

AUTOPILOT V ÚLOHE ZÁCHRANNÉHO SYSTÉMU PRI STRATE SIGNÁLU RC MODELU LIETADLA

AUTOPILOT AS A SAFETY SYSTEM WHEN LOST SIGNAL RC MODEL AIRCRAFT

Tomáš VALENT, Ján STEBILA

Resumé

V tomto príspevku na venujeme návrhu a vyhotoveniu zariadenia, ktoré by po strate signálu z vysieláča, prevzalo ihneď riadenie a bezpečne dostalo model lietadla na zem. Snahou bolo aby bolo zariadenie čo najmenšie a čo najľahšie, a aby ho bolo možné založiť do čo najviac modelov, ktoré vlastníme. Autopilot je zariadenie, ktoré dokáže riadiť lietadlo, loď, vlak v našom prípade model lietadla, podľa vopred nastavených parametrov. Celé riadenie systému zabezpečuje mikrokontrolér ATmega 328 a ako snímače polohy modelu lietadla sme použili 3-osý digitálny gyroskop s 3-osým digitálnym akcelerometrom.

Abstract

This post is devoted to design and equipment design, which, following the loss of signal from the transmitter, immediately took over the management of a given model aircraft safely to the ground. The effort was that the device is as small as possible and as easily as possible, and that it can be set up in as many models that we own. Autopilot is a device that is able to fly the aircraft, ship, train in our case model aircraft, according to previously set parameters. The whole management system ensures microcontroller ATmega 328 and as position sensors model aircraft we used 3-axis digital gyroscope with digital 3-axis accelerometer.

ÚVOD

Lietajúce stroje pohybujúce sa v oblakoch už od dávnych čias upútavajú pozornosť ľudí, mladých i starých. No len hŕstka vyvolených mala tú česť sadnúť si do kabíny lietadla, zobrať do rúk riadiacu páku a vzlietnuť vstrieč oblohe. Počiatky lietania mali svoje čaro, boli plné nových pokrokových nápadov, ľudí, ktorí zasvätili svoj život aviatike a pamätáme si ich dodnes. No lietanie berie so sebou aj veľkú dávku zodpovednosti či už zo strany pilota alebo leteckej techniky. Spoľahlivosť techniky v letectve je kľúčová pre bezpečnosť pilota, posádky a bežná aj cestujúcich, ktorých od 30-tych rokov minulého storočia každým rokom pribúda. Len pre zaujímavosť v dnešnej dobe prepravujú letecké spoločnosti približne za dva roky celú populáciu ľudstva.

Takýto rozmach leteckej dopravy by nebol možný bez jedného zásadného objavu, ktorým bol autopilot. Celé to začalo jedným menom. Lawrence Sperry, ktorého považujeme za vynálezcu autopilota. Nedokázal by to keby sa nevenoval gyroskopom a ich praktickému využitiu. Gyroskopy aktívne využívame už viac ako 120 rokov a práve využitie gyroskopu sa stalo hnacím motorom mojej práce.

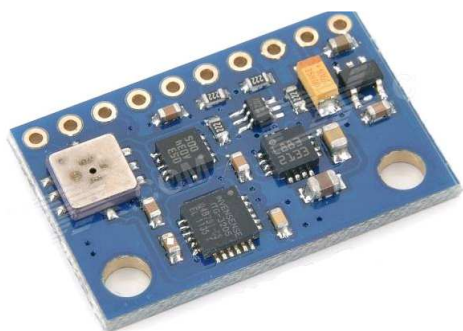
Íšlo o navrhnutie autopilota pre rádiovým riadený model lietadla, ktorý by v prípade poruchy alebo straty signálu, bezpečne dostal model lietadla na zem. Nevýhoda leteckej techniky je tá, že keď sa vám pokazí auto, zastane, keď nastane porucha na lodi, ostane plávať unášaná morskými prúdmi, no pri poruche lietadla vás medzi zemským povrchom a vami delí ešte poriadny kus cesty, a zemská gravitácia je neúprosná. Pre modely lietadiel to platí dvojnásobne, keďže sú ovládané na diaľku zo zeme a tým sa nebezpečie poruchy zvyšuje. Zámer mojej práce bol dostať model lietadla bezpečne na zem pri strate signálu alebo pri

