

FUZZY SZABÁLYINTERPOLÁCIÓT TÁMOGATÓ ELJÁRÁSGYŪJTEMÉNY FEJLESZTÉSE MATLAB RENDSZERBEN

Johanyák Zsolt Csaba¹, Kovács Szilveszter¹, Tikk Domonkos²,
Kok Wai Wong³

¹Kecskeméti Főiskola, GAMF Kar, Kalmár Sándor Informatikai Intézet, Informatika Tanszék

²Budapesti Műszaki és Gazdud. Egyetem, Távközlési és Médiainformatikai Tanszék

³Murdoch University, School of Information Technology

ABSTRACT

In case of classical fuzzy reasoning method applications, the completeness of the fuzzy rule base is often required. Regardless of the way of rule base construction, be it created by human experts or by an automated manner, often incomplete rule bases are generated. One simple solution to handle sparse fuzzy rule bases and to make infer reasonable output, by interpolation of the existing rules, is the application of fuzzy rule interpolation (FRI) methods. In this paper, we present a collection of nowadays available FRI methods, implemented as a freely available FRI Matlab Toolbox.

KEYWORDS

fuzzy rule interpolation, FRI Matlab Toolbox,

BEVEZETÉS

A fuzzy logikán alapuló rendszerek szabály alapú következtetéssel dolgozva állítják elő az eredményt. Működésükre és az általuk számított adatok használhatóságára meghatározó befolyást gyakorol tudásbázisuk szabályrendszere. Amennyiben ez ritkának bizonyul, a klasszikus szabályillesztési elven alapuló következtetési módszerek nem használhatóak. Ilyen esetekben közelítő technikákat alkalmaznak, amelyek a bemenő adatok és az ismert szabályok alapján egy becsült következményt határoznak meg. A szakirodalomban fellelhető módszerek leggyakrabban *fuzzy szabályok interpolációjával* állítják elő a közelítő eredményt.

A számos elméleti megoldás széleskörű gyakorlati alkalmazását és összehasonlítását nagyban hátráltatta a hozzáférhető és könnyen kezelhető szoftver implementációk hiánya. Ennek felismerése egy kutatási projekt beindításához vezetett, amelynek célja az egyes eljárások egységes keretek között történő megvalósítása Matlab rendszerben, elméleti és gyakorlati összehasonlítások készítése, esetlegesen új módszerek kidolgozása és az alkalmazás elősegítése. Bár az első témakör tisztán szoftverfejlesztési feladatnak tűnik, de a vonatkozó szakirodalom áttanulmányozása arra a felismerésre vezetett, hogy számos eljárás esetén az implementáláshoz szükséges leírás hiányos vagy vázlatos, illetve csak bizonyos esetekre vonatkozik. Ennek következtében az első szakaszban a hiányzó elméleti részek kidolgozására is sor került.

A továbbiakban először áttekintjük a szabályinterpoláció iránti igényt előidéző ritka szabálybázis fogalmát és keletkezési okait, majd ezt követően bemutatjuk az eljárásgyűjteményt, kiemelve fontosabb tulajdonságait. A cikk utolsó részében a továbbfejlesztési lehetőségeket és terveinket ismertetjük.

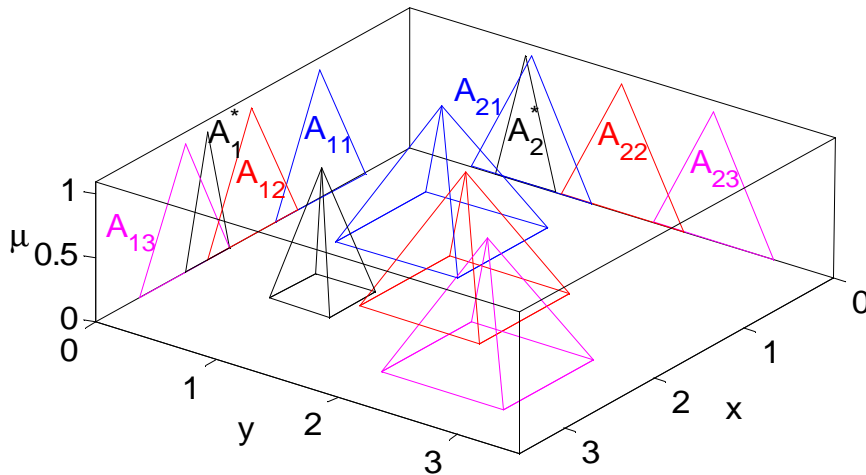
FUZZY SZABÁLYBÁZIS

A rendszer tudásbázisa HA-AKKOR típusú szabályok halmaza, amelyek részleges leképezést valósítanak meg a bemeneti (antecedens) és kimeneti (konzekvens) alaphalmazok között. Az ismeretek bizonytalanságát a nyelvi értékek tagsági függvényei fejezik ki. A szabályok alakja az alábbi mintát követi

