

VLIV STRUKTURY BÁZE PRAVIDEL FUZZY REGULÁTORU NA KVALITU ROZHODOVÁNÍ

EFFECT OF A STRUCTURE OF A FUZZY CONTROLER RULES BASE ON A QUALITY OF A DECISION MAKING

Věra Záhorová¹

Anotace: Tento článek je příspěvkem k výzkumu možnosti využití fuzzy logiky při vytváření simulačních modelů dopravních a logistických uzlů. Reálnou situací, která je používána jako zpětná vazba při konstrukci teoretických úvah, je vývoj simulačního modelu osobní železniční stanice. Konkrétně ta jeho část, která umožňuje určit nástupištní kolej pro zpožděný vlak. V našem případě byl využit fuzzy regulátor typu Mamdani. Jeho schopnost správného výběru koleje je ověřována na základě provozních dat ČD a.s. V tomto článku jsou shrnuty výsledky studia vlivu změn prováděných v bázi fuzzy regulátoru typu Mamdani na kvalitu výstupu, který je podkladem pro rozhodování při výběru nástupištní koleje pro zpožděný vlak.

Klíčová slova: simulace, fuzzy regulátor Mamdani, báze pravidel

Summary: This article is a contribution to our research of possibilities, how to take an advantage of the fuzzy logic for a design of transport and logistic nodes. The real situation, which was used as a feedback for a construction of our theoretical reflections, was the development of a simulation model of a passenger railway station. In concrete terms the part, which enables to identify a platform line, is important. We have used a fuzzy controller of the Mamdani type. Its ability to choose a correct rail was verified in a compliance with the operational data of ČD a.s. This article is a summary of our studying the influences of a rules base structure of a fuzzy controller of the Mamdani type on the quality of an output. And it is the basis for the decision for selecting the proper platform line for the delayed train.

Key words: simulation, fuzzy controller Mamdani, rules base

1. ÚVOD

Tento článek je příspěvkem k výzkumu využití fuzzy logiky při vytváření simulačních modelů dopravních a logistických uzlů, který je součástí dílčího úkolu výzkumného záměru „Teorie dopravních systémů“ s názvem „Architektury a techniky simulačních modelů dopravních systémů“.

Východiskem pro úvahy je úloha, která byla formulována v rámci rozvíjení simulačního modelu osobní železniční stanice. Byl stanoven požadavek, aby byl model schopen určit nástupištní kolej pro zpožděný příjezdějící vlak. Z něho vyplývá potřeba zhodnotit možnosti

¹ Mgr. Věra Záhorová, Ph.D., Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra informatiky v dopravě, Studentská 95, 532 10 Pardubice, tel.: +420 466 036 476, e-mail: Vera.Zahorova@upce.cz

uplatnění různých přístupů výpočetní inteligence – fuzzy regulátoru, neuronové sítě či fuzzy neuronové sítě – při řešení daného problému.

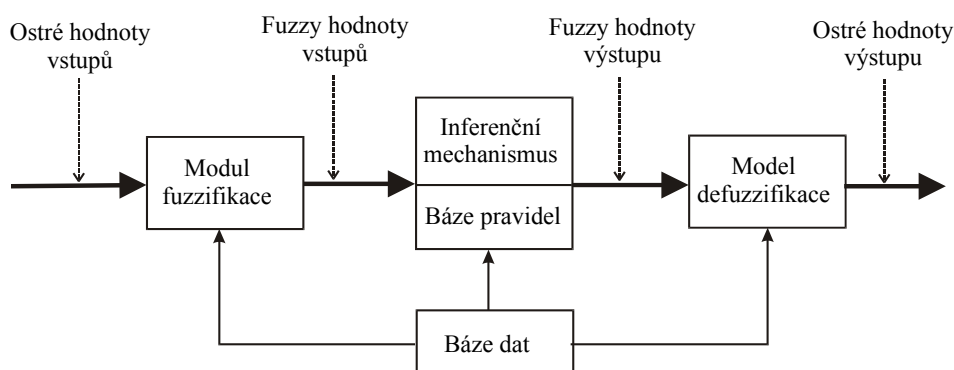
Metody umělé inteligence patří do kategorie statistického učení. Zjednodušeně se dá říci, že na základě trénovacích dat „učíme“ model rozpoznat zařazení statistické jednotky ke správné skupině. Model je tvořen souborem určitých pravidel, jejichž podoba se u různých metod liší. V našem případě byl jako vhodný model vybrán fuzzy systém typu Mamdani.

