

## FEDÉLZETI INERCIÁLIS ADATGYŰJTŐ RENDSZER ALKALMAZÁSA PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉPEKBEN

### BEVEZETÉS

Magyarországon megszűnt a nagyoroszi (Drégelypalánk) lőtér, a térségben található egyetlen, légvédelmi rakétás éleslövészetre alkalmas hely. Így egyre kisebb szerepet kapnak a modellrepülőgépek a légvédelmi gyakorlatokon, mivel fő szerepüket — lelőhető céltárgy — elvesztették. Az Aero-Target Bt szembe-sült a tényekkel, így valószínűleg a fejlesztések és szolgáltatások iránya is a polgári, készenléti szolgálatok felé tolódik. Ezért egy univerzális irányító rendszer fejlesztését tűztük ki célul, melynek illesztése, hangolása az egyes repülőgép típusainkhoz hosszadalmas és nehézkes. A heurisztikus módszerrel történő hangolás kiváltására, első lépésként meg kell határozni a repülőgép, mint szabályozott szakasz matematikai modelljét! Ehhez szükségünk van egy olyan adatgyűjtő rendszerre, amely a repülőgép térbeli viselkedését és a bemeneti gerjesztő jelet rögzíti az idő függvényében. A repülőgép matematikai modelljének meghatározásához szükségünk van:

- az irányított szakasz bemeneti jelére (kormányfelület szögkitérés);
- az irányított szakasz kimeneti jelére (a repülőgép térbeli helyzete, szögelfordulás);
- a repülőgép térbeli gyorsulása;
- a repülőgép tengelyei körüli elfordulásra.

A megtervezésre kerülő adatgyűjtő egység az adatok utólagos kiértékelésével kalibráltan fogja a fenti adathalmazt szolgáltatni.

### AZ ADATGYŰJTŐ EGYSÉG BEMUTATÁSA

#### A feladat

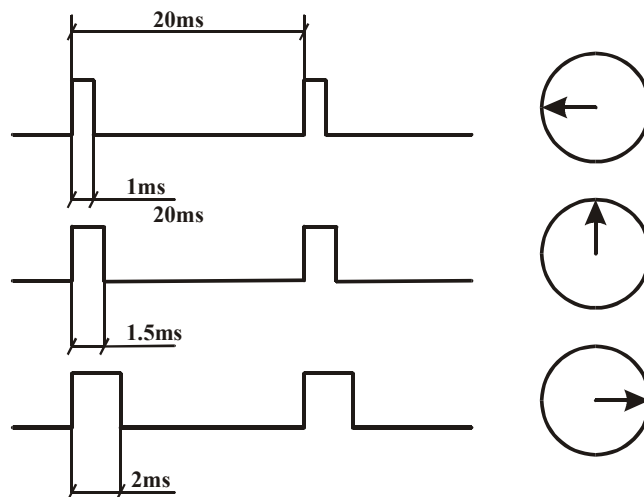
A feladat a repülőgép fedélzetén gyűjtött adatok egyszerű, hordozható adattároló eszközön való rögzítése, amely PC segítségével könnyen kiértékelhető, a szükséges adatok utófeldolgozás után kinyerhetőek. Az adatgyűjtőben nem szükséges az adatok matematikai feldolgozása, az a leszállás után a földön, nyugodt körü-

mények közt történhet. Az adatgyűjtő legalább 1 órányi mérési adatokat tudjon tárolni, a tápfeszültség megszűnte után is. Legyen egyszerűen kezelhető, a telepítése, felhasználása ne igényeljen különleges tudást, ezen kívül álljon ellen a repülőgép erős mechanikai rezgéseinek. Külső rádiófrekvenciás zavarvédelme legyen megfelelő. Kis fogyasztással, alkalmazhatónak kell lennie akkumulátoros üzemben.

Legelőször az adatgyűjtőben alkalmazott elektromechanikus szenzorok kerülnek ismertetésre a cikk következő részében.

## Mechanikus modell szervók

Alacsony költségű vagy modellezők által gyártott pilóta nélküli repülőgépekbe általában kereskedelmi modell szervókat építenek, mivel nagy előnyük az olcsóság, sokrétűség, változatos méret, nyomaték és kivitel. Esetünkben a kormányfelületek kitérítést a szervók végzik így képezve integrált beavatkozó szervet. A gép átviteli függvényének meghatározásához a kormányfelületek szögkitérését szükséges mérni. Az adott bemeneti PWM<sup>1</sup> jelhez tartozó szögkitérését a szervó típusától, tápfeszültségtől, visszatérítő erőtol függően változó időn belül éri el, ezért kell a pillanatnyi szögkitérését mérnünk.



