



Dr. Kazi Károly<sup>1</sup>

## MAGYAR FEJLESZTÉSŰ, TELJESEN AUTOMATIZÁLT UAV RENDSZER<sup>2</sup>

*A BHE Bonn Hungary Elektronikai Kft. vezetésével (BHE), a BME Mobil Innovációs Központ (MIK) és az Óbudai Egyetem Neumann Informatikai Kar (NIK) részvételével létrehozott fejlesztői konzorcium egy teljesen automatizált pilótánélküli légi jármű (UAV) kifejlesztését kezdte el három évvel ezelőtt. A rendszer kétirányú kommunikációjának alapsávi részét a MIK, a földi irányító központ és az adatbázist kezelő szerver szoftverét a NIK, az összes többi részt – több alvállalkozó bevonásával – a BHE készítette el. A kifejlesztett gép fő jellemzői: 16 kg össztömeg, 3 kg hasznos teher, elektromotoros meghajtás, 60-90 km/óra utazósebesség, kb. 60 perc repülési idő, kommunikációs hatótávolság 15-20 km. A rendszer első változatának fejlesztése a végéhez közeledik, a prototípus tesztelése folyik, a tesztelési tapasztalatok figyelembevételével elkezdődött a sorozatgyártásra alkalmas verzió tervezése. A fejlesztést a Kutatási és Technológiai Innovációs Alap támogatta (TECH\_08 MOBRB\_08)*

### **FULL AUTOMATIC UAV SYSTEM DEVELOPED IN HUNGARY**

*The consortium, led by BHE Bonn Hungary Electronics Ltd, members BME Mobile Innovation Centre (MIK) and Óbuda University Faculty of Neumann Informatics (NIK) started to develop a fully automatic UAV system three years ago. The baseband signal processing unit of the system's two way communication was developed by the MIK, the software of ground control center and database server is the work of NIK, all the other parts were made by BHE and its subcontractors. The main parameters of the system: total weight 16 kg, payload 3 kg, electric propulsion, speed 60-90 km/h, endurance 60 minutes approx., communication radius 15-20 km. The development of the system's first version is nearly completed, the prototype is under testing, according to the test results, the modifications for serial production is in progress. The project was supported by the Research and Technology Innovation Fund (TECH\_08 MOBRB\_08).*

## ELŐZMÉNYEK

Magyarországon a pilóta nélküli légi járművek (magyar rövidítésben: PNLJ, angolul: UAV) fejlesztése több mint 20 éves múltra tekint vissza. A teljesség igénye nélkül néhány lényegesebb a tervezett, ill. kifejlesztett rendszerek közül: a csehszlovák-magyar együttműködésben készülő SZOJKA (145 kg felszálló tömeg, 20 kg hasznos teher, 150-220 km/óra sebességtartomány, kb. 3 óra repülési idő), az olasz-csehszlovák-magyar közös fejlesztésű MIRACH rendszer több paraméterében felülmúlta volna a SZOJKÁT, teljes tömege 210 kg, hasznos terhe 50 kg, repülési ideje 12 óra lett volna, de sajnos a fejlesztési elképzelés a szerződéskötések szintjén elakadt. Elkészült viszont – magyar fejlesztés eredményeképpen – egy nagyobb és modernebb sárkány-hajtómű, a DENEVÉR, amely már 80 kg-os hasznos terhet tudott elvinni, felszálló tömege 160 kg, hatósugara 400 km, repülési ideje 10 órára volt tervezve, a fel- és leszállása futóművel történt. Ezt a gépet pilótával is berepülték, de sajnos a gyártásba vite-

<sup>1</sup> BHE Bonn Hungary Elektronikai Kft. ügyvezető igazgató, BME címzetes egyetemi docens, kazik@bhe-mw.eu

<sup>2</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Makkay Imre ny. ezds; egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, makkay.imre@uni-nke.hu

lére nem volt anyagi fedezet. Az elmúlt időszakban a ZMNE és a vele szoros együttműködésben lévő, elsősorban civil kutató és fejlesztő szakemberek, illetve vállalkozások igen intenzív kutatásokat folytattak a PNLJ-k elméletét és gyakorlati alkalmazását érintő kérdésekben. Ezzel párhuzamosan több, a gyakorlatban is kipróbált PNLJ született (METEOR, MAND, REKA, WARRIOR, stb.), de sajnos egyikük sem érte el a „piacérett” állapotot, nagyobb darabszámban sehol sem került alkalmazásra.

