

# Fedélzeti adatgyűjtő rendszer fejlesztése az SSETI ESMO programjához

BÜKKFEJES ANDRÁS, CSURGAI-HORVÁTH LÁSZLÓ, KOVÁCS ZOLTÁN GYÖRGY,  
KÖKÉNYESI TAMÁS, MAROSY G. ELEMÉR, SZABÓ ISTVÁN, VANCSIK JÁNOS, VARGA LAJOS

BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék  
bukkfejes@gmail.com

**Kulcsszavak:** diákműhold, műhold fedélzeti számítógép, tartalékolts rendszer, fedélzeti kommunikáció és telemetria

Cikkünkben az ESMO (European Student Moon Orbiter) fedélzeti adatgyűjtő rendszerének fejlesztését mutatjuk be. Ez a műhold az ESA (European Space Agency) által támogatott fejlesztés keretein belül készül egyetemi hallgatók önálló munkájaként. Az OBDH (Onboard Data Handling Computer) tervezését a tanszékünk diákjaiból álló fejlesztői csoport végzi az űrkutató csoport támogatásával. Bemutatjuk a rendszer főbb elemeit, a fejlesztés fázisait, és a megoldandó részfeladatokat.

## 1. Bevezetés

Az ESMO (European Student Moon Orbiter) az Európai Űrügynökség (ESA) oktatási programjának harmadik diákműholdja. A küldetés célja a Hold felszínének nagy felbontású fényképezése, a gravitációs mező tulajdonságainak mérése, illetve biológiai kísérletek végrehajtása. Az ESMO program 2006 márciusában került jóváhagyásra, melynek célja egy alacsony pályás, Hold körül keringő űreszköz pályára állítása 2011-ben.

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszékének Űrkutató Csoportja is részt vesz az SSETI (Student Space Exploration and Technology Initiative) programban. Ennek a programnak a keretében egyetemi hallgatók és doktoranduszok terveznek és építenek műholdakat szoros együttműködésben az ESA oktatási osztályával. Az OBDH (On-board Data Handling Computer) a műhold kulcsfontosságú eleme, melynek feladata a műholdon belüli kommunikáció és adatkezelés biztosítása (a szonda részegységeinek vezérlése, parancsdekódolás, képmörítés stb.).

Ezen feladatok ellátása egy nagy megbízhatóságú rendszert igényel. A feladat megvalósítása igen szerteágazó ismereteket kíván a hallgatók részéről. Meg kell ismerkedniük a műhold rendszertechnikai felépítésével ahhoz, hogy a központi adatgyűjtő rendszer interfész felületei megfelelően legyenek kialakítva. Ismerniük kell a tartalékolts rendszer felépítésének lehetséges módzatait és technikai megoldásának problémakörét.

Az OBDH digitális áramköreit ASIC vagy FPGA áramkörökkel kell megvalósítani az ESA ajánlásai alapján. Ezért meg kell ismerkedniük az FPGA fejlesztés folyamatával is, a digitális áramkörök tervezésével, a HDL programozással és az FPGA áramköri szimulációjával. Az OBDH része különféle analóg jelek mérése is, ehhez szenzoregységeket is integrálni kell a rendszerbe. A fedélzeti adatgyűjtő feladata a telemetria adatok kezelése, összeállítása és továbbítása is. Nagyméretű (több GB) fedélzeti memória illesztése szükséges az átmeneti adattároláshoz. Cikkünkben a fenti OBDH adatgyűjtő rendszer leírását, rendszertervét és a megvalósítási fázisok egyes lépéseit szeretnénk ismertetni.

## 2. Diákok az űrkutatásban

Az ESA oktatási osztálya 2000-ben indította el az SSETI elnevezésű kezdeményezését azzal a céllal, hogy segítse az ESA tagállamok és az együttműködő országok diákjainak az űrkutatásba való bekapcsolódását úgy, hogy megbíz európai hallgatói csoportokat egy műhold, az ESEO (European Student Earth Orbiter) megvalósításával. Az eltelt évek tapasztalatai alapján újabb projektek indítása mellett döntöttek, melyek az 1. ábrán láthatóak.

Az első ilyen az Express, ami egy kisméretű műhold (picosat) volt azzal a feladattal, hogy a lehető leghamarabb pályára álljon és demonstrálja a megvalósíthatóságot. Fellövése 2005-ben sikeresen megtörtént. Ugyan-



1. ábra  
SSETI projektek

ebben az évben kezdődött el az eddigi legkomolyabb küldetés, az ESMO fejlesztésének előkészítése is.

