

Použití systému Linguistic Fuzzy- Logic Control pro modelování dynamických systémů

Radim Farana, Bogdan Walek, Michal Janošek, Jaroslav Žáček

Institute for Research and Applications of Fuzzy Modeling, University of Ostrava,
30. dubna 22, 701 03 Ostrava, Czech Republic
radim.farana@osu.cz, bogdan.walek@osu.cz, michal.janosek@osu.cz,
jaroslav.zacek@osu.cz

Abstract

The article presents use of a linguistic fuzzy-logic control (LFLC) system for dynamic system modelling. The presented applications were verified on real laboratory tasks in the Laboratory of Intelligent Systems at the University of Ostrava. The LFLC system was developed at the University of Ostrava, Institute for Research and Applications of Fuzzy Modeling. This technology enables users to describe the system behaviour as a set of fuzzy rules. Input and output variables scales are defined by contexts and their change allows using the same system description for systems with similar behaviour very easily.

Keywords: fuzzy logic; fuzzy model; system; dynamic system.

1 Úvod

Fuzzy logika byla definována Prof. Zadehem [1] a s úspěchem použita pro popis systémů s neurčitostmi (vágní informací) [2] v šedesátých letech minulého století. Tato technika byla následně využita také pro popis chování a strategie řízení systémů. Nyní je fuzzy modelování již přijímáno jako standardní nástroj pro modelování a řízení systémů. Obvykle je využívána technika postavená na fuzzy IF-THEN pravidlech v podobě poprvé použité Mamdanim [3], nebo Takagim a Sugenum [4]. Úspěch fuzzy logického modelování a řízení je založen na skutečnosti, že popis reálného systému je obvykle alespoň zčásti neurčitý. Tyto neurčitosti vznikají z mnoha důvodů, velké složitosti regulované soustavy, nedostatku znalostí o regulované soustavě, lidskému faktoru v řízení, a dalších, obvykle v kombinaci několika vlivů.

Speciální systém fuzzy řízení byl vyvinut na Ostravské univerzitě v Ostravě prof. Novákem a jeho týmem [5, 6, 7, 8] na základě slovního popisu systému. Linguistic Fuzzy Logic Controller (LFLC) je výsledkem aplikace formální teorie fuzzy logiky v širším smyslu (FLb). Základním konceptem FLb jsou hodnotící jazykové výrazy a jazykové popisy. Popisné (jazykové) výrazy jsou přírodní jazykové výrazy jako malý, střední, velký, asi třicet pět let, zhruba tisíc, velmi krátká, více či méně široký, ne příliš náročný, zhruba studené nebo teplé médium, zhruba střední, zhruba středně významné a mnoho dalších. Vytváří malou, ale velmi důležitou, složku přirozeného jazyka, protože jsme je zvyklí použít v běžném vyjadřování, abychom byli schopni hodnotit jevy kolem nás. Hodnotící výrazy mají důležitou roli v našem životě, protože nám pomáhají určit naše rozhodnutí, pomáhají nám v učení a porozumění, a mnoha dalších aktivitách.

Jednoduché hodnotící jazykové výrazy mají obecnou podobu:

$$\langle \textit{linguistic modifier} \rangle \langle \textit{TE-adjective} \rangle \quad (1)$$

kde je $\langle \textit{TE-adjective} \rangle$ je jedním z přídavných jmen "malé – sm, střední – me, big – bi" nebo "zero – ze",

$\langle \textit{linguistic modifier} \rangle$ je příslovce, jako je "extrémně – ex, výrazně – si, velmi – ve, spíše – ra, více či méně – ml, přibližně – ro, přibližně zhruba – qr, velmi zhruba – vr".

Fuzzy model je pak množina IF-THEN pravidel:

