

Fuzzy típusú PLC vezérlések légtechnikai alkalmazásokban

PLC Controlled HVAC Systems Using Fuzzy Logic

JÁNYOKI Ákos Sándor

Óbudai Egyetem BGK. MEI. Budapest. janyoki.akos@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

The aim of this study is to investigate the feasibility of PLC control of HVAC systems based on fuzzy inference. As the S7 1200 series PLCs, which are highly applicable in industry, readily available with wide vendor support, do not have native fuzzy logic, the demonstration of feasibility promises real benefits. Due to the large number and variety of input variables, the system should be broken down to subsystems. In this paper, I investigated the feasibility of a subsystem with two inputs and two outputs. The fuzzy inference system implemented on a PLC was validated with the values of the intervention signals calculated by MatLab FuzzyLogicDesigner.

Keywords: PLC, HVAC, Fuzzy, Sugeno

Kivonat

A tanulmány célja a HVAC rendszerek fuzzy következtetési rendszerre épülő, PLC által történő vezérlésének megvalósíthatósági vizsgálata. Mivel az iparban rendkívül jól alkalmazható, könnyen hozzáférhető és széles gyártói támogatással rendelkező S7 1200 sorozatú PLC-k nem rendelkeznek natív fuzzy logikával, a megvalósíthatóság bizonyítása valódi előnyöket ígér. A bemeneti változók nagy száma és sokfélesége miatt a rendszert alrendszerekre bontva érdemes megvalósítani. A tanulmányban egy két bemenetű és két kimenetű alrendszer megvalósíthatóságát vizsgáltam meg. A PLC-re implementált fuzzy következtetési rendszert MatLab FuzzyLogicDesigner által kiszámított beavatkozó jelek értékeivel validáltam.

Kulcsszavak: PLC, HVAC, Fuzzy, Sugeno,

1. BEVEZETÉS

Az ipari automatizálásban a fuzzy szabályozók előnye, hogy képesek beépíteni szakértői tudást, és alkalmazkodnak a változó feltételekhez anélkül, hogy állandó újrachangolást igényelnének. Ezáltal javítják a stabilitást és csökkentik a válaszidőt olyan folyamatoknál, ahol a hagyományos megközelítés nem elegendő. [1]

A fuzzy logika alapú PLC vezérlések alkalmazása légtechnikai rendszerekben, mint például a fűtés, szellőzés és légkondicionálás (HVAC), hatékony megoldás lehet a gyakran változó környezeti feltételek mellett működő nemlineáris rendszerek szabályozására. A tanulmány célja az ilyen szabályozási rendszerek megvalósíthatósági vizsgálata az iparban rendkívül jól alkalmazható, könnyen hozzáférhető és széles gyártói támogatással rendelkező S7 1200 sorozatú programozható logikai vezérlők (PLC-k) segítségével, melyek azonban nem rendelkeznek natív fuzzy logikával.

2. A FUZZY LOGIKA ALAPELVE

A fuzzy logika eltér a hagyományos bináris (0 vagy 1) logikától, mivel lehetővé teszi az adatok értékelését egy folytonos intervallum bármely pontjával. A rendszerekben nemcsak „be” vagy „ki” állapotok léteznek, hanem a változók különböző szintjei, ahol az állapotok közötti átmenetek folyamatosak. Például a fuzzy logika a „meleg” állapotot nem egy fix értékkel írja le, hanem egy hőmérséklet tartományként, amely lehet „kissé meleg” vagy „nagyon meleg”.

2.1. Fuzzy vezérlés előnyei légtechnikai alkalmazásokban

A légtechnikai rendszerek irányításánál sok paraméter (hőmérséklet, légnedvesség, levegő áramlás, külső hőmérséklet és szélviszonyok, az épület hőtechnikai paraméterei stb.) játszik szerepet. Mivel a fuzzy rendszerek szabályait tapasztalati alapon lehet megalkotni, finomhangolni, és nem szükséges pontos matematikai modell a rendszer működéséről, így könnyebb az implementáció.

3. FUZZY LOGIKA MEGVALÓSÍTÁS S7-1200 PLC-VEL

Az S7-1200 PLC sorozat jól ismert a rugalmasságáról és a különféle ipari automatizálási alkalmazásokban való használhatóságáról. Fuzzy logikán alapuló vezérlés is megvalósítható ezzel a sorozattal, noha a Siemens PLC-k esetében a fuzzy logika nem közvetlenül beépített funkció.

