

Koncz Miklós Tamás

A MAYFLY ONE REPÜLŐGÉP FEDÉLZETI IRÁNYÍTÓ RENDSZER FELÉPÍTÉSE: DIGITÁLIS SZERVO VEZÉRLŐ

RESÜMÉ

Korunk egyik sikertémája a pilótanélküli repülőgépek fejlesztése és alkalmazása, melynek hazai katonai és polgári kutatásában a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskolája és az Elektronikai Hadviselés tanszéke vezető szerepet játszik. A tanszékvezető, a tanszék oktatói és az Aero-Target BT. közt példás együttműködés alakult ki, mely tükröződik az elkészült repülőgépekben és fedélzeti elektronikákban.

A most elkezdett sorozatban a szerző saját fejlesztésű robotpilóta rendszerét mutatja be, amelyet a Meteor-3 Mistral célrepülőgép modernizálására az Aero-Target BT. megbízásából fejleszt. A cikksorozatban bemutatásra kerül a rendszer egyes részegységeinek működése, a megvalósított szabályzási algoritmusok és alapvető működési módok, valamint a fejlesztés fő iránya, célkitűzései.

A robotpilóta rendszer rövid általános ismertetése után, egy igen fontos részegység, a servo vezérlő, kerül részletezésre. Az alacsony költségvetésű pilótanélküli repülőgépek jó minőségű, de kereskedelmi forgalomban kapható modell szervókat használnak, amelyek speciális pulzus szélesség modulált jelekkel vezérelhetők. Ezen jelek előállítására, különféle kitérítési karakterisztikák és mixer funkciók megvalósítására, valamint a kézi és automata üzemmód átkapcsolására szolgál ez az áramkör. A megvalósított funkciók példákon keresztül kerülnek bemutatásra.

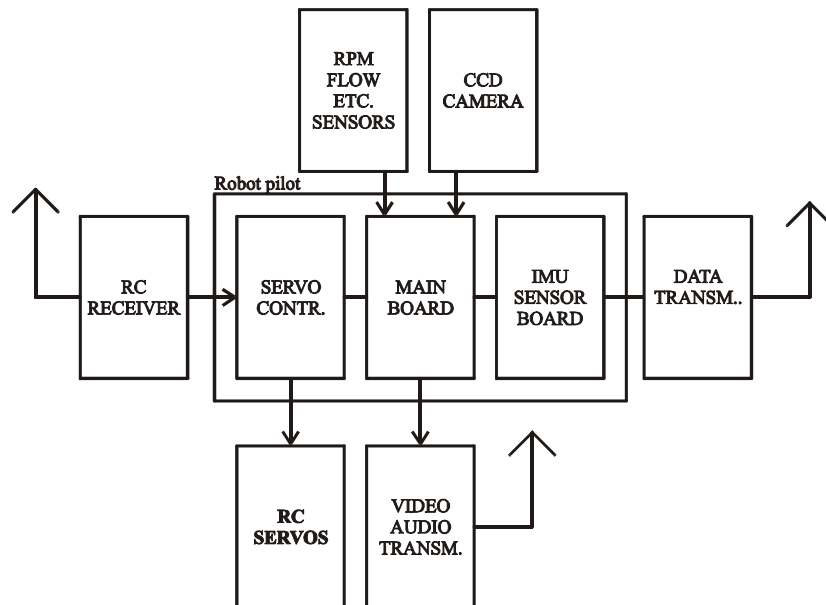
BEVEZETÉS

A cikk írásakor Magyarországon megszűnt a nagyoroszi (Drégelypalánk) lőtér, a térségben található egyetlen, légvédelmi rakétás éleslövészetre alkalmas hely. Így egyre kisebb szerepet kapnak a modellrepülőgépek a gyakorlatokon, mivel fő szerepüket - lelőhető céltárgy - elvesztették. Az Aero-Target BT szembesült 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 egyik eleme az itt ismertetésre kerülő programozható servo vezérlő.

