

Dr. Schuster György Phd.¹ – Terpecz Gábor²

FUZZY LOGIKA ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGE AUTOMATA REPÜ- LŐ SZERKEZETEK BEN³

Az előadás röviden összefoglalja a fuzzy logika legfontosabb tulajdonságait és ismerteti néhány alapvető fuzzy ismérvet, ezek működésére és nem matematikai hátterükre koncentrálva. A bevezető rész után egy robot repülő és egy robot helikopter fuzzy irányításának egyszerűsített vázlatát tárgyalja bemutatva a fuzzy irányítás előnyeit és esetleges hátrányait. Az előadás utolsó részében javaslatot tesz a fedélzeti vezérlő felépítésére.

POSSIBLE APPLICATION OF FUZZY LOGIC IN AUTOMATIC FLYING MACHINES

This presentation deals with some important features of fuzzy logic focusing their working and not mathematical background. After this part it shows simplified fuzzy control of a UAV and a robot helicopter and mentioned some advantage and disadvantage of this method. In the last part it makes a suggestion for the possible control structure.

I. BEVEZETÉS

Lofti Askar Zadeh 1965-ben publikálta a Fuzzy sets című cikkét az Information and Control című folyóiratban. A fuzzy logika az eltelt közel 50 évben a műszaki és hétköznapi élet számos területén elterjedt. Rendkívül alkalmas olyan feladatok megoldására, amelyek matematikailag nehezen, vagy egyáltalán nem foghatók meg, de ember által kézben tarthatók és kezelhetők.

Intézetünkben a hallgatók a projekt tantárgy és a szakdolgozat keretein belül számos esetben terveznek és készítenek el autonóm járműmodelleket, ezek irányításában a fuzzy rendszerek nagyon jól használhatók.

Ebben az előadásban elemezzük, hogy a fuzzy logika alkalmazható-e a repülésben és ha igen azt milyen mértékben és hol célszerű használni. Mintapéldaként két jelenleg is tervezés és építés alatt lévő eszközt ismertetünk, természetesen nem a teljesség igényével. Reméljük, ha az intézet anyagi lehetősége megengedi a jövő évi konferencián már a gyakorlati tapasztalatokról is beszámolhatunk.

¹ Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Műszertechnikai és Automatizálási Intézet
schuster.gyorgy@kvk.uni-obuda.hu

² Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Műszertechnikai és Automatizálási Intézet,
terpecz.gabor@kvk.uni-obda.hu

³ Lektorálta: Lektorálta: Prof. Dr. Pokorádi László egyetemi tanár, Debreceni Egyetem,
pokoradi.laszlo@prosysmod.hu

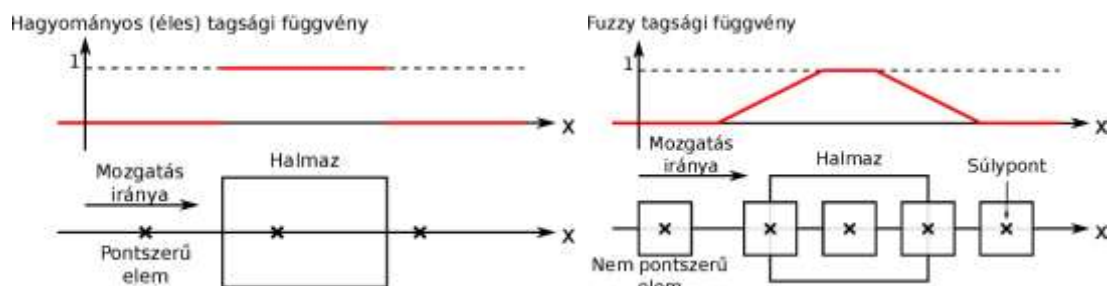
II. FUZZY LOGIKA

A fuzzy logika egy többértékű logika, amely a 0–1 tartományban minden értéket felvehet el-
lentétben a hagyományos logika 0 (hamis) és 1 (igaz) értékével szemben. A következő ábra
egy egyszerű geometriai példát és magyarázatot ad erre a „gondolkodásmódra”.

Tegyük fel, hogy van egy adott halmazunk és van egy pontszerű elemünk, ha az elemünket az
X irányban mozgatjuk és azt vizsgáljuk, hogy az elem benne van-e a kérdéses halmazban
vagy nincs. Ha nincs benne, akkor a kérdésre hamis a válasz - vagyis a tagsági értéke '0', ha
benne van, akkor a tagsági értéke '1'.