3.1. Programozás TIA Portalban

A TIA Portal mérnöki fejlesztőrendszer segítségével a fuzzy logikai vezérlés kialakítását különböző PLC programnyelvek (SCL, FBD, LAD) használatával, vagy külső függvénykönyvtár elemeinek importálásával lehet kialakítani.

3.2. Érzékelők (szenzorok)

A rendszer működéséhez különféle analóg érzékelők szükségesek, amelyek folyamatosan nyomon követik a környezeti és belső állapotokat. Ezek az érzékelők adják a fuzzy vezérlő bemeneti változóit. A S7-1200 PLC-k sorozata moduláris és flexibilis, különböző I/O bővítési lehetőségekkel rendelkezik, amely támogatja az analóg és digitális bemeneteket is.

3.3. Beavatkozó egységek (aktuátorok)

A fuzzy logikai vezérlőrendszer a beérkezett szenzoradatok alapján döntéseket hoz, és ezeket a beavatkozó egységek hajtják végre (Szivattyúk, ventilátorok, szelepek, légszappantyúk, nyitható kupolák, légkondicionálók, fűtő- és hűtőegységek, szűrők és légtisztító rendszerek, szellőztető rendszer hőcserélők), melyek általában a PLC digitális kimeneteihez kapcsolódnak.

3.4. Kommunikáció és integráció

Biztosítani kell a rendszer megfelelő kommunikációját és együttműködését az épületfelügyelet többi egységével (pl. tűzvédelmi rendszer, áramellátó rendszer stb.)

3.5. PLC-vel megvalósított fuzzy következtetési rendszer és validálása

Isaias Gonzáles Pérez és szerzőtársai [2] egy S7-1200 sorozatú PLC-vel működő fuzzy logikai vezérlő tervezését és validálását mutatták be. A fuzzy vezérlés egy szervomotor fordulatszámának szabályozására szolgált. A szerzők a vezérlési algoritmus működését a kifejlesztett szoftvermodul validálása és a megvalósíthatóság bizonyítása céljából egy Simulink/Matlab fuzzy vezérlő működésével hasonlították össze.

3.6. Az alkalmazandó fuzzy következtetési rendszer

Az alkalmazandó fuzzy következtetési rendszer típusát illetően egyes tanulmányok szerint a Mamdani típus helyett előnyösebb a Sugeno módszert alkalmazni, mivel az jól működik lineáris technikákkal, biztosítja a kimeneti felület folytonosságát, jól alkalmazható matematikai elemzéshez, kisebb számításigényű, és nem igényel defuzzifikálást, mert a következtetés eredményeképp éles érték keletkezik. [3] [4].

3.7. Alrendszerekre való bontás

Tekintettel a számos lehetséges bemeneti és kimeneti változóra, első lépésként a teljes rendszert alrendszerekre bontottam, ahol kis számú bemeneti és kimeneti változó segítségével vizsgáltam a PLC-n megvalósított fuzzy következtetési rendszer működését a fejlesztőrendszer PLCSIM szimulációs szolgáltatásának segítségével.

Jelen tanulmány céljaként egy validált, PLC vezérelt alrendszer megvalósítását tűztem ki. Több ilyen, validált és finomított alrendszer összefűsülése és a gyakorlatban történő tesztelése egy következő tanulmány témája lesz.

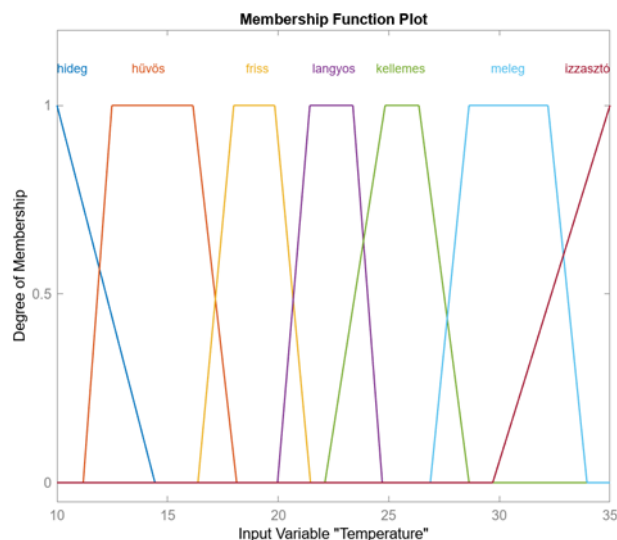
4. EGY FUZZY KÖVETKEZTETÉSI RENDSZER LÉTREHOZÁSA

