

A FUZZY SZABÁLY-INTERPOLÁCIÓ GYAKORLATI ALKALMAZÁSAI

Berez Antónia¹, Dr. Johanyák Zsolt Csaba²

¹Gábor Dénes Főiskola, Alap és Műszaki Tudományi Intézet

² Kecskeméti Főiskola, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar,
Kalmár Sándor Informatikai Intézet

ABSTRACT

Fuzzy logic achieved an important role on the areas of the conditioning, control technique and guidance in the 20th century, and it had gained more and more significance recently on the area of function approximation applications as well. Fuzzy logic based applications do not require always a full coverage of the input space by the rule base, they can cope with the so-called sparse rule bases as well if the proper inference technique is selected. Fuzzy systems applying sparse rule bases can offer several advantages like the reduced storage demand for the knowledge base, the reduced computational complexity, etc. In this paper, we review some typical practical applications of fuzzy rule interpolation based inference using sparse rule bases. The application examples being presented cover the area of function approximation and rule based control.

KEYWORDS

fuzzy rule interpolation, sparse rule bases, application examples

BEVEZETÉS

A fuzzy logika a 20. században főleg a szabályozás- és az irányítástechnika, illetve a vezérlés területein töltött be fontos szerepet, de az utóbbi években egyre nagyobb teret nyert a függvény-approximációs jellegű alkalmazásokban is. Az alkalmazásokat működtető fuzzy logikához nem szükséges minden szóba jöhető vagy lehetséges szabály szabálybázisokba rendezése, használhatunk úgynevezett ritka szabálybázisokat is, amelyek kompaktabb tudásábrázolást tesznek lehetővé.

Ritka szabálybázis esetén szükségünk van egy megfelelő közelítő technikára a fuzzy következtetéshez. A legtöbb esetben az erre kifejlesztett eljárások a következményt valamilyen fuzzy szabály-interpolációs módszerrel határozzák meg. Az alábbiakban bemutatunk hat gyakorlati alkalmazást, ahol szabály-interpoláció alapú fuzzy következtetés segítségével oldották meg a feladatot.

KŐOLAJKUTATÁS SORÁN VÉGZETT FÚRÁSOK MÉRÉSI EREDMÉNYEI KÖZÖTTI ÖSSZEFÜGGÉSEK FELTÁRÁSA

Johanyák és Kovács [2] valamint Wong és Gedeon [8] a kőolaj fizikai tulajdonságainak becsléséhez generált fuzzy rendszerekről számolt be. A kőolajkutatási fúrások idő- és költségigényessége miatt a kitermelés gazdaságosságának előrejelzése nagy jelentőségű. Az eredmények elemzése során az egyik legfontosabb feladat a petrofizikai tulajdonságok becslése a bemeneti adatok alapján (mint porozitás, permeabilitás és agyagmennyiség [8]). A dolgozatokban a feladat alacsony komplexitású fuzzy modell létrehozása volt, amelyhez három bemeneti változó: a gamma sugárzás, a mélységi indukciós ellenállás és az akusztikus terjedési idő tartozott. A modell egy kimeneti jellemzővel rendelkezett. A tanító mintaadathalmaz 71 adatsort, a teszt adathalmaz 51 adatsort tartalmazott. A két dolgozatban

ugyanazokat a gyakorló és tesztelő adathalmazokat használták. Az adatok előfeldolgozáson estek át, és az egyes változókat az egységintervallumra normalizálták.

Az alkalmazott szabálybázis generálási módszer a [2] esetén az RBE-DSS (Rule Base Extension based on Default Set Shapes), a fuzzy következtetés a LESFRI (LEast Squares based Fuzzy Rule Interpolation) technika volt kombinálva a COG (Centre Of Gravity) defuzzifikálással. Ezzel szemben a [8] szerzői a MACI (Modified α -Cut based Interpolation) módszert használták. Az előírt és a modell által előállított eredményeket mindkét esetben a tapasztalati korrelációs tényező segítségével vetették össze. Mindkét módszer jobb becslést adott a korábban más eljárásokkal elértéhez képest, valamint az RBE-DSS+LESFRI eljárás páros valamivel jobb teljesítményt mutatott úgy a tanító, mint a tesztadatok esetén, ahogy az 1. táblázat mutatja.