A katonai alkalmazásokon túl, az elmúlt években egyre nagyobb igény jelentkezett a polgári, katasztrófavédelmi, térképészeti és hasonló területeken történő UAV felhasználásokra. A nemzetközi és hazai piaci igények, a rendelkezésre álló szakirányú ismeretanyag és szakembergárda tette célszerűvé egy olyan program megfogalmazását, amely egy – a piaci igényeknek a lehetőségekhez képest maximálisan megfelelő, elsősorban polgári célú – UAV rendszer kifejlesztését tűzte ki célul. Ezen program megvalósítására jött létre 2008-ban egy konzorcium a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Mobil Innovációs Központja (MIK), az Óbudai Egyetem Neumann János Informatikai Kara (NIK) részvételével és a BHE Bonn Hungaria Elektronikai Kft. (BHE) vezetésével.

A projekten belüli munkamegosztásban a NIK a földi irányítóközpont szoftverének (virtuális pilótafülke) és a repülési adatok, valamint a hozzájuk szorosan kapcsolódó megfigyelési adatok (video, képek, egyéb szenzor adatok) tárolásra használt adatbázist kezelő szoftver létrehozását vállalta. A MIK – a rendszer egyik legkritikusabb részének – a megbízható, robosztus kommunikáció alapsávi részének kifejlesztését végzi. A rendszer összes többi elemének (sárkány, földi állomás, indítórendszer, fedélzeti elektronika, leszállítórendszer, stb.) kidolgozása a BHE feladata, amelyet több alvállalkozó bevonásával valósít meg.

## A RENDSZER

A projekt indulásakor a következő rendszerparaméterek lettek célul kitűzve:

- felszálló tömeg max. 12 kg, ebből hasznos teher 3 kg;
- repülési idő minimum 1 óra;
- repülési sebesség 60-100 km/óra;
- legnagyobb repülési magasság 1000 m;
- elektromos meghajtás;
- hatósugár (aktív, élő rádiókapcsolattal) 15-20 km;
- 500 programozható útvonalpont, repülés közbeni átprogramozással;
- útvonaltervezés digitalizált térkép, vagy műholdas kép alapján;
- adaptív, nagy megbízhatóságú kommunikációs rendszer;
- stabilizált kamerarendszer (látható tartományú ill. hőkamera);
- párhuzamosan hozzáférhető adatbázis a repülési és megfigyelési adatok (időbélyeggel ellátott képek) tárolására.

A fejlesztés első fázisa után egyértelművé vált, hogy a kitűzött 12 kg körüli felszállási tömeg nem tartható, ezért a második verzió már 16 kg-os tömegre lett méretezve. A megcélzott 1000 m-es repülési „plafon” viszont bőven túlteljesíthető, a tesztek során 3000 m tengerszint feletti

magasságon is repült a gép. A többi paraméter esetében is elértük a tervezett célparamétereiket. Ezek a paraméterek jól lefedik a piaci igényeket, bár a visszajelzések alapján hosszabb repülési időre (akár 90 perc) is van igény. Az is látszik, hogy a kézi irányítású leszállás nagy kockázatokat hordoz magában, ha a kezelőszemélyzet nem eléggé gyakorlott. Jelentős piaci előnyt jelenthet, ha a rendszer automata leszállásra is alkalmas.

A teljes UAV rendszer fizikailag négy fő részre tagolható:

1. indítóállomás (katapult);
2. földi irányító központ és adatbázis a kommunikációs adó-vevő állomással;
3. repülő egység a fedélzeti elektronikával;
4. leszállító egység.

A rendszer funkcionális blokkvázlata (az indító és leszállító egység nélkül) az 1. sz. ábrán látható.



1. ábra Az UAV rendszer funkcionális felépítése

A rendszer szállításához többfunkciós ládákat terveztünk, amelyek a biztonságos – akár légi úton történő – szállításhoz és természetesen tároláshoz szükséges csomagoláson kívül a telepítésnél rendkívül hasznos egyéb funkciókat is ellátnak. Ilyen például a földi irányító központ asztala és ülőrésze, valamint a laptop dobozok árnyékolást is biztosító fedél kiegészítője.