$$R_i : \text{ha } A_1 = A_{i1} \wedge A_2 = A_{i2} \wedge \dots \wedge A_n = A_{in} \text{ akkor } B_1 = B_{i1} \wedge \dots \wedge B_m = B_{im}, \quad (1)$$

ahol A_1, \dots, A_n bemeneti nyelvi változók, A_{i1}, \dots, A_{in} az antecedens alaphalmazhoz tartozó nyelvi értékek, B_1, \dots, B_m kimeneti nyelvi változók, és B_{i1}, \dots, B_{im} a konzekvens alaphalmazhoz tartozó nyelvi értékek.

A szabálybázis fontos jellemzője sűrű, illetve ritka jellege. Definíció szerint egy szabálybázist ε -fedőnek nevezünk, ha az bármely megfigyelés esetén legalább egy olyan szabályt tartalmaz, amelynek minden antecedens nyelvi értéke saját dimenziójában legkevesebb ε -mértékben, ahol $\varepsilon \in [0,1]$, fedi a megfigyelés azonos dimenzióbeli halmazát. Amennyiben létezik olyan $\varepsilon > 0$ érték, amelyre a fenti feltétel teljesül, akkor a szabálybázist sűrűnek nevezük. Ennek hiányában ritka szabálybázisról beszélünk.



1. ábra. Ritka szabálybázis

Érdeemes megjegyezni, hogy a ritka szabálybázis nem feltétlenül jelent ritka antecedens partíció(ka)t, azaz sűrű partíciók mellett is könnyen elképzelhető a ritka szabálybázis többdimenziós antecedens alaphalmaz esetén. Példaként vegyük az 1. ábrán látható feltétel oldali alaphalmazt, ami mindkét dimenzióban három (A_{11}, A_{12}, A_{13} és A_{21}, A_{22}, A_{23}) nyelvi értéket tartalmaz. Az x és y tengelyek mentén ábrázolva a két feltétel oldali dimenziót és a μ tengely mentén mérve a tagsági függvény értékeket a szabálybázis minden szabálya, pontosabban a szabályok feltétel része egy háromdimenziós test segítségével jeleníthető meg. Az 1. ábrán a szemléletesség érdekében háromszög alakú fuzzy halmazokat alkalmaztunk, így minden szabályt valamint az (A_1^*, A_2^*) megfigyelést is egy-egy gúla jelképezi. Rendszerünk három szabállyal rendelkezik, amit az átlósan elhelyezkedő három gúla jelez. Az antecedens alaphalmaz összes nyelvi értéke szerepel valamely szabály feltétel részében, és ezen nyelvi értékek között nincs rés, azaz minden dimenzióban a partíció nullánál nagyobb mértékben fedett. A szabálybázisunk mégis ritka, mivel például az (A_1^*, A_2^*) megfigyelés által meghatározott gúla még csak nem is érintkezik egyik szabály-gúlával sem.

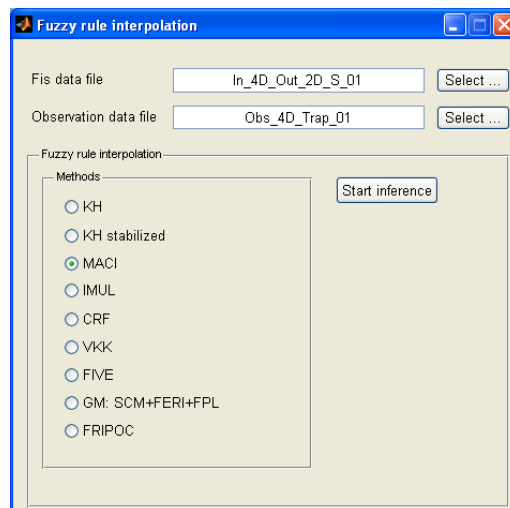
A ritka szabálybázis keletkezését a következő három ok valamelyikére vezethetjük vissza.