2. FUZZY SYSTÉM TYPU MAMDANI

Fuzzy systém je systém, jehož (alespoň některé) proměnné nabývají hodnot nebo stavů, které nelze definovat reálnými čísly nebo ostrými množinami. Často jsou jednotlivé stavy takových proměnných definovány slovně. Algoritmus fuzzy systému je schématicky znázorněn na Obr. 1.

2.1. Struktura fuzzy systému

Prvním krokem algoritmu je fuzzifikace proměnných. To znamená definování funkcí příslušnosti hodnot vstupů a výstupů k fuzzy množinám tak, aby byl pokryt celý rozsah možných hodnot. Jako fuzzy množiny obvykle slouží lingvistické proměnné typu „malý, střední, velký; blízko, daleko...“. Funkce příslušnosti je možné stanovit na základě expertní zkušenosti nebo na základě experimentálních dat.

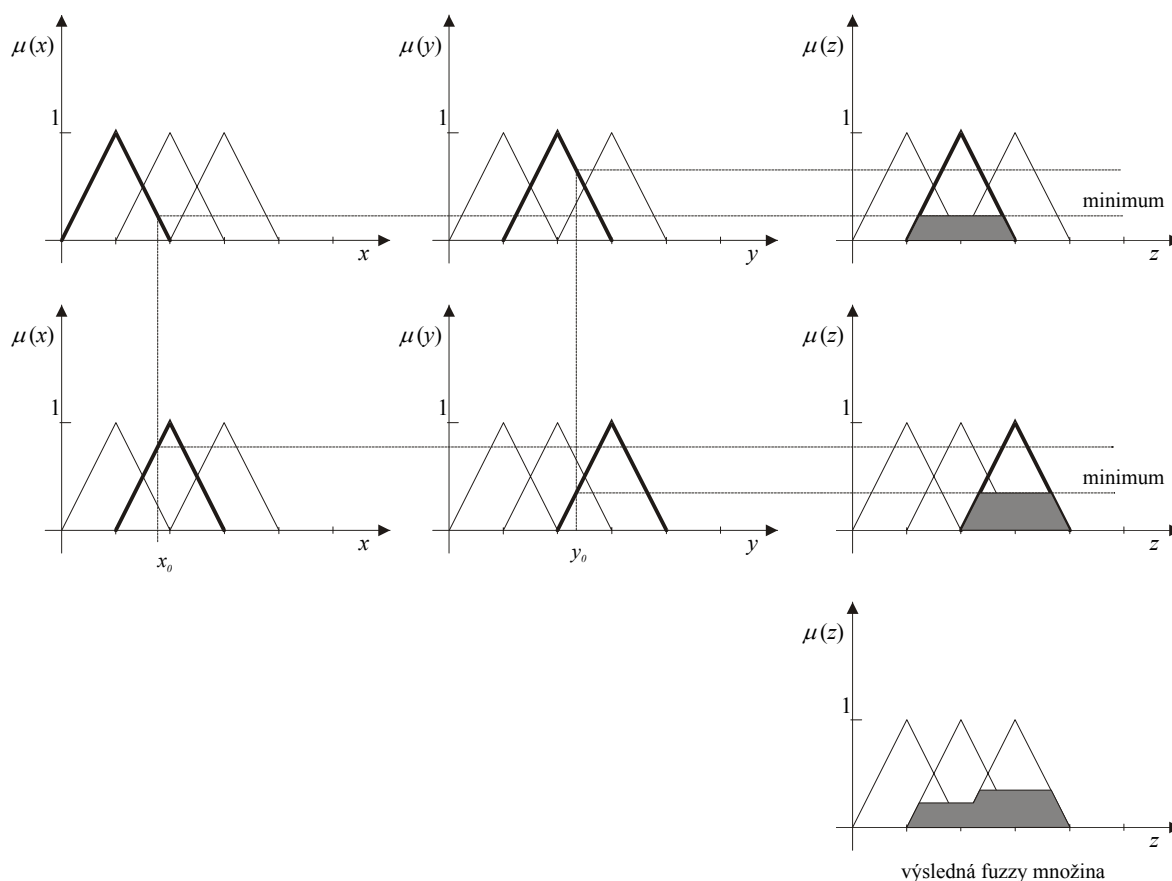


Zdroj: [1]

Obr. 1 – Struktura fuzzy systému

Dalším krokem je ohodnocení vstupních dat prostřednictvím tzv. fuzzy inference. Inferenční mechanismus je v podstatě definice matematických operací, jejichž prostřednictvím jsou realizovány logické fuzzy operátory. Pomocí inferenčního mechanismu získáváme ze vstupních fuzzy množin a báze pravidel výstupní fuzzy množiny. Báze pravidel je soubor pravidel typu *if-then*, která popisují výstup (konsekvent) systému při určitých hodnotách vstupů (antecedentů).

Často používaným inferenčním mechanismem je implikace Mamdani. Výstupní fuzzy množina je konstruována prostřednictvím minima funkcí věrohodnosti vstupní ostré veličiny. Pro jednoduchý případ dvou pravidel je tento postup znázorněn na Obr. 2.



Zdroj: [1]

Obr. 2 – Výsledek získaný pomocí implikace Mamdani ze dvou pravidel:

1. Jestliže x je malé a y střední, pak je z střední.
2. Jestliže x je střední a y velké, pak je z velké.

Posledním krokem je defuzzifikace – proces zobrazení neostrých výstupních hodnot fuzzy proměnné na ostrou hodnotu výstupní veličiny. Pro defuzzifikaci je vytvořena řada metod. Poskytují mírně odlišné výstupy, proto použitou metodu volíme s ohledem na druh aplikace.

