



Gőzse István¹

AUTOMATIKUS KISMÉRETŰ KOAXIÁLIS HELIKOPTER FEDÉLZETI ELEKTRONIKÁJÁNAK FEJLESZTÉSE²

A cikk egy vezető nélküli helikopterekkel foglalkozó kísérleti platform egyik elemét - magát a helikoptert - tárgyalja részletesen, ezen tesztrendszer eredeti rendeltetése, hogy megvalósítson kooperatív szabályozást vezető nélküli helikopterekkel. A fő motivációja ilyen berendezések kiépítésének, hogy az automatikus vezetőnélküli járművekhez alkalmazott szabályzási algoritmusok fejlesztéséhez szükséges, hogy ezen algoritmusok a valós életben is tesztelhetőek legyenek. A valós körülményeket célszerűen kiépített, olcsóbb laboratóriumi platformokon érdemes szimulálni. Önmagában a tárgyalt kísérleti tesztrendszer nagyon sok elemet tartalmaz (pozícionáló rendszer, kommunikációs hálózat, központi számítógép, stb.). A cikk vázlatosan bemutatja a teljes rendszert, majd részletesen kitér magára a koaxiális helikopter fedélzeti elektronikájára.

DEVELOPMENT OF THE ON-BOARD ELECTRONICS OF A SMALL AUTONOMOUS COAXIAL HELICOPTER

The paper aims to present a key element of a test platform, the main objective of which is the cooperative control of small coaxial helicopter models. This key element is the coaxial helicopter itself. The main motivation of the development of autonomous aerial vehicle test platform is that the control algorithms of the vehicles have to be tested in real life and a cheap safe test environment seems to be a practical choice for that task. The discussed test platform contains several elements e.g. a positioning system, communication links, a ground station computer etc. The paper gives an overview on the whole test system and after that the detailed description of the on-board electronics is presented.

BEVEZETÉS

Az automatikus járművek kutatása egyre nagyobb és nagyobb figyelmet kap. Rengeteg kutatóközpont foglalkozik légi, földi, vízi és víz alatti vezető nélküli járművek fejlesztésével, a téma fontosságát jelzi, hogy az ezzel kapcsolatos publikációk száma megsokszorozódott az elmúlt néhány évtizedben. A cikk egy vezető nélküli helikopterekkel foglalkozó kísérleti platform egyik elemét - magát a helikoptert- tárgyalja részletesen, ezen tesztrendszer eredeti rendeltetése, hogy megvalósítson kooperatív szabályzását vezető nélküli helikopterekkel.

Alapvető motivációja a kisméretű vezető nélküli légi járművek (UAV) fejlesztésének, hogy rengeteg felderítő feladatra alkalmasam, melyek adott esetben egy ember számára veszélyes, vagy lehetetlen volna. Ilyen feladat lehet például mobil ideiglenes biztonsági kamerák alkalmazása, az UAV fedélzetén elhelyezett kamera képes megfigyelni olyan helyeket ahol nincs telepített biztonsági kamera rendszer például egy nagyobb tömegrendezvényen. További felhasználási terület

¹ MTA SZTAKI Rendszer és Irányításelméleti Kutatólaboratórium email: gozse@sztaki.hu

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

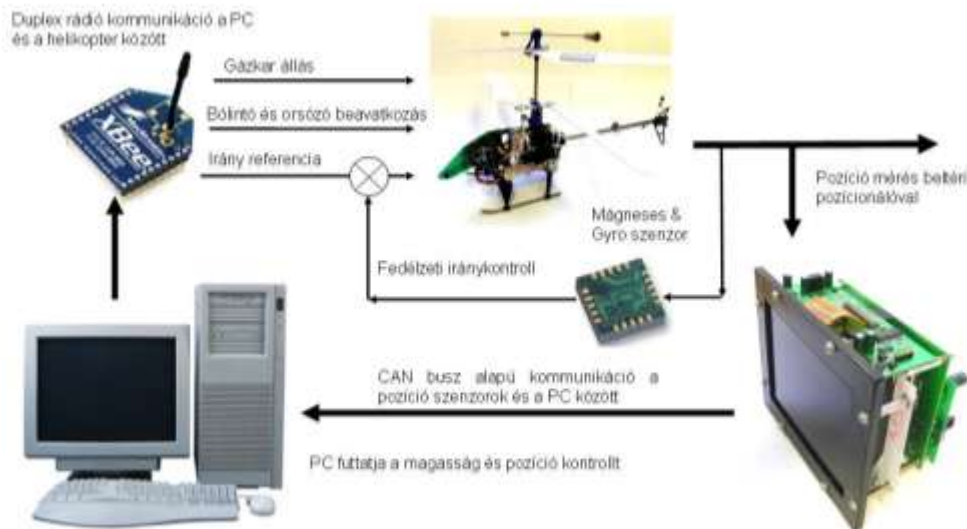
lehet keresési mentési feladatok ellátása. A kisméretű vezetől nélküli helikopterek képesek lehetnek földrengéskor megrongálódott házak belsejében felkutatni az esetleges túlélőket, vagy ehhez hasonló feladat, hogy még felfedezetlen barlangjáratok feltérképezésében is alkalmazhatóak. Esetleg veszélyes ipari környezetben (Pl.:atomerőmű) belsejében történő megfigyelések esetén is bevethetőek. Természetesen ezen felül a katonai felhasználás is megemlíthető[2].