4.1. A be- és kimeneti változók

Legyen egy olyan kétdimenziós légtechnikai alrendszerünk, amelyben a levegő hőmérsékletét és páratartalmát mérjük, és ezeket a „kellemes” tartományban szeretnénk tartani a fűtés és a szellőztetés (ventilátorok) szabályozásával.

4.2. A tagsági függvények definiálása

A bemeneti (un. nyelvi) változókhoz (jelen esetben a „hőmérséklet” és a „páratartalom”) tartozó tagsági függvények (nyelvi értékek) (pl a hőmérséklet bemeneti változóhoz egy finom felbontású lefedés esetén a „hideg”, „hűvös”, „friss”, „langyos”, „kellemes”, „meleg”, „izzasztó”, függvények) definiálhatók. Ezek számának meghatározása során általában három és tíz közötti értékekkel találkozhatunk. Tíznel többet a tapasztalatok szerint egy átlagember nem tud megkülönböztetni a legtöbb témakörben, míg háromnál kevesebbet választva a rendszer használhatósága válik kérdésessé. Páratlan szám választása mellett szól az az érv, hogy általa könnyen kijelölhetővé válik egy, a szélső értékektől közel azonos távolságra levő középső szint. Egyes feladatoknál szükség lehet arra, hogy az alaphalmaz bizonyos tartományaiban a felosztás sűrűbb legyen, más szóval a nyelvi értékek (tagsági függvények) között legyenek olyanok, amelyek „közelebb” vannak szomszédaikhoz. Ily módon ezen univerzum-intervallumokban érzékenyebb következtetés valósítható meg. [5]



1. ábra. Példa lehetséges tagsági függvényekre a „hőmérséklet” bemeneti változóhoz

Sűrű szabályhalmaz iránti igény esetén a felosztás növelésével arányosan nő azonban az igényelt szabályok száma is. Például egy két-bemenetű (A és B) és három ($A=\{A_1, A_2, A_3\}$) illetve négy ($B=\{B_1, B_2, B_3, B_4\}$) tagsági függvénnyel rendelkező rendszernek a sűrű szabálybázis kialakításához $3 \times 4 = 12$ szabály szükséges. [5]

4.3. A fuzzy szabályrendszer megadása és a w_i tüzelési szintek értékeinek megállapítása

A fuzzy következtetés IF - THEN szabályokon alapszik. Például: HA a hőmérséklet „meleg” ÉS a páratartalom „alacsony”, AKKOR állítsuk 0%-ra a fűtés szivattyút és vegyük 80%-ra a szellőzést. Vagy: HA a hőmérséklet „hűvös” ÉS a páratartalom „kellemes”, AKKOR állítsuk 75%-ra a fűtés szivattyút és vegyük 10%-ra a szellőzést. Mindenképp ügyelni kell arra a szabályrendszer definiálásakor, hogy a rendszer lehetséges állapotait lefedje és kellően sűrű legyen.

A bemeneti változók aktuális értéke meghatározza az adott változóhoz tartozó egyes tagsági függvények függvényértékeit (μ). A szabálybázis reláció alapján ezek a függvényértékek az adott szabály aktivizálódásának mértékét a szabályban leírt ÉS kapcsolat, vagy VAGY kapcsolat függvényében határozzák meg. ÉS kapcsolat esetén az i -edik szabálybázis reláció elemeihez tartozó tüzelési (aktivizálódási) szintet (w_i) a bemeneti változók tagsági függvényértékei minimuma fogja meghatározni, míg VAGY kapcsolat esetén a tüzelési szintet ugyanezen tagsági függvényértékek legnagyobbika határozza meg.