EGYSZERŰ PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉPEK FEDÉLZETI ELEKTRONIKÁJÁNAK ALAPVETŐ TERVEZÉSI SZEMPONTJAI, FELÉPÍTÉSE

Napjainkban tervezett pilótanélküli repülőgépek vezérlő elektronikája digitális szabályzórendszereken alapul, és felhasználják a legfejlettebb diszkrét szabályzási algoritmusokat, amelyek relatívan nagy számolási kapacitást igényelnek a beágyazott processzoroktól. A nagy számítási teljesítménnyel ellentétes tervezési kritérium a kis fogyasztás, kis helyigény, kompakt, mechanikusan szilárd kivitel, rázásállóság és szélsőséges környezeti körülmények közt is megbízható működés.



1. ábra. Pilóta nélküli repülőgép fedélzeti elektronikájának blokkvázlata

A szerző által fejlesztett, jelenleg is fejlesztés és tesztelés alatt álló rendszer, a fenti összetett, szerteágazó feladatot moduláris felépítéssel valósítja meg. Az elosztott rendszer a tervező dolgát bizonyos értelemben megkönnyíti, a rendszer

tervezése jól elkülöníthető feladatokra bontható, a számítási, programozási igény szétszitható az intelligens kártyákon található processzorok közt. E kártyák processzorinak kapacitása és beépített célfunkciói jobban kihasználhatóak, a feladatok megoszthatóak, jobban definiálhatóak. Azonban nehézséget és járulékos számítási teljesítmény csökkenést okoz a modulok közti kommunikáció, nehezebb a kártyák szoftvereinek követése, frissítése. Jelenleg gazdaságosabb a fejlesztést a fenti osztott moduláris rendszerben végezni. Előnyként kell még említeni a megjósolhatóbb processzorterhelést, a követhető válasz időt. Lehetőségekhez képest az elérhető legnagyobb számítási kapacitást kell realizálni, a nagy mennyiségű lebegőpontos számítási igény miatt.

A rendszernek biztosítani kell a kommunikációs igények kielégítését a földi irányító központtal, digitális adatkapcsolaton és/vagy analóg/digitális videó összeköttetésen keresztül a telemetria adatok, képek és/vagy videók földre juttatását.

Nagyon fontos részét képezi a fedélzeti elektronikának a navigációs rendszer és szenzorkártya, amely GPS-en és MEMS¹ érzékelőkön alapul. E modulnak kell a repülőgép minden rezdülését érzékelnie, vagyis létfontosságú a repülés minőségi paramétereinek és biztonságosságának szempontjából. A szenzorkártya a következőket tartalmazza: 3D gyorsulás, 3D elfordulás, 3D magnetométer, külső-, belsőhőmérséklet, motorhőmérséklet, differenciális légnyomás (Pitot cső), abszolút barometrikus magasság, ultrahangos magasság. Ezen kívül a központi kártya fogadja a fordulatszám, fogyasztásmérő jelét.

A repülőgép beavatkozó, végrehajtó szervei a programozható szervó vezérlőből és a mechanikus modell szervókból állnak. Az intelligens szervó vezérlő, a következő fejezetben kerül bemutatásra.