A fő motivációja egy teljes (kisméretű) helikopter teszrendszer kiépítésének, hogy az automatikus vezetől nélküli járművekhez alkalmazott szabályzási algoritmusok fejlesztéséhez szükséges, hogy ezen algoritmusok a valós életben is tesztelhetőek legyenek. A valós körülményeket célszerűen kiépített, olcsóbb laboratóriumi platformokon érdemes szimulálni. Az így gyűjtött tapasztalatok nagyban hozzájárulhatnak a tényleges alkalmazások kifejlesztéséhez.

Önmagában a tárgyalt kísérleti teszrendszer nagyon sok elemet tartalmaz (pozicionáló rendszer, kommunikációs hálózat, központi számítógép, stb.), melyekről a következőkben egy rövid áttekintésre kerül sor.

A TELJES RENDSZER ÁLTALÁNOS BEMUTATÁSA

Egy szabályzási algoritmusokat tesztelő berendezés azon túl, hogy tartalmazza a szabályozni kívánt objektumot elengedhetetlen része a megfelelő mérő és beavatkozó szervek, kontroll algoritmust futtató eszköz, valamint nem elhanyagolható feladat hárul az egyes jeleket továbbító kommunikációs rendszerre. A teljes rendszer vázlatát az 1. ábra mutatja:



1. ábra teljes rendszer általános struktúrája

A következőkben sorra röviden bemutatásra kerülnek az egyes elemei a rendszernek.

Helikopter

Jelen esetben a szabályozni kívánt objektum, ahogy az fentebb említésre került egy koaxiális modell helikopter. A helikopter típusa Walkera 5#10, mely egy beltéri reptetésre szánt modell 340 mm-es rotorátmérővel és 200 g körüli felszálló tömeggel rendelkezik. A helikopter kiválasztása egy nagyon lényeges pontja volt a teljes rendszer kiépítésének. Természetesen túl kicsiny helikopter esetén a fedélzetre kerülő plusz elektronika nem fért volna el, túl nagy helikopter pedig csak kültérben lenne tesztelhető. Fontos szempont volt továbbá, hogy miért koaxiális kialakítású modellre esett a választás, ennek fő oka, hogy elsodródásra kevésbé hajlamos, mint az egyrotoros helikopterek vagy a quadrotorok [3], ezt a tulajdonságát kombinálva egy megfelelő függőleges tengely körüli stabilizáló szabályzóval a fejlesztést nagyban megkönnyíthető. További szempont volt, hogy a választandó helikopter minden alkatrésze pótolható legyen. Természetesen a tesztelések kezdeti szakaszában várhatóak sérülések ezért az alkatrészek pótolhatósága alapvetően fontos.

Rendszer központi számítógépe

Mivel a teljes rendszer célja szabályzási algoritmusok tesztelése, ezért a szükséges számítások elvégzésére egy PC került alkalmazásra. A szabályzási algoritmusokat a központi számítógép futtatja ennek az az előnye, hogy nagyon hatékony fejlesztőeszközök állnak a rendelkezésre PC-s környezetben. Természetesen a hátránya hogy későbbiekben az algoritmusokat a fedélzeti mikrovezérlőn is implementálni kell, azonban ha a célunk, az hogy az egyes szabályzási módszereket vizsgáljuk akkor ennek nincs jelentősége.

Pozicionáló rendszer

A pozicionálásra képmegjelenítő elvet alkalmazó rendszer került beépítésre. Az előnye, hogy nagy megbízhatósággal képes a helikopteren elhelyezett LED markert felismerni. Valamint elérhető áron megépíthető.

Kommunikációs berendezések

A pozicionáló rendszer a központi számítógéppel CAN buszon keresztül csatlakozik. A CAN busz alkalmazását indokolhatja, hogy nagy megbízhatóság mellett képes üzemelni, így szabályzáshoz elengedhetetlen pozíció adatok várhatóan rendelkezésre állnak. Kétségtelen hátránya, hogy a nagyobb mennyiségű adatok gyors átvitelére nem alkalmas, így például a pozicionáló rendszer alacsony szintű mérései nem vihetők át a központi számítógépbe. Hátrányként említhető még, hogy az adatok megérkezési ideje kérdéses az arbitrációs folyamat miatt. Mindezek ellenére a könnyű kezelhetősége és a megbízható működése miatt a feladatát jól ellátja.

A helikopter és a központi számítógép közötti kommunikációt XBEE modulok valósítják meg. Ez a 2,4 GHz –es nyílt sávot alkalmazó eszköz nagyban megkönnyíti a fejlesztést, mivel a forgalmazandó adatok mennyiségéhez képest viszonylag gyors kommunikációt tesz lehetővé, valamint egyszerű soros vonalon lehet magával az XBEE eszközzel kommunikálni.

