

Prof. dr hab. Janusz Hołyst
Wydział Fizyki
Politechniki Warszawskiej
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

12. czerwca 2019

DZIEKANAT
SEKCJA ds. DOKTORANCKICH

Wpłynęło dnia 2019.-06-17.....

Recenzja

rozprawy doktorskiej magistra Mateusza Wilińskiego
pt. "Przemiany fazowe w empirycznych, korelacyjnych sieciach złożonych"
przedstawionej Radzie Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

1. Wstęp

Przedmiotem recenzowanej rozprawy są opracowanie i wykorzystanie zaawansowanych metod i model dynamiki nieliniowej, teorii sieci złożonych i fizyki statystycznej (jakimi są m.in. analiza sygnałów, estymatory korelacji, filtrowanie grafów ważonych, koewoluujące modele Isinga) do analizy danych empirycznych (dane giełdowe i sygnały EEG). Rozprawa ma 125 stron, podzielona jest na 5 rozdziałów, cytowana literatura obejmuje 237 pozycji.

Jako cel rozprawy autor podał trzy zagadnienia:

- (i) miary korelacji dla procesów z nieregularnym próbkowaniem
- (ii) modele ewoluujących sieci złożonych
- (iii) zastosowanie opracowanych przez siebie metod/modeli do analizy danych empirycznych.

Wyniki rozprawy zostały opublikowane w czterech publikacjach w czasopiśmie o zasięgu światowym i w trzech z tych publikacji doktorant jest pierwszym autorem.

2. Najważniejsze elementy i osiągnięcia rozprawy

- Rozdział pierwszy rozprawy zawiera przedstawienie celów rozprawy i krótkie omówienie poszczególnych rozdziałów zawierających oryginalne wyniki doktoranta. Następnie autor wprowadza czytelnika do zagadnień będących przedmiotem rozprawy. Przedstawione są podstawowe cechy układów złożonych, a w szczególności sieci złożonych. Autor definiuje pojęcie sieci bezkalowych i sieci małych światów. Trochę zabrakło mi w tym rozdziale chociażby krótkiego nawiązania do sieci warstwowych i sieci temporalnych.
- Rozdział drugi rozprawy podzielony jest na dwie części. W pierwszej z nich doktorant omawia estymatory korelacji szeregów czasowych i za pomocą transformaty Fouriera rozszerza ich stosowalność na szeregi nieregularnie próbkowane. Wyprowadza analityczną postać takich estymatorów dla kilku klas szeregów i wykorzystuje to podejście dla wyliczenia korelacji zespolonej uwzględniającej przesunięcia czasowe między szeregami. Druga część tego rozdziału poświęcona jest metodom filtrowania sieci ważonych. Doktorant wprowadza własny algorytm filtrowania DEG i wykazuje zalety swojego podejścia poprzez zastosowanie go do szeregu sieci syntetycznych.
- Rozdział trzeci poświęcony jest przemianom fazowym na sieciach złożonych. Doktorant dokonuje krótkiego przeglądu takich przemian znanych dobrze z literatury przedmiotu a następnie analizuje model Isinga dla sieci koewoluującej. Wprowadza hamiltonian dla takiego układu i poprzez symulacje numeryczne wykazuje istnienie szeregu przejść fazowych w topologii sieci jak i uporządkowaniu spinów. Przeprowadzono jest również przybliżona analityczna dyskusja własności termodynamicznych takiego układu.
- Rozdział czwarty poświęcony jest wykorzystaniu metod opracowanych w rozdziale drugim do analizy danych empirycznych pochodzących z rynków finansowych i sygnału EEG. Wykazano, że opracowane metody są czułe na istnienie kryzysów finansowych oraz na występowanie ataków epileptycznych
- Rozdział piąty zawiera podsumowanie i ocenę wyników.

3. Najciekawsze osiągnięcia rozprawy

Bardzo wysoko oceniam rezultaty przedstawione w rozdziale drugim. Zaproponowany estymator korelacji szeregów czasowych może być bardzo użytecznym narzędziem dla analizy danych o zmiennym czasie próbkowania. Interesująca jest również propozycja nowego podejścia do filtrowania sieci ważonych.

