória-hozzáféréssel, valamint kétszeres átmeneti tárolási képességgel rendelkezik. A PC104-s kártya eredetileg nem rendelkezett ilyen lehetőséggel és máshol sem találtunk kézenfekvő kész megoldást. Így mi adtunk egy real-time kernelt a SUSE Linuxhoz, amint már említettük. Egy kollégánk beillesztette a meghajtó szoftvereket a módosított Linuxba. Ez a művelet végül több hónapot vett igénybe, de a befektetés úgy tűnik, megtérült.

A felhasználói taszkok ebben a sorrendben valósultak meg: kiszolgáló-kliens taszkok az Ethernet kommunikációhoz a TCP/IP felhasználásával, taszk-taszk kommunikáció a FIFO használatával és taszk-driver kommunikáció a real-time FIFO-k alkalmazásával. A modul és interfész tesztek azonnal megtörténhettek, amint elkészültünk a megfelelő programpárossal a kommunikációs taszk mind a küldő, mind a fogadó oldalán.

A teszt hardver és szoftver

A tervezést és tesztelést egy földi ellenőrző berendezéssel valósítottuk meg (Electrical Ground Support Equipment, EGSE), amely mind a BSTM, mind a DACU interfészeket tartalmazta. Ez a szerelést, egyesítést és a végső ellenőrzést is támogatta. Az Obsztanovka teljes ellenőrző átvizsgálása számos működési egységet igényelt, mint tápegységek, kommunikációs csatorna szimulátorok, fedélzeti Ethernet, egy amatőrrádió-csatorna, egy egybites adatgyűjtő rendszer és egy analóg megfigyelő rendszer.

Az EGSE rendszer szimulálta a kísérletek adatforgalmát és az ISS fedélzeti berendezése kapcsolódott a BSTM-hez és a DACU-hoz.

Két fő részből állt:

- egy felhasználói interfész (User Interface, UI) számítógépből,
- egy jelszint szimulátorból (Signal Level Simulator, SLS), egy embedded PC/104 számítógépből, amely az adatforgalmat állítja elő real-time.

Az EGSE készülékek a kereskedelemben kapható asztali baby majd barebone típusú számítógép házakban kerültek kialakításra számos speciális illesztést hozzáadva. Ilyenek a speciális hátlap kialakítása, a fedélzeti hordozható merevlemez mechanikus illesztése, a földi használatban nem szabványos, ám az ISS orosz szegmensén használt csatlakozók illesztése. Az Ethernet kapcsolatot tehát nem szabványos csatlakozókon kellett megvalósítani, amihez a megfelelő illesztést ki kellett alakítani és ennek megbízhatóságát hosszú távon tesztelni.

Egy kereskedelemben kapható felhasználói interfész komputert (UI) használtunk. Ez megjelenítette az ISS fedélzeti rendszeréhez küldött adatot, engedélyezte a tápegységek közti átkapcsolást, valamint parancsokat és paramétereket küldött a kísérletekhez, ezáltal felhasználói beavatkozást téve lehetővé. Az UI Windows-szerű ablakozós grafikus felület volt.

Az UI számítógép és SLS közötti kommunikációhoz Ethernetet alkalmaztunk, hogy a tesztelt rendszer távvezérlését lehetővé tegyük. Mindegyik interfész egy galvanikusan leválasztott SLS jelszint szimulátor dobozban lett elhelyezve, elkerülendő a földhurkok kialakulását. Az SLS RTLinuxot használt. A low-level-signal szimulátor doboz szintén eltávolítható hordozható merevlemezt tartalmazott, mint a BSTM esetén. Ez a telemetria adatok offline kiolvasását tette lehetővé, továbbá a mérésvezérlés továbbítását az ISS felé.

Az UI felhasználói interfész szoftvere biztosította a földi ellenőrző (EGSE) rendszernek, hogy végrehajtsa és analizálja a fedélzeti és tudományos adatokat egyrészt real-time, másrészt offline (kapcsolat nélküli) módban, a lementett adatokból visszaállítva. Az ISS-re leszállított hardver konfiguráció rendelkezett egy kisebb tárolókapacitással, amely feladata csak az átmeneti adatok fogadása volt. A teljes mért adat egy eltávolítható hordozható merevlemezre került. Az EGSE olvasta és elemezte ki a merevlemezeken tárolt adatokat.

A megfelelő SLS modulok tervezése párhuzamosan történt a repülő szoftver tervezésével, mivel szimulálnunk kellett egy külső interfészt. Az így létrehozott mindösszesen 28 modul körülbelül nyolcezer sorból állt elő.

Az UI egy végrehajtható program. A forrásprogramja 11 656 programsorból áll, hét fájlban, továbbá számos grafikus objektumból és szabványos LabWindows/CVI függvényekből. A teljes végrehajtható kód meghaladta a 10 Mbyte-ot.

Feljuttatás a Nemzetközi Űrállomásra

Egy Progressz teherűrhajó szállította az Obsztanovka berendezéseit az ISS-re 2013 februárjában. A 3. ábra az egyik berendezés felszerelését mutatja a Nemzetközi Űrállomás külső felszínére. A rendszer két évig folyamatosan működött, mígnem az egyik külső alkatrész váratlanul leállt egy nagy napkitöréssel egyidejűleg, és nagy valószínűséggel ez a napaktivitás okozta a meghibásodást. Más meghibásodás is történt, de a kozmonauták kiértékelés céljából visszaszállították a merevlemezt a tudományos adatokkal.