strate modelu z dohľadu vypnutím vysielacza. Mojou snahou bolo donútiť model lietadla prejsť do bezpečného bezmotorového letu, najlepšie vo veľkých kruhoch aby neodletel nepredvídateľným smerom niekoľko kilometrov ďaleko. Rozhodnutie padlo na zariadenie, ktoré bude dostatočne malé a univerzálne. Bude pracovať s trojosím gyroskopom a akcelerometrami, bude sledovať úroveň signálu a reagovať na prípadné výpadky alebo rušenia a tým zabráni pádu lietadla za stovky niekedy aj tisíce eur.

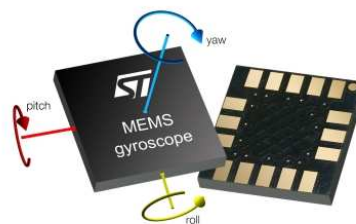
1 NÁVRH A VYHOTOVENIE ZÁCHRANNÉHO SYSTÉMU

Neoddeliteľnou súčasťou dnešnej elektroniky a nášho zariadenia sú mikrokontroléry. Skúsenosti s nimi sme mali už z predchádzajúcich zariadení ako bol digitálny výškomer a rôzne jednosmerné regulátory. Hlavná požiadavka na záchranný systém bola aby bol čo najmenší, čo najľahší, čo najuniverzálnejší a dal sa použiť v každom drahšom modeli lietadla. Spočiatku sme zvažovali záchranný padák, ktorý používajú ultraľahké lietadla a vetrone. Padák by sa otvoril pri strate signálu dlhšej ako 3 sekundy a model by ako parašutista s kruhovým padákom pristál bezpečne na zemi. Nevýhodou kruhových padákov je avšak jeho vysoká zostupová rýchlosť, ktorá sa pohybuje okolo 4m/s a parašutisti, ktorí zoskakovali na kruhových padákoch museli zakončovať svoj let takzvaným parakotúlom. Ak sa kotúľ nevydaril zlomené končatiny a narazené rebra neboli ničím výnimočným. Tu nastal problém, pretože model lietadla nijak nedonútime aby po pristáti spravil kotúľ. Samozrejme ide o záchranu lietadla. U skutočných lietadiel o záchranu života pilota a s určitým poškodením treba počítať, ktoré by bolo určite menšie ako pri neriadenom páde. Po úvahe sme systém zavrhl, pretože jedna z podmienok bola aby bol záchranný systém čo najuniverzálnejší, dal sa prekladať, a vrásky na čele by nám spôsobovala jeho integrácia do rôznych modelov lietadiel. Po zvážení a predošlých skúsenostiach s mikrokontrolérmi sme sa rozhodli pre elektronický systém (autopilot), ktorý by zvládol bezpečne dostať model lietadla na zem namiesto pilota.

Záchranný systém mal určovať polohu lietadla voči zemi pomocou troch gyroskopov a akcelerometrov. Obávali sme sa či sa tieto zariadenia dajú zakúpiť dostatočne malé pre naše zariadenie. Obavy sa nenaplnili, keďže gyroskopy a akcelerometre sa v dnešnej dobe bežne zabudovávajú už aj do mobilných telefónov. Celý projekt nám uľahčila spoločnosť Arduino, ktorá sa zaoberá výrobou širokého sortimentu už osadených modulov na doskách plošných spojov pre mikrokontroléry. Pre naše zariadenie sme zvolili už osadený modul GY-80 (Obr. 1). Modul Arduino GY-80 je ako ho výrobca nazýva „9-axis magnetic acceleration gyroscope atmospheric pressure module“ vo voľnom preklade ide o modul, ktorý v sebe obsahuje: 3-osý gyroskop, 3-osý akcelerometer, 3-osý digitálny kompas a už mnou osvedčený BMP085 senzor atmosférického tlaku a teploty.



