16 lutego 2019

Prof dr hab. inż. Ewa Skubalska-Rafajłowicz
Katedra Informatyki Technicznej
Wydział Elektroniki, Politechnika Wrocławska

Recenzja pracy doktorskiej mgr Aleksandra Cisłaka pt. Interpreting and Evaluating Crisp, Balanced, and Interval-based Models of Cognitive Maps in the Context of Time Series

Przedstawiona do oceny praca doktorska mgr Aleksandra Cisłaka pt. Interpreting and Evaluating Crisp, Balanced, and Interval-based Models of Cognitive Maps in the Context of Time Series została napisana w języku angielskim i wydrukowana w formie książkowej przez Wydział Matematyki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej. Muszę tu wspomnieć, że w lutym 2016 roku napisałam recenzję pracy doktorskiej pani dr A. Jastrzębskiej, która pełni rolę promotora pomocniczego w obecnym przewodzie doktorskim. Praca ta nosiła tytuł "Cognitive Maps: Methods and Algorithms for Time Series Modelling on the Level of Concepts" i, jak łatwo zauważyć, dotyczyła tego samego narzędzia w sensie ogólnym (map kognitywnych) i tego samego obiektu modelowania czyli szeregów czasowych. Napisałam wtedy, że w mojej ocenie, zaproponowana w doktoracie dr Jastrzębskiej metoda projektowania FCM na poziomie koncepcji (pojęć) wyrażanych w postaci zmiennych lingwistycznych ma duży potencjał rozwojowy.

Przedmiotem aktualnej pracy doktorskiej pana mgr Aleksandra Cisłaka są, jak sam twierdzi, "narzędzia do konstrukcji, przetwarzania oraz oceny wybranych typów map kognitywnych w kontekście modelowania szeregów czasowych na poziomie pojęć". Rozwój takiego narzędzia modelowania jakim są mapy poznawcze, niewątpliwie mieści się w dyscyplinie Informatyka.

Przejdę teraz do omówienia zawartości recenzowanej rozprawy doktorskiej. Praca pana mgr Aleksandra Cisłaka składa się z 7 rozdziałów, w tym rozdziału zawierającego podsumowanie pracy, spisu cytowanej w rozprawie literatury, dwu dodatków oraz standardowych elementów takich jak streszczenia pracy w języku polskim i angielskim, spis treści, spisy ilustracji oraz tabel oraz krótki spis stosowanych w pracy skrótów.

Omówienie zawartości doktoratu

Przejdę teraz do krótkiego omówienia zawartości rozprawy.

W pierwszym rozdziale (Wstęp) autor przedstawia cele i zakres pracy oraz motywacje, które skłoniły Go do zajęcia się tematyką modelowania szeregów czasowych z użyciem map kognitywnych (MK).

We wstępie sformułowane zostały trzy hipotezy badawcze, które w dość ogólny sposób przedstawiają problem badawczy rozwiązywany w rozprawie. Następne podrozdziały zawierają opis notacji stosowanej w pracy oraz podstawowe informacje dotyczące takich pojęć jak: graf, zbiór rozmyty, klasteryzacja (łącznie ze schematem algorytmu k-średnich i jego rozmytej wersji) oraz optymalizacja.

Rozdział drugi zawiera ogólne i skrótowe przedstawienie problematyki analizy szeregów czasowych oraz przedstawia aktualny stan wiedzy na temat map kognitywnych i rozmytych map kognitywnych oraz ich zastosowania w modelowaniu szeregów czasowych. W szczególności zostały wskazane prace źródłowe na których opiera się rozprawa. Rozdział ten zawiera ponadto przegląd różnych typów map poznawczych oraz, co najważniejsze, wyjściowy opis używanego modelu mapy kognitywnej i sposobu przetwarzania numerycznych wartości szeregu czasowego w ciąg wybranych konceptów (pojęć tworzących mapę). Rozdział uzupełnia przedstawienie metodyki wyznaczania parametrów mapy, i związanych z tym algorytmów optymalizacji globalnej (algorytmy genetyczne, ewolucja różnicowa itp.) Dodatkowe informacje na temat stosowanych w pracy metod optymalizacji zawarte zostały w Dodatku B

