Systems Research Institute
Polish Academy of Sciences

Newelska 6, 01-447 Warszawa, Poland

Phone: (48) 22 38 10 100
Directors: (48) 22 38 10 275
Fax: (48) 22 38 10 105
E-mail: ibs@ibspan.waw.pl
Web: www.ibspan.waw.pl
Tax no.: 525 000 86 08

Prof. dr hab. inż. Janusz Kacprzyk, dr h.c.
Fellow, IEEE, IFSA, ECCAI, SMIA
Członek rzeczywisty, Polska Akademia Nauk
Członek, Academia Europaea (Informatyka)
Członek, European Academy of Sciences and Arts
Członek zagraniczny, Bułgarska Akademia Nauk
Członek zagraniczny, Hiszpańska Królewska Akademia Nauk
Ekonomicznych i Finansowych (RACEF)

Warszawa, 23 lutego 2016 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Agnieszki Jastrzębskiej pt. „Cognitive Maps: Methods and Algorithms for Time Series Modelling on the Level of Concepts"

Niniejsza recenzja została przygotowana na prośbę Prodziekana Wydziału Matematyki i Nauk Informacyjnych Politechniki Warszawskiej, prof. dr. hab. Wojciecha Domitrza, wyrażoną w piśmie Nr. Syg. 1120/480/5/15 z dn. 14 grudnia 2015 r.

Ogólnie biorąc, recenzowana praca doktorska dotyczy bardzo ważnej tematyki szeregów czasowych, a więc najprościej ujmując, ciągu danych (zwykle numerycznych, a właściwie rzeczywistych w przypadku pracy), występujących w kolejnych chwilach czasowych, zwykle rozmieszczonych regularnie na osi czasu. Ponieważ, jak się popularnie mówi, „wszystko się zmienia", czyli wszędzie występuje dynamika, to znaczy w naszym kontekście występuje zmienność w czasie, więc szeregi czasowe są bardzo silnym i szeroko stosowanym modelem wielu procesów i zjawisk. Ich analiza dostarczała zarówno narzędzi do poznania tych zjawisk i procesów, co już samo w sobie jest istotne, jak też ważniejszych często z praktycznego punktu widzenia narzędzi do przewidywania tego, co się może zdarzyć w przyszłości, czyli następnych wartości szeregu czasowego dotyczącego rozpatrywanego zagadnienia czy zadania.

Nic więc dziwnego, że od dziesięcioleci, żeby nie sięgać dalej, analiza szeregów czasowych stanowiła obiekt intensywnych badań naukowych. Jasne jest, że ze względu na wstępujący tu

element przypadkowości, zakłóceń itp., naturalnym wyborem były metody probabilistyczne i statystyczne, które zresztą osiągnęły bardzo wysoki stopień zaawansowania teoretycznego i algorytmicznego, pozwalający na ich stosowanie nawet dla bardzo dużych zbiorów danych.

Niestety, zresztą tak jak w przypadku praktycznie wszystkich podejść i metod, jakie są stosowane w nauce i technice, nie zawsze zastosowanie metod statystycznych daje dobre wyniki, co zresztą widać np. w wielu przypadkach błędnych prognoz (rekomendacji) na rynkach finansowych. Powstało więc wiele alternatywnych metod prognozowania (rekomendacji), stosowanych już powszechnie na wielka skalę przez np. wielkie firmy typu Google, Amazon, czy różne inne serwisy handlowe czy aukcyjne, dla których prognozowanie tego, co klienci prawdopodobnie polubią (a więc np. kupią), jest kluczowe. Stosują one bardzo wyrafinowane i efektywne metody, analizując szeregi czasowe, czyli historię np. zakupów czy przeglądanych stron, ale rzadko stosują metody czysto statystyczne (choć oczywiście stosują w swych metodach typu rekomendacyjnego elementy podejść statystycznych), bo nie są one zwykle same najbardziej efektywne. Dobrze opisano to w bardzo znanym artykule Thomasa H. Davenporta i Jeanne G. Harris (2009) What People Want (and How to Predict It), MIT Sloan Management Review, Winter 2009. Oczywiście, trzeba to odpowiednio rozumieć, a mianowicie tak, że w obecnym czasie ważny jest nie tyle może element samego prognozowania na podstawie danych, ale – np. ze względu na olbrzymią i lawinowo rosnącą rolę sieci społecznościowych – ważniejsza jest perspektywa rekomendacji, za równo jako wyniku dostarczanego użytkownikowi, jak też jako coraz ważniejszego elementu zbioru danych wejściowych: szereg czasowy to już nie tylko „twarde" dane, czyli tradycyjnie rozumiane wartości szeregu czasowego, ale też „miękkie" dane, czyli rekomendacje (np. opinie innych członków sieci społecznosciowe), które też stanowią zriór danych szeregu czasowego, bo się pojawiają w kolejnych chwilach czasowych.