- Az emberi szakértőtől származó vagy gépi adatfeldolgozás útján nyert szabályok nem teljes körűek.
- Az eredetileg sűrű szabálybázison alapuló rendszer hangolása során módosul a halmazok helyzete és alakja, miáltal rések keletkeznek közöttük.
- Az állapotváltozók és a partíciónkénti nyelvi értékek nagy száma jelentősen megnöveli a sűrű szabálybázishoz szükséges szabályok mennyiségét, ami a tárolási nehézségek mellett nem kívánt mértékű számítási igény növekedéshez vezethet. Ilyen esetekben a nem releváns szabályok elhagyása [10] és/vagy a szabályok hierarchikus rendszerbe szervezése megfelelő megoldást kínálhat [8][9].

FRI MATLAB TOOLBOX

Az FRI Toolbox egy Matlab környezetben megírt eljárásgyűjtemény. Az aktuális változat letölthető a projekt honlapjáról [1], és a GNU GP licensznek [4] megfelelően felhasználható. A szoftver kilenc módszert implementál. Ezek a következők: KH [10], stabilizált KH [10], MACI [12], IMUL [15], CRF [7], FIVE [11], VKK [14], GM (SCM+FERI+FPL) [2] és FRIPOC [6]. A fejlesztéshez Matlab 7 (R14)-et használtunk Windows XP alatt.

Az egyes módszerek közvetlenül is elérhetők parancssorból vagy programból meghívva az egyes függvényeket, de elkészült egy egyszerű, könnyen kezelhető grafikus felülettel ellátott keretprogram is, amelynek használatával programozási ismeretek nélkül is könnyen kipróbálhatók az egyes eljárások, és összehasonlítható az általuk előállított eredmény. Az alkalmazás a Matlab parancs ablakába (Command Window) begépett *GraphTest* utasítással indul. A rendszert és a megfigyelést leíró szöveges adatállományok megadása után a felhasználó kiválasztja a kívánt módszert, majd a *Start inference* nyomógombbal indítja a következtetést (2. ábra).



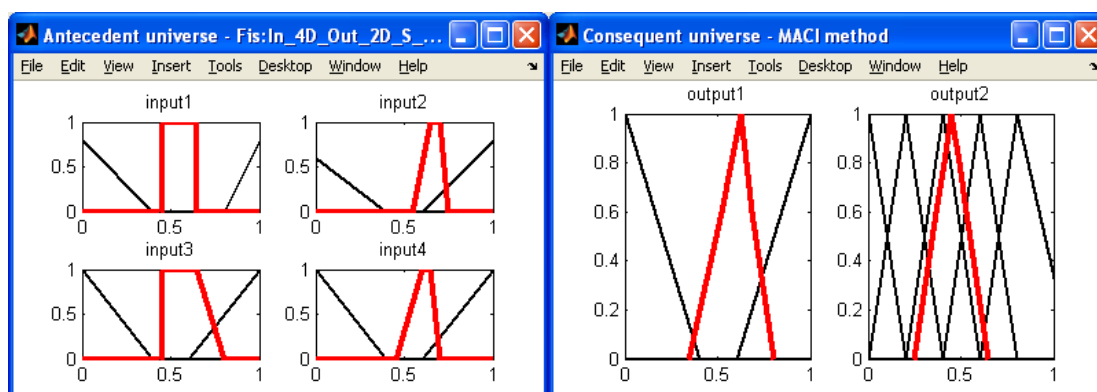
2. ábra. Eljárás kiválasztása

Az antecedens és konzekvens univerzumok megjelenítése külön ablakban történik. A 3. ábrán látható esetben a bemeneti oldalon négy nyelvi változó (*input1, ..., input4*), azaz négy dimenzió van. A szemléletesség érdekében mind a négy partíció ritka és csak két nyelvi értéket tartalmaz. Ezek közül négy szubnormális, azaz a maximális tagsági értéke kisebb 1-nél. A megfigyelésnek megfelelő fuzzy halmazok jelölése vastag piros vonallal történik. Kimeneti oldalon két nyelvi változóval rendelkezik a rendszer (*output1, output2*), itt az első

dimenzióban a partíció ritka, míg a másodikban sűrű. A MACI szabályinterpolációs módszerrel előállított következmény szintén vastag piros vonallal lett jelölve.

A kétlépéses módszerek esetében (pl. GM és FRIPOC) a megfigyelést és becült következményt képviselő halmazok piros, a menet közben előállított segéd szabályt leíró nyelvi értékeket kék vonal jelöli.

Az FRI Toolbox kiegészíti a Matlab fuzzy logikai eszköztárát. Felhasználja a modellezett rendszer leírására szolgáló memóriabeli FIS adatstruktúrát és a hozzá kapcsolódó, háttértárolásnál alkalmazott szöveges állomány felépítést, kiegészítve azokat újabb elemekkel, amelyek lehetővé teszik egynél kisebb magasságú fuzzy halmazok definiálását. Ez azért szükséges, mert a Fuzzy Logic Toolbox (FL TB) feltételezi, hogy a nyelvi értékek normáltak, és ezért nem tárolja a halmazalapot meghatározó karakterisztikus pontok ordináta értékeit.



