

Aplikace fuzzy a pravděpodobnostních automatů

Martin Jašek

12. září 2016 — ??

Obsah

1	Vybrané aplikace, poznámky	2
1.1	Fuzzy jazyky, gramatiky a regulární výrazy	2
1.2	Pattern recognition (řetězců, základní techniky)	2
1.3	Pattern recognition (ostatní)	6
1.4	Neuronové sítě a fuzzy neuronové sítě	7
1.5	Strojové učení (ostatní)	7
1.6	Fuzzy regulátory a řídicí systémy	8
1.7	Bioinformatika a medicína	8
1.8	Ostatní aplikace a zdroje	8
2	Jiná literatura	9
2.1	Něco k teorii (různé definice automatů, determinizmus, minimalizace, ekvivalence, ...)	9
2.2	Koncepce (fuzzy a/vs. pravděpodobnostní přístup)	9
2.3	Další čtení a potencionální zdroje	9
2.4	Třeba by mohlo být užitečné	11

1 Vybrané aplikace, poznámky

1.1 Fuzzy jazyky, gramatiky a regulární výrazy

Fuzzy finite automata and fuzzy regular expressions with membership values in lattice-ordered monoids [38]

Fuzzy regulární výrazy, to je taky tak trochu aplikace, ne? Bohužel tento článek taky není k dispozici ...

Minimization of lattice finite automata and its application to the decomposition of lattice languages [39]

Tady se asi trochu zabředne trochu víc do matematiky, ale – uvidíme. Uvidíme, co vyleze z dekompozice fuzzy jazyků.

Definice 1.1. *(zde bude doplněno: lattice language) (~ fuzzy jazyk nad svazem)?*

Fuzzy languages with infinite range accepted by fuzzy automata: Pumping Lemma and determinization procedure [18]

Fuzzy pumping lemma. Podívat se na to.

Construction of fuzzy automata from fuzzy regular expressions [33]

A probabilistic model of computing with words [5]

Nový pohled na pravděpodobnostní automaty. Nepracují se symboly, ale celými slovy abecedy. Prý protože u slov je přirozenější uvažovat pravděpodobnosti výskytu. Slovo je v jejich případě rozložením pravděpodobnosti. Co to sakra ...?

Characterization of Fuzzy Regular Languages, [7]

Vztah fuzzy regulárních jazyků a fuzzy automatů.

Fuzzy pushdown automata, [15]

Článek, který bohužel nejspíš není k dispozici, nicméně v abstraktu padá jedna důležitá myšlenka:

B-fuzzy automaty přijímají kontextově závislé jazyky tak, že se jim nastaví práh. „Obyčejné“ fuzzy zásobníkové automaty přijímají jen bezkontextová jazyky.

1.2 Pattern recognition (řetězců, základní techniky)

Definice 1.2 (Problém Pattern recognition). *(zde bude doplněno: zjistit, co to vlastně PŘESNĚ doopravdy je)*

Definice 1.3 (Syntactic Pattern recognition). *Mělo by to být něco ve smyslu, že patternem je klasický řetězec z terminálů (a né třeba gramatika).*

(zde bude doplněno: rozbrat vzdálenosti (Hammingova, Levenshteinova))

Conversion of Finite Automata to Fuzzy Automata for String Comparison [6]

Jedná se o pravděpodobně nejjednodušší zavedení fuzzy automatu pro pattern recognition.

Mějme klasický bivalentní automat $M = (Q, \Sigma, q_0, \delta, F)$ a funkci $g_s : \Sigma \times \Sigma \rightarrow [0, 1]$ (podobnost symbolů). Označme $\delta_a(q_i, q_j)$ jako $\delta(q_i, a, q_j)$.

Pak můžeme zkonstruovat fuzzy automat $M' = (Q, f, I, F')$ takový, že I a F' jsou počáteční a koncové stavy ($I(q_0) = 1$, $I(q_i) = 0$ pro $i > 0$, $F'(q_n) = 1$, $F'(q_i) = 0$ pro $i < n$) a f je fuzzy přechodová funkce:

$$f(q_i, a, q_j) = \bigvee_{x \in \Sigma} (g_s(a, x) \wedge \delta_x(q_i, q_j))$$

Toť vše. Nevýhody jsou zřejmé – M' nám například nepokryje vložení nebo naopak odebrání symbolu.