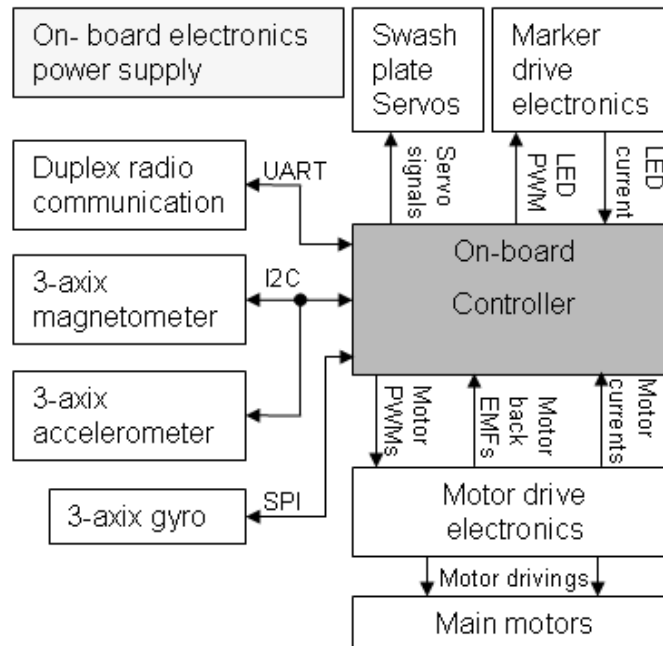
Az így összeállított kommunikációs rendszer alkalmas automatikus helikopterrel való kísérletek elvégzésére. A következő szakaszban a helikopteren megvalósított fedélzeti elektronika kerül bemutatásra.

Fedélzeti elektronika

A fedélzeti elektronika célja hogy az eredeti elektronika minden elektronikus elemét kiváltsa így biztosítva teljes hozzáférést a beavatkozó szervekhez, vagyis a rotorokat forgató motorokhoz és az imbolygó tárcsát mozgató szervó motorokhoz, valamint az automatikus repüléshez szükséges szenzorokat is tartalmaznia kell. A következőkben a fedélzeten elhelyezett az automatikus repüléshez szükséges mérő és beavatkozó szervek bemutatására kerül sor, melyek:

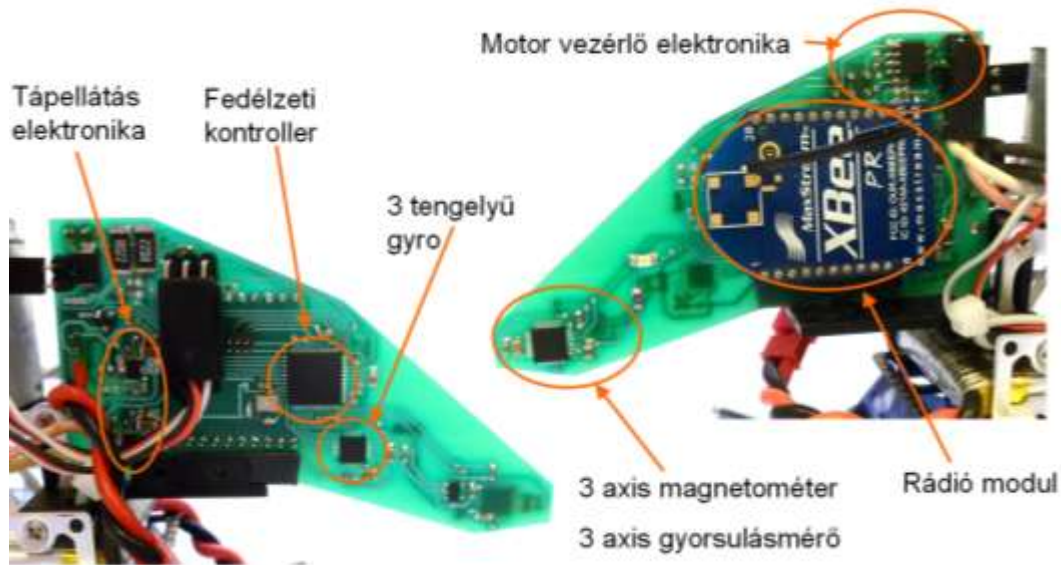
- 3 tengelyű magnetométer;
- 3 tengelyű gyorsulásmérő;
- 3 tengelyű giroszkóp;
- fő motorokat meghajtó teljesítményelektronika;
- a fő motorok szenzorrendszere;
- fedélzeti mikrokontroller;
- tápellátás áramkörök;
- pozicionáló rendszerhez szükséges LED-meghajtó áramkör;

Mindezen egységeket egy olyan elektronikai panelen kellett realizálni, aminek méret és súlykorlátja van, tekintve, hogy a felhasznált helikopter nem képes a saját, eredeti elektronikájánál lényegesen nehezebb terhek felemelésére. Tekintsük a fedélzeti elektronika egyszerűsített blokkvázlatát:



2. ábra fedélzeti elektronika blokkvázlata

A blokkvázlat segítségével átláthatóvá válik az egyes egységek szerepe és kapcsolata. A teljes rendszer központi eleme a fedélzeti mikrovezérlő, amelyhez kapcsolódnak a szenzorok és a beavatkozók, minden további művelet szoftveresen hajtódik végre. Ez az elrendezés általános, nagy előnye hogy a szoftveren múlik a működés, ami rendkívül rugalmassá teszi a fejlesztést. A következő ábrán az elkészült és beszerelt elektronika látható, valamint minden részegység bejelölésre került.