Ha nézzük az ábra második felét láthatjuk, hogy a kérdéses elemünk nem pontszerű, hanem
van kiterjedése (esetünkben egy négyzet). Mozgassuk most ezt az elemet X mentén és a tag-
sági értéket határozzuk meg úgy, hogy a mekkora hányada van a négyzetnek a halmazon belül
az elem teljes terjedelméhez képest. Ehhez természetesen szükségünk van egy határozott vo-
natkoztatási pontra az elemhez rögzítve. Ez esetünkben a négyzet súlypontja.

Láthatjuk, hogy a tagsági érték nem élesen '0' vagy '1', hanem az adott tartományban minden érté-
ket felvehet. Azt a függvényt, amely a tagsági értéket leírja – tagsági függvénynek – nevezzük.



1. ábra Hagyományos és fuzzy tagsági érték értelmezése

Az előző esetben a tagsági érték segítségével mutattuk be a „fuzzy gondolatot”, de felhasználás
szempontjából számunkra nem ez a legfontosabb. Esetünkben a fuzzy halmazokból kialakított
logikai változók lesznek fontosak. Egy fuzzy halmaz matematikai definíciója a következő:

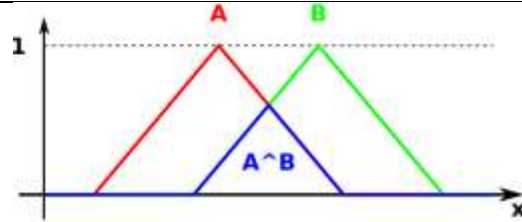
$$\tilde{A} = \{(x, \mu(x)) | x \in X\} \quad (1)$$

A fuzzy logika néhány fontos művelete.

2. 1. És művelet

Az és műveletet az úgynevezett 't' normák csoportja valósítja meg. Mi a leggyakrabban hasz-
nált minimum operátort használjuk (lásd ábra). Az operátor a két tagsági értékből a kisebbet
választja kimeneti értéknek. A műveletet leírása:

$$\mu\{\tilde{A} \wedge \tilde{B}\} = \min(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)) = \begin{cases} \mu_{\tilde{A}}(x), & \text{ha } \mu_{\tilde{A}}(x) < \mu_{\tilde{B}}(x) \\ \mu_{\tilde{B}}(x), & \text{ha } \mu_{\tilde{A}}(x) > \mu_{\tilde{B}}(x) \end{cases} \quad (2)$$

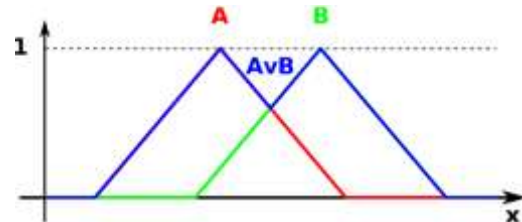


2. ábra Minimum művelet, mint fuzzy és művelet

2. 2. Vagy művelet

A vagy műveletet az 's', vagy más néven a 'co-t' normák csoportja valósítja meg. Számunkra az úgynevezett maximum operátor használata célszerű. Az operátor a két tagsági értékből a nagyobbát választja kimeneti értéknek. A művelet leírása:

$$\mu\{\bar{A} \vee \bar{B}\} = \max(\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(x)) = \begin{cases} \mu_{\bar{A}}(x), & \text{ha } \mu_{\bar{A}}(x) > \mu_{\bar{B}}(x) \\ \mu_{\bar{B}}(x), & \text{ha } \mu_{\bar{A}}(x) < \mu_{\bar{B}}(x) \end{cases} \quad (3)$$

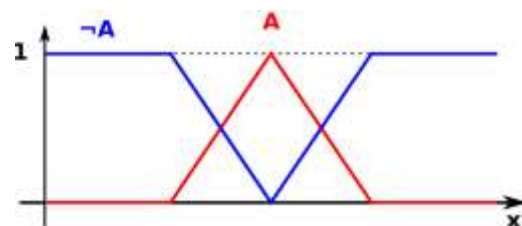


3. ábra Maximum művelet, mint fuzzy vagy művelet

2. 3. Nem művelet

A tagadás műveleteknek is több megvalósítása lehetséges. Az előzőekhez hasonlóan a legegyszerűbb operátort választottuk. A művelet leírása:

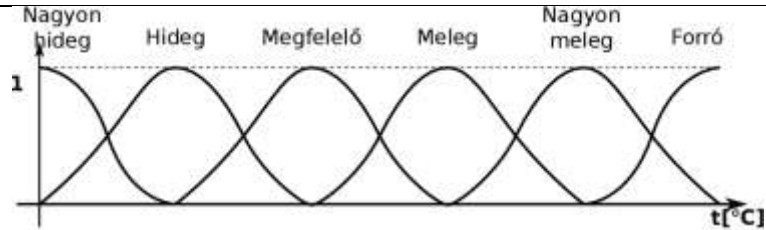
$$\mu\{\neg \bar{A}\} = 1 - \mu_{\bar{A}}(x) \quad (4)$$



4. ábra Fuzzy nem

2. 4. Nyelvi változók

A fuzzy rendszerek leírására célszerűen úgynevezett nyelvi változókkal történhet meg. A nyelvi változókat partíciókba rendezzük. Például a vízhőmérséklet partíció nyelvi változói: nagyon hideg, hideg, megfelelő, meleg, nagyon meleg, forró.



5. ábra Nyelvi változók egy hőmérsékleti skálán

Természetesen ezek a fuzzy változók konkrét számértékeket takarnak.

A fuzzy irányítás esetén egy úgynevezett szakértői irányítást valósítunk meg. Az irányítás egyszerűsített vázlata a 6. ábrán látható.

2. 5. Az irányítás részei

Bemeneti jele(k) konvertálása:

A bemeneten mérési eredmények jelennek meg, amelyekből fuzzy bemeneti jelet kell előállítani. Ez esetünkben azt jelenti, hogy az adott bemeneti jelből egy úgynevezett normált szingletont állítunk elő.



6. ábra Fuzzy irányítás vázlata

$$\mu\{\tilde{S}_{x_0}\} = \begin{cases} 1, & \text{ha } x = x_0 \\ 0 & \text{egyébként} \end{cases} \quad (5)$$

A normált szingleton egy speciális fuzzy halmaz, amely csak egyetlen pontból álló '1' tagsági értékű tagsági függvényt tartalmaz. A szingleton matematikai leírása.

Szabályrendszer: a szabályrendszer egy úgynevezett „ha – akkor” szabályrendszer, amely a bemeneti partíciókban szereplő nyelvi változók felhasználásával írja le a döntéseket.

Példa a ha – akkor szabályrendszerre:

- **ha** az állásszög nagy pozitív **és** a sebesség kicsi, akkor nagyon nyomd **vagy**,
- **ha** az állásszög közepes pozitív **és** a sebesség kicsi, akkor nyomd nagyon **vagy**,
- **ha** az állásszög a kis pozitív **és** a sebesség kicsi, akkor nyomd közepesen **vagy**,
- **ha** az állásszög semleges **és** a sebesség kicsi, akkor nyomd kicsit **vagy**,

A döntés modul: a szabályrendszer alapján egy úgynevezett fuzzy döntést hoz létre. Erről később még részletesen beszélünk.

Kimeneti jelek konvertálása: a fuzzy döntés eredménye egy fuzzy változó, amelyet közvetlenül nem tudunk felhasználni. Ezért szükségünk van egy konverzióra. Számunkra a legkézenfekvőbb megoldás a fuzzy változó súlypontjának vízszintes tengelyre vett vetülete.

2. 6. Egyszerű példa egy egybemenetű - egykimenetű (SISO) rendszerre.

Példa egy állásszög irányítást modellez.

Azt itt bemutatott példánál a számos fuzzy döntés közül az úgynevezett Mamdaniféle döntést fogjuk bemutatni. Ennek egyrészt területi okai vannak, másrészt tapasztalataink szerint a Mamdani döntés előnyeit és hátrányait tekintve a legjobbnak bizonyult.

Feltételezzük, hogy az állásszöget három szabállyal írjuk le és a magassági kormány állásszögét szintén három szabály reprezentálja. A szabályozási cél a semleges állásszög tartása.