4.4. A beavatkozó jel mértékének meghatározása Sugeno módszer használatával

A szabályozáshoz szükséges beavatkozások mértékét a szabálybázis relációk tüzelési értékének felhasználásával tudjuk megállapítani. Miután Sugeno féle fuzzy következtetést alkalmazunk, a szabályok következmény részében nem fuzzy halmaz szerepel, hanem a következményt a feltételek matematikai függvényeként, nulladrendű esetben éles konstans értéként lehet megadni (y_i). Az előbbi példánál maradva a szabálybázis egyik eleménél a fűtés 0%, a szellőzés 80%, a másikonál a fűtés 75%, a szellőzés 10%.

A tagsági értékek alapján megállapított tüzelési szint és az adott szabályhoz tartozó konkrét függvényérték szorzatainak súlyozott átlaga (W_{aver}) adja meg végül a kimenet értékét mindkét kimeneti változó esetében.

5. A LÉGTECHNIKAI ALRENDSZER S7-1200 PLC-VEL TÖRTÉNŐ MEGVALÓSÍTÁSA, VALIDÁLÁSA

Az alrendszer PLC-n történő megvalósítását egy S7-1214C DC/DC/Rly típusú controller és egy SM 1222 DQ8xRly kimeneti bővítő kártya konfigurációján végeztem. A TIA Portal V.17 fejlesztő rendszer lehetővé tette a működés valós idejű szimulációját a PLCSIM modul használatával. A fuzzy szabályokat és tagsági függvényeket egyedileg paraméterezhető funkciók formájában SCL nyelven írtam meg.

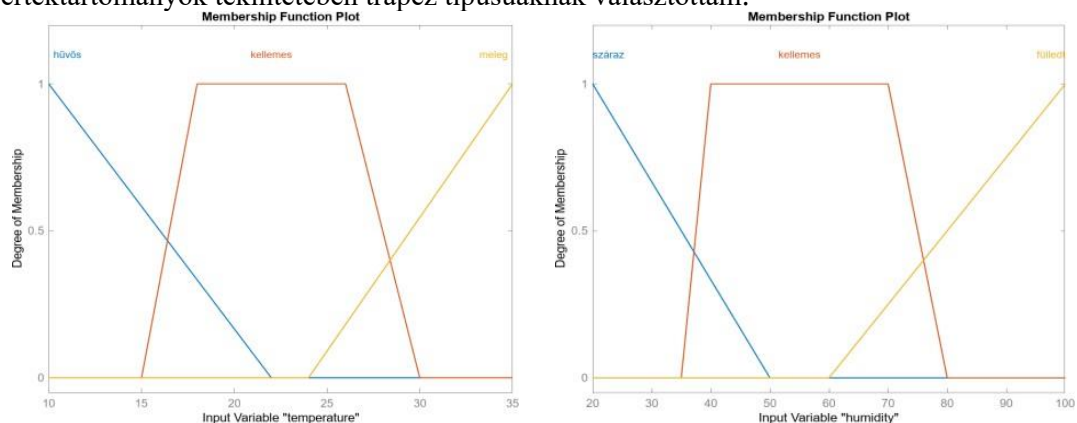
A bemenő jelek szintje force tábla segítségével tetszőlegesen beállítható a PLC bemenetein, és egy kellően konfigurált watch tábla segítségével a PLC által kiszámított beavatkozó jelek szintje megjeleníthető.

A validáláshoz a MatLab FuzzyLogicDesigner segítségével is megalkottam a bemeneti változók tagsági függvényeit, és vonatkozó szabályrendszerét. Az így generált beavatkozó jeleket összehasonlítottam a PLC által számítottakkal.

5.1. A be- és kimeneti változók

A hőmérséklet értéke 10 °C és 35 °C közötti tartományban, míg a páratartalom mértéke 20% és 100% közötti tartományban van értelmezve. A kimenetek 0-100 % értéket vehetnek fel, mind a fűtés, mind a szellőztetés (ventilátor) tekintetében.

A hőmérséklet és a páratartalom tagsági függvényei a szélső értékek felől háromszög alakúnak, a középső értéktartományok tekintetében trapéz típusúaknak választottam.



