

# FUZZY SZABÁLY-INTERPOLÁCIÓS MÓDSZEREK BEÁGYAZOTT IRÁNYÍTÁSI ALKALMAZÁSOKBAN

## FUZZY RULE INTERPOLATION IN EMBEDDED CONTROL APPLICATIONS

Kovács Szilveszter<sup>\*</sup>

### ABSTRACT

*The main goal of this paper is giving a short introduction to Fuzzy Rule Interpolation (FRI) methods together with a simple demonstration of their application benefits. There are relatively few FRI techniques used in practical fuzzy rule based applications. On one hand the FRI methods are not widely known, and many of them have limitations from practical application point of view, e.g. can be applied only in one dimensional case, or defined based on the two closest surrounding rules of the actual observation. On the other hand enabling the application of sparse rule bases the FRI methods can dramatically simplify methods of fuzzy rule base creation. These methods can save the expert from dealing with derivable rules and help to concentrate on cardinal actions only and hence simplify the rule base creation itself. In this paper, among the brief structure of several FRI methods, for demonstrating the benefits of the interpolation-based fuzzy reasoning as systematic approach, the construction of a fuzzy rule base through a simple example will be also discussed.*

### 1. BEVEZETÉS

A napjainkban oly gyakran alkalmazott „számítási intelligencia” módszerek (Computational Intelligence methods) népszerűségének egyik lehetséges oka az, hogy olyan problémakörökre nyújtanak megoldást, melyek a klasszikus módszerekkel, a szükséges matematikai probléma modellek hiánya, vagy túlzott bonyolultsága miatt nehezen kezelhetők. Ugyanakkor, míg a számítási intelligencia módszerek általában nem igénylik a feladat matematikai modelljének ismeretét, magának az alkalmazott módszer struktúra bonyolultságának illeszkednie kell a megoldani szándékozott feladat bonyolultságához. Neurális hálózatok alkalmazása esetén ez például a szükséges neuronok számát és elrendezését, Fuzzy Logikai rendszerek esetén a minimálisan szükséges fuzzy halmazok és szabályok számát érinti. Mindemellett a klasszikus kompozíciós fuzzy következtetésen Zadeh

[1], Mamdani [2] alapuló fuzzy logikai algoritmusokban, a teljesen fedő szabálybázis kialakításának szükségessége miatt a megoldandó probléma bonyolultságából következő minimális szabályszámnál esetenként lényegesen több szabályt is meg kell határozni. Általánosságban ez  $m$  elemű antecedens fuzzy partícók és  $i$  számú antecedens (bemeneti) dimenzió esetén  $m^i$  darab szabály megadását jelenti. Azaz klasszikus fuzzy következtetési módszerek alkalmazása esetén a szabálybázis mérete a bemeneti dimenziók számának növekedésével exponenciálisan nő. Erre a praktikus okra vezethető vissza az, hogy a gyakorlati fuzzy logikai rendszer alkalmazásban (pl. irányítástechnika) a bemeneti változók száma a legtöbb esetben nem haladja meg a 4-5 változót. Ennél magasabb bemeneti dimenziószám esetén a szabálybázis mérete általában már túlságosan nehezen kezelhető.

### 2. FUZZY SZABÁLY-INTERPOLÁCIÓ

Koncepcionálisan más megoldást jelenthet olyan fuzzy logikai következtetési módszerek alkalmazása (fuzzy szabály-interpolációs módszerek, Fuzzy Rule Interpolation (FRI) methods), melyek a klasszikus fuzzy következtetési módszerekkel ellentétben, abban az esetben is képesek használható (interpolált) fuzzy következményt generálni, ha a megfigyelés az illető szabályrendszer egyik szabály antecedensére sem illeszkedik. Az alkalmazott fuzzy szabálybázis „fedő” volta, illetve „teljessége” így már nem követelmény, a fuzzy szabály-interpolációs következtetés esetén a kiadódó (nem lényegi) szabályok szándékosan elhagyhatóak a szabálybázis építéskor (szándékosan „ritka” fuzzy szabálybázis építése). A lényegtelen szabályok elhagyásával jelentős mértékben csökkenthető a fuzzy modellt leíró szabálysám. Így a fuzzy szabály-interpolációs módszerek alkalmazásával egyrészt egyszerűsíthető a szabályrendszer megalkotása (elég csak a modell szempontjából lényeges szabályokat megadni), másrészt csökken a következtetés számításiigényessége. Ugyanakkor a legtöbb ismert fuzzy szabály-interpolációs módszer a gyakorlati

<sup>\*</sup> egyetemi docens, Miskolci Egyetem, ALT

esetekben csak nehezen alkalmazható. Gyakori a módszerek magas számításigényessége, pl. többdimenziós bemeneti univerzum esetén meg kell keresni a megfigyeléshez legközelebbi két közrefogó szabályt, illetve több jellemző  $\alpha$ -vágatra számolt eredményből tevődik össze a fuzzy következmény.

