

Makkay Imre<sup>1</sup> – Papp Tímea<sup>2</sup>

## ROBOTREPÜLŐGÉPEK KOMMUNIKÁCIÓS RENDSZEREI<sup>3</sup>

A „Repülésbiztonság növelése - madárriasztás robotrepülőgépekkel” kutatási programban jelentős számú autonóm robotrepülőgép működik. A földi irányítás a légi járművekkel folyamatos kapcsolatot tart fenn a repülések során. A repülésirányítás és a hasznos terhek adatainak áramlását - tartalék csatornákat is magába foglaló - rádiókapcsolattal kell biztosítani. A kommunikációs rendszer fő és redundáns elemeinek körültekintő megtervezése és megvalósítása a robotrepülőgépek alkalmazhatóságának az egyik legfontosabb feltétele. Az írásműben kommunikációs elveket és eszközöket áttekintve, az adott feladathoz illeszkedő többszörös átfedésű rendszert ismertetjük.

### ROBOT AIRCRAFT COMMUNICATION SYSTEM

The „Increase Aviation Safety - Bird Scaring Robot Aircraft” research program is planned a significant number of autonomous robotic aircraft operation. The ground control of the aircraft maintains continuous contact during the flight. The flight control and data flow payloads – including a spare channel – the air must be provided. The main communication system with redundant components and careful design and implementation of the applicability of robotic aircraft is one of the most important conditions. The article reviewed the plant communication principles and tools, matched to the project plan described in multiple systems overlap.

## BEVEZETÉS

A robotrepülés a katonai hadviselésnek, háborúknak, világháborúknak és a technika fejlődésének köszönheti kialakulását. Szükség volt egy olyan eszközre, amely úgy jut el az ellenség mélységébe, hogy közben megkíméli a saját élő erőt. Ahogy elkezdődtek a fejlesztések, rájöttek, hogy mennyire sokoldalú ez a találmány és nem csak a hadviselés terén alkalmazhatók. Erről tanúskodik sok hasznos civil kezdeményezés – amiben élen járnak a modellezők is. Ők építették az első madár kinézetű repülő modelleket és felfedezték, hogy az igazi madarak is respektálják a megjelenésüket – különösen a ragadozót utánozókat.

A madárriasztásra használt robotrepülőgépek a reptereken és azok környezetében segítik a biztonságosabb fel- és leszállást. A feladat végrehajtásához elengedhetetlen, hogy folyamatosan irányítani tudjuk a feladat végrehajtására kiküldött „robot-sast”. A kapcsolat rövid idejű megszakadása elegendő ahhoz, hogy repülőnk elveszítse stabilitását és lezuhanjon, összetörik. Egy ilyen esemény megzavarhatja a repülőforgalmat, csúszásokat, késéseket, akár balesetet is okozhat a repülőtéren – pontosan azt, amit el szeretnénk kerülni.

A cikkben az adatátviteli rendszer biztonságát növelő eljárásokat és technikai megoldásokat mutatjuk be – kapcsolódva a tanszéki UAV laboratóriumban végzett kísérletekkel az Új Széchenyi terv TÁMOP programjában „A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának légiközlekedés-biztonsági aspektusai” téma kidolgozásához.

<sup>1</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, makkay.imre@uni-nke.hu

<sup>2</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, oh.papptimi@gmail.com

<sup>3</sup> Lektorálta: Palik Mátyás, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu

## KOMMUNIKÁCIÓS RENDSZEREK, ADATTOVÁBBÍTÓ BERENDEZÉSEK

A legtöbb robotrepülőgépnél az adatok továbbítására az ultrarövid hullámsávot használják, itt is elsősorban az UHF<sup>4</sup> tartományt, de alkalmazzák a VHF<sup>5</sup>, a Ku-, az X- és a C sávú<sup>6</sup> tartományokat is.[1] Ezek a frekvenciák biztosítják a zavarmentes, kis teljesítménnyel nagy távolságra történő adattovábbítást. A mikrohullámú tartományt korábban nem alkalmazták, de az elmúlt években a robbanásszerű fejlődésnek köszönhetően megjelentek a mikrohullámú sávban működő berendezések. A mikrohullámok hátránya, hogy az egyenes irányú terjedést az akadályok lehetetlenné teszik, így a földi irányító állomásokat lehetőleg magaslatra kell telepíteni, vagy átjátszóállomásokat kell elhelyezni. Ez a megoldás található meg például a RANGER-nél [2] és a PIONEER-nél is. [3][4]



1. kép A PIONEER robotrepülőgép földi irányító állomása<sup>7</sup>

A kommunikációs rendszer megtervezésekor a döntő lépés kiválasztani a megfelelő antennát (hatótávolság alapján) és berendezést, úgy hogy a robotrepülőgép képes legyen az adott feladat végrehajtására. A megbízhatóságot a hibákra és a kiváltó okokra való odafigyelés biztosítja. Mindemellett az anyagi korlátokat is szem előtt kell tartani.

A megbízhatóság növelését több szempontból meg lehet közelíteni. A legelterjedtebb módszer a csatornák megkettőzése – az elektromágneses kompatibilitás megőrzése mellett.

<sup>4</sup> UHF - Ultra High Frequency, a rádióhullámok 300 MHz-től 3 GHz-ig terjedő része

<sup>5</sup> VHF - Very High Frequency, a rádióhullámok 30 MHz-től 300 MHz-ig terjedő része

<sup>6</sup> C-sáv: 4-8 GHz, X-sáv: 8-12 GHz, Ku-sáv: 12-18 GHz mikrohullámú tartományban

<sup>7</sup> <http://www.hmth.hu/htfuz/htfuz1.pdf>

A berendezések elhelyezkedése alapján a következő típusú kommunikációs rendszereket különböztetünk meg:

- föld - levegő híradás;
- levegő - föld híradás;
- levegő - levegő híradás;
- földi berendezések közötti belső híradás;
- információ felhasználók, együttműködők felé kiépített híradás.

Nyilvánvalóan a föld–levegő, levegő–föld, illetve levegő–levegő híradás csak vezeték nélküli csatornákkal valósítható meg. A földi berendezések között vezetékes megoldás is működhet.

### A robotrepülőgépekhez használható antennák

Az antennák hatékonyságát a terepviszonyok, a robotrepülőgép repülési profilja, de az időjárás is jelentősen befolyásolhatják.

A legegyszerűbb és egyben legelterjedtebb antennafajta a körsugárzó (botantenna). Előnye, hogy minden irányban sugároz, de kisebb a hatótávolsága, mint az irányított antennának. Az irányított antennák csak a kitüntetett irányban sugároznak, így a hatótávolság megnövelhető, de mozgó állomások között az összeköttetés fenntartása gyakran nehézségekbe ütközik. A ráláthatóság feltételét úgy a bot-, mint az irányított antennánál biztosítani kell.

A nagy hatótávolságú, nagyméretű robotrepülőgépeken megtalálhatók a műholdas rádióösszeköttetés eszközei. Ilyen például az amerikai PREDATOR [5], vagy a DARK STAR [6], amivel valós idejű információt kaphatnak a világ másik feléről is. Ezek a SATCOM és a MILSAT műholdas adattovábbító berendezéseket használják feladatuk elvégzésére.