Obrázok 1 Modul Arduino GY-80



Obrázok 2 3-osý digitálny gyroskop

Riadiacu jednotku zariadenia tvorí mikrokontrolér (MCU) ATmega 328P-AU s nahraním bootloaderom z Arduina. V doslovnom vysvetlení je bootloader časť kódu, ktorý sa spúšťa ešte pred tým ako sa načíta program. ATmega 328 je 32 vývodový mikrokontrolér s vnútornou flash pamäťou o veľkosti 32 kB a maximálnou operačnou frekvenciou až 20 MHz (1). Mikrokontrolér ma pri plnom výpočtovom zaťažení zanedbateľný odber 0,2mA. Na naše účely je čo sa týka výkonu daný mikrokontrolér predimenzovaný a zbytočne drahý, no nižšie verzie ako ATmega 168 majú menšiu flash pamäť na ktorú sa nahráva program. Mikrokontrolér sme osadili na dosku plošných spojov, ktorú sme použili už v minulých prácach a cez ktorú budeme do mikrokontroléra nahrávať zdrojový kód. Väčšina súčiastok použitých v tejto práci sú vo vyhotovení SMD (Surface Mount Devices - elektronické súčiastky vhodné na technológiu povrchovej montáže). V našom zariadení sme použili digitálny gyroskop LRG4200D a taktiež digitálny akcelerometer ADXL345 oba osadené na module GY-80.

LRG4200D je 3-osý gyroskop (Obr. 2) s digitálnym výstupom a troma osami citlivosti. Komunikuje pomocou I2C zbernice. Ide o prvú radu gyroskopov na jednom čipe s digitálnym výstupom. Ako sme už niekoľko krát spomínali ide o gyroskop s troma osami citlivosti a každá os má jeden 16 bitový Analógovo-Digitálny (AD) prevodník. Digitálne nastaviteľnú citlivosť Degrees Per Second (DPS) v hodnotách 250, 500 a 2000 DPS. Ide o maximálnu hodnotu v stupňoch za sekundu akú dokáže gyroskop zaznamenať. Puzdro obsahuje zabudovaný snímač teploty s digitálnym výstupom a zabudovaný oscilátor s presnosťou 2%. Gyroskop ma veľmi nízku spotrebu a nízky interný šum a je odolný pre krátkodobé zrýchlenia do 10 000 g.

ADXL345 je 3-osý akcelerometer s digitálnym výstupom a troma osami citlivosti. Výstupná informácia o zrýchlení je vo forme 16 bitov, no využíva sa len 13 bitov. Akcelerometer komunikuje na I2C zbernici. Zbernica I2C sa používa na prenos dát medzi dvoma zariadeniami za pomoci dvoch vodičov. Jeden z nich označovaný ako SCL, prenáša medzi zariadeniami hodinové impulzy podľa ktorých sa celá komunikácia riadi. Druhý vodič sa využíva na prenos dát, SDA. Akcelerometrom je možné merať statické gravitačné zrýchlenie v náklone, ako aj dynamické zrýchlenia vznikajúce pri pohybe objektov, ale aj pri vybráčiach. Má vysokú presnosť 3,9 mg/LBS, čo nám umožňuje merať náklon od 0,25°. Okrem iného má akcelerometer možnosť naprogramovať množstvo funkcií ako sú napr. detekcia pohybu, detekcia prekročenia nastavených maximálnych zrýchlení, detekcia pádu.

O meranie atmosférického tlaku sa stará digitálny senzor BOSCH BMP 085, ktorý je taktiež obsiahnutý na module GY-80. Je potrebné spomenúť, že na doske plošných spojov je okrem samotných senzorov obsiahnutý aj stabilizátor napätia na 3,3 V a tiež pull up rezistory potrebné pre správnu funkciu I2C rozhrania. Pull up rezistory slúžia na udržanie logickej hodnoty "1". Keďže doska má vlastný stabilizátor je možné mikrokontrolér so snímačmi napájať priamo z modelárskeho prijímača napätím 5 V bez nutnosti pridania ďalšieho stabilizátora. Digitálny senzor BMP085 je vysoko citlivý snímač s ultra nízkou spotrebou, len 0,005 mA. Výškové rozhranie v ktorom dokáže pracovať je od -500 m do +9000 m. Senzor pracuje v dvoch režimoch napätia. Prvým je *low-power mode* s presnosťou 0,5 metra. Druhým *High linear mode* kde je dosiahnutá presnosť 0,25 metra a pre ktorý sme sa aj my rozhodli. Módy sa líšia zmenou vstupného napätia, ktoré je od 1,8 V do 3,6 V (2). Je potrebné ozrejmiť funkciu výškomera. Pri zostupnej špirále o veľkom polomery by nebolo vhodné aby model lietadla pokračoval v náklone aj na pristátie riadené autopilotom, pretože pri pristávanom manévri by sa zeme najprv zachytila časť krídla a v následnom prudkom pretočení by trup lietadla tvrdo narazil do zeme. Preto keď model klesá v bezmotorovom lete k zemi, tak vo výške dvoch metrov sa zrovná náklon modelu