Több fuzzy szabály-interpolációs módszer esetén a kapott fuzzy következmény nem minden esetben értelmezhető fuzzy halmazként (lásd pl. [6]). Számos tanulmány foglalkozik az interpolált fuzzy következmény halmaz értelmezhetőségének problémájával pl. [7]. A gyakorlati alkalmazások szempontjából lényeges probléma lehet még az is, hogy számos fuzzy szabály-interpolációs módszert eredetileg csak egydimenziós bemeneti univerzumra definiáltak. Ezen módszerek közül néhánynak a későbbiekben született több bemeneti dimenziót is kezelni képes változata pl. [9]. K. W. Wong *et al.* [5] összevet néhány ismertebb több bemeneti dimenziót is kezelni képes fuzzy szabály-interpolációs módszert. Számos újabb keletű szabály-interpolációs módszer esetében a gyakorlati alkalmazások szempontjából leglényegesebb probléma továbbra is a módszer magas számításigényessége. Sok módszer esetében a következmény fuzzy halmaz számításához meg kell keresni a fuzzy megfigyeléshez legközelebbi két közrefogó antecedens szabályt, mely többdimenziós bemeneti univerzum esetén önmagában is magas számításigényű probléma. Néhány szabály-interpolációs módszer pl. [9], [10] úgy oldja meg ezt a problémát, hogy a következmény halmaz számításakor, a megfigyelés és a szabály antecedensek távolságával súlyozottan a szabálybázis valamennyi szabályát figyelembe veszi.

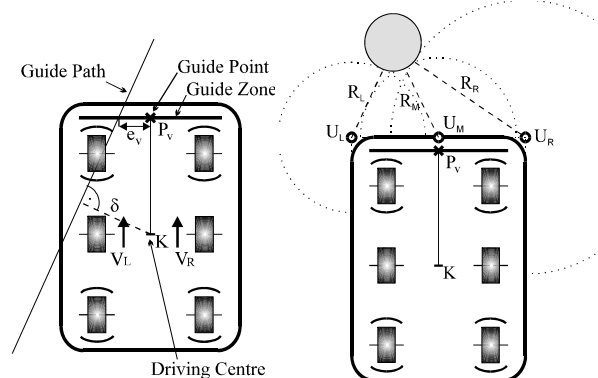
A számításigény szempontjából további problémát jelenthet a következmény fuzzy halmaz volta. Azon szabály-interpolációs módszerek esetében, ahol a következmény fuzzy halmaz formájában adódik, ez vagy számos ismételt interpolációs lépést (pl. a releváns  $\alpha$ -vágatonként [3], vagy egy másodlagos, a következmény fuzzy halmaz alakját meghatározó lépést jelent pl. [8]. A közvetlen gyakorlati irányítástechnikai alkalmazhatóság szempontjait szem előtt tartva került kialakításra a „FIVE” fuzzy szabály-interpolációs módszer [4]. A módszer többdimenziós megfigyelés térben, a szabályszámmal arányos idő alatt egyetlen interpolációs lépéssel hoz nem fuzzy következtetést.

## 2. FUZZY INTERPOLÁCIÓS SZABÁLYRENDSZER TERVEZÉS

A bemutatni kívánt fuzzy interpolációs (FRI) szabálybázis tervezés példa egy vezetőlíni targonca (automated guided vehicle - AGV) nyomkövetési és ütközés elkerülési stratégiájának szabály alapú leírása [13]. Az FRI módszereket a mérnöki modellezés számos

más területén is sikerrel alkalmazták pl. szennyvíztisztító reaktor [11], vagy szerszám élettartam modellezés [12].

A mintának szánt AGV kormányzás beágyazott FRI példában a szabályokkal leírni kívánt stratégiának két célja van. Ezek a nyomkövetés (egy előre kijelölt vezetőlíni követése) és az ütközés elkerülés. A vezetőlíni követésénél a nyomkövető rendszer valamely vezetőlíni hangolt rendszerrel (pl. érzékelő sáv) érzékeli a vezetőlíni pozícióját. A nyomkövető kormányzási stratégia célja, hogy a jármű útja során a vezetőlíniot minél kisebb nyomkövetési hibával kövesse.



