

## Válasz Kóczy László Professor Úr “Data Mining Techniques for Process Development” című MTA doktori értekezéssel kapcsolatos opponensi véleményére

Nagyon szépen köszönöm Kóczy László Professor Úrnak disszertációm alapos, mindenre kiterjedő véleményezését, az elismerő szavakat és a kritikus megjegyzéseket, melyeket köszönettel kivétel nélkül elfogadok. Külön köszönöm a kérdéseket, melyek inspirációt adnak további kutatásaimhoz, és lehetőséget teremtettek a dolgozatomban kevésbé részletesen tárgyalt témakörök kifejtésére, mindezek által munkám fejlesztésére és elfogadtatására.

A dőlt betűvel szedett kérdésekre és megjegyzésekre felmerülésük sorrendjében válaszolok.

### *Téziscsoportokkal kapcsolatos megjegyzések*

Kóczy Professor Úr tézisekkel kapcsolatos értékelését nagy tisztelettel elfogadom. A felvetődött megjegyzésekkel kapcsolatosan a következő kiegészítéseket kívánom tenni.

*Megjegyzem, hogy széleskörű elterjedtsége ellenére a Takagi-Sugeno típusú modellek interpolációs viselkedése az antecedensek átfedési intervallumaiban nem kedvező, a lineáris szakaszok közötti átvezetések többszörös inflexiós pontokat tartalmaznak. Bár kimutatható, hogy ez a modelltípus is elméletileg univerzális tulajdonságú, felvetődik annak a kérdése, hogy szerencsésebb volna a CRI-Mamdani modellcsalád irányában keresni a gyakorlati alkalmazású modellek identifikációjának módszereit. (A két modelltípus csak asszimptótikusan ekvivalens.) Ez a megjegyzés természetesen nem csökkenti a Jelölt kutatási eredményeinek értékét.*

Nagyon örülök Professor Úr felvetésének, ugyanis lehetőséget teremt arra, hogy beszámoljak arról, már 2000-ben publikáltam, hogy a kérdéses jelenség a lokális modellek értelmezhetőségére és identifikálására is kihat<sup>1</sup>.

A 2003-ban megjelent *Fuzzy Model Identification for Control* című könyvemben e felismerésen alapulva igazoltam, hogy a Professor Úr által is említett kedvezőtlen interpolációs hatások elkerülhetők ha a lokális (súlyozott) regresszióval identifikált Takagi-Sugeno fuzzy modelleket LPV modellként értelmezve alkalmazzuk a modell alapú szabályozókban.

---

1 J. Abonyi R. Babuška, Local and global identification and interpretation of parameters in Takagi-Sugeno fuzzy models, FUZZ-IEEE 2000: 9th IEEE International Conference on Fuzzy Systems; San Antonio, TX, USA; 7 May 2000 through 10 May 2000; Code 57082 (11 független hivatkozás)

*A teljes második téziscsoport eredményeinek érvényessége és gyakorlati alkalmazhatósága is függ a klaszteregyesítési eljárás jóságától. Az alkalmazott Kelly-féle módszer erre kétségkívül lehetőséget kínál, bár az irodalom alternatívákat is felsorakoztat. E megközelítés filozófiai háttére statisztikai jellegű, mind oly sok fuzzy modellt alkalmazó adatfeldolgozási eljárásnál. Az a kérdés természetesen mindig feltehető, vajon a lehetőségi mérték használata a valószínűségi helyett milyen irányban változtatná meg a kapott eredményeket.*

Professzor Úr felvetésével teljesen összhangban magam is úgy gondolom, hogy a klaszteregyesítési eljárás modellérvényességre gyakorolt jelentősége miatt a csoportjósági mértékek és az aggregálást támogató algoritmusok hatása alapos vizsgálatot igényel. A lehetséges mértékeket és eljárásokat részletesen egy könyvfejezetben tekinttettem át<sup>2</sup>. Bár figyelmem az elmúlt időben ezen a téren a gráf alapú eljárások előnyeinek kiaknázása irányába fordult<sup>3</sup>, a lehetőségi mértékek alkalmazását - tekintve, hogy robusztus alkalmazásokat ígérnek - rettentően ígéretes területnek tartom, így tervezem, hogy kutatásaim ezen a téren is folytatom.

