

STABILITY AND AUTOPILOT SYSTEM FOR AIRPLANE RC MODEL

Peter Čamaj

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xcamaj00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Jiří Šebesta

E-mail: sebestaj@feec.vutbr.cz

Abstract: This article deals with design and realization of stabilizing and autopilot system, which is designed for usage in models of planes working on a remote control. The article contains a proposal of hardware design of the platform, which is able to control the model of plane based on data measured from a sensor system.

Keywords: autopilot, unmanned aerial vehicle, stabilization of plane, CAN bus, Raspberry Pi

1. ÚVOD

Celkový návrh autopilotného systému je zložený z piatich úrovní. V najnižšej úrovni je to voľba správneho modelu a jeho vybavenie elektronikou, ktorá umožní jeho riadenie a vzdialené ovládanie. V druhej úrovni je to vytvorenie nelineárneho matematického modelu, z ktorého sa bude dať predpokladať správanie modelu v jednotlivých letových manévroch. V ďalšej tretej úrovni je potrebné navrhnuť platformu, ktorá umožní sledovať polohu lietadla voči zemi, jeho rýchlosť, uhol nábehu a ďalšie palubné veličiny. Štvrtá úroveň musí byť softwarovo schopná na základe nameraných dát model stabilizovať v pozdĺžnom a stranovom pohybe a ťahu motora. V piatej najvyššej úrovni je to komplexná automatizácia a optimalizácia letu obsahujúca navigáciu, riadiaci systém a systém, ktorý sa stará o správu motora.

2. MATEMATICKÝ MODEL V PROSTREDÍ MATLAB/SIMULINK A XFRL5

Pri tvorbe modelu bolo potrebné začať s odvodením sily a momentovej rovnice pre tuhé teleso a definovať vzťah pre jeho moment hybnosti. Pohybovú rovnicu lietadla si môžeme vyvodiť z druhého Newtonového pohybového zákona [1]:

$$\vec{F} = m \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{\Omega} \times \vec{v} \right), \vec{M} = \frac{\partial (\vec{I} \cdot \vec{\Omega})}{\partial t} + \vec{\Omega} \times \vec{I} \cdot \vec{\Omega} \quad (1.1.)$$

kde: \vec{F} = silový vektor [N], m = hmotnosť [kg], \vec{v} = lineárny vektor rýchlosti [m.s⁻¹], $\vec{\Omega}$ = vektor uhlovej rýchlosti [rad.s⁻¹], t = čas [s], $\partial / \partial t$ = derivácia podľa času, \vec{M} = vektor momentu sily [N.m], \vec{I} = moment zotrvačnosti [kg.s⁻²]

Vektor sa dá reprezentovať ako suma jeho zložiek s uvážením gravitačnej a motorovej sily dostávame šesť diferenciálnych rovníc, ktoré reprezentujú lineárne a uhlové zrýchlenie vzťahnuté k súradnicovému systému lietadla, kde je počiatok umiestnený v ťažisku lietadla. Tieto diferenciálne rovnice a taktiež momenty zotrvačnosti komponentov a taktiež vzťah medzi Eulerovými uhlami a uhlovými rýchlosťami je možné nájsť v [2].

K definovaniu kompletného matematického modelu je potrebné poznať súradnicovú sústavu aerodynamických síl, silových momentových a kinematických rovníc. Aerodynamické sily a momenty môžu byť určené na základe geometrie lietadla pomocou tabuliek, simulácií a experimentu vo veternom tuneli. V rámci diplomovej práce [3] bol vytvorený dynamický model lietadla v prostredí

Matlab/Simulink. Tento model bol využitý v tejto práci pre počiatočné nastavenie koeficientov spätných väzieb.

