

# Základy fuzzy modelování

Vilém Novák

Kniha seznamuje čtenáře se základy fuzzy logiky a fuzzy regulace. Srozumitelnou formou s minimálními nároky na předchozí matematické znalosti jsou vysvětleny základy teorie fuzzy množin, teorie přibližné dedukce a fuzzy regulace.

Kniha je určena programátorům, analytikům, učitelům a studentům středních a vysokých škol, projektantům automatizovaných řídicích systémů a všem ostatním zájemcům o fuzzy technologii.

---

Doc. Ing. Vilém Novák, DrSc.  
**Základy fuzzy modelování**

sazba: Vilém Novák

obálka:

ilustrace: Vilém Novák

Sazba provedena v systému L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

Vydalo nakladatelství **BEN** — **technická literatura**

Praha 2000

1. vydání

ISBN 80-7300-009-1

© Doc. Ing. Vilém Novák, DrSc.

Ostravská universita

Ústav pro výzkum a aplikace fuzzy modelování

Ostrava, říjen 2000

Všechna práva vyhrazena

# Obsah

<b>1 Úvod — o principech fuzzy logiky a fuzzy regulace</b>	<b>7</b>
1.1 Neurčitost v lidském životě . . . . .	7
1.2 Proč fuzzy regulace . . . . .	10
<b>2 Základy teorie fuzzy množin a jazyková proměnná</b>	<b>17</b>
2.1 Fuzzy množiny a fuzzy relace . . . . .	17
2.1.1 Pojem fuzzy množiny . . . . .	17
2.1.2 Operace s fuzzy množinami . . . . .	24
2.1.3 Fuzzy čísla . . . . .	31
2.1.4 Kartézský součin a fuzzy relace . . . . .	35
2.1.5 Fuzzy rovnost a extenzionální fuzzy množiny . . . . .	41
2.2 Evaluační jazykové výrazy a jazyková proměnná . . . . .	43
2.2.1 Sémantika přirozeného jazyka a jazyková proměnná . . . . .	43
2.2.2 Evaluační jazykové výrazy . . . . .	48
2.2.3 Jazykový kontext . . . . .	62
2.2.4 Lingvistická aproximace . . . . .	62
<b>3 Základy teorie fuzzy logiky a přibližné dedukce</b>	<b>67</b>
3.1 Struktura pravdivostních hodnot . . . . .	67
3.2 Fuzzy pravidla typu JESTLIŽE–PAK . . . . .	69
3.2.1 Fuzzy pravidla a jazykový popis . . . . .	69
3.2.2 Pravidla typu JESTLIŽE–PAK ve formální fuzzy logice . . . . .	71
3.2.3 Fuzzy pravidla typu JESTLIŽE–PAK ve fuzzy aproximaci . . . . .	78
3.2.4 Pravidla typu Takagi-Sugeno . . . . .	84
3.3 Přibližná dedukce . . . . .	87
3.3.1 Základní princip přibližné dedukce . . . . .	87
3.3.2 Základní princip logické dedukce . . . . .	88
3.3.3 Fuzzy logická dedukce . . . . .	90
3.3.4 Defuzzifikace . . . . .	95
3.3.5 Fuzzy aproximace při funkcionální interpretaci pravidel . . . . .	99
3.3.6 Použití metod přibližné dedukce ve fuzzy modelování . . . . .	103

<b>4</b>	<b>Princip a typy fuzzy regulátorů</b>	<b>113</b>
4.1	Princip fuzzy regulace . . . . .	113
4.2	Typy fuzzy regulátorů . . . . .	116
4.3	Stanovení parametrů fuzzy regulátoru . . . . .	119
4.3.1	Stanovení proměnných a jazykového kontextu . . . . .	119
4.3.2	Určení způsobu přibližné dedukce a defuzzifikace . . . . .	120
4.3.3	Tvorba báze znalostí . . . . .	121
4.4	Aplikace fuzzy regulace v Kovohutích Břidličná . . . . .	134
<b>5</b>	<b>Fuzzy shluková analýza</b>	<b>137</b>
5.1	Úvod . . . . .	137
5.2	Algoritmy fuzzy shlukování . . . . .	139
5.2.1	Algoritmus fuzzy c-means . . . . .	139
5.2.2	Gustafson-Kesselův algoritmus . . . . .	142
5.2.3	Určení počtu shluků . . . . .	144
5.3	Sestavení fuzzy pravidel na základě nalezených shluků . . . . .	144
<b>6</b>	<b>Softwarový systém LFLC</b>	<b>149</b>
6.1	Charakteristika LFLC . . . . .	149
6.2	Základní principy a výhody LFLC . . . . .	150
6.3	Stručný popis LFLC 1.5 . . . . .	152
	<b>Literatura</b>	<b>156</b>
	<b>Rejstřík</b>	<b>163</b>