*Bár a bíráló egyes vizsgálatait is alátámasztják a Gath-Geva klaszterezés hatékonyságát, mégis szerencsésnek tartottam volna, ha a Jelölt hivatkozott, illetve összehasonlító vizsgálatokat végzett volna az irodalomban igen elterjedt és különösen korszerű továbbfejlesztett változataiban meglehetősen hatékonynak mondható fuzzy c-means (FCM) klaszterezési eljárásra, illetve ennek alternatív alkalmazásával kapcsolatban.*

Tekintettel arra, hogy az MTA VI. Műszaki Tudományok Osztálya a doktori mű érdemi részét 100 oldalban határozta meg, az FCM algoritmus tárgyalására a B.1 mellékletben csak korlátozott mértékben kerülhetett sor. Feil Balázs PhD hallgatómmal írt közös könyvünkben<sup>4</sup> közölt részletes összehasonlító vizsgálatok igazolják Professzor Úr megállapításait, miszerint ez az eljárás csoport viszonylag homogén méretű és alakú klaszterek esetén eredményez jó felosztást. Tekintettel arra, hogy a dolgozatban vizsgált legtöbb probléma megoldása kapcsán a csoportosítási algoritmusokat a problémátér geometriai jellegének részletes feltárására céljából alkalmazzuk, szükség volt olyan csoportosítási algoritmusok generálására melyek eltérő térfogatú és alakú csoportokat eredményeznek. Ez indokolta azt, hogy figyelmem a Gath-Geva algoritmus módosításának irányába fordult.

---

2 J. Abonyi, B. Feil, Aggregation and Visualization of Fuzzy Clusters based on Fuzzy Similarity Measures, Advances in Fuzzy Clustering and its Applications, John Wiley & Sons, Eds J. V. de Oliveira and W. Pedrycz, pp. 95-123, 2007

3 Vathy-Fogarassy A, Kiss A, Abonyi J, Hybrid minimal spanning tree and mixture of Gaussians based clustering algorithm.: 4th International Symposium on Foundations of Information and Knowledge Systems, FoIKS 2006, Budapest: Springer-Verlag, 2006

4 Abonyi J, Feil B, Cluster Analysis for Data Mining and System Identification, Berlin: Birkhauser Verlag, 2007. 303 p., (ISBN:978-3-7643-7987-2), Független idéző: 15

*A harmadik téziscsoport az a priori információk (stabilitás, erősítés, időállandó, stb.) fuzzy modellek paramétereire vonatkozó korlátok formájában történő megfogalmazásával kapcsolatos. A két altézis megállapításai filozófiai értelemben nem meglepőek – pontosabb a modell és predikációs képessége, ha több rendelkezésre álló információ kerül beépítésre. A Jelölt módosított fuzzy modellre tesz javaslatot. A 4.2 identifikációs példa tapasztalatai nem támasztják alá az a priori információ jelentőségét a modellhatékonyság szempontjából. Tény azonban, hogy különböző a priori korlátok alkalmazása más és más modellparamétereket eredményez.*

A dolgozat középpontjában az eltérő jellegű információforrások célirányos és integrált kiaknázása áll, ugyanis a folyamatmérnöki gyakorlatban alkalmazott klasszikus modellezési keretrendszerek korlátai miatt gyakran előfordulhat, hogy a megfelelő (kiegészítő jellegű) információ nem tud hatékonyan beépülni a modellbe.

Professzor Úr megjegyzésével egy fontos, a dolgozat terjedelmi korlátai miatt kevésbé tárgyalt témakörre világít rá. Bár az eltérő jellegű információk alapján identifikált modellek pontossága kevésbé különbözik egymástól, a lokális modellek paraméterei – ahogy arra a 4.5 ábrán feltüntetett válaszfüggvények is utalnak, jelentősen eltérnek egymástól. Ennek oka a már e válaszban is tárgyalt Takagi-Sugeno típusú modellek antecedensek átfedési intervallumaiban nem kedvező interpolációs viselkedésében keresendő. Az *a priori* ismereteken alapuló korlátok regularizációs hatással bírnak, mely nem csak a következményi modellek értelmezhetőségét növeli, hanem – a dolgozatban nem részletezett módon – a modellek modell alapú szabályozókban mutatott teljesítményét is jelentősen javítja<sup>5</sup>.

A témát részletesen ismertető könyvemben<sup>6</sup> a módszer további előnyeit modell alapú adaptív szabályozásban is igazolom, bemutatva, hogy a paraméterekre vonatkozó korlátok hatására miként lesz robusztusabb az adaptív modell-prediktív szabályozó algoritmus.