2. ábra A gép a szállítóládában és a szállítóláda kiegészítő funkciói

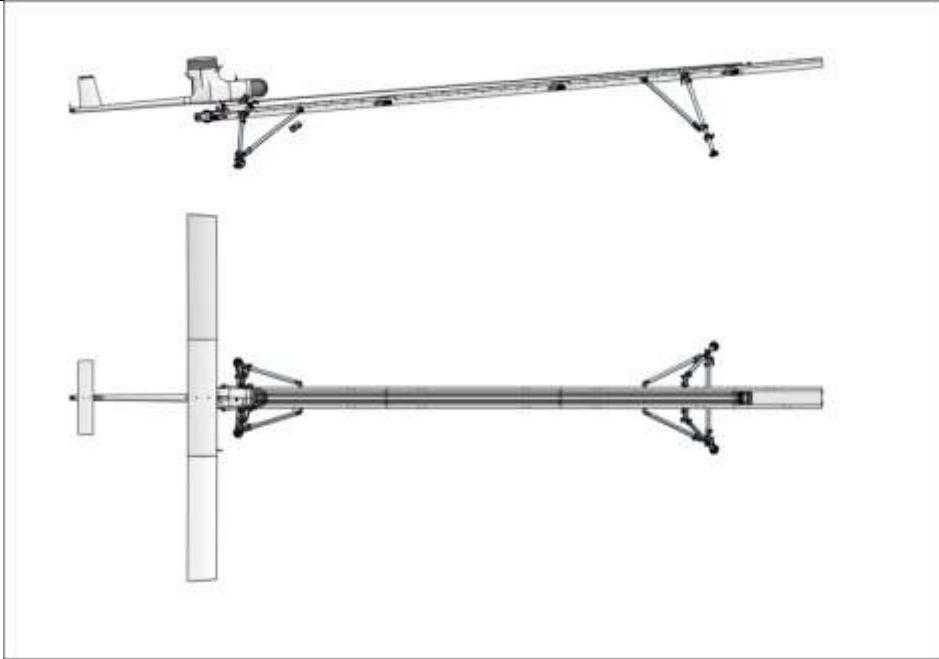
## A KATAPULT

Már a projekt kezdetén a maximálisan automatizált rendszer kifejlesztése volt a cél, ezért az indítóállomást is könnyen vezérelhető elektromotoros indításúra terveztük. El is készült egy elektromotoros változat, de sajnos a gyakorlatban nem vált be, az elektromotor felpörgési tehetetlensége pontosan a legkritikusabb indulási szakaszon nem tudott elegendő gyorsító erőt biztosítani, s emiatt a gép végsebessége túl kicsi volt a katapult végén.



3. ábra Az elektromotoros katapult fényképe

Ekkor két lehetőség közül választhattunk: az egyik, hogy tovább növeljük a gyorsítópálya hosszát, a másik, hogy másfajta energiatárolást használunk a gyorsításhoz. A katapult hosszát nem kívántuk az eddigi 5 m-ről tovább növelni, ezért a gumiköteles megoldás mellett döntöttünk. Ez a megoldás bevált a gyakorlatban, de az indítási folyamatot nagymértékben lassította a kézi csörlős gumi-felhúzás nehézsége és időigénye. Ráadásul a felhúzást – hogy a felhúzott gumi ne veszítsen energiatároló képességéből – az utolsó pillanatban, a teljes rendszer indításra kész állapotában kellett elvégezni.



4. ábra A kézi felhúzású gumiköteles katapult első verziójának rajza

Végső megoldásként az elektromotoros és a gumiköteles változat kombinálása látszik célszerűnek. Ebben a megoldásban a vezérlőpultról kiadott indítóparancs hatására egy elektromotor felhúzza a gumikötelet, amely a felhúzás végállapotának elérésekor kireteszelődik, s azonnal indul a gyorsítási, kilövési folyamat. A gumikötél tulajdonképpen egy kocsit gyorsít, amelyre a gép úgy van rögzítve, hogy az alapállapotban pörgő motor mellett sem tud elindulni, de a pálya végén már szabadon elhagyhatja azt.



5. ábra A gép a kézi felhúzású gumiköteles katapulton

A berepülési kísérletek során – alternatív megoldásként, az egyszerűbb telepítés miatt – sok esetben csörlős indítást alkalmaztunk, de ezt sajnos csak viszonylag puha talaj (füves, homokos) és megfelelő hosszúságú indítópálya esetén lehet használni.

## A FÖLDI VEZÉRLŐKÖZPONT (GCC)

A földi vezérlőközpont fizikailag két fő részből áll: a vezérlést, az adattárolást és feldolgozást lehetővé tevő számítógép(ek)ből és a kommunikációs egységből. A számítástechnika mai fejlettségi szintje lehetővé teszi, hogy viszonylag kisméretű PC-ken (célszerűen ipari kivitelű laptopokon) meg lehessen valósítani a földi vezérlőközpont valamennyi funkcióját. A központi számítógépen fut az OE-NIK által kifejlesztett AirGuardian szoftver, amelyen keresztül fel lehet tölteni az útvonaltervet a fedélzeti számítógépre. Az útvonalterv 500 útvonalpontot tartalmazhat, valamennyi ponthoz meg kell adni a magasságot, sebességet és az adott pontra jellemző egyéb adatokat. [1][2]

A gép és a kamera kézi vezérlésének első verziója még botkormánnyal készült, de gyorsan bebizonyosodott, hogy a digitális adatfeldolgozás és egyéb kommunikációs késleltetések miatt ez nem használható elég hatékonyan. A kamera vezérlését számítógépes egerrel oldottuk meg, míg a gép kézi vezérlésére maradt – a földi vezérlőközponttól független üzemmódra is alkalmas – hagyományos, rádiós modellvezérlő (RC controller) egység. A földi vezérlőközpont legújabb verziója tulajdonképpen két – kemény burkolatú, ipari kivitelű, árnyékolóval kiegészített – hordtáskába helyezett laptop, amelyek közül bármelyik el tudja látni a virtuális pilótafülke szerepét, miközben a másik szabadon használható a felderítő kamera képének elemzésére, a kamera vezérlésére.