1. ábra Differenciális kormányzású AGV, nyomvonal érzékelő sávval.  $\delta$  a nyomkövetési hiba,  $e_v$  a nyomvonal és a nyomkövetési referenciapont ( $P_v$ ) távolsága,  $K$  a kormányzási középpont.  $R_L$ ,  $R_R$ ,  $R_M$  az  $U_L$ ,  $U_R$ ,  $U_M$  akadályérzékelők által mért távolságok.

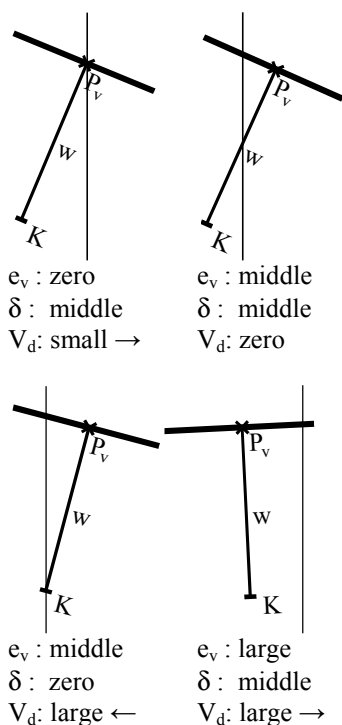
## 3. A NYOMKÖVETÉS SZABÁLYBÁZIS

A kormányzási stratégia leírása két részre bontható. Az első a nyomkövetési szabálybázis, a második az akadályelkerülés. A szabálybázis megalkotásának egyik legegyszerűbb módja a szakértői szabályok rögzítése. Össze kell gyűjteni azokat a szabályokat, melyek a legmeghatározóbbak a nyomkövetési kormányzás során. Ezek a szabályok alkotják majd a nyomkövetési szabálybázist. FRI alkalmazáspéldáról lévén szó, elég összegyűjteni a legjellemzőbb szabályokat.

A szabályok nagyon egyszerűek. A járműnek úgy kell haladnia, hogy a  $K$  a kormányzási középpontja minél közelebb kerüljön a nyomvonalhoz, majd ha ez megtörténik, akkor a helyes irányba kell fordulnia.

Ezen stratégia leírásához két megfigyelésre van szükség, a ( $\delta$ ) a nyomkövetési hibára és a nyomvonal és a nyomkövetési referenciapont távolságára ( $e_v$ ) (a jelölést lásd az 1. ábrán). A megfigyelések alapján hozza meg a kormányzási stratégia a kormányzás mértékét illető döntését ( $V_d$ ).

A szakértői tudást összegyűjtve a kormányzási stratégiát mindössze négy lényeges helyzet és kormányzási döntés határozza meg (lásd a 2. ábrán).



2. ábra A kormányzási stratégiát meghatározó lényeges helyzetek és kormányzási döntések

$R_{V_d}$ :	$e_v$	$\delta$	$V_d$
Rule 1:	NL		PL
Rule 2:	PL		NL
Rule 3:	NM	Z	PL
Rule 4:	PM	Z	NL
Rule 5:	NM	PM	Z
Rule 6:	PM	NM	Z
Rule 7:	Z	PM	NS
Rule 8:	Z	NM	PS

1. táblázat Nyomkövetési szabályrendszer (1), ritka (FRI) szabálybázis.

Két megfigyelés alapján kell következtetést hozni, így az  $i$ . fuzzy szabály alakja a következő:

$$R_{V_d(i)} : \text{If } e_v=A_{1,i} \text{ And } \delta=A_{2,i} \text{ Then } V_d=B_i. \quad (1)$$

Amennyiben elkészítjük az antecedens és konzekvens univerzumok fuzzy partícióit, és meghatározzuk a nyelvi elemeket mindkét antecedens univerzumra (negatív nagy (NL), negatív közepes (NM), pozitív közepes (PM), pozitív nagy (PL)), valamint a konzekvens univerzumra (negatív, pozitív nagy (L), kicsi (S) és zérus (Z)), úgy alkalmas FRI következtetést választva rögtön egy működő rendszert kapunk. Megfelelő teljesítménymérték és paraméterbecslő eljárással kiegészítve a modellt, a szabálybázis paraméterek a rendszer futása közben tovább hangolhatók. A 2. ábrán bemutatott szakértői tudás alapján a kormányzási stratégiára az 1. táblázatban

összefoglalt szabálybázis adódik.