Magyar csapatok először 2006-ban kapcsolódtak be a programba. A BME Űrkutató csoportja már több alkalommal együttműködött az ESA-val, a csoport készítette el például a Rosetta űrszonda energiaellátó rendszerét. Ezek miatt keresték meg az egyetemet az ESEO műhold energiaellátó-rendszerének tervezési és megvalósítási feladataival. Ezzel egy időben az ESEO műhold egyik kísérletét, az LMP (Langmuir Probe, plazmamérő egység) kifejlesztését is elkezdték az egyetem mérnök-fizikus és villamosmérnök hallgatói.

### 3. Küldetésünk

A rendszermérnöki feladatokat ellátó szervezet vezetését is hallgatókra bízta, nem csak az egyes űreszközök megvalósítását. Így minden SSETI projektnek legfontosabb célja az utánpótlás nevelés, minden, az űrkutatás legfőbb területeit érintő témakörben. Amikor a legelső projekt elindult, a legfőbb problémát az okozta, hogy a műhold nem rendelkezett konkrét tudományos céllal. Viszonylag sokáig lehetett pályázni különböző kísérletekkel, ezek a műhold tényleges célját meghatározó eszközök, amelyek nem közvetlenül az űreszköz működéséhez szükségesek, hanem tudományos célúak.

Jól példázta ezt, hogy egy magyar csapat még 2006-ban is tudott csatlakozni a 2000-ben indult programhoz egy tudományos kísérlettel. Ez azonban komoly tervezési problémákat eredményezett, mivel a kísérletek részletes specifikációi nélkül nem lehetett érdemben a műhold működtetéséhez feltétlenül szükséges alrendszerket (adatkezelés, energiaellátás, hőszabályozás) megalkotni. Mikor fény derült ezekre a hiányosságokra, a projekt vezetői úgy határoztak, hogy a meglévő, diákok által készített tervek alapján a lehető leghamarabb összeállítanak egy kisebb műholdat, az Expressst. Ezzel teljesült az elsőként megjelölt cél, felkerült egy diákműhold a világűrbe. Meg kell említeni, hogy az űrmissziót végül sikeresnek könyvelték el annak ellenére, hogy több probléma is volt a túl rövid határidők miatt. Ebből adódóan az űreszköz mindössze néhány órányi korlátozott működésre volt képes, azután elvesztették vele a kapcsolatot. Az ESMO projekt vezetése már igyekszik elkerülni ezeket a hibákat. A nemrég lezárt megvalósíthatósági tanulmányok végére pontosan definiálták, hogy milyen tudományos feladatokat kell elvégezni.

Alapvetően két elsődleges kísérlet kerül fel a szondára. Az egyik a NAC (Narrow Angle Camera), azaz keskenylátószögű kamera, melynek segítségével naponta öt 1024x1024-es felbontású, 1 megapixeles kép készül majd a Hold felszínéről. Maga az optika fix fókusztávolsággal rendelkezik. A megoldás legnagyobb előnye az egyszerűség mellett az, hogy jobb mélységélességű és torzításmentesebb képek elkészítését teszi lehetővé, mint egy konfigurálható lencserendszer. Ez azonban azal a hátránnyal jár, hogy legfeljebb néhány km-es pontossággal tartani kell a 100 km-es távolságot a Hold fel-

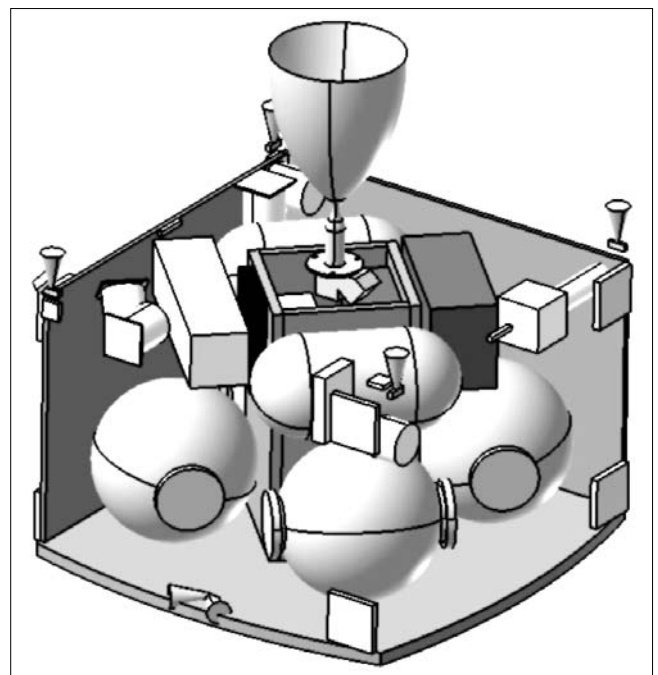
színe felett. Az OBDH feladata lesz a NAC által készített nyers képek tömörítése 1,25 Mbyte-ról ~125 kbyte-ra. A képeket a későbbiekben promóciós és oktatási célokra használnák fel.