3. ábra Az elkészült fedélzeti elektronika

Fedélzeti mikrokontroller

A szenzorok adatainak begyűjtését az irányító jelek fogadását és a beavatkozó szervek kezelését végzi. Kiválasztásának főbb szempontjai: kis lábszámú tokozásban elérhető legyen, megfelelő számítási kapacitással rendelkezzen, tartalmazza azokat a kommunikációs perifériákat, amik a szenzorokhoz és az aktuátorokhoz illeszkednek. A választott kontroller egy dsPIC33FJ128MC804 –I/ML [5]. A mikrovezérlő számítási kapacitását megbecsülhetjük onnan, hogy 40 MIPS művelet elvégzési sebességgel rendelkezik, ez várhatóan a további fejlesztések során is elegendőnek bizonyul, főleg ha figyelembe vesszük, hogy rendelkezik egy beépített Signal Processing Engine-el ami a szenzorjelek digitális szűrését nagyban meggyorsítja. A méretei szintén alkalmasak a feladatra hiszen a használt QFN tokozás mindösszesen 8x8 mm-es. A rajta lévő perifériák száma a lábszámhoz képest meglehetősen nagy képes kiszolgálni minden a rendszerben megtalálható eszközt. Külön előnyt jelent, hogy rendelkezik az ún. peripheral remapping tulajdonsággal, ami a NYÁK tervezését nagyban megkönnyíti, azonban a könnyű tervezhetőségnél sokkal fontosabb, hogy ezáltal a végleges NYÁK mérete csökkenthető mivel nincs szükség az összeköttetések lábkiosztáshoz való hozzáigazítására.

3 tengelyű magnetométer, 3 tengelyű gyorsulásmérő, 3 tengelyű giroszkóp

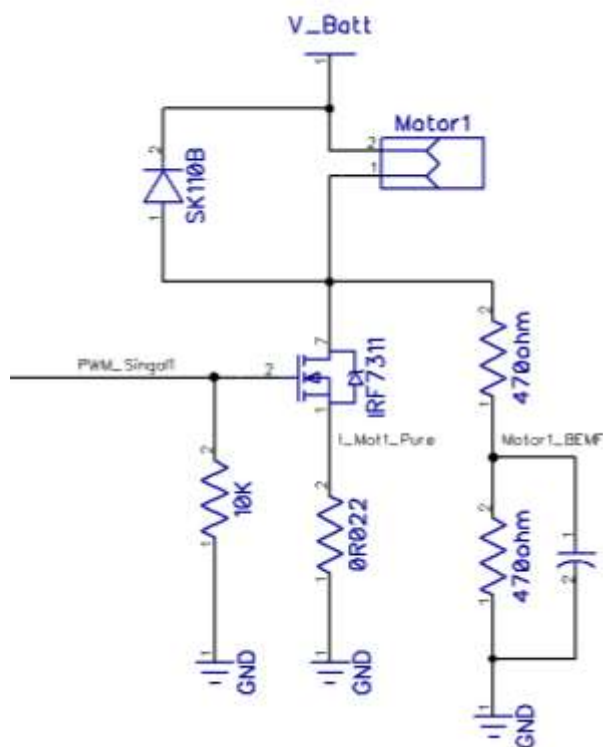
Természetesen az automatikus repüléshez elengedhetetlen a megfelelő inerciális mérőrendszer. Mivel a méret jelen esetben rendkívül kritikus ezért célszerűen az elérhető legkompaktabb szen-

zorokat kell használni. Jelenleg az inerciális érzékelők óriási ütemben fejlődnek és lényegében ez a gyors fejlődés tette lehetővé, hogy ilyen kis méretben realizálni tudjunk inerciális mérő egységet. A tervezés fázisában az elérhető legkisebb megoldásnak a LSM303DLM [6] és L3G4200D [7] STMicroelectronics által gyártott szenzorok együttese kínálta. Az LSM303DLM egy tokba integrált 3 tengelyű magnetométer és 3 tengelyű gyorsulásmérő, ami nagyban csökkenti a helyigényt, mivel ez a 6 szabadságfokú szenzor csupán 5x5 mm. Digitális I2C buszon kommunikál és belső regiszterei révén nagymértékben konfigurálható, ideális kisméretű eszközökre. Az L3G4200D egy digitális kimenettel rendelkező 3 tengelyű giroszkóp rendkívül kicsiny tokozásban mindössze 4x4 mm, szintén rendelkezik belső regiszterekkel, melyekkel a működési módja megválasztható.

Ezen két szenzor kombinációja minden szükséges inerciális mérést képes elvégezni.

Fő motorokat meghajtó teljesítményelektronika és a fő motorok szenzorrendszere

A rotorokat meghajtó motorok kefések egyenáramú motorok tehát szükséges teljesítmény elektronika viszonylag egyszerűen kivitelezhető (4. ábra).