6. ábra A földi vezérlőközpont egyik számítógépe a beépített, ki-behajtható árnyékolókkal

A virtuális pilótafülke képernyője több nézettel rendelkezik, alkalmas a legfontosabb repülési adatok és műszerek, a gép aktuális pozíciójának vizuális ábrázolására és egyben a fedélzeti kameraképek valamelyikének megjelenítésére.



7. ábra A virtuális pilótafülke egy tipikus konfigurációja

Az AirGuardian szoftver és a kommunikáció lehetővé teszi, hogy a fedélzeti számítógéphez előre feltöltött útvonaltervet repülés (misszió) közben tetszőlegesen módosítsuk. Ez természetesen csak a még végre nem hajtott feladatokra vonatkozik.

Közismert, hogy nem minden műveleti területről létezik megfelelő pontosságú digitalizált térkép, ezért az útvonaltervező úgy lett megvalósítva, hogy – megfelelő kalibráció után – alkalmas legyen útvonaltervezésre és követésre egy műholdfelvétel felhasználásával is.



8. ábra Magassági tesztrepülés (2400 m magasságig) 3D megjelenítése

Valamennyi mért repülési paraméter, pozíció és a fedélzeti kamerák képe (illetve a tetszőlegesen konfigurálható egyéb szenzorok adata) lesugárzásra, s a földi irányító központ adatbázisába lementésre kerül. A szerverhez kapcsolódó – korlátlan számú – felhasználói számítógépen (kliens) az időben egymás mellé rendezett adatok tetszőleges szempontok alapján értékelhetők. A lesugárzással egyidőben a fedélzeti számítógép memóriájába is elmentésre kerül vala-

mennyi adat, s a gép visszatérése után a fedélzeti adatok áttölthetők az adatbázisba archiválás, vagy utólagos feldolgozás céljából.

Egy tipikus utófeldolgozás lehet az eltárolt GPS adatok alapján a megtett útvonal megjelenítése egy háromdimenziós ábrán. Egy várpalotai magassági tesztrepülés – amelyen 2400 m-es tengerszint feletti magasságot értünk el – ábrázolása látható a 8. sz. ábrán.



9. ábra A földi vezérlőállomás kommunikációs egysége

A földi vezérlőközpont másik fontos eleme a kommunikációs egység, amely magába foglalja a forgatható mikrohullámú antennákat, az adó-vevő egységeket, valamint az antennaforgatás vezérlését és bizonyos szintű adatfeldolgozást végző számítógépet. A kommunikációs egységet a rendszer telepítése során – a biztonság kedvéért – célszerű az irányító központtól olyan távolságra elhelyezni, hogy a központ körül mozgó személyzet ne zavarja a mikrohullámú antennák gépre történő rálátását. A két egység tápellátása egymástól független, közöttük nagysebességű adatkábeles összeköttetés van. Az antennaforgatást vezérlő egység saját GPS vevővel rendelkezik, s a repülőgépről kapott GPS adatok alapján kiszámítja a gép irányát, s ennek megfelelően fordítja az antennát. Amennyiben a kapcsolat megszakad, akkor a gép legutolsó pozíciójának, sebességének és irányának ismeretében feltételez egy szektort, ahol érdemes a gépet keresni. A gép keresését ebben az – időben bővülő – szektorban pásztázással végzi a kapcsolat helyreállásáig. A gép eközben természetesen végrehajtja az előre beprogramozott feladatot, az összes begyűjtött adatot a fedélzeti számítógép tárolja, s az a visszatérést követően áttölthető a földi irányítóközpont adatbázisába.

## A REPÜLŐ EGYSÉG (UAV)

Az egész rendszer feladatvégrehajtó egysége maga a repülő, amelynek főbb elemei a sárkány, a hajtómű, a fedélzeti elektronika és a cserélhető felderítő szenzor (az esetek többségében valamilyen kamera).

A sárkány alap konstrukcióját tekintve elektromotoros meghajtású, a szárny mögé beépített toló



légcsavaros megoldással. A meghajtó motor 1,2 kW-os, 24 V-os, 3 fázisú kefe nélküli motor. A sárkányból a fejlesztés során két verzió készült, először egy – az eredeti tervek szerint – könnyebb, 12 kg körüli verzió, amelynek az orr részében volt a vízszintes tengelyű kamera.