Fuzzy automata with ϵ -moves compute fuzzy measures between strings [16]

Mějme fuzzy automat s ϵ přechody. Je dokázáno (viz např. článek), že rozpoznává stejný jazyk jako některý NFA (bez ϵ přechodů).

Autoři dále zavádějí nový pohled na rozdíly mezi dvěma řetězci. Používají k tomu relaci $E = (\Sigma \cup \{\epsilon\})^2$ porovnávající dvojici symbolů (resp. symbol nebo prázdný řetězec).

Definice 1.4 (Editační operace). *Mějme relaci $E = (\Sigma \cup \{\epsilon\})^2$ (pospanou výše). Pak každou dvojici $z \in E$ nazvěme editační operace. Speciálně pak, $(x, y) \in E$ znamená nahrazení symbolu x symbolem y , $(x, \epsilon) \in E$ znamená odebrání symbolu x a naopak $(\epsilon, y) \in E$ pak vložení symbolu y (pro všechny $x, y \neq \epsilon$).*

Máme-li editační operaci $(x, y) = z \in E$, pak označme $x = z^\downarrow$ a $y = z^\uparrow$.

Podíváme-li se na E jako na množinu (uspořádaných dvojic), můžeme ji tak považovat za abecedu. E^+ pak značí řetězce nad touto abecedou, tedy posloupnosti editačních operací dvou řetězců. Pomocí takového posloupnosti editačních operací můžeme popsat způsob, jak z jednoho řetězce vytvořit jiný. Takového posloupnosti editačních operací se říká vyrovnání řetězců.

Definice 1.5 (Vyrovnání). *Máme-li řetězec ω , který vznikl z řetězce α použitím posloupnosti $z \in E^+$ editačních symbolů, nazýváme vyrovnáním α k ω .*

Definice 1.6 (Množina vyrovnání). *Množinou $G(\alpha, \omega)$ vyrovnání rozumíme množinu všech vyrovnání α k ω . (zde bude doplněno: opsat přesnou definici (def. 7, str. 5))*

Množina $G(\alpha, \omega)$ nám reprezentuje všechny možné způsoby, jak přetransformovat řetězec α na řetězec ω .

Nyní mějme fuzzy relaci R nad E ((zde bude doplněno: reflexivita, symetrie a T -transitivita R)). Tato relace každé editační operaci $z \in E$ přiřazuje hodnotu „váhy“. Na základě této fuzzy relace můžeme určit stupeň podobnosti dvojice řetězců α a ω . Definujeme proto fuzzy zobrazení $S_{\Sigma, R, T}$ nad Σ^* jako fuzzy míru mezi dvěma řetězci:

Definice 1.7 (Fuzzy míra). *Fuzzy míra řetězci α a ω je fuzzy relace $S_{\Sigma,R,T}$ nad Σ^* taková, že ... (zde bude doplněno: opsat přesně) přes všechna $z \in G(\alpha, \omega)$ počítá maximum z t -normy $R(z_i)$ pro všechny editační operace $z_i \in z$.*

Nyní je třeba zkonstruovat automat (fuzzy automat s ϵ -přechody). (zde bude doplněno: opsat a okomentovat tu dlouhou definici). Je dokázáno, že výpočet tohoto automatu koresponduje s fuzzy mírou $S_{\Sigma,R,T}$ definovanou výše.

Approximate String Matching Using Deformed Fuzzy Automata: A Learning Experience [1], Deformed fuzzy automata for correcting imperfect strings of fuzzy symbols [10]

Definice 1.8 (Fuzzy symbol). *Fuzzy symbol je fuzzy množina všech symbolů abecedy. Její membership funkce je definována jako podobnost aktuálního symbolu s pozorovacím symbolem. Značí se typicky \tilde{y} pro pozorovaný symbol y .*

Používá následující algoritmus: Nejdříve se sestaví slovník, kde pro každou (výstupní) třídu se vytvoří (resp. vybere jeden z objektů v této třídě) její reprezentant. Poté se pro vstupní řetězec se počítá „počet“ transformací (přidání, odebrání nebo záměn symbolů) tak, abychom získali jednotlivé reprezentanty. Výslednou třídou vstupního řetězce se pak stane ta, jejíž reprezentant má ke vstupnímu řetězci „nejblíže“ (tj. vyžadoval nejméně transformací).