lietadla (model letí rovno) a bez väčších škôd pristane. Zariadenie má vyvedené programovacie piny, ktoré slúžia len pre nahrávanie a prípadné aktualizácie programu do mikrokontroleru. Programmer sme použili USBasp od firmy Arduino, ale samozrejme, je možné použiť aj iný programmer.

2 OŽIVENIE VÝŠKOMERA

Oživenie autopilota bolo hektické, pretože ešte neprebiehalo so súčiastkami, resp. obvody, ktoré sme nakoniec zvolili. Systém bolo potrebné zaobaliť do vhodnej krabičky. V obchodoch ponúkané plastové krabičky pre elektrické obvody neponúkali také rozmery a boli príliš ťažké. Rozhodli sme sa pre vlastnú krabičku z ľahkého balzového dreva a kvôli pevnosti sme krabičku prelaminovali jednou vrstvou jemnej sklenej tkaniny. Pre estetický dojem bola plánovaná ešte jedna vrstva uhlíkovej tkaniny, ktorú často používame na spevnenie konštrukcií, no nemali sme jej dostatok. Našťastie nám ostala z minulých prác uhlíková samolepiaca fólia, ktorá vyzerá efektne. Logo našej katedry techniky a technológií nemôže chýbať.(Obr.3)



Obrázok 3 Výroba krabičky, laminovanie sklenenou tkaninou, finálny výrobok

Už pred samotným vyhotovením autopilota nás trápila jedna myšlienka a to bolo testovanie na ktoré sme si netrúfli použiť niektorí z modelov lietadiel z našej dielne, pretože to boli súťažné drahé modely lietadiel alebo sme k nim mali citový vzťah, pretože sme ich stavali vlastnými silami a pripravili nás o rádovo stovky hodín života, ktoré sme nad každým jedným strávili v dielni. Preto padlo rozhodnutie na výrobu lacného polystyrénového modelu vlastnej konštrukcie, ktorý bude vystužený smrekovými nosníkmi. Rozhodli sme sa pre stredplošník s 50mm hrubého polystyrénu, ktorý sme vyrezali odporovou pílou. Model lietal veľmi stabilne, bol poslušný ideálny na testovanie. Na zemi systém pracoval tak ako mal, no po prvom testovacom lete ostalo z modelu len veľké množstvo polystyrénových guľčiek. Bolo potrebné vložiť do programu veľké množstvo podmienok aby systém nebral do úvahy extrémne hodnoty zo snímačov pri poryvoch vetra na ktoré reagoval neadekvátne, obmedziť reakcie na kormidlá a celkovo dať systému veľkú vôľu v riadení ako keby išlo o pilota, ktorý sa ešte len učí pilotovať.

Žiaľ rozsah článku nám nedovoľuje ísť viac do detailov. Pre vyladenie programu bolo potrebné absolvovať viac ako 80 skúšobných letov. Tohtoročná zima bola nezvyčajne teplá, takže sme testovali od jesene nepretržite keď dovolil čas. Počas testovania padol za obed ešte jeden testovací model lietadla, ktorý avšak už bol klasickej drevenej konštrukcie. Chyba bola v nezodpovednej zmene programu.

