

MŰHOLDAS SZOLGÁLTATÁSOK

Nagy Lajos

a műszaki tudomány kandidátusa, PhD, egyetemi docens
BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék
nagy@mht.bme.hu

Farkasvölgyi Andrea

PhD-hallgató, BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék
farkasvolgyi@mht.bme.hu

Cikkünkben jellegzetes példákat mutatunk be a jelenleg működő műholdas szolgáltatások közül. Részletesen tárgyaljuk a kutató (távérzékelő és kutató műholdak), navigációs (NAVSTAR/NASA, Galileo/ESA, Glonassz/USSR) és hírközlő műholdas rendszereket (mobil- és VSAT rendszerek, DVB-S rendszerek).

1. Bevezetés

A műholdas szolgáltatások a földi rendszereket kiegészítő, gyakran helyettesítő szolgáltatások, mely rendszereknél az átjátszó pont szerepét mindig egy Föld körüli pályán keringő műhold tölti be. A műholdon keresztüli szolgáltatásokat három nagy csoportba soroljuk. (1) Kutató műholdrendszerek, e hálózatok magukban foglalják a LEO (Low Earth Orbit, pályamagasság 200–2000 km) és GEO (Geostationary Earth Orbit, pályamagasság 36 ezer km) pályás távérzékelő és kutató műholdakat. (2) Navigációs rendszerek, melyek közül a legismertebb az eredetileg katonai NAVSTAR rendszer, mely mára széles körben használt helymeghatározó rendszerré vált. (3) Hírközlés: talán a legismertebb mű-

holdas szolgáltatások a műsorszóró műholdak rendszere (BSS, például: EUTELSAT és ASTRA holdak), valamint a fix (EUTELSAT, INTELSAT, VSAT) és mobil (műholdas telefonszolgáltatások, például: IRIDIUM, INMARSAT-BGAN) távközlési műholdak és műholdrendszerek (Gödör, 2005).

2. Kutatás

Távérzékelő és kutató műholdak

Napjaink fontos és nagy hangsúlyt kapott kérdése a Föld mint élő bolygó állapotának megóvása, illetve a változások (pusztulás és pusztítás) mértékének nyomon követése (például az esőerdők irtása), valamint a környezet továbbromlásának megakadályozása. A másik hasonlóan fontos feladat a természeti katasztrófák jelzése, monitorozása. Ehhez nyújtanak felbecsülhetetlen segítséget a kutató, a megfigyelő és meteorológiai műholdak által szolgáltatott adatok.

Mind a változások nyomon követésének, mind az előrejelzési módszerek tökéletesítésének alapvető feltétele a Föld mint komplex rendszer működésének megismerése, a globális rendszer megfigyelése és tanulmányozása.

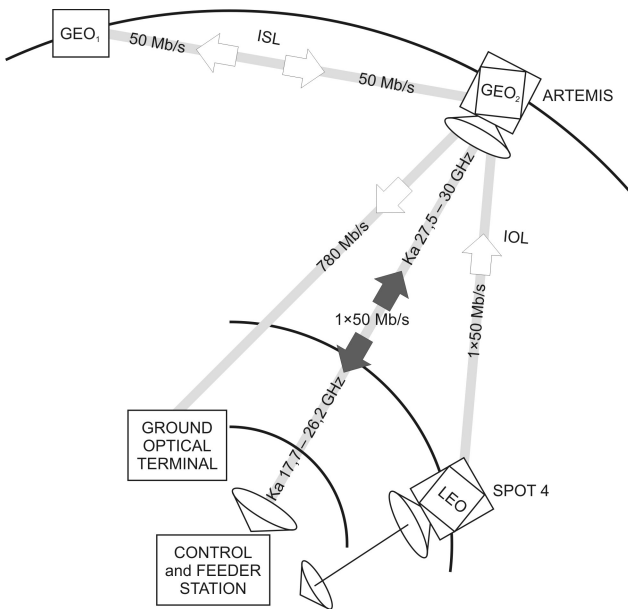
E célt szolgálják a Föld körül keringő, a Földet és környezetét megfigyelő kutató és megfigyelőholdak.