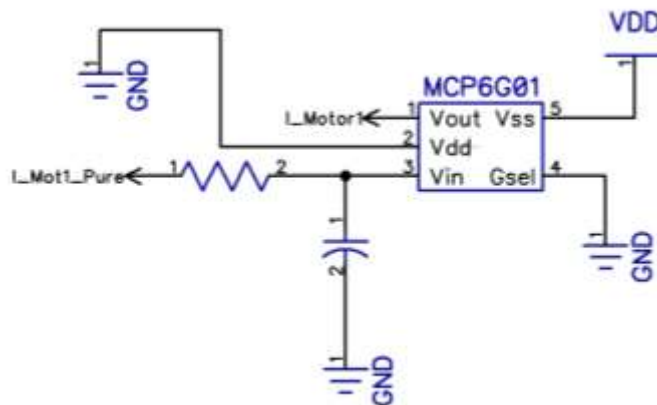
4. ábra fő motorokat meghajtó teljesítményelektronika

A Motor1 csatlakozóra kötött motort az IRF7311[8] jelű dual MOSFET egyik tranzisztora vezérli. A vezérlést a mikrokontrollerből jövő impulzus szélesség modulált jel határozza meg. Természetesen a motorral párhuzamosan egy SK110B[9] védő dióda került beszerelésre, ami a tranzisztort védi a túlfeszültségtől. Még egy fontos biztonsági eleme a meghajtó elektronikának a FET gate-jére

kötött lehúzó ellenállás. A 10 K Ω -os ellenállás bekapcsoláskor zárt állapotba tartja tranzisztort egészen addig, amíg a mikrovezérlő inicializálja a motor meghajtására használt perifériáját.

Lényegében a motor megforgatásához és vezérléséhez elegendő lenne a fentebb említett néhány alkatrész, azonban ahhoz, hogy a motor egyes jellemzőit mérni tudjuk további elemek felhasználása szükséges. A motor fordulatszámaival arányos jellemző az un. BEMF feszültség melynek mérésére az impulzusszélesség modulált vezérlő jel kikapcsolt állapotában van lehetőség. Tekintve, hogy a motorok a nyers akkumulátor feszültségről üzemelnek a mikrokontrollerbe visszavezetett analóg MOTOR_BEMF jel előállítására egy 470-470 Ω -os ellenállás osztó került alkalmazásra, illetve még egy szűrő kondenzátor. A motor fordulatszámának mérése fontos lehet, hiszen a motorok fordulatszámának ismerete a rotorok fordulatszámának ismeretét is jelenti.

További fontos jellemző a motorok által leadott nyomaték mivel a koaxiális helikopterek a két rotor nyomatékegyensúlyának segítségével tartják az irányukat. Az egyenáramú kefések motorok által leadott nyomaték arányos a rajtuk átfolyó árammal. Az átfolyó áram mérésére nagyon sok megoldás létezik, azonban jelen esetben aligha jöhet szóba más, mint a söntellenállásos mérési elv, mivel ennek a legkisebb a helyigénye. A választott ellenállás 0.022 Ω és a várható legnagyobb áramerősség kb. 6 A. Tekintve, hogy a nagy söntellenállás csökkenti a repülési időt ezért a lehető legkisebb értéket érdemes választani, amin üzemi körülmények között eső feszültség még nagy erősítés alkalmazását nem igényli. Az üzemi áram 3 A körül mozog tehát tízszeres erősítést alkalmazva 0.66 V-os hasznos jelet lehet előállítani, ami egy 12 bites 3,3 V-os tápról működő A/D átalakítót feltételezve kb. 800 egységnyi felbontást eredményez, tehát feltételezhetjük, hogy a teljes üzemi tartományt 9 bit felbontással le tudjuk fedni, ami kielégítő pontosság. Az erősítő áramkör egy választható erősítésű erősítő, melynek típusa MCP6G01[10] tízszeres erősítésre konfigurálva. Az erősítő áramkör:



5. ábra erősítő fokozat motorok áram méréséhez

Az I_Mot1_Pure a motor felől érkező nyers analóg jel, ami először egy RC-szűrőn halad át, majd utána kerül felerősítésre.

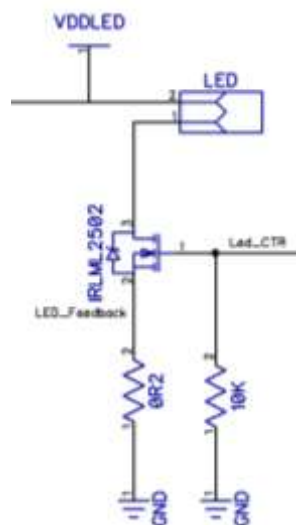
Pozícionáló rendszerhez szükséges LED meghajtó áramkör

A képmegjelenítő elven működő pozícionáló rendszerhez szükséges egy nagyteljesítményű megadott frekvencián (kb. 10 kHz) villogó LED, amely maga a marker, amit a pozícionáló rendszer képes detektálni. A villogásra további megkötés hogy 50%-os kitöltési tényezővel rendelkezzen. A probléma a nagyteljesítményű LED meghajtásával, hogy ahhoz hogy megfelelően működjenek a rajtuk átfolyó áramot szabályozott módon kell adott értéken tartani különben a LED élettartama jelentősen lecsökkenhet vagy akár azonnal tönkre is mehet.

