

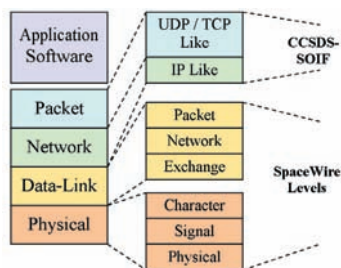
Űrszondák új fedélzeti adatátviteli szabványa

DR. SZALAI SÁNDOR, SULYAN JÁNOS, SZALAI LAJOS

A SpaceWire az Európai Űrügynökség (ESA) által kifejlesztet kommunikációs szabvány, amelyet űreszközök fedélzetén kívánnak használni. Pár éve még gyakran egyedül kommunikációt fejlesztettek az űrmissziókhoz, ami költségesebbé és nehezebben kezelhetővé tette a nagyméretű, általában különböző nemzetek által fejlesztett modulokból álló űrrendszereket. Ezért az ESA létrehozta az ECSS-E-50-12A szabványt, amely a korábbi lassú (1 Mibit/s), nagyobb fogyasztású, korlátozottabban használható (maximum 32 végpont) MIL-STD-1553-as szabványt hivatott felváltani. A SpaceWire-nek sokféle feladatnak kell megfelelnie. Egyre fontosabb szempont a nagy adatátviteli sebesség, és a kis energiafelhasználás, hiszen napjainkban egyre messzebb küldenek űrszondákat, melyek kamerái igen nagy adatmennyiséget produkálnak. Fontos a bővíthetőség, a megbízhatóság és a kompatibilitás. A SpaceWire kisméretű hardvert igényel, valamint egyszerű kábelezést, és könnyű szoftveres kezelést tesz lehetővé.

A SpaceWire tulajdonságai

A SpaceWire szabvány egy olyan hálózati interfészt definiál, mely az OSI-modell alsó két rétegét, a fizikai (physical layer) és az adatkapcsolati (data-link layer) réteget fed le (1. ábra).

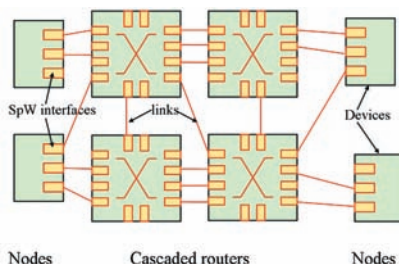


1. ábra. OSI-modell és a SpaceWire rétegek

A felsőbb rétegeken módosított UDP- és TCP-protokollok működhetnek IP-alapú hálózati rendszer felett. Ennek neve SpaceWire Networking Protocol, és egyelőre fejlesztés alatt áll, de mindez nem hátráltatja a szabvány alkalmazását, hiszen már több űrszonda is ezzel készült. Sikerét az is jelzi, hogy a NASA is használja egyes misszióiban. További lehetőségeket nyújt a TopNet (Technology for On-board Processing in a Network with Extended Throughput) rendszer, mely elképzelés szerint a SpaceWire hálózattal készülő eszközöket egy kapugépen keresztül közvetlenül el lehet érni az internettel, így a fejlesztést távolról is segíthetik, illetve így is lehet modulokat csatlakoztatni a szondához tesztelési célokkal.

Egy SpaceWire hálózat csatlóele-

mekből (link-ekből), végpontokból (node-okból) és útválasztókból (router-ekből) áll. Az egyes node-ok, pont-pont kapcsolatban állnak egymással. Kommunikációjuk kétirányú, full-duplex, 2 ... 200 Mibit/s adatátviteli sebességű linkeken történik, a hálózatot a routerek kapcsolómátrixként kötik össze (2. ábra).



2. ábra. A SpaceWire hálózat felépítése

Mint az 1. ábrán is látható, a SpaceWire további hat rétegre bontható. A fizikai szint (physical level) a kábeleket, csatlakozókat, a jelszint (signal level) a vezetékeken futó elektromos jeleket és ezeknek logikai megfelelőit, a karakter szint (character level) pedig a kommunikáció elemeit írja le. Az adatkapcsolati szint (exchange level) a link működését, a hálózati szint (network level) a hálózati topológiát, végül a csomag szint (packet level) az egyes csomagok struktúráját definiálja.