3. ábra

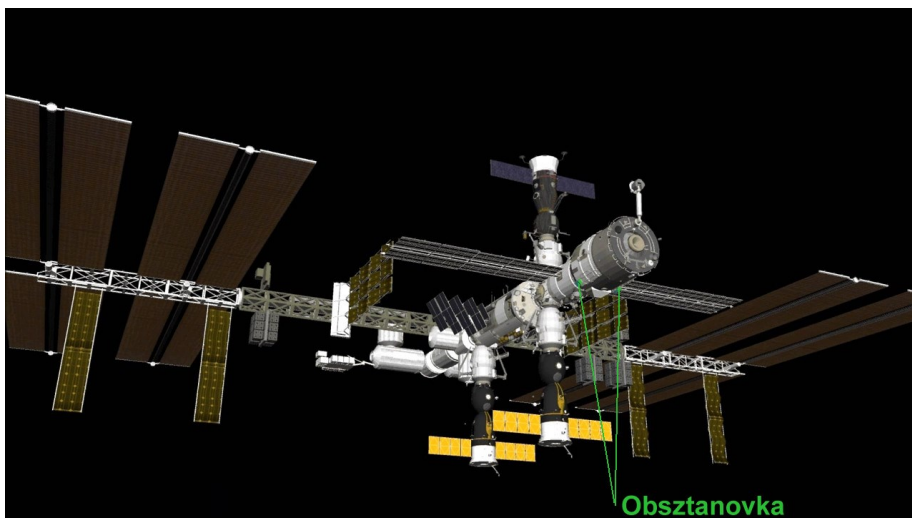
Meglepetésre az Obsztanovka felfedezte, hogy az elektromos hálózatok 50 vagy 60 Hz-es jele megjelenik a Föld körül keringve mért elektromos és mágneses jelekben. Továbbá az Obsztanovka Langmuir-kísérletének mérései alapján feszültség érzékelhető az ISS és annak plazmakörnyezete között 0 és 25 V közötti értékekben [2]. Ez az átlagosan észlelhető potenciálkülönbség élesen megváltozik napfogyatkozások és geomágneses viharok alkalmával. Valamint az Obsztanovka felfedezett egy ritka erős, gyorsan változó mágneses anomáliát a Föld néhány helyszíne felett, mely változás eredete egyelőre nem ismert. Végül az Obsztanovka megvizsgálta a felső atmoszférát a földi villámlások által kibocsátott szélessávú impulzusok révén. Ezeket az impulzusokat whistlereknek, azaz füttyöknek hívják, amelyek behatolnak az ionoszférába és a magnetoszférába, miáltal nagy távolságokba eljutnak a Föld körül.

Az Obsztanovka jövője

Az Obsztanovka kísérletben szerzett gyakorlatunkon alapulva tervezzük az Obsztanovka-2 (Trabant = kísérő vagy társ) kísérletet, amely eltérő felépítésű lesz, és a tervek szerint további szenzorokat tartalmaz. Az architektúra napelemet és speciális vezeték nélküli telemetria csatornát kap, mivel az egyik DACU-t és érzékelőt tartalmazó egység úgy kerül egy távolabbi helyre felszerelésre, hogy közöttük kábelezés nem lesz megvalósítható. Tehát vezeték nélküli kommunikáció és saját napelemes energiaellátás fogja biztosítani a kapcsolatot a távoli egységek között.

A Föld környezetismerete – ismeretterjesztés

Az Obsztanovka kísérlet mérései és eredményei kifejezetten alkalmasak az ismeretterjesztésre, a Föld különleges és érzékeny létének bemutatására. Mennyire hat a Földre a kozmikus környezete, a



4. ábra

Nap és annak hatásai, például a napszél és napkitörések? Több cikk jelent meg az Obsztanovkáról impakt faktoros és további tudományos folyóiratokban. Felkérést kaptunk több helyről ennek bemutatására, számos előadást tarthattunk például az MTA Sokszínű fizika programja keretében és az MTA Wigner Kutatóközpont látogatóinak.



youtu.be/gMy86_r61no

5. ábra

A Planetárium kiállítási vitrinjében megtalálható az installációnk, melyet interaktívan induló bemutatóval telepítettünk (4. ábra). Valamint QR kódos linkekkel láttuk el a tárlót, ezáltal okostelefonon, akár otthon is többször megnézhető videókat tettünk elérhetővé (5. ábra). A MANT Űrtan évkönyvében is lehetőséget kaptunk az Obsztanovka kísérlet és munkánk bemutatására, amit ezúton is köszönünk.

Irodalom:

- [1] Nagy J., Balajthy K., Szalai S., Sódor B., Horváth I., Lipusz Cs. (2016): Obsztanovka: Exploring Nearby Space, IEEE Software, 33, 101 (doi:10.1109/MS.2016.91)
- [2] Kirov B. et al. (2015): Langmuir Probe Measurements aboard the International Space Station. Proc. Solar and Solar-Terrestrial Physics Conference 2015, St. Petersburg, Russia, 5-9 October 2015