2.2. Obecný postup při generování báze pravidel z dat

Literatura o fuzzy logice často uvádí, že báze pravidel umožňují matematizovat expertní zkušenost. Většina problémů je však natolik složitá, že fungující bázi pravidel nelze sestavit pouze na základě empirie. Naštěstí je v mnoha případech možné generovat bázi pravidel na základě dat. Postup je následující:

1. fuzzifikace vstupních i výstupních proměnných,
2. generování pravidel typu if-then na základě dat,
3. redukce počtu pravidel vyřazením opakujících se shodných pravidel,
4. redukce počtu pravidel vyřazením méně obecných pravidel.

Pokud pravidla obsahují větší počet antecedentů, je nevýhodou této metody vznik velkého množství pravidel, z nichž některá mohou být nepochopitelná. [3], [4]

3. KONSTRUKCE BÁZE PRAVIDEL

3.1. Kritéria pro výběr vhodné koleje

Při určení nástupištní koleje pro přijíždějící zpožděný vlak je důležité brát v úvahu především aktuální obsazení kolejí ve stanici, plánované obsazení kolejí v dalším časovém období a rozmístění přípojných vlaků.

Jako doplňující kritérium byla vybrána také vzdálenost náhradní koleje od koleje, na kterou vlak přijíždí obvykle. Za obvyklou je zde považována kolej určená vlaku plánem obsazení kolejí. (Motivací byla mimo jiné i neschopnost autorky, která se nachází relativně na vrcholu sil fyzických i duševních, zorientovat se dostatečně rychle na známém nádraží a dostihnout ujíždějící přípoj.)

Při výběru náhradní koleje je možné upřednostnit některou z těchto strategií:

1. maximální dodržení původního plánu obsazení kolejí,
2. minimalizace přestupní doby,
3. minimalizace zpoždění dalších vlaků. [5]

Úvahy prezentované dále dávají přednost strategii minimalizace přestupní doby mezi zpožděnými a přípojnými vlaky.