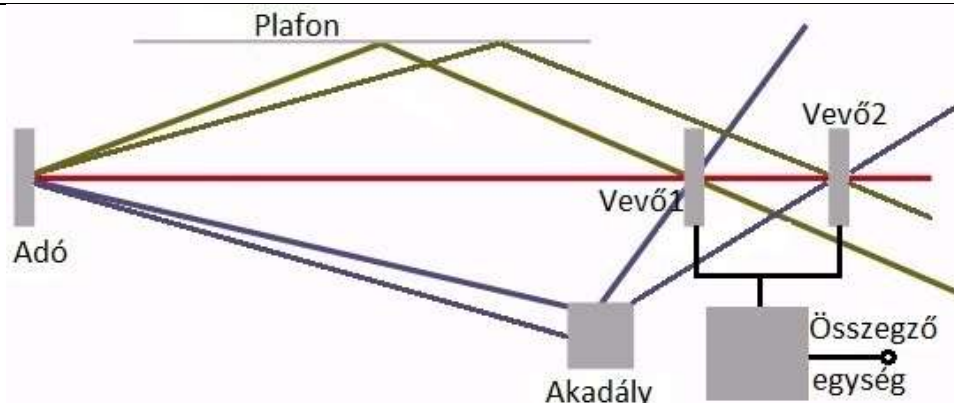


2. kép A DARK STAR Ku-sávú műholdas összeköttetést biztosító antennája<sup>8</sup>

A DARK STAR mágneses fázistolású résantennával követi a kapcsolatot biztosító műholdat. Előnye a korábbi parabola antennás rendszerekhez képest, hogy a sugárnyalábot elektronikusán, a fázistolások változtatásával lehet a műhold irányán tartani.

Az antennákat használhatjuk diversity eljárásban is. Az adó által kisugárzott rádióhullámokat a környező tereptárgyak is visszaverik, ami interferenciát okoz a vevőben. Az antenna gyakran nem csupán egyetlen jelet fog, hanem egy kis késéssel a visszavert jeleket is, és ez rontja a vétel minőségét. A diversity vétel esetében több antenna is veszi a rádiójeleket, és egy összegző egység kiszűri az összes interferenciát. [7][8]

<sup>8</sup> <http://www.hmth.hu/htfuz/htfuz1.pdf>



3. kép Diversity vétel elvi működése<sup>9</sup>

Kis távolságokon elegendő lehet valamely informatikában használt vezeték nélküli adatátviteli eszköz használata. A WLAN hálózati eszközök között már nem ritka az olyan adatátviteli sebességre képes eszköz, amellyel már jó felbontású valós idejű kép is továbbítható. Példaként említhető a WLAN hálózati eszközök között az ASUS WL-330G vezeték nélküli Access Point (4. ábra), ami 2,4 GHz-es sávban sugároz, belső térben 40 m-es, szabad térben pedig 455 m-es hatósugárban. Előnyös kis mérete, alacsony fogyasztása, és olcsó beszerezhetősége miatt. A másik, szintén 2,4 GHz-es sávban, elterjedt vezeték nélküli technológia a Bluetooth. Ez ugyan csak kis működési hatósugárral rendelkezik, de létezik ipari változata is, ami nagyobb távolságokra is képes kapcsolatot létesíteni. Ilyen például a Phoenix Contact FL BLUETOOTH AP nevű terméke (5. ábra). Alacsony átviteli sebességgel bír maximum 100 m-es távolságban. [9]



4. kép ASUS WL-330G WLAN adapter<sup>10</sup>



5. kép Phoenix Contact FL BLUETOOTH AP<sup>11</sup>

A MaxStream XBEE rádiómodul alkalmazására is találunk példát. Ez egy kis hatósugarú vezeték nélküli adatátviteli eszköz, ami kis mérete és tömege miatt megfelelően alkalmazható 100m-es távolságig. Akár a repülés előtti vagy utáni adatok (repülési útvonal, repülési paraméterek, szenzorok adatai, stb.) le- illetve feltöltésre is alkalmazható. [10]

<sup>9</sup> [http://www.cisco.com/en/US/tech/tk722/tk809/technologies\\_tech\\_note09186a008019f646.shtml](http://www.cisco.com/en/US/tech/tk722/tk809/technologies_tech_note09186a008019f646.shtml)

<sup>10</sup> [http://hadmernok.hu/archivum/2006/3/2006\\_3\\_kucsera.html](http://hadmernok.hu/archivum/2006/3/2006_3_kucsera.html)

<sup>11</sup> [http://hadmernok.hu/archivum/2006/3/2006\\_3\\_kucsera.html](http://hadmernok.hu/archivum/2006/3/2006_3_kucsera.html)



6. kép MaxStream XBEE rádiómodul<sup>12</sup>

A 6. ábrán látható XBEE rádiómodul hálózatba is köthető. Több elem összekötésével egy többcsatornás hálózatot kaphatunk. A hálózat minden eleme egy időben programozható, és adatok le és feltöltése is lehetséges azonos időben.