*Mivel a mai napig nem született meg a fuzzy szabálybázisos modellek egzakt funkcionálkalkulusa, nehéz eldönteni, vajon egy bizonyos modellosztályon belül létezik-e egyáltalán optimális fuzzy modell. Általában megállapítható azonban, hogy fuzzy szabálybázisos modellidentifikáció esetében a legkritikusabb kérdés az identifikáció alapjául szolgáló adatok eloszlása, kiterjedése. Remélhető, hogy a jövőben olyan tételek kerülnek kimondásra, amelyek a szabálybázisos modellek által reprezentált explicit függvények tulajdonságai és a felhasznált adategyűttesek jellegzetességei között állapítanak meg szükségszerű összefüggéseket.*

---

5 Abonyi J, Babuska R, Verbruggen H B, Szeifert F, Incorporating prior knowledge in fuzzy model identification, INTERNATIONAL JOURNAL OF SYSTEMS SCIENCE 31: pp. 657-667. (2000), IF: 0.290, Independent citations: 18  
6 Janos Abonyi, Fuzzy Model Identification for Control, Boston: Birkhauser Verlag, 2003. 273 p.

Professzor Úr nagyon fontos és rettentően érdekes megjegyzésére - jellegéből adódóan - csak apróbb technikai kiegészítéseket kívánok tenni. A felvetés rávilágít arra, hogy a közel optimális modellstruktúra feltárása érdekében mennyire fontos a munkám során gyakorta alkalmazott keresztvalidálás és az információs kritériumokon alapuló modellstruktúrát jellemző mértékek ( pl. az Akaike és Bayes-féle információs kritériumok) alkalmazása<sup>7</sup>.

Abban az esetben, ha a vizsgálójel szabadon generálható, az identifikáció alapjául szolgáló adatok eloszlását célszerű megtervezni a tervezett alkalmazási tartományok és az azok jellemzése céljából létrehozott fuzzy halmazok alapján<sup>8</sup>. Ez a megközelítés már a kísérlettervezés irányába mutat, ahol a modellparaméterek érzékenységegyenlete alapján generált Fisher-mátrix az identifikációra felhasznált adatok megválasztásának vagy optimalálásának az alapja<sup>9</sup>.

Mindezek kapcsán a Takagi-Sugeno fuzzy modellek esetében további kutatásokat tervezek, melyek létjogosultságát Professzor Úr megjegyzése is igazolta.

*A negyedik tétiscsoport két altézisének összekötő eleme az alkalmazott genetikus algoritmikus megközelítés. A 4.1 altézés a modellek egyszerűsítésére vonatkozó eljárásra vonatkozik, ahol – a korábbi tétiscsoportokhoz hasonlóan – kulcsszerepet játszik a legkisebb négyzetének módszere. Az alkalmazott genetikus programozási elem kétségkívül hasznos lehet, ám megjegyzem, hogy a szakirodalomban már régóta elterjedtek a genetikusnál jobb konvergencia tulajdonságú evolúciós és az evolúcióst más, hagyományosabb optimalizálási eljárásokkal kombináló módszerek (bakteriális algoritmus illetve programozás, memetikus módszerek). Bár ezen altézisek értéke nem vitatható, meg kell állapítanom, hogy a Jelölt az evolúciós és rokon algoritmusok területén meglehetősen esetlegesen válogatott a megvizsgált módszerek között és így az eredmények kevésbé tekinthetők általános érvényűnek és jelenlegi ismereteink szerint optimálisnak.*

Professzor Úr kutatócsoportja által aktívan vizsgált bakteriális memetikus algoritmusok kedvező tulajdonságai miatt ténylegesen célszerű a vizsgálatokat ezen algoritmuscsaládra is kiterjeszteni.

---

7 Abonyi J, Nagy L, Szeifert F, Adaptive fuzzy inference system and its application in modelling and model based control. CHEMICAL ENGINEERING RESEARCH & DESIGN 77: pp. 281-290. (1999), IF: 0.686, Független idéző: 20 (Az első publikáció melyben az AIC és BIC kritériumokat alkalmaztam)

8 Abonyi J, Tar J, Szeifert J, Identification of MIMO Processes by Fuzzy Clustering, In: IEEE International Conference on Intelligent Systems. Helsinki, Finnország, 2001.09.16-2001.09.18., pp. 1-6.