PROGRAMOZHATÓ SZERVÓ VEZÉRLŐ

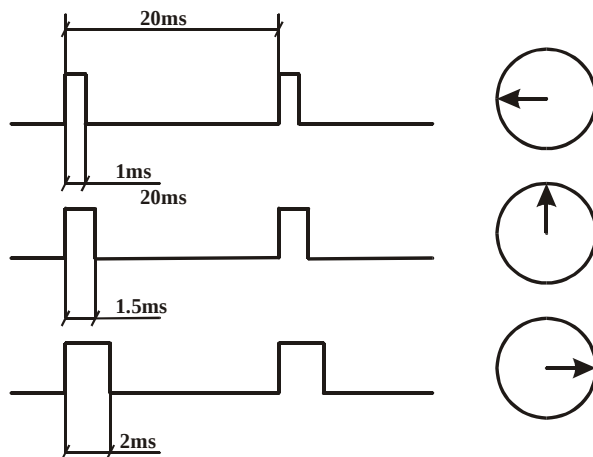
Egy végsőkig kifinomult robotpilóta rendszer sem ér semmit repülőgép és azt behangoló repüléshez értő szakemberek nélkül. Az egyik legnehezebb feladat az adott repülő tulajdonságait finom hangolni a szabályzó egységhez. A szervó vezérlő egység illeszti a robot pilóta rendszert a konkrét repülőgép vázhoz. Azért, hogy univerzálisan illeszthető legyen a legtöbb, főbb repülőgép típushoz, jól paraméterezhetőnek kell lennie. A jó paraméterezhetőség sajnos azzal a kellemetlen hátránnyal jár, hogy könnyen elveszhetünk a számok erdejében, és nem tudjuk a rendszert beállítani. Sajnos a paraméterek egy részét csak a

¹ MEMS, Micro Electro Mechanical Sensor: Mikro-elektromechanikai szenzor

fejlesztő érti, ezért saját fejlesztésű rendszer esetén talán egy fő képes a beállításra (Az ismertetésre kerülő vezérlőn, jelenleg, 32*8 paraméter állítható).

Mechanikus modell szervók vezérlési elve

Alacsony költségű vagy házi készítésű pilótánélküli repülőgépekbe általában kereskedelmi modell szervókat építenek. Ezek nagy előnye az olcsóság, sokrétűség, változatos méretben, nyomatékkal és kivitelben hozzáférhetőek, egyszerű PWM² jellel vezérelhetők. Sajnos sebességük nem minden esetben felel meg a követelményeknek. A hagyományos szervók csak 20ms-onként frissítik és változtatják a beépített motor tengelyének pozícióját, amely túl nagy késést jelenthet a szabályzó szempontjából (holtidő). Megoldást jelenthet a nagy sebességű digitális szervók bevezetése. A Futaba cég vezető e területen. Az általuk fejlesztett szervók meredekebb nyomaték görbével és kisebb holtidővel rendelkeznek [1]. A másodpercenkénti 50 impulzus helyett, 300 szélesség modulált impulzus vezérli a belső motort, pozicionálva a munka tengelyt a vezérlő jelnek megfelelő helyzetbe, a visszacsatoló potenciométer segítségével.



2. ábra. Modell szervó vezérlő jel

A speciális nagysebességű helikopter gyro szervók kivételével [2], minden servo vezérelhető 20ms-os periódusidejű és 1 és 2ms közti impulzusidejű, névlegesen 4,8V-os amplitúdójú (4*1,2V, 4db NiCd cella), pulzusszélesség modulált jellel. Mivel a különböző gyártók a csatlakozó kiosztásában és az

² Pulse With Modulation: Pulzus szélesség moduláció

impulzusidőben eltérhetnek a standardtól, ezért ajánlott bevált és ugyanolyan típusú szervók használata (Futaba).

A fenti ábrán egy szabványos szervó vezérlő jel látható, azonban figyelembe kell venni, hogy a korszerű PCM³ vevők nem 4,8V-os amplitúdójú jeleket alkalmaznak, mivel a belső CMOS mikrokontroller stabilizált 3V-os tápfeszültségről működik, ezért a vevők kimenetén 3V-os CMOS kompatibilis. A szerző tapasztalata szerint, a teljes mechanikus löket eléréséhez, 0,240ms és 2,280ms közti impulzusidőre van szükség.