Kézenfekvő megoldás hogy a LED a nyers tápról kapja a táplálást és impulzus szélesség modulált meghajtást alkalmazunk ahol a szélességet úgy állítjuk be, hogy a bekapcsolt állapotban mérhető áram a teljes periódus idejére nézve átlagosan a megkívánt áram értéket eredményezze. Mivel a frekvencia elegendően nagy így az átmeneti túláram nem okoz problémát. Az így kialakított áramszabályozott rendszer azonban nem biztosít 50%-os kitöltési tényezőt.

A probléma megoldása lehet, hogy a LED-et nem a nyers tápról működtetjük hanem stabilizált feszültségről még hozzá olyanról, ami illeszkedik a LED üzemi körülményeihez és független a többi elektronikai elem tápjától, mivel a ki-be kapcsolás nagy tranzienseket okozhatna. Kézenfekvőnek tűnik ez a megoldás, azonban figyelembe kell vennünk, hogy az alkalmazott LED üzemi feszültsége 2,8 V az üzemi árama pedig 0.5A tehát ha csak kapcsoló üzemi táplálás jöhet számításban mivel a helikopter egycellás LiPo akkumulátorral működik aminek a feltöltött feszültsége 4,2 V tehát ha nem kapcsolóüzemű tápot alkalmazunk, akkor rendkívül sok energiát veszítünk ami csökkenti a repülési időt. A táp megoldásról később részletesen szó esik. További probléma hogy a fix feszültségű táplálás nem kompenzálja a LED nyitóirányú karakterisztikájának hőmérséklet függését, ami nagyteljesítményű LED-ek esetében fontos.

Ezen megfontolások alapján a megvalósított rendszer a fenti két megoldás ötvözetét alkalmazza. A kapcsolási rajza:



6. ábra LED meghajtó áramkör



A VDDLED egy kapcsolóüzemű táp által előállított 2,8 V-os stabilizált tápfeszültség. A LED-en átfolyó áram egy 0,2 Ω -os sőtellenálláson folyik, aminek segítségével az átfolyt áram impulzus-
szélesség modulációval hőmérséklet tekintetében kompenzálható. Az így kapott jel szintén nem lesz 50%-os kitöltési tényezőjű, de megközelíti annyira, hogy az eltérés már nem jelentős, így a marker meghajtása megvalósítható. Természetesen a kapcsoló FET gate-jére kötött lehúzó ellen-
állás a véletlen bekapcsolás ellen véd.

Táp áramkör

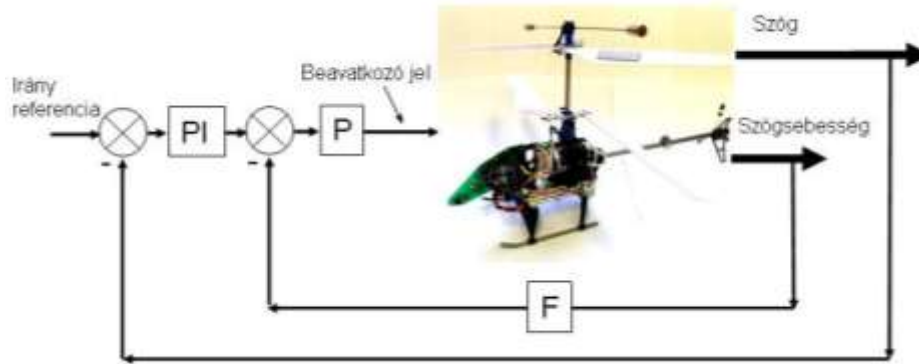
A helikopter alapvetően egycellás LiPo akkumulátorról működik, mivel a motorokat és a rotorokat erre a feszültségre optimalizálták ezért az egycellás konstrukciót érdemes megtartani. A problémát az jelenti, hogy a cellafeszültség 4,2-2,7 V között mozog, és az alkalmazni kívánt alkatrészek többsége 3,3 V-os tápfeszültségről üzemel. Tehát csak kapcsolóüzemű áramkör jöhet szóba. A választott feszültség stabilizátor az LTC3538EDCB [11] Linear Technology gyártmányú un. Buck-Boost típusú stabilizátor. Buck-Boost azt jelenti, hogy a bemeneti és kimeneti feszültségekhez igazítja a működését és attól függően, hogy a bemeneten kisebb vagy nagyobb mint a stabilizálni kívánt kimenet más-más üzemmódba kapcsol. Ez a DC-DC konverter alkalmas 800 mA kimeneti áram biztosítására és 5,5-2,2V bemeneti feszültségtartományon képes stabil 3,3 V tápfeszültséget biztosítani.

Fontos hogy kettő LTC3538EDCB alapú táp IC került alkalmazásra az egyik a LED marker meghajtására a fentebb említett okok miatt, a másik viszont az összes többi elektronikus elem tápját szolgáltatja, így a mikrokontrollerét a szenzorokét és a rádiós modulét.