Jasne jest, że istotność szeregów czasowych, najpierw dla analizy zjawisk i procesów, które one opisują, a potem dla uzyskania narzędzi umożliwiających przewidywanie przyszłości, czyli następnych wartości szeregu czasowego, po ostatnim analizowanych, albo pewnej liczby następnych, sprawiły, że wielu badaczy starało się zaproponować wiele różnorodnych metod do tego celu. Najogólniej biorąc, chodziło najpierw o to, aby – po pierwsze – wykryć pewne ogólniejsze cechy rozpatrywanych szeregów czasowych, czyli „historii", a potem na ich podstawie móc dokonywać predykcji.

Ze względu na zainteresowanie ogólniejszymi własnościami, naturalnym wyborem było tu zastosowanie modeli o charakterze strukturalnym, umożliwiających modelowanie zależności między bardziej abstrakcyjnymi pojęciami, a potem ich analizę. Jednym z takich modeli są tzw. mapy kognitywne wprowadzone w 1948 r. przez znanego amerykańskiego psychologa Edwarda Tolmana, jako narzędzie do konstruowania i akumulacji wiedzy w otoczeniu przestrzennym. Dla potrzeb niniejszej pracy ważniejsza jest chyba jednak książka Axelrod, R. (Ed.) (1976), Structure of Decision: The Cognitive Map of Political Elites, Princeton University Press, w której idee Tolmana zostały znacznie rozszerzone i zastosowane do bardziej ogólnych zagadnień związanych z „meta-problemem", jakim jest podejmowanie decyzji, w tym przypadku głównie politycznych.

Axelrod, jak wybitny przedstawiciel nauk politycznych, nie przedstawił w zasadzie w swojej książce oraz innych pracach praktycznie żadnych bardziej zaawansowanych narzędzi formalnych i algorytmicznych, a zrobił to dopiero – dodając do tego jeszcze rozmytość, jako reprezentację nieprecyzyjności informacji, która zresztą w niejawny sposób przewija się też u Axelroda – Bart Kosko, znany specjalista z dziedziny analizy systemów i sygnałów w swej pracy Bart Kosko (1986) Fuzzy Cognitive Maps, International Journal of Man-Machine Studies, vol. 24, str. 65-75. Najogólniej biorąc, w swej pracy zaproponował on – po pierwsze – zastosowanie grafów skierowanych do reprezentacji map kognitywnych, co oczywiście umożliwiło zastosowanie potężnego aparatu formalnego i algorytmicznego teorii grafów. Po drugie, zaproponował reprezentację nieprecyzyjności, która jest w rozpatrywanej klasie zagadnień wszechobecna, poprzez wprowadzenie narzędzi teorii zbiorów rozmytych, czyli właściwie częściowej (z [0,1]) przynależności elementu do zbioru. Okazało się to bardzo dobrym podejściem, a do tego „na czasie", ze względu na przechodzenie do analizy coraz to bardziej skomplikowanych systemów, zwłaszcza z człowiekiem jako istotnym elementem, którego jedynym w pełni naturalnym sposobem komunikacji i artykulacji jest język naturalny, ze swą nieprecyzyjnością w syntaktyce i semantyce. Propozycja Kosko zyskała sobie pewną popularność i w następnych latach pojawiły się dość liczne prace ją rozwijające.

Dla recenzowanej pracy istotny jest tu jeden ze specyficznych nurtów zastosowań rozmytych map kognitywnych, a mianowicie do analizy (opisu) szeregów czasowych, a potem do użycia tego do predykcji. Idea tego podejścia pochodzi z prac prof. Pedrycza i jego współpracowników z 2008 r. i została rzeczywiście rozszerzona przez Autorkę i Promotora. Co warto podkreślić, nie ma w tej dziedzinie zbyt wielu prac w literaturze światowej, a zwłaszcza rozwiązujących zadanie w bardziej kompleksowy sposób. Pisze to dlatego, żeby od razu stwierdzić, że wybór tematyki rozprawy jest uzasadniony, a – jak napisze potem – w pracy jest wiele oryginalnych wyników.