Physical Level

A jó zajvédetség miatt árnyékolta, sodort érpárokat használnak. Egy kábelben összesen 8 ér fut párosával sodorva, árnyékolva, majd ezt a négy érpárt újabb



Dr. Szalai Sándor a műszaki tudomány doktora. Rendszertervező és programfejlesztő a KFKI-ben.

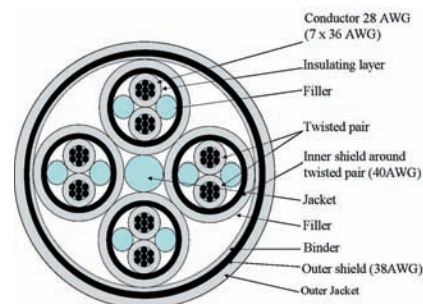


Sulyan János 1962-ben végzett a BME Híradástechnika szakán. A KFKI intézeteiben dolgozott nyugdíjazásáig, ezután az SGF Kft. számára fejleszt beágyazott rendszereket.



Szalai Lajos 2003-ban végzett a BME Villamosmérnöki karán Beágyazott rendszerek szakirányon. A KFKI Rézszecke és Magfizikai Kutató Intézetben mint tudományos segédmunkatárs dolgozik, emellett az SGF Kft. számára is fejleszt FPGA-áramköröket.

árnyékolás védi (3. ábra). Csatlakozóként 9 tűs mikro-miniatur D csatlakozót használnak, ami a PC-ken található sorosporti csatlakozó kisebb változata. A kábelek hossza 10 m lehet, ezen felül már nem biztosítható a maximális adatátviteli sebesség (a szabvány szerint 400 Mibit/s, de a gyakorlatban még csak ennek felét használják), de a sebesség csökkentésével akár 100 m-ig is növelhető. A kábel kívülről fehér és kb. 7 mm átmérőjű.

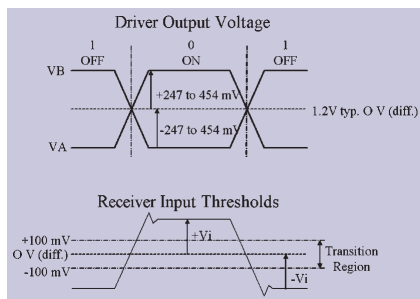


3. ábra. A SpaceWire kábel

Signal Level

A jó átvitel, és a kis EM-sugárzás érdekében a jelkódolást is megfelelően kellett kialakítani, ezért esett a választás az LVDS-re (Low Voltage Differential Signalling – kisfeszültségű differenciális jelkódolás). Az LVDS egy jelet két vezetékkel visz át, amelyek ellenében dolgoznak (4. ábra).

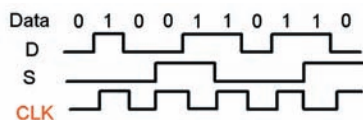
Jelenként 3,5 mA áramfelvétellel számolhatunk, azaz kábelenként 14 mA-t vesznek fel a meghajtó áramkörök, így



4. ábra. LVDS-jelszintek

kb. 50 mW-os teljesítményfelvétellel számolhatunk, ami jóval kedvezőbb a korábbi ECL és PECL meghajtó áramkörök 120 mW körüli fogyasztásánál.

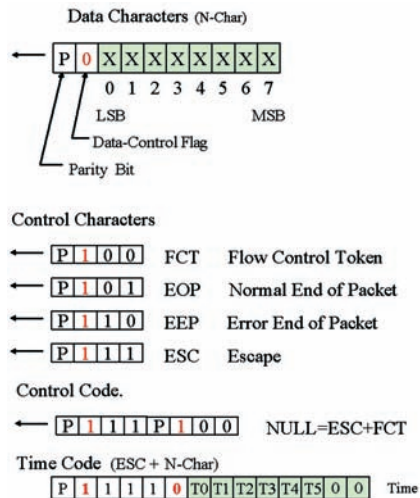
Az adatokat soros módon Data-Strobe (adatengedélyező) kódolással továbbítják. Ez a kódolás két jelvezetéken (data és strobe) történik úgy, hogy az adatvonalon az adat legalacsonyabb bitjével kezdve sorosan kiküldésre kerül, és a strobe-vonalon akkor változik a jel, ha az adatvonalon nem változott (5. ábra). Így egy egész bitidőnyi csúszás (skew) engedhető meg a két jel között szemben az órajeles megoldás fél bitidős skew-toleranciájával. A vételi órajelet a D és S jellekből XOR logikai művelet segítségével kaphatjuk. Ekkor az órajele lefutó és felfutó éle is egy-egy bejövő adatbitet jelent.