A tápellátáshoz hozzá tartozik egy 1,8V-os TC1054-es [12] stabilizátor IC, melyre a mágneses érzékelőnek van szüksége.

A fedélzeti szoftver

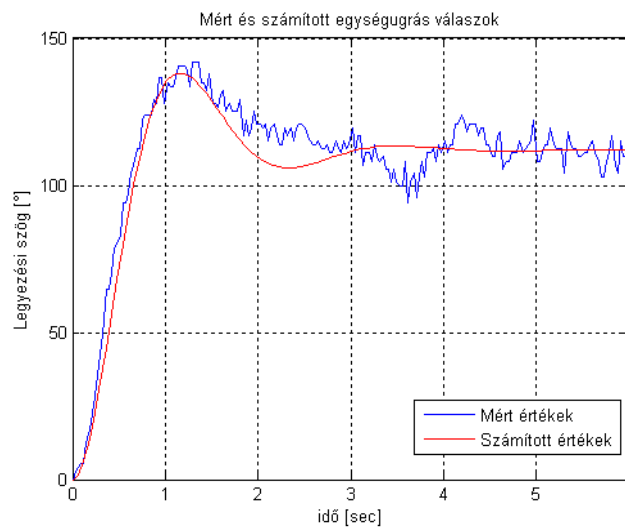
Önmagában fedélzeti szoftver meglehetősen egyértelmű szerkezettel rendelkezik az iránystabilizálást biztosító részén kívül. A fő feladata az, hogy az egyes szenzorok jeleit kiolvassa a rádióan érkező utasításokat végrehajtsa. Ezen program részletek különösebb magyarázaton nem igényelnek. Érdemes viszont az iránystabilizálás kérdését részletesebben tárgyalni. Tekintsük a 7. ábrán a szabályzási bloksémáját a rendszernek. A helikopternek, mint rendszernek a függőleges tengelyű mozgás szempontjából két kimenete mért, az egyik a szögsebesség, melyet a felszerelt giroszkóp mér, a másik pedig a tényleges azimuth szög amelyet az alkalmazott mágneses érzékelő, mint iránytű határoz meg.



7. ábra a függőleges tengely körüli szabályzó bloksémája

A szabályzási bloksémából szembetűnő hogy kaszkád szabályzás kialakítására került sor. A kaszkád szabályzásban a belső hurok lényegesen gyorsabb mintavételi idővel (3 msec) rendelkezik, mint a külső hurok (30 msec) ennek oka, hogy a szögsebességet mérő giroszkópok lényegesen magasabb mintavételi sebességgel képesek üzemelni, mint a szöget mérő mágneses szenzor. Ugyanakkor ez a megoldás a kisméretű helikopterek gyors függőleges tengely körüli dinamikája miatt elterjedt[1]. A belső hurok visszacsatolásában még található egy „F” jelű szűrő is, amely a giroszkóp kimeneti jelében megjelenő mechanikus rezgések okozta zajt hivatott kiszűrni. A külső hurok a belsővel ellentétben nem csak arányos „P” jellegű, ahogyan az az ábrán is látható, hanem arányos integráló „PI” jellegű, ugyanis a megadott szög referenciajel követést a giroszkóp offsetje miatt így lehet biztosítani [4]. A fenti szabályzó- és szűrőparaméterek megválasztása biztosítja a függőleges tengely körüli stabilitást.

A 8. ábra A zárt rendszer 110° -os egységugrása adott válaszaműködtettünk a legyezési szög bemenetre egy 110° -os egységugrást miközben a helikopter függeszkedett. A mérési eredmények mellett látható egy szimulált válaszfüggvény is amely a helikopter egyszerűsített modelljéből került kiszámításra.



8. ábra A zárt rendszer 110° -os egységugrása adott válasza



Tapasztalhatóak kisebb eltérések melyek visszavezethetők a mérési zajokra, valamint a fentebb említett egyszerűsítő feltételek okozta hibákra.