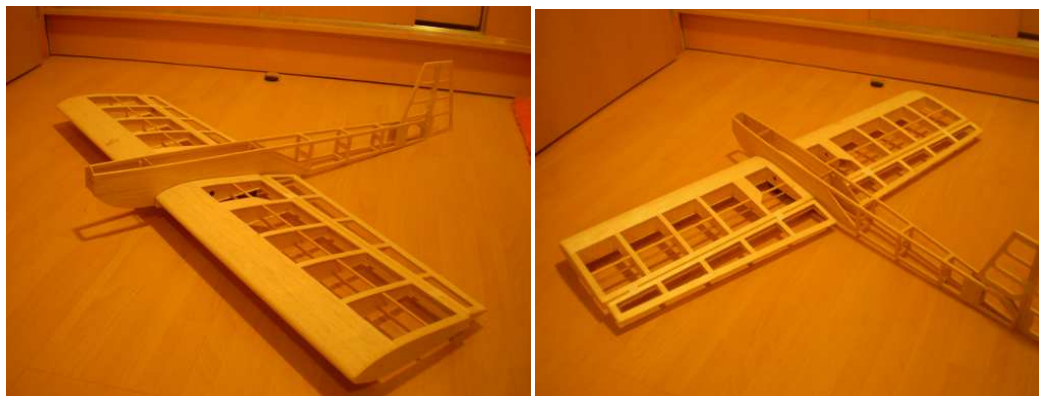
Poslednou skúškou už vyladeného systému malo byť testovanie v modely Acro 400, ktorý sme avšak už nestihli dokončiť. Model Acro 400 je akrobatický veľmi ľahký a výkonný

model lietadla. Pri jeho stavbe sme strávili už viac ako 300 pracovných hodín, no pre veľké množstvo študijných a pracovných povinností musela ísť jeho stavba bokom.

Videozáznam z testovacích letov si je možné pozrieť na servery YouTube. Odkaz na video: <http://youtu.be/14XlfZMeTII> K natáčaniu videozáznamov bol k dispozícii len starší digitálny fotoaparát, takže videa sú horšej kvality. Prvý let je ešte z konca minulého roku. Druhý a tretí testovací let bol natáčaný už na plne odladenom dokončenom systéme.



Obrázok 4 Inštalácia systému a prvé zimné testovanie



Obrázok 5 Nedokončený model Acro 400 určený k testovaniu

ZÁVER

Cieľom tejto práce bolo vytvoriť zariadenie, ktoré by po strate signálu z vysielacza, prevzalo ihneď riadenie a bezpečne dostalo model lietadla na zem. Snahou bolo aby bolo zariadenie čo najmenšie a čo najľahšie, aby ho bolo možné založiť do čo najviac modelov, ktoré vlastnime. Niektorí určite budú namietajú, že nazývame toto zariadenie „autopilotom“, keď nemá komunikačný modul, modul GPS atď. Ale autopilot je zariadenie, ktoré dokáže riadiť lietadlo, loď, vlak, podľa vopred nastavených parametrov.

Rozsah práce nám nedovolil venovať sa celej problematike riešenia. Nebolo možné venovať sa princípu riadenia servomotorov, zdrojovému kódu a špeciálnym podmienkam v programe, ktoré bolo nutné vložiť do zdrojového kódu aby autopilot správne pracoval.

Práca bola realizovaná počas 11-tich mesiacov a strávili sme pri nej viac ako 700 pracovných hodín za pracovným stolom. Testovanie a vyladenie systému na letisku nepočítame.

LITERATÚRA

1. *ATmega 328 datasheet* [online]. [cit. 2014.4.2]. Dostupné na internete <http://www.sos.sk/a_info/resource/c/Atmel/ATmega328P.pdf>
3. *BMP085 Digital Pressure Sensor*[online]. [cit. 2014.4.2]. Dostupné na internete <http://www.adafruit.com/datasheets/BMP085_DataSheet_Rev.1.0_01July2008.pdf >

Kontaktná adresa

Tomáš Valent, Bc., Katedra Techniky a Technológií, FPV UMB, Tajovského 40, Banská Bystrica, 974 01, 048 418 7485, valenttomas@azet.sk

Ján Stebila, PaedDr., PhD., Katedra Techniky a Technológií, FPV UMB, Tajovského 40, Banská Bystrica, 974 01, 048 446 7218, Jan.Stebila@umb.sk