

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra Tomasza PESZKA
pt. *Model syntaktycznego rozpoznawania wzorców zniekształconych
oparty na gramatykach ciągowych klasy DPLL(k)*

Opiniowana praca doktorska jest rozprawą z zakresu metodologii syntaktycznego rozpoznawania obiektów i jej zastosowania do konstrukcji systemów komputerowo-wspomagane go podejmowania decyzji. Poświęcona jest problematyce budowy modelu syntaktycznego rozpoznawania obiektów umożliwiającego przeprowadzenie procesu analizy w sytuacji, gdy nie ma pewności, co do prawidłowości rozpoznania elementów składowych obiektu (prymitywów). Obejmuje także komputerową implementację opracowanych metod w prototypowym komputerowym systemie prognozowania zapotrzebowania na energię. Praca stanowi kolejny ciekawy i znaczący wkład w aktualną i ważną dziedzinę syntaktycznego rozpoznawania obrazów rozwijaną intensywnie w krakowskim środowisku naukowym.

Opiniowana rozprawa składa się z 6 rozdziałów, 3 dodatków, spisu rysunków i tablic oraz bibliografii zawierającej 109 pozycji i obejmuje 145 stron maszynopisu.

Rozdział pierwszy stanowi niezbędne wprowadzenie w treść dalszych części pracy. W szczególności, autor przedstawia systematykę metod rozpoznawania obiektów, głębiej ukierunkowaną na metody syntaktyczne i uzasadnia praktycznymi aspektami problematykę rozpoznawania syntaktycznego dopuszczającą występowanie niejednoznaczności w rozpoznawaniu wstępnym, czyli w klasyfikacji prymitywów. Na tym tle, w sposób precyzyjny i jednoznaczny, sformułowano tezę badawczą pracy oraz przedstawiono zestaw wyników prowadzących do jej wykazania. W rozdziale zawarto także krótką charakterystykę kolejnych rozdziałów pracy.

Rozdział drugi zawiera podstawowe założenia formalnego modelu (nazwanego modelem rozmytym) syntaktycznego rozpoznawania obiektów w warunkach niepewności, rozumianych jako „miękki” wynik klasyfikacji prymitywów w postaci zestawu potencjalnych klas z wartościami wsparć, jakie tym klasom udziela klasyfikator. Na podkreślenie zasługuje bardzo przejrzysta forma prezentacji, w której ważną rolę odgrywają definicje wprowadzanych pojęć oraz przykłady rachunkowe.

Trzy kolejne rozdziały zawierają najważniejsze rezultaty rozprawy podzielone w sposób logiczny według schematu: metodologia, implementacja, zastosowanie. I tak, rozdział trzeci poświęcony został automatu FDPLLA(k) (*Fuzzy Dynamically Programmed LL(k) Automaton*) stanowiącemu rezultat prac doktoranta. Przedstawiono tu opis automatu, ideę jego budowy, automaty wchodzące w jego skład, schemat działania, konfigurację oraz analizę złożoności obliczeniowej i pamięciowej. Dokonano także porównania automatu FDPLLA(k) z innymi metodami syntaktycznego rozpoznawania w rozpatrywanych w pracy warunkach.

W rozdziale czwartym przedstawiono wyniki prac implementacyjnych automatu FDPLLA(k) zawierających struktury danych, klasy systemu i ich metody, algorytm działania automatu oraz wyniki testów zaimplementowanego parsera. Rozdział piąty dotyczy praktycznego zastosowania opracowanego automatu w zadaniu wspomaganie tworzenia prognoz zużycia energii elektrycznej dla koncernu elektroenergetycznego. Przedstawiono motywację wyboru przykładu i jego uzasadnienie, opis danych i przyjęty model prognozy oraz wyniki weryfikujące poprawność działania opracowanego modelu.