Alkalmazott módszer	Korrelációs faktor	
	Tanítóadatok	Tesztadatok
MACI [8]	0.917	0.865
RBE-DSS+LESFRI [2]	0.934	0.890

1. táblázat Korrelációs faktor értékek

Az RBE+LESFRI által előállított rendszer további előnye, hogy a nyelvi kifejezések és a szabályok száma szignifikánsan csökkent a [8]-hoz képest. Míg a [8]-ban bemutatott rendszer 63 szabályon alapult, addig a [2]-ben ismertetett változat csak 9 szabályt tartalmazott.

ANAEROB KÚPOS SZUSZPENDÁLT ÁGYREAKTOR MŰKÖDÉSÉNEK MODELLEZÉSE

A fuzzy modellek jól adaptálhatók változatos rendszerkonfigurációkhoz és változatos műveleti feltételekhez. Johanyák, Parthiban és Sekaran [3] anaerob kúpos szuszpendált ágyreaktoron laboratóriumban végrehajtott kísérletek alapján készített modelleket mutatott be. A rendszer feladata a bőrgyártás során keletkező ipari szennyvíz tisztítása volt.

A modellnek négy bemenettel (átfolyási sebesség, kémiai oxigénigény bemeneti oldalon, pH és bemeneti biológiai oxigénigény) és öt kimenettel (kémiai oxigénigény kimeneti oldalon, biogáz, illózsírsav, lúgosság és kimeneti biológiai oxigénigény) rendelkezett. A mérési adathalmaz 78 adatsort tartalmazott. A be- és kimeneti alaphalmazok alsó és felső korlátai előírt értékek voltak. Öt rendszert készítettek, amelyek generálására és hangolására az ACP (Automatic fuzzy system generation based on fuzzy Clustering and Projection) algoritmust és a FRIPOC (Fuzzy Rule Interpolation based on Polar Cuts) szabály-interpolációs következtetési módszert alkalmazták. Két teljesítményindexet használtak a rendszer kiértékeléséhez, az átlagos négyzetes hiba négyzetgyökét vagy más néven empirikus szórást (Root Mean Square Error, RMSE) és az RMSE relatív értékét a terjedelemhez (RMSEP) százalékban kifejezve.

	RMSE	RMSEP%
Kémiai oxigénigén	27.7827	4.11
Biogáz	0.8012	2.46
Illózsírsav	18.2828	7.75
Lúgosság	76.0786	9.67
Biológiai oxigénigény	88.4201	9.96

2. táblázat A hangolási folyamat eredményei

A 2. táblázatban látható hangolás végi teljesítményindexek szerint a kémiai oxigénigény esetében a kimeneti oldalon viszonylag jó eredményeket értek el, csak néhány mért-számított pont esetében volt szignifikáns az eltérés. A biogáz és a bemenet közötti kapcsolatot

modellező rendszer hozta a legjobb eredményt. Az illózsírsavak és a lúgosság esetében az eredmény közepesnek mondható, de valószínűleg újabb szabályok bevitelével és a hangolási algoritmus fejlesztésével javítható. A biológiai oxigénigény kimeneti dimenzió esetében lett a legjobb az eredmény, bár itt egy adatpont erősen elkülönül a többitől, aminek oka mérési vagy beállítási hiba lehetett. A hangolt rendszerrel jóslt output paraméterek tehát nagyon közel voltak a vonatkozó gyakorlati paraméterekhez. A modellt megismételhető teszttel validálták.

SZERSZÁMÉLTARTAM MODELLEZÉS

A forgácsolási paraméterek megfelelő kiválasztása meghatározó szerepet játszik a technológiai tervezés során a kívánt gazdasági és minőségi célok elérésében. Számos modellt fejlesztettek ki a szerszáméltartamot befolyásoló fontosabb tényezők (vágási sebesség és előtolás) értékéből kiindulva. Az ismertebb modellek közé tartozik az exponenciális, a Taylor, a javított Taylor, a Gilbert és a Kronenberg féle megoldások. A hagyományos modellek paraméterei kísérleti eredményekből jól becsülhetők, azonban becslési pontosságuk csökken a vágási vagy az előtolási sebesség növelésével. Az elmúlt években két fuzzy megoldást is publikáltak a szerszáméltartam modellezésére. Az első [4] az RBE-DSS+LESFRI (Rule Base Extension based on Default Set Shapes+ LEast Squares based Fuzzy Rule Interpolation), míg a második [1] az RBE-SI+FRIPOC (Rule Base Extension based on Set Interpolation+Fuzzy Rule Interpolation based on POLar Cuts) módszerpár alkalmazásán alapult. Mindkét esetben sikerült a korábban közzétettnél jobb becslési pontosságot elérni.