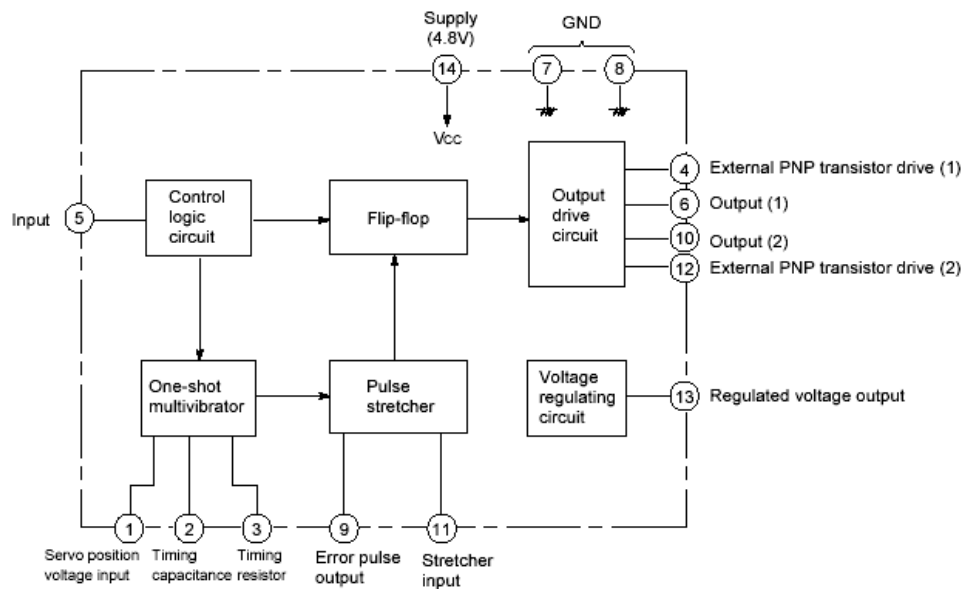
1. ábra. Modell szervó vezérlő jel

A modell szervók egy saját szabályzóval rendelkeznek, a szabványos bemeneti PWM parancs jelnek megfelelően a tengelyüket lineárisan arányos szöggel

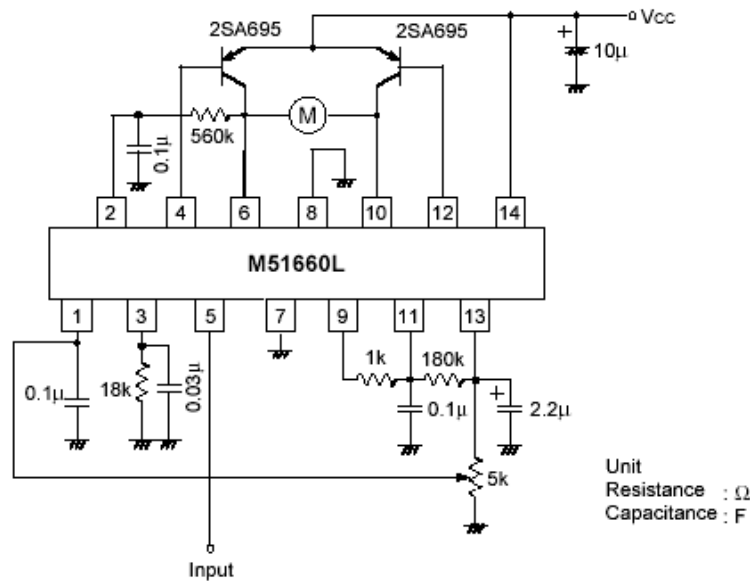
<sup>1</sup> Pulse Width Modulated – Impulzus szélesség modulált

fordítják el. A belső felépítésüket a szabályzó áramkör blokkvázlata alapján érthetjük meg. Többféle integrált áramkört is gyártanak modell szervókhoz, de működési elvük azonos.