W rozdziale piątym na szczególne wyróżnienie zasługuje dyskusja znaczenia modów własnych wyższego rzędu macierzy korelacji sygnałów zespolonych dla giełdy Nikkei. Doktorant pokazuje, że mody takie są związane z sektorami i podsektorami różnych spółek należących do tego indeksu.

4. Uwagi krytyczne

Obok powyższej, pozytywnej oceny lektura opiniowanej pracy nasunęła mi kilka uwag krytycznych dotyczących rozdziału trzeciego recenzowanej rozprawy.

4.1 Hamiltonian 3.27 zawiera jako zmienne spiny s_i oraz elementy macierzy połączeń $c_{\{i,j\}}$ ale niestety nigdzie nie znalazłem opisu w jaki sposób została wybrana dynamika tych zmiennych. Rozumiem, że algorytm termalizacji układu zachowywał ilość połączeń ale można to robić na wiele sposobów. Jedną z metod jest opisana w pracy *Fluctuation-dissipation relations in complex networks*, Agata Fronczak, Piotr Fronczak, and Janusz A. Hołyst, PHYSICAL REVIEW E **73**, 016108 2006

4.2 Nie jest również jasne dlaczego wyraz $\langle k \rangle$ występuje w mianowniku pierwszego wyrazu równania 3.27 w pierwszej potęgzie a nie drugiej jeśli (jak się wydaje) wyraz ten ma normować iloczyn $k_i k_j$. Nie mogę również zrozumieć dlaczego przy poszczególnych wyrazach pominięto multiplikatywne współczynniki sprzężeń.

4.3. Wielkość pokazana na rys. 3.11, 3.12 i następnych jest błędnie opisana jako *maksymalny stopień w układzie*. Ponieważ wielkość ta zmienia się w zakresie od 0 do 1 więc winna nosić nazwę *unormowanego maksymalnego stopnia w układzie*. Mogę się domyślać, że unormowanie polega na podzieleniu stopnia wężła przez całkowitą ilość połączeń M w grafie. Niestety ta liczba nie jest zawsze podawana przy opisach symulacji

4.4 Na str. 57 dla przypadku $\varphi = 0$ pojawia się błędny komentarz *W tej wersji modelu nie ma w hamiltonianie żadnego elementu interakcji typu topologicznego*. W

rzeczywistości *elementy interakcji typu topologicznego* istnieją dalej bowiem w hamiltonianie pozostają wyrazy proporcjonalne $c_{\{i,j\}}$.

4.5 W równaniu 2.29 całkowicie pominięto energię spinów i fakt ten nie został w ogóle skomentowany. W rzeczywistości energia ta dla małych wartości wykładnika Y może być porównywalna z *energią topologicznego pola zewnętrznego*. Dla $Y=1$ ta ostatnia energia jest stałą ruchu więc nie odgrywa żadnej roli przy liczeniu średnich termodynamicznych

4.6 W równaniu 3.38 założono, że $s_i s_j = 1$ co jest prawdziwe tylko dla temperatury zerowej.

5. Wnioski końcowe

Pomimo przedstawionych wyżej uwag krytycznych uważam, że rozprawa mgra Mateusza Wilińskiego interesujące opracowanie w dziedzinie dynamiki nieliniowej i układów złożonych. Wśród oryginalnych i wartościowych rezultatów, należy podkreślić zaproponowanie nowej metody analizy korelacji szeregów czasowych o zmiennym czasie próbkowania oraz nową metodę filtrowania sieci ważonych

Część wyników uzyskanych przez autora rozprawy została przedstawiona w czterech publikacjach.

Praca w zupełności spełnia warunki stawianym rozprawom doktorskim. Stawiam wniosek o dopuszczenie pracy do publicznej obrony i o jej wyróżnienie.



Prof. dr hab. Janusz Hołyst