Oceny rozprawy dokonam poprzez ocenę kolejnych rozdziałów, które zresztą tworzą logiczny ciąg rozważań, a więc taki sposób oceny wydaje mi się właściwy.

Rozdział 1, „Introduction", stanowi krótkie przedstawienie tego, czym Doktorantka będzie się w rozprawie zajmować. Po pierwsze, na początku są podane ogólne uwagi o mapach kognitywnych, które są dobrze przedstawione, mimo skrótowej formy. Następnie, Doktorantka podaje cele pracy, czyli propozycje nowych reprezentacji szeregów czasowych dla potrzeb zastosowania do ich analizy rozmytych map kognitywnych, głownie tzw. perspektywę historyczną, rozszerzającą dotychczas stosowaną tzw. perspektywę dynamiczną, następnie nową metodę konstrukcji i oceny rozmytych map kognitywnych z użyciem wprowadzonych wskaźników, a potem metody upraszczania rozmytych map kognitywnych, zaproponowane w pracy. Te nowe elementy omówię w dalszej części recenzji, ponieważ są one wyjaśnione w kolejnych rozdziałach. Na koniec podane są 3 tezy, a mianowicie, że – po pierwsze – reprezentacja szeregu czasowego i pojęć na wpływ na jakościowy i ilościowy wynik modelowania z użyciem rozmytych map kognitywnych, co wydaje się oczywiste, ale chyba to jest wynikiem tego, że w tym rozdziale wstępnym na razie nie podano jeszcze szczegółów. Po drugie, że można ocenić jakość modelowania szeregów czasowych z użyciem rozmytych map kognitywnych poprzez zastosowanie wskaźnika jakości skupienia (klastra). Po trzecie, że można oceniać i porównywać węzły rozmytych map kognitywnych przez

zaproponowane wskaźniki przynależności i odległości globalnej, a także upraszczać rozmytą mapę kognitywną poprzez usuniecie najgorszego węzła (w sensie powyższych wskaźników), bez istotnego pogorszenia dokładności modelowania.

Ogólnie biorąc, te tezy – czyli, w końcu, zawartość pracy – maja duży sens i bez wątpienia stanowią duże i ambitne wyzwanie.

Reszta rozdziału to ogólne uwagi na temat metod jakościowych i ilościowych, co ma sens w przypadku stosowania rozmytych map kognitywnych, a następnie podsumowanie kolejnych dalszych rozdziałów.

Autorka dobrze przedstawia historię map kognitywnych i motywację, która doprowadziła do ich wprowadzenia. Jest to zrobione poprawnie, choć może warto byłoby dokładniej omówić następującą rzecz. A mianowicie, już na stronie 9, na samym początku, pisze się że mapa kognitywna (jeszcze nie rozmyta!) jest reprezentowana przez graf skierowany ważony, zwykle z wagami rzeczywistymi z [0.1]), ale także z wagami +1 lub -1. A dalej, gdy już się przechodzi do rozmytych map kognitywnych, tez się pisze o reprezentacji przez grafy skierowane ważone, też z wagami z [0,1]. Czym się więc różnią rozmyte mapy kognitywne od zwykłych oprócz interpretacji czy użycia określeń werbalnych i słownika, co podano na str. 11? Nasuwa się też następne pytanie: w ogólnym opisie map kognitywnych na str. 9 wspomina się tylko o grafach, a już na rys. 2.1 na str. 10 mamy mutligraf jako przykład rozmytej mapy kognitywnej. Czy to znaczy, że w zwykłych mapach kognitywnych (nierozmytych) nie mogą występować w ogólności multigrafy? Dla jasności dałbym tu jeszcze od razu przykład, co się rozumie jako „pojęcie (ang. concept)", najlepiej od razu z dziedziny szeregów czasowych. Ponadto, byłbym uważny z użyciem słowa „causality", bo z filozoficznego punktu widzenia, bardzo często trudno stwierdzić, ze jedna rzecz powoduje inną, mimo, że są związane. Wyjaśniłbym może dokładniej, co to jest „cel" (ang. target) t i skąd jest znany. Są to oczywiście uwagi drobne, mające na celu uzyskanie większej jasności wykładu.