Példaként a Mitsubishi gyártmányú M51660L áramkör került kiragadásra. A kormányfelület szöghelyzetének mérése szempontjából, az elfordulást érzékelő potenciométer áramköri szerepe érdekes. A szabályzó a tengellyel mechanikus kapcsolatban lévő potenciométeren lévő feszültséggel arányos szélességű impulzust állít elő. Ez az impulzus kerül összehasonlításra a bemenő parancsjel impulzusszélességével, ha keskenyebb, akkor a motorvezérlő a különbségi impulzust ad a motorra, míg el nem éri a bemenő jel impulzus szélességét. Ha szélesebb, akkor ellenkező polaritású különbségi impulzus kerül a motor bemenetére, míg a tengely a megfelelő pozícióba kerül. A szabályzó áramkör 3,5 V és 7 V közt működő képes, a névleges tápfeszültség 4,8 V. A szögelfordulás jeladó potenciométer, szélső kivezetésére névlegesen 2,45 V-os stabilizált feszültség kerül az IC belső stabilizátorából.



2. ábra M51660L szervó vezérlő integrált áramkör belső felépítése [1]



3. ábra. Modell szervo áramköri felépítése

Így az elfordulással lineárisan arányos 0 V-tól 2,45 V-ig terjedő feszültséget kapunk. Ahhoz, hogy a szögelfordulást tudjuk mérni, a modell szervókat módosítani szükséges, a potenciométer csúszkáját valamint a szervo elektromos földpontját ki kell vezetni. Egy összetett kis méretű repülőgépen általában 8 szervo elégséges, legfeljebb Y kábellel párhuzamosítva vannak. Ez esetben elhanyagolható hibával feltételezhetjük, a kormányfelületek egyszerre mozognak, tehát 8 mérőbemenet elégséges, a szögkitérésének méréséhez. A preparált szervókat célszerű a modellezők által használt gyorscsatlakozókkal ellátni. A mérő áramkör bemenetén célszerű egy aluláteresztő szűrőt alkalmazni, csökkentve a zajt és növelve a zavarvédelmet. A terhelő kapacitása a potenciométer kimenetén nem okoz gondot, mert az időzítő elemei a szabályzónak máshol találhatóak, a csúszka egy feszültség bemenetre csatlakozik. A mérőáramkör bemeneti ellenállását célszerű 100 kΩ-os nagyságrendben megválasztani.

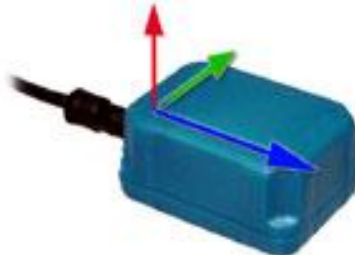
### XSENS inerciális navigációs egység jellemzői

Az XSENS MT9 modult valós idejű, nagy pontosságú térbeli iránymeghatározásra fejlesztették. Ez a modul nem igényel semmilyen külső jelet, takarásmentes kilátást az irány meghatározásához, ezen felül elhanyagolható a mért jelek hőmérséklet függése. Az MT9 igen kis méretű, kompakt egység mely alkalmas mozgáskövetésre például a következő alkalmazásokban:

- mozgáselemzés;

- rehabilitáció;
- ergonómia;
- virtuális valóság;
- sportok;
- inerciális navigáció;
- gépjárműkövetés;
- hajó- és bója navigáció;
- robotika;
- UAV navigáció.

Az MT9-es modul egy digitális mérőegység, amely a 3D-s gyorsulás, mágneses térerősség vektort, és szögsebességet képes mérni.



4. ábra. XSENS MT9 egység

A modul MEMS szenzorokat tartalmaz, a szögelfordulás mérő Analog Devices gyártmányú MEMS<sup>2</sup> giroszkópok adataiból a gyors elfordulás követhető, az ugyancsak Analog Devices gyártmányú gyorsulásmérők és a föld mágneses terét érzékelő mágneses szenzorok biztosítják az abszolút irány referenciát, így használatuk csökkenti a giroszkópok integrális hibáját.