A másik fő hasznos teher egy kanadai egyetemen már jórészt kifejlesztett kisebb szonda, a Lunette. Feladata a Hold gravitációs mezejének nagyfelbontású (<20 mGal) feltérképezése. Mikor Hold körüli pályára kerül az ESMO, útjára engedi a Lunette-t, majd radarral meghatározza a két eszköz egymáshoz viszonyított helyzetének a változását (radio range and range rate techniques). Az így nyert adatokból meghatározható a Hold gravitációs tere és ezekből következtethetünk az égitest geológiai felépítésére. Mivel ez a tér korántsem olyan homogén, mint a Földé, így a Lunette segítségével begyűjtött adatok egy esetleges későbbi küldetések során pontosabb kalkulációkat tesznek lehetővé a pálya meghatározásokra vonatkozóan.

Az előbb említett eszközökön kívül még két lehetséges kísérlet pályázik a fedélzetre. Meglepő, de az Apollo program óta nem jutott élő szervezet Hold körüli pályára. Egy BioLex nevű kísérlet vizsgálni kívánja a transzfer során fellépő mikrogravitációs környezet és sugárzás együttes hatását baktériumokra. Ezzel ellenőrizhetik azt az elméletet, amely szerint ilyen módon az élet magvai utazhatnak a világűrben (pánspermia elmélete). Maga a kísérlet felépítése igen egyszerű, egy kis víztartályt megvilágítanak, majd spektroszkópos vizsgálattal figyelik az edényben élő baktériumok fejlődését, vagy esetleges pusztulását.

További alapkutatási feladatot látna el a mikrohullámú radiométer (MWR). Ezzel 3- és 10 GHz-es frekvenciasávokon vizsgálnák a Holdról érkező sugárzást. Ezzel a közvetlenül a felszín hőmérsékleti képe rajzolható fel, ami egy esetleges későbbi Holdra szállás esetén értékes információkkal bírhat.

2. ábra Az ESMO szonda



Végezetül gazdasági szemmel vizsgálva az ESMO alacsony költségvetésű projektnek minősül, így is 5 millió euró nagyságrendű az a pénz, amit az ESA belefektet. Ennek a megtérülése közel sem olyan egyértelműen számolható, mint egy kereskedelmi hold esetén, mégis jól mutatja, mennyire fontos az Európai Űrügynökség számára az utánpótlás biztosítása