A modellek elkészítéséhez mindkét esetben a DA20 és a DA25 anyagú keményfém marólapkákkal végzett kísérletek eredményeit használták fel. Johanyák és Szabó cikkében [4] összehasonlította az exponenciális, a Taylor, a javított Taylor és az RBE-DSS+LESFRI módszerpárral készített modelleket, míg Berecz [1] az RBE-DSS+LESFRI és a RBE-SI+FRIPOC módszerpárokkal kapott modellek eredményeit. Mindkét fuzzy modell területközpont alapú defuzzifikálást (COA) alkalmazott, valamint az előírt kimeneti értékek és a modellekkel számított kimeneti értékek összehasonlítása az RMSEP teljesítménymutató segítségével történt (lásd 3. táblázat). A fuzzy modellek a Fuzzy Rule Interpolation (FRI) és a Sparse Fuzzy Model Identification Matlab Toolboxok segítségével készültek.

	Exponenciális	Taylor	Javított Taylor	RBE-DSS+LESFRI	RBE-SI+FRIPOC
DA20	1.1223%	2.8816%	4.7610%	0.0473%	0.0146%
DA25	0.7045%	3.9486%	7.2525%	0.3315%	0.0005%

3. táblázat Az eszközelettartam modelljeinek teljesítményindexei

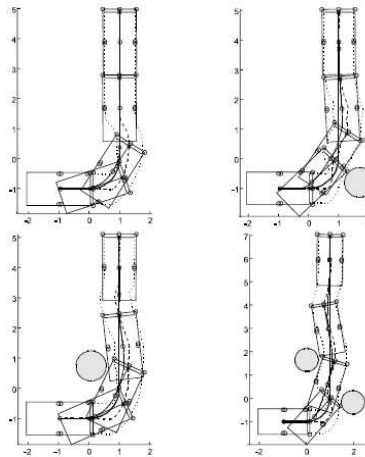
A 3. táblázatban láthatóan a két fuzzy modell mindkét marólapka esetén jobb becslést adott a korábbi módszerekénél. Az [1] kitérve a két fuzzy modell halmazalakjaira, a fuzzy szabályok alakjaira és a teljesítményindexekre megállapította, hogy erre a problémára a legmegfelelőbb az RBE-SI+FRIPOC módszerpár.

VEZETŐ NÉLKÜLI TARGONCA IRÁNYÍTÁSA NYOMKÖVETŐ ÉS ÜTKÖZÉSELKERÜLŐ STRATÉGIÁVAL

Kovács és Kóczy [5] a közelítő fuzzy következtetés hatékonyságának demonstrálására egy szimulált komplex gyakorlati alkalmazás elkészítéséről számolt be, amelyben egy vezető nélküli targonca irányítására alkalmaztak szabály-interpoláción alapuló fuzzy következtetést. Az irányítás fő célja egy adott út nyomkövetése, valamint a felmerülő akadályok kikerülése a kijelölt út elvesztése nélkül. A közelítő fuzzy következtetési módszer a fuzzy szabálybázis

bizonytalan környezetében (Fuzzy Interpolation in the Vague Environment, FIVE) végrehajtott KH interpoláción alapult.

Az akadálydetektálási stratégia három ultrahang-érzékelő méréseire támaszkodott. A rendszer szimulációja egy testtúton és akadálykonfiguráción történt. Az [5]-ben alkalmazott tervezés (módosítás és teszt) nagyon hasznos lehet ismeretlen vagy részben ismert rendszerek irányításához. Az alkalmazás két kimenettel rendelkezett, ezek a sebesség és a kormányzás, így két szabálybázis készült. Mindössze 12 szabály kellett a kormányzás irányításához és 5 a sebességhez. Az antecedens és a konzekvens univerzumok bizonytalan környezetét (skálafüggvényeket) egy hangolási folyamatban generálták, amely szakértőtől összegyűjtött adatokon alapult. A hangolási folyamatot optimalizálták a nyelvi kifejezések magpozícióira és a skálafaktor értékeire annak érdekében, hogy a legrövidebb dokkolási távolságot kapják a próbairányúton (lásd 1. ábra).