2. ábra. A bemeneti változók tagsági függvényei

A bemeneti értékekhez tartozó tagsági függvények által meghatározott μ függvényértékek megadják, hogy egy adott bemeneti érték milyen mértékben tartozik az egyes tagsági függvények által reprezentált fuzzy halmazhoz. Néhány, a PLCSIM futása során rögzített példa:

Példák a tagsági függvény értékekre

1. táblázat

μ_{Tj}				μ_{Hk}			
Temp. °C	Hűvös μ_{T1}	Kellemes μ_{T2}	Meleg μ_{T3}	Hum. %	Száraz μ_{H1}	Kellemes μ_{H2}	Füledt μ_{H3}
10	1	0	0	20	1	0	0
18	0,33	1	0	45	0,17	1	0
23	0	1	0	65	0	1	0,13

μ_{Tj}				μ_{Hk}			
Temp. °C	Hűvös μ_{T1}	Kellemes μ_{T2}	Meleg μ_{T3}	Hum.%	Száraz μ_{H1}	Kellemes μ_{H2}	Füledt μ_{H3}
28	0	0,50	0,36	80	0	0	0,50
35	0	0	1	100	0	0	1

5.2. A fuzzy szabályrendszer megadása és a w_i tüzelési szintek értékeinek megállapítása

Az alrendszerben alkalmazott szabályok jelen esetben azt is jelentik, hogy a hozzájuk rendelt y függvényértékek (pl. fan50 = 50%-os ventilátor teljesítmény) konstans éles értéket adnak mindkét kimeneti változó tekintetében.

Az alrendszerben alkalmazott szabálybázis

2. táblázat

Szabálybázis							
Szabály sorszám	IF	Temperature	AND	Humidity	THEN	Heat :=	Fan :=
1	HA	Hűvös	ÉS	Száraz	AKKOR	100%	-
2		Kellemes		Száraz		0%	12%
3		Meleg		Száraz		0%	100%
4		Hűvös		Kellemes		67%	-
5		Kellemes		Kellemes		0%	0%
6		Meleg		Kellemes		0%	50%
7		Hűvös		Füledt		83%	50%
8		Kellemes		Füledt		0%	100%
9		Meleg		Füledt		0%	100%

Az ÉS kapcsolat miatt a szabálybázis reláció elemeihez tartozó tüzelési (aktivizálódási) szintet (w_i) a bemeneti változók tagsági függvényértékei minimuma fogja meghatározni. A szabályok tüzelési szintje:

$$w_i = \min[\mu_{Tj}; \mu_{Hk}]$$

Ahol:

$i=1, 2, \dots, 9$; a szabályok sorszáma, μ_{Tj} a hőmérséklet adat, μ_{Hk} a páratartalom adat tagsági függvény értéke, ahol i , és $k=1, 2, 3$;

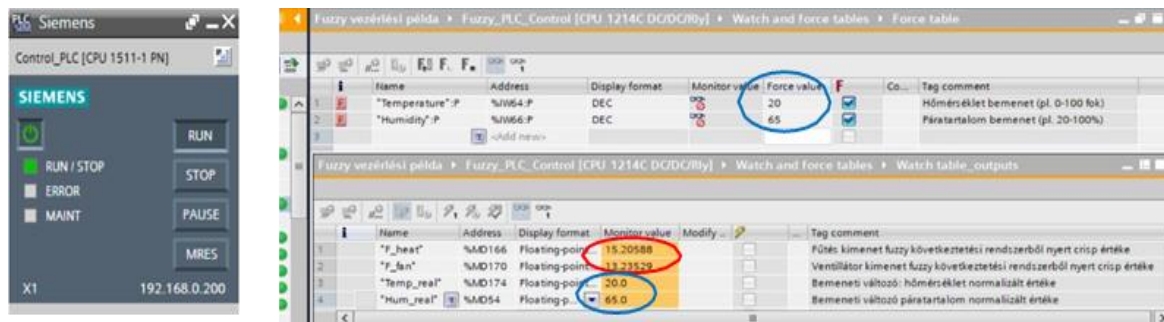
5.3. A szabályok kiértékelése, következtetés

Miután Sugeno féle fuzzy következtetést alkalmazunk, a szabályok következmény részében nem fuzzy halmaz szerepel, hanem a következményt a feltételek matematikai függvényeként, jelen esetben konstans értéként lehet megadni.

A tagsági értékek alapján megállapított tüzelési szint és az adott szabályhoz tartozó függvényérték szorzatainak súlyozott átlaga mindkét kimeneti változó esetében megadja a kívánatos beavatkozáshoz szükséges kimeneti értéket.