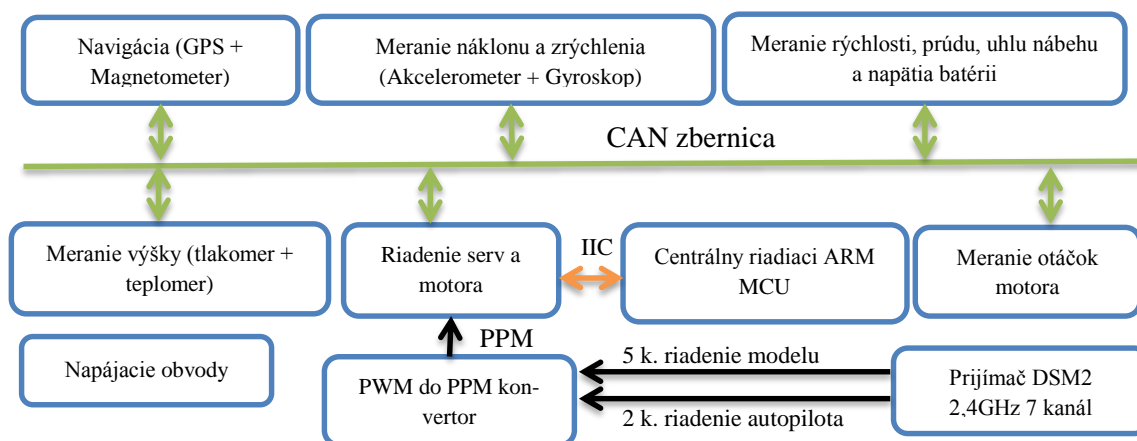
Definovaním geometrických rozmerov lietadla v programe XFLR5 boli pomocou panelovej metódy určené aerodynamické sily pôsobiace na lietadlo taktiež vztlakové koeficienty a dynamický popis systému. Vygenerované informácie slúžili ako vstupné dáta do modelu v Matlabe.

3. NAVRH SYSTÉMU

Pri návrhu zariadenia bolo potrebné splniť náročné požiadavky ako predovšetkým bezpečnosť, preto bola pre komunikáciu medzi senzormi a centrálnym MCU použitá inteligentná zbernica CAN. Celý autopilotný systém je možné taktiež odstaviť aj vzdialene - priamo RC súpravou a prejsť na manuálne riadenie. Ďalšou dôležitou vlastnosťou systému je tiež modularita. Rozdelením systému na menšie časti získame možnosť spracúvať dáta z jednotlivých senzorov paralelne a možnosť jednoduchého rozšírenia systému pridaním ďalšieho žiadaného modulu.

3.1. VYBER SENZOROV A RIADIACICH OBVODOV

Ako centrálny riadiaci MCU bola vybraná platforma Raspberry Pi, ktorá ponúka dostatočný výpočtový výkon. Pre komunikáciu so senzorkým systémom bolo potrebné túto platformu ale aj moduly so senzormi rozšíriť o rozhranie CAN. To bolo dosiahnutie vytvorením rozširujúceho modulu s CAN kontrolérom MCP2515 a CAN transceiverom MCP2551 pripojených SPI rozhraním.



Obr. 1: Bloková schéma autopilotného systému

Dáta o polohe serv Obr. 1 sa pomocou prijímača pretransformujú na paralelný tok dát v forme PWM. Následne sa pomocou PPM enkodéra zlúčia do jedného sériového toku dát (PPM) a privedú sa na vstup mikrokontroléra, ktorý ponúka prerušenie. Vyčítaním tohto sériového toku dát sa určí následne či je povolený autopilot alebo nie. Ak je povolený (povolenie určuje poloha vypínača na RC súprave) dôjde k aktivácii vnútorného okruhu automatického riadenia a v opačnom prípade dôjde len k nastaveniu polohy serv na platforme Maestro čo umožní riadenie RC súpravou.

Meranie nadmorskej výšky je realizované pomocou senzoru absolútneho typu MS5611, ktorý ponúka teplotnú kompenzáciu a dokáže určiť nadmorskú výšku s presnosťou na 10cm. O prípadnú navigáciu, ktorá nie je zatiaľ softwarovo implementovaná sa stará GPS LEA 6H pripojený cez UART a digitálny kompas HMC5883L.