### Az adattovábbítás megbízhatóságának növelése

A kommunikáció megtervezésén túl a megbízhatóságra is nagy hangsúlyt kell fektetni. A megbízható robotrepülőgépekben használt rendszerek minimálisan két csatornát használnak. Az egyiket zajlik a levegőben lévő robotrepülőgép irányítása (repülési paraméterek, mint például repülési magasság, repülési sebesség, koordináta adatok, stb.), a másikon a hasznos terhek vezérlése. Az irányítócsatornák száma nagyban függ a hasznos terhek számától és jellegétől, így létrehozhatnak több csatornát is.

Az irányítás és az adatátvitel megbízhatóságának növelése érdekében a csatornákat általában megkettőzik, lehetőleg egymástól távol eső frekvenciatartományokban. Így az alapsatornák mikrohullámú sávban működhetnek, a tartalék csatornák ultrarövid tartományban. Ennél több információt még a legkimerítőbb ismertető is tartalmaznak a katonai vonalon használt robotrepülőgépekről, sem műszaki paramétereket, sem a berendezések konkrét típusát. Feltehetően azonban nagyfokú zavarvédelemmel rendelkeznek és titkosító berendezéseket is tartalmaznak.

A zavarvédelemet leggyakrabban szórt spektrumú sugárzással oldják meg. Ez kisebb távolságokra alkalmazható megoldás. Széles frekvenciasávot használ, amit egy normális vevő fehér zajnak érzékel, azonos amplitúdó minden frekvencián. A szórt spektrumú vevő felismeri és dekódolja az adást. Antennának egy megfelelő hosszúságú vezeték is elegendő.[11]

Az elektromágneses kompatibilitás nagyon fontos az olyan helyeken, mint a robotrepülőgépek, ahol sokféle elektromágneses jelet kibocsátó és vevő eszköz kis helyre van összezsúfolva. Érdekes odafigyelni erre, mert sok kellemetlenségtől megkíméljük magunkat. A lehetőségekhez képest, jól meg kell gondolni, hogy mit hova szereljünk fel a robotrepülőgépünkre. Az adók, vevők, különböző repülésben fontos szerepet játszó műszerek, hasznos terhek zavarhatják egymás működését. A megfelelő egymás közötti távolsággal, árnyékolással kiküszöbölhető a zavarás. Nem csak sugárzó zavarással találkozunk, hanem a tápkábelén keresztül vezetett zavart is észlelhetünk. Ezt a fajta zavarást legkönnyebben szűrőkkel, vagy független táplálással oldhatjuk meg. [12][13]

<sup>12</sup> [http://hadmernok.hu/kulonszamok/robothadviseles7/turoczi\\_rw7.html](http://hadmernok.hu/kulonszamok/robothadviseles7/turoczi_rw7.html)

## A MICROPILOT FEDÉLZETI RÁDIÓKOMMUNIKÁCIÓS RENDSZERE

Az 1995 óta működő kanadai MicroPilot [14] a világ egyik legismertebb robotpilóta-gyártó cége. A néhány száz grammos repülő modelltől a gázturbinás légitől 60 országban több mint 600 alkalmazó használja az eszközeit. Népszerűek az iskolákban, egyetemeken, kutató intézetekben, a gazdaság különböző területein, de a védelmi szféra is szép számmal használ robot légi járművein MicroPilot berendezéseket.