Otázkou však je, jak tyto transformace spočítat. Základní technika, zvaná recognition rate (zde bude doplněno: dohledat více informací o RR), má však jisté nevýhody. Např. věty uvažuje samostatně, bez kontextu okolních vět. Stejně tak slova. Proto se zavádí použití fuzzy symbolů.

Přechodem z „běžných“ symbolů na fuzzy symboly nám však přestává dostačovat klasický automat. Je proto nutné použít mocnější nástroj. Autoři proto používají fuzzy deformovaný automat.

Fuzzy deformovaný automat je zobecnění klasického automatu. Pro naše účely je vhodné vytvořit jej z automatu rozpoznávající řetězec vzoru (patternu).

Definice 1.9 (Automat rozpoznávající ω , [1] str. 2). *Mějme řetězec ω nad abecedou Σ . Automat rozpoznávající ω je pak konečný automat $M(\omega) = \langle Q, \Sigma, \delta, q_0, \{q_n\} \rangle$ takový, že jeho množina stavů Q se sestává z právě n (kde n je délka řetězce ω) stavů q_0, \dots, q_n , dále q_0 je počáteční a q_n koncový stav a δ je přechodová funkce $Q \times Q \times \Sigma \rightarrow \{0, 1\}$. Přechodová funkce je definována následovně:*

$$\delta(q_{k-1}, q_k, a_k) = \begin{cases} 1 & \text{pokud } a_k \text{ je } k\text{-tý symbol v řetězci } \omega \\ 0 & \text{jinak} \end{cases}$$

Takto definovaný automat zřejmě bude rozpoznávat jen a jen řetězec ω a žádný jiný. Nyní z něj sestavíme fuzzy deformovaný automat.

Definice 1.10 (Fuzzy deformovaný automat, [1] str. 2). *Mějme automat $M(\omega)$ přijímající ω . Pak definujeme fuzzy deformovaný automat $MD(\omega)$ jako $\langle Q, \Sigma, \mu, \sigma, \eta, \tilde{\mu} \rangle$, kde:*

- Q je množina stavů přejatá z $M(\omega)$,
- Σ je abeceda přejatá z $M(\omega)$,

- $\sigma : Q \rightarrow [0, 1]$ jsou počáteční stavy (tedy $\sigma(q_0) = 1$ a $\sigma(q_i) = 0$ pro všechna ostatní $q_0 \neq q_i \in Q$),
- $\eta : Q \rightarrow [0, 1]$ jsou koncové stavy (tedy $\sigma(q_n) = 1$ a $\sigma(q_i) = 0$ pro všechna ostatní $q_n \neq q_i \in Q$),
- $\mu : Q \times Q \times (\Sigma \cup \{\epsilon\}) \rightarrow [0, 1]$, fuzzy přechodová funkce:

$$\mu(q, p, a) \begin{cases} = 1 & \text{pokud } \delta(q, p, a) = 1, q, p \in Q \text{ a } a \in \Sigma \\ \in [0, 1] & \text{pokud } a = \epsilon \\ \in [0, 1] & \text{pokud } a \in \Sigma \\ \in [0, 1] & \text{pokud } p = q \\ = 0 & \text{jinak} \end{cases}$$

- $\tilde{\mu} : \mathcal{F}(Q) \times \mathcal{F}(\Sigma) \rightarrow Q \times [0, 1]$ je funkce pro výpočet následujícího stavu definována následovně (zde bude doplněno: zkontrolovat, jestli jsem to pochopil dobře) :

$$\tilde{\mu}(\tilde{P}, \tilde{y}) = \{\langle p, \mu \rangle \mid \mu = \bigoplus_{q \in Q} (\bigoplus_{x \in \Sigma} (\mu(q, p, x) \otimes \mu_{\tilde{y}}(x)) \otimes \mu_{\tilde{P}}(q)) \quad \forall p \in Q\}$$

(zde bude doplněno: rozebrat stupňovitost, stupně pravdivosti jednotlivých elementů a taak)