#### 4. A fedélzeti adatkezelés feladatai

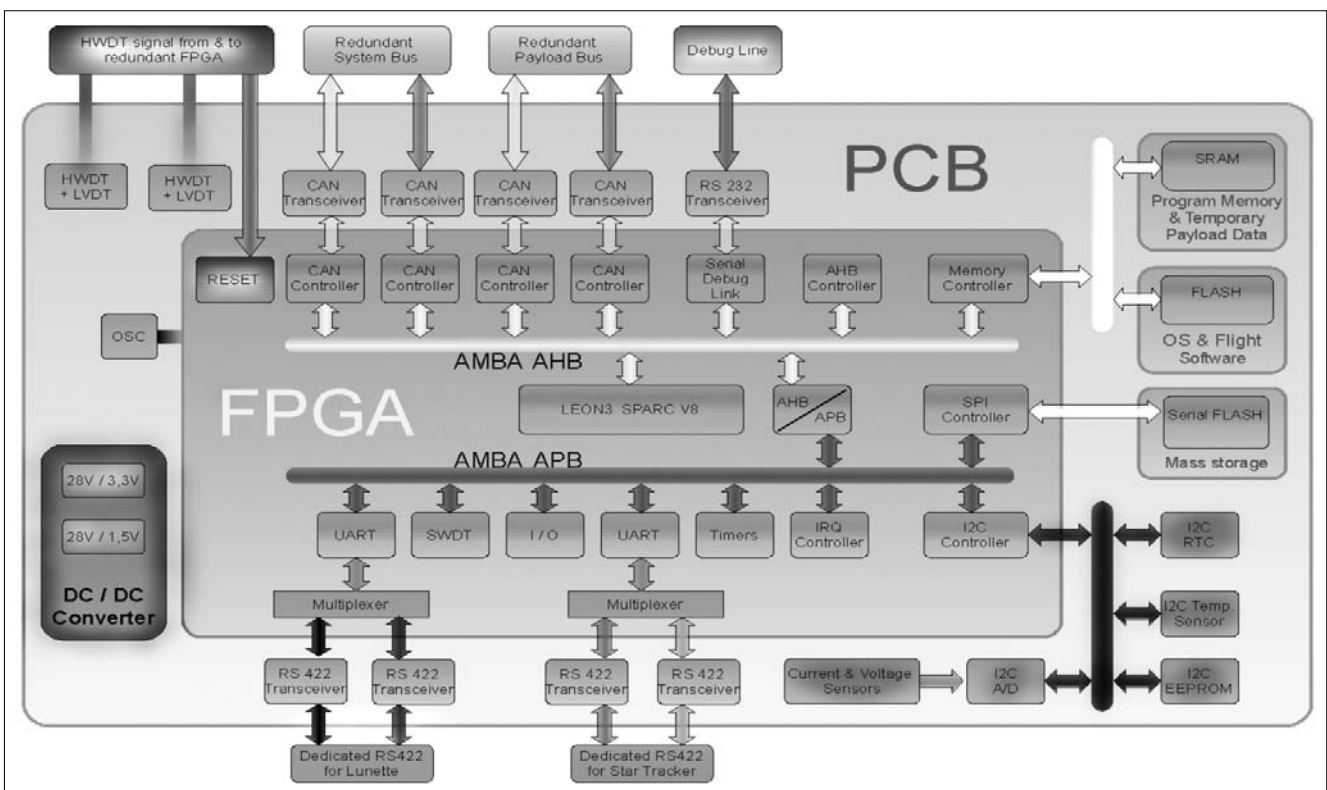
Az ESMO projektben a magyar diákok az OBDH egység megtervezését és megépítését vállalták, ezért néhány szót kell szólni a fedélzeti adatkezelő rendszerek általános felépítéséről és funkciójáról. A fedélzeti számítógép a műhold kulcsfontosságú eleme. Legfőbb feladata a fedélzeti kommunikáció irányítása, a Földre leküldendő adatok ideiglenes tárolása, feldolgozása és tömörítése. Természetesen képesnek kell lennie a Földről küldött és a űreszköz aleggységeitől (energiaellátó rendszer, különböző telemetriai szenzorok, navigációs rendszerek) származó parancsok, utasítások, jelzések feldolgozására, a többi aleggység megfelelő, ütemezett vezérlésére, a vészhelyzetek önálló megoldására. A jeleket analóg csatornákon, párhuzamos vagy soros vonalakon keresztül gyűjtheti be az OBDH. A bemeneti jelek között pontosan definiált prioritási sorrendnek kell lennie. A vett üzenetek feldolgozása során először meg kell győződni azok érvényességéről. Fontos a különböző hibaelőző- és javító kódolások például Hamming vagy CRC kód használata a digitális kommunikációs csatornákon.