Rozdział trzeci koncentruje się na metodach konstrukcji MK uwzględniających interpretację przetwarzanych danych. Tak w przybliżeniu można przetłumaczyć tytuł rozdziału. Rozdział w tym zakresie przedstawia bardziej intencje autora niż konkretne rozwiązania. Nic w tym dziwnego, bo interpretacja danych jest domena użytkownika i pochodzi spoza działającego automatycznie systemu. W rozdziale 3 przedstawiony został przegląd źródłowych prac, w których zaproponowano metody opisu szeregów czasowych na wyższym poziomie abstrakcji. Doktorant wskazuje (w kontekście potencjalnej interpretacji) potrzebę rozszerzenia podstawowych modeli (wyostrzonych i rozmytych MK) o mapy zrównoważone i oparte na wartościach przedziałowych. Wśród narzędzi służących temu celowi doktorant wymienia kwantyzację wag oraz operowanie małymi rozmiarami map (tylko kilka wierzchołków). Rozumiem intencje doktoranta, jednakże odnośne podrozdziały (3.2 i 3.3) lepiej spełniłyby swoja role w dalszych rozdziałach rozprawy.

W rozdziale 4 doktorant wprowadził zrównoważone (balanced) mapy poznawcze, w których poziomy aktywacji są potencjalnie reprezentowane reprezentowane wartościami ujemnymi. Obejmuje to przetwarzanie takich map w oparciu o wartości trójwalentne, a także o zrównoważone normy i konormy.

Doktorant zaproponował także metodę generowanie zrównoważonego poziomu aktywacji (przyjmujacego wartości w przedziale (-1,1]).

Rozdział 5 zawiera nowe wyniki doktoranta dotyczące map poznawczych, w których poziomy aktywacji (wejścia i wyjścia mapy) i wagi opisane są za pomocą przedziałów liczbowych. W pracy sformułowano 5 alternatywnych miar podobienstwa, które zostały w następnym, poświęconym eksperymentom obliczeniowym, rozdziale zastosowane zarówno w procesie uczenia (wyznaczania wag) jak i w procesie testowania jakości konkretnej wersji interwałowej MK.

Rozdział 6, uzupełniony o Dodatki A i B zawiera przegląd przeprowadzonych eksperymentów obliczeniowych. Badania wykonano dla sztucznych (symulowanych) szeregów czasowych oraz danych rzeczywistych zaczerpniętych z literatury i często stosowanych przy porównywaniu algorytmów modelowania i predykcji.

W pracy autor powołuje się na dwa różne sposoby analizy szeregu czasowego nazywane perspektywą dynamiczną i perspektywą historyczną i opracowane w doktoracie dr A. Jastrzębskiej. Z mojego punktu widzenia są to dwa warianty przestrzeni fazowej stosowane w analizie dyskretnych obiektów dynamicznych.

Rozprawę kończy rozdział 7, w którym autor podsumował wyniki uzyskane w pracy, a także wymienił widziane przez Niego dalsze kierunki rozwoju MK.

Omówienie i ocena uzyskanych w rozprawie wyników

Bardzo ważną rolę w uzyskaniu pozytywnych rezultatów odgrywa w pracy wybór odpowiednich metod optymalizacji stosowanych w procesie uczenia i widać wyraźnie, że problemowi temu doktorant poświęcił wiele uwagi. Również w podsumowaniu rozprawy autor podkreślił, że optymalizacja i testowanie MK jest bardzo kosztownym procesem zarówno pod względem wymaganych zasobów obliczeniowych jak potencjalnych wariantów parametryzacji. Moim zdaniem, problem doboru adekwatnych narzędzi optymalizacji (metod, kryteriów) powinien pozostać nadal tematem otwartym. Mimo wcześniejszych doświadczeń eksperymentalnych, na które powołuje się doktorant (praca [20]), warto co najmniej starannie prześledzić metody optymalizacyjne stosowane efektywnie w innych rodzajach problemów opartych na uczeniu maszynowym.

Rozpatrywane w pracy modelowanie typu MK stawia przed projektantem nieco inne cele niż ma to miejsce w stosowanych powszechnie w różnych

dziedzinach metodach modelowania szeregów czasowych: analizie statystycznej, analizie dynamiki procesów czy analizie procesów stochastycznych.