Az azonban gyorsan kiderült, hogy jobb paraméterekkel és több funkcióval rendelkező, nagyobb tömegű payload és fedélzeti elektronika készíthető, s így egy újabb változatot kellett készíteni, amelynek össztömege 16 kg körüli. Ebben a második verzióban a kamera (payload) már nem az orrban, hanem a gép súlypontja közelében függőleges tengellyel került elhelyezésre. Ezzel a megoldással elérhető, hogy a cserélhető hasznos teher tömegének esetleges változása nem, vagy alig lesz hatással a gép súlypontjának helyzetére. Hátránya, hogy a megfelelő látószög eléréséhez a testen kívül lévő kamera a tesztelés és használat során a gép egyszerű hasraszállását akadályozza. Ezen hátrány kiküszöbölésére egy kamera kitoló/behúzó lift szerkezetet fejlesztettünk ki, amely a fenti problémát megoldja, de plusz működési kockázatot, s extra tömeget visz be a konstrukcióba. Külön problémaként jelentkezett a kitolható kamera nyílásának lezárása leszálláskor.

A második verzió törzsébe – egy vész esetén használható – önkioldós ejtőernyő is beépítésre került. Az ejtőernyő nyitásakor egy előfeszített rugó löki ki azt a tároló dobozából, biztosítva azt, hogy a nyitóernyő ne akadjon el a gép légcsavarjában, vagy farokrészében. Az ejtőernyő kialakítása olyan, hogy földetéréskor leoldja az ernyőt a gépről, kizárva ezzel azt a kockázatot, hogy egy erősebb szélroham elkezdje vonszolni a gépet a földön.



10. ábra Az első és a második verziójú sárkány fényképe

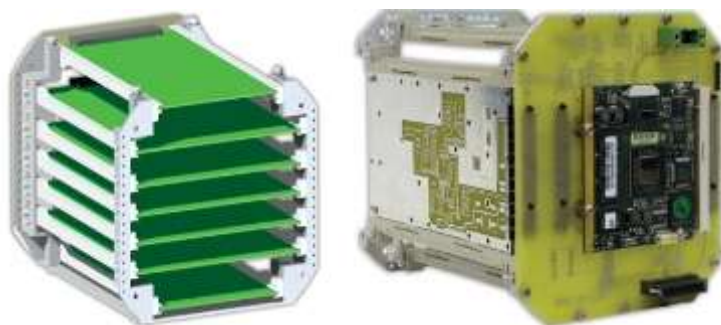
A második, megnövelt tömegű verzió szárny fesztávolsága is nagyobb lett, az eredeti 3,15 m-ről 3,70 m-re, így a gép – egyébként meglehetősen jónak mondható – repülési paraméterei gyakorlatilag nem változtak.

A fejlesztés során valamennyi szerkezeti elem ősdarabja és sablonja is a sárkányokat kifejlesztő BHE UAV műhelyében készültek. A törzs elemei kevlár és karbon erősítésekkel kiegészített kompozit technológiával készülnek. Egy-egy konstrukció kialakítása során előbb az ún. ősdarab készül el, ami egy pozitív megfelelője a majdan kialakítandó elemnek. Ezt követően az ősdarab felhasználásával készítjük el a negatív sablont, amelyben a ténylegesen repülő alkatrészek kerülnek kialakításra.



11. ábra A farokrész a sablonjával, ill. a törzs sablonja

A törzs közepében kapott helyet a fedélzeti elektronikát tartalmazó, rugalmas rezgéscsillapítókra szerelt „rack”. Ebben található az egyes funkciókat ellátó elektronikai modulok, mint a tápelosztó, a robotpilóta, a kommunikációs, a jelfeldolgozó panelek, s természetesen a fedélzeti számítógép. A fedélzeti elektronika a meghajtó elektromotortól független áramforrásról kapja az energiaellátást. A motorszabályzó saját hűtőbordával a „rack”-en kívül, a motor közelében kapott helyet.



12. ábra A fedélzeti elektromos rack szerkezete és fényképe

A robotpilóta térbeli tájékozódását inerciális helyzet és gyorsulás érzékelők, GPS vevő, valós sebességmérő segíti, így az a mindenkori elvárásoknak megfelelően tudja a gép mozgását szabályozni, korrigálni, ill. képes a rendelkezésre álló adatok tárolására és a földi vezérlőközpontba történő továbbítására.