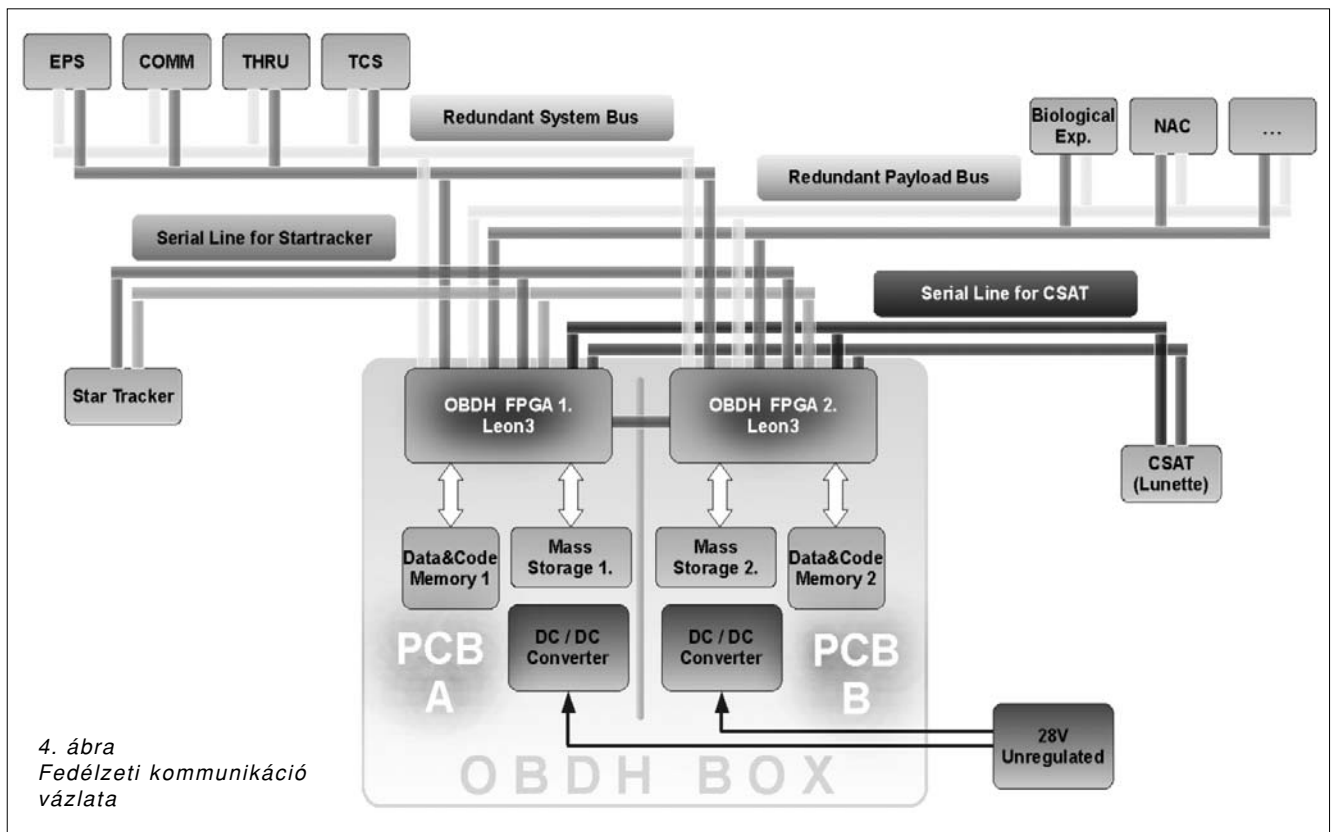
Minden sikeres vételt nyugtának kell követnie. Biztosítani kell az alrendszerek közti szinkronizációt is. A Földről a műhold egy külön kommunikációs egységen keresztül irányítható (COMM).

A rendszer architektúrája alapvetően kétféle lehet. A fedélzeti számítógép állhat a többi aleggységgel pont-pont kapcsolatban (SpaceWire, LVDS), így tulajdonképpen útválasztóként viselkedik, minden parancs és adat rajta megy keresztül. Ezzel szemben lehetnek a műhold aleggységei egy vagy több buszra (I2C, CAN stb.) felfűzve, így külön címezhetőek. A megoldás előnye a kevesebb vezeték mellett az, hogy a köztük folyó kommunikációhoz nem feltétlenül szükséges az OBDH közreműködése. Hátránya viszont, hogy egy vezeték hibája több egység kiesését okozza, ezért redundáns buszokat szoktak kialakítani.

Az adatkezelő rendszer négy fő komponense a CPU, a memóriák, a fedélzeti szoftver és a különböző telemetriai és biztonsági rendszerek. Alkalmazhatók általános célú, valamint beágyazott processzorok, de DSP-k és grafikus processzorok használata is elő szokott fordulni műholdas alkalmazásokban. Az általános célú processzorok hátránya nagy erőforrásigényük (fogyasztás, méret, külső memória), valamint, hogy kevés beépített perifériát tartalmaznak. A beágyazott processzorok ezzel szemben a fizikai valósággal történő kapcsolattartásra lettek tervezve, ennek megfelelően alacsonyabb az erőforrásigényük, több a perifériájuk, viszont kevésbé általánosak, számítási kapacitásuk kisebb. Alternatíva lehet az FPGA, ahol a processzormag és a szükséges perifériák egyedileg meghatározhatók. Az általunk preferált megvalósítás a 3. ábrán látható.