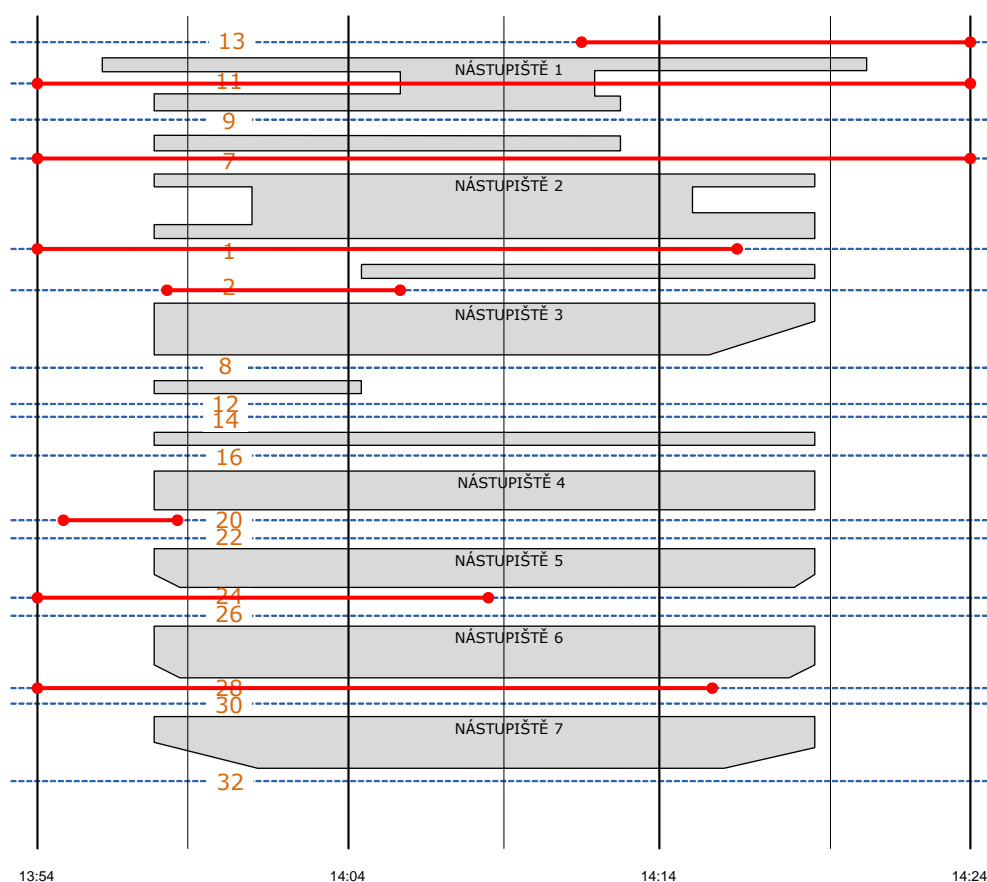
3.2. Ohodnocení kolejí

Postup použitý pro ohodnocení vhodnosti přiřazení určité koleje zpožděnému vlaku je naznačen na Obr. 3 a v Tab. 1. Obrázek 3 představuje schéma rozmístění kolejí doplněné o údaje o obsazení kolejí ve stanici. Obsazení koleje znázorňuje vodorovná úsečka. Její počátek (je-li zřejmý) a konec představují čas příjezdu a odjezdu vlaku do/ze stanice. Sledování začíná v okamžiku ohlášení příjezdu zpožděného vlaku za sousední stanice.

Z tohoto schématu je možné získat hodnoty do prvních čtyř sloupců Tabulky 1. Její první sloupec obsahuje označení koleje. Druhý sloupec udává počet nástupišť, která oddělují uvažovanou kolej od koleje přiřazené vlaku plánem obsazení kolejí. Třetí sloupec představuje dobu v minutách od ohlášení zpožděného vlaku do uvolnění uvažované koleje a čtvrtý sloupec dobu v minutách, po kterou je uvažovaná kolej volná po okamžiku ohlášení zpožděného vlaku ze sousední stanice. Další sloupec je vyplněn pouze u kolejí, které jsou obsazeny přípojným vlakem. Udává dobu od skutečného příjezdu zpožděného vlaku do stanice do pravidelného odjezdu přípojného vlaku.