1. ábra Az AGV néhány szimulált eredménye [5]

NEM MENEDZSELT MOBILROBOT SZOBAFELÜGYELETI NAVIGÁCIÓS IRÁNYÍTÁSA ÉS ÜTKÖZÉSELKERÜLÉSE

Vincze és Kovács dolgozatában [7] egy nem menedzselte mobilrobot szobafelügyeleti navigációs irányítását mutatta be FIVE fuzzy következtetési módszerrel. A robot iránypontok segítségével navigált, miközben elkerülte az ütközést az akadályokkal és a falakkal. Ha blokkolta valami a robot útját, akkor megfordult, és a legutóbb igénybevett ellentétes irányba haladt. A példa konfigurációnak 4 rögzített sorrendű iránypontja volt, amelyek a 4:3-as oldalirányú téglalap alakú szoba négy sarkához kapcsolódtak. A navigációs irányítás három elkülönült irányítási komponensből épült fel, ezek a következő iránypont kiválasztása a megközelítéshez, a fal és az akadály elkerülése, valamint a haladási irány megváltoztatása.

Az irányítás első lépése az iránypont kiválasztási következtetés, majd az eredményvektort hozzáadták a robot aktuális pozíciójához. Ezzel az új pozícióval számították ki a távolságot a falaktól és az akadályoktól. Ezután a fal- és az akadályelkerülés fuzzy szabálybázist értékelték ki. Ezeket az eredményeket összegezték az aktuális pozícióval, ez lett a robot következő érvényes helyzete. Amennyiben meg kellett változtatni a robot mozgásirányát, az irányállapot változót invertálták. Ezt az eljárást ciklikusan ismételve megkapjuk a felügyeleti navigáció és ütközésselkerülés modelljét.

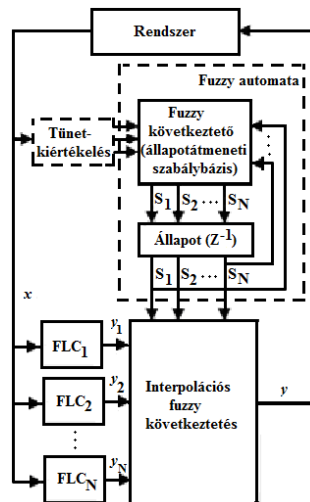
Teljes szabálybázis építéséhez ugyanezekkel a stratégiákkal $2^{(2n+2)}+8+4+4$, azaz 1040 szabály lenne szükséges a példában megadott 4 irányponttal. A fuzzy szabály-interpoláción és ritka szabálybázison alapuló megoldás csak $n*(6+n)+3+4+4$, azaz 51 szabályt alkalmazott. Ez

a szabálybázis könnyen implementálható, még beágyazott FRI fuzzy logikai irányítókban is, nagyszámú bementi dimenzió esetén is.

FUZZY KÖVETKEZTETÉS ALKALMAZÁSA VISELKEDESALAPÚ IRÁNYÍTÁSI STRUKTÚRÁKBAN

Kovács és Kóczy [6] viselkedésalapú irányítási struktúrákhoz alkalmazható interpoláció alapú fuzzy következtető módszert javasolt. A megoldás egyszerűen implementálható és elég gyors ahhoz, hogy illeszkedjen a viselkedésalapú vezérlés struktúrájához valós idejű közvetlen fuzzy logikai irányítási rendszerekben. A tisztán fuzzy viselkedésalapú irányítási struktúrák esetében az irányítás minden fő feladata – a viselkedéskoordináció, a viselkedésfúzió és a viselkedések maguk – fuzzy kontrollerekben van implementálva. Bármely ilyen controller alkalmazhatja a javasolt FIVE módszert.

A viselkedés-koordinálás fő feladata az aktuális szituáció kezeléséhez leginkább szükséges viselkedés kiválasztása az ismert viselkedési minták közül. A bemutatott megoldás megbecsli az aktuális szituáció és az ismert viselkedések előfeltételeinek hasonlóságát. Ezt tünetkiértékelésnek nevezik (lásd a 2. ábrát).



2. ábra A javasolt viselkedésalapú irányítási struktúra [20]

A felhasználót adaptívan kezelik a létező (off-line összegyűjtött) emberi vélemények (felhasználói modellek) kombinációjával. A megfigyeléseken alapulva (inputok) a felhasználói visszacsatolás konklúziója (a tünet kiértékelése az i . állapotátmenetben SS_i ; minden lehetséges állapotbába $\forall i \in [1, N]$) és az előző S_i állapotértékek határozzák meg az új állapotértékeket. Például, ha a rendszer talált már egy megfelelő (S_i) modellt, és az (SS_i) felhasználói visszacsatolás még támogatja azt, a rendszer megtartja azt még akkor is, ha a felhasználói visszacsatolás más modelleket is elkezd támogatni. A heurisztika célja egy relatív gyors konvergencia elérése, amely sok alkalmazásterület esetén fontos lehet, például egy on-line felhasználóadaptív kiválasztási rendszer bevezetésében, ahol az állapotváltozásokhoz szükséges felhasználói visszacsatolási információk nagyon korlátozottak.