Megvalósítandó kompenzációs és mixelési funkciók

Egy szokásos modell távirányító, ami olyan, mint amivel a modellezők irányítják a repülőgépeiket, a következő főbb funkciókat valósítja meg [3]:

- Differenciális csűrő (nagyobb csűrő kitérés felfelé, mint lefelé, *Aileron Differential*),
- V-farok (magassági és oldalkormány V-farokká mixelése, *V-tail, Ruddervators*),
- Csűrő → Oldalkormány (sodródás korrekció, *Rudder coupling*),
- Oldalkormány → Csűrő (hossztengely körüli, nem kívánt forgás kompenzálása, *Rudder → Aileron*)
- Csűrő-magassági (delta vagy csupaszárny, nincs farok, kombinált csűrő és magassági, *Elevon*),
- Magassági → Ívelőlap (jobb nagy emelkedésű manőverek, *Elevon → Flap*),
- Ívelőlap → Magassági (landoláskor kompenzálja a trimmelés változását, *Flap → Elevator*)
- Légcsavar szög (kombinált fék és gáz funkció, *Collective Pitch Function*)
- Csűrő-magassági / kombinált csűrő és magassági (két magassági lap, kombinálva külön csűrővel, *Aelevator / Combined Ailerons & Elevator*),
- Ívelőlap-csűrő (Két ívelőlap, csűrő funkcióval, *Flapperons*),
- Légfék (Féklap, magassági, ívelőlap, *Airbrake*)
- Differenciális oldalkormány (két oldalkormány, *Rudder differential*),
- Gáz kar görbe (motor karakterisztika, *Throttle Curve*).

A fenti felsorolásból látható mennyire összetett és sokrétű áthatás kompenzációs és mixelési funkciókat alkalmaznak a modell távirányítókban. Ezek egy része csak nagy vagy különleges modellekben nélkülözhetetlen, valamint az élsportolók használják. A pilótánélküli és hagyományos modellekben megvalósított funkciók közti különbség a légi akrobata mutatványokhoz szükséges elemekben van. Természetesen e funkciók nem szükségesek egy normál pilótánélküli repülőgép szabályozójához

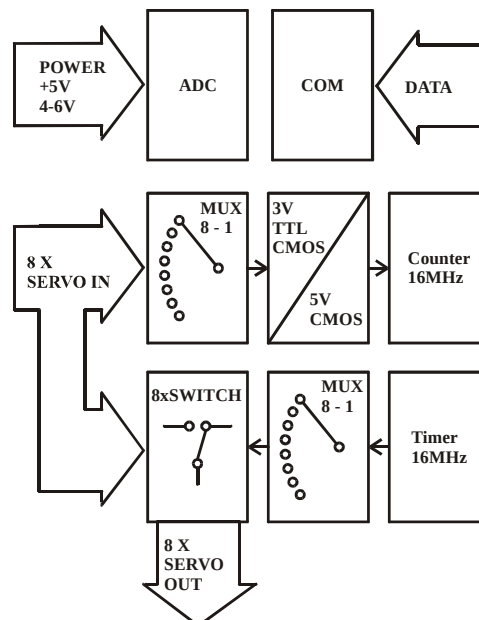
³ PCM, Pulse Code Modulation: Impulzus kód moduláció

Gyakorlatilag a következő mixelési funkciókat alkalmazzák az egyes robotpilóta rendszerek [4, 5]: Ívelőlap-csűrő, Differenciál csűrő, Csűrő-magassági, Csűrő → Magassági, Differenciális oldalkormány, Csűrő → Oldalkormány, Ívelőlap-csűrő, V-farok. Az előző vezérlési elveket a repülőgéphez egyedileg testre szabható szervo vezérlő valósítja meg, amely nem minden esetben elkülönült egység.

A pilótánélküli repülőgépek beüzemelésekor és a robot képességeitől függően le- és felszálláskor ember által irányítottak. A szervo vezérlő funkciói közé tartozik a manuális (távírányító vevőjén keresztül) és számítógép által szabályozott állapot közti átkapcsolás.