V definici přechodové funkce μ můžeme pozorovat zavedení kýžené transformace. Pokud se symbol na vstupu shoduje se symbolem ve vzoru (na stejném místě), aplikuje se pravidlo přejaté z přechodové funkce δ původního automatu. Není-li ze vstupu přečten žádný symbol (tj. $a = \epsilon$), pak nám tím přechodová funkce dovoluje symbol vzoru z pozorovaného slova vynechat. Naopak, pokud přečteme symbol, ale nepřesuneme se do jiného stavu, pak sledované slovo oproti vzoru obsahuje symbol a navíc. Pokud jsme přečetli symbol a , který však ale nesplňuje podmínku s pravidlem δ , pak pozorované slovo obsahuje na dané pozici jiný symbol, než vzorové slovo. Pokud žádná z těchto situací nenastane, pak ji odmítneme.

Intuitionistic Fuzzy Automaton for Approximate String Matching [19]

Uvažuje se intuicionický přístup. (zde bude doplněno: zjistit, co to ten intuicionický přístup vlastně je) Jde o to, že se kromě zobrazení podobnosti, uvažuje také zobrazení nepodobnosti. To je prý lepší, než klasické fuzzy (s jednou membership funkcí).

V článku poté definují fuzzy jazyk (triviální), fuzzy regulární jazyk, intuicionický fuzzy jazyk (místo jedné membership funkce má dvě) a následně intuicionický fuzzy regulární jazyk. Na základě těchto pojmů poté definují fuzzy intuicionický automat. Jdou na to přes automat rozpoznávající ω , podobně jako v [1]. Dále však ale definují fuzzy automat, což zřejmě bude jen jiné označení pro fuzzy deformovaný automat z onoho článku.

Následně je definován fuzzy intuicionický automat. Ten má každou z membership funkcí adekvátně zdvojenou (zde bude doplněno: přepsat definici z článku, str. 32)). Stejně tak, celý výpočet neuvažuje jednu hodnotu stupně, ale dvojici hodnot. Stejně tak vypadá i (intuicionický fuzzy) jazyk.

Vlastní nápady

- Fuzzy pattern matching BZK jazyků (např. automatická korekce chyby při zápisu aritmetického výrazu)
- něco na způsob fuzzy lexikálního analyzátoru (pro slovo rozpozná pattern a slovo adekvátně zatřídí) \Rightarrow slití automatů (rozpoznávajících jednotlivé patterny) \Rightarrow vznikne velký automat \Rightarrow fuzzy minimalizace. Jaký by to mělo dopad na správnost klasifikace?

1.3 Pattern recognition (ostatní)

Syntactic Methods in Pattern Recognition [8]

Knížka (celá) o pattern recognition pomocí formálních jazyků. Bohužel jen klasických automatů případně stochastických.

Fractionally Fuzzy Grammars [12] (popř. [25] 10.7)

Fractionally fuzzy grammar je speciální fuzzy gramatika, která se dobře hodí pro pattern recognition. Prý jsou „powerfull“ a současně „easily parsed“. *(zde bude doplněno: V [25], 10.7 je několik odkazů na další zdroje, prozkoumat!)*

V článku [12] je pojem Fractionally fuzzy grammar (nejspíš) zaveden.

(Fuzzy cellular learning automata for lesion detection in retina images [26])

Fuzzy Automata System with Application to target recognition based on image processing [28]

Pokročilejší technika pro pattern recognition. Využívají pro rozpoznávání otisků prstů.

Fuzzy tree automata and syntactic pattern recognition[21], [30]

To bude něco na způsob R-stromů. Z pattern se udělá strom, který je rozpoznáván fuzzy tree automatem.

Fuzzy Models and Algorithms for Pattern Recognition and Image Processing [17]

Megaknižka o tom, že se fuzzy modely používají pro pattern recognition. O automatech tam toho moc není. Ale na straně 545 popisují kýženu historii výzkumu aplikací fuzzy automatů v oblasti pattern recognition.

RS image processing automata [36]

Nový druh („fuzzy“) automatu vytvořený pro image processing. Stavby jsou matice se vzory a přechody mezi nimi jsou vlastně maticové operace na ně postupně aplikované. Zajímavé...

Syntactic Pattern Recognition for Seismic Oil Exploration [14]

Používají pattern recognition pomocí automatů (m.j. pomocí tree automatů) k hledání ložisk ropy.