9 László Dobos, Zoltán Bankó, János Abonyi: Qualifying and segmentation of historical process data using optimal experiment design Techniques for supporting parameter estimation, Acta Electrotechnica et Informatica, 2010

Tekintettel arra, hogy a kutatás célja a széles körben elterjedt és a folyamatmérnöki gyakorlatban alkalmazott evolúciós algoritmusok technológiafejlesztés támogatására alkalmas információátviteli és tudásfeltárási elemekkel történő továbbfejlesztése volt, a populáció alapú sztochasztikus algoritmusok rendkívül széles osztályának részletekbe menő tanulmányozása helyett inkább a folyamatmérnöki gyakorlatban már sikeresen bizonyított algoritmusok továbbfejlesztésére fókuszáltam.

Az algoritmusok elterjedtsége által motivált választásomat a Scopus adatbázis adataival szeretném igazolni. A bacterial memetic algoritmusokra összesen 20, a kapcsolódó bacterial foraging algoritmusokra 2010-ben 113 találat adódott, míg a dolgozatban vizsgált genetikus programozással kapcsolatban csak 2010-ben 1596 darab nemzetközi publikáció született. Az interaktív optimalizálás alapjául szolgáló evolúciós stratégiával kapcsolatban 2010-ben 1866 és a PSO raj-optimalizálással kapcsolatosan 3700 publikációt regisztrál a Scopus.

Professzor Úr azon állításával miszerint *eredmények kevésbé tekinthetők általános érvényűnek és jelenlegi ismereteink szerint optimálisnak* teljesen mértékben egyetértek. Úgy gondolom, hogy munkám, csupán eredményesnek tekinthető. Sikerült olyan módszereket és eszközöket kifejleszteni, melyekkel a legelterjedtebb evolúciós algoritmusok hatékonysága növelhető a folyamatmérnöki problémák megoldásában.

### **Értékelés, megjegyzések**

*Nem vitatva a teljes értekezés egészén végighúzódo vezérfonalat, az egyes tétiscsoport között meglévő bizonyos mértékű összefüggést, mégis úgy látom, az alkalmazott eszköztár igen széles és az alkalmazás mélysége nem homogén.*

Professzor Úr véleményével teljes mértékben egyetértek. A dolgozat írása során magam is dilemmáztam, hogy a kevesebb gyakran több alapelvet követve célszerűbb lenne csupán a 2. tézishez kötődő eredményekre fókuszálni. Tekintettel azonban a választott témakörre, úgy gondoltam, hogy a dolgozat összeállításakor a terjedelmi lehetőségeket maximálisan kihasználva megpróbálom összefoglalni a technológiafejlesztés támogatására alkalmas információátviteli és tudásfeltárási elemeket felvonultató kutatási eredményeim közül azokat, melyek az elmúlt 10 évben egyértelműen pozitív visszajelzést kaptak. E szándék tükrében döntöttem úgy, hogy a fuzzy modellekhez kötődő eredményeken túl a dolgozatban az evolúciós algoritmusokkal kapcsolatos munkákat és a gyakorlati alkalmazáshoz kapcsolódó fejlesztési eredményeket is szerepeltetem.

*A klaszterezés és az evolúciós eljárások sok tekintetben egymás alternatívájaként merülhetnek fel, de egyetlen esetben sem történt meg ezen alternatívák összehasonlító értékelése, nem világos, miért az egyiket vagy másikat alkalmazza a Jelölt egyik-másik eljárásában, illetve miért nem vizsgálja meg a másik alternatívát, míg egy másik rész kutatásban ezt éppen fordítva teszi.*

Professzor Úr megjegyzésével rendkívül jól rávilágít arra, hogy a csoportosítási algoritmusok fejlesztésének kulcsa a probléma-releváns távolságmérték és az ezen alapuló költségfüggvény megtervezése. E költségfüggvény minimalása általában a csoportosítási algoritmusokban alkalmazott alternáló optimalizálással hatékonyan megoldható.

Az alternáló optimalás ismert hátránya, hogy lokális optimumhoz vezethet. Ennek a kedvezőtlen tulajdonságnak is köszönhetően több mint tíz éve elindult egy kutatási irány, mely evolúciós algoritmusokat próbál alkalmazni fuzzy csoportosítási feladatok költségfüggvényének minimalizálása céljából<sup>10</sup>. Bár a dolgozat témáját csak részben érinti a problémakör, be tudok számolni arról, hogy magam is foglalkoztam ilyen algoritmusok fejlesztésével, evolúciós stratégia és rajntelligencia technikák csoportosításban történő alkalmazásával. Köszönhetően az alternáló optimalizálási lépések hatékonyságának a klasszikus csoportosítási feladatok esetében az eredmények nem lettek kiemelkedően jobbak a sorozatban véletlenszerűen változtatott kezdeti feltételeken alapuló klasszikus csoportosítási algoritmusokkal elért eredményeknél, így e munka publikálásától és dolgozatban történő említésétől eltekinttem.

