

Veréb Nándor

AZ UAV-K FEDÉLZETÉN ALKALMAZOTT SZENZOROK ÉS EZEK MŰKÖDÉSE

Az UAV¹-k hajózó személyzet nélküli, többször felhasználható légi járművek, melyek táv-, fél-autonóm-, autonóm-, vagy kombinált vezérlésűek [21]. Képesek számos katonai és civil feladat ellátására, különböző típusú hasznos terhek hordozására, melyekkel meghatározott feladatokat hajtanak végre távirányítva, vagy előre programozottan. A haderők feladatai között említhetünk olyan feladatokat, mint például légi felderítés, megfigyelés, valós idejű információszerezés, rendszerek elektromágneses kisugárzásának felderítésére, vegyi- és sugárfelderítő vagy aknamező felderítő feladatok, stb. végrehajtása, földi és légi célok támadása vagy légi célok imitálása. A feladatok sokrétősége indokolta teszi olyan speciális eszközök alkalmazását, amelyek bevetés után, a megfelelő fedélzeti hasznos teher cseréjével az új harc feladat sajátosságainak megfelelően, átfegyverezhető és gyorsan újra bevethető [11]. A pilóta nélküli repülőik ilyen eszközök. A feladatok végrehajtásához a drónoknak, olyan képességekkel kell rendelkezniük, amelyek biztosítják, hogy az adott feladat elvégzéséhez szükséges információk a robotot irányító katona, és/vagy repülés szabályozó rendszer rendelkezésére álljon. A cikkben az UAV eszközök fedélzetén alkalmazott érzékelők működési alapelveinek, felhasználási lehetőségeit példákon keresztül mutatom be.

Kulcsszavak: drón, UAV, szenzor, hasznos teher

BEVEZETÉS

Az elmúlt évszázadban a repüléstudomány jelentős fejlődésen ment keresztül. A repülési magasság és sebesség területén egyre nagyobb rekordokat értek el. Az ilyen rekordok elérése azonban egyre nagyobb terhet ró a pilótákra, mind fizikailag, mind a repülőgép irányításában. Ezen terhek csökkentésére jelentek meg a robotpilóták, melyek idővel egyre több feladat elvégzésére váltak alkalmassá. A technológia, technika fejlődésének köszönhetően megjelentek a pilóta nélküli légi eszközök. Az UAV eszközök felhasználása alapvetően két dologtól függ: magától a repülőeszköztől és a rászertelt hasznos tehertől. A hasznos teher leggyakrabban érzékelővel, vagy érzékelőkkel ellátott információ, adatgyűjtő eszköz, melyet az adott feladat végrehajtására optimalizálják, mint például: optikai-, rádió-, rádió-technikai-, rádiólokációs-, meteorológia-, radiológiai-, kémiai- és biológiai érzékelők [21].

A ROBOTPILÓTA RENDSZEREK ÁLTALÁNOS FELÉPÍTÉSE ÉS MŰKÖDÉSI ELVE

A repülőgépek tervezésének kezdeti szakaszában a kormányzás lényegi elemei a pilóta és a kormányzók közötti kapcsolatot létrehozó mechanikus erőátviteli eszközök voltak. Ezekben az időkben a gép helyzetének meghatározása vizuálisan, beállítása a földi horizonthoz képest manuálisan, vagy egyszerű műszerekkel történt. A repülőgépek fejlődésével a fedélzeti berendezések, köztük a robotpilóták is korszerűsödtek. Napjainkban a repülőeszközök irányítását, szabályozását automatikus sza-

¹ UAV: Unmanned Aerial Vehicle, pilóta nélküli légieszköz(ök)

bályozó rendszerek végzik, amelyek MIMO (Multi input, Multi output) rendszerek, tervezésük, méretezésük, komplex mérnöki feladat. A tervezéssel kapcsolatosan a [12][14][16][19][20] irodalmakban is olvashatunk. Ezek a berendezések a repülőgép mozgásjellemzőit állandó értéken tartják, vagy előírt módon változtatják meg. A repülőgép vezetés automatizálásakor a repülőgép térbeli mozgását leíró jellemzők/paraméterek meghatározása és időbeli változásának megismerése alapvető. A repülő eszközök stabilizálását biztosító vezérlési törvények meghatározása (a kormánylap-kitérítés és az eszköz elmozdulása közti kapcsolat), továbbá a kormányszervek megadott pontosságú és gyorsaságú kitérésének létrehozása a vezérlési törvények szerint kiemelt feladat. Napjaink robotpilótái a stabilitás növelésén túl képesek előre programozott útvonalrepülésre, önálló manőverek végrehajtására, navigálásra, automatikus fel-, leszállásra, a meghatározott, ismert külső zavarok hatásainak csökkentésére (aktív repülésszabályozásra). A robotpilóta vagy inkább integrált repülésirányító rendszer (automatikus repülésszabályozó rendszer) működését különböző mérőadók (érzékelők) biztosítják (bedöntési, bólintási szög és szögsebesség adók, irányadó, túlterhelésadó, magasság-, állásszög adók), amelyek a repülőgép és a kormányszervek helyzete függvényében keletkezett, a mért (érzékelte) jellemzőkkel arányos elektromos jeleket a kidolgozó és végrehajtó berendezés bemenetére juttatják. A repülési parancsok végrehajtása a pilótától függetlenül előre felprogramozott módon, vagy a repülőgép vezető beavatkozásai által létrejött és a kormánygépről érkező jelnek megfelelő kormánykitéréseknek megfelelően megy végbe [1][13][14][17][18][22][23].

AZ UAV-KRÓL ÁLTALÁBAN

Egy UAV repültetéséhez – legyen az manuálisan irányított, vagy navigációs rendszer által előre programozott – nem szükségesek egy pilóta képességei. A katonai eszközök általában rendelkeznek robotpilótával és olyan navigációs rendszerrel, mely képes a magasságot, sebességet automatikusan fenntartani [2].