1.4 Neuronové sítě a fuzzy neuronové sítě

Definice 1.11 (Neuronová síť). *Neuronová síť je ... (zde bude doplněno: z nějakého pěkného zdroje doplnit)*

Definice 1.12 (Knowledge based neuronová síť [11]). *Knowledge based neuronová síť (zde bude doplněno: jak se to řekne česky?) je neuronová síť, jejíž počáteční konfigurace není vygenerována náhodně, ale sestavena ze znalostní báze.*

Definice 1.13 (Rekurentní neuronová síť). *(zde bude doplněno: zjistit, asi neuronovka, která umožňuje při průchodu impulzu návrat zpět)*

Fuzzy Finite-State Automata Can Be Deterministically Encoded Into Recurent Neural Networks, [4]

Bylo prokázáno (vyjmenována hromada zdrojů na straně 4), že konečný automat může být reprezentován rekurentní neuronovou sítí.

Application of Fuzzy Automata Theory and Knowledge Based Neural Networks for Development of Basic Learning Model [24]

Článek je poněkud nepřehledný, doporučuji nahradit [4] nebo zkusit vyhledat ještě jiný. Nicméně:

Z fuzzy automatu byla zkonstruována neuronová síť zvaná Fuzzy Automata based Neural Network (FANN). Prý znalostní pravidla převádí na fuzzy automaty a z nich poté konstruuje FANN.

Definice 1.14. *(zde bude doplněno: Model of Learning) (zde bude doplněno: Knowledge rule) (zde bude doplněno: Rule extraction)*

Autoři FANN demonstrují na Urban Traffic modeling.

Definice 1.15 (Urban Traffic modeling). *je problém modelace infrastruktury, predikce budoucího vývoje. Inteligentní řízení provozu a podob.*

Fuzzy Neural Networks [32]

To bude nejspíš podobné jako [24].

1.5 Strojové učení (ostatní)

A Formulation of Fuzzy Automata and Its Application as a Model of Learning Systems [35]

Originální paper bohužel není k dispozici. Ale dle anotace je to jeden z prvních článků vůbec. Podobá se stochastickému automatu.

Definice 1.16. *(zde bude doplněno: Stochastický automat)*

Autoři předvádějí použití „fuzzy automatu“ jako model strojového učení (používají zastaralý?? výraz „Model of learning system“). Dále uvádějí hypotézu použití jako automatická kontrola a pattern recognition (*zde bude doplněno: jak se to řekne česky?*).

Na konci zmiňují, že použití fuzzy automatu v těchto situacích přináší především jednoduchost (návrhu i průběhu výpočtu).

1.6 Fuzzy regulátory a řídicí systémy

Fuzzy Reasoning and Fuzzy Automata in User Adaptive Systems [20]

Řídicí systémy, adaptivní systémy? Každopádně, bude to něco na principu fuzzy regulátorů. Nejspíš to bude fungovat tak, že vstupní řetězec bude posloupnost real-time událostí vně systému. A on na ně bude nějak reagovat. A něco dělat.

Definice 1.17. (*zde bude doplněno: Fuzzy reasoning*) (*zde bude doplněno: Fuzzy state transition rulebase*)

V příkladu uvádí nástroj pro výběr nejlepší židle. Uživatelé jsou požádáni o označení jak moc na ně působí zvolené židle (co do modernosti, pohodlnosti, ceny, ...) a systém vygeneruje uspořádání židlí od „nejlepší“ po „nejhorší“.

Víc toho nevím, protože text působí hodně odborně a vyžaduje tak znalost základních pojmů.

A model for Finite-state probabilistic systems [9]

Na tento článek se odkazuje [25] v kapitole 10.1. Ale kromě anotace jsem se o něm nedozvěděl nic víc.

1.7 Bioinformatika a medicína

An application of intuitionistic fuzzy sets in medical diagnosis [34]

Zní to příšerně, ale nejspíš to bude vycházet z [23].

1.8 Ostatní aplikace a zdroje

Zmínka o sadě aplikací v [4]

V [4] na straně 4 mluví o tom, že fuzzy gramatiky mají široké použití (od analýzy rentgenových snímků, přes návrh elektronických obvodů až po návrh GUI). A ještě spoustu dalších. Včetně odkazů na zdroje!

An Adaptive Vehicle Path Planning System [13]

Super!

