

## **Recenzja rozprawy doktorskiej**

*mgr Adama Marszałka*

**zatytułowanej:**

### ***Skierowane liczby rozmyte w modelowaniu i symulacji finansowych szeregów czasowych***

#### **1. Problem badawczy i jego znaczenie**

Niniejsza rozprawa dotyczy metod analizy finansowych szeregów czasowych, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki modelowania niepewności. Jak słusznie zauważa autor rozprawy (na stronach 33-34), w praktyce nigdy nie ma pewności co do wszystkich czynników wpływających na dany instrument finansowy, zatem naturalne jest rozpatrywanie danych finansowych jako obarczonych niepewnością. Mgr Marszałek reprezentuje tę niepewność przy użyciu modeli rozmytych.

Jako punkt wyjścia dla jakościowej analizy szeregów finansowych, przyjęty został popularny model świecy japońskiej, który podsumowuje dynamikę szeregu w danym przedziale czasowym biorąc pod uwagę cenę otwarcia i zamknięcia, cenę minimalną i maksymalną, a także trend. W kolejnym kroku, kandydat proponuje wzbogacenie tak rozumianego podsumowania poprzez rozmycie elementów wykresu świecowego, z jednoczesnym zachowaniem oryginalnej informacji o trendzie.

Powyższe podejście prowadzi do reprezentacji szeregu w przedziale czasowym jako liczby rozmytej, która okazuje się bardziej elastyczna od pierwowzoru świecy japońskiej w procesach modelowania i symulacji dynamiki instrumentów finansowych. Dodatkowo, autor interpretuje wyżej wspomniany trend jako skierowanie, czy też orientację liczby rozmytej. Prowadzi to do opracowania intuicyjnego przykładu praktycznego zastosowania tak zwanych skierowanych liczb rozmytych (nazywanych także czasem uporządkowanymi liczbami rozmytymi lub liczbami rozmytymi Kosińskiego).

W kolejnych rozdziałach rozprawy, kandydat wykazuje krok po kroku, iż stosowanie zaproponowanej reprezentacji daje obiecujące wyniki. Z jednej strony, zdefiniowane przez autora skierowane świece rozmyte wymagają uwzględnienia większej liczby parametrów niż ich klasyczne odpowiedniki, jednak wciąż pozostają one bardzo ogólnymi podsumowaniami analizowanych szeregów. Z drugiej strony widać, iż wprowadzenie rozmycia do wykresów świecowych bywa naprawdę pomocne. Ponadto, mgr Marszałek pokazuje, jak ważne w procesach modelowania jest zachowanie informacji o trendzie, co nie byłoby możliwe przy użyciu standardowych (nie skierowanych) liczb rozmytych.

Podsumowując, w mojej opinii, problemy badawcze poruszane w rozprawie można postrzegać na dwóch płaszczyznach – rozszerzenia istniejących metod analizy finansowych szeregów czasowych wraz z empirycznym wykazaniem skuteczności proponowanych rozszerzeń, a także wykorzystania własności modelu skierowanych liczb rozmytych w ważnej dziedzinie zastosowań.

## 2. Wkład autora

Zgodnie z treścią Sekcji 1.2 opiniowanej rozprawy, mgr Marszałek zrealizował zadania dotyczące: reprezentacji danych giełdowych wysokiej częstotliwości za pomocą skierowanych liczb rozmytych, w taki sposób, aby zmniejszyć rozmiar danych zachowując jednocześnie jak najwięcej informacji zawartych w notowaniach giełdowych; opracowania metodologii w pełni rozmytych stochastycznych modeli szeregów czasowych w postaci klasycznych równań, przyjmujących postać modeli regresji liniowej, czy autoregresji; rozwinięcia modelu skierowanych liczb rozmytych o pojęcie rozmytej skierowanej zmiennej losowej; opracowania algorytmu generacji skierowanych liczb pseudolosowych o rozkładzie normalnym; adaptacji metod estymacji parametrów dla skonstruowanych modeli oraz ich praktycznego zastosowania w zakresie modelowania finansowego.

Pomyślna realizacja powyższych zadań pozwoliła kandydatowi na sformułowanie następujących tez rozprawy: po pierwsze, możliwe jest przedstawienie danych finansowych wysokiej częstotliwości za pomocą skierowanych liczb rozmytych, zachowując przy tym więcej informacji o danym szeregu czasowym (w porównaniu z innymi modelami, zarówno klasycznymi jak i rozmytymi); po drugie, skonstruowane na bazie skierowanych liczb rozmytych, w pełni rozmyte modele szeregów czasowych, pozwalają na efektywne modelowanie finansowych szeregów czasowych, co prowadzi do możliwości stosowania ich w praktycznych zagadnieniach inżynierii finansowej.