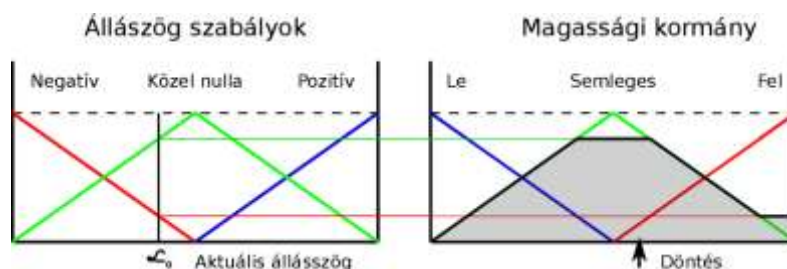
A szabályrendszer szöveges megfogalmazása:

Ha az állásszög		a magassági kormány szöge	
negatív	akkor	fel	vagy
semleges	akkor	semleges	vagy
pozitív	akkor	le	

Az állásszög adó bemeneti jelét szingletonná konvertáljuk. Ennek a szingletonnak a bemeneti szabályokon vett metszeti magassága az állásszög az adott nyelvi változóra vett tagsági értéke. Ezzel az értékkel dolgozunk tovább.

A Mamdani döntés esetén ezzel a metszeti értékkel minimum kapcsolatba hozzuk a megfelelő bemeneti szabály kimeneti szabálpárját, mintegy levágjuk a felső részét. Majd az így kapott kimeneti szabályokat a maximum operátor segítségével egyesítjük. Az így kapott fuzzy halmaz a fuzzy döntés.

Ezt természetesen még nem használhatjuk fel közvetlenül. A fuzzy döntést egyetlen éles értékre kell konvertálnunk, ami esetünkben a súlypont számítással történik. Ekkor megkapjuk a kívánt magassági kormány állásszöget.



7. ábra SISO Mamdani döntés

Az előző példában nagyon szabályos klasztereket láttunk, az igényeknek megfelelően nem szükséges az ennyire „szép” megoldás, a szabályok formája az igényekhez igazodhat.

A példában szereplő 3–3 elemű szabályrendszer túl kicsi a valóságban minimum 5, de inkább hét vagy annál több szabály alkot egy klasztert.

2. 7. Példa több bemenetű – egy kimenetű rendszerre

A példában egy sebesség, állásszög, magassági kormány döntést vizsgálunk meg. Az egyszerűség kedvéért a bemeneti klaszterek és a kimeneti klaszter is csak három – három – három szabályt tartalmaz.

Az állásszög klaszter a negatív (N), közel nulla (Z) és pozitív (P) szabályokat tartalmazza. A sebesség klaszter szabályai rendre: kicsi (K), megfelelő (M) és nagy (T).

Az állásszög klaszter szabályai: le (L), semleges (S) és fel (F).

Ekkor a szabályok összerendelésére célszerű egy táblázatot használni, ahol a táblázat élei a bemeneti szabályok, a belsejében az ehhez rendelt kimeneti szabályok találhatók. Ennek a táblának a neve fuzzy asszociációs tábla (FAM).

		Állásszög		
		N	Z	P
S e b e s s é g	K	S	L	L
	M	S	S	S
	T	F	F	S

A példában feltételezett szabálymetszetek:

- sebesség: K=0,2; M=0,8; T=0;
- állásszög: N=0,3; Z=0,7; P=0.

Láthatjuk, hogy ez érdemben két kimeneti szabályt érint, az S, az L. Mivel a szabályrendszer összerendelése és – vagy, tehát ha a sebesség kicsi (K) és az állásszög negatív (N), akkor legyen a magassági kormány semleges, vagy ... a sebesség megfelelő (M) és az állásszög negatív (N), akkor legyen a magassági kormány állása legyen semleges, illetve ... ha a sebesség megfelelő (M) és az állásszög közel nulla (Z), akkor a magassági kormány állása legyen semleges (S), ...

Ekkor a „K” és „N” értékek közül az és kapcsolat miatt a kisebbet választjuk, tehát a táblázat „KN:S” cellájára vonatkozó eredeti bemeneti érték 0,2; a „KZ:L”-re 0,2; az „MN:F”-re 0,3 és az „MZ:S” 0,3. A többi cellára vonatkozó érték 0.

Láthatjuk, hogy az „S” kimeneti szabályt háromszor is érintettünk eltérő 0.2, 0.3 és még egyszer 0,3-as értékekkel. A vagy kapcsolat miatt a nagyobbát választjuk. Így a kimeneti fuzzy döntésben a következő szabályok vesznek részt: L=0,2; S=0,3. Az ... ábrán láthatjuk, hogy ez enyhe negatív állásszöget eredményez.