A szervo vezérlő elektronikai felépítése

Az alábbi ábra alapján követhető a szervo vezérlő működése, de az egyes blokkok nem minden esetben köthetők konkrét alkatrészhez, ezek egy része a mikrokontrolleren belül található vagy szoftverből megvalósított.



3. ábra. Szervo vezérlő belső felépítése

A vezérlő egy ATMEGA128-as ATMEL gyártmányú mikrokontroller és néhány diszkrét alkatrészből épül fel.

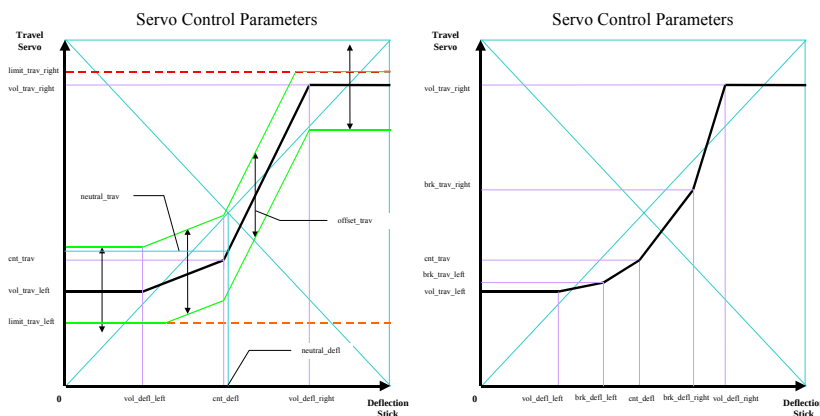
Főbb jellemzői röviden a következők:

- 8 standard átkapcsolható szervo bemenet + 1 csak mért bemenet (tápfeszültség csatlakozás),
- a bemenetek periódusideje szekvenciálisan mért, 0,5 μ s-os felbontás,
- bemenetek 3V-os CMOS és TTL kompatibilisek,
- a bemenetek a kimenetre vagy a vezérlőre kapcsolhatóak analóg kapcsolókon keresztül (szinkron problémák),
- névlegesen 5V-os CMOS kimenetek, de ezek feszültsége sosem haladja meg 0,3V-nál nagyobb feszültséggel a vevő tápfeszültségét,
- vevő és +5V feszültségének mérése,
- 0,5 μ s-os lépésekben állítható impulzus szélesség,
- külső logikai bemenet failsafe⁴ funkcióhoz,
- párhuzamos, gyors kommunikációs interfész.

A szervo vezérlő megvalósítás során, a rugalmas módosíthatóság érdekében, a lehető legtöbb funkció szoftveresen lett megvalósítva. A pontos időzítéseket az időzítő interruptok biztosítják.

A szervo vezérlő programjának funkcionális leírása

A vezérlő fő feladata a bemeneti változók szerinti kimeneti szervo elmozduláshoz szükséges jel előállítása, a szükséges nemlineáris karakterisztika előállításával.

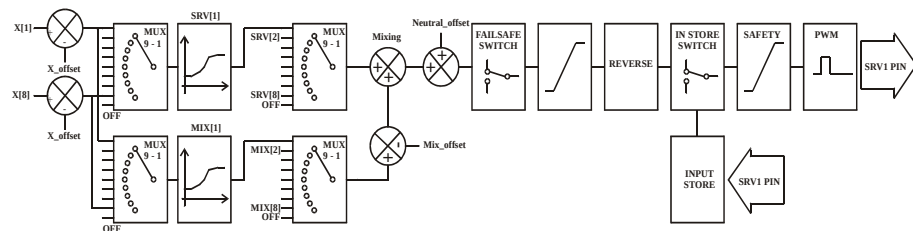


4. ábra. Szervo vezérlő transzfer funkció paraméterei

⁴ failsafe: biztonsági kapcsoló, önműködő védelem

A komputer és kézi vezérlés közt egy előre beállított bemeneti servo csatorna impulzusszélességének változása vált. Természetesen az alsó és felső váltási határérték is állítható.