W podsumowaniu przedstawione zostały najważniejsze osiągnięcia zawarte w rozprawie oraz zaproponowano kierunki dalszych prac rozwojowych zaproponowanego modelu rozpoznawania. Trzy dodatki zawierają szczegóły formalne wykorzystywane w prowadzonych wywodach (podstawowe pojęcia teorii języków bezkontekstowych i języków programowanych oraz założenia dla konstrukcji automatu FDPLLA(k)).

W podsumowaniu tej części recenzji należy stwierdzić, że przedstawiona rozprawa prezentuje w sposób kompletny najważniejsze rezultaty objęte jej tematyką, w logicznym i przejrzystym układzie, typowym dla prac o charakterze koncepcyjno-aplikacyjnym oraz w formie, w której widoczna jest dbałość doktoranta o wysoki poziom edytorski. Umożliwiło to zaprezentowanie uzyskanych wyników w szerokim kontekście aktualnego stanu wiedzy w zakresie metod rozpoznawania syntaktycznego w warunkach niepewności, co zostało w ocenianym tekście starannie wykorzystane. Ogólnie zatem, objętość pracy, jej zakres, sposób ujęcia materiału oraz redakcję całości oceniam pozytywnie.

Celem pracy było wykazanie tezy, iż (cyt.) *Możliwe jest opracowanie nowego modelu syntaktycznego rozpoznawania wzorców uwzględniającego aspekt rozmycia/zniekształcenia wzorców, który posiada istotne zalety w porównaniu z innymi, dotychczas stosowanymi modelami syntaktycznego rozpoznawania wzorców.*

Wykazanie tak nakreślonej tezy doprowadziło do realizacji szeregu celów szczegółowych i do konkretnych osiągnięć. Można je ująć w następujące punkty:

1. Opracowanie nowego modelu syntaktycznego rozpoznawania obiektów. W analizowanym problemie rozpoznawania przyjmuje się, że strukturalna reprezentacja obiektu nie jest jednoznaczna, co może być spowodowane zarówno trudnością samego pierwotnego problemu klasyfikacji prymitywów, jak i nieprawidłowym działaniem samego algorytmu klasyfikacji. W takim przypadku uzasadnionym jest założenie, iż na wejściu automatu analizy syntaktycznej mamy słowa złożone z prymitywów w formie miękkiej. Formę tę, autor przyjmuje w postaci zestawu możliwych prymitywów wraz z liczbowymi (znormalizowanymi) wartościami wsparć i nazywa prymitywem rozmytym. Opracowany model automatu FDPLLA(k), będący istotnym uogólnieniem automatu DPLL(k), jest ukierunkowany na zadanie rozpoznawania wejściowego słowa złożonego z

rozmytych prymitywów, czyli odpowiada na pytanie, które z rozwiązań wejściowego słowa rozmytego są elementami języka formalnego generowanego przez daną gramatykę. Efektem analizy wejściowego słowa rozmytego przez automat FDPLLA(k) jest rozszerzony wynik rozpoznawania (analizy syntaktycznej) obejmujący 3 rezultaty: zaliczenie/niezaliczenie danego rozwiązania słowa wejściowego do rozpatrywanego języka, przerwanie analizy (wynik nierozstrzygnięty) ze względu na konieczność zachowania wielomianowej złożoności obliczeniowej. Automat FDPLLA(k) jest systemem złożonym z trzech współpracujących automatów składowych: (1) automat PPA (*Parser Pool Automaton*) zawierający zbiór parserów DPLL(k), których zadaniem jest dokonanie analizy syntaktycznej, (2) automat TDA (*Task Dispatcher Automaton*), który przydziela parserom automatu PPA zadania do analizy na podstawie tzw. taśmy zawierającej wejściowe słowo złożone z rozmytych prymitywów i danych o niezakończonych analizach, (3) automat PSA (*Process Saver Automaton*) dokonujący zapisów danych wykonanych procesów analizy syntaktycznej (albo na wyjściach automatu FDPLLA(k) o procesach zakończonych, albo w specjalnej pamięci o procesach trwających). Przeprowadzona została analiza złożoności obliczeniowej (ze względu na zasoby czasowe i pamięciowe) algorytmu analizy syntaktycznej słowa złożonego z rozmytych prymitywów przy pomocy automatu FDPLLA(k). Wykazała ona, że w większości procedur działania automatu czasowa złożoność obliczeniowa jest liniowa (w nielicznych przypadkach – kwadratowa) względem różnych parametrów definiujących rozmiar zadania analizy. Podobnie, liniowa jest złożoność pamięciowa automatu.