### 3. A NYOMKÖVETÉS ÉS ÜTKÖZÉS ELKERÜLÉS

A nyomkövetési stratégia ütközéssel való kiegészítésének érdekében első lépésként meg kell vizsgálni, hogy milyen új megfigyelésekre van még szükség. Az ütközésselkerülési stratégia szempontjából két ütközési helyzet különböztethető meg. A frontális ütközés és az oldalsó ütközés. Az 1. ábrának megfelelően a jármű három távolságérzékelő szenzorral van felszerelve, egy a jármű elején középen ( $U_M$ ), egy elöl a bal- ( $U_L$ ) és egy a jobboldalon ( $U_R$ ). A mért akadály távolság értékek rendre  $R_M$ ,  $R_L$ ,  $R_R$  elégségesek a frontális ütközési helyzet felismerésére. Az oldal ütközés helyzetek felismerése közvetlenül nem lehetséges. A megelőző akadály távolságok és a mérési pozíciók rögzítése esetén azonban álló akadályok esetén az oldalsó akadályok helyzete is becsülhető [13], [14].

Az ütközésselkerülés érdekében ezért öt új megfigyelésünk lesz, a jármű elejére szerelt távolságérzékelők mérési eredményei ( $R_L$ ,  $R_M$ ,  $R_R$ ) és a számított becsült maximális bal és jobb biztonságos fordulási szög ( $\alpha_{ML}$ ,  $\alpha_{MR}$ ). Mindösszesen így a nyomkövetési és akadályelkerülési stratégiának 7 megfigyelés alapján kell meghoznia a kormányzást illető döntését.

A nyomkövetési és akadályelkerülési stratégia szabálybázisának szabályai így a következő formában írhatók fel  $R_{V_d(i)}$ :

$$\text{If } e_v=A_{1,i} \text{ And } \delta=A_{2,i} \text{ And } R_L=A_{3,i} \text{ And } R_R=A_{4,i} \text{ And } R_M=A_{5,i} \text{ And } \alpha_{ML}=A_{6,i} \text{ And } \alpha_{MR}=A_{7,i} \text{ Then } V_d=B_i. \quad (2)$$

$R_{V_d}$ :	$e_v$	$\delta$	$R_L$	$R_R$	$R_M$	$\alpha_{ML}$	$\alpha_{MR}$	$V_d$
Rule 1:	NL							PL
Rule 2:	PL							NL
Rule 3:	NM	Z					L	PL
Rule 4:	PM	Z				L		NL
Rule 5:	NM	PM	L		L	L		Z
Rule 6:	PM	NM		L	L		L	Z
Rule 7:	Z	PM	L		L	L		NS
Rule 8:	Z	NM		L	L		L	PS
Rule 9:	Z	PM	S		S			PL
Rule 10:	Z	NM		S	S			NL
Rule 11:	Z	Z	L	S	S			NL
Rule 12:	Z	Z	S	L	S			PL

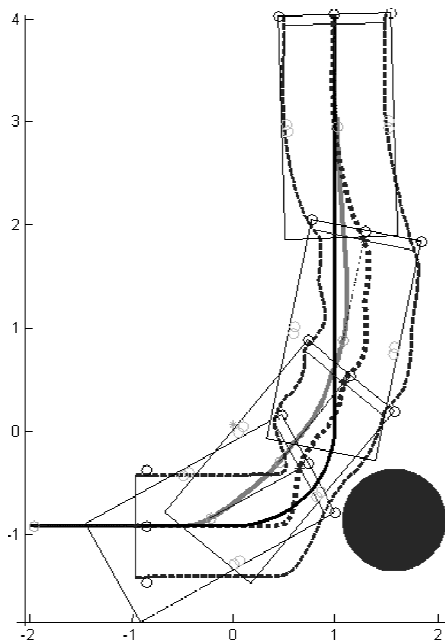
2. táblázat Teljes nyomkövetési és akadályelkerülési szabályrendszer (2).

A következő lépés a nyomkövetési szabályrendszer (1. táblázat) ütközésselkerüléssel való kiegészítése. A kiegészítés két lépésben történhet. Az első a

nyomkövetési szabályok módosítása úgy, hogy a nyomkövetési szabályok csak akkor jussanak érvényre, ha a végrehajtásuk nem okoz ütközési helyzetet. Ez a szabályok kiegészítését jelenti úgy, hogy az antecedensek között megjelenik feltételként az is, hogy a kívánt elmozdulás irányában nincs akadály (távolsága: L). Az így kiegészített szabályokat a 2. táblázat Rule 1-8 szabályai foglalják össze.