Pre určenie rýchlosti modelu voči vzduchu bolo potrebné použiť Pitotovu trubicu, ktorá obsahuje diferenčný tlakomer MPX7002DP. Pre určenie vztlakových koeficientov je použitý senzor uhlu nábehu MA3, ktorý ponúka bezkontaktné meranie polohy na magnetickom princípe. V spolupráci s Leteckým ústavom VUT bola vykonaná kalibrácia senzora uhlu nábehu a Pitotovej trubice v Aerodynamickom tunely. Oba tieto senzory ponúkajú na výstupe napätie, ktoré je merané pomocou 16 bitového AD prevodníku ADS1115. K tomuto prevodníku je taktiež pripojený Hallovy senzor prúdu ACS758-100U, ktorý ponúka meranie prúdu až do 100A. Merané bude taktiež napätia troch palubných Li-Pol akumulátorov.

Najdôležitejším senzorom pre autopilota je kombinácia gyroskopu a akcelerometra, ktorú ponúka senzor MPU6050. Tento senzor v sebe obsahuje integrovaný DMP (Digital Motion Processor), ktorý kombinuje dáta z gyroskopu akcelerometra. Táto kombinácia minimalizuje mechanický šum, ktorý vzniká na akcelerometri a drift gyroskopu.

4. SOFTWAREVÉ VYBAVENIE A PRAKTICKÉ OVERENIE

Pre správnu funkciu systému bolo potrebné naprogramovať všetky potrebné bloky. Jednalo sa predovšetkým o prácu so rozhraniami I2C, SPI, UART. V programe sú taktiež použité časovače, ktoré určujú vzorkovací kmitočet posielania dát a rýchlosť hlavnej riadiacej slučky. Program sa samozrejme nezaobišiel bez použitia prerušení napríklad od PPM enkodéra, niektorých senzorov, tlačítok a CAN kontroléra. Pre určenie čo najpresnejšej veličiny bolo potrebné určovať výslednú hodnotu ako priemer, prípadne medián z niekoľkých meraní.

Keďže bol model autopilota implementovaný v prostredí Matlab/Simulink bol využitý rozširujúci modul, ktorý ponúka možnosť automaticky generovať kód v jazyku C. Raspberry Pi bolo potrebné rozšíriť o podporu CAN rozhrania pomocou, ktorého sú prijaté všetky palubné veličiny slúžiace ako vstup do modelu z Matlabu. Výstupom z modelu je poloha serv a páky plynu motora. Tieto výstupné dáta sú následne spätne poslané pomocou CAN rozhrania servo kontroléru.



Obr. 2: Ukážka ukladaných dát (nadmorská výška- modrá a poloha páčky plynu – zelená v závislosti na čase) a vyhotovenie zariadenia

5. ZÁVER

V rámci tejto práce sa podarilo navrhnuť a prakticky oživiť platformu, ktorá ponúka široké spektrum senzorov, ktoré sa starajú o meranie palubných veličín. Palubné veličiny sú vstupom do matematického modelu, ktorého podrobný popis je možné nájsť v [3]. Tento model slúžil pre počiatočné nastavenie regulátorov spätných väzieb. Model absolvoval zatiaľ dva letové testy, kde boli zatiaľ len zbierané dáta zo všetkých senzorov a taktiež bola ukladaná poloha serv v čase. Ako príklad vidieť na Obr. 2 závislosť relatívnej nadmorskej výšky a páky plynu motora od času. Lietadlo potrebuje absolvovať ešte niekoľko letových skúšok kým dôjde k praktickému otestovaniu navrhnutého systému. DPS boli koncipované ako obojstranne s prekovami a nepájivou maskou a následne boli osadené SMD súčiastkami. Vyhotovenie je možné vidieť na Obr. 2.

REFERENCIE

- [1] HOSPODÁŘ, P., VRCHOTA, P., DRÁBEK, A., PLESKAČ, J. *Comparison of data provided by computation, static and dynamic wind-tunnel testing and flight testing of flying model Vilič*. VÝZKUMNÝ A ZKUŠEBNÍ LETECKÝ ÚSTAV, a. s. 2010.
- [2] STEVENS, B., I., Lewis, F., L. *Aircraft Control and Simulation*. John Wiley and Sons, Inc, N.Y. 1992, ISBN 0471613975
- [3] NOVÁK, P. *Návrh řídicího algoritmu pro stabilizaci letadla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 95 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Krejsa, Ph.D.