Óriási igény van a számos megfigyelőhold által szolgáltatott mérési adatok alapján hozott következtetésekre, előrejelzésekre. A mérési adatok alapján pontos képet kapunk a Föld felszínének (szárazföld, tenger, krioszféra), bioszféra, valamint a Földet körülvevő légkör (atmoszféra) pillanatnyi állapotáról, változásának tendenciájáról.

A mérési elvet tekintve passzív és aktív (lokációs elven alapuló) mérési és képalkotási módszereket alkalmaznak.

A megfigyelőholdak pályamagassága, kevés kivétellel, 700–1500 km (LEO) között fluktuál. A megfigyelőholdak napszinkron pályán keringenek (poláris, körpálya, inklináció $\sim 98^\circ$), ahol a napszinkron pálya hajlásszöge a Naphoz képest konstans. A holdak a

pálya alatt elforduló Föld relatív mozgása következtében folyamatosan pásztázzák a földfelszínt. A mérések 24 órásk, folytonos üzeműek, következésképpen folytonosan nagy mennyiségű adatinformáció lesugárzására van szükség. Problémát jelent, hogy az alacsony pályás holdakat egy preferált földi pontról csak ritkán és rövid ideig lehet láthatni, jellemzően naponta 10–16 alkalommal körülbelül 10–15 percig. A folytonos adatcsere külső „átjátszóállomás” beiktatásával valósítható meg. Ez az átjátszóállomás nem más, mint egy e célra kifejlesztett és pályára állított GEO pályás műhold, az ARTEMIS. Különlegessége, hogy három különböző frekvenciasávban képes kommunikálni: S-sáv (2 GHz), Ka-sáv (20/30 GHz) és optikai sávban (860 nm). Számos mérőműhold használja adatcsere alkalmazáival az IOL-t (Inter Orbital Link), ami a LEO és GEO pályákat köti össze. Az



1. ábra • IOL és ISL (Inter Satellite Link) alkalmazása mérő műholdak adatcsereje során

	ENVISAT	SPOT-4	CryoSat
Misszió időtartama	2002 / 8 év	1998 / 10 év	2005 / 3,5 év
Pályamagasság	800 km	820 km	717 km
Pálya inklinációja	98,55°	98,8°	92°
Keringési idő	100,6 perc	101,5 perc	97 perc
Ismétlődő ciklus ideje	35 nap	24 nap	30 nap
Kommunikációs csatorna	S / X / Ka	L / X sáv, 847 / 810 nm	S / X sáv
Misszió célja	Klíma, atmoszféra, meteorológia, vegetáció, óceán, hidro- lógia, jégsapka, mélyréteg- megfigyelés	Vegetáció, atmoszféra, klorofill koncentrációmérés	Sarkkör, jégsapka megfigyelés kutatás
Alkalmazott mérési módszerek	optika, SAR	optika	SAR, doppler, lézer

1. táblázat • Az ESA által üzemeltetett megfigyelőholdak jellemző adatai

adatok lejuttatása a földi vevőpontra két ugrással valósul meg. Első ütemben a mérőhold felsugározza az adatokat a GEO pályán keringő ARTEMIS holdra, a megfigyelőholdtól függően vagy RF, vagy optikai összeköttetésen. Második ütemben az ARTEMIS vissz sugározza az adatokat a földi vevőpontra. A rendszert az *1. ábra* szemlélteti. (ESA, 2006)

Az *1. táblázatban* a teljesség igénye nélkül, néhány ESA (European Space Agency) által épített, pályára állított és üzemeltetett megfigyelőhold jellemző adata található.

A meteorológiai megfigyelő műholdak nem kizárólag alacsony pályán keringenek. Számos időjárási műholdat telepítenek GEO pályára. Ilyen műholdcsalád a METEOSAT (EU, ESA), MTSAT (JPN), SICH (USSR, CIS), GOES (US). Jellemző adataik: pályamagasság ~36 000 km, inklináció ~ 0–4,5°, keringési idő ~24 h (honlap1), (honlap2).

3. Navigáció

Navigációs rendszerek

A legismertebb helymeghatározó rendszer, melyet a világ GPS (Global Position System) rendszerként azonosít, az Egyesült Államok védelmi minisztériuma által létesített NAVSTAR rendszer. A mai napig, bár mind orosz (GLONASSZ), mind európai (ESA, GALILEO) kísérletek vannak, az egyetlen teljes, az egész világon használható globális helyzetmeghatározó rendszer a NAVSTAR (Pap, 2003), (Ádám et al., 2004).