Druhá část tabulky představuje skóre, kterým jsou ohodnoceny jednotlivé koleje. Způsob jeho výpočtu je popsán například v [6]. Ohodnocení jednotlivých kritérií může nabývat hodnot z intervalu $\langle 0,1 \rangle$. Kolej, která má nejvyšší ohodnocení je považována za nejvhodnější. Koleje, které jsou v okamžiku ohlášení zpožděného vlaku obsazené, se do hodnocení nezahrnují.

Data o skutečném obsazení kolejí a rozmístění přípojných vlaků v konkrétní stanici lze nalézt v dopravním deníku železniční stanice. Zde obsažené údaje je nutné doplnit o znalost rozmístění kolejí a nástupišť ve stanici, plánu obsazení kolejí a informace o pravidelných odjezdech a čekacích dobách přípojných vlaků v dané stanici – vše je možné najít v příslušných dokumentech a vyhláškách ČD a.s.



Zdroj: [5]

Obr. 3 – Schéma obsazení kolejí

Tab. 1 – Ohodnocení kolejí

Vlak číslo 676, předzvěst 13:54, kolej číslo: 22, plánovaná kolej 26, příjezd 13:54										
Přípojný vlak číslo	Nová kolej	Blízko plánované koleje	Volná	Volná dlouho	Minut do odjezdu přípoje	Blízko plánované koleje	Volná	Volná dlouho	Přípoj	Celkem
No	Kolej	X_B	X_V	X_D	X_P	K_B	K_V	K_D	K_P	Suma
25904	13	5	ihned	16		0,29	1,00	0,53	0,38	2,20
9931	11	5	není	není		0,29	0,00	0,00	0,33	x
	9	5	ihned	dostatečně		0,29	1,00	1,00	0,38	2,67
29658	7	4	není	6		0,43	0,00	0,20	0,33	x
704	1	4	21	9	21	0,43	0,30	0,30	0,43	1,46
...										

Zdroj: [5]

V první fázi byly jako podklad používány ručně psané dopravní deníky za stanice Praha hl. n.. Později byly získány údaje z GTN (Graficko-technologická nadstavba zabezpečovacího zařízení). Tento program umožňuje, kromě jiného, získání protokolu o průjezdu vlaku definovanými body kolejíště. Data jsou sbírána přímo ze zabezpečovacích zřízení a jsou (na rozdíl od ručně psaných dopravních deníků) přesná. Bohužel zatím nebyly naplněny

představy o snadném získávání elektronických provozních dat. Záznam protokolu totiž obsahuje nepravidelnosti, které znemožňují snadnou filtraci dat.

3.3. Konstrukce báze pravidel

Postup při generování pravidel z dat je naznačen v Tab. 2. Její horní část obsahuje získaná data, dolní část z nich vyplývající pravidla.

Tab. 2 – Konstrukce pravidel

Data								
Nová kolej	Blízko	Volná	Volná dlouho	Přípoj 1		Přípoj 2		Ohodnocení
				Blízko	Odjezd za (min)	Blízko	Odjezd za (min)	
13	2	ihned	dostatečně	1	3	2	2	3,00
11	2	ihned	3	1	3	2	2	2,10
9	2	ihned	dostatečně	1	3	2	2	3,07
7	1	ihned	29	0	3	1	2	3,43
1	1	8	22	0	3	1	2	2,98
...								
Pravidla								
Nová kolej	Blízko	Volná	Volná dlouho	Přípoj 1		Přípoj 2		Ohodnocení
				Blízko	Odjezd za (min)	Blízko	Odjezd za (min)	
13	středně	dlouho	dlouho	blízko	brzy	středně	brzy	středně
11	středně	dlouho	krátce	blízko	brzy	středně	brzy	vhodná
9	středně	dlouho	dlouho	blízko	brzy	středně	brzy	středně
7	blízko	dlouho	dlouho	blízko	brzy	blízko	brzy	středně
1	blízko	středně	dlouho	blízko	brzy	blízko	brzy	středně
...								