3. ábra. Eredmények

Az eljárásgyűjtemény adatbetöltő függvénye (*ireadfis*) egyaránt képes beolvasni a régi és az új formátumot, ami lehetővé teszi a FL TB-szal létrehozott fuzzy rendszerek újrahasonlítását, és leegyszerűsíti a különböző eljárásokkal elért eredmények összehasonlítását.

```

NumInputs=4
ObsName='Obs_4D_Trap_01'
[Observation]
OBS1='observation': 'trapmf', [0.45 0.45 0.65 0.65] ! [0 1 1 0]
OBS2='observation': 'trapmf', [0.55 0.65 0.70 0.75] ! [0 1 1 0]
OBS3='observation': 'trapmf', [0.45 0.45 0.65 0.80] ! [0 1 1 0]
OBS4='observation': 'trapmf', [0.45 0.60 0.65 0.70] ! [0 1 1 0]
    
```

4. ábra. Megfigyelést leíró állomány

A megfigyelést leíró adatokat is szöveges állományból olvassa a szoftver. A 4. ábrán bemutatott mintaállomány négy bemeneti nyelvi változó esetére adja meg a tagsági függvény típusokat és a karakterisztikus pontok elhelyezkedését. Az *Observation* szakasz minden sora a bemenő adatok egy dimenzióját írja le. Az antecedens és konzekvens alaphalmazok többdimenziósak lehetnek, a dimenziók számát nem korlátozza a szoftver.

Az egyes módszereket megvalósító Matlab függvények lehetővé teszik az α -vágat alapú módszerek esetén a vágatok számának paraméterként történő megadását. Referenciapont jellegű helyzet-meghatározásnál a referenciapont típusa is megválasztható. Ezen paraméterezés azonban jelenleg még csak a parancssori üzemmódban működik.

A JELENLEGI VÁLTOZAT KORLÁTAI

Az eljárásgyűjtemény jelenlegi változata alapvetően a szakaszonként lineáris tagsági függvényeket (szálka, háromszög, trapéz és sokszög alakzat) támogatja, azonban a FIVE

módszer csak egyértékű megfigyelésekkel alkalmazható. Csak konvex nyelvi értékek megengedettek, de szubnormális halmazok megengedettek.

A legtöbb módszer megköveteli legalább két olyan szabály meglétét, amelyek antecedens nyelvi értékei közrefogják a megfigyelés halmazt minden dimenzióban. Ezért az interpoláció során fontos feladat a szomszédos szabályok megkeresése. Amennyiben a megfigyelés helyzete, amit az alkalmazott módszertől függően a referenciapont vagy az α -vágatok összessége határoz meg, egybeesik valamely szabály feltétel részével, akkor az adott szabályt attól függően tekintjük balról vagy jobbról szomszédosnak, hogy találtunk-e másik oldali szomszédos szabályt. Például abban az esetben, ha az érintett szabályon kívül csak jobb oldalnak minősülők állnak rendelkezésre, akkor a szabályt bal oldaliként veszi figyelembe a rendszer.

Az FRI módszereket bemutató cikkek jelentős része egy előfeltételt határoz meg a közrefogó szabályok antecedens és konzekvens részeinek rendezettségére vonatkozóan, amit egyszemélyes esetben a (2) és (3) segítségével fejezhetünk ki

$$A_1 \prec A^* \prec A_2 \quad (2)$$

$$B_1 \prec B_2, \quad (3)$$

ahol A_i és B_i a bal és jobb oldali szabályok antecedens és konzekvens halmazai. Mivel ezen feltételek a gyakorlati alkalmazások többségében a használhatóságot jelentős mértékben csökkentő korlátozásokat jelentenek, ezért az általunk kidolgozott implementációk nem is követelik meg őket.

KÖVETKEZTETÉSEK

A fuzzy szabályinterpolációs módszerek kiterjesztik a szabályalapú fuzzy következtetés alkalmazhatóságát ritka szabálybázisok esetére is. A cikkben bemutatott és jelenleg is fejlesztés alatt álló FRI Matlab Toolbox egy publikusan elérhető eljárásgyűjtemény, amelynek segítségével kipróbálhatjuk az egyes szabályinterpolációs technikákat, és összehasonlíthatjuk a kapott eredményeket. Az eljárásgyűjtemény sűrű szabálybázis esetén is alkalmazható, így működése a Matlab fuzzy logikai eszköztárban implementált hagyományos kompozíciós következtetéssel kapott eredményekkel is összevethető. A szoftver továbbfejlesztését három fő irányban tervezzük.