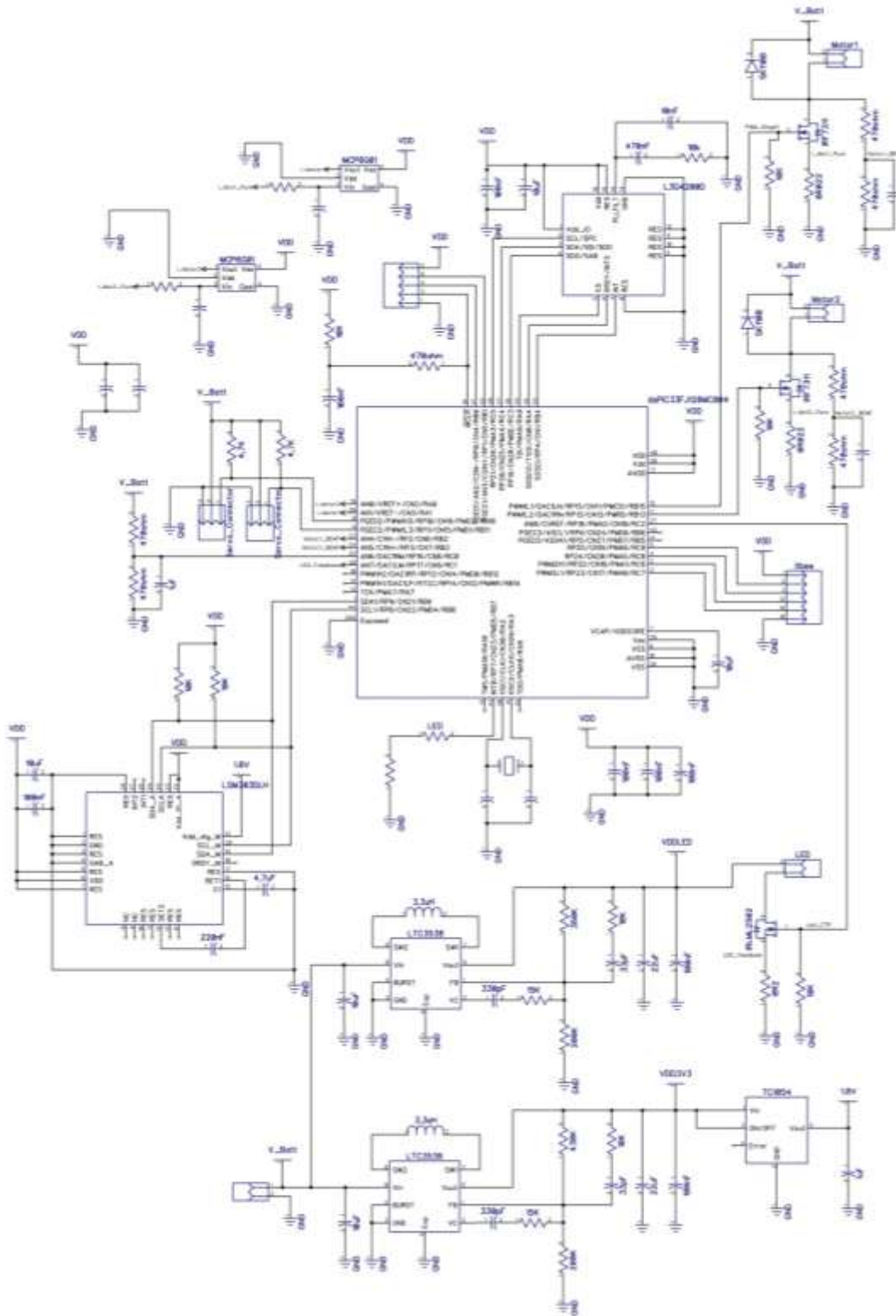
Látható hogy 25%-os túllövással áll be a helikopter, ami elfogadhatónak mondható. A rendszert tovább gyorsítani nem érdemes, mert egyrészt a túllövés mértéke nő másrészt pedig az aktuálisan nagyobb nyomatékkal dolgozó motorokon a kapocsfeszültség elérheti a maximális értéket.

ÖSSZEGZÉS

A kialakított elektronika segítségével a helikopter képes távirányítással repülni, tehát az eredeti elektronika funkcionalitását képes reprodukálni, azonban a kezdeti állapothoz képest jelenleg minden beavatkozó szervhez közvetlenül saját szoftveren keresztül tudunk hozzáférni vagyis az igényeknek megfelelően lehet az alap funkcionalitást hangolni. Azon túl, hogy távirányítással reptethető a térbeli irányát képes egy megadott irányszögön tartani, ami elengedhetetlen az autonóm működés során. Végezetül a helikopter, az automatikus repüléséhez szükséges utolsó lépést is teljesíti, mégpedig képes, a beltéri pozicionáló rendszer segítségével a saját térbeli pozícióját meghatározni.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Nomani K., Kendoul F., Suzuki S., Wang W., Nakazawa D., Autonomous Flying Robots Unmanned Aerial Vehicles and Micro Aerial Vehicles, Springer,2010
- [2] Christian BERMES, Design and dynamic modeling of autonomous coaxial micro helicopters, degree of Doctor of Sciences, ETH ZÜRICH,2010
- [3] Chen. L and McKerrow, P, Modelling the Lama Coaxial Helicopter, in Proceedings of the Australasian Conference on Robotics and Automation, Brisbane, 2007
- [4] BOKOR József, GÁSPÁR Péter , Irányítástechnika járműdinamikai alkalmazásokkal, Typotex, 2008
- [5] dsPIC33FJ128MC804-I/ML Datasheet <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70292F.pdf> (2011.09.12.)
- [6] LSM303DLM Datasheet http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/D00026454.pdf (2011.09.12.)
- [7] L3G4200D Datasheet http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/C000265057.pdf (2011.09.12.)
- [8] IRF7311 Datasheet <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf7311.pdf> (2011.09.12.)
- [9] SK110B Datasheet <http://www.datasheetarchive.com/SK110B-datasheet.html> (2011.09.12.)
- [10] MCP6G01 Datasheet <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22004b.pdf> (2011.09.12.)
- [11] LTC3538EDCB Datasheet <http://cds.linear.com/docs/Datasheet/3538fb.pdf> (2011.09.12.)
- [12] TC1054 Datasheet <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21350d.pdf> (2011.09.12.)



A teljes elektronika kapcsolási rajza