A csoportosítási algoritmusokat leginkább az adatok eloszlását feltáró előfeldolgozási technikaként szokták alkalmazni. Úgy gondolom, hogy a genetikus algoritmusoknak inkább a modellek strukturális optimalásában és finomhangolásában van inkább létjogosultságuk, ahol jóval komplexebb a célfüggvény és az optimált változók kapcsolata. Sajnos a dolgozat terjedelmi korlátai, illetve a már az opponenseim által is észrevételezett már amúgy is széles eszköztár korlátok köré szorítása miatti igény miatt e kérdés részletes elemzése nem kerülhetett a disszertációba, pedig fuzzy osztályozók esetén két rendkívül sikeres publikációban sikerült igazolni a genetikus optimalás hatékonyságát és az alkalmazott csoportosítási és döntési fa generáló algoritmusok szerepét a fuzzy osztályozók inicializálásában<sup>11,12</sup>.

---

10 F. Klawinn and A. Keller, Fuzzy clustering with evolutionary algorithms, International Journal of Intelligent Systems, 1998, vol. 13, no 10-11 (168 p.), pp. 975-991

11 Rubos J A, Setnes M, Abonyi J, Learning fuzzy classification rules from labeled data., INFORMATION SCIENCES 150: pp. 77-93. (2003), IF: 0.447, Független idéző: 62

12 Abonyi J, Roubos J A, Szeifert F, Data-driven generation of compact, accurate, and linguistically sound fuzzy classifiers based on a decision-tree initialization, INTERNATIONAL JOURNAL OF APPROXIMATE REASONING 32: pp. 1-21. (2003), IF: 0.536, Független idéző: 94

## **Apróbb kritikai észrevételek**

*A radiálbázisos neurális modellek valóban igen szorosan összefüggenek a fuzzy szabálybázisos rendszerekkel. Ez utóbbiak azonban formálisan általánosabbak, így óvatosabban alkalmaznám az ekvivalencia kifejezését.*

Professzor Úr megjegyzésével maradéktalanul egyetértek, az ekvivalencia kifejezés általános értelemben nem használható. A kérdés mely a „minden bogár rovar, de nem minden rovar bogár” analógián is túlmutat, megkívánja az érintett modellstruktúrák pontos definiálását<sup>13</sup>.

*A 2.1 ábrán bemutatott és a következő bekezdésben ismertetett modell egy részben vitatható értelmezést feltételez, amely a tudásalapú viselkedést élesen elkülöníti a szabályalapútól. A „szabály” kifejezés természetesen használható egy erősen szűkítő értelemben is, ám az értekezésben újra meg újra kulcsszerepet játszó fuzzy szabályok éppen egy tudásbázis alkotóelemeiként jelennek meg, ezért a szabályok kizárása a tudás-poolból nem szerencsés.*

Egyetértek az Opponens Úrral, az ábra ilyen értelmezése felveti, hogy az ábrázolás módja javításra szorul. Értelmezésem szerint a különböző rétegek szorosan egymásra épülnek, szervesen kiegészítve egymást.

*A 3.1 első bekezdésében szereplő állítása a Takagi-Sugeno modellt, mint a legnagyobb figyelmet kapott fuzzy modelltypust állítja be. Ez tévedés, mivel a Mamdani-modellcsalád az előbbinél kétségtől elterjedtebb. Ugyanakkor e két modell asszimptotikusan azonos viselkedést mutat, mely kérdést a Jelölt nem veti fel. A 19. oldalon hivatkozott eredmények (31-36) tipikusan 10-20 évesek. Ezek a publikációk (leszámítva a klasszikus, 1993-as [31] cikket) egy kutatási vonulatot dokumentálnak, ám sok alternatív és esetenként akár eredményesebb vizsgálatra az értekezésben nem történik hivatkozás, illetve ezeket a vonulatokat a Jelölt nem vizsgálja.*