Z koncepcyjnego punktu widzenia, istotnym wkładem autora jest według mnie opracowanie modelu skierowanej świecy rozmytej (Rozdział 4), a także modelu rozmytej zmiennej losowej bazującej na skierowanych liczbach rozmytych (Rozdział 6). Jak już wspomniałem, pomysły te oceniam bardzo pozytywnie ze względu zarówno na ich przydatność praktyczną, jak i podanie naturalnego przykładu zastosowania skierowanych liczb rozmytych jako rozszerzenia świec japońskich. Warto pamiętać, że skierowane liczby rozmyte – w porównaniu z dużo popularniejszymi propozycjami arytmetyk liczb rozmytych nie uwzględniających skierowania – były niejednokrotnie krytykowane jako podejście być może wygodne w zastosowaniach lecz prowadzące do mało intuicyjnych wyników obliczeń. Mgr Marszałek wprowadza tymczasem bardzo prosty w interpretacji przykład praktycznej specyfikacji skierowanych liczb rozmytych uwzględniających trend, a także pokazuje, iż operacje na skierowanych liczbach rozmytych mogą doprowadzić do wartościowych wniosków.

Uważam, że cennym wkładem autora w rozwój omawianej dziedziny jest też warstwa algorytmiczna. Na szczególną uwagę zasługuje tutaj moim zdaniem wymieniona już powyżej procedura generująca skierowane liczby pseudolosowe (Sekcja 6.3), a także sposób opisu jej rezultatów. Zaawansowany warsztat algorytmiczny kandydata ilustrują również przykłady zastosowań omówione w Rozdziale 7. Autor w ciekawy sposób prezentuje wyniki obliczeń. (Warto tu dla przykładu spojrzeć na Rysunek 7.1.) Oceniając opiniowany materiał z szerszej perspektywy, odnoszę wrażenie, iż otrzymane wyniki mogą mieć istotne znaczenie w praktyce, zaś sposób ich reprezentacji może być zrozumiały i pomocny dla ekspertów dziedzinowych. A zatem można powiedzieć, że kandydat rozszerza klasyczne metody analizy szeregów finansowych z wykorzystaniem zaawansowanych technik modelowania rozmytego, lecz – mimo stopnia matematycznego zaawansowania – czyni to w sposób umożliwiający ich sprawne zastosowanie pod kątem zarówno inżynierskim, jak i interpretacyjnym.

Podsumowując uważam, iż wkład kandydata w rozpatrywaną dziedzinę jest całkowicie wystarczający – zarówno pod kątem teoretycznym jak i praktycznym – dla spełnienia wymagań stawianych przez ustawę w odniesieniu do rozpraw doktorskich w dyscyplinie informatyka.

### 3. Poprawność

Rozprawa jest napisana w sposób rzetelny, z należytą uwagą poświęconą zarówno zagadnieniom wstępnym w Rozdziałach 1-3, jak i dyskusji nad otrzymanymi wynikami w Rozdziale 7. Odnośnie układu rozprawy, trafności tez i kompletności materiału, na uwagę zasługują te części Rozdziałów 5 i 6, które – odpowiednio – opisują znane z literatury podejścia do modelowania rozmytych szeregów czasowych oraz definiowania rozmytych zmiennych losowych. Świadczą one bowiem o umiejętności porównywania własnych pomysłów z metodami już znanymi. Z tego punktu widzenia, brakuje we wstępnych rozdziałach szerszego przeglądu zastosowań klasycznych zbiorów rozmytych w analizie finansowej. Nie wpływa to jednakże na moją wysoką ocenę kompletności materiału.

W pewnym sensie krytyczny może być dla czytelnika początek Rozdziału 4, gdzie mgr Marszałek stanął przed zadaniem formalnego wprowadzenia modelu skierowanej świecy rozmytej. Niektóre pojęcia opisane w tym rozdziale były dla mnie początkowo trudne do przyswojenia. Przykładowo, Definicja 4.1 nie została w moim odczuciu sformułowana wystarczająco jasno, jeśli chodzi zarówno o opis matematyczny jak i praktyczne znaczenie podanych tam parametrów. W przypadku niektórych z nich – na przykład A i B – wskazówką okazał się Rysunek 4.1. Natomiast w przypadku parametrów C1 i C2, z pomocą przyszły dopiero konkretne przykłady przedstawione w Sekcji 4.3.