W dalszej części rozdziału Autorka ładnie podsumowuje metody uczenia rozmytych sieci kognitywnych, zarówno automatyczne, zwłaszcza z użyciem metod obliczeń ewolucyjnych, jak i „ręczne" przez eksperta, co jest często lepszym, a nawet jedynym sposobem, zwłaszcza w przypadku bardziej „wyrafinowanych" „pojęć", do jakich te mapy kognitywne w końcu są przewidziane. Autorka słusznie podaje, że w przypadku dokonywania tego przez człowieka jest to możliwe dla 5-10 węzłów. I tu się narzuca naturalne pytanie: czy nie jest tak, bo obowiązuje słynna magiczna liczba Millera 7±2?

Przegląd metod uczenia rozmytych map kognitywnych, zwłaszcza relacja z uczeniem zgodnie z zasadą Hebba jest dobrze opisany. Drobne pytanie, które tu się nasuwa, to występujące na str. 18 okreslenie „zmiana pojęcia" (ang. change of concept). Nie jest to jasne, co wynika ze zbyt dużego – moim zdaniem – skrótu myślowego poprzez nieokreślenie, co się przez „pojęcie" rozumie. Jeśli odpowiada mu liczba rzeczywista, to zmiana jest oczywista, ale jeśli nie (a chyba tak powinno być), to co? Na stronie 31 mówi się, że pojęcie jest reprezentowane przez wektor n-elementowy (tu dwuelementowy), a więc, co się rozumie przez tę zmianę?

Zawarte w pkt. 2.3.1 rozważania na temat reprezentacji poprzez rozmyte wartości w szeregu czasowym i zastosowanie metody klasteryzacji *fuzzy c-means,* jest dobre. Uwagi o prototypach na str. 33 są celne, a uwzględnienie wartości i jej zmiany, czyli dwu wymiarów, ma sens, tak samo jak uwaga o tym, że rozmycie jest tu przejawem granularyzacji.

Podsumowując, rozdział ten jest dobrze napisany i stanowi dobra podstawę do dalszych rozdziałów, w których Doktorantka przedstawiam już swoje oryginalne propozycje.

Rozdział 3 „Representation of concepts and time series", jest ważnym rozdziałem w pracy. Po pierwsze, rozszerza się tradycyjne podejście do reprezentacji szeregu czasowego, zresztą ogólne, obowiązujące zarówno dla reprezentacji i analizy szeregów czasowych jak dla zastosowania do tego celu rozmytych map kognitywnych, czyli przez opis szeregu czasowego jako kolejnych wartości w danej chwili i ich zmian, czyli różnic z wartościami w chwili poprzedniej. To oczywiste podejście działa zresztą dobrze, bo jest stosowane w praktycznie wszystkich dotychczasowych pracach na temat zastosowania rozmytych map kognitywnych do modelowania szeregów czasowych. W pracy używa się do określenia tych wartości i ich zmian terminów „amplituda" i „zmiana amplitudy". W pracy proponuje się rozszerzenie tego powyższego podejścia, zwanego historycznym, na nowe podejście, zwane dynamicznym, w którym można jeszcze uwzględnić zmianę zmiany itd. Opis zastosowania metody klasteryzacji do wyznaczania pojęć w tym opisie jest dobry i poglądowy, choć myślę, że ponieważ mamy wartości rzeczywiste w rozpatrywanym szeregu czasowym, to warto byłoby do tych pojęć (klastrów) przypisać etykiety w postaci określeń lingwistycznych, z użyciem np. określeń typu „około…", „nieco mniej niż…", „znacznie więcej niż…", „średnie", „małe" itp. Byłoby to chyba z dużym pożytkiem dla jasności wykładu i pokazałoby łatwiej oryginalność uzyskanych wyników. Autorka o tym zresztą pisze w Podrozdziale 4.4, ale chyba dobrze byłoby to wspomnieć od razu tu, lub nawet wcześniej.

Podrozdział 3.3. jest poświęcony bardzo ważnemu zagadnieniu granularności w reprezentacji szeregów czasowych. W zasadzie już zastosowanie rozmytych wartości elementów szeregów czasowych oraz zastosowanie klasteryzacji w celu określenia pojęć są już znakomitymi przykładami granularności. W niniejszym podrozdziale Autorka dokładniej omawia problem granularności w aspekcie szeregów czasowych, co jest przedstawione poglądowo na rys. 3.5 na str. 47. Jest to zrobione dobrze, choć chętnie bym widział to kilka prostych przykładów. Chodzi o to, że dla czytelnika, który zna i jest zwolennikiem podejścia do reprezentacji i obliczeń granularnych pochodzącego od prof. Pedrycza, na którym ta praca jest oparta, jest to jasne, ale np. dla zwolenników podejścia opartego raczej na teorii zbiorów przybliżonych, np. zawartego w pracach prof. Skowrona, niektóre elementy mogą nie być do końca jasne.