EGY UAS² FELÉPÍTÉSE [2]

Egy UAS-t alapvetően két fő részre lehet bontani: légi egységre és földi egységre.

Légi egység

Sárkány

A sárkány az UAV azon rendszere, mely magában foglalja az eszköz vázát, a propulziós egységet (hajtómű), a repülésirányító rendszert, és az elektromos energiaellátó rendszert. A hasznos teher szintén a sárkányon helyezkedik el, de ezt önálló alrendszernek tekintjük. A légi eszköz lehet merevszárnyú, vagy rotoros.

Hasznos teher

Az UAV-k létezésének legfőbb oka a hasznos teher szállítása, mely általában a légi eszköz legdrágább alrendszere. A hasznos teher gyakran tartalmaz nappal és éjszaka is használható kamerákat felderítési és megfigyelési feladatok ellátására. A múltban széles körben alkalmaztak

² UAS: Unmanned Aerial System, Pilóta nélküli légi rendszer

az UAV-ken film kamerákat, de mára már ezeket leváltották az elektronikus képgyűjtők és tárolók, ahogyan az élet többi területén is.

A felderítő küldetések végrehajtásához elengedhetetlen hasznos terhek azok a radar szenzorok, melyek mozgó célpont indikátorral (MTI³) és/vagy szintetikus apertúrájú radar (SAR⁴) technológiával vannak felszerelve. A hasznos terhek másik nagy csoportja az elektronikai harc (EW⁵) rendszerek. Ezekbe beletartozik a jelfelderítő és jelzavaró berendezések teljes skálája. Más szenzorokat, – mint például a meteorológiai és kémiai érzékelő berendezések – szintén a hasznos terhek közé soroljuk.

Egyes UAV-k fegyverzettel is rendelkeznek, melyek alkalmazhatók harcban, de vannak olyanok is, melyek robbanóanyaggal felszerelve a célpontba csapódnak. Az UAV-eket adat és kommunikációs továbbítás platformjaként is alkalmazzák, hogy kiterjesszék a rádió-frekvenciás rendszerek hatótávolságát és lefedettségét.

Adatkapcsolat

Az adatkapcsolatok kulcsfontosságú alrendszerei minden UAS-nek. Az adatkapcsolat kétirányú kommunikációt biztosít. Egy néhány kHz adatrátájú vezérlőjel biztosítja a légi eszköz feletti irányítást és parancsokat ad a fedélzeten lévő hasznos tehernek. A válaszjel biztosít egy alacsony adatrátájú csatornát, melyen veszi a parancsokat, és helyzeti információkat ad a légi eszköztől, valamint egy magas adatrátájú (1–10 MHz) csatornát a szenzor adatoknak. Az adatláncot az UAV helyzetének meghatározására is alkalmazhatjuk.

Földi egység

Feladattervező és irányító állomás (MPCS⁶)

Az MPCS az UAV rendszer műveleti irányító központja (OCC⁷), melyben a parancsok, videók és a levegő telemetriai adatai feldolgozásra kerülnek. Ezeket az adatokat általában egy földi állomáson keresztül továbbítják, mely az információs adatlánc földi része.

Indító, leszállító berendezés [21]

Az indítás és leszállítás többféle technikával kivitelezhető kezdve a hagyományos fel- és leszállóhelyekkel egészen a vertikális emelkedést lehetővé tevő rotoros megoldásokig. Egyes UAV-eket kézből indítanak, mintha csak játéksiklókat dobnának el. Kis helyeken hálókat és leköttető eszközöket használnak merevszárnyú gépeknél a landolás elősegítéséhez. A forgószárnyas eszközök előnye, hogy általában nem igényelnek bonyolult leszállító eszközöket.

Földi üzemeltető és üzemeltető állomás (GSE⁸)

Ezek az állomások egyre fontosabbá válnak az UAV rendszerek kifinomult elektronikája és komplex mechanikája miatt. Egy ilyen GSE, teszt és karbantartó felszerelést, pótalkatrészeket, üzemanyag utántöltő-felszerelést, a földi szállításhoz szükséges kezelőeszközöket (ha ember

³ MTI: Moving Target Indicator, mozgó célpont indikátor

⁴ SAR: Synthetic Aperture Radar, szintetikus apertúrájú radar

⁵ EW: Electronic Warfare, elektronikai harc

⁶ MPCS: Mission Planning and Control Station, feladattervező és irányító állomás

⁷ OCC: Operational Control Center, műveleti irányító központ

⁸ GSE: Ground Support Equipment, földi üzemeltető és üzemeltető állomás

által nem mozgatható), és minden felszerelés energiaellátását biztosító generátorokat tartalmazhat. Ezek gyakorta mobilak, ezért az előzőeken felsoroltakon kívül rendelkezniük kell a kezelőszemélyzet igényeit ellátó ruházattal, élelemmel, és egyéb személyes felszereléssel.

SZENZOROK

A szenzorok az automatizálásban az emberi érzékszervek szerepét veszik át, olyan jelátalakítók, amelyek valamilyen fizikai jellemzőt, mennyiséget (pl.: mechanikus, termikus, kémiai, mágneses, stb.) villamos jelekké alakítanak át. A szenzor egyben energia átalakító is, melynek jele továbbítható, erősíthető, szűrhető és feldolgozható [3][15].

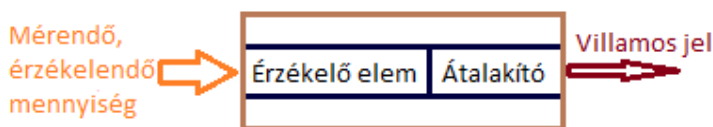
Általános felépítése

A jelek feldolgozásának foka szerint megkülönböztetünk egyszerű, integrált és intelligens szenzorokat. Amennyiben a mérendő mennyiséget nem tudjuk közvetlenül villamos jellé átalakítani, akkor azt először egy úgynevezett tranzit mennyiséggé kell alakítani, majd ezt kell elsődleges villamos mennyiséggé átalakítani. Ezt közvetett mérésnek nevezzük.