Fuzzy automata and decision processes[23]

To zní lákavě, ale bohužel online není prakticky ani anotace.

An introductory survey of fuzzy control ??

Podívat se na tohle, jestli se tam vůbec mluví o použití (fuzzy) automatů:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/002002558590026X>

Fuzzy evolutionary cellular automata [29]

Jedná se vůbec o fuzzy automat? Resp. Mluví se tam o fuzzy teorie a celulárním automatu. Tak nevím.

2 Jiná literatura

2.1 Něco k teorii (různé definice automatů, determinismus, minimalizace, ekvivalence, ...)

Determinism and fuzzy automata [2]

Článek určitě zajímavý do teoretické části, ale dost možná se bude zmiňovat o (alespoň!) některých aplikacích.

A Note on Fuzzy Tree Automata [31]

Pěkný skromný ale obsáhlý článek o fuzzy tree automata.

A formal model of computing with words [37]

Uveden nový fuzzy automat, který místo řetězců nad abecedou přijímá řetězce nad fuzzy-podmnožinami abecedy. Prý je to hned v několika oblastech lepší.

On fuzzy multiset automata

<http://search.proquest.com/computerscience/docview/1784418314/55737592510249A1PQ/6?accountid=1673>

Bisimulations for fuzzy automata

<http://search.proquest.com/computerscience/docview/963845527/55737592510249A1PQ/5?accountid=1673>

2.2 Koncepce (fuzzy a/vs. pravděpodobnostní přístup)

Do exact shapes of fuzzy sets matter? [3]

Úvaha nad tím, jestli je vlastně OK používat fuzzy teorii. Protože fuzzy teorie sice zavádí trochu neurčitosti, ale pořád je tato neurčitost popsána matematicky.

2.3 Další čtení a potencionální zdroje

- Morderson, Malik: Fuzzy Automata and Languages: Theory and Applications [25]
- Introduction to Probabilistic Automata [27], samostatná kapitola se seznamem vybraných aplikací pravděpodobnostních automatů

- New directions in fuzzy automata [22]: Nový pohled na automaty, v anotaci mluví o tom, jak dlouho se automaty již studují, takže by se tam mohl odkazovat na nějaké aplikace. Application driven methodology?
- Inverse fuzzy automata and inverse fuzzy languages, http://www.afmi.or.kr/articles_in_
- Entropies of probabilistic grammars, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019995874907>
- Pattern Recognition and Machine Learning, <http://bit.ly/2cD2FO3>
- Applied Automata Theory (hlavně pravděpodobnostní) <http://bit.ly/2cCHJ8i>
- PRISM: A Tool for Automatic Verification of Probabilistic Systems, <http://eprints.gla.ac.uk/43841/1/43>
- verifikace a checking of nondeterminism pravděpodobnostních systémů tak nějak jakože všeobecně
- A Bibliography on Fuzzy Automata, Grammars and Languages, anotace: <http://doc.utwente.nl/64296/1/MI-95-46.pdf>
- Approximate String Matching by Fuzzy Automata, anotace: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-00563-3_29
- Approximate String Matching Using Deformed Fuzzy Automata: A Learning Experience, anotace: <http://link.springer.com/article/10.1023/B>
- Klasická automata theory: J.E. Hopcroft, J.D. Ullman, Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation, Addison-Wesley, Reading, MA, 1979
- Latent Dependency Forest Models, https://www.researchgate.net/publication/307931171_Latent_Dependency_Forest_Models
- A Bibliography on Fuzzy Automata, Grammars and Languages (mega seznam článků): <http://doc.utwente.nl/64296/1/MI-95-46.pdf>

Knížky, které se zmiňují o fuzzy teorii, automatech a/nebo aplikacích:

- Cornelius T Leondes: Fuzzy theory systems. 1999.
- Rudolf Seising: The Fuzzification of systems : the genesis of fuzzy set theory and its initial applications - developments up to the 1970s. 2007
- C B Setzer; N A Warsi: Fuzzy automata and pattern matching : final report. 1986
- Chichester, West Sussex: Foundations of fuzzy control : a practical approach. 2013
- John H Lilly: Fuzzy control and identification. 2010
- Hugh M Cartwright; Nawwaf Kharma: Using artificial intelligence in chemistry and biology : a practical guide, 2008
- Stan Openshaw; Robert J Abrahart: GeoComputation, 2000
- Friedrich Recknagel: Ecological informatics : scope, techniques, and applications, 2006