A helyzetmeghatározó rendszer is három szegmensből épül fel: űrszegmens, a földi állomások rendszere, földi vevőegységek.

Űrszegmens:

A NAVSTAR rendszer 24 műholdja (21 aktív, 3 tartalék) 20 200 km magasan (MEO, Medium Earth Orbit) hat pályán helyezkedik

el, melyek inklinációja 55° . A mérés alapját adó pontos időt a minden holdon üzemelő két nagystabilitású rubídium és szintén két cézium atom frekvencia etalon adja (pontoságuk $10^{-13} - 10^{-14}$).

Földi állomások rendszere:

A rendszer lelkét az öt vezérlő és követő állomás (Master Controll) adja. Mindegyikük az Egyenlítő mentén körben, egyenletesen helyezkedik el, kivétel nélkül katonai bázisok, melyek az Egyesült Államok tulajdonában vannak. E helyek adják a helymeghatározáshoz szükséges fix pontokat, feladatuk, hogy folytonosan ellátják a holdakat számolt és becstült pálya- és pozícióadatokkal, hibakorrekciós adatokkal, valamint folytonosan szinkronizálják a holdak órát. A műholdak ezen adatokat folyamatosan lesugározzák a vevőegységeknek.

Helymeghatározás:

Ha három referenciaponttól (például három műhold) ismerjük a vevő távolságát, akkor számítható a vevő pontos helye. A távolságmérés rendszerben alkalmazott módja a jelterjedési idő mérése. A műhold mint referenciapontból kisugárzott jelnek a vételi pontban számítható a futási ideje, és a megfelelően pontosan meghatározott jelterjedési sebességgel számítható a két pont távolsága.

A vevőegységeknek egyszerre legalább négy holdat kell látniuk. Ebből a legerősebb három hold jelét felhasználva határozzák meg az egység helyzetét. A mérés elve, hogy a korrekciós adatok alapján, rendre megállapítja az egység távolságát a három holdtól. A három pszeudótávolság három gömböt jelöl ki, e gömbök középpontjában a három műhold van, a gömbök (alsó) metszéspontjában pedig a vevőegység. A mérés eredménye egy igen nehezen értelmezhető adat, mely egy földközéppontú koordinátarendszerben

adódó x,y,z vektor. Ezt számítja át a vevőegység hosszúsági, szélességi és magassági koordinátáakra.

Alkalmazások:

- Helymeghatározás (polgári, katonai, repülés, hajózás)
- Térképészet, geodéták
- Térinformatika (lokális utcahálózat, utcafront alatti vezetékhálózat)
- Földkéreg mozgásának vizsgálata (fix pontokhoz képest)
- Mezőgazdasági alkalmazások
- Pontosidő-szolgáltatás (például: tévétársaságok)
- Nagy pontosságú frekvenciaetalon

4. *Hírközlés*

4.1. *Mobilszolgáltatások*

(MSS – Mobile Satellite System)

A műholdas szolgáltatások második nagy szelete a mobiladat- és mobiltelefon-szolgáltatás. A gyakorlatilag az egész Földet lefedő GSM szolgáltatások korában reális kérdésként merül fel a műholdon keresztül szolgáltatott telefon vagy akár internet szükségessége. Ám a mind szélesebb szolgáltatásokat nyújtó, egyre terjeszkedő rendszerek rácafolnak a várakozásokra. Az MSS rendszer előnye, hogy a rendszert igénybe véve a világon bárhol kezdeményezhetünk telefonbeszélgetést és fogadhatunk hívást (háborús vagy természeti katasztrófával sújtott övezetben a földfelszíni rádiós és vezetékes hírközlés összeomlása esetén is) (Pap, 2003; honlap3; honlap 4).

Alapvetően kétféle műholdas telefonszolgáltatást különböztetünk meg.

(1) Az alacsony pályás vagy *LEO* szolgáltatók közé tartoznak az *IRIDIUM* és *GLOBALSTAR* rendszerek. Általános jellemzőjük, hogy a bázisállomások szerepét betöltő

műholdak LEO (700–1500 km) pályán keringenek. LEO pályán kb. 40–80 közötti holdszám biztosítja a teljes lefedettséget. A földfelszín teljes lefedését biztosító holdszám csökken, ha a rendszert magasabb pályán üzemeltetik. Mindkét rendszer keskenysávú adatátvitelre alkalmas (tipikusan adat és hang), nem lehetséges az igény szerinti sávszélesség biztosítása (tipikusan 200 kHz-es csatornák állnak rendelkezésre, melyek nem egyesíthetőek).