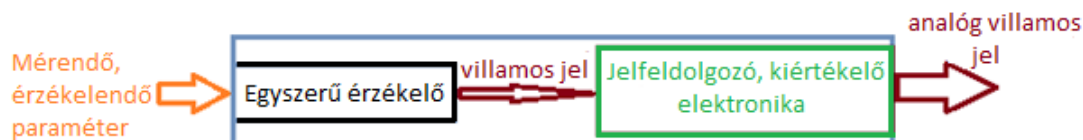
1. ábra Egyszerű érzékelő, „közvetett mérés”⁹

Ha az „Átalakító I.”-re nincsen szükség, akkor lehetőség nyílik a közvetlen mérésre.



2. ábra Egyszerű érzékelő, „közvetlen mérés”¹⁰

Az elsődleges villamos jel feldolgozására egy olyan kiértékelő elektronika szolgál, amely a jel erősítésén kívül ellátja a nullponteltérések kompenzálását; a zavarjelek szűrését; a jel linearizálását; a méréshatár illesztését és a kimenőjel normálását. Ez a 3. ábrán látható integrált érzékelőben valósul meg.



3. ábra Integrált érzékelő¹¹

A jel digitális feldolgozásához az analóg kimenő jelet digitális jellé kell átalakítani, erre a feladatra szolgál egy A/D átalakító. A mikroelektronikai alkatrészek fejlődésével lehetővé vált, hogy a szenzorral közös házba integrálják a digitális kiértékelő egységet is (mikrokontrollert) [3][4][8][15].

⁹ Szerkesztette a szerző (MS Word) [3]

¹⁰ Szerkesztette a szerző (MS Word) [3]

¹¹ Szerkesztette a szerző (MS Word) [3]



4. ábra Intelligens (SMART) érzékelő¹²

A szenzorok csoportosítása

A pilóta nélküli repülőeszközök fedélzetén elhelyezett szenzorokat sokféleképpen csoportosíthatjuk. Feladatuk szerint két részre bonthatjuk őket. Első az UAV működéséhez szükséges szenzorok, melyek a repülési paraméterek meghatározásáért felelősek. A másik csoportot nevezük hasznos tehernek, melyről már korábban írtam.

Működési elvük alapján két nagy csoportba sorolhatók: analóg, illetve digitális szenzorok.

Digitális szenzorok:

- helyzetérzékelők, közelítéskapcsolók;
- nyomáskapcsolók;
- kapcsoló-hőmérők stb...

Analóg szenzorok:

- erő- és nyomatékmérők;
- áramlásmérők;
- hőmérsékletmérők;
- útmérők, hosszmérők, elfordulás érzékelők;
- optikai mennyiségek érzékelői;
- akusztikai mennyiségek érzékelői.

Ezeket túl a különböző szakirodalmak alapján osztályozhatók még mérendő mennyiség szerint, jel megjelenítési formája alapján, kimeneti jel létrehozásában szereplő kölcsönhatások szerint, illetve a működéshez szükséges-e külső energiaforrás.

A mérési feladat elvégzéséhez alkalmas szenzor kiválasztásához tudnunk kell, hogy milyen mennyiséget, milyen méréstományban, milyen pontossággal kell mérni. A velük szemben támasztott követelmények függetlenül attól, hogy milyen csoportba/osztályba tartoznak, a következők:

- a be-, kimenő jel közötti kapcsolat egyértelmű és reprodukálható legyen;
- a kimenőjel csak a bemenőjeltől függjön;
- lineáris kapcsolat legyen a bemenet és a kimenet között;
- a mérőrendszer ne hasson vissza a mért rendszerre;
- érzéketlenség külső zavarokkal szemben;
- a kimenőjel normálható legyen;
- egyszerű tápellátás;
- ellenőrizhető működőképesség.

A továbbiakban a feladataik szerinti csoportosítást szeretném bővebben kifejtetni [3][9][15].

¹² Szerkesztette a szerző (MS Word) [3]

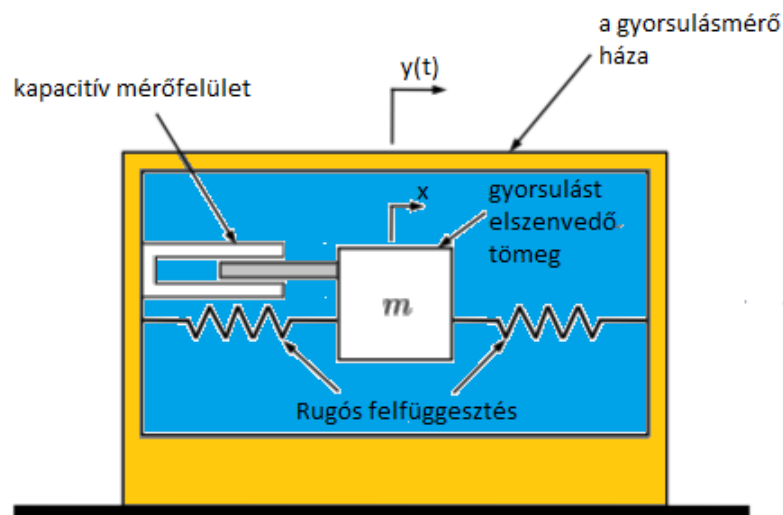
Repülési paramétereket és külső hatásokat érzékelő szenzorok

Fejlődésük során a pilóta nélküli repülőgépek mérete egyre inkább összezsugorodott. Ahogyan méretben egyre kisebbek lettek, úgy csökkent ezzel arányosan a teherbírásuk is. Mivel ezeknél az eszközöknél elsődleges cél, hogy a repülési paraméterek fenntarthatóak legyenek, ezért a robotpilótát kiszolgáló külső hatások és repülési paraméterek érzékelésére szolgáló szenzorok méretét is csökkenteni kellett. A mikroméretű elektromechanikus technológiai eszközök kis fizikai paraméterekkel rendelkeznek, ám ennek ellenére mégis nagyon pontos műszerek. Ezen eszközök miniatürizálása rohamosan fejlődik, ezért a kisebb méretű gépek nagyobb energiaforrást képesek magukkal szállítani, ami nagymértékben növelheti a levegőben tartózkodás idejét. Rengeteg szenzor található az UAV-kon, melyek segítik a robotpilóta működését. Ezek közül legfontosabbak talán azok érzékelők, melyek az irányításban, navigációban és a repülő vezetésének szabályozásában segítenek. Az UAV-kon leggyakrabban a következő szenzorokat használják ezekre a célokra:

- gyorsulásmérők;
- giroszkópok;
- különböző nyomásmérők;
- magnetométerek;
- GPS eszközök.