A MicroPilot a repülőgép fedélzetére teljes duplex adatátviteli berendezést ajánl. A 2,4 GHz-es ipari csatornán működő berendezéssel, irányított antennával akár 20 km-es hatótávolság is elérhető. A földi állomás irányított antennával követi a repülőgépet, ami megnöveli a hatótávolságot és az adatátvitel biztonságát – különösen a gyakran manőverező, nagy bedöntésű fordulókat végrehajtó légi járművekkel. Az átviteli sebesség 2400 - 19600 baud között választható – a felhasználó igényeinek megfelelően.



7. kép A MicroPilot adatátviteli berendezésének földi állomása<sup>13</sup>

Az adatátviteli berendezés állapota a földi állomás jelzőfényei alapján ellenőrizhető, minde mellett a MicroPilot Horizon program képernyőjén a status sorban a zöld mező (LINK) jelzi a folyamatos adatkapcsolatot. Az adatátviteli csatorna ugyanazokat a funkciókat képes biztosítani, mint a programbevitelnél használt kábeles összeköttetés, így ezen keresztül repülés közben is módosítható az útvonal, a repülési paraméterek és az egyéb beállítások.

A MicroPilot fedélzeti egysége ezen kívül egy rádió távirányító (RCON) vevőberendezést is fogad, amely lehetőséget teremt a földi adó konzoljáról az irányítás átvételére és botkormányos kézi vezérlésre. Ezt alapvetően a fel és leszállás idejére, illetve az útvonal kritikus szakaszain használják akkor, ha az automatikus üzem valamilyen okból nem biztosítható.

<sup>13</sup> Szerzők felvétele

Ez következhet be az adatkapcsolat megszakadásakor – ilyenkor a beállított üzemmódnak megfelelően vagy köröz az utolsó koordináta körül, vagy elindul a leszállóhely felé (ami nem feltétlenül a felszállóhely) majd a kapcsolat helyreálltával folytatja a feladatot.

Amennyiben az RC távirányítóval működő repülőgép veszti el a kapcsolatot, akkor a fedélzeti vevőberendezés FAILSAFE üzemmódra kapcsol és annak beállítása szerint működteti a repülőgépet. A FAILSAFE vagy az utolsó szervo állást őrzi meg, vagy egy előre programozott – legbiztonságosabb földet érést ígérő – beállításra ugrik.



8. kép A MicroPilot Horizon képernyőn látható rádiókapcsolat-információk<sup>14</sup>

A status sorban zölden jelenik meg a GPS vételt jelző mező is – amely a műholdas navigáció vételét igazolja. Ennek hiányában a robotrepülés nem kezdhető meg.

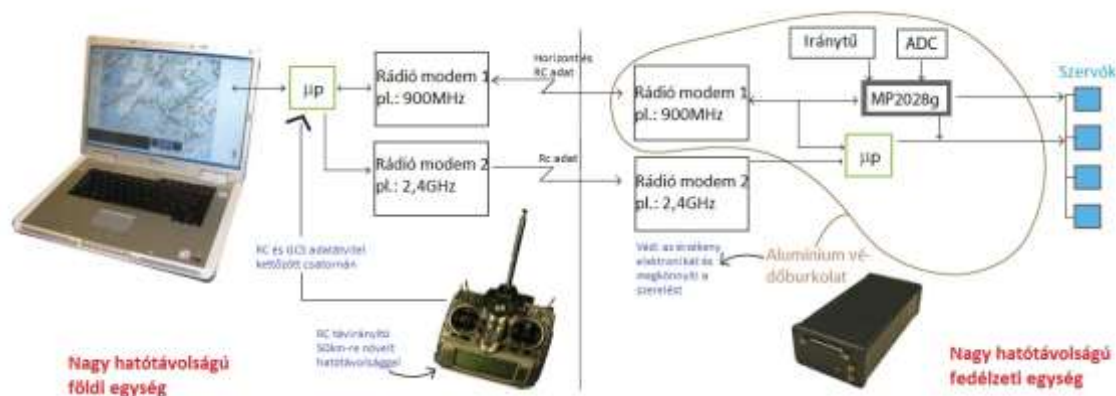
A fentiekben túl a fedélzeten elhelyezhetők még kamerák képét lesugárzó videó adók. Az adók frekvenciasávjának, teljesítményének, antenna-elhelyezésének megválasztásával el kell érni, hogy az irányítást biztosító létfontosságú eszközöket ne zavarja. Mindez gondos tervező és kivitelező munka eredményeként elérhető, de szűk térben egymástól független rendszerek rádió adását és vételét megoldani nem egyszerű feladat.