## Předmluva

V r. 1986 (a 1990, 2. vyd.) vyšla má první kniha pod názvem „Fuzzy množiny a jejich aplikace“ (viz [31]). Čtenář se v ní měl možnost seznámit se specifickým směrem matematiky — tzv. teorií fuzzy<sup>†</sup>) množin, která se programově zaměřila na modelování fenoménu vágnosti. Protože tato teorie zobecňuje pojem množiny, což je v matematice základní pojem, zasáhla nejen celou matematiku, ale zejména všechny její potenciální aplikace. Proto byla teorie fuzzy množin zpočátku přijata s nedůvěrou. Hovořit o nepřesnosti v matematice se zdá být v přímém rozporu se staletou představou o její absolutní přesnosti. Je však třeba zdůraznit, že jde o nedorozumění. Teorie fuzzy množin a fuzzy logiky jsou přesné matematické disciplíny poskytující prostředky pro modelování složitých procesů, při kterém se nepřesnost pouze toleruje. Problém spočívá v tom, jak nepřesnost matematicky (a tedy přesně) charakterizovat a tím umožnit vznik metod, které dávají realističtější výsledky než klasické metody, které s nepřesností nepočítají.

Na teorii fuzzy množin úzce navazuje tzv. fuzzy logika. Ta již v sedmdesátých letech nabídla aplikace zejména v řízení a regulaci. V osmdesátých letech je začali realizovat a dále rozvíjet zejména Japonci. Fuzzy logika pronikla do technologie, přičemž koncem osmdesátých a v devadesátých letech došlo k převratu v myšlení řady lidí a na celou teorii se začalo pohlížet z úplně jiného pohledu. Dokonce došlo k jevu, který lze bez přehánění nazvat „fuzzy boomem“. Např. v r. 1992 bylo slovo „fuzzy“ vyhodnoceno jako nejčastěji používané cizí slovo v Japonštině. V současné době se fuzzy logika a fuzzy regulace staly standardními součástmi moderních technologií.

I když výše zmíněná kniha vyšla v r. 1990 ve druhém pozměněném vydání, je to až dosud jediná kniha v české literatuře o tomto oboru. Mezitím se fuzzy logika a fuzzy regulace staly součástí kurzů na vysoké škole, a proto se projevuje dosti značný hlad po novější literatuře, která by odrážela současný stav. To mne vedlo k napsání této knihy. Čtenář se v ní seznámí jak s motivací a podstatou teorie fuzzy množin a fuzzy logiky, tak s principy fuzzy regulace a druhy fuzzy regulátorů. Dotkneme se také některých obecnějších vlastností a poukážeme na sílu principu přibližné dedukce, jejíž nejvíce propracovanou a nejúspěšnější aplikací je fuzzy regulace.

Mým cílem bylo napsat knihu pro co nejširší okruh čtenářů, a proto jsem se snažil o srozumitelný a co nejjednodušší výklad, avšak pokud možno ne na úkor přesnosti. Předpokládané znalosti z matematiky jsou ve většině případů na úrovni prvního kurzu na vysoké škole. Zaváděné pojmy jsou ilustrovány na jednoduchých příkladech a matematická tvrzení, pokud jsou uvedena, jsou bez důkazu, který lze najít ve speciální literatuře. Závěrem bych chtěl poděkovat

---

<sup>†</sup>) Slovo „fuzzy“ (čti *fazi*) pochází z angličtiny a znamená „neurčitý, nejasný, ochmýřený“ či „rozjařený“. Protože jde o odborný termín, kde konotace vyplývající z různých spojení, např. „nejasná logika“, jsou nežádoucí, používá se i v češtině původní tvar bez překladu.

svým spolupracovníkům Ing. Antonínu Dvořákovi a Mgr. Aleně Matouškové za to, že pečlivě přečetli rukopis a pomohli ke zlepšení jeho čitelnosti a k odstranění některých chyb.

*Autor*