Gyorsulásmérők

A gyorsulás jelátalakítói, más néven gyorsulásmérők általában olyan elmozdulásra képes súlyok, melyeket több irányból rugókkal támasztanak meg. Amikor a gyorsulásmérő érzékeli a gyorsulást, akkor a rá ható erőnek a hatására, a súly bizonyos mértékben elmozdul a gyorsulás irányával ellenkező irányba.



5. ábra Gyorsulásmérő általános felépítése¹³

Ahogyan az 5. ábrán is látható, a súlyra egy fémrudat helyeztek, ami egy kapacitás két fegyverzete között helyezkedik el. Amikor a gyorsulásmérő kitér, elmozdul a fémrúd is, ezáltal megváltozik a kapacitás két fegyverzete közötti dielektrikum összetétele. Az eszköz ezt a változást

¹³ Szerkesztette a szerző (MS Word) [3]

méri. A repülőeszközöknél általában három gyorsulásmérőt használnak. Ezeket a tömegközéppontban, vagy ahhoz közel helyezik el és az UAV-hez rögzített viszonyítási rendszer tengelyei mentén mérik a gyorsulás mértékét. Egyszerűbben fogalmazva ezek a szenzorok a repülőgép és a gravitációs gyorsulás különbségét mérik. Hogy ezt el tudjuk képzelni, három az 5. ábra felépítésével rendelkező eszközt egymáshoz képest 90° -kal elforgatjuk. Ha a test áll vagy egyenes vonalú egyenletes mozgást végez, akkor az eszközre csak a gravitációs erő hat, ami kimozdítva ideális állapotából egy g -nek megfelelő negatív gyorsulást eredményez rajta. Ezt a tömegre helyezett a rugókban ébredő rugóerőkkel kompenzálják.

Nyomásmérők

A nyomást, mint mennyiséget leggyakrabban a folyadékokkal kapcsolják össze, mely a terület felszínére eső erő nagyságát adja meg. Ebből következik, hogy a nyomás iránya mindig merőleges azon test felületére, amire hat. Ahogyan más repülőeszközöknél, az UAV-knál is képesek vagyunk a nyomás mérésének segítségével meghatározni a repülőeszköz magasságát és sebességét.

Magasságmérés

A magasságot az atmoszférikus nyomás mérésével határozhatjuk meg. Erre a hidrosztatikus egyenletet használják.

$$P_2 - P_1 = \rho g(z_2 - z_1)$$

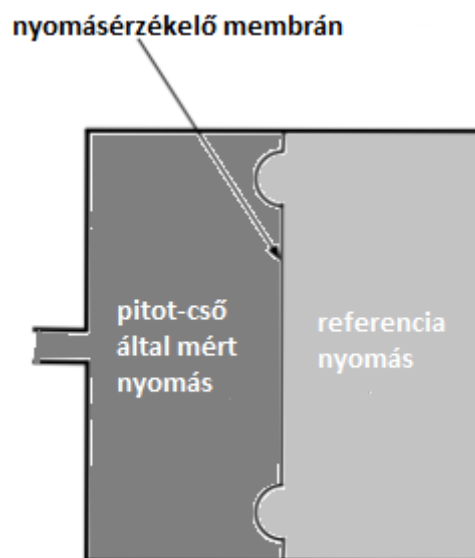
ahol: $P_1; P_2$ – az adott pontokon mért nyomás nagysága;

$z_1; z_2$ – az adott pontok magassága;

g – gravitációs gyorsulás;

ρ – sűrűség.

Mivel minket az UAV aktuális magassága érdekel a földhöz viszonyítva, ezért a felszíni nyomás és a repülőgép pillanatnyi helyzetének magasságához tartozó nyomásérték különbségét keressük.



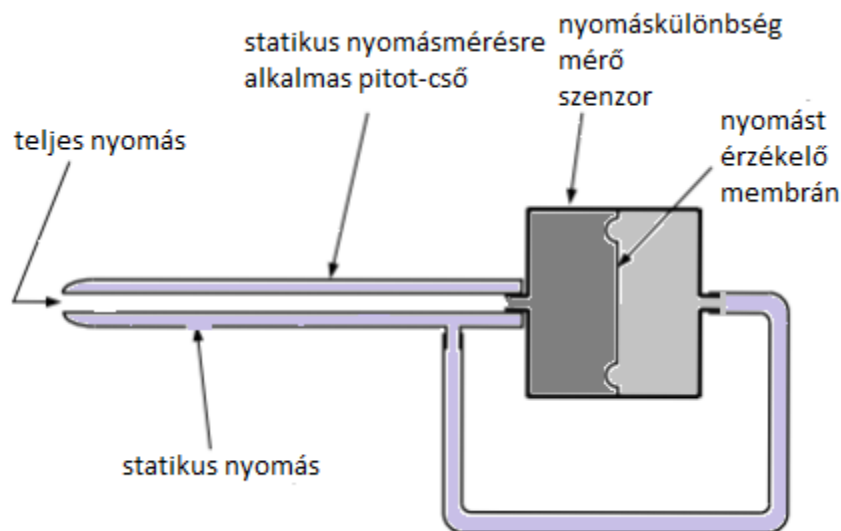
6. ábra A magasságmérés elvi vázlata¹⁴

¹⁴ Szerkesztette a szerző (MS Word) [5]

Ahogy a 6. ábrán látható az érzékelő két részre bontható. A jobb oldali kamrát egy membránnal zárjuk, melyben a referencianyomás található. Ez megegyezik a tengerszinten mérhető nyomás értékével. A bal oldali kamra egyik oldalról nyitott. Ide vezetjük be pitot-cső¹⁵ segítségével az abszolút nyomást. A nyomáskülönbség hatására a membrán alakváltozást szenved. Ezen alakváltozás villamos jellé alakítható át [17][5].