Zdroj: [5]

Množiny hodnot odpovídající jednotlivým jazykovým proměnným byly při vytváření pravidel z dat voleny jako ostré, jejich rozsah byl určen intuitivně. Funkce příslušnosti použité pro fuzzy inferenci jsou publikovány v [6].

Z analýzy provozních dat ze sledované stanice vyplynulo, že počet přípojných vlaků ke zpožděným vlakům byl nejvýše pět. Přitom v 90% případů jsou přípojné vlaky nejvýše dva. Úloha proto byla omezena na sledování dvou přípojů. I tak je počet variací všech uvedených proměnných a jejich možných hodnot $3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 3 = 2916$ možných pravidel. Tomu bylo třeba přizpůsobit množství dat, která byla použita pro generování báze pravidel.

Soubor pravidel získaný tímto způsobem je značně rozsáhlý a je třeba ho redukovat. V první řadě se vyřadí opakující se pravidla. Nastane-li situace, kdy jsou vygenerována pravidla se stejnými antecedenty, ale různými konsekventy, je za správné považováno

pravidlo s vyšší četností výskytu. Další možnost redukce počtu pravidel spočívá ve vyřazení pravidel málo obecných.

4. DOSAVADNÍ VÝSLEDKY

Na základě dat získaných z klasických dopravních deníků byla navržena struktura ostrých vstupních proměnných a jejich rozsah. Byl navržen způsob ohodnocení kolejí z hlediska jejich vhodnosti pro přiřazení zpožděnému vlaku a tak získána hodnota výstupní proměnné. Dále byl navržen způsob jak z ostrých hodnot vstupů a výstupů získat pravidla typu *if-then*. Analýzou všech celočíselných teoreticky možných hodnot vstupních proměnných – tedy do jisté míry uměle – byl následně vytvořen prvotní soubor pravidel.

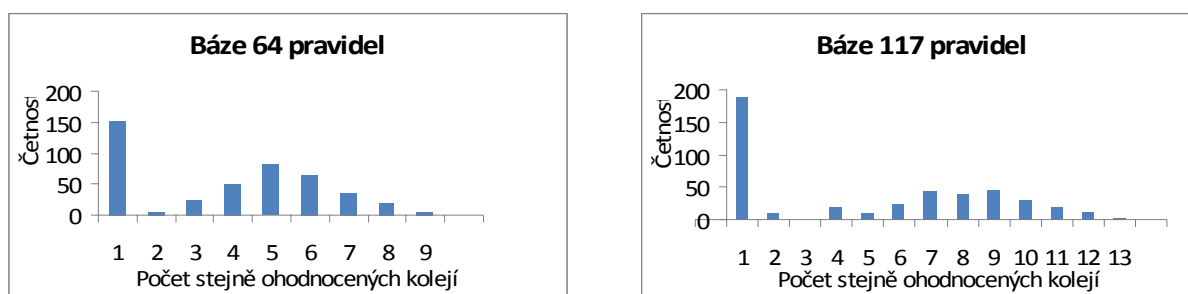
Tříděním tohoto souboru pravidel byly postupně získány dvě báze pravidel. První báze je rozsáhlejší a obsahuje všechna pravidla, která zůstala po redukci opakujících se pravidel a vypuštění méně četných protismyslných pravidel. Tato báze je tvořena souborem 117 pravidel a má sedm vstupních a jednu výstupní proměnnou.

Druhá báze vznikla z první vypuštěním pravidel méně obecných. Tuto bázi tvoří 64 pravidel, která obsahují pouze pět vstupních proměnných. Po zjednodušení pravidel totiž přestalo mít smysl sledovat doby do odjezdu přípojných vlaků.