(2) A GEO pályás átjátszókkal rendelkező műholdas telefonszolgáltatók (INMARSAT, THURAYA) már szélesebb körű szolgáltatást nyújtanak. Az általános telefon és adatátvitel mellett, nagy sávszélességű internet-, illetve Data Streaming szolgáltatás is igénybe vehető, az új szolgáltatást nyújtó rendszer neve BGAN (Broadband Global Area Network).

Természetesen a LEO és a GEO holdakkal megvalósított rendszereknek is vannak előnyei és hátrányai.

Tekintsük először az alacsonypályás (LEO) rendszereket. Lényeges pozitívum, hogy bár a csatorna tartalmaz minimum egy műholdas összeköttetést, valamint tartalmazhat néhány ISL-et, mégsem nő meg zavaró mértékben a jel késleltetése. Műholdas összeköttetés miatt a késleltetés növekedés maximum ~ 6 –10 ms. A GLOBALSTAR és az IRIDIUM rendszer közötti különbség abban áll, hogy a GLOBALSTAR mindig szigorúan egyetlen műholdas összeköttetést épít be a csatornába, így a holdhoz legközelebbi földi vevőpontra sugározza a vett jelet, utána a földi (terrestrial) hálózaton jut el a jel a hívott félhez. Az IRIDIUM rendszer mindig a hívott félhez legközelebbi bázisra sugározza a jelet, odáig pedig az IRIDIUM holdak közötti ISL-eket használja, ez csökkenti a jelkésleltetést (ennek feltétele a fedélzeti jelfeldolgo-

zás). Hátrányuk, hogy gondoskodni kell a folytonos holdváltásról úgy, hogy közben az adatvesztés minimális legyen. A szolgáltató szempontjából megnézve a rendszert, 40–80 hold LEO pályára állítása hatalmas kockázattal jár, és hosszú időt vesz igénybe (egy fellövés maximum négy hold vihető fel).

Hasonló szempontok alapján a GEO pályás átjátszót alkalmazó rendszerek esetén a felszín maximális lefedéséhez elegendő három, egymással 120°-os szöget bezáró műhold. Természetesen a holdak pályára állítása drágább, hiszen ötvenszer távolabb vannak. A rendszer kiküszöbölhetetlen hátránya, hogy a sarkok (az északi szélességi körtől északra, valamint déli szélességi körtől délre) egyáltalán nem látszanak. Előnye, hogy nem kell kezelni a holdváltást, és igény szerinti sávszélesség biztosítható. A GEO holdon keresztül felépített telefonvonalnál már zavaró lehet a műholdas összeköttetés miatt beépülő plusz < 250 ms késleltetés. Mindkét GEO rendszer jellemzője, hogy amint a telefon bármilyen GSM rendszerrel fel tudja venni a kapcsolatot, attól kezdve azon kommunikál, és nem használja a műholdas összeköttetést. A 2. táblázat a négy mobilrendszer jellemző tulajdonságait foglalja össze.

4.2. VSAT (Very Small Aperture Terminal) rendszerek (FSS – Fix Satellite Service)

Az első kereskedelmi, globális műholdas telefon- és videojel-átvitelt 1964-ben az INTELSAT rendszer valósította meg. A rendszer az átvitt információt típusától és a forgalomtól függően a különböző típusú földi állomások rendszerével oldotta meg, mely igen széles választékot jelentett a hírközlés piacán (IBS – International Business Systems). Ezt a típusú összeköttetést VSAT rendszernek nevezik, mely az EUTELSAT és INTELSAT holda-