5. ábra. Data-strobe kódolás

Character Level

A SpaceWire kétféle karaktertípust definiál, az adat- és a kontrollkaraktereket. Az adatkarakterek 10, a kontrollkarakterek 4 bitesek, paritásbittel védettek. Az adatoknál mindig a legalacsonyabb bit kerül először kiküldésre. Összesen 4 kontrollkarakter létezik, ezek az adatfolyam irányítására valók. Szükséges még két kont-



6. ábra. SpaceWire karakterek

rollzó is, melyek az előbbi karakterekből épülnek fel. A Null-karakter a link fenntartásához kell, a Time-Code karakter pedig az óraszinkronizálásnál használható. A karakterek felépítése a 6. ábrán látható.

Érdekes a paritás generálása is, ugyanis a páratlan paritás nem az aktuális karakter bitjeit fedi, hanem az adatkarakter utolsó 8, vagy az előző kontrollkarakter utolsó 2 bitjét, valamint az aktuális karakter Data-control flagét. A Data-control flag, vagyis adatkontroll jele mutatja meg, hogy az aktuális karaktert adatként, vagy vezérlő jelként kell-e értelmezni.

Exchange Level

Ez a réteg építi fel és tartja fenn a kapcsolatot a két végpont között. Feladata a link inicializálása, az adatátvitel nyomon követése, a hibák felderítése és javítása.

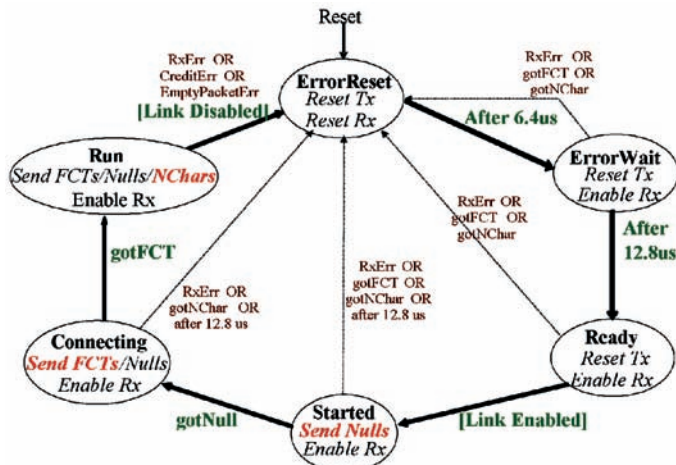
Az inicializálás során a végpontok nullkaraktereket küldenek, majd FCT-vel (flow control token – adatfolyam vezérlő jel) nyugtázzák, ha a másik végponttól nullkaraktert fogadtak. Az ekkor küldött FCT-k száma a vevőoldali puffer méretére utal, minden kiküldött FCT 8 byte pufferméretet jelent. A maximális méret 56 bájt, ami 7 FCT kiküldését jelenti. Később minden 8 fogadott adatkarakter után egy újabb FCT kerül kiküldésre, ha a vevő pufferében van 8 karakternyi szabad hely. Ezzel a Flow control-lal biztosítható, hogy a vevő mindig képes legyen az

szont már a felsőbb protokollok feladata. További hibajelenség a Disconnect error (kapcsolatbomlási hiba), mely akkor lép fel, ha a bemeneti vonalak (data és strobe) egyikén sincs változás 850 ns-ig. Ez határozza meg a legkisebb adatátviteli sebességet is. További hibák is felléphetnek, pl. egy csatlakozó rossz illeszkedése, ha csak az egyik vezeték hibás, akkor sem épülhet fel a kapcsolat, vagy ha ez menet közben következik be, paritáshiba keletkezik. Egyetlen eset lehetséges, amikor a strobe vonalszakadása nem okoz hibát, ha egy adatkarakter küldése közben történik. Ekkor a vevő folyamatos „AA” adatot vesz.

Létrejöhetnek még a protokollt érintő hibák is, ezek az Escape error, a Credit error és a Character sequence error. Az escape kontrollkarakter csak a null és a Time-code létrehozásához kell, ezért ha nem FCT vagy adatkarakter követi, hanem másik ESC, EOP vagy EEP akkor Escape error keletkezik. A Credit error az FCT-számláló túlcsoordulása esetén lép fel, a Character sequence error pedig az inicializálás során fogadott tiltott karakterek okozzák.