Z punktu widzenia zawartości pracy należy jednak pamietać, że modele szeregów czasowych możemy podzielić na modele predykcyjne i modele symulacyjne. Już same nazwy wskazują odmienny zakres zastosowań obu typów modeli. Z dużym uproszczeniem można powiedzieć, że modele predykcyjne dają prognozy krótkoterminowe natomiast modele symulacyjne pozwalają na przewidywanie zachowania systemu w dłuższym okresie czasu. Modele predykcyjne są na ogół łatwiejsze do uzyskania i charakteryzują się na ogół dobrą dokładnością, o ile składnik losowy nie odgrywa w procesie zbyt dużej roli. To doprecyzowanie wydaje mi się istotne. Samo określenie koncentrowanie się na modelu jako reprezentacji danych ("data representation scheme itself") może być realizowane w różny sposób w zależności od celów, które przyświecają modelowaniu. Już wstępny ogląd pracy pokazuje, że doktorant zajmuje się w niniejszej rozprawie modelami predykcyjnymi, i w taki właśnie sposób są te modele testowane. Podstawową różnicą w stosunku do metod klasycznych jest fakt, iż modelowaniu podlegaja nie konkretne (ostre) wartości generowane przez szereg czasowy, ale ich wielowymiarowe opisy powstałe w wyniku rozmytej kwantyzacji punktów pochodzących z odpowiedniej przestrzeni fazowej (perspektywa historyczna lub dynamiczna)

Doktorant w nieco uproszczony sposób patrzy na modelowanie szeregów czasowych. Niektóre z ważnych nazw pojawiają się w wstępie pracy (rozdział1), niektórych ważnych takich jak na przykład procesy stochastyczne czy procesy chaotyczne niewatpliwie brakuje. Nie robię z tego jakiegoś poważnego zarzutu, niemniej jednak przedstawiony w pracy przegląd problemów związanych z szeregami czasowymi wydaje się trochę przypadkowy. Podejrzewam, że wynika to z pewnego pośpiechu w redagowaniu pracy. Zapewne z tego samego powodu (czyli z pośpiechu w redagowaniu pracy) wynika sposób podania w rozdziale 4 definicji normy i konormy (str. 44). Podobnie, podzielenie algorytmów optymalizacji na gradientowe i meta-heurystyki jest nieco zbyt dalekim uproszczeniem (str 12)

Metody modelowania szeregów czasowych dzieli się zwykle na parametryczne i nieparametryczne.

Pytania i uwagi:

1. Czy doktorant badał także zdolności predykcyjne MK na kilka kroków (więcej niż 3) do przodu ? Dopiero taka predykcja może coś mówić na temat jakości modelu w klasycznym ujęciu. Sądze, że podobnie jest w przypadku MK. Analiza krótkoterminowa (na 1-3 kroków na przód) nie jest często w stanie powiedzieć zbyt wiele o obserwowanym procesie, jeśli jest on tylko

nieco bardziej złożony (patrz procesy chaotyczne i przewidywanie pogody).

2. W przypadku zastosowania predykcyjnego na więcej niż jeden moment czasowy na przód proces aktualizacji wyjść (aktywacji) przebiega w sposób synchroniczny. Czy rozpatrywano także wariant asynchroniczny ?

3. W opisie eksperymentów pojawiają się niejasności dotyczące definicji wyznaczanych błędów. Można stosować różne kryteria oceny predykcji (niezależnie od tego co jest przedmiotem predykcji): MSE (mean squared error), MAE (mean absolute error), MAPE (mean absolute percentage error), MASE (mean absolute scaled error). Wszystkie te wartości są nieujemne. Na rysunkach 6.2 i 6.3 pojawiają się jednak błędy mniejsze od zera. Nie wiem co autor rozumie przez "MSE absolute error " i dlaczego może on przyjmować wartości mniejsze od zera? Podobna uwaga dotyczy też podejścia interwałowego (patrz str 91 i 108-110).

4. Proces projektowania MK odbywa się na podstawie numerycznych danych wielokrotnie dzielonych na rozłączne ciągi - uczący i testujący (procedura kroswalidacji). Pozwala to analizować większą liczbę eksperymentów w odniesieniu do tych samych danych. Dane te są jednak są uporządkowane (jako pochodzące z sekwencji czasowych) i w rezultacie, w niektórych przypadkach testowanie odbywa się na danych poprzedzających w czasie dane uczące. Czy doktorant zaobserwował jakieś różnice w wynikach predykcji na podstawie poprzednich danych oraz na podstawie przyszłych obserwacji. Do tego samego stanu (konkretnej wartości, podciągu, również w postaci przybliżonego opisu) mogą prowadzić różne przebiegi historyczne i wtedy trudno o jednoznaczność).

5. W rozdziale 2 (str 18) doktorant utożsamia pojęcia korelacji i związku przyczynowego-skutkowego. Niezerowa korelacja może jedynie sugerować istnienie związku przyczynowego-skutkowego, ale go nie dowodzi. Nawet odpowiednie następstwa czasowe pomiędzy korelatami są tylko podstawa do postawienia hipotezy o istnieniu takiego związku. Korzystanie z korelacji sugeruje, że W jest macierzą symetryczną, w przypadku związków przyczynowo-skutkowych symetria nie powinna być wymagana (i rzeczywiscie w pracy nie jest).