Podsumowując, Rozdział 3 jest bardzo dobrze napisany, zawiera zarówno dobry przegląd dotychczasowych wyników z literatury, jak oryginalne propozycje i wyniki Autorki.

Rozdział 4, „Fuzzy cognitive map design", jest ważnym rozdziałem w pracy. Na początku, Autorka pisze dokładniej i tym, że ekstrakcja pojęć jest podstawowym elementem procesu projektowania rozmytej mapy kognitywnej. Dalej rozwija to, odnosząc się do tego, jak te pojęcia maja się do reprezentacji i granularności szeregu czasowego. Jest to bardzo cenne

i w dużym stopniu wyjaśnia to, co napisałem, że na początku dobrze byłoby wyjaśnić, czy może nawet najlepiej dać przykład, co to są w tym kontekście „pojęcia".

Autorka dalej omawia metodę ekstrakcji pojęć, którą stosuje w pracy. Jest to metoda oparta na fundamentalnej pracy Stacha i in., pochodzącej z zespołu prof. Pedrycza, która dla reprezentacji typu „amplituda – zmiana amplitudy" (chyli h = 2) polega ogólnie na zastosowaniu metody *fuzzy c-means* do ekstrakcji centroidów dla amplitudu i zmiany amplitudy, a następnie na zastosowaniu do nich iloczynu kartezjańskiego.

Ta procedura jest uzasadniona i działa dobrze, a Autorka uogólnia ją na h > 2, co jest na pewno elementem nowości i pozwala Jej na użycie reprezentacji „amplituda – zmiana amplitudy – zmiana zmiany amplitudy", a wiec dla h = 3. Wyniki, przedstawione na rys. 4.1 na str. 60 są obiecujące.

W Podrozdziale 4.2 Autorka przedstawia ocenę jakości rozmytych map kognitywnych dla dwu scenariuszy ekstrakcji pojęć: tradycyjnej metody zaproponowanej przez Stacha i in. i metody polegającej na klasteryzacji danych h-wymiarowych, opisanej w recenzowanej pracy i nazywanej metodą bezpośrednią. Najpierw, Autorka stosuje elementy znanej metody oceny rozmytej mapy kognitywnej autorstwa Pedrycza i Oliveiry, opartej na dwu kryteriach: liczbie klastrów (tu: pojęć) i współczynniku rozmycia (zwykle = 2, choć nie zawsze), a następnie na kryterium rekonstrukcji, które mówi, jak dobrze granuły informacji reprezentują oryginalne dane. Stosuje się to do wyżej wspomnianych dwu przypadków i jest to dobra metoda, natomiast pewną niedogodnością dla czytelnika jest fakt, że na str. 64 i 65 rysunki kolorowe są niejasne, ponieważ są dość słabo czytelne. Ale to jest niezbyt istotna uwaga, nie merytoryczna, a raczej redakcyjna. W dalszej części podrozdziału Doktorantka stosuje do oceny inna metodę, która w zasadzie dotyczy wskaźników trafności (ang. validity) klastrów, ale w końcu zaproponowana w pracy metoda zawiera jako swój element kluczowy zastosowanie *fuzzy c-means.* Ta część pracy jest dobra i zawiera ciekawe i oryginalne połączenie zarówno elementów znanych z literatury, jak nowych propozycji, które wynikają z rozszerzenia na h > 2 wymiarów.