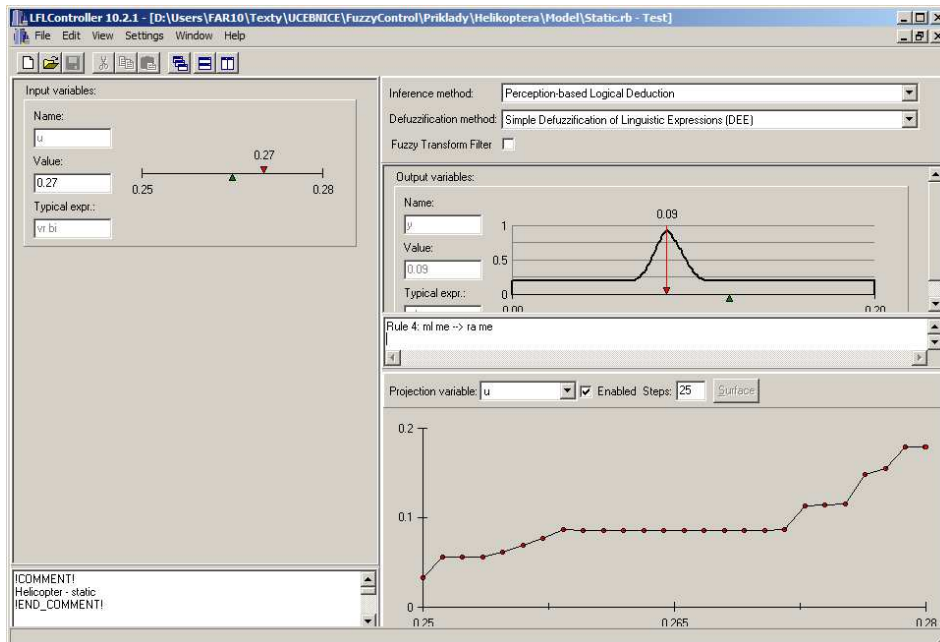
$$\begin{aligned} R_1 &:= \text{IF } U \text{ is } A_1 \text{ AND } V \text{ is } B_1 \text{ AND } \dots \text{ THEN } Y \text{ is } C_1 \\ R_2 &:= \text{IF } U \text{ is } A_2 \text{ AND } V \text{ is } B_2 \text{ AND } \dots \text{ THEN } Y \text{ is } C_2 \\ &\dots \dots \dots \\ R_m &:= \text{IF } U \text{ is } A_m \text{ AND } V \text{ is } B_m \text{ AND } \dots \text{ THEN } Y \text{ is } C_m \end{aligned} \quad (2)$$

2 Modelování dynamických systémů

Soubor pravidel (2), je možno použít také pro popis chování systému, zejména pro statický systém, nebo statické vlastnosti dynamického systému. I když není známa struktura systému nebo je příliš složitá, může být odborník schopen takový popis snadno sestavit. Následující příklad ukazuje popis statického chování modelu vrtulníku [9] – jmenovitě úhlu náklonu vrtulníku, viz obr. 1

Tento model by mohl být sestaven odborníkem, tedy člověkem se zkušenostmi s chováním helikoptéry. Ale nástroj LFLC [10], je také vybaven automatickým systémem učení, viz obr. 2. Soubor pravidel by pak mohl být vypočítán přímo z experimentálních dat.

Tato služba by mohla být s výhodou využita, pokud expert není k dispozici, ale máme k dispozici experimentální výsledky popisující chování systému. Tento příklad ukazuje dosažení očekávaného výsledku, protože použití fuzzy logiky pro statický model systému je všeobecně známo.



Obrázek 1: LFLC model statických vlastností úhlu náklonu helikoptéry

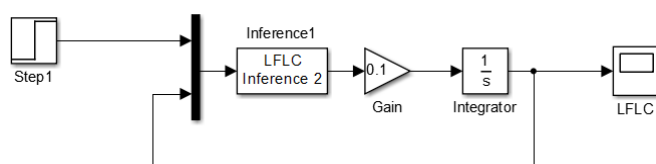
The screenshot shows the 'Input / Output' tab in LFLController 10.2.1. It displays a table of experimental data with the following columns: 'u', 'est.', 'y', and 'Ling. Approx.'. The data is as follows:

	u	est.	y	Ling. Approx.
	<0.25, 0.28>	<0.00, 0.20>	<0.00, 0.20>	<0.00, 0.20>
1.	0.25	0.04		
2.	0.255	0.055		
3.	0.26	0.075		
4.	0.27	0.115		
5.	0.275	0.135		
6.	0.277	0.155		
7.	0.278	0.175		

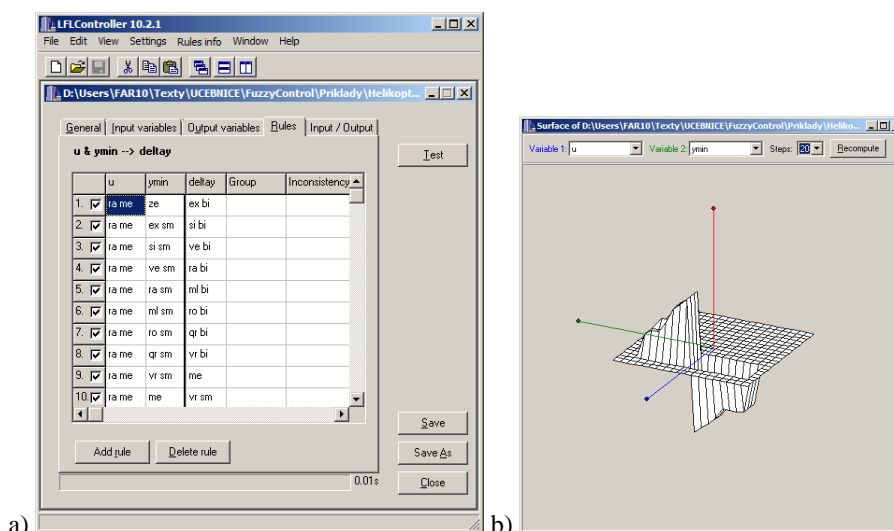
Additional interface elements include buttons for 'Import file...', 'Compute', 'Save File...', 'Learn', 'Test', 'Add Row', 'Delete Row', 'Save', 'Save As', and 'Close'. The 'Linguistic Approximation' checkbox is checked. The 'Max. Error: 0' and '0.04s' are also visible.