XSENS MT9 iránymérési jellemzői 1. táblázat

Dinamika tartomány	minden térbeli szög
Szögfelbontás	0,05°
Sztatikus pontosság	<1°
Dinamikus pontosság	3° RMS
Bekapcsolási idő	50 ms
Mintavételi frekvencia	100 Hz

A fenti táblázatból látható, hogy a modul szögfelbontása és pontossága kiváló, alkalmassá teszi inerciális navigációs rendszerben való alkalmazásra. A modul alkalmazása során a következő előnyöket biztosítja:

- alacsony fogyasztás;
- kiváló nullpont stabilitás;

<sup>2</sup> Micro Electromechanical Sensor

- ráláthatóság nélküli működés;
- gyors, valós idejű működés;
- kompakt, kis méret, széles felhasználhatóság;
- emberi mozgáskövetésre tervezett;
- digitális szenzor rendszer;
- könnyű integrálhatóság bármely rendszerbe.

XSENS MT9 modul fizikai jellemzői 2. táblázat

Interfész	Soros digitális, RS232C
Tápfeszültség	5,5 V
Áramfelvétel	40 mA
Működési hőmérséklet tartomány	5 °C - 45 °C
Fizikai méretek	39 x 54 x 28 mm
Tömeg	40 g

A fenti táblázatban jól szemlélteti a szenzor fizikai méreteit, ez alapján be-  
látható, hogy kisebb pilótánélküli repülőgép is könnyen hordozhatja a modult

XSENS MT9 abszolút határadatai 3. táblázat

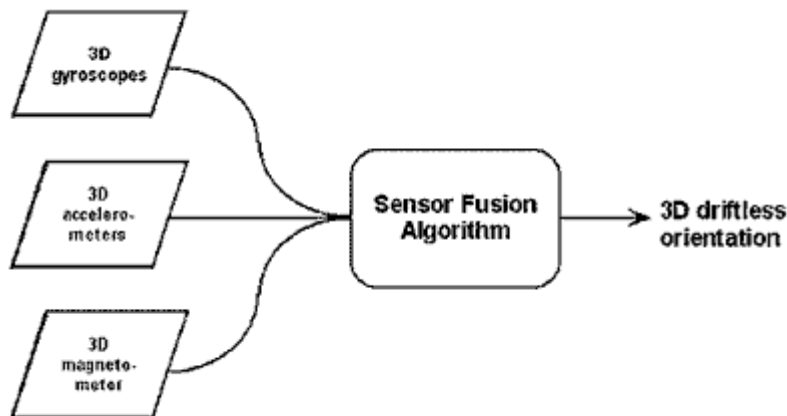
Ütés	5000 m/s <sup>2</sup>
Tápfeszültség	-0,3 V – 12 V
Működési / Tárolási hőmérséklet	-5 °C – +60 °C

Alkalmazás során ügyelni kell, hogy az abszolút határadatokat semmilyen  
körülmények közt sem szabad túllépni, különösen a maximális gyorsulás értéket  
és a tápfeszültség nagyságát. A modult csak stabilizált tápegységről szabad mű-  
ködtetni valamint rugalmas felfüggesztést és habszivacs ágyat kell alkalmazni a  
repülőgépbe való rögzítés során, így csökkentve a károsodás esélyét landoláskor.

XSENS modul szenzor specifikációja 4. táblázat

		<i>Szögsebesség</i>	<i>Gyorsulás</i>	<i>Mágneses mező</i>	<i>Hőmérséklet</i>
<i>Egység</i>		°/s	m/s <sup>2</sup>	mGauss	°C
<i>Dimenzió</i>		3	3	3	-
<i>Méréstartomány</i>	Egység	±900	±20	±750	-55...+125
<i>Linearitás</i>	%	1	0,2	1	<1
<i>Nullpont stabilitás</i>	Egység/°C	15	0,02		
<i>Skálatényező stabilitás</i>	%/°C	0.3	0,02	0,5	-
<i>Zaj</i>	RMS	0.7	0,01	4,5	0,0625
<i>Sávszélesség</i>	Hz	50	10	10	

A fenti táblázat szerint követhetőek a modulban helyet foglaló szenzorok elektromechanikus paraméterei, azok stabilitási adatai.