A Mamdani-modellcsalád elterjedtségével kapcsolatosan valóban tévesen fogalmaztam, ezen a területen is sok értékes eredmény lát napvilágot – köztük a Mamdani típusú modellek alkalmazhatóságát alapvetően kiterjesztő Hirota–Kóczy szabályinterpolációhoz kötődő

---

13 Kenneth J. Hunt, Roland Haas, and Roderick Murray-Smith, Extending the Functional Equivalence of Radial Basis Function Networks and Fuzzy Inference Systems, Basis Function Networks and Fuzzy Inference Systems, IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 7, no. 3, 1996

munkák. A doktori szabályzathoz és az abból fakadó terjedelmi korláthoz igazodóan ezek említésére sajnálatos módon nem került sor, leginkább a doktori mű előzményére, a Takagi-Sugeno fuzzy modell releváns tulajdonságainak említésére fókuszáltam.

*Érdekes tény, hogy a 3.2 táblázat teszteredményei az FMID kivételével szinten teljesen azonosak. Mennyiben támasztja ez alá tehát egyik vagy másik módszer előnyét?*

Az adatbányászat célja gyakorta kettős, a modell pontossága mellett gyakran a modell értelmezhetősége is előtérbe kerül. Az adat-alapú fuzzy modellezés esetén a modell pontosságán túl az értelmezhetőség biztosítása külön figyelmet igényel, ugyanis a modell pontossága és értelmezhetősége gyakran csak egymás rovására javítható<sup>14</sup>.

A hivatkozott táblázat egy szerencsés esetet mutat, az általam kidolgozott csoportosítási algoritmus úgy tette lehetővé az értelmezhető (egyváltozós és egymástól megfelelően megkülönböztethető tagsági függvényekből felépülő) fuzzy modell identifikációját, hogy annak predikciós teljesítménye a kevésbé értelmezhető - ámde nagyobb flexibilitással bíró - modellek pontossága közelében maradt.

*Meglepő, hogy a 68-71. oldalakon szereplő példában a 4.2 táblázatban látható identifikált modellparaméterek nagymértékben különböznek egymástól. Ennek hatása természetesen a 4.5 ábrán látható lépcsős válaszfüggvények különbözőségében is megnyilvánul. Bár a Jelölt a 70. oldalon magyarázatot fűz a paraméterek eltérő voltához, ezt az identifikációs technikát nem érzem teljesen megnyugtatónak és nem érzékelem a matematikai értelemben vett stabilitás avagy robusztus viselkedés garantált voltát. Tud-e a Jelölt erre nézve valamilyen analitikus indoklást adni?*

Professzor Úrkapcsolódó felvetése kapcsán kifejtettem, hogy az eltérő módon identifikált lokális modellek paramétereinek változékonyságának oka a Takagi-Sugeno típusú modellek antecedenseinek átfedési intervallumaiban tapasztalható nem kedvező interpolációs viselkedésében keresendő. Az *a priori* ismereten alapuló korlátok a gyakorta túlparaméterezett fuzzy modellek esetében regularizációs hatással bírnak, felruházva őket az elvárt lokális dinamikus viselkedéssel. A lokális modellek elvárt dinamikáját az általam javasolt kvadratikusan programozás a Tulleken által levezetett lineáris egyenlőtlenségek<sup>15</sup> alapján garantálja.

---

14 J Casillas, O Cordon, F Herrera, L Magdalena (szerk.), Fuzzy modeling and the interpretability-accuracy trade-off., Heidelberg: Physica Verlag, 2003.

15 Tulleken, H.J.A.F (1993). Gray-box modelling and identification using physical knowledge and Bayesian techniques. Automatica 29, 285–308.



Köszönhetően annak, hogy az LPV módon értelmezett modell lineárisan változó paraméterei a lokális modellek által definiált konvex politópon belül maradnak, a globálisan elvárt dinamikus viselkedést (pl. stabilitás) is garantált.

A kérdés jóval összetettebb, amikor már a modell alapú szabályozó alkalmazásával megvalósuló zárt szabályozási kör stabilitását is vizsgáljuk<sup>16</sup>.