A bemeneti változók unipoláris 16 bites egészek, ha bipolárisak, akkor unipolárisra konvertáltak. Minden kimeneti servo csatornához rendelhető egy, a 4. ábrán látható hat törtvonalas transzfer funkció. E transzfer funkció tartalmaz egy bemeneti változó függvényében működő limitet, valamint egy abszolút (mint a mechanikus végállás) határértéket. Az abszolút limit a mixer által hozzáadott értékre is vonatkozik (lásd 5. ábra.). A karakterisztika megváltoztatása nélkül, paraméterekkel jobbra-balra és fel-le tolható a karakterisztika. Ezzel az eljárással az unipoláris (nullától növekvő) fojtószeleppállástól elkezdve a bipoláris (középállású, plusz-mínusz kitérésű) differenciális csűrőig minden kívánt karakterisztika beállítható. Durván közelíthető az exponenciális karakterisztika is. A fenti egységből nyolcat kezel a szoftver. A mixer és áthatás kompenzálási funkciókat még nyolc ilyen mixer transzfer modul, összegző, beavatkozási pont eltoló „áramkör” realizálja.



5. ábra. Digitális servo vezérlő blokkvázlata

Hibás működés ellen a failsafe biztonsági funkció véd, mely külső logikai jellel, egy adott pozícióba állítja a szervókat. Minden kimeneti csatorna jele egyenként reverzálható (lőket középre tükrözött pozíció). A PWM jelet előállító modul kettős védelemként, tartalmaz még egy abszolút határolót, ugyanis a modell szervók nem megfelelő jellel vezérelve tönkre tehetők.

Az előre kiválasztott csatornák, automatikus üzemmódba kapcsoláskor, megtartják a bemeneti jel impulzus-szünet arányát, ami alkalmas bármelyik kormánylap kikompenzált állásban tartásához. Mivel, ez csak, akkor igaz, ha 20ms-os a bemeneti (vett) jel periódus ideje, ezért ajánlott bevált Futaba PCM vevőket alkalmazni (kvarc pontosság), ha használjuk ezt a funkciót, vagy megmérni, és ugyanazt a periódusidő értéket állítani a vezérlőben.

A servo kontroller funkciói Microsoft EXCEL táblázatban modellezhetők, ami felhasználó rendelkezésére áll. A végleges változatban servo rendszer

beállításai a központi egység és billentyűzet segítségével tesztelhetők lesznek, hasonlóan egy modell távirányítóhoz.

ÖSSZEGZÉS

A cikksorozat első részében ismertetett digitális szervo vezérlő, a komplett robotpilóta rendszert, a repülőgép felőli „végéről” közelítette meg. A funkciók egy része alkalmazás során el fog tűnni, hátrébe szorul, vagy esetleg továbbiakkal kiegészül, így a paraméterek száma bővíthet. Az intelligens szervo vezérlő legnagyobb előnye, hogy önállóan illeszteni képes a szabályzórendszert a repülőgéphez, ráadásul átvéve az ezzel járó számításigényt a fő processzortól. Jelenleg a navigációs és szenzorkártya fejlesztése folyik, melynek eredményei a cikksorozat következő részében lesznek olvashatóak.

-
- [1] FUTABA, Digital FET Servos, Application Notes
 - [2] FUTABA, AVCS GYRO, GY601, INSTRUCTION MANUAL
 - [3] FUTABA, PCM1024ZA, PCM1024ZH Pulse Code Modulation Sytem
Instruction & Operation Manual
 - [4] Cloud Cap Technology, Bill VAGLIENTI, Ross HOAG, Piccolo system user
guide, Hood River, USA, March 25, 2003, Version 1.1.6
 - [5] MICROPILOT, MP1100/MP2000 Installation and Operation Manual,
Winnipeg Manitoba, Canada