A fedélzeti rendszer többféle szenzorhoz illeszthető, az eredeti elképzelés magában foglalta egy úgynevezett „pilótakamera” elhelyezését a törzsben. Ez a kamera hívatott volna helyettesíteni a pilóta szemét. A törzs valamely előre néző részében került volna elhelyezésre, s fixen előre nézett volna, minden vezérlési lehetőség nélkül. Ennek a kamerának fontos biztonságtechnikai szerepe lehet a későbbiekben, hiszen az ez által sugárzott kép folyamatos ellenőrzésével – s egy vész-eltérítő funkció beiktatásával – elérhető, hogy a teljesen automata üzemmódban küldetést teljesítő gépet egy ütközésveszélyes helyzet esetén kikerülő pályára irányítsa a kezelő. A piaci visszajelzések alapján erre a funkcióra még nincs valós piaci igény. Az alapverzióból ezért ezt a lehetőséget kihagytuk, az UAV rendszer opcionális funkciójává vált.

Az alábbiakban a stabilizált, látható tartományú és hőkamerákat mutatjuk be. A kamera-stabilizáló platform úgy lett kialakítva, hogy mindkét fajta kamerát be tudja fogadni, azok viszonylag egyszerűen cserélhetőek. A platform két tengely körül mechanikus, a harmadik tengely körül képfeldolgozáson alapuló elektronikus stabilizálást valósít meg.



13. ábra Stabilizált kameraplatform fényképe

A kamera képének elektronikus feldolgozása lehetővé teszi egy álló, vagy mozgó földfelszíni tárgy követését a repülőgép mozgásának kompenzálásával. A látható tartományú kamera főbb adatai:

<b>Látható tartományú kamera (VIS)</b>		
<b>Megnevezés</b>	<b>Érték</b>	<b>Megjegyzés</b>
Üzem mód	Nappali/Éjszakai	
Érzékelő	1/4" CCD	CCIR/PAL
Szkennelési mód (A) (25 kép/s)	Progresszív	átkapcsolható
Szkennelési mód (B) (50 kép/s)	Átviteli vonal	átkapcsolható
Pixelek (teljes)	795x596	470 ezer
Pixelek (effektív)	752x582	440 ezer
Zársebesség	1/30000...1/1,5	
Vízszintes felbontás (min./tip.)	520/540 TVL	színes
Vízszintes felbontás	600 TVL	fekete-fehér
Jel/zaj viszony	>50 dB	
Erősítés	0...30 dB	
Érzékenység (színes)	1 lux	progresszív opció
Képarány	4:3	
Optikai zoom	1...35	H55,8°(széles)...H1,7°(teljes)
Fókusz	kézi/automata	
Írisz	F1,4...F32	
Elektronikus képstabilizálás	ki/be	távvezérelhető, opciós objektum követés
Tápfeszültség	12V DC	
Áramfelvétel (@ 12V DC )	0,4 A	
Működési hőmérséklettartomány	0...+60°C	
Tárolási hőmérséklettartomány	-40...+85°C	



A hőkamera főbb adatai:

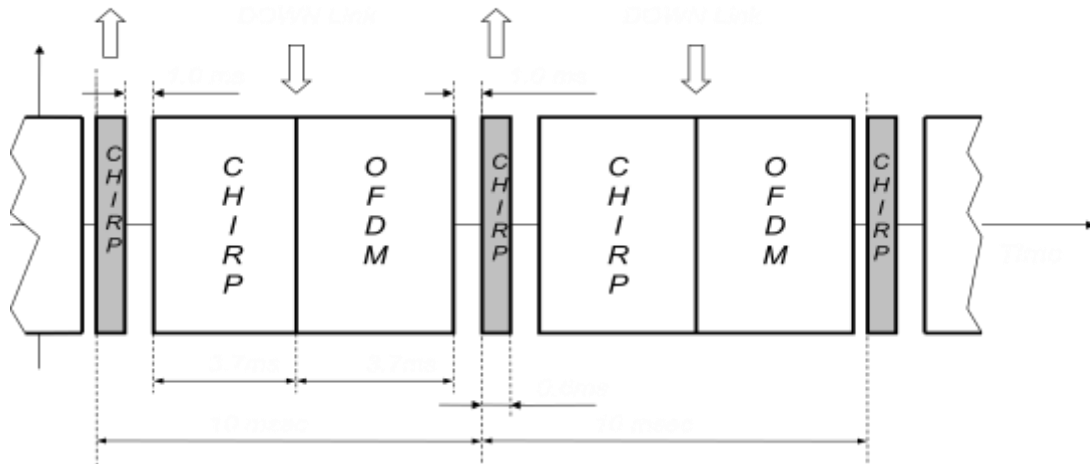
- felbontás: 384 x 288 pixel, opcionálisan: 640 x 480 pixel;
- spektrális érzékenység: 8 $\mu$ m – 14  $\mu$ m;
- NETD (F1.0; 300 K; 25 Hz): 50 mK (tipikusan);
- horizontális látószög: 30°;
- valamennyi paramétere távvezérelhető.