Sajnos a szabályozással kapcsolatos eredmények ismertetésére a doktori mű keretei nem adtak lehetőséget, holott e vizsgálatok megtörténtek, eredményei publikálásra kerültek. A dolgozatban bemutatott fuzzy modelleket valós idejű modell prediktív szabályozás estén vizsgáltam és igazoltam, hogy a kidolgozott identifikációs technika az LPV módon értelmezett modellek modell alapú szabályozókban mutatott teljesítményét jelentősen javítja<sup>17</sup>. A témát részletesen ismertető könyvemben<sup>18</sup> a módszer további előnyeit modell alapú adaptív szabályozásban is igazolom, bemutatva, hogy a paraméterekre vonatkozó korlátok hatására miként lesz robusztusabb az adaptív modell-prediktív szabályozó algoritmus.

A részletes elméleti vizsgálatok e munkán jóval túlmutatva általánosabb és komplexebb stabilitásvizsgálati problémákig vezethetnek, melyek kezelésében Baranyi Péter és munkatársai értek el értékes eredményeket a TP modellek kapcsán<sup>19</sup>.

*Nem vitatva a polinomiális modellek elterjedtségét, felvetem, hogy a polinomiális függvények igen rossz stabilitási tulajdonságai miatt nem volna-e érdemesebb megvizsgálni kedvezőbb tulajdonságú, robusztusabb függvényosztályokat is (mint például a racionális törtfüggvények osztályát).*

Nagyon szépen köszönöm Professzor Úrnak a javaslatot. Tekintve, hogy a javasolt modellek a paramétereikre nézve nemlineárisak, nem teljesen triviális a technika ilyen értelmű kiterjesztése.

A téma rendkívül érdekes, kidolgozását megkezdtem, úgy gondolom, hogy Correra és társai munkájának<sup>20</sup> felhasználásával e javaslatnak köszönhetően hatékony algoritmus lesz kidolgozható.

---

16 Le Hung Lan „Stability analysis for a class of Takagi--Sugeno fuzzy control systems with PID controllers, International Journal of Approximate Reasoning archive, Volume 46 Issue 1, September, 2007

17 Abonyi J, Babuska R, Verbruggen H B, Szeifert F, Incorporating prior knowledge in fuzzy model identification, INTERNATIONAL JOURNAL OF SYSTEMS SCIENCE 31: pp. 657-667. (2000),

IF: 0.290, Független hivatkozások: 18

18 Janos Abonyi, Fuzzy Model Identification for Control, Boston: Birkhauser Verlag, 2003. 273 p.

19P. Baranyi: „Tensor-Product Model-Based Control of Two-Dimensional Aeroelastic System”, Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 29., No. 2., 2006, pp. 391-400.

*Mint az általános megjegyzések között is említettem, az evolúciós (és részecske-raj) algoritmusok alkalmazásával foglalkozó fejezet túlságosan esetleges és nem tartalmaz rendszeres összehasonlító vizsgálatokat. Az itt szereplő állítás, mely a genetikai algoritmusok korszerűségét és növekvő népszerűségét illeti erősen vitatható, és az irodalomjegyzék semmiképpen sem támasztja alá ezt a kijelentést.*

A felvetésre az általános megjegyzések között részletesen reagáltam, részletezve témaválasztásom motivációját. Az algoritmusok korszerűségének minősítését nem vitathatom, népszerűségükkel kapcsolatos állításom a Scopus adatbázis adataival igazoltam.

*Meglepő az, hogy a 2010-ben elkészített értekezés 157 hivatkozása között 2002-nél frissebb dátumú alig szerepel (1 db 2004-es, 2 db 2003-as, 1 db 2005-ös „megjelenés alatt” jelölésű, és 2 db 2006-os részben nem publikált tanulmány – az önhivatkozásokat leszámítva). A hivatkozások döntő többsége azonban az 1980-as évek végéről és az 1990-es évekből való. Miért nincsenek friss irodalmi hivatkozások, vajon ismeri-e a szerző az újabb eredményeket?*

A dolgozat és téziszfüzet összeállítása során maximálisan törekedtem a Műszaki Tudományok Osztálya előírásainak betartására, miszerint az „*értekezés benyújtásával a kérelmező többségében azokkal a jól elkülöníthető, saját eredményekkel pályázzon az MTA Doktora cím elnyerésére, amelyeket már publikált a szakterület meghatározó nemzetközi folyóirataiban*”. E célt követve az értekezés érdemi részében olyan eredményeket szerepeltettem, melyek meghatározó folyóiratokban jelentek meg és jelentős számú értékes visszajelzést/értékelést kaptak. A visszajelzések gyűjtése, értelmezése, és az alkalmazási lehetőségek feltárása természetesen időigényes folyamat, mely maga után vonta, hogy a dolgozat fő tézisei az elmúlt 5-10 év kutatási eredményein alapulnak. A téziszfüzetben feltüntetett 2005 és 2010 közti publikációk kivétel nélkül a doktori műben közölt eredmények gyakorlati alkalmazására és továbbgondolására vonatkoznak.