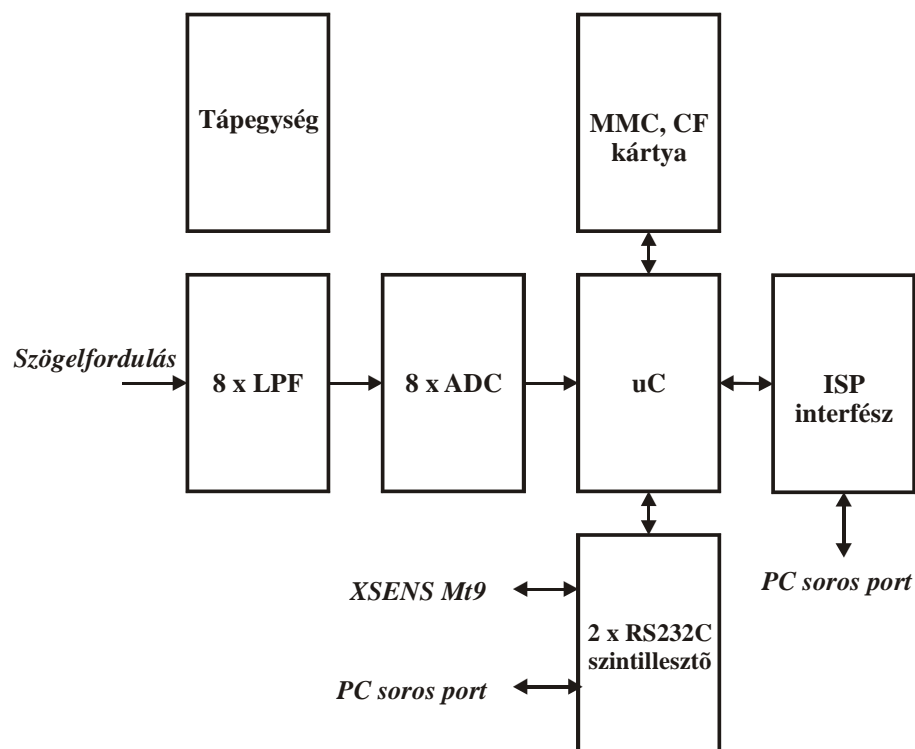


5. ábra. Szenzor fúziós algoritmus

A modul a soros portján keresztül a nyers szenzor adatokat küldi a külvilág felé. A modul PC-hez vagy egyéb számítógéphez csatlakoztatva, egy külső Motion Tracker nevű program dolgozza fel a kalibrálatlan adatokat. A gyári kalibrációs fájl segítségével, a szenzor fúziós algoritmussal 3D-s quaternion / Euler szögelfordulási adatok, 3D-s gyorsulási, 3D-s szögsebességi és 3D-s mágneses adatok nyerhetőek valós időben a modulból. A program képes előzőleg rögzített nyers szenzor adatok feldolgozására is. A szenzor fúziós algoritmus megvalósítása PC-n a legegyszerűbb, a gyári függvény könyvtárakkal, de költséghatékonyabb mikro-vezérlővel a nyers szenzor adatokat rögzíteni, és utána kiértékelni a PC-s programmal. Ezzel a megoldással egyéb adatok is rögzíthetőek [2].

### Az inerciális adatgyűjtő rendszer

Az adatgyűjtő egység egy ATMEL ATMEGA128-as processzorra épül, ami vezérli a MT9-es modult és kiolvassa soros porton keresztül 115 200 Bd/s-os sebességgel, másodpercenként 100-szor az inerciális adatokat. Az egység nyolc darab tízbites analóg-digitális átalakítót tartalmaz belső referenciával, mindegyik bemeneten aluláteresztő szűrő és túlfeszültség védő áramkör kombinációjával. E bemenetekre csatlakoznak az átalakított szervók, mint szögelfordulás jeladók a 0 V és 2,5 V közti kimeneti feszültségükkel. A szervók csatlakozására szabványos modellező gyorscsatlakozókat kerülnek alkalmazásra.



6. ábra Az adatgyűjtő rendszer blokkvázlata

Az adatokhoz a mikro-vezérlő belső rendszeridejéből képzett időbélyeg kerül hozzárendelésre. A mikro-vezérlő természetesen kvarc stabil időalappal rendelkezik. Az adatokat mentése a digitális fényképezőgépekben alkalmazott néhány MByte-os kapacitású MMC<sup>3</sup> vagy CF<sup>4</sup> kártyára történik FAT 16-os PC kompatibilis fájl rendszerben. Az adatok egyszerű USB<sup>5</sup> portra köthető kártyaolvasóval vagy az adatgyűjtő soros portján keresztül PC-re menthetőek. Az egység második portja ezen kívül beállítási funkciókat is szolgál. A berendezés széles bemeneti feszültségtartományú kapcsolóüzemű tápegységet tartalmaz, lehetővé téve az akkumulátoros üzemet.