## A KOMMUNIKÁCIÓ

Az rendszer legkritikusabb része a kommunikáció. Az UAV piacon gyakran találkozunk olyan megoldással, amely egy teljesen hétköznapi, nem ilyen alkalmazásokra kifejlesztett adatátviteli megoldást (pl. WiFi vagy ZigBee) integrál be a rendszerébe. Ezen rendszerek tervezésekor nem veszik figyelembe, hogy a felhasználás szempontjából mennyire lényeges paraméter a megbízható, valós idejű adat és képátvitel. A felhasználónak ugyanis minden pillanatban tisztában kell lennie a gép helyzetével, a működési paraméterekkel, és természetesen látnia kell a felderítés eredményét, a fedélzeti szenzorok adatait. Biztonsági szempontból kiemelten fontos a levegő-föld irányú telemetria és föld-levegő irányú parancsok átvitele.

Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a kommunikációt két részre lehet osztani. Az egyik kétirányú, szinte létfontosságú, de viszonylag kevés adat átvitelét jelentő, tehát keskeny sáv szélességű csatorna szolgál a levegő-föld irányú telemetria adatok átvitelére és fedélzetre érkezett parancsok visszajelzésére. Ugyanezen a csatornán történik a föld-levegő irányú vezérlő parancsok átvitele is. A kommunikációs rész fejlesztését végző MIK egy rendkívül robusztus, a modulációs módszerekből adódóan nagyon megbízható megoldást a CHIRP modulációt választotta mindkét irányú adatátvitelre. A CHIRP moduláció lényege, hogy az egyik átvinni kívánt szimbólum (0) az adott frekvenciasáv egyik irányú (pl. a sáv alsó szélétől a felsőig), míg a másik szimbólum (1) ugyanazon sáv ellenkező irányú „átsöprésével” előállított jellel kerül átvitelre. [3][4]

A másik kommunikációs rész a felderítési anyag, a látható tartományú (éjjel-nappal látó), vagy hőkamera (infra) és esetleg más jellegű szenzor (pl. mikrohullámú szintetikus apertúrájú radar) nagy mennyiségű, tehát szélessávú jelének átvitelére szolgál. Természetesen a működés lényegét tekintve ez is fontos, de kevésbé szigorú elvárásoknak kell megfeleljen, ezért erre a sáv szélesség-takarékosabb OFDM (Orthogonal Frequency Domain Multiplexing) modulációt találtuk optimálisnak. A kétirányú és kétféle modulációjú információk átvitele egy frekvencián (a NATO által hasonló célokra használt C sávon belül) történik időosztásos módszerrel. A digitális jelfeldolgozó egység be- és kimenete pedig 70 MHz körüli középfrekvencián van. Ez azt jelenti, hogy a hasznos jel a  $70 \pm 10$  MHz frekvenciasávot foglalja el, azaz ezt a sávot mintavételezzük az analóg/digitális átalakítás során.



14. ábra A kommunikációs csatorna időosztása

A 14. ábrán jól látható, hogy a viszonylag kevés információt tartalmazó CHIRP csatorna levegő-föld irányba robusztussága miatt pontosan akkora időtartományt foglal el, mint a teljes video csatorna (OFDM).



15. ábra A kommunikációs jelfeldolgozó kártya (BBCOM) fényképe

## A LESZÁLLÍTÓ RENDSZER

Közismert, hogy a repülés egyik legkritikusabb manővere a leszállás. A tapasztalat is azt mutatja, hogy az UAV rendszerek egyik leggyakoribb balesete, hogy a – sok esetben nem megfelelően kiképzett, gyakorlatlan – kezelőszemélyzet nem tudja sérülésmentesen „letenni” a gépet. Emiatt már a fejlesztés elején elhatároztuk, hogy amint összeáll a rendszer, felvesszük a programba a leszállító rendszer automatizálását is.

A gépet elsősorban olyan, terepi használatra szánjuk, ahol nincs kifutópálya, sőt sok esetben a fel- és leszálláshoz szükséges szabad terep is szűkös. Az emiatt jelentkező indítási problémákat megoldja a fentiekben már részletezett katapult, de az üzembiztos leszállás már egy bo-

nyolcultabb, összetettebb feladat. A fejlesztés során – az esetek nagy részében – a gép kézi vezérléssel, futómű nélkül, a „hasára” szállt le. Ehhez azonban gyakorlott pilótára volt szükség. Többféle kísérletet (pl. ejtőernyős) végeztünk el a leszállási lehetőségek optimalizálására, s végül egy hálóba történő – automatizált – leszállás megvalósítása mellett döntöttünk. A kézi vezérléssel, hálóba történő leszállás tapasztalatai azt mutatták, hogy amennyiben a hálóba tudjuk vezetni a gépet, akkor maga a hirtelen negatív gyorsulás nem okoz problémát, a háló biztonságosan le tudja fékezni a gépet.