5.4. A PLC-re implementált fuzzy következtetési rendszer validálása

A PLCSIM programmal szimulált PLC működését a force táblában beállított bemeneti paraméterekre adott kimeneti értékek és a FuzzyLogicDesigner felületén kapott számszerű eredmények összehasonlításával validáltam.



3. ábra. A PLC szimulátor PLCSIM programban, bemeneti változók és beavatkozó jelek a force és watch táblában

Például, ha a hőmérséklet 20°C és a páratartalom 65%, a PLC a fűtésre 15,20588% a ventilátor teljesítményre 13,23529% beavatkozó jelet ad. (3. ábra)

Ellenőrzésképpen a FuzzyLogicController 'rule inference' ablakban az 'input values' mezőben beállított bemeneti értékekhez leolvasható a beavatkozó jelek mértéke (mindkét esetben 0-100 közötti érték)



4. ábra. A FuzzyLogicController 'rule inference' ablak részlete a bemeneti változók és a beavatkozó jelek pillanatnyi értékeivel

A validálás során a bementi változók teljes spektrumán megvizsgáltam a PLC rendszer válaszait. Az értékek minden kombináció esetén, ill. bármely más, a 3. táblázatban fel nem sorolt kombináció esetén is -a kerekítési eltéréseket nem számítva- minden esetben megerősítést nyertek a FuzzyLogicDesigner által.

Megjegyzés: Tekintve, hogy valós környezetben nem analóg kimenetekkel dolgozunk, a rendszerbe történő beavatkozás során a PLC a számított értékekhez legközelebbi fokozatokat aktiválja.

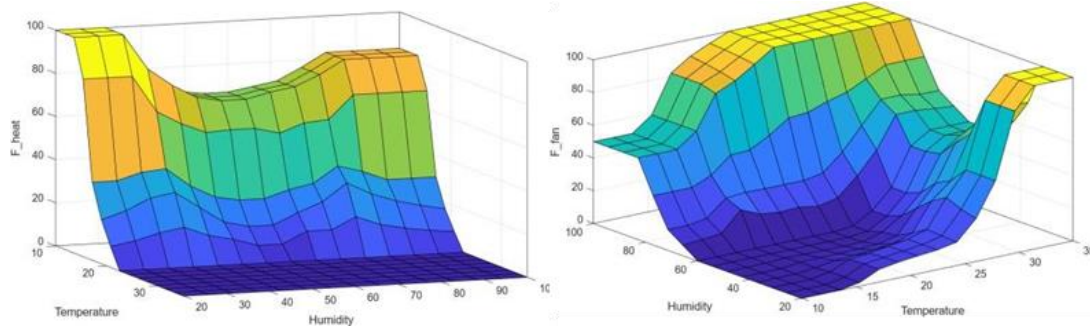
A PLC számított beavatkozó jelei különböző bemeneti kombinációkra

3. táblázat

Temp . °C	Hum. %	Heat %	Fan %	Temp . °C	Hum. %	Heat %	Fan %	Temp . °C	Hum. %	Heat %	Fan %	Temp . °C	Hum. %	Heat %	Fan %
10	20	100	0	24	20	0	12	18	20	25	9	30	20	0	100
10	40	75,3	0	24	40	0	3	18	40	27,8	2	30	40	0	69
10	60	60	0	24	60	0	0	18	60	16,8	0	30	60	0	50
10	80	83	50	24	80	0	100	18	80	33,2	80	30	80	0	100
10	100	83	50	24	100	0	100	18	100	20,8	87,5	30	100	0	100
16	20	60	4,8	28	20	0	49,1	20	20	14,3	10,3	35	20	0	100
16	40	44,6	2,7	28	40	0	36,3	20	40	16,7	2,4	35	40	0	62,5
16	60	40,2	0	28	60	0	21	20	60	9,6	0	35	60	0	50
16	80	49,8	70	28	80	0	100	20	80	20,8	87,5	35	80	0	100
16	100	49,8	70	28	100	0	100	20	100	11,9	92,9	35	100	0	100

5.5. Kontrol felület

A FuzzyLogicDesigner szolgáltatása a fuzzy következtetési rendszer által generált kimeneti változók és a bemeneti változók összefüggésének vizualizálása.