Sebességmérés

A légsebesség mérését a 7. ábrán szereplő módon a pitot-csővön elhelyezett statikus furatok segítségével és a differenciál nyomás meghatározásával lehet végrehajtani. A pitot-csővön két mérési port található: az egyik a teljes nyomás meghatározására szolgál, a másik a statikus nyomást méri. Az áramlás a pitot-cső csúcsán lefékeződik, a nyomás a csúcson nagyobb lesz, mint a környező térben. A statikus nyomás tehát a környezet atmoszférikus nyomása [19].



7. ábra A sebességmérés elvi vázlata¹⁶

A cső két egymástól membránnal elválasztott kamrába vezeti a teljes és a statikus nyomást. Ha a légi eszköz mozgásban van, a nyomásértékek nem egyeznek meg egymással, ennek következtében a membrán valamilyen deformációt, alakváltozást szenved el, melynek nagyságával arányos jelet hoz létre az eszköz.

Digitális iránytűk

Már évszázadok óta használják a Föld mágneses mezejét navigációs feladatok ellátására. A föld mágneses mezeje ugyanúgy viselkedik, mint egy kétpólus által generált mágneses mező. A pólusok kivételével a mágneses irányvonalak mindig Észak felé mutatnak. Ezeket érzékeli az iránytű, és ezek segítségével beáll a mágneses északi irányba.

A föld mágneses mezeje a valóságban háromdimenziós. Felbontható északi, keleti, valamint mindkettőre merőlegesen a föld közepe felé mutató komponensre. A modern digitális iránytűk úgynevezett három tengelyirányba mérő magnetométerek, amik a mágneses mező erejének nagyságát mérik

¹⁵ Pitot-cső: Henri Pitot, olasz születésű francia mérnök találta fel 1732-ben. Fizikáját, illetve matematikai törvényszerűségeit Daniel Bernoulli fogalmazta meg.

¹⁶ Szerkesztette a szerző (MS Word) [5]

egy koordináta rendszer tengelyeinek irányába. Az UAV eszközöknél úgy kalibrálják a mérési tengelyeket, hogy azok pontosan egybeessenek az eszközhöz rögzített koordináta-rendszer tengelyeivel. Egy adott repülési magasságon elegendő mindössze a horizontális tengelyeken való mérések végrehajtása a mágneses északi irány meghatározásához, azonban bedöntés illetve bólintás esetén muszáj a harmadik tengelyirányú mérést is elvégezni a pontos meghatározás érdekében.

A valóságban a magnetométerek és a digitális iránytűk használata gyakorta nehézségekbe ütközik. Ennek legfőbb oka a szenzorok a külső elektromágneses interferenciára való nagyfokú érzékenysége. Mivel minden áram járta vezető és motor maga körül mágneses teret hoz létre, ezért az UAV-kon úgy kell elhelyezni a magnetométereket, hogy a szervók és motorok által gerjesztett elektromágneses tér egyáltalán ne vagy csak minimálisan hasson rájuk.

GPS (Globális Helymeghatározó Rendszer)

A globális helymeghatározó rendszer (GPS) egy műhold alapú navigációs rendszer, ami a felszín vagy annak közelében elhelyezkedő tárgyakról biztosít 3 dimenziós helyzeti információt. Az 1993 óta működő NAVSTAR GPS rendszert az Amerikai Védelmi Minisztérium fejlesztette ki. Az UAV-knél nem lehet eltúlozni GPS adóvevők fejlesztésének fontosságát. Jelenleg is ez a legkritikusabb technológia egy pilóta nélküli légi jármű számára.

A GPS helymeghatározó rendszer alapja, a folyamatosan egy meghatározott magasságban a Föld körül keringő 24 műhold. Ezek pályáját úgy tervezték meg, hogy minimum 4 műhold folyamatosan érzékelje a föld felszínén található bármely pontot. A műhold jelek terjedési idejének folyamatos mérésével (melyet egy érzékelő biztosít) a GPS képes a kívánt tárgy háromdimenziós lokalizálására, melynél a rádió jel terjedésére vonatkozó törvényszerűségeket alkalmazzák. Mivel szinkronizációs hiba léphet fel a referencia órák között (GPS és az érzékelő órái) ezért a valós távolság mellett megjelenik egy álmennyiség, amit a pontos mérés érdekében helyesbíteni vagy szűrni kell.



8. ábra A GPS helymeghatározása¹⁷

Mivel a szinkronizációs hiba az érzékelők és a műholdak között kiküszöbölhetetlen, ezért a távolság mérése mellett három műhold segítségével a háromszögelés módszerével határozzák meg az érzékelő távolságát. A negyedik műhold egy úgynevezett referencia, melynek segítségével

¹⁷ http://www.mobilport.hu/data/cikk/39/10/85/cikk_391085/1.jpg (2016.03.09)

ellenőrzik vissza a pontos távolságot. De miért is kell négy műhold? Egy műhoddal a pont egy egyenes menti helyzete határozható meg. Két műhoddal a síkbeli helyzete, hárommal pedig a térbeli helyzete. A negyedik pedig az órák szinkronizációs hibáit korrigálja, valamint referenciaméréseket végez. Ezeket geometriai egyenletekké alakítva négy lineáris egyenletet kapunk négy ismeretlennel (hosszúság, síkbeli szélesség, a GPS vevő magassága, és a vevő órájának mérési pontatlansága) [5].