Amennyiben a [6] irodalomban bemutatott stratégiához a klasszikus fuzzy következtetést használják, a fedő szabálybázishoz 16 szabály szükséges a két állapotoset következtetésben (mivel a megfigyelési univerzum négydimenziós (S_1, SS_1, S_2, SS_2), mindegyik két-két fuzzy halmazzal (nulla, egy) rendelkezik. Ezzel szemben az alkalmazott ritka szabálybázis csak 7 szabályt tartalmaz. A javasolt módszer hátránya az, hogy a következtetés eredménye

egyelemű fuzzy halmaz, de ennek nincs befolyása olyan alkalmazások esetén, ahol az eredményt defuzzyfikálják.

ÖSSZEGZÉS

A szabály-interpoláción alapuló fuzzy következtetés élénken kutatott területté vált az utóbbi másfél évtizedben. Az elméleti megoldások életképességét számos gyakorlati alkalmazás igazolta. Dolgozatunkban a két fő alkalmazási terület, a függvényapproximáció jellegű feladatok és a fuzzy logikán alapuló irányítás témaköréből mutattunk be három-három gyakorlati megoldást, kitérve az alkalmazott módszerekre, az elért eredményekre és a megoldások előnyös, esetleg hátrányos jellemzőire.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Berez, A.: Fuzzy Rule Interpolation based Tool Life Modeling Using RBE-SI and FRIPOC, in Proc. of the 5th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI 2009), Timișoara, Romania, 2009, pp. 11-16
- [2] Johanyák, Zs. Cs., Kovács, Sz.: Fuzzy modeling of Petrophysical Properties Prediction Applying RBE-DSS and LESFRI, International Symposium on Logistics and Industrial Informatics, September 13–15, 2007, Wildau, Germany, pp.87–92.
- [3] Johanyák, Zs. Cs., Parthiban, R. és Sekaran, G.: Fuzzy Modeling for an Anaerobic Tapered Fluidized Bed Reactor, SCIENTIFIC BULLETIN of “Politehnica” University of Timisoara, ROMANIA, Transactions on AUTOMATIC CONTROL and COMPUTER SCIENCE, Vol: 52(66) No: 2/2007, pp.67–72.
- [4] Johanyák, Z. C., Szabó, A.: “Tool life modelling using RBE-DSS method and LESFRI inference mechanism”, A GAMF Közleményei, Kecskemét, XXII., pp. 17–28, 2008.
- [5] Kovács, S., Kóczy, L.T.: Application of an approximate fuzzy logic controller in an AGV steering system, path tracking and collision avoidance strategy, Fuzzy Set Theory and Applications, Tatra Mountains Mathematical Publications, Vol.16, pp. 456–467, Bratislava, Slovakia, 1999.
- [6] Kovács, S., Kóczy, L. T.: Application of Interpolation-based Fuzzy Logic Reasoning in Behaviour-based Control Structures, Proceedings of the FUZZIEEE, IEEE Int. Conference on Fuzzy Systems, 25-29 July, Budapest, Hungary, p.6, (2004).
- [7] Vincze, D., Kovács, S.: Using fuzzy rule interpolation based automata for controlling navigation and collision avoidance behaviour of a robot, IEEE 6th International Conference on Computational Cybernetics, 2008, Stara Lesná, Slovakia, pp. 79-84.
- [8] Wong ,K. W., Gedeon, T.D.: ”Petrophysical Properties Prediction Using Self-generating Fuzzy Rules Inference System with Modified Alpha-cut Based Fuzzy Interpolation,” Proceedings of The Seventh International Conference of Neural Information Processing ICONIP 2000, November 2000, Korea, pp. 1088–1092.

SZERZŐK

Berez Antónia, adjunktus, Gábor Dénes Főiskola, Alap és Műszaki Tudományi Intézet, berecz@gdf.hu, 1119 Budapest, Mérnök út 39.

Dr. Johanyák Zsolt Csaba, főiskolai docens, Kecskeméti Főiskola, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kalmár Sándor Informatikai Intézet, johanyak.csaba@gamf.kefo.hu, 6000 Kecskemét, Izsáki út 10.

A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA-nak (K77809) és a KF GAMF Karának (1KU31) a kutatáshoz nyújtott támogatásért.