	IRIDIUM	GLOBALSTAR	INMARSAT/ BGAN	THURAYA/ BGAN
Pálya	LEO	LEO	GEO	GEO
Pályamagasság/ inklináció	780 km 86,4°	1412 km 52°	~36 000 km 2,75°	~36 000 km 3,1°
Műholdak száma	66 hold / 6 pálya	48 hold / 8 pálya	4 hold	2 hold
Alkalmazott nyalábtípus	Spot nyaláb (48/hold)	Global nyaláb	Global / Spot nyaláb (200/hold)	Spot nyaláb (300/hold)
Alkalmazott frekvenciasávok	L, Ka	L, Ku	L, Ku	L, Ku
Szolgáltatások	hang (2,4 kbps), adat / ISP (2,4 kbps)	hang (9,6 kbps), adat (9,6 kbps)	hang/VoIP (4 kbps), ISDN (64kbps), IP (492 kbps)	hang (9,6 kbps), adat (9,6 kbps), fax (9,6 kbps), IP (144 kbps),

2. táblázat • Mobiltelefon-szolgáltatást nyújtó műholdrendszerek jellemző adatai

kat használja. Ma már talán furcsán hangzik a név, miszerint nagyon kis földi antennájú terminál, ám az akkor használt hatalmas méretű földi terminálokhoz képest óriási fejlődés volt az akár 1,2–1,8 m átmérőjű paraboloïd reflektorok alkalmazása. Az elmúlt negyedszázad alatt a rendszer íves pályát futott be, ám még ma is igen kedvelt kommunikációs rendszer. Két különböző felhasználási területen népszerű: egyrészt nagyvállalatok alkalmazzák a belső kommunikáció lebonyolítására; másrészt ritkán lakott területeken ilyen lakossági rendszerekkel helyettesítik a kábeltelevé-, rádió-, telefon- és internet-hálózatot (főleg az USA-ban).

Minden VSAT hálózat jellemzője, hogy zárt rendszert alkot, ami nagy kommunikációs adatbiztonságot tesz lehetővé (nagyvállalatok esetén ez elengedhetetlen).

A rendszer felépítése:

Minden VSAT rendszer két alapvető egységből áll: egyrészt a mindig GEO műholdon

lévő átjátszó(k)ból, másrészt a földi egységekből (VSAT terminálok, HUB), melyek függetlenül a felhasználástól mindig professzionális kivitelűek.

Ha a rendszer csak a műholdat és a VSAT terminálokat tartalmazza, *hálóstruktúráról* beszélünk. Akkor alkalmazzák, ha kisszámú terminál kommunikál egymással, ugyanis nagy a sávszélességigénye. Ennek oka, hogy rendszerfigyelő és vezérlőegység (HUB) hiánya miatt az ütközések elkerülése végett minden felhasználó között előre definiált frekvenciájú összeköttetésnek kell rendelkezésre állnia (hat terminál esetén ez 30 deklarált csatorna). Előnye, hogy nincs szükség a HUB üzemeltetésére; másrészt bármely felhasználó bármikor tud bármelyik másik terminállal kommunikálni (nincs sorban állás).

Csillagtopológia esetén az alterminálok száma nagyon nagy. A rendszer lelke egy nagykapacitású központi vezérlőegység, a HUB. Alapvető funkciója a teljes rendszer

felügyelete: az adatforgalom irányítása és figyelése; frekvencia és időrések kiosztása; hálózat- és rendszerállapot figyelése; VSAT terminálok, hálózati interfészek és műholdcsatornák törlése vagy hozzáadása; hálózatrészek tiltása vagy engedélyezése. Minden adat áthalad a HUB-on, ennek következtében az adó és a vevő között mindig két műholdas összeköttetés van. (Maral, 1995)

4.3. DVB-S szolgáltatások

(BSS – Broadcast Satellite Service)

A VSAT rendszerekhez nagyon hasonlóak, de legtöbb esetben csak egyirányú kommunikációt tesznek lehetővé a különböző DVB-S (Digital Video Broadcast via Satellite) rendszerek. Ezek talán a legismertebb, nem telepítési engedélyhez kötött műholdas szolgáltatások. A szolgáltatás alapját a GEO műholdról lesugárzott és szabadon vehető *broadcast* adások adják. A vett jel kiindulópontja egy nagyteljesítményű, földi feladó állomás (HUB), ahová a különböző tévé- és rádiócsatornák érkeznek. A csatornákat modulálják, erősítik, multiplexálják és keverik, majd a nagyfrekvenciás jelet felsugározzák a műholdra. Manapság a műholdról vehető adások legnagyobb része digitális, ám még néhány évig biztosan foghatunk analóg tévé- és rádiócsatornákat is. A digitalizálás és a hatékony jeltömörítés hatására (MPEG2) egy tévécsatorna sáv szélességigénye a hatoda az azonos minőségű analóg adásénak. Ennek eredményeként egy transzponderen (például: $B_{RF}=36$ MHz) átvihető legalább hat tévé- és négy-öt rádiócsatorna.