A link működését egy állapotgép vezérli, melynek egyszerűsített diagramja a 7. ábrán látható.

A link bekapcsolás vagy bármely hiba után ErrorReset állapotba kerül. Ezután az inicializálás során, ha a link engedélyezve van, és nem történik valamilyen hiba, eljut a Started állapotig, ahol elkezd



7. ábra. A SpaceWire interfész állapotdiagramja

adatokat fogadására, a végpontok ugyanis számolják a fogadott FCT-eket, és a küldött adatokat, így rögtön kiderül, ha a túlóldali vevő puffere megtelt.

Az adatátvitel során több hibajelenség is előfordulhat. Amennyiben az adat sérül pillanatnyi zaj, vagy a data vagy strobe-jelek váratlan elcsúszása (skew) túl nagy, paritáshiba léphet fel. Az egy bites paritás egy bitnyi hiba detektálására alkalmas, de ez elég is, mert az erősen védett linken igen valószínűtlen egy karakterben 2 bit-hiba előfordulása. Ennek felderítése vi-

nullkarakterek küldését. Ha a másik oldal is eljutott ebbe az állapotba és fogadjuk az onnan jövő null-t, akkor a Connecting fázis jön, mikor FCT-karakterek segítségével megállapodnak a végpontok a pufferméreteketben, és máris Run állapotba kerülnek, ami a kapcsolat további teljes időtartama alatt fennáll, vagy amíg valami hiba nem okozza a link lebomlását.

Bármely fellépő hiba a link lebomlásához, majd felépüléséhez vezet, ez a folyamat elvileg rejtett is maradhat a felsőbb rétegek előtt, feltéve, ha épp nem

történt adatátvitel, ezért az inicializálás során fellépő hibák nem is kerülnek jelentésre. Ha viszont a Run állapotban következik be egy hiba, akkor az épp küldés alatt álló packet (adatcsomag) hátralévő részét el kell dobni, küldését folytatni nem szabad. Amennyiben egy packet fogadása nem fejeződött be, EEP-jelöléssel ellátva kell jelenteni. Ez jelöli, hogy a packet sérült, hiányos. EEP-karaktert akkor kell küldeni a másik node-nak, ha a packet adását valami miatt (pl. felhasználói megszakítás) leállítjuk. EEP-karaktert fogadhatunk akkor is, ha a kapcsolat routeren keresztül jött létre, és a hiba a router és a távoli node között jött létre. Ekkor az EEP-karaktert a router küldi.

Packet Level

A packet egy olyan struktúra, amely címből, törzsből és packet vége jelből áll.

```
<address><cargo><EOP>
```

A packet a linken egy adatkarakterrel kezdődik, és EOP (end of packet – csomag vége) vagy EEP (error end of packet – hibás csomagvég) kontrollkarakterrel végződik. A cím több részből is állhat, ezek egymás után vannak felsorolva. Az utolsó címet a törzs első byte-ja követi. A packet törzsére nincs korlátozás, mérete tetszőleges lehet, a SpaceWire fölött futó protokoll határozza meg. A Packetet lezáró EOP vagy EEP utáni első adatkarakter már a következő packet elejét jelenti.

Network Level

A SpaceWire hálózat pont-pont jellegű, de az egyes node-ok nincsenek minden má-

sikkal összekötve, hanem kaszkád router-hálózaton keresztül kapcsolódnak. Az egyes node-ok rendszerint több SpaceWire interfésszel rendelkeznek, melyek egy vagy több routerhez csatlakoznak (2. ábra). A hálózat felépítésénél fontos szempont a megbízhatóság, ezért minél nagyobb redundanciát érdemes beleépíteni. A routerek közti többszörös kapcsolatot a hálózat áteresztőképességét is növeli.