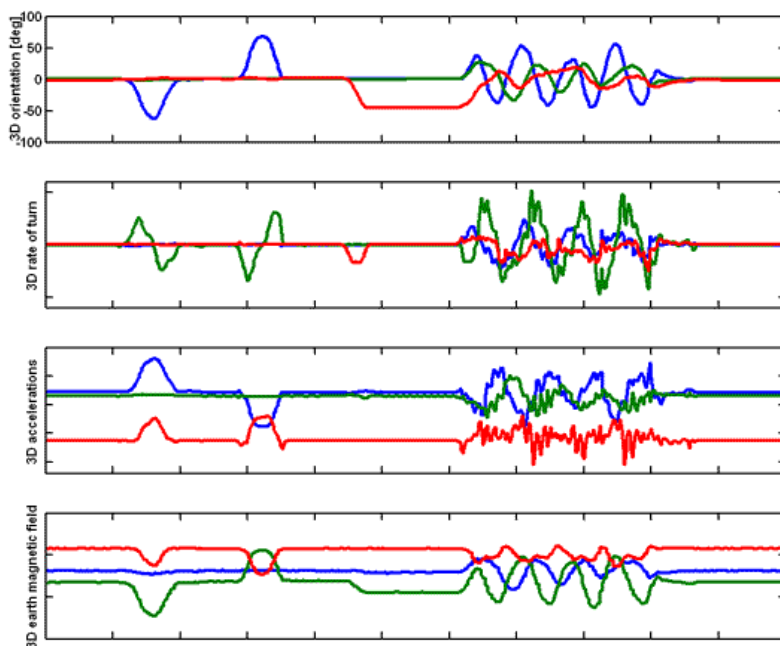
## Várható eredmények

A berendezést egy berepült és stabilan működő repülőgépre lesz elhelyezve, a számunkra érdekes és a robot által használt kormányfelületek szervoinak jeleit gyűjtve.

<sup>3</sup> Multimedia Card – Multimédia Kártya

<sup>4</sup> Compact Flash Card – Kompakt Flash Kártya.

<sup>5</sup> Universal Serial Bus – Univerzális Soros Busz



5. ábra. Minta irány, gyorsulás, elfordulás, mágneses tér időfüggvények [3]

Az adatgyűjtő és az inerciális szenzor fizikailag elkülönült egységet képez, de a repülőgépben egy jó mechanikus rezgéscsillapítású habanyagból készült bölcsőben fekszenek. A repülőgép irányítása normál modellezők által használt távirányítóval történik az Aero-Target Bt pilótája által. A pilóta egy kormányfelületet, például az oldalkormányt adott előre meghatározott szöggel kitéríti, az adatgyűjtő eközben a repülő és a kormányszervek viselkedését rögzíti. Az adatok PC-n történő feldolgozása után a fenti ábrához hasonló térbeli irány, gyorsulás, elfordulás, mágneses tér időfüggvények sorokat fogunk kapni. Ezek és az adott kormányfelület kitérés időfüggvénye alapján a repülőgép identifikációja elvégezhető.

## ÖSSZEGZÉS

Az ismertetésre került adatgyűjtő kifejlesztése és alkalmazása esetén, lehetővé teszi a pilótánélküli repülőgépek gyors identifikációját, így meggyorsítva a megfelelő minőségi paraméterekkel rendelkező szabályzó tervezését a tesztelt géphez. Az Aero-Target Bt sokrétű pilóta nélküli repülőgép parkkal rendelkezik, ezért nagy segítséget jelent ez a módszer a repülőgép fedélzeti szabályzóinak

behangolásához. A szimuláció eredményeképpen nyert szabályzó minőségi paramétereinek ellenőrzéséhez is kiváló eszköz az inerciális adatgyűjtő. Az ellenőrzés során, ha a szabályzó nem felel meg az előre lefektetett specifikációnak, akkor a matematikai modell pontosításával és új szabályzó tervezésével, elérhetjük a kívánt eredményt. Tehát nélkülözhetetlen eszköz UAV-k fedélzeti szabályzó rendszereinek tervezéséhez, behangolásához.

#### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] Mitsubishi, M51660L, Servo Motor Control For Radio Control, Datasheet.
- [2] Xsens, MT9 and MT6 Technical Documentation, February 21, 2003.
- [3] [www.xsens.com](http://www.xsens.com), 2004-07-05 19:46