A számos DVB-S szolgáltatás közül csupán kettőt említünk.

Egyre népszerűbbek a néhány éve indult HDTV (High Definition TV) szolgáltatások. A kifejezetten nagyfelbontású házimozsi-rendszerek képernyői számára sugárzott adások általános jellemzője az egyetlen 36 MHz-es

transzpondert teljesen kitöltő digitális jel egyetlen magas minőségű csatornát foglal magában.

Talán említést érdemel még a nem professzionális GEO műholdon keresztül sugárzott „2-way Internet” szolgáltatás. A szolgáltatás előnye, hogy az eddigi műholdas internet szolgáltatásokkal ellentétben nem igényel földi visszirányt, mivel az internetkommunikációhoz elengedhetetlen visszirányú csatorna szintén műholdon keresztül valósul meg, de a vételi Ku sávól elválasztva Ka (uplink 26/30 GHz, downlink 18/19 GHz) sávon (Gödör, 2005; EBU-Tech 3312, 2006; Dennis, 2001).

A műholdas hírközlés és műsorszórás területén tanszékünkön (Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék) számos kutatási téma folyik. Megemlítjük, hogy tanszékünk, dr. Frigyes István egyetemi tanár vezetésével, magyar részről tagja a SatNex (Satellite Communications Network of Excellence) hálózatnak. A tanszéki kutatómunkák a digitális műholdas kommunikáció témaköréhez kapcsolódnak. Ezenfelül dr. Nagy Lajos egyetemi docens vezetésével kutatások folynak *satellite-to-indoor* rádiócsatorna-szimuláció témakörben (honlapj), (Farkas – Nagy, 2000).

Köszönetünket fejezzük ki dr. Gödör Évának, a Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék adjunktusának, a dolgozat megírásához nyújtott segítségével és szakmai támogatásáért.

Jelen anyag elkészítését a Mobil Innovációs Központ (MIK) támogatta.

Kulcsszavak: *ENVISAT, SPOT-4, CryoSat, IOL, ISL, NAVSTAR, GALILEO, IRIDIUM, GLOBALSTAR, INMARSAT/BGAN, Thurnaya, DVB-S/HD, 2-way INTERNET, SatNex*

IRODALOM

- Almár Iván – Both E. – Horváth A. – Szabó Á. (1996): *Űrtan. SH Atlasz*. Springer Hungarica, Budapest
- Ádám József – Bányai L. – Borza T. (2004): *Műholdas helymeghatározás*. Műegyetem, Budapest
- Dennis, Roddy (2001): *Satellite Communications*. Third Edition. MacGraw Hill
- EBU-Tech 3312 (2006): *Digital Terrestrial HDTV Broadcasting in Europe*. Genua, February 2006
- ESA (2006): *The Changing Earth*. ESA SP-1304, July 2006
- Farkas Lóránt – Nagy Lajos (2000): *Satellite-to-Indoor Radio Wave Propagation Channel Simulation. First Results - The Polarization Characteristics of the Indoor Wave Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2000*. PIMRC 2000. The 11th IEEE International Symposium on Volume 2, 18-21 Sept. 2000. Page(s): 923–927.
- Gödör Éva (2005): *Jegyzetek a „Műholdas és Mobil Távközlés” tárgyhoz*. Szélessávú Hírközlés Tanszék, Bp. honlap1 http://directory.eoportal.org/pres_ARTEMISAdvancedRelayandTechnologyMissionSatellite.html
- honlap2 http://directory.eoportal.org/pres_SPOT4.html
- honlap3 <http://www.globalstarusa.com/en/>
- honlap4 <http://broadband.inmarsat.com/>
- honlap5 <http://www.satnexus.org>
- Maral, Gérard (1995): *VSAT Networks*. John Wiley & Sons, 4–80.
- Pap László (2003): *A technika új csodája: a globális helymeghatározás*. Mindentudás Egyeteme