Podrozdział 4.3 jest poświęcony niezwykle ważnemu zagadnieniu upraszczania rozmytych map kognitywnych. Mimo, że w ogólności te mapy nie są raczej olbrzymie, co wynika z ich specyfiki, nawet mała lub średnia ich wielkość może być zbyt trudna dla człowieka, dla którego w końcu te mapy są przeznaczone. Zasadne jest więc rozpatrzenie możliwości ich uproszczenia. Autorka robi to we właściwy sposób, a mianowicie: wie, co pokazały wyniki z poprzednich rozdziałów, że jej metoda polegająca na klasteryzacji danych h-wymiarowych działa dobrze, więc ją stosuje, a następnie stara się usunąć z mapy jakieś węzły. Naturalnym podejściem jest tu usunięcie słabych węzłów i krawędzi (łuków), a można to zrobić – oczywiście – przed i po nauczeniu mapy, czyli a piori lub a posteriori. Ciekawe są tu dwa punkty, 4.3.1 i 4.3.2, poświęcone ważnemu zagadnieniu oceny i upraszczania rozmytej mapy kognitywnej, stosując właśnie podejście zarówno a priori jak a posteriori, czyli przed i po uczeniu mapy. Trochę nie jest dla mnie jasne, dlaczego w tytule punktu 4.3.1, poświęconemu analizie a priori, umieszczono tylko „upraszczanie (ang. simplification)", a w tytule punktu 4.3.2 jest także „ocena (ang. evaluation)", a potem też upraszczanie. W obu przypadkach dokonuje się przecież także oceny.

Pozdrozdział 4.4 jest, moim zdaniem bardzo ważny, co zresztą wspomniałem już na początku recenzji, ponieważ pojęcia, a więc klastry powinny – w obszarze zastosowań (rozmytych) map kognitywnych – być intuicyjnie zrozumiałe, a nie dotyczyć jakichś abstrakcyjnych dla człowieka pojęć. Wprowadzenie etykiet lingwistycznych, jak to robi Autorka (MH+, M+, M+, S+, .. – str. 78), jest bardzo dobrym rozwiązaniem, można by ewentualnie dodać, że te etykiety są zgodne ze słynną, pochodzącą z badań psychologicznych magiczną liczbą Millera 7±2, stosowana powszechnie np. we wszelkich interfejsach typu człowiek – komputer. Uwaga o niewłaściwie zaprojektowanej mapie, ilustrowana na rysunku 4.10 na str. 85 jest ciekawa i celna, choć może zbyt mała wielkość rysunku nie pozwala na zauważenie czarnych kwadratów. Może, jak w niektórych poprzednich rysunkach, kolor byłby to lepszy.

Pozdrozdział 4.5 jest poświęcony bardzo ważnemu zagadnieniu modelowania szeregów czasowych z użyciem rozmytych map kognitywnych, gdy interesują nas występujące tam trendy. Jest to dobrze zrobione, choć wydaje mi się, że gdyby Autorka uwzględniła wyniki prac na temat segmentacji szeregów czasowych, np. grupy McKeogha czy inne prace o segmentacji szeregów czasowych, to by to było korzystne dla jasności wykładu.

Podsumowując, Rozdział 4 jest bardzo dobrze napisany, zawiera zarówno dobry przegląd dotychczasowych wyników z literatury, jak oryginalne propozycje i wyniki Autorki.

Rozdział 5, „Presentation of empirical results: time series modeling with fuzzy cognitive maps", poświęcony jest w zasadzie prezentacji wyników bardzo rozbudowanych testów numerycznych, jakie Autorka przeprowadziła. Najpierw jest dokładnie opisane zadanie, a więc rozmiar tych map, od 3 do 22 węzłów, w zależności od przypadku, czyli „wielkości historii", liczby pojęć (3-5) itp. Jest to rozsądne. Wybór pakietu R, PSO jako metody znajdowania optymalnego (dobrego) itp. jest też rozsądny. Wybór przykładów testowych, czyli dla „syntetycznego" (miałem już poprzednio pewne wątpliwości, czy to dobre słowo) i rzeczywistego szeregu czasowego jest dobry, choć – jak to jest we wszystkich tego typu zadaniach w których występuje ocena człowieka – przyjęcie tylko 3 wartości wymaga komentarza, bo jest to liczba mała, choć jest wiele przypadków, gdy taka – jakościowa właściwie – ocena jest bardzo uzasadniona. Drugi przypadek, z 5 wartościami, jest już „zgodny" ze wspomnianymi już wynikami psychologicznymi. Tablica 5.1 na str. 93 jest bardzo użyteczna, bo jasno podaje, co będzie w eksperymentach numerycznych.

