

Wpłynęło dnia ...2020-10-07... 1

Prof. dr hab. Janusz Hołyst

7. października, 2020

Wydział Fizyki

Politechniki Warszawskiej

ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

Recenzja

rozprawy doktorskiej magistra Tomasza Raduchy

pt. "Statistical physics of coevolving networks"

przedstawionej Radzie Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

1. Wstęp

Przedmiotem recenzowanej rozprawy były badania procesów koewolucji w modelu votera, Axelroda i Isinga przy wykorzystaniu zaawansowanych metod teorii sieci złożonych i fizyki statystycznej, Rozprawa ma 197 stron, podzielona jest na 6 rozdziałów, cytowana literatura obejmuje 349 pozycji.

Jako **cel rozprawy** autor podał dwa zagadnienia:

- (i) zbadanie wpływu mechanizmu koewolucji na modele sieciowe
- (ii) wykazanie, że uwzględnienie koewolucji pozwala na zbliżenie modeli sieciowych do danych doświadczalnych.

Wyniki rozprawy zostały opublikowane w pięciu publikacjach w czasopismach o zasięgu światowym, w każdej z tych publikacji doktorant jest pierwszym autorem.

2. Najważniejsze elementy i osiągnięcia rozprawy

- Rozdział pierwszy rozprawy składa się z wprowadzenia do rozprawy (z punktu widzenia teorii sieci złożonych), przedstawienia celów rozprawy i krótkiego omówienia poszczególnych rozdziałów zawierających oryginalne wyniki doktoranta.
- Rozdział drugi jest opisem podstaw teorii grafów oraz statycznych, ewoluujących i koewoluujących sieci złożonych.
- Rozdział trzeci rozprawy zawiera nowy model koewolucji dla nieliniowego modelu votera z **lokalnym przewijaniem** linków. Oryginalność pomysłu polega na wprowadzeniu zasady przewijania przez agenta (i) jego linku (i,j) do agenta (k), który ma taką samą opinię (spin) ale **jest drugim sąsiadem agenta (i)** poprzez istnienie połączenia (i,l) do innego węzła (l). Koewolucja prowadzi więc w ten sposób do powstania **trójkąta połączonych węzłów (i,l,k)**, co zwiększa współczynnik gronowania całego układu. W modelu tym oprócz fazy konsensusu i fazy rozdzielonej zaobserwowano nową fazę, której autor nadał nazwę **shattered phase** (faza pokruszona). Faza ta składa się z gęsto połączonego grona oraz z pojedynczych, odseparowanych agentów i pojawia się dla modelu subliniowego q -votera (parametr nieliniowości $q < 1$) przy dostatecznie niskim prawdopodobieństwie p przewijania linku w procesie koewolucji. Na diagramie fazowym (q,p) faza pokruszona istnieje jako odpowiednik fazy koegzystencji węzłów o przeciwnych spinach obserwowanej dla modelu votera z przypadkowym przewijaniem linków. Przyczyną powstania odosobnionych węzłów w fazie pokruszonej jest przyjęty w modelu mechanizm koewolucji, bowiem węzeł w tym modelu może **nieodwracalnie** stracić wszystkie połączenia z innymi węzłami. W trakcie przejścia fazowego z fazy konsensusu do fazy pokruszonej obserwowano nagły wzrost ilości komponentów grafu. Punkt krytyczny odpowiada maksimum wartości współczynnika gronowania sieci. Czasy relaksacji w fazie pokruszonej rosną wykładniczo razem z wielkością sieci.

W drugiej części tego samego rozdziału zbadano **wpływ szumu** na koewolucję nieliniowego modelu votera. Szum polega na losowej zmianie wewnętrznego

stopnia swobody aktywnego węzła. Model ten badano zarówno numerycznie jak i za pomocą przybliżonych metod analitycznych. Wykazano, że szum zmienia charakter faz konsensusu i koegzystencji znanych z innych prac. Uzyskane wyniki analityczne dla krytycznej wartości szumu na linii przejścia od fazy koegzystencji do fazy podziału są zgodne z symulacjami numerycznymi dla tego modelu.