Obrázek 2: Experimentální data pro LFLC model statických vlastností úhlu náklonu helikoptéry

Nástroj LFLC však může být také použit pro popis dynamického chování systému, když je výstup funkcí vstupu a předchozího stavu výstupu. Tento systém může být modelován s pomocí integrátoru, na základě podobnosti se sekvenčními logickými systémy. Tento základní princip byl použit pro model jednoduchého dynamického systému v laboratoři – nádrže s volným odtokem.

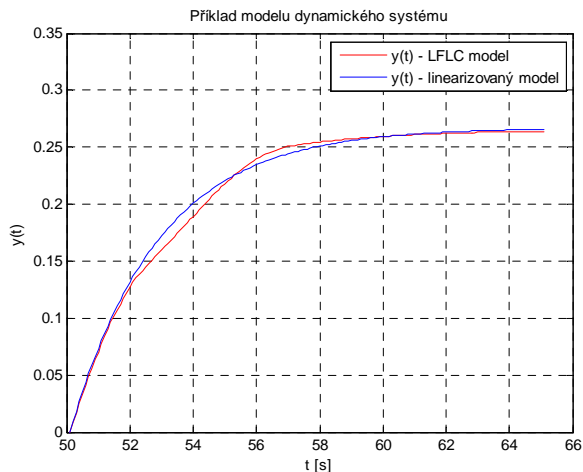


Obrázek 3: Princip modelování dynamických vlastností systému pomocí LFLC



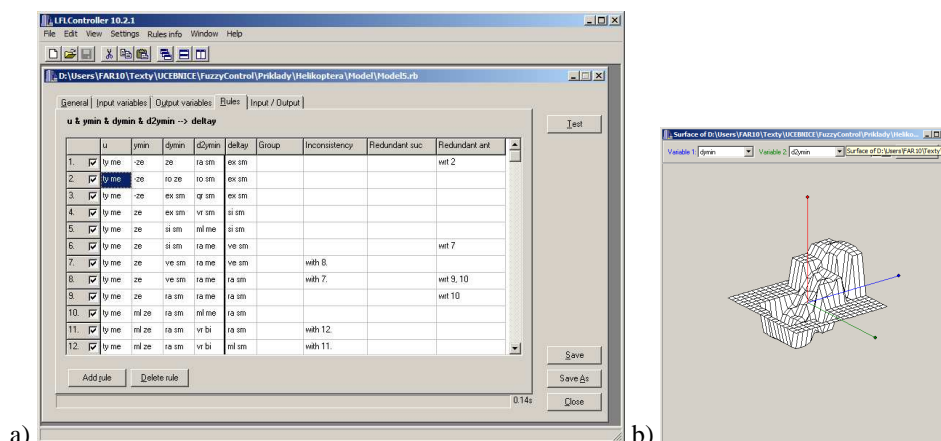
Obrázek 4: LFLC model chování dynamického systému a) množina pravidel, b) vizualizace pravidel

Pravidla popisují přírůstek výstupu systému $\Delta y(kT)$ na základě vstupu do systému $u(kT)$ a předchozím výstupem ze systému $y[(k-1)T]$, viz obr. 4. Pro jednoduché pochopení je ve vizualizaci prezentována podmnožina pravidel pro kladnou vstupní hodnotu. Obr. 5 pak představuje přechodovou charakteristiku vytvořeného modelu v porovnání s linearizovaným modelem, s přenosem $G(s) = 1,335/(28s + 1)$.



Obrázek 5: LFLC model chování dynamického systému – přechodová charakteristika

Uvedený příklad je poměrně jednoduchý, ale ukazuje možnosti a způsoby, jak používat LFLC pro modelování dynamických systémů. Je zřejmé, že tento systém je výhodný, když jsou k dispozici znalosti experta. I při použití automatického systému učení je tento systém jen těžce použitelný pro výrazně složitější systémy. Obr. 6, obsahující část pravidel pro dynamický model chování (úhel náklonu) helikoptéry, kdy pravidla definují přírůstek výstupu v závislosti na vstupu $u(kT)$, předchozím výstupu systému $y[(k-1)T]$ a jeho první a druhé derivaci. Počet pravidel je příliš vysoký a samotná pravidla jsou těžko vysvětlitelná a tedy jen těžce pochopitelná. Mnoho automaticky vygenerovaných pravidel je také nadbytečných, jak ukazuje obr. 6 a).