2. Analiza porównawcza opracowanego modelu z dotychczas stosowanymi modelami w warunkach niepewności. Autor dokonał porównania (pod względem koncepcji modelu, schematu działania oraz cech charakterystycznych (wad i zalet)) opracowanego automatu FDPLLA(k) z dwoma metodami rozpoznawania syntaktycznego dla obiektów zniekształconych:
 - Zastosowanie gramatyk stochastycznych – w algorytmie rozpoznawania występuje dodatkowy atrybut, którym jest prawdopodobieństwo użycia danej produkcji w procesie wyводу. W tym przypadku, analizie syntaktycznej poddawana jest „ostra” reprezentacja obiektu, dla której realizowany jest proces wyводу o największym prawdopodobieństwie.
 - Zastosowanie gramatyk z korekcją błędów – w metodzie przyjmuje się, że w analizowanej reprezentacji obiektu pojawiają się błędy spowodowane niewłaściwym rozpoznaniem prymitywów, które następnie są zidentyfikowane i naprawiane w procesie analizy syntaktycznej. Wadą metody jest konieczność wcześniejszej identyfikacji typów błędów, zaś zaletą znaczące zwiększenie siły opisowej gramatyki z modelem korekcji błędów.
3. Zaprojektowanie oraz zaimplementowanie modelu – opracowanie odpowiedniej aplikacji komputerowej. Opracowany automat FDPLLA(k) został zaimplementowany w środowisku *MS Visual Studio 2008* w języku *Visual Basic Net*. Na wejście programu podawane jest słowo rozmyte oraz dane gramatyki ustalonego języka klasy DPLL(k) (zbiór symboli terminalnych, zbiór symboli nieterminalnych, zbiór produkcji), a na wyjściu program zwraca zbiór rozwiązań analizy słowa rozmytego. W pracy

przedstawiono dokładnie szczegóły implementacyjne opracowanej bazy danych oraz automatów składowych (PPA, TDA i PSA) i algorytmów działania automatu FDPLLA(k). Opracowany program poddany został badaniom testowym, w których określano czas analizy słowa rozmytego w zależności od jego długości. Choć liczba rozwiązań zależy wykładniczo od długości słowa, to zależność czasowa okazała się liniowa. Wynika to z dobrze zaproponowanego schematu przeszukiwania rozwiązań, w którym podczas analizy na podstawie wyniku częściowego (analizy prefiksu słowa) można wyeliminować z dalszych przeszukiwań całe grupy rozwiązań. W kolejnym teście zastosowano zaimplementowany parser do analizy syntaktycznej obiektów opisanych prostym językiem kształtów. Tutaj także badana była zależność czasu analizy od długości słowa kodującego dany kształt.