Felmerül az a kérdés, hogy milyen módon kezelhető egy rendszer, ha kettőnél több bemenete van. Ekkor több lehetőségünk van, ezek:

- a táblát bővítjük az élén, vagy az élein tovább;
- adott bementi üzemiállapotoknak megfelelően új és új táblákat hozunk létre új szabály-

rendszerekkel (általában éles döntések alapján);

- többszintű fuzzy rendszert hozunk létre;
- hagyományos irányítási rendszereket is bevonunk az eszköz irányításába.

Abban az esetben, ha több bemenetű, több kimenetű (MIMO) rendszerünk van – ez a leggyakoribb a valóságban – törekednünk kell arra, hogy a rendszert több MISO rendszerre bontsuk, fokozottan ügyelve a dinamikai csatolások egymásra hatására.

III. REPÜLŐ SZERKEZETEK

Hallgatóink két repülő szerkezetet választottak, ezek:

- segédmotoros RC vitorlázó modell, ennek az elemei megvásárolhatók;
- speciális háromszög alakú hexakopter.

Az első esetben túl sok munka nem várható a modellen, mivel a géptest adott, a szervók gyárilag be vannak építve rendelkezésre áll a fedélzeti vevő, tehát a gép irányított repülésre alkalmas. Ebbe a gépbe kell beépíteni azokat a járulékos eszközöket, amelyek az automatikus repülésre alkalmasak oly módon, hogy az eredeti RC irányítás megmaradjon.

3. 1. Segédmotoros vitorlázó

A gép kiválasztásánál alapvető szempont volt, hogy ne legyen túlságosan gyors és elegendően nagy legyen teherbírása, hogy a járulékos elektronikát a járulékos tápellátással elbírja.

A gép tervezett műszerezettsége a következő, egy GPS vevő, amely szolgáltatja a gép térbeli pozícióját. Ebből az adatból számíthatjuk a gép sebességét emelkedését és süllyedését. Pontossága sajnos csak hobbi célokra elegendő, de a modell nem bír el valódi akrobatikus műszereket. Háromtengelyes gyorsulásérzékelő, amely gép X, Y, Z tengelyei mentén fellépő gyorsulásait méri. Ez elég sok problémát okoz az előzetes mérések alapján, mert ezek az eszközök érzékenyek a motor által keltett rezgéseket. Megoldás, hogy megfelelő szűrőalgoritmusokkal simíthatók ezek az adatok, azonban ez problémát jelent a gyors mozgásérzékelőknél. Nagyon jó lenne kisméretű valódi giroszkóp, hogy a gép helyzetét valós koordináta-rendszerben is mérni tudjuk, de ez ebben az esetben számunkra nem járható út.

A gép alapvetően egyetlen üzemmódban működik adott utat jár be, amelyet előre programoztunk. A gép az előre programozott profilnak megfelelően változtatja magasságát és irányát. Sebességét nem változtatja programozhatóan, azonban ereszkedéskor csökkenti a motor fordulatszámát emelkedéskor növeli azt. Fordulókban szintén növeli a motor teljesítményét és próbál optimális 20° bedöntésű fordulókat végrehajtani a navigációs fordulópontokon.

A gépen mindhárom kormányra és a motorra egyedi fuzzy irányító rendszert építünk figyelembe véve a többi tengely mentén történő kormányzást. Például forduló esetén a csűrő és az oldalkormány összehangoltan működik a csúszás elkerülése céljából. Ugyanígy a magassági kormány is kismértékben húzott.

Felmerült a kérdés, hogy mi történik, ha a gép extrém helyzetbe kerül, vagyis kívül kerül az automata repülés irányító rendszer értelmezési tartományán. Ekkor két lehetőség adott, az egyik, hogy a földi irányító átveszi a gép vezetését, mert felül bírálhatja a fedélzeti vezérlőt, a

másik, hogy a vezérlés „elengedi” a kormányokat és a gép – ha van helye – stabil helyzetbe áll, ekkor a vezérlés visszaveheti a kormányzást.

A fuzzy szabályrendszerek bemeneti klaszterenként hét – hét szabályt tartalmaznak klaszterenként, a motor kimeneti szabály három szabályt a csűrő, az oldalkormány és a magassági kormány szintén hét – hét szabály tartalmaz.

Hogyan határozzunk meg a szabályokat. Az olvasó azt gondolhatná, hogy ennek a résznek az elméleti összefoglalásnál lenne a helye, de a fuzzy irányítás ebben az esetben az RC pilóta tevékenységét modellezi, ezért került ez a gondolkör ide.