- Rozdział czwarty tej rozprawy poświęcony jest koewoluującemu modelowi Axelroda. Model ten został zaproponowany wiele lat temu jako model **tworzenia się kultur** ale niestety nie odtwarza wielu cech takich układów. Doktorant zaproponował rozszerzenie tego modelu poprzez wprowadzenie zmian struktury sieci podobnie jak dla modelu votera. Przeprowadził trzy wersje takiej koewolucji, gdy przewijanie linków ma charakter: (a) przypadkowy, (b) preferencyjny, (c) z lokalnym przewijaniem (tworzone są trójkąty podobnie jak w rozdziale 3.3.2). Wykazano, że dla odpowiednio wybranych parametrów modele te opisywane są przez duży współczynnik gronowania, posiadają cechy sieci małych światów oraz potęgowy rozkład stopni wierzchołków. Własności te znacznie zbliżają model Axelroda do rzeczywistych grup społecznych. Wykazano, że badany model jakościowo odtwarza zależność liczby języków od wielkości badanej grupy społecznej
- Rozdział piąty poświęcony jest próbom opisu koewolucji modeli spinowych za pomocą podstawowego formalizmu fizyki statystycznej czyli poprzez **sumę stanów** stworzoną dla odpowiedniego **Hamiltonianu**. Numerycznie zbadano wielkości makroskopowych obserwacji takiego modelu (magnetyzację układu, średnią energię systemu, gęstość interfejsów, wielkość największego komponentu grafu etc) jako funkcję temperatury dla różnych sprzężeń między spinami i topologią. Przedyskutowano topologię równowagowych faz pojawiających się w takich układach oraz wyjaśniono przejścia między poszczególnymi fazami za pomocą przybliżonego modelu analitycznego.
- Rozdział szósty zawiera podsumowanie i główne wnioski z rozprawy.

3. Najciekawsze osiągnięcia rozprawy

Jako najciekawsze części uznałbym:

- opracowanie nowego modelu koewoluującego modelu votera z lokalnymi regułami przewijania
- wykazanie istnienia nowej fazy w takim modelu.
- wprowadzenie koewolucji do modelu Axelroda i wykazanie, że koewolucja zbliża własności takiego modelu do danych uzyskanych z obserwacji ilości dialektów w różnych grupach społecznych.

4. Uwagi krytyczne, a właściwie ich brak

Lektura opiniowanej pracy nie nasunęła mi istotnych uwag krytycznych. Praca opiera się na bardzo ciekawych wynikach badań prowadzonych przez doktoranta, a sama rozprawa jest dobrze zredagowana. Jako drobne niedociągnięcie redakcyjne mogę wymienić brak określenia warunku normalizacji dla zmiennej n_s (ilość komponentów sieci), która na rysunku 3.12 oznaczona jest jako n_c i przyjmuje wartości między zero a jeden.

5. Wnioski końcowe

Jestem w pełni przekonany, że rozprawa mgra Tomasza Raduchy stanowi interesujące opracowanie w dziedzinie fizyki statystycznej sieci złożonych i wskazuje na bardzo dobre opanowanie warsztatu naukowego przez doktoranta.

Potwierdza to m.in. fakt opublikowania części wyników uzyskanych przez autora rozprawy w pięciu pracach w bardzo dobrych czasopismach o zasięgu światowym.

Praca w zupełności spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim a nawet znacznie je przekracza. Stawiam wniosek o dopuszczenie pracy do publicznej obrony i o jej wyróżnienie z uwagi na uzyskanie nowych, ważnych wyników stanowiących wybitne osiągnięcie w dziedzinie fizyki statystycznej sieci złożonych.



Prof. dr hab. Janusz Hołyst