3. ábra A fedélzeti számítógép egyik moduljának blokkvázlata





4. ábra  
Fedélzeti kommunikáció  
vázlata

Általában az OBDH a processzoron kívül RAM-ot, ROM-ot, digitális I/O-vonalakat, kommunikációs interfészeket (soros, párhuzamos), valamint A/D és D/A konvertereket tartalmaz az analóg perifériák kezelésére. A nem felejtő ROM tárolja a minimális indító szoftvert. A mérete néhány száz kbyte-től Mbyte-os nagyságrendig terjedhet, típusa EEPROM vagy FLASH. Az adat- és kódmemória általában SRAM vagy DRAM. Az EEPROM-mal szemben ezek érzékenyebbek a sugárzásra, ezért valamilyen hibavédelmet kell beépíteni (ECC, EDAC). Mindezekon kívül a rendszerhez külső háttértár hozzáépítése is szükséges, amelynek a kapacitása nagyobb a RAM-énál és nem felejt, ha a tápellátás megszűnik, vagy ha a rendszert valami miatt újra kell indítani. Többféle megoldás is lehetséges, például az SD-kártya, melynek nagy kapacitása és néhány Mbit/s soros adatátviteli sebessége van. Lehet FLASH alapú, IDE/ATA interfészű tároló, merevlemez, SPI, I2C, esetleg CAN buszra csatlakoztatható FLASH, SRAM vagy DRAM modul is.

További fontos rendszerkomponensek a valós idejű óra és a független watchdog áramkör. Utóbbi feladata a processzor egy dedikált jelének figyelése, majd, ha az nem érkezik meg megadott időn belül, a rendszer újraindítása. Az egész műhold egyébként egy speciális parancsral (Firecode) újraindítható. A működéshez speciális anyagok és tervezés szükségesek, ugyanakkor minimalizálni kell a fogyasztást, tömeget és a költségeket.

Több tényező optimális egyensúlyát kell tehát megtalálni, úgy, hogy ez ne menjen a megbízhatóság rovására. Először meg kell határozni az OBDH által megvalósítandó funkciókat és azok bonyolultságát (műveletvégzési sebesség, csatornák száma, tárolandó adat mennyisége), majd a főbb követelményeket, mint például a fogyasztás, méret, tömeg, sugárzás, élettartam, megbízhatóság, kommunikációs és interfészbeli kötöttségek. Ezután becsülhető a szükséges rendszer bonyolultsága, kiválasztható a megfelelő processzor-típus majd pontosítható az egyes komponensek paraméterei. Végül elkészíthető a rendszerterv és a további dokumentációk. A fedélzeti számítógép gyakran az utoljára megtervezett alegysége a műholdnak. A fent említett alternatívák vizsgálatát követően a következő megoldásra jutottunk.

nyisége), majd a főbb követelményeket, mint például a fogyasztás, méret, tömeg, sugárzás, élettartam, megbízhatóság, kommunikációs és interfészbeli kötöttségek. Ezután becsülhető a szükséges rendszer bonyolultsága, kiválasztható a megfelelő processzor-típus majd pontosítható az egyes komponensek paraméterei. Végül elkészíthető a rendszerterv és a további dokumentációk. A fedélzeti számítógép gyakran az utoljára megtervezett alegysége a műholdnak. A fent említett alternatívák vizsgálatát követően a következő megoldásra jutottunk.

## 5. Rendszerterv

Az általunk javasolt fedélzeti kommunikáció megvalósításának bemutatása a 4. ábrán látható.

System-On-Chip rendszert terveztünk, így minimalizálva a diszkrét alkatrészek és a hibaforrások számát. A rendszer lelke egy kis fogyasztású, de nagy megbízhatóságú és kapacitású FPGA, ebbe implementáljuk többek között a Sparc V8 processzort, a memória vezérlőket és a periféria illesztőket. Az FPGA-n kívül a tápegység, a memóriák, a szenzorok és a szintillesztők lesznek csak diszkrét hardverelemként megvalósítva. Az FPGA működéséhez és felügyeletéhez szükséges még a Real Time Clock modul, Watchdog Timer és egy oszcillátor.