16. ábra Az UAV a leszállító hálóban

A háló 6 m magas és 14 m széles, rögzítése úgy van megoldva, hogy viszonylag nagy úton lassítja le a gépet, s a gép orrában elhelyezett kampó a hálóba akadva megakadályozza a gép földre esését.

Az automata hálóba vezetésre több lehetőség kínálkozik, pl. optikai, képfelismerésen alapuló, lézeres, rádiós, stb. Mivel cégünk fő tevékenysége a rádiófrekvenciás kutatás-fejlesztés, logikus döntésnek tűnik, hogy a rádiós megoldás mellett döntöttünk. A leszállító rendszer alapelve az, hogy a fedélzeten elhelyezett rádióvevő folyamatosan méri a megfelelő pozícióban elhelyezett rádióadóktól való távolságot, s ennek segítségével a gép a hálóba vezethető. A hálótartó rudakon elhelyezett egy-egy rádióadótól való azonos távolság meghatároz egy, a háló közepén áthaladó függőleges síkot, míg egy harmadik adó – megfelelő eltolással – az előző adók bármelyikével az előző síkra merőleges, de ferde, s szintén a háló közepén áthaladó síkot. A két sík metszése adja azt az elméleti egyenest, azt a siklopályát amelyen a gépet a hálóba kell vezetni. A leszállási manőver kezdetén a robotpilóta a GPS pontosságával, egy a hálótól kb. 700 m-re lévő, az adott egyenesen lévő pontra vezeti a gépet, majd ráfordul egy következő, a háló irányában, kb. 200 m-re elhelyezett, – szintén a siklopályán lévő – útvonalpontra. Ezzel elértük, hogy a gép már a háló felé repül, de még meglehetősen pontatlan pályán (GPS pontosság:  $\pm 15$  m). Eközben már venni tudja a referenciaadók jeleit, s megfelelő ellenőrzések után a robotpilóta már ezen jelek alapján képzett hibajel minimalizálásával vezeti a gépet.



A fentiekben vázolt automata leszállító rendszer részelei már le lettek tesztelve, de a rendszer még további fejlesztésre vár.

A fejezet elején említett ejtőernyős leszállítási kísérletek is sikeresek voltak, de ezt a leszállítási módot meghagytuk vész-leszállás esetére

## ÖSSZEFOGLALÁS

A fentiekben vázolt fejlesztés eredményeként egy különösebb infrastruktúrát nem igénylő, olcsón üzemeltethető, polgári, katasztrófa-elhárítási, kutatás-mentési feladatokra használható, a mini kategóriába tartozó UAV rendszer prototípusa jött létre. A magas-szintű fedélzeti és vezérlő-központi intelligencia lehetővé teszi a rendszer teljesen automatizált működését, melynek következtében a felhasználók köre sokkal szélesebb lehet, mint más, hasonló rendszereké.

A fejlesztés külön kiemelhető eredménye, hogy valamennyi kritikus eleme hazai fejlesztésű, tehát a rendszer könnyen alakítható a felhasználók speciális igényeinek maximális kielégítésére. A rendszer prototípusa elkészült, jelenleg a tesztelése folyik. Az eredmények figyelembevételével egy egyszerűbben, gazdaságosabban gyártható, s hasonló, vagy jobb paraméterekkel rendelkező piacképes verzió tervezése folyik.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] dr. Molnár András, dr. Vámosy Zoltán: Mobilrobotikai eredmények a NIK-en, A guruló robottól a robotosított repülőig (1. rész), ELEKTRONET, XX. évf. 6. szám. 2011. október, 16-17. old.
- [2] dr. Vámosy Zoltán, dr. Molnár András: Mobilrobotikai eredmények a Neumann János Informatikai karon, A guruló robottól a robotrepülőig (2. rész), ELEKTRONET, XX. évf. 7. szám. 2011. november, 16-17. old.
- [3] Belső Zoltán, dr. Elek Kálmán, dr. Koller István, Mikó Gyula: Magyar fejlesztésű, korszerű kommunikációs rendszer mobil alkalmazásokra (1. rész), ELEKTRONET, XXI. évf. 2. szám. 2012. március, 14-15. old.
- [4] Belső Zoltán, dr. Elek Kálmán, dr. Koller István, Mikó Gyula: Magyar fejlesztésű, korszerű kommunikációs rendszer mobil alkalmazásokra (2. rész), ELEKTRONET, XXI. évf. 3. szám. 2012. április, 17-19. old.