V současné době se zabýváme aplikací stejného postupu na soubor dat získaný z elektronického dopravního deníku a jeho automatizací. Tento úkol ještě není zcela dokončen. Prozatím však už proběhlo porovnání kvality dvou výše zmíněnýchází pravidel prostřednictvím fuzzy toolboxu programu MATLAB. Jako vstupní data posloužily údaje o pohybu zpožděných vlaků získaných z elektronického dopravního deníku. Byly sledovány dva parametry – míra shody ohodnocení koleje fuzzy regulátorem s rozhodnutím dispečera a jednoznačnost určení nejlepší koleje fuzzy regulátorem.

Výsledky jsou poměrně zajímavé. Pokud při hodnocení kvality fuzzy regulátoru použijeme jako kritérium souhlas „rozhodnutí“ fuzzy regulátoru s rozhodnutím dispečera, dává lepší výsledky jednodušší báze pravidel, tvořená 64 pravidly. Je možné, že jednodušší pravidla lépe vystihují lidský způsob rozhodování.

Pokud zvolíme za kritérium kvality fuzzy regulátoru jednoznačnost určení vhodné koleje, Jsou výsledky srovnání obou typů fuzzy regulátorů poněkud komplikovanější (viz Obr. 4). Je zřejmé, že fuzzy regulátor založený na složitější bázi pravidel je schopen jednoznačně rozhodnout ve větším počtu případů. Pokud však není schopen rozhodnout jednoznačně, je výsledek vágnější než v případě využití jednodušší báze pravidel.



Obr. 4 – Schopnost porovnávání bází pravidel určit vhodnou kolej

Dále bylo sledováno, zda má na výsledek rozhodování vliv změna tvaru funkcí příslušnosti použitých pro fuzzy inferenci. Zde zatím nebyl zjištěn žádný významný rozdíl ve výsledcích získaných před a po provedení změn.

5. ZÁVĚR

Postup uvedený v tomto příspěvku by po svém zdokonalení mohl být jednou z cest jak v rámci simulačního modelu určit nástupištní kolej pro zpožděný vlak přijíždějící do stanice.

Na základě provozních dat je možné vytvářet smysluplné báze pravidel fuzzy regulátoru. Fuzzy regulátory v podobě, ve které byly vyzkoušeny, mají schopnost vybrat skupinu kolejí vhodných pro přiřazení zpožděnému vlaku, ne vždy jsou však schopny určit jednu nejvhodnější.

V současné době je před dokončením program, který automatizuje proceduru vytváření báze pravidel ze zadaných dat. S jeho pomocí bude možné provést hlubší analýzu výsledků z většího množství výstupů různých fuzzy regulátorů a, v případě úspěchu, formulovat obecnější principy pro tvorbu optimální báze pravidel.

Příspěvek vznikl za podpory Institucionálního výzkumu MSM 0021627505 „Teorie dopravních systémů“ Univerzity Pardubice.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] JURA, P. *Základy fuzzy logiky pro řízení a modelování*. Brno : VUTIUM, 2003. 132 s. ISBN 80-214-2261-0.
- [2] FINN, G.D. Learning fuzzy rules from data. *Neural Computing & Application*. 1999, no. 8, s. 9-24.
- [3] ZITTA, R., PALATOVÁ, M. Metody pro generování fuzzy pravidel z dat. In *Konference Matlab 2005*.
- [4] BAŽANT, M. *Možnosti uplatnění výpočetní inteligence při určování nástupištní koleje*. příspěvek na semináři „Diskrétní simulace“. Pardubice: 2007.
- [5] KOSINA, M. *Generátor báze fuzzy pravidel* Diplomová práce (v přípravě).
- [6] ZÁHOROVÁ, V. *Určení nástupištní koleje pro zpožděný přijíždějící vlak pomocí fuzzy regulátoru*. In sborník příspěvků konference Inteligentní systémy pro praxi: XI ročník konference, Bohdaneč, 30.-31. ledna 2008, Ostrava:AD&M konferenční servis, 2008, str. 103–108, ISBN 978–80-7399–354-2.

Recenzent: RNDr. Katarína Bachratá, PhD.
Žilinská univerzita v Žiline, FRI, Katedra informačných sietí