Az ESA követelményei alapján a rendszert egy pont meghibásodásának tolerálására kellett tervezni. Az ilyen szintű redundancia biztosításához két, teljesen megegyező, de független és egymással kommunikáló OBDH panel megvalósítása mellett döntöttünk. A két számítógép

gép hidegtartalékolt rendszert alkot, vagyis az egyik számítógép „alszik” és csak abban az esetben lép működésbe, ha a másikkal probléma van, illetve a biztonsági mentés idejére.

## 6. Jelenlegi állapot, és a jövőbeni terveink

A tervezési folyamat során nagy hangsúlyt kell fektetni a többi csapattal való együttműködésre. Ez az OBDH esetén különösen kritikus, hiszen a fedélzeti számítógép a műhold szinte minden alegységével kapcsolatban áll, megfelelő működése a küldetés sikerességének szempontjából elengedhetetlen. Minden egyes alegység készítőjével tisztázni kellett a kapcsolódási interfészt, a használni kívánt protokollt és az adatátvitel során igényelt minőségi jellemzőket, például: időegységenként elküldött adatmennyiség, burst vagy folyamatos átvitel, redundanciával kapcsolatos igények.

Sajnos gyakran előfordul az, hogy a specifikációk már az egyeztetések lezárása után módosításra kerülnek, ezzel esetenként sok fejlesztői óra megy veszendőbe. Jelenleg is zajlanak egyeztetések a többi csapattal online, fél évente 1-2 alkalommal pedig 1 hetes workshop keretein belül személyesen. A workshopok a hollandiai Noordwijkban, az ESA kutatási és technológiai központjában (ESTEC) kerülnek megrendezésre. A tervezés egyik legfontosabb alapköve a megfelelő minőségű dokumentálás.

Mint a hosszú távú projekteknél általában, ezzel az üresközzel kapcsolatos munkák is több fázisban zajlanak. Az első az „A-fázis”, ami egy megvalósíthatósági tanulmány. A csapat már elkészítette e fázist lezáró dokumentációt, a jelenlegi specifikációk és körülmények között a tervezési feladatokat erre a fázisra befejeztük. A dokumentációval kapcsolatban az ESA mérnökeinek visszajelzéseit megkaptuk, amik alapján leadtuk a végleges, az egész első fázist lezáró dokumentációkat.

Most kezdődött meg a „B1” fázis, melynek során konkretizálódnak az alegységek specifikációi, illetve az első prototípusok megépülnek. Az első deszkamodellt még az év első felében tervezzük megvalósítani. Azért van szükség legalább egy ilyen szintű hardver mielőbbi realizálására, hogy az OBDH hardverén futó fedélzeti adatgyűjtő szoftvert készítő, szintén BME-hallgatókból álló OBDH szoftver-csapat a lehető leghamarabb el tudja kezdeni az érdemi munkát.

## Köszönetnyilvánítás

Az OBDH csapat ezúton mond köszönetet a BME Űrkutató csoportjának, külön kiemelve dr. Szabó Józsefet, aki sok hasznos tanáccsal segítette a csoport munkáját, valamint a BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszékének, amely biztosítja a laborhozzáférést és segíti a pályázati tevékenységeket.

## A szerzőkről

**Bükkfejes András** harmadéves BSc villamosmérnök hallgató, csapatkoordinátor, szervezési kérdések mellett a tesztkörnyezet kialakításában vesz részt.

**Csurgai-Horváth László** a tanszék űrkutató csoportjának mérnöke, rendszeres konzultációival segíti a fejlesztői csoportot.

**Kovács Zoltán György** végzős villamosmérnök hallgató, ESMO OBDH rendszer-mérnök és a rendszerkonceptió megalkotásában vesz részt.

**Kökényesi Tamás** harmadéves BSc villamosmérnök hallgató, technológiai kérdésekkel (környezet, alkatrészválasztás, nyomtatott áramkör stb.) foglalkozik.

**Marosy Gábor Elemér** végzős villamosmérnök hallgató, az ESMO OBDH rendszertervének kialakításán dolgozik.

**Szabó István** végzős villamosmérnök hallgató, a technológiai kérdések vizsgálatával foglalkozik.

**Vancsik János** harmadéves BSc villamosmérnök hallgató, a kommunikációs protokollok kialakításán dolgozik.

**Varga Lajos** harmadéves BSc villamosmérnök hallgató, a tesztkörnyezet kialakításában vesz részt.

## Irodalom

Az SSETI hivatalos honlapja:  
<http://www.sseti.net/>