A fedélzeti rádió berendezések elektromágneses kompatibilitásának (EMC) biztosítása a táplálás szűrésével, ha nem elegendő, akkor független táplálással kezdődik. A következő kihívás az adóberendezések szórt nagyfrekvenciás jeleket kellő árnyékolással megszüntetni, a végső feladat, pedig az antennák lehető legtávolabbi elhelyezése – úgy, hogy a funkciójukat betölthessék.

A rádiókapcsolat biztonsága növelhető, ha ugyanarra a feladatra több csatornát párhuzamosan tudunk üzemeltetni. A MicroPilot ennek az igénynek a MP 2128<sup>82</sup> legújabb, negyedik generációs robotpilótákat felsorakoztató fedélzeti és Horizonmp földi irányító rendszerrel felel meg. A rádiózavarok kizárására szórt spektrumú rádiócsatornákat, illetve kettőzött duplex adatcsatornákat ajánlanak.

<sup>14</sup> Szerzők felvétele

Az MP2028 LRC/2128LRC (Long Range Communication) változatokhoz két hullámtartományban – pl.: 900 MHz és 2,4 GHz – működő rendszert kínálnak. [15] Az 1W-os adóteljesítmény a hatótávolságot 50 km-re növeli. A kettőzött rádiócsatornák – a fedélzeten a robotpilótával együtt – egy-egy kompakt egységet alkotva a professzionális felhasználók számára ideális megoldást jelentenek.



9. kép A MicroPilot MP2028 LRC/2128LRC földi és fedélzeti egysége<sup>15</sup>

A föld-levegő kapcsolat megbízható fenntartására a MicroPilot folyamatosan keresi a legjobb megoldásokat, ezeket a redundáns és fokozottan zavarvédett csatornák alkalmazásával kívánják elérni. Az egyik legsikeresebb robotpilóta gyártó, tehát a fedélzeti rendszerei fejlesztése mellett a kommunikáció és más kapcsolódó eszközök, pl.: szenzorok, megjelenítés terén is élenjáró eredményeket ér el.

## ZÁRÓ GONDOLATOK

A robotrepülőgépekkel folytatott madárriasztás egyik kényes feladata a szünetmentes kapcsolat biztosítása a résztvevők között. Mivel a tevékenység repülőterek, más működő légi járművek közvetlen környezetében folyik, a rádiócsatornák megbízható működése létfontosságú – minden résztvevő számára. A tanszéki kísérletekkel és a további lehetőségek felkutatásával arra a következtetésre jutottunk, hogy a jelenleg rendelkezésre álló egycsatornás adatátviteli rendszerünket csak korlátozásokkal tudjuk javasolni. A két duplex adatcsatorna már szerepel a robotpilótákat gyártók ajánlataiban, ami azt bizonyítja, hogy a technológia megérett az igény kielégítésére és a megvalósításra is megvan a lehetőség.