A számunkra célszerű megoldás, hogy a felszerelt gépet egy tapasztalt RC pilótával reptetjük és rögzítjük a mérési eredményeket és a pilóta akcióit, ezeket a regisztrátumokat kiértékeljük, majd ezek alapján beállítjuk a bemeneti és kimeneti szabályokat, amit ezek után tovább finomíthatunk. Ennek eredményeként elkerülhetjük az eredendően hibás beállításokat.

Természetesen lehetőségünk van arra is, hogy adaptív rendszert építsünk. Ehhez azonban nagyobb kapacitású beágyazott vezérlőre van szükségünk.

3. 2. Hexakopter

A hexakopter nem a hagyományos hat emelőcsavaros, hanem a három felső három alsó rotoros megoldás. A rotor párok a helikopter test tetején és az alján találhatók páronként koaxiális jellegű elrendezésben. Ennek egyetlen előnye a rotorátmérőkhöz mérten kicsi mechanikai méret és a relatív nagy emelőerő. A rotorkok saját egyéni motorokkal vannak meghajtva a rotorkok merev (nem csuklós mechanikájú) kétágú légcsavarok. A repülőtestet strukturálisan stabilnak tervezzük, súlypontját jóval a rotorsíkok alá tesszük.

A kormányzás nagyon egyszerű. Az emelkedés süllyedés a motorok fordulatszámának egyidejű változtatásával, a függőleges tengely körüli elfordulás a felső és alsó rotorsík motorjainak eltérő fordulatszámmal történő történő hajtásával, az előre - hátra haladás a „hátsó” rotorpár fordulatszám változtatásával történhet. A bedöntés ebben a mechanikában csak összetett vezérléssel történhet. Természetesen tudjuk, hogy kormányzás esetén az összes rotorpárt komplex módon kell kezelnünk. Mivel ez a mechanika nem szokványos, ezért a klasszikus RC irányítás nehézkes és a gyári vezérlők sem igazán megfelelőek, tehát az egész fedélzeti elektronika kifejlesztése előlről történik.

Elengedhetetlen biztonsági megfontolások miatt a kézi irányítás lehetősége, ezt szintén egyedi megoldás segítségével kívánjuk biztosítani. Nem a szokványos rádiós RC technikában ismert megoldásokkal, hanem ZigBee kapcsolaton keresztül valósítjuk meg. A fedélzeti kontroller soros interfészét használjuk és összetett parancsokat közlünk. A tervezett távirányító egy eePC botkormányval.

Az irányítási feladatok a következők:

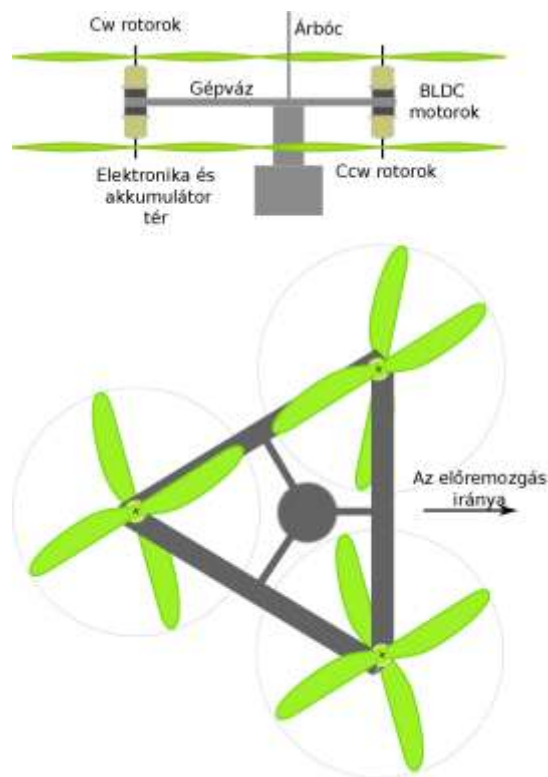
- függőleges emelés és teheremelés lehetőségekhez mérten a gázkarállással arányosan;
- vízszintes előremozgás magasságváltozás nélkül;
- elfordulás adott szögsebességgel álló helyzetben magasságváltozás nélkül;
- elfordulás haladás közben csúszás nélkül;

- pozíció tartása zavarás mellett (pozíció visszaszerzés).