Obrázek 6: LFLC model úhlu náklonu helikoptéry a) množina pravidel, b) vizualizace pravidel

3 Závěr

Prezentované aplikace nástroje Linguistic Fuzzy-Logic Control ukazují, jak může být chování systému popsáno souborem fuzzy pravidel. Tato strategie je velmi účinná, když jsou k dispozici expertní znalosti o chování systému. Článek představil typické použití fuzzy modelů pro popis statického systému, kde jsou fuzzy logické pravidlové systémy běžně používané, a také možnost využití fuzzy modelů popisujících chování dynamických systémů. Článek rovněž ukázal, že tato technika není výhodná pro složitější systémy. Na druhé straně, použití LFLC pro řízení systémů, je velmi výhodné i pro řízení rychlých a citlivých technologických systémů, jako je použitý model helikoptéry, jak ukázal předchozí článek [11]. Získané výsledky byly porovnány s jinými pracemi zaměřenými na aplikace fuzzy logiky, např. [12, 13, 14], s dobrými výsledky.

Poděkování. Prezentované příklady LFLC modelování byly získány za podpory European Regional Development Fund, při řešení projektu IT4Innovations Centre of Excellence (CZ.1.05/1.1.00/02.0070) a v rámci řešení projektu Studentské grantové soutěže SGS15/PřF/2015 za účasti studentů, podporovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy ČR.

Literatura

- [1] L. A. Zadeh. Fuzzy sets. *Information & Control*, vol. 8, 1965, pp. 338-353.
- [2] L. A. Zadeh, J. Kacprzyk. *Fuzzy Logic for the Management of Uncertainty*. J. Wiley & Sons, New York 1992.
- [3] E. Mamdani, S., Assilian. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic control. *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 7, 1975, pp. 1–13.
- [4] T. Takagi, M. Sugeno. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybern*, Vol. 15, 1985, pp. 116–132.
- [5] V. Novák. Linguistically Oriented Fuzzy Logic Control and Its Design. *International Journal of Approximate Reasoning*, vol. 12, 1995, pp. 263-277.
- [6] V. Novák. *Fuzzy modeling principles* (in Czech). 1. ed. BEN-Technická literatura, Praha, 2000, 175 pp. ISBN 80-7300-009-1.
- [7] V. Novák. Genuine Linguistic Fuzzy Logic Control: Powerful and Successful Control Method. *Computational Intelligence for Knowledge-Based Systems Design*, Hüllermeier, E. and Kruse, R. and Hoffmann, F. (eds.), Springer, Berlin, 2010, pp. 634 -644.
- [8] V. Novák, I. Perfilieva. Evaluating Linguistic Expressions and Functional Fuzzy Theories in Fuzzy Logic. *Computing with Words in Information/Intelligent Systems I*, L. A. Zadeh a J. Kacprzyk (eds.), Springer-Verlag, Heidelberg, 1999, pp. 383-406.
- [9] HUMUSOFT. CE 150 *Helicopter Model* [on-line], 2014 [cit 2015-03-17]. Available on web: <http://www.humusoft.cz/produkty/models/ce150/>

- [10] A. Dvořák, H. Habiballa, V. Novák, V. Pavliska, The concept of LFLC 2000 – its specificity, realization and power of applications. *COMPUT IND.* 2003, sv. 51, s. 269-280. ISSN 0166-3615.
- [11] R. Farana, B. Walek, M. Janošek, J. Žáček. Fuzzy-Logic Control in Fast Technological Processes. In *Proceedings of the 2014 15th International Carpathian Control Conference (ICCC)*. Velke Karlovice, Czech Republic: VŠB-TU Ostrava, 28. – 30. 6. 2014, pp. 105 – 108. ISBN 978-1-4799-3527-7 (CD), 978-147993528-4 (Scopus),
- [12] J. E. Takosoglu, P. A. Laski, S. Blasiak. A fuzzy logic controller for the positioning control of an electro-pneumatic servo-drive. *Journal of Systems and Control Engineering*, volume 226, Issue 10, November 2012, pp. 1335-1343.
- [13] W. F. Godoy, I. N. Da Silva, A. Goedel, R. C. H. Palácios. Fuzzy logic applied at industrial roasters in the temperature control. In *11th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems, IMS 2013*, Sao Paulo, Brazil, 2013, pp. 450-455.
- [14] J. Velagic, N. Osmic. Fuzzy-Genetic Identification and Control Structures for Nonlinear Helicopter Model. *Intelligent Automation & Soft Computing*, Volume 19, Issue 1, pp. 51-68, ISSN 1079-8587. DOI: 10.1080/10798587.2013.771454