A következő lépés a szabálybázis bővítése olyan szabályokkal, amik az ütközési helyzeteket közvetlenül kezelik. A példa esetében ez újabb négy szabály felvételét jelent (Rule 9-12). A teljes nyomkövetési és akadályelkerülési szabályrendszert a 2. táblázat foglalja össze.

A fuzzy partíciók hangolását követő futási eredményekre mutat be példát a 3. ábra.



3. ábra Szimulált nyomvonal a 3. táblázat szerinti nyomkövetési és akadályelkerülési stratégia esetén.

## 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## 6. IRODALOM

- [1] L. A. Zadeh, "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes", IEEE Trans. on SMC, (3), 1973, pp.28-44.
- [2] E. H. Mamdani and S. Assilian, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller", Int. J. of Man Machine Studies, (7), 1975, pp.1-13.

- [3] L. T. Kóczy and K. Hirota, "Rule interpolation by  $\alpha$ -level sets in fuzzy approximate reasoning", In J. BUSEFAL, Automne, URA-CNRS. Vol. 46. Toulouse, France, 1991, pp. 115-123.
- [4] Sz. Kovács, "Extending the Fuzzy Rule Interpolation "FIVE" by Fuzzy Observation", Advances in Soft Computing, Computational Intelligence, Theory and Applications, Bernd Reusch (Ed.), Springer Germany, 2006, pp. 485-497.
- [5] K. W. Wong, D. Tikk, T. D. Gedeon, and L. T. Kóczy, "Fuzzy Rule Interpolation for Multidimensional Input Spaces With Applications", IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 13, No. 6, December, 2005, pp. 809-819.
- [6] L. T. Kóczy and Sz. Kovács, "On the preservation of the convexity and piecewise linearity in linear fuzzy rule interpolation", Tokyo Inst. Technol., Yokohama, Japan, Tech. Rep. TR 93-94/402, LIFE Chair Fuzzy Theory, 1993.
- [7] D. Tikk and P. Baranyi, "Comprehensive analysis of a new fuzzy rule interpolation method", In IEEE Trans. Fuzzy Syst., vol. 8, No. 3, June, 2000, pp. 281-296.
- [8] P. Baranyi, L. T. Kóczy, and Gedeon, T. D., "A Generalized Concept for Fuzzy Rule Interpolation", IEEE Trans. on Fuzzy Systems, vol. 12, No. 6, 2004, pp. 820-837.
- [9] S. Jenei, E. P. Klement and R. Konzel, "Interpolation and extrapolation of fuzzy quantities – The multiple-dimensional case", Soft Comput., vol. 6., 2002, 258-270.
- [10] Zs. Cs. Johanyák, Sz. Kovács, "Fuzzy Rule Interpolation Based on Polar Cuts", Computational Intelligence, Theory and Applications, Springer Berlin Heidelberg, 2006, pp. 499-511.
- [11] Zs. Cs. Johanyák, R. Parthiban, and G. Sekaran, "Fuzzy Modeling for an Anaerobic Tapered Fluidized Bed Reactor", SCIENTIFIC BULLETIN of "Politehnica" University of Timisoara, ROMANIA, Transactions on AUTOMATIC CONTROL and COMPUTER SCIENCE, ISSN 1224-600X, Vol:52(66) No:2, 2007, pp. 67-72.
- [12] Zs. Cs. Johanyák and A. Szabó, "Tool life modelling using RBE-DSS method and LESFRI inference mechanism", A GAMF Közleményei, Kecskemét, XXII. 2008, pp. 5-16.
- [13] Sz. Kovács and L. T. Kóczy, "Application of an approximate fuzzy logic controller in an AGV steering system, path tracking and collision avoidance strategy", Fuzzy Set Theory and Applications, In Tatra Mountains Mathematical Publications, Mathematical Institute Slovak Academy of Sciences, vol.16, Bratislava, Slovakia, 1999, pp. 456-467.
- [14] Sz. Kovács: Fuzzy Rule Interpolation from a Practical Point of View, Acta Universitas Jaurinensis, Series Intelligentia Computatorica, Vol. 1, No. 3, ISSN 1789-6932, 2008, pp. 595-611.