Ogólnie odnoszę wrażenie, iż kandydat zaprezentował w rozprawie głęboko przemyślany materiał, na co wskazuje bogactwo przykładów, różnorodność eksperymentów, a także pewnego rodzaju elegancja, z jaką nowe pojęcia integrowane są z szeroko używanymi metodami. (Na szczególną uwagę zasługuje moim zdaniem pod tym względem Sekcja 7.1.1.) Z drugiej strony widać, iż mgr Marszałek ma czasem problemy z formalizacją wprowadzanych pomysłów, z utrzymywaniem spójnej notacji (np. różne oznaczenia szeregów czasowych w różnych rozdziałach), jak również w pewnym stopniu ze stylem, gramatyką i unikaniem niebezpiecznych pomyłek (np. „Isibuchi” na stronie 55). Te drobne przywary przedstawionego materiału nie wpływają na moją ocenę merytoryczną, jednak ważne jest, by kandydat nie popełniał tego typu błędów w swojej dalszej – mam nadzieję owocnej – karierze.

Przechodząc do eksperymentów, na pochwałę zasługują pewne aspekty dyskusji podsumowujących otrzymane wyniki. Jako przykład, przywołam tutaj dyskusję w ostatniej części Sekcji 7.1.3, wraz z Rysunkiem 7.10 i Tabelą 7.2. Przede wszystkim, Tabela 7.2 ilustruje praktyczną przydatność nowych narzędzi. Co więcej, ostatni akapit Sekcji 7.1.3 (strony 94-95) przedstawia interesującą interpretację wyników w terminach skierowanych liczb rozmytych. Z drugiej strony uważam, iż akurat w tym przypadku autor powinien przeprowadzić w przyszłości znacznie więcej eksperymentów z różnymi danymi wejściowymi, w celu pełniejszego uchwycenia zalet wprowadzonego podejścia, jak również zdobycia głębszego doświadczenia co do odpowiedniego doboru jego parametrów.

Na zakończenie chciałbym dodać, iż zabrakło mi w Rozdziale 8 podsumowania dyskusji nad dalszymi możliwymi kierunkami prac. Z pewnością, jak już wyżej zasygnalizowałem, warto dla omawianych tu metod kontynuować zakrojone na szerszą skalę badania eksperymentalne. Ponadto, być może warto pomyśleć nad możliwościami hybrydyzacji zaproponowanych nowych modeli z innymi podejściami. Przykładowo, na podstawie wykazu sukcesów naukowych i zawodowych – zaś w szczególności działalności dydaktycznej – wnioskuję, iż kandydatowi bliskie są zastosowania sieci neuronowych, które wykorzystywane są często w analizach finansowych i które zostały również wspomniane parokrotnie w rozprawie. A zatem, czy możliwe byłoby połączenie modeli skierowanych rozmytych liczb / szeregów / zmiennych losowych z wybranymi modelami sieci neuronowych?

#### **4. Wiedza kandydata**

Treść rozprawy wskazuje, iż autor ma szeroką wiedzę praktyczną na temat instrumentów finansowych oraz solidne podstawy w zakresie analizy szeregów czasowych i zbiorów rozmytych. Mankamenty, o których wspominałem wcześniej, nie dotyczą wiedzy, lecz raczej umiejętności formułowania nowych pojęć. Nie znaczy to jednak, że kandydat używa tych pojęć błędnie, niezgodnie z obowiązującą wiedzą w badanej dziedzinie. Wręcz przeciwnie, rozprawa pokazuje, iż zaproponowane przez autora nowe pojęcia mogą być używane jako skuteczne rozszerzenie podejść znanych do tej pory.

Wiedzę kandydata podkreśla również kilka prac opublikowanych w czasopismach, książkach i na konferencjach naukowych, których zwieńczeniem jest niniejsza rozprawa. Warto tutaj szczególnie wspomnieć o artykule pod tytułem „Modeling and forecasting financial time series with ordered fuzzy candlesticks”, który ukazał się w cieszącym się międzynarodowym uznaniem czasopiśmie Information Sciences i który doczekał się już cytowań. Przygotowanie publikacji na tym poziomie jest bez głębokiej wiedzy w danej dziedzinie niemożliwe. Natomiast o wiedzy kandydata w szerszym zakresie informatyki świadczą przebyte szkolenia i wspomniane już aktywności dydaktyczne.

#### **5. Podsumowanie**

Biorąc pod uwagę opinie zawarte w poprzednich punktach, jak i wymagania zdefiniowane przez artykuł 13 ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym, moja ocena rozprawy pod względem trzech podstawowych kryteriów jest następująca: rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego; kandydat posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie informatyka; kandydat posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Uważam zatem, że niniejsza rozprawa spełnia wymagania stawiane przez wyżej wspomnianą ustawę w odniesieniu do rozpraw doktorskich w dyscyplinie informatyka i może być dopuszczona do publicznej obrony.

Z wyrazami szacunku,

Dominik Ślęzak