Az egyes végpontok kétféle címmel érhetők el. A fizikai címzés (path addressing, hardware addressing) a hálózat tényleges felépítéséből adódik, ez a cím a routerek kimeneti portjának sorozatából áll. Logikai címzésnél (logic addressing) minden végpont egyedi azonosítót kap, ebben az esetben a cím csak ebből az azonosítóból áll, és a routerek egy táblázat szerint (routing table) választják ki portjaikat. Nagyobb hálózatok esetében, vagy ha a fizikai felépítés ismeretlen, a logikai címzés használata az előnyös. Ekkor használható a regional addressing (régioalapú címzés), mely voltaképp logikai címzés. Ebben az esetben a fizikai címzéshez hasonlóan a cím több részből áll, és az egyes alhálózatokat (régioakat) összekötő routerek kitörlik a cím elején az őket azonosító logikai címet. Így elvileg tetszőlegesen sok végpontot tartalmazó hálózat jöhet létre. Előfordulhat azonban, hogy az egyik router adott portját már egy másik link lefoglalta, ezen segíthet logikai címzés esetén a Group adaptive routing. Ekkor két router közt nem a routing table szerinti kapcsolat jön létre, hanem egy szabad portot választanak ki.

Meg kell említeni, hogy elvileg egy aktív link folyamatosan lefoglalja a részt ve-

vő node-okat, routereket. Ez viszont felesleges sávszélesség-csökkenést jelenthetne, hisz így a routerek közti kisebb számú csatlakozást helykitöltő nullkarakterek forgalmazásával terhelnék. A wormhole routing eljárás lehetővé teszi, hogy egy ilyen link csak akkor legyen foglalt, amikor a végpontok közt tényleges kommunikáció van, azaz épp egy packet küldése folyik. Az egyes node-ok elől ez el van rejtve, ha a vonal épp foglalt, akkor a router puffertét töltheti meg, majd szünetelteti az adást, míg FCT-t nem kap.

Összefoglalás

A SpaceWire hálózat előnyei más rendszerekkel szemben onnan fakadnak, hogy kifejezetten üreszközök fedélzeti kommunikációjához fejlesztették ki, az ottani igényeknek megfelelően. Redundanciájának köszönhetően akkor is teljes működést tud biztosítani, ha egyes eszközök meghibásodnak, kicsi a teljesítményfelvétele, sávszélessége széles határok közt akár menet közben is változtatható, kis válaszidőt és késleltetést ad, full-duplex működést biztosít, modulárisan bővíthető. Az adaptive és a wormhole routingnak köszönhetően jóval nagyobb lehet a teljes hálózat áteresztőképessége, mint egy ethernetes hálózaté. Hardverigénye kicsi, és egyszerű szoftverekkel lehet a meglévő protokollokhoz illeszteni. További nagy előnye, hogy kompatibilitás tette az eszközöket, így nem kell ugyanazokat a funkciókat ellátó modulokat minden üreszközhöz újra megtervezni, megépíteni, és ezzel jelentős költségcsökkenés érhető el.

Milyen széles az infosztráda?

Tavaly a 6. számunkban mutattuk be az internetes televíziózás alapjait. Az akkor kuriózumnak számító szolgáltatást ma már többen kínálják, sőt az adott technikai lehetőségek között manapság egyre inkább a tartalom-szolgáltatáson múlik egyik vagy másik szolgáltató sikere. Ez alkalomból ismét interjút készítettünk az egyik legnagyobb szélessávú IP-szolgáltatóval, a dinamikusan fejlődő TVnet-tel

Ma már közhelynek számít az, hogy „internet megváltoztatja életünket”. Kezdetben ezt nehéz volt elképzelni, amikor a kapcsolt vonali internetben számoltuk a perceket, és szívtuk a fogunkat a telefonköltség egekbe szökő mértéke miatt. Azután jött az ADSL meg a kábeltéves Chello (sőt egyes helyeken a fényvezető szál), és már-már elfelejtettük volna az internetezés időkorlátait, de nem egészen így történt. Hálózatainkon ugyan olcsó pénzért non-stop szaladgálhatnak a

bitek, de saját időnk jelent korlátot, hiszen mással is kell foglalkozni az életben. Manapság a pénzben kifejezhető internetezési korlátot a rádiós internet jelenti (mobil, WiMAX stb.), de csak idő kérdése, hogy ez is hasonló árkatóriába kerüljön, mint a vezeték.

Hol tart manapság a vezeték IP-hálózat? Ezt a kérdést a TVnet-nél jártunkkor vizsgáltuk, meghallgatva a kérdésben az ország egyik legjárta szakemberének, ifj. Lengyel Tibornak az Euroexpert Zrt.



1. ábra. ifj. Lengyel Tibor vezérigazgató

vezérigazgatójának véleményét. A cég-történetről a mellékletben olvashatnak. Köztudott, hogy a TVnet a meglévő te-