W dalszej części rozdziału Autorka przedstawiła wyniki obliczeń, co jest zrobione dobrze, może szkoda, że wykresy są zbyt małe i czarno-białe, więc trudno dostrzec od razu wyniki, ale w opisie to jest wyjaśnione. Następne części rozdziału, czyli: Podrozdział 5.4, o porównaniu perspektywy tzw. historycznej i dynamicznej, Podrozdział 5.5, o wpływie zastosowanej procedury ekstrakcji pojęć, Podrozdział 5.6, o ocenie jakości (w tytule jest o ocenie numerycznej, ale przecież Autorka tylko taką rozpatruje, bo nie ma w zasadzie w pracy oceny jakościowej) projektowania rozmytej mapy kognitywnej z punktu widzenia wskaźnika przynależności i odległości globalnej, oraz Podrozdział 5.7, o drodze do optymalnej rozmytej mapy kognitywnej dla rzeczywistych szeregów czasowych, wyjaśniają dokładniej szczegóły zastosowanego podejścia, które mogły nie być do końca jasne, czytając poprzednie rozdziały.

Podsumowując, Rozdział 5 jest bardzo dobrze napisany, zawiera wyniki rozbudowanych eksperymentów numerycznych i pokazuje efektywność oryginalnych propozycji i wyników Autorki.

Rozdział 6, „Open research problem: from fuzzy to granular cognitive maps in time series modeling" jest bardzo ciekawy i ważny. Autorka wskazuje poprawnie, że następnym etapem w Jej kierunku badawczym, czyli zastosowaniu rozmytych map kognitywnych do modelownia szeregów czasowych powinno być przejście do szerszego zastosowania podejścia granularnego, przez przejście do „granularnych map kognitywnych", bo przecież pewne elementy są już bez wątpienia stosowane w pracy. Jest to ze wszech miar uzasadnione. W tych otwartych problemach, które Autorka podaje, brakuje mi może odniesienie się do tego, co już wspomniałem, a mianowicie prac na temat segmentacji szeregu czasowego, czyli podziału na jego części (obejmujące wiele chwil czasowych), które wykazują podobne zachowanie, jak np. silny wzrost czy słaby spadek, oczywiście w pewnym sensie uśrednionym, bez uwzględniania jakichś np. odbiegających od tego trendu wartości, byleby ich nie było zbyt wiele. To jest podstawowa rzecz i nie można jej ująć tylko poprzez przyjęcie zastosowanej przez Autorkę tzw. perspektywy historycznej i dynamicznej, które są zresztą ciekawe i oryginalne. Podejście to jednak wymagałoby chyba przeformułowania podstawowego modelu analizy szeregu czasowego z użyciem rozmytej mapy kognitywnej, stosowanego przez Autorkę i może wychodzi to w związku z tym poza zakres przyjętego podejścia.

Moja ocena tego rozdziału jest także bardzo pozytywna.

Ostatnia część pracy, Rozdział 7, „Summary", bardzo zwięźle i dobre podsumowuje wyniki pracy i dobrze podkreśla oryginalny wkład Autorski.

Przegląd literatury jest bardzo dobry, jeśli chodzi o zastosowanie rozmytych map kognitywnych do modelowania i analizy szeregów czasowych, podstawowe prace dotyczące podejścia statystycznego, natomiast pewien niedosyt pozostawia wspomniana już przeze mnie zbyt mała liczby pozycji literatury poświęconych nowoczesnym podejściom do analizy szeregów czasowych, które są szeroko stosowane i znane, choć – trzeba uczciwie przyznać – wychodzą poza nurt pracy.

Podsumowując, praca zawiera oryginalne propozycje oraz ich analizę teoretyczną i algorytmiczną, a także przeprowadzone na szeroka skalę eksperymenty numeryczne. Z tych głównie powodów moja ocena recenzowanej rozprawy doktorskiej jest zdecydowanie pozytywna. Podkreślić też trzeba rolę Promotora, zwłaszcza w zainspirowaniu Doktorantki do podjęcia prac w tym nowoczesnym i ambitnym temacie, a potem dobra opiekę naukową nad realizacją pracy.

Praca spełnia, moim zdaniem, wszelkie wymagania ustawowe i zwyczajowo przyjęte w polskim środowisku naukowym stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o jej przyjęcie oraz dopuszczenie do publicznej obrony. Jednocześnie, proponowałbym – w przypadku dobrego przebiegu obrony – rozpatrzenie wyróżnienia pracy. Po pierwsze, Kandydatka

wykazała się erudycja i znajomością dziedziny rozmytych mam kognitywnych oraz ich zastosowania do analizy szeregów czasowych. Po drugie, uzyskała w tym zakresie oryginalne wyniki. Po trzecie, oprogramowała i przetestowała w wyczerpujący sposób zaproponowane metody.

J. Kacprzyk