1. A már megvalósított eljárások kibővítése újabb tagsági függvény típusok engedélyezésével.
2. Új módszerek implementálása. Például egyebek között a fokozatosság elvén alapuló interpolatív következtetés [3] és a Jenei féle módszer [5] megvalósítását is tervezzük.
3. A grafikus felhasználói felület kiterjesztése az eljárások paramétereinek kényelmesebb bevitele érdekében.

IRODALOMJEGYZÉK

1. A fuzzy szabályinterpolációval foglalkozó kutatási projekt honlapja. <http://fri.gamf.hu>
2. Baranyi P., Kóczy L. T., Gedeon T. D.: A Generalized Concept for Fuzzy Rule Interpolation, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 12, No. 6, 2004, pp. 820-837.
3. Bouchon-Meunier, B., Marsala, C., Rifqi, M.: Interpolative reasoning based on graduality, Proceedings of FUZZ-IEEE'2000, 2000, pp. 483-487.
4. GNU General Public Licence. <http://www.gnu.org/copyleft/gpl.html>

5. Jenei S.: Interpolation and Extrapolation of Fuzzy Quantities revisited - (I). An Axiomatic Approach, *Soft Computing*, 5, pp. 179-193, 2001.
6. Johanyák Zs. Cs., Kovács Sz.: Fuzzy Rule Interpolation Based on Polar Cuts, *Fuzzy Days 2006*, Dortmund, September 18-20, 2006.
7. Kóczy L.T., Hirota, K., Gedeon T. D.: Fuzzy rule interpolation by the conservation of relative fuzziness, *Technical Report TR 97/2*. Hirota Lab, Dept. of Comp. Int. and Sys. Sci., Tokyo Inst. of Techn., Yokohama, 1997.
8. Kóczy L.T., Hirota, K.: Interpolation in structured fuzzy rule bases, *FUZZ-IEEE 93*, San Francisco 1993, pp. 803-808.
9. Kóczy L.T., Hirota, K.: Modular rule bases in fuzzy control, *FUZZ-IEEE 93*, Aachen, 1993, pp. 606-610.
10. Kóczy L. T., Hirota, K.: Rule interpolation by α -level sets in fuzzy approximate reasoning, *Journal BUSEFAL*, URA-CNRS., Vol. 46. Toulouse, France, 1991, pp. 115-123.
11. Kovács Sz., 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, Mathematical Institute Slovak Academy of Sciences, Vol. 16, Bratislava, Slovakia, 1999, pp. 456-467.
12. Tikk D., Baranyi P.: Comprehensive analysis of a new fuzzy rule interpolation method, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol. 8, pp. 281-296, June 2000.
13. Tikk D., Joó I., Kóczy L. T., Várlaki P., Moser B., and Gedeon T. D.: Stability of interpolative fuzzy KH-controllers, *Fuzzy Sets and Systems*, 125(1) pp. 105–119, January 2002.
14. Vass G., Kalmár L., Kóczy L. T.: Extension of the fuzzy rule interpolation method, in *Proc. Int. Conf. Fuzzy Sets Theory Applications (FSTA '92)*, Liptovsky M., Czechoslovakia, 1992, pp. 1-6.
15. Wong, K. W., Gedeon T. D., Tikk D: An improved multidimensional α -cut based fuzzy interpolation technique, in *Proc. Int. Conf Artificial Intelligence in Science and Technology (AISAT'2000)*, Hobart, Australia, 2000, pp. 29–32.

SZERZŐK

Johanyák Zsolt Csaba, főiskolai adjunktus, Kecskeméti Főiskola, GAMF Kar, Kalmár Sándor Informatikai Intézet, Informatika Tanszék, johanyak.csaba@gamf.kefo.hu, H-6000 Kecskemét, Izsáki út 10.

Kovács Szilveszter, tudományos főmunkatárs, Kecskeméti Főiskola, GAMF Kar, Kalmár Sándor Informatikai Intézet, Informatika Tanszék, szkovacs@iit.uni-miskolc.hu

Tikk Domonkos, tudományos munkatárs, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Távközlési és Médiainformaticai Tanszék, tikk@tmit.bme.hu

Kok Wai Wong, Murdoch University, School of Information Technology, k.wong@murdoch.edu.au

A szerzők köszönetüket fejezik ki a KF GAMF Karának a kutatáshoz nyújtott támogatásért.