- Roberto Cipolla; Sebastiano Battiato; Giovanni Maria Farinella: Computer vision : detection, recognition and reconstruction, 2010
- National Research Council (U.S.). Transportation Research Board: Traffic flow theory and characteristics. Volume 2, 2015
- John N Mordeson; D S Malik; Shiquan Cheng: Fuzzy mathematics in medicine
- Ali Saghafinia: Applications of various fuzzy sliding mode controllers in induction motor drives, 2016
- David M Forrester: Fuzzy cellular automata in conjunctive normal form., 2011
- Jelena Ignjatović, Miroslav Ćirić, Stojan Bogdanović: Determinization of fuzzy automata with membership values in complete residuated lattices, 2008
- Miroslav Ćirić, Jelena Ignjatović, Nada Damjanović, Milan Bašić: Bsimulations for fuzzy automata (2012)
- Jianhua Jin, Qingguo Li: Fuzzy grammar theory based on lattices (2012)

2.4 Třeba by mohlo být užitečné ...

- Social Cognitive Learning Theory and other Theories and Models, <https://www.learning-theories.com/>
- Zadeh: Fuzzy algorithms, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019995868902118>

Reference

- [1] J R; J. R. Gonzalez De Mendivil; Villadangos J; Farina-F. Astrain, J J; Garitagoitia. Approximate string matching using deformed fuzzy automata: A learning experience. *Springer Science & Business Media*, 2004.
- [2] R. Bělohlávek. Determinism and fuzzy automata. *Information Sciences*, 2002.
- [3] R. Bělohlávek. Do exact shapes of fuzzy sets matter? *International Journal of General Systems*, 2007.
- [4] C. L. Giles Ch. W. Omlin, K. K. Thornber. Fuzzy finite-state automata can be deterministically encoded into recurrent neural networks. *University of Technical Report*, 1996.
- [5] Huaqing Wang Daowen Qiu. A probabilistic model of computing with words. *Elsevier*, 2005.
- [6] H. A. Girijamma Dr. V. Ramaswamy. Conversion of finite automata to fuzzy automata for string comparison. *International Journal of Computer Applications*, 2012.
- [7] Mrs. Girijamma. H. A. Dr. V. Ramaswamy. Characterization of fuzzy regular languages. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, 2008.
- [8] K. S. Fu. *Syntactic Methods in Pattern Recognition*. Elsevier, 1974. není k dispozici, jen placená.
- [9] K. S. Fu G. D. Bruce. A model for finite-state probabilistic systems. *Proc. 1st Ann. Allerton Conf. Circuit and Systems Theory*, 1963. existuje vůbec?
- [10] J R G; Echanobe J; Astrain J J; Farina-F. Garitagoitia, J R; de Mendivil. Deformed fuzzy automata for correcting imperfect strings of fuzzy symbols. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2003. K dispozici na IEEEExplore.
- [11] Jude W. Shavlik Geoffrey G. Towell. Knowledge-based artificial neural networks. *Artificial Intelligence*, 1992.
- [12] S.S. Yau G.F. DePalma. Fractionally fuzzy grammars with application to pattern recognition. *US–Japan Seminar on Fuzzy Sets and their Applications*, 1974. článek jako e-book: <http://bit.ly/2cumxjz>, výcuc v MorMal-FuzzAutAndLangs 10.7.
- [13] Kai-Wen; Wang Yu-Wu; Chen Heng-Ming; Tasi Han-Wen; et al. Huang, Chenn-Jung; Hu. An adaptive vehicle path planning system. *IACSIT Press*, 2015.
- [14] Kou-Yuan Huang. *Syntactic Pattern Recognition for Seismic Oil Exploration*. World Scientific, 2002. náhled e-knihy: <http://bit.ly/2cR4rtO>.
- [15] Anca Pascu Irina Bucurescu. Fuzzy pushdown automata. *International Journal of Computer Mathematics*, 2007. nejspíš není k dispozici.