Payload szenzorok (hasznos teher) működése [5][10]

Az UAV-k legtöbbször valamilyen információgyűjtő feladatot végeznek. Ezek végrehajtásához szükség van a fedélzeten elhelyezett információgyűjtő berendezés alkalmazására. Rengeteg szenzor alkalmazható egy pilóta nélküli légi járművön. A leggyakoribbak a kamera, infravörös kamera és a radar, de előfordulnak esetenként olyanok, melyek radioaktív sugárzást vagy valamilyen kémiai anyagot érzékelnek [3].

Kamerák (fényérzékelés)

A kamerákban általában két féle fényérzékelőt alkalmaznak: CCD¹⁸, illetve CMOS¹⁹ detektorokat. Ezeknek az a feladata, hogy a fotoelektromos effektus alapján a beérkező fényt elektromos jelekké alakítsák. Ezeket a félvezetős kamerákban alkalmazott szilícium alapú fényérzékelőket megvilágítva a fotodiódákon átfolyó áram nagysága növekszik, melynek hatására a diódákkal sorba kapcsolt kondenzátorok töltése is nő. A külső fénnel arányos töltésváltozások az érzékelő lapkán a kamera objektívje által leképezett képtől függő töltésképet hoznak létre.

Infrakamerák

Az abszolút 0 foknál (-273°C) magasabb hőmérsékletű anyagok mindegyike infravörös sugárzást bocsát ki. Ennek az oka a molekulák mozgása az anyag belsejében. A kisugárzás arányos a test hőmérsékletével, a hőmérséklet pedig a mozgásának intenzitásával. Ez a töltéssel rendelkező részecskék elmozdulásával jár, ezért a test fotonokat bocsát ki magából. A fotonok a fénytörvényei szerint mozognak, azaz kitérítethetők eredeti útjukból, fókuszálhatók. Az infravörös sugárzás hullámhossza kicsi (0,7–1000 mikrométer), emberi szem képes érzékelni azt. A hőkamerákban vanádium-oxidból vagy amorf-szilíciumból készített mikrobolométerekeket alkalmaznak. A hőérzékelő lapon található pixelek az őket érzékelő infravörös sugárzás hatására elektromos ellenállás változást szenvednek el.

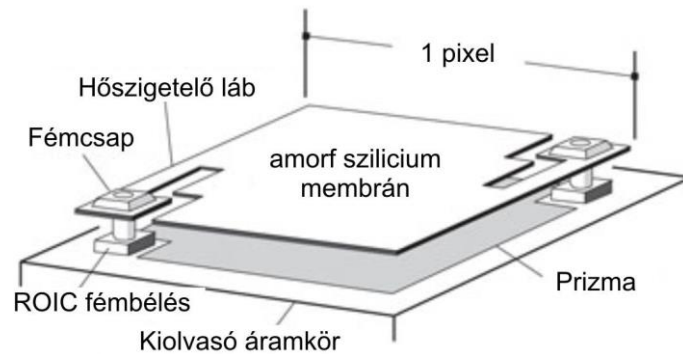
A mikrobolométerek három részre oszthatók: érzékelő membrán, szubsztrát és a két elemet összekötő lábak. A szubsztrátban található a kiolvasó áramkör, amely a mikrobolométer infravörös sugárzás hatására elszenvedett ellenállás változást mérni képes áramkör. Ez a mért jelet a képfeldolgozó áramkör számára alkalmas jellé alakítja. Túlmelegedése esetén a szenzor érzékenysége nagymértékben csökken, ezért a szubsztrát és a membrán között légrés található, mely a kiolvasó elektronika hűtésére szolgál.

A bolométerekek két csoportját különböztethetjük meg: hűtés nélküli és a hűtött. A hűtött eszközöknél a hűtőrendszer integrálva van a detektorba, ami méret és súlybeli növekedést okoz. Emellett hátránya még a hűtés nélküli eszközökkel szemben, hogy nagy az energiafogyasztása

¹⁸ CCD: Charge-Coupled Device, Töltéscsatolt eszköz

¹⁹ CMOS: Complementer Metal Oxide Semiconductor, Fém-oxid szigetelő félvezető

és az előállítási költsége is, ezért az UAV-kra szerelhető hőkamerákban általában hűtés nélküli érzékelőket használnak.



9. ábra Amorf szilícium elemi mikrobolométer érzékelő felépítése²⁰

Szintetikus apertúrájú radarok (SAR)

A katonai felderítésnél elengedhetetlen a nagy területre kiterjedő kiváló felbontású képalkotás. A feladatokat gyakorta éjszaka, vagy rossz időjárási körülmények közt kell végrehajtani, melyre az legalkalmasabb a SAR rendszer. Ezek a radarok a nagy felbontású képkészítéshez rádió jelek nagy hatótávolságú terjedését, valamint a modern digitális elektronika információ feldolgozó képességét használja fel. A SAR rendszerek sokkal megbízhatóbbak más fényképezeti vagy egyéb optikai képalkotó rendszerekkel szemben, hiszen sem a napszak sem a környezeti viszonyok nem zavarják, mert a rádióhullámok terjedésére a fény hiánya és a rossz időjárási körülmények hatása elenyésző.