Az alkalmazott érzékelők, egy kis pontosságú GPS vevő X, Y, Z irányban gyorsulásérzékelők, tangenciális irányban gyorsulásérzékelők.

A BLDC hat motor egyedi szabályozással rendelkezik. Ezt a fedélzeti kontroller végzi motoronkénti frekvencia és PWM hajtással. Ezeket a kimeneti paramétereket és csak ezeket tudjuk befolyásolni.

Látható, hogy a hexakopter minden paramétere hat minden paraméterére, a dinamikailag stabil felépítés miatt viszont ember több – kevesebb sikerrel képes irányítani (a pilótának sebességi problémái lennének), ezért a fuzzy irányítás megfelelő alternatíva. Bár biztosan megoldható klasszikus irányítástechnikai módszerekkel is a modell reptetése, de igazából nincs pontos dinamikai modellünk és nem akarunk túl nagy számítási kapacitást sem a fedélzetre telepíteni.



8. ábra Hexakopter vázlata

Példaként nézzük meg mire kell figyelni a „hátsó” rotorpár felső rotorjánál, (nem ha – akkor szabályonként).

- emelkedésnél növel a fordulatot;
- süllyedésnél csökkentsd a fordulatot;
- előre haladásnál növel a fordulatot;
- hátra felé haladásnál csökkentsd a fordulatot;
- jobbra forduláskor növel a fordulatot;
- balra forduláskor csökkentsd a fordulatot;
- bedőlésnél növel a fordulatot.

Láthatjuk, ha ezeket a szabályokat klaszterekbe rendezzük, akkor számos szabályt és FAM táblát kapunk. Ez azt jelenti, hogy a vezérlőnek relatív nagy memóriakapacitással kell rendelkeznie.

3. 2. 2. A vezérlő

A vezérlőnek több követelményt is ki kell tudni elégíteni.

Ezek:

- kellő műveleti sebessége kell legyen motoronként legalább nyolc klaszter kezelésére ez klaszterenként hét – hét szabályt jelent;
- kellő memória kapacitás szükséges a szabályok tárolására, ez szabályonként 256 bájt, tehát ez durván 14 kbájt memóriát jelent;
- elegendő bemenettel kell rendelkeznie a gyorsulásérzékelők jeleinek fogadására, ez négy analóg jel;
- rendelkeznie kell soros interfésszel a ZigBee modullal történő kapcsolattartásra;
- kezelnie kell a hat motorhajtást;
- könnyen előállítható kell legyen;
- beszerezhető alkatrészekből épüljön fel.

A fentiek alapján a választott vezérlő egy ARM Cortex M3 magos controller 256 kbájt flash és 96 kbájt RAM területtel. A kívánt órajel frekvencia 50 MHz.

A hajtások kiegészítő áramköri elemekkel a háromfázisú jelet egy alapórajelből állítják elő és ez a jel kerül a teljesítmény FET-ekből álló végfokra.

IV. ÖSSZEFOGLALÁS

Az eddigi vizsgálataink és kísérleteink azt igazolják, hogy egyszerű repülőszerkezetek fuzzy irányítása lehetséges. Nagyon reméltük, hogy a félév közepére legalább az egyik eszközt el tudjuk készíteni. Sajnos a költségvetésünk korlátozása miatt ez nem volt lehetséges. Reméljük, hogy a következő konferencián már a gyakorlati tapasztalatokról tudunk beszámolni.

Ki szeretnénk emelni, hogy a fuzzy irányítás nem a „legjobb” megoldás az adott feladatra, hanem egyike a lehetséges módzatoknak. Nagy előnye, hogy viszonylag kis matematikai háttérrel és számítási igénnyel megoldhatók a feladatok, ezért is tudunk fixpontos vezérlőt alkalmazni, ami mind árban, mind megvalósításban nagyon kedvező.

A fuzzy irányítás legnagyobb hátránya a szabályok memóriefogyasztása, ezeket tömbökben helyezzük el, ezért viszonylag sok tárterületre van szükség. Lehet a szabályok számát csökkenteni, viszont ez járulékos számítási munkával jár és ezt szeretnénk elkerülni.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Zadeh, L. A. (1965). "Fuzzy sets". Information and Control 8 (3)
- [2] Neszveda J. Automatika I. Példatár, BMF KVK Elektronikus jegyzet 2011
- [3] Schuster György „Fuzzy döntési eljárások összehasonlítása irányítástechnikai szempontból” Alkalmazott matematikai lapok 20 (2000)