- [16] J.R. Garitagoitia J. Astrain, J.R. González de Mendivil. Fuzzy automata with ϵ -moves compute fuzzy measures between strings. *Fuzzy Sets and Systems* 157, 2005.
- [17] Raghu Krishnapuram Nikhil Pal James C. Bezdek, James Keller. *Fuzzy Models and Algorithms for Pattern Recognition and Image Processing*. Springer, 2005. náhled e-knihy: <http://bit.ly/2cghCXg>.
- [18] José R. Garitagoitia José R. González de Mendivil. Fuzzy languages with infinite range accepted by fuzzy automata: Pumping lemma and determination procedure. *Fuzzy sets and Systems*, 2014.
- [19] K.K. Tripathi K.M. Ravi, A. Choubey. Intuitionistic fuzzy automaton for approximate string matching. *Fuzzy Information and Engeneering*, 2014.
- [20] Szilveszter Kovács. Fuzzy reasoning and fuzzy automata in user adaptive systems. *Department of Information Technology, University of Miskolc*, 2002. <http://users.iit.unimiskolc.hu/szkovacs/Research/UserAdaptiveApplications/HunKorean02fl-PR.pdf>.
- [21] E T Lee. Fuzzy tree automata and syntactic pattern recognition. *IEEE TRANS. PATTERN ANALY. AND MACH. INTELLIG.*, 1982. K dispozici na IEEEExplore.
- [22] S. C. Kremer M. Doostfateme. New directions in fuzzy automata. *International Journal of Approximate Reasoning*, 2004.
- [23] George N. Saridis Madan M. Gupta. *Fuzzy automata and decision processes*. Elsevier, 1977. není k dispozici, ani náhled.
- [24] Hasan Ahmed Manuj Darbari and Vivek Kr. Singh. Application of fuzzy automata theory and knowledge based neural networks for development of basic learning model. *Computer Technology and Application* 2, 2011.
- [25] John N. Mordeson and Davender S. Malik. *Fuzzy Automata and Languages: Theory and Applications*. Chapman and Hall/CRC, 2002.
- [26] Bakhtiar; Adenihvand Karim; Mohammadi Mohammad; Mirzamohammad Mahsa Nejad, Hadi Chahkandi; Azadbakht. Fuzzy cellular learning automata for lesion detection in retina images. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2014. není k dispozici, jen k zakoupení.
- [27] A. Paz. *Introduction to Probabilistic Automata*. Academic Press, 1971. není k dispozici, náhled: <http://bit.ly/2cCjidd>.
- [28] Zhen-Yu Hana Qing-E Wua, Xue-Min Pangc. Fuzzy automata system with application to target recognition based on image processing. *Computers & Mathematics with Applications*, 2011.
- [29] James Neal Richter. Fuzzy evolutionary cellular automata, 2003.
- [30] M. M. ZAHEDI S. MOGHARI and R. AMERI. New direction in fuzzy tree automata. *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, 2011.

- [31] Mukta N. Joshi S. R. Chaudhari. A note on fuzzy tree automata. *International Journal of Computer Applications*, 2012.
- [32] Edward T. Lee Samuel C. Lee. Fuzzy neural networks. *Mathematical Biosciences*, 1975. K dispozici na sciencedirect, ale nejde stáhnout.
- [33] Miroslav Stamenkovic, Aleksandar; Ciric. Construction of fuzzy automata from fuzzy regular expressions. *Fuzzy Sets and Systems*, 2012.
- [34] Akhil Ranjan Roy Supriya Kumar De, Ranjit Biswas. An application of intuitionistic fuzzy sets in medical diagnosis. *Fuzzy Sets and Systems*, 2001. abstrakt: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165011498002358>.
- [35] K. S. Fu William G. Wee. A formulation of fuzzy automata and its application as a model of learning systems. *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, 5, 1969. K dispozici na IEEEExplore.
- [36] Yu Xian-feng. Rs image processing automata. *IET Conference Proceedings*, 2012.
- [37] Mingsheng Ying. A formal model of computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2002. K dispozici na IEEEExplore.
- [38] Witold Pedrycz Yongming Li. Fuzzy finite automata and fuzzy regular expressions with membership values in lattice-ordered monoids. *Fuzzy Sets and Systems*, 2005.
- [39] Witold Pedrycz Yongming Li. Minimization of lattice finite automata and its application to the decomposition of lattice languages. *Fuzzy Sets and Systems*, 2007.