Ahogy az a 10. ábrán is látható a képalkotás a repülőgépre szerelt SAR rendszereknél merőleges a repülőgép sebességvektorára. Maga a radar kétdimenziós képet hoz létre. Az egyik dimenzió a távolság, ami a radarból kibocsátott és visszaverődött jel megtett útjának a fele. A távolságmérés és a felbontás beállítása az SAR rendszereknek megegyezik legtöbb más radaréval. Tehát méri a jel kibocsátása, és a visszavert jel beérkezése között eltelt időt, és egy egyszerű összefüggés segítségével (mivel a kibocsátott jel terjedési sebessége ismert) a távolság meghatározható:

$$s = \frac{c}{t/2}$$

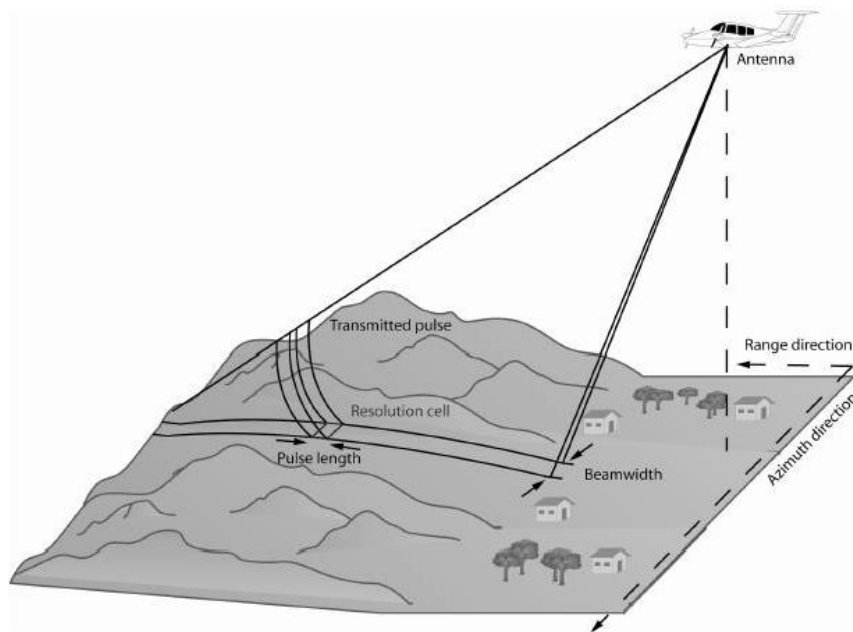
ahol: c – a fénysebesség;

t – pedig a jel kibocsátása és visszavert jel érzékelése között eltelt idő.

A másik dimenzió az irányszög (azimut), ami merőleges a távolságra. Az SAR előnye még, hogy relatíve finom szög felbontást képes előállítani más radarokhoz képest. Ahhoz hogy finom szög felbontást érjünk el, nagy geometriai mérettel rendelkező antennára van szükség, amik a kibocsátott energiát egy kis sugárba képesek összpontosítani. Tehát az optikai rendszerekhez hasonló a működésük, hiszen ott is nagy felületek (tükrök, lencsék) szükségesek a finom felbontáshoz. Mivel ezek a radarok a fény hullámhosszához alacsony frekvenciás jelet sugároznak, ezért a repülőkre hatalmas, több száz méteres vagy annál hosszabb antennákat kellene felszerelni, de mivel a repülőgép mozgásban van és a radar képes ilyenkor a folyamatos jelkibo-

²⁰ http://oktel.hu/wp-content/uploads/2012/11/v_pixel.jpg (2016.03.13)

csátásra, ezért a visszavert jelet úgy érzékeli, mintha egy több száz méteres antennából sugározták volna ki (szintetizált antenna). Azt a távolságot, amíg a repülő szintetizált antennával repül, szintetikus apertúrának nevezzük [5][10].



10. ábra Képkalkotás a repülőgépre szerelt SAR rendszereknél²¹

Néhány példa a payloadként alkalmazott szenzor rendszerekre

T-STAMP Triple Sensor Payload [6]

A T-STAMP egy könnyű, kicsi, elektro-optikai hasznos teher, melyet egy UAV-ra szerelve nappal és éjszaka is végrehajtható taktikai felderítésre terveztek. A STAMP-ek egyetlen mini-atűr kamerarendszerben biztosítják más UAV-k nagyobb payloadjainak képminőségét.



11. ábra Triple Sensor Stabilized Miniature Payload²²

Northrop Grumman TESAR [7]

A Northrop Grumman TESAR szintetikus apertúrájú radar egy minden időjárási körülmények között alkalmazható megfigyelő payload, melynek maximális részletessége 0,3 méter. A TESAR-t leelőször az amerikai légierő Predatorán alkalmazták.

²¹ <http://forsys.cfr.washington.edu/JFSP06/images/sar.jpg> (2016.03.17)

²² http://www.controp.com/files/Profile_pics/T-STAMP.jpg (2016.03.02)