6. Wyznaczenie zgodności (podobieństwa) uzyskanych rozwiazań interwałowych zawsze stanowi problem w systemach, w których dane mają charakter interwałowy. Dotyczy to szczególnie rozmytych systemów decyzyjnych (np. metody Topsis). Warto by było dokonać porównań w odniesieniu do stosowanych metod oceny podobieństwa. Dalej, porównywanie wielkości błędów w mapach zrównoważonych i interwałowych wydaje mi się co najmniej dyskusyjne, gdyż dotyczą one całkiem innych obiektów jakimi są wyjścia z

konkretnych typów MK oraz innych postaci funkcji błędów.

Uwagi szczegółowe o charakterze raczej redakcyjnym: Praca zredagowana jest z duża starannością i poprawnie językowo (o ile jestem w stanie to ocenić jako osoba dla której język angielski nie jest językiem ojczystym). Niemniej jednak mam kilka uwag dotyczących konkretnych zapisów, notacji itp.

1. Po co autorowi konstrukcja "vector of vectors" (lista list) ? W pracy początkowo występują wektory wierszowe, ale dalej te same obiekty pojawiają się w formie wektorów kolumnowych zestawionych w macierze, co jest zapisem standardowym.

2. Notacja N^+ jako oznaczenie zbioru liczb naturalnych raczej nie jest standardem (str 6)

3. set of vertexes $\rightarrow$ set of vertices (str 6)

4."multidimensional vector" to raczej nadmiarowe określenie.

5. AR , ARMA (wypadałoby też MA) to modele a nie algorytmy (str 15)

6. W odniesieniu do algorytmów genetycznych czy ewolucyjnych mówi się raczej o maksymalizacji funkcji przystosowania (str 32). Sformułowanie "With each successive iteration, the algorithm progresses towards a global optimum" nie jest prawdziwe w ogólnym przypadku, czyli w odniesieniu do optymalizacji globalnej w problemie z wieloma ekstremami lokalnymi i dla dowolnego rozwiązania startowego.

Podsumowanie merytorycznej oceny pracy: W pracy przedstawiono dalsze kolejne kroki w rozwoju metodologii projektowania MK z zastosowaniem do modelowania szeregów czasowych na poziomie konceptów. Założono, że dane wejściowe to jednowymiarowy szereg czasowy powstały z obserwacji równo oddalonych w czasie pewnego procesu o nieznanym charakterze i własnościach. Doktorant oparł analizę szeregu czasowego na tak zwanej perspektywie historycznej badanej uprzednio w doktoracie dr A. Jastrzębskiej.

Do istotnych badawczych osiągnięć dotoranta należy zaliczyć: a) opracowanie metod tworzenia zrównoważonych map kognitywnych oraz algorytmu rozmytej klasteryzacji, w którym stopień prznależności mieści się w przedziale (-1,1].

b) opracowanie metod projektowania przedziałowych map kognitywnych i metod wyznaczania zgodności (podobieństwa) uzyskanych rozwiazań inter-

wałowych, gdzie rozważano i analizowano wiele konkurencyjnych wariantów.

W obu przypadkach zaproponowane metody zostały zilustowane bogatym materiałem obliczeniowym. W pracy rozważano różne warianty alternatywnych rozwiązań, które następnie zweryfikowano w badaniach symulacyjnych. Z merytorycznego punktu widzenia już materiał dotyczący zrównoważonych map kognitywnych mógłby stanowić podstawę do ubiegania się o stopień doktora w dyscyplinie informatyka. Moje uwagi czasami lekko krytyczne, a w większości będące zaproszeniem do naukowej dyskusji, nie mają wpływu na moją zdecydowanie pozytywną ocenę przedstawionej przez mgr Aleksandra Cisłaka rozprawy.

Konkluzja:

Opierając się na przeprowadzonej powyżej analizie rozprawy stwierdzam, że praca doktorska pana mgr Aleksandra Cisłaka spełnia, nawet z pewnym nadmiarem, wymagania stawiane rozprawom doktorskim w aktualnej *Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki.* Praca stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie informatyki.

Wnioskuję o przyjęcie recenzowanej pracy doktorskiej i dopuszczenie mgr Aleksandra Cisłaka do dalszych etapów przewodu doktorskiego, w tym do publicznej obrony pracy.

Ewa Skubalska-Rafajłowicz