<sup>15</sup> <http://www.micropilot.com/products-mp2128lrc.htm>

A kutatások és kísérletek a „Repülésbiztonság növelése - madárriasztás robotrepülőgépekkel” témában a



**TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások,, A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”**

**„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”**

**Alprogram: Adatintegráció**

**Kiemelt kutatási terület: A pilóta nélküli Légitűeszközök alkalmazásának Légiközlekedés-biztonsági aspektusai**

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] WIKIPEDIA: Microwave, e-dok.  
url: <http://en.wikipedia.org/wiki/Microwave> (2012. 03. 21.)
- [2] Wikipedia: RUAG Ranger, e-dok.  
url: [http://en.wikipedia.org/wiki/RUAG\\_Ranger](http://en.wikipedia.org/wiki/RUAG_Ranger) (2012. 03. 21.)
- [3] WIKIPEDIA: AAI RQ-2 Pioneer, e-dok.  
url: [http://en.wikipedia.org/wiki/AAI\\_RQ-2\\_Pioneer](http://en.wikipedia.org/wiki/AAI_RQ-2_Pioneer) (2012. 03. 21.)
- [4] HADITECHNIKAI FÜZETEK 1. SZÁM: Pilóta nélküli felderítő repülőeszközök. Honvédelmi Minisztérium Haditechnikai Intézet, Budapest, 1999, e-dok
- [5] WIKIPEDIA: General Atomics MQ-1 Predator, e-dok.  
url: [http://en.wikipedia.org/wiki/General\\_Atomics\\_MQ-1\\_Predator](http://en.wikipedia.org/wiki/General_Atomics_MQ-1_Predator) (2012. 03. 21.)
- [6] WIKIPEDIA: Lockheed Martin RQ-3 DarkStar, e-dok.  
url: [http://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed\\_Martin\\_RQ-3\\_DarkStar](http://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed_Martin_RQ-3_DarkStar)
- [7] VOLKSWAGEN MAGYARORSZÁG: Műszaki lexikon, e-dok. url:  
[http://www.volkswagen.hu/volkswagen\\_koeruel/innovacio/m\\_szaki\\_lexikon/diversity\\_antennen.html](http://www.volkswagen.hu/volkswagen_koeruel/innovacio/m_szaki_lexikon/diversity_antennen.html)
- [8] CISCO SYSTEMS: Multipath and Diversity, e-dok.  
url: [http://www.cisco.com/en/US/tech/tk722/tk809/technologies\\_tech\\_note09186a008019f646.shtml](http://www.cisco.com/en/US/tech/tk722/tk809/technologies_tech_note09186a008019f646.shtml)
- [9] KUCSERA PÉTER: Moduláris felépítésű mobil robotikai alkalmazások kialakítási szempontjai. Hadmérnök I. évfolyam 3. szám, 2006, e-dok.
- [10] TURÓCZI ANTAL: Négyrotoros pilóta nélküli helikopter fedélzeti elektronikai rendszere. Hadmérnök, Robothadviselés 7. Tudományos Szakmai Konferencia, 2007, e-dok.url:  
[http://hadmernok.hu/kulonszamok/robothadviseles7/turoczi\\_rw7.html](http://hadmernok.hu/kulonszamok/robothadviseles7/turoczi_rw7.html)
- [11] <http://www.szabilinux.hu/konya/konyv/2fejezet/2fvnatvk.htm>
- [12] RÁDIÓAMATŐRÖK TANKÖNYV: Elektromágneses összeférhetőség, villámvédelem, biztonságtechnika, e-dok. url:  
[http://tankonyv.ham.hu/A\\_vizsga-DJ4UF/?cid=a21](http://tankonyv.ham.hu/A_vizsga-DJ4UF/?cid=a21)
- [13] WIKIPÉDIA: Elektromágneses kompatibilitás, e-dok. url:  
[http://hu.wikipedia.org/wiki/Elektrom%C3%A1gneses\\_kompatibilit%C3%A1s](http://hu.wikipedia.org/wiki/Elektrom%C3%A1gneses_kompatibilit%C3%A1s)
- [14] MicroPilot hivatalos oldala  
url: <http://www.micropilot.com/> (2012. 03. 18)
- [15] <http://www.micropilot.com/pdf/lrc-drawing.pdf> (2012. 03. 18.)