12. ábra Northrop Grumman TESAR²³

ÖSSZEGRZÉS

A cikkben igyekeztem az UAV-k fedélzetén alkalmazott szenzorok fontosságát kiemelni, működési elvek és felhasználási lehetőségek segítségével. A repülésstabilitás és irányítás, illetve feladatok pontos és gyors végrehajtása érdekében elengedhetetlen az érzékelők alkalmazása a légi eszközökön. Az iparág fejlődésével egyre kisebb UAV-k megépítése válik lehetővé, melyeknél fő problémaként a payloadra szánt teherbírás csökkenése jelenhet meg, ám a szintén fejlődő nanotechnológia minden bizonnyal képes lesz megoldást nyújtani erre a problémára.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Szegedi Péter: Repülésszabályozó rendszerek szabályozóinak számítógépes analízise és szintézise, (PhD értekezés), Zrínyi Miklós nemzetvédelmi Egyetem, Katonai Műszaki Doktori Iskola, Budapest, 2005.
- [2] Paul Gerin Fahlstrom, Thomas James Gleason: Introduction to UAV Systems (Fourth Edition) (2016.02.26)
- [3] Szegedi Péter, Békési Bertold: Az UAV-on alkalmazható szenzorok, XIV. Természet-, Műszaki- és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia, Nyugat-magyarországi Egyetem, Szombathely, 2015. pp. 175-182. (ISBN: 978-963-359-053-9)
- [4] Békési Bertold, Koronváry Péter, Szegedi Péter: Terrorism and Airport Security Some Technological Possibilities to Reduce Exposure, Deterioration, Dependability, Diagnostics International conference, University of Defence, Brno, 2015. pp. 279-288. (ISBN: 978-80-7231-431-7)
- [5] Kolláth Gábor, Szegedi Péter: A pilóta nélküli repülőeszközökön alkalmazott szenzorok, Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban, Debrecen, 2015. pp. 331-338. (ISBN: 978-963-7064-32-6)
- [6] CONTROP: T-STAMP (online), url: http://www.controp.com/files/product_web_pdf/t-stamp_web2.pdf (2016.03.22)
- [7] DEFENSE UPDATE INTERNATIONAL ONLINE DEFENSE MAGAZINE: TESAR (online), url: <https://defense-update.com/products/t/tesar.htm> (2016.03.22)
- [8] Forgó Zoltán: Bevezetés a mechatronikába, Műszaki Tudományos Füzetek 6., ERDÉLYI MÚZEUM-EGYESÜLET, Kolozsvár, 2009, ISBN 978-973-8231-80-1; <http://mek.oszk.hu/07300/07377/07377.pdf> (2016.03.16)
- [9] Dr. Pödör bálint: Mikroelektronikai érzékelők I. előadás; http://jano.digitaltrip.hu/data/sandorfalvi/11%20%C3%89rz%C3%A9kel%C5%91k/Forr%C3%A1sanyag/sensor_1.pdf (2016.03.16)
- [10] Y. K. CHAN, V. C. KOO: An Introduction To Synthetic Aperture Radar (SAR); <http://www.jpier.org/PIERB/pierb02/03.07110101.pdf> (2016.03.16)
- [11] Szegedi Péter: A Szojka-III pilóta nélküli repülőgép repülésszabályozó rendszer zavarelhárításának vizsgálata I., Nemzetvédelmi Egyetemi Közlemények 9:(5) pp. 34-45. (2005).
- [12] Békési Bertold, Szegedi Péter: Preliminary Design of Controller of Longitudinal Motion of the Unmanned Aerial Vehicle Using LQR Design Method, Proceedings of the 10th International Conference: Transport Means 2006, Kaunas, Litvánia, 2006. pp. 324-327.

²³ http://defense-update.com/wp-content/uploads/2011/10/Litening_Pod_on_FA-18.jpg (2016.03.02)

- [13] Szabolcsi Róbert, Szegedi Péter: Pilóta nélküli repülőgép számítógépes analízise, Szolnoki Tudományos Közlemények VI: CD. (2002).
- [14] Szabolcsi Róbert, Szegedi Péter: Robustness Stability and Robust Performance of the Automatic Flight Control Systems, Academic and Applied Research in Military Science 1: (2) pp. 253-269. (2002).
- [15] Szegedi Péter, Békési Bertold: Sensors on Board of the Unmanned Aerial Vehicles, Proceedings of 19th International Scientific Conference Transport Means 2015. 781 p. Kaunas, Litvánia, 2015. pp. 219-222.
- [16] Óvári Gyula, Kovács József, Szegedi Péter: Preliminary Design of Controller for the Lateral Motion of an Unmanned Aerial Vehicle, Proceedings of the 10th International Conference: Transport Means 2006. Kaunas, Litvánia, 2006. pp. 328-331.
- [17] Békési Bertold, Szegedi Péter: Analysis of the Basic Signal Tracking Possibilities of an Altitude Stabilizing System, Transport Means 2008. Proceedings of the 12th International Conference. Kaunas, Litvánia, 2008. pp. 103-106.
- [18] Szegedi Péter: A Szojka-III nemirányított repülőgép analízise. Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2005/1. pp. 55-68.
- [19] Szegedi Péter: Szojka-III oldalirányú mozgás szabályzóinak előzetes tervezése pólus áthelyezés módszerrel. Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2005/1. pp. 119-126.
- [20] Szegedi Péter: Szojka-III pilóta nélküli repülőgép repülésszabályozójának tervezése LQR módszerrel. Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2005/1. pp. 87-102.
- [21] Szegedi Péter: Pilóta nélküli repülő eszközök. Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2004/1. pp. 63-77.
- [22] Békési László, Szegedi Péter: Pilóta nélküli repülőgép repülésszabályozó rendszerének frekvencia tartománybeli vizsgálata, Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2006/2. pp. 1-14.
- [23] Szegedi Péter: A pilóta nélküli repüléshez kapcsolódva...: Tanulmány a pilóta nélküli légi járművek működésével és üzemeltetésével kapcsolatban. (Békési Bertold, Szegedi Péter szerk.) Szerzői kiadás, Szolnok, 2016. 80 p. (ISBN: 978-963-12-5224-8), (online), url: https://ludita.uni-nke.hu/repozitorium/bitstream/handle/11410/10148/Tanulmany_Szegedi_P%C3%A9ter.pdf?sequence=2&isAllowed=y (2016.03.30)

UAV SENSORS ON BOARD AND THEIR OPERATION PRINCIPLE

UAVs are unmanned, reusable aerial vehicles, which are remote controlled, semi-autonomously/autonomously operating, or combined. They are capable of executing military and civilian assignments, carrying various payloads to perform certain tasks. The military assignments could be aerial reconnaissance, surveillance, real time information gathering, searching a system's electromagnetic radiation, chemical- and nuclear detection, attacking, ground and air targets, imitating air targets etc. The wide variety of these tasks justifies the application of special vehicles, which after deployment - by changing the payload suiting the new task - can be quickly deployed again. The UAVs fulfill these criteria. To complete their task the drones must have the skills, which supply the information required by the autopilot or the soldier who controls the vehicle. In the article I'll present the operation principle and using capabilities of the sensors equipped on UAVs.

Keywords: drone, UAV, sensor, payload

Veréb Nándor
honvéd tisztjelölt
Nemzeti Közszerződési Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Katonai Repülő Intézet
Fedélzeti Rendszerek Tanszék
verebnandi@gmail.com
orcid.org/0000-0003-3216-3210

Veréb Nándor
Officer candidate
National University of Public Service
Faculty of Military Science and Officer Training
Institute of Military Aviation
Department of Aircraft Onboard Systems
verebnandi@gmail.com
orcid.org/0000-0003-3216-3210



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2016_1/2016-1-09-0323_Vereb_Nandor.pdf