5. ábra. A kimeneti változók és a bemeneti változók összefüggésének vizualizálása

6. KONKLÚZIÓ

A tanulmány célja a HVAC rendszerek fuzzy következtetési rendszerre épülő, PLC által történő vezérlésének megvalósíthatósági vizsgálata volt. HVAC alkalmazás esetén a mért bemeneti változók nagy száma és sokfélesége szükségessé tette, hogy a rendszert kisebb egységekre bontsuk, és így egy két bemenetű és két kimenetű alrendszer megvalósíthatósági vizsgálatát tűztam ki célul.

A vizsgált alrendszer egy-egy hőmérséklet és páratartalom bemeneti változóval és egy-egy fűtési és ventilátor fokozat aktiválásának kimeneteivel rendelkezett.

Az alrendszer modelljét egy S7 1214C CPU programozásával készítettem el. A fuzzy tagsági függvényeket mindkét bemeneti változó esetében a tapasztalati értékek figyelembevételével vettem fel. A szabályrendszert hasonló megfontolások kíséretében fogalmaztam meg. A beavatkozó jelek meghatározásához nulladrendű Sugeno típusú következtetési rendszert használtam. Végül a PLC-re implementált fuzzy következtetési rendszert a FuzzyLogicDesigner toolbox által kiszámított beavatkozó jelek értékeivel validáltam. Ezzel sikerült egy alrendszerre a megvalósíthatóságot igazolni.

6.1. Továbbfejlesztési lehetőségek

Az egyes partíciók több tagsági függvényre történő felosztásával finomabb átmeneteket lehet leképezni. Ez magával hozza a szabályrendszer bővítésének és finomításának a lehetőségét is. Az alkalmazott fuzzy következtetési rendszer és a PLC keretrendszere ezt megkötések nélkül lehetővé teszi.

Több bemeneti változót figyelembe vevő alrendszer esetén ritka szabálybázis és valamilyen szabály-interpolációs technika alkalmazása lehet indokolt. Érdekes megvizsgálni megerősítéses tanítás (reinforcement learning) alapú fuzzy modell és szabálybázis azonosítás alkalmazási lehetőségét is.

További alrendszerek vizsgálata után az alrendszerek összekapcsolása fa struktúra szerint történhet.

6.2. Valós tesztkörnyezet vizsgálata

Valós tesztkörnyezet megléte esetén további vizsgálatok is végezhetők. Ezek költségigényes, és hosszadalmas vizsgálatok lehetnek, de ezek nélkül a gyakorlati alkalmazhatóság bizonyítása elképzelhetetlen.

Vizsgálendő területek: Kapcsolódás más rendszerekhez (Pl. tűzjelző, CO érzékelő, tűzvédelmi és egyéb épületfelügyeleti rendszerek) működés tesztelése, finom hangolása valós környezetben, tapasztalati, használati alapú visszajelzések figyelembevétele egy második körös finomításhoz.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Chun-Tang Chao, Nana Sutarna, Juing-Shian Chiou and Chi-Jo Wang (2019) *An Optimal Fuzzy PID Controller Design Based on Conventional PID Control and Nonlinear Factors* <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/6/1224> (Utolsó letöltés: 2024. 12.10)
- [2] Isaías González Pérez, A. José Calderón Godoy and Manuel Calderón Godoy *Fuzzy Controller based on PLC S7-1200 Application to a Servomotor* ICINCO-2014, pages 156- 163 ISBN: 978-989-758-039-0
- [3] Johanyák Zsolt Csaba: *Fuzzy következtetési módszerek* Főiskolák Matematika, Fizika és Számítástechnika Oktatóinak XXVIII. Országos Konferenciája, Nyíregyházi Főiskola, 2004. augusztus 25-27.
- [4] *A Sugeno típusú modellek* Dr. Ludányi-Laufer Edit OE. Biztonságtechnikai Doktori Iskola Fuzzy Következtetési Rendszerek tananyag
- [5] Johanyák Zs. Cs. – Dr. Kovács Sz.: *A fuzzy tagsági függvény megválasztásáról* A GAMF Közleményei, Kecskemét, XIX. évfolyam (2004), ISSN 0230-6182, pp. 73-84.