4. Opracowanie przykładu praktycznego – weryfikacja modelu na danych rzeczywistych. Bardzo interesujący rezultat pracy związany jest z praktycznym zastosowaniem opracowanego modelu automatu FDPLLA(k) syntaktycznego rozpoznawania obiektów złożonych z rozmytych prymitywów. Przykład dotyczy prognozy zapotrzebowania na energię elektryczną w dużym systemie energetycznym, obejmującym wytwórców energii, operatorów sieci, dystrybutorów oraz końcowych odbiorców energii. Ponieważ energia elektryczna nie może być magazynowana, dlatego produkcja i zużycie powinny się równoważyć, w czym może pomóc skuteczna prognoza. Krajowe koncerny energetyczne od dawna dokonują prognoz z zastosowaniem różnych metod przetwarzania i analizy danych, takich jak sztuczne sieci neuronowe, metody autoregresyjne, czy techniki wykorzystujące wiedzę ekspercką. Autor, do istniejącego zestawu, dołożył metodę analizy syntaktycznej, choć – jak się wydaje – przedstawiony problem nie jest typowy dla zastosowań syntaktycznych metod rozpoznawania obrazów. Pomysł zastosowania metod syntaktycznych opiera się na analizie wielowymiarowych kształtów opisujących dane wejściowe procesu korekty prognozy (prognozy warunków atmosferycznych i prognozy zapotrzebowania na energię) na dzień sporządzania prognozy. Analizując dane opisujące warunki sporządzania prognozy z taktem godzinowym uzyskujemy schematy możliwych zachowań tych danych, które można traktować jako słowo rozmyte złożone z rozmytych prymitywów. Do ich rozpoznawania zastosowano metody syntaktyczne i opracowany model automatu FDPLLA(k). Działanie systemu prognozującego obejmuje dwie fazy. W fazie pierwszej odbywa się kompletowanie zbiorów uczącego i testującego oraz uczenie systemu. Zbiory uczący i testujący składają się z par: (1) reprezentacja symboliczna warunków sporządzania prognozy w określonym okresie czasowym, (2) korekta prognozy zapotrzebowania na energię w tym okresie. W procesie uczenia, na podstawie zbioru uczącego następuje wygenerowanie gramatyk, według których dokonywana będzie analiza syntaktyczna obiektów testujących przez automat FDPLLA(k). W fazie testowania (weryfikacji) dla danych wejściowych obiektów testujących wyznaczana jest korekta prognozy, która – porównywana z korektą prawidłową – pozwala na ocenę skuteczności algorytmu. W testach badano możliwość wygenerowania prognozy (rozpoznania prezentowanego wzorca) w zależności od zakresu danych wejściowych oraz efektywność wygenerowanej korekty prognozy w odniesieniu do metod aktualnie stosowanych. W pierwszym teście,

w którym porównywano dwa automaty: DPLLA(k) i FDPLLA(k) zdecydowanie skuteczniejszy (mniej wrażliwy na dane wejściowe) okazał się klasyfikator (predyktor) opracowany przez autora dla danych niepewnych. Drugi test oparto na wskaźniku średniego błędu prognozy MAPE (*mean absolute percentage error*) i porównywano w nim jakość uzyskaną przez dotychczasowe metody prognozy oraz automaty DPLLA(k) i FDPLLA(k). W zależności od cyklu dobowego prognozy, najlepszy rezultat uzyskany dla modelu FDPLLA(k) oznaczał poprawę wskaźnika MAPE względem dotychczasowych metod prognozy od 2.3% do 8.4%. Tak więc, rozpatrywany przykład potwierdził skuteczność i efektywność opracowanej metody analizy syntaktycznej dla obiektów reprezentowanych rozmytymi prymitywami w zadaniu prognozy zużycia energii elektrycznej

W recenzowanej rozprawie dostrzega się usterki, które można ująć w następujące punkty:

1. Autor nazywa wektor par (a,p) prymitywem rozmytym. Nazwa ta, chociaż oddaje praktyczny sens takiego niepewnego prymitywu, co do wyniku rozpoznania, może być myląca, gdyż pojęcie *rozmyty*, ma w informatyce określony sens, związany z bardzo popularną teorią zbiorów rozmytych. Autor nie wiąże swojego pojęcia z tą teorią i istniejącymi w niej pojęciami różnych rozmytych bytów i ich formalnymi reprezentacjami, ale traktuje to określenie z pewną swobodą interpretacyjną (np. na str. 24 wartości p rozmytego prymitywu są nazwane rozkładem prawdopodobieństwa). Recenzent sugeruje, aby autor rozważył użycie innego terminu, który oddawałby niepewny charakter rozpoznanego prymitywu i nie byłby powiązany z żadnym formalnym modelem opisującym taką niepewność (np. z modelem rozmytym, czy modelem probabilistycznym).
2. Porównanie zaproponowanego modelu FDPLLA(k) z dotychczasowymi metodami syntaktycznego rozpoznawania wzorców rozmytych zostało ograniczone do porównania koncepcji budowy metod i związanych z nimi aspektami ich działania. Nie wynika stąd żaden ranking, pozwalający na ocenę i porównanie metod pod względem – różnie rozumianej – efektywności. Należałoby tutaj – zdaniem recenzenta – przeprowadzić eksperymentalne badania porównawcze analizowanych metod na komputerowo generowanych danych. Wtedy takie porównanie byłoby pełniejsze i – poprzez odpowiedni dobór parametrów generowanych elementów składowych (prymitywów) obiektów (np. stopnia niepewności/rozmytości) umożliwiłoby wyciągnięcie bardziej wnikliwych wniosków.
3. Twierdzenie, o skuteczniejszej metodzie prognozowania z wykorzystaniem automatu FDPLLA(k) w badaniach eksperymentalnych dla rozpatrywanego przykładu praktycznego, winno być poparte analizą statystyczną wyników, co jest standardem w eksperymentalnych analizach porównawczych. Analiza taka mogłaby się sprowadzać do weryfikacji hipotezy (na przyjętym poziomie istotności) o braku statystycznej różnicy pomiędzy wynikami porównywanych metod, na rzecz hipotezy alternatywnej o występowaniu określonej różnicy. Dopiero odrzucenie hipotezy zerowej i przyjęcie hipotezy alternatywnej uzasadniałoby sformułowany wniosek. Jeśli dodatkowo porównywane są wyniki oddzielnie dla poszczególnych cykli dobowych, można skorzystać z metodologii eksperymentalnych analiz porównawczych dla wielu zbiorów

danych i zastosować odpowiednie testy rankingowe (przykłady takich testów można znaleźć w J. Demsar, Statistical comparison of classifiers over multiple data sets, *Journal of Machine Learning Research* 7 (2006) 1–30).

4. Luki w prezentacji i usterki redakcyjne:

- W tabeli na str. 28 powinno być REJ zamiast ERR.
- W definicjach 2.1 i 2.2. niepotrzebnie przyjęto tę samą długość słowa i wymiar prymitywu.
- Jaki jest sens nierówności w punkcie 3.a def. 2.1? Czy suma p nie powinna być równa 1?
- Nie wiadomo, jak zbiór danych był dzielony na część uczącą i testującą w zadaniu prognozy zużycia energii.
- Autor nie wyjaśnia, jakie metody kryją się pod nazwą „dotychczasowe metody” w badaniach testowych.

Reasumując stwierdzam, iż mgr Tomasz Peszek wykazał się dużą wiedzą z zakresu różnorodnych aspektów rozpoznawania syntaktycznego, a także opanowaniem i właściwym posługiwaniem się warsztatem naukowym, a w szczególności metodami eksperymentalnych analiz porównawczych klasyfikatorów. Przedstawiona praca zawiera poprawnie sformułowany i rozwiązany problem badawczy i stanowi istotny wkład w dziedzinę informatyki w obszarze metod i technik rozpoznawania obiektów. Zawarte w niej rezultaty obejmujące opracowanie nowego modelu syntaktycznego rozpoznawania obiektów wraz z analizą własności, jego komputerową implementację, praktyczne zastosowania wraz z badaniami eksperymentalnymi z użyciem danych rzeczywistych, są oryginalne i zostały przedstawione w sposób wyczerpujący na wysokim poziomie matematycznych formalizmów. Uważam, że praca doktorska Pana mgra Tomasza Peszka stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a tym samym spełnia wymogi Art.13 pkt. 1 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym z dnia 14.03.2003 r. Wnioskuje o dopuszczenie mgra Tomasza Peszka do publicznej obrony.