Bízom benne, hogy e publikációk is igazolják, hogy a tézisekhez kapcsolódó kutatási tevékenységem a napokban is intenzív <sup>21</sup>.

---

20M. V. CORREA, L. A. AGUIRRE E. M. és A. M. MENDES, MODELING CHAOTIC DYNAMICS WITH DISCRETE NONLINEAR RATIONAL MODELS, International Journal of Bifurcation and Chaos, Vol. 10, No. 5 (2000) 1019-1032

21A SCOPUS adatbázis 2006 és 2011 között 34 nemzetközi publikációm rögzíti, igazolva, hogy a tézisekhez is kötődő publikációim 40%-a az utolsó öt évre esik.

Annak igazolására, hogy az irodalmat az elvárható módon követem kimutattam, hogy a Scopus adatbázis 34 db 2006 utáni publikációt tart tőlem számon (ezekre 21 idegen hivatkozást), ezekben a publikációkban 471 hivatkozást szerepeltettem, melyek eloszlása az alábbi volt: 2011 (2), 2010 (9), 2009 (16), 2008 (35), 2007 (21), 2006 (29), 2005 (26), 2004 (20), 2003 (21), 2002 (16).

*Az értekezés kétségtől eléri, sőt meghaladja egy átlagos MTA doktori értekezés volumenét és színvonalát. Az egy tétiscsoporton belül különösen az 1.3 altézis tekinthető jól megfogalmazható új tudományos eredménynek. A 2. tétiscsoport a tudományos eredmények egy csokrát tartalmazza, melyek kétségtől az értekezés legnagyobb értékét képviselik. A 3. tétiscsoportot csak fenntartással tudom új tudományos eredményként kezelni, hiszen az ott megfogalmazott állítások kevésbé újszerűek, bár a Jelölt konkrét vizsgálatokkal, futtatásokkal támasztotta alá állításait. Ezért ez inkább alkalmazási jellegű illusztrációs háttér az egész értekezés témakörének bemutatására. A 4. tétiscsoport igen érdekes kérdéseket vet fel és itt részeredményeket is tartalmaz, bár a fentiekben megfogalmazott fenntartásaimat kénytelen vagyok újra felvetni.*

Megtisztelő számomra, hogy Kóczy Professzor Úr az értekezést megfelelő színvonalúnak találta. Professzor Úr tétisekkel kapcsolatos véleményét elfogadom, a második tétiscsoportot magam is komplexnek és a legjobban megalapozottabbnak tartom.

Bízom benne, hogy az opponensi vélemény kapcsán e válaszban leírtak megerősítik a harmadik tétiscsoportban ismertetett – vegyészmérnöki és folyamatmérnöki területen fontos problémához kapcsolódó - *a priori* ismeretek integrálását lehetővé tévő kidolgozott technikák újszerűségét és tudományos értékét.

A 4. tétiscsoporttal kapcsolatos véleményt nagy tisztelettel elfogadom, remélve, hogy az a törekvésem, hogy teljes körűen ismertessem a technológiafejlesztés támogatására alkalmas információátviteli és tudásfeltárési elemeket felvonultató eszköztár fejlesztésével kapcsolatos kutatási eredményeket nem ront jelentősen tudományos munkám és a disszertáció értékének megítélésén.

*Összefoglalva a Jelölt tézisértékű új kutatási eredményeket ért el, ezeket elegáns módon publikálta és rájuk számos érdemi független hivatkozást is kapott. A fentiek alapján – kérdéseim és kritikai megjegyzéseim érdemi megválaszolása esetén – az MTA Doktora cím odaítélését támogatom.*

Tisztelettel köszönöm Kóczy Professor Úr elismerő szavait, megjegyzéseit, rendkívül érdekes szakmai kérdéseit, eredményeim új tudományos eredményként való elfogadását. Remélem, Professor Úr válaszaim elfogadja, azokat megfelelőnek tartja. Úgy gondolom, hogy Opponens Úr megjegyzései kiváló lehetőséget teremtettek arra, hogy a kutatási munkámról a disszertációban kialakított kép teljesebbé váljon.

Veszprém, 2011. június 15.

dr. Abonyi János