

Warszawa, 21.12.2016 r.

Prof. dr hab. Ryszard Kutner  
Wydział Fizyki  
Uniwersytet Warszawski  
ul. Pasteura 5  
02-093 Warszawa

**Recenzja pracy doktorskiej mgr Marcina Rybaka pt.:**  
***Symulacje konkurencyjnych procesów kontaktowych na sieciach***

Praca doktorska mgr Marcina Rybaka leży w głównym nurcie modnych obecnie badań, przede wszystkim o charakterze symulacyjnym, poświęconych sieciom złożonym. Bazuje ona na trzech publikacjach [66,67,70] w których pierwszym (niealfabetycznym) autorem jest p. Marcin Rybak. Dokładniej rzecz biorąc, tematyka pracy jest związana z procesami kontaktowymi na sieciach złożonych – w tym przypadku różniących się topologiami. W pracy wykorzystano najbardziej popularne, charakterystyczne, trzy kategorie sieci takie jak: przypadkowa Erdösa-Rényiego, wykazująca własność małych światów kanoniczna Watts-Strogatza oraz potęgowa Albert-Barabásiego.

Dla procesów kontaktowych na tych sieciach wybrano dwa modele reguł przejść:

1) bazujący na modelu Sznajdów oraz

2) bazujący na modelu (nazwanym przez Autora) modelem „z sąsiedztwem”.

Ponadto, procesom kontaktowym rozprzestrzeniającym się w/g tych reguł towarzyszyły procesy współzawodniczące: w pierwszym przypadku był to proces typu inwazyjnego, w drugim typu wyborcy. Dzięki nim można było regulować intensywność rozprzestrzeniania się procesów kontaktowych.

Drobiazgowa analiza wspomnianych powyżej procesów na wymienionych sieciach stanowi oryginalny i pożyteczny wkład badawczy Autora. Muszę jednak przyznać, że nie jest dla mnie jasne dlaczego Autor nie zbadał wszystkich trzech rodzajów sieci zarówno dla konkurującej pary procesów typu `dynamika modelu Sznajdów z dynamiką modelu inwazji' jak też typu `dynamika modelu „z sąsiedztwem” z dynamiką inspirowaną modelem wyborcy'. Porównania miałyby wtedy bardziej kompleksowy charakter.

Analiza procesów kontaktowych na drodze symulacji komputerowych dotyczyła ich zależności od parametrów charakteryzujących zarówno strukturę substratu (sieci) jak też sam proces oraz proces konkurencyjny do niego. Pozwoliło to na zaobserwowanie ważnych efektów, na przykład:

a) braku zależności końcowego udziału węzłów sieci od początkowego udziału tych węzłów (brak pamięci) dla sieci Erdösa-Rényiego i Watts-Strogatza w przypadku modelu „z sąsiedztwem”;

b) obecności wspomnianej zależności (pamięci) dla sieci Watts-Strogatza i Albert-Barabásiego dla modelu Sznajdów.

Rozumiem, że są to wyniki nowe (choć Autor tego wprost nie powiedział).

Dodam, że wspomniane procesy kontaktowe symulowane były przy zadanej wartości

współczynnika gronowania, a dokładniej jego wartości leżącej w zadanym wąskim przedziale, jako zasadniczej charakterystyki wyjściowej sieci. Jak duża była szerokość wspomnianego przedziału? Przy okazji, czy dobrze rozumiem, że dobór  $T_{max}$  miał charakter fenomenologiczny (poprzez próbkowanie, czyli stopniowe wydłużanie tego czasu)?

Szkoda też, że Autor nie podał jakiejś, przynajmniej intuicyjnej motywacji (fizycznego usprawiedliwienia) dla reguł przejść współzawodniczących procesów kontaktowych przedstawionych na rysunku 5-2. Wołanie o tego typu podejście ma szerszy charakter i nie dotyczy tylko tej (czy tego typu) pracy a raczej pewnego sposobu prezentowania modeli i problemów socjofizyki.

Ponadto, zaobserwowano różne inne ciekawe efekty dedykowane charakterystyczne dla danej sieci i modelu przejść.

Można powiedzieć, że celem pracy było zbadanie wpływu:

- 1) wybranych modeli reguł przejść,
- 2) własności samych procesów kontaktowych,
- 3) strukturalnych własności sieci,
- 4) warunków początkowych
- 5) własności procesów współzawodniczących na dynamikę procesów kontaktowych.

Jak zwykle, w tego typu pracach porównanie z danymi empirycznymi stanowi nieustające wyzwanie.

W tym miejscu pragnę podkreślić znaczący walor edukacyjny pracy napisanej w sposób interesujący i inspirujący. Jednak Autor nie ustrzegł się niejasności np. na rysunku 5-3 pojedyncze przebiegi są słabo widoczne, gdyż obecny tam obszar zaznaczony na żółto (co on ma pokazywać?) przekrywa częściowo dyskretne punkty oznaczające pojedyncze przebiegi.

Mam także pytanie dotyczące rysunku 1-4 zamieszczonego w rozdz. 1. Mianowicie, dlaczego Autor otrzymał wykładnik potęgi  $\chi=2$  podczas gdy sieć AB jest scharakteryzowana, jak wiadomo, wykładnikiem  $\chi=3$ ? Tego typu deficyt otrzymuje się najczęściej gdy statystyka sieci (liczba pokoleń sieci ewoluującej) jest niewystarczająca. Mam nadzieję, że Autor ustosunkuje się do tej i innych uwag w trakcie obrony pracy.

Trzeba powiedzieć, że praca jest rozsądnie zakomponowana. Oprócz ciekawego rozdz. 1 pt.: *Wprowadzenie*, składa się z rozdz. 2 pt.: *Składowe algorytmu symulacji i ich wpływ na wyniki* w którym Autor przedstawia w sposób systematyczny poszczególne, istotne elementy (składowe) algorytmu i ich rolę oraz wpływ na cały proces symulacji komputerowej. W rozdziałach 3 i 4 został szczegółowo przeanalizowany model Sznajdów, odpowiednio, na sieci Watts-Strogatza oraz sieci Albert-Barabásiego. Kolejne dwa rozdziały (5 i 6) poświęcono analogicznemu badaniu ale modelu „z sąsiedztwem” na sieciach, odpowiednio, Erdösa-Rényiego i Watts-Strogatza. Rozdziały 7, 8 i 9 zawierają, odpowiednio, porównania następujących wyników:

- a) symulacji modelu „z sąsiedztwem” na sieciach Erdösa-Rényiego i Watts-Strogatza,

- b) symulacji modelu Sznajdów na sieciach Watts-Strogatza i Albert-Barabásiego,
  - c) symulacji modelu Sznajdów i modelu „z sąsiedztwem” na sieci Watts-Strogatza.
- Rozdział 10 stanowi podsumowanie pracy, w której w sposób skondensowany „w pigułce” Autor przedstawił najważniejsze wyniki pracy.

Badanie wpływu wielkości współczynnika gronowania na własności sieci i charakterystyki procesów kontaktowych było kluczowym elementem pracy, wymuszając algorytmizację pozwalającą na jego zmienność w szerokim zakresie wartości. Był to wyjściowy, zasadniczy etap pracy oparty o pojedyncze przebiegi czasowe, stanowiąc „trampolinę” do dalszych rozważań. Odnosząc się w tym kontekście do wyników przedstawionych na rysunkach 3-8 i 3-10 jestem ciekaw wyjaśnienia Autora dotyczącego jakościowo innego przebiegu krzywej dla  $n^0s = 0,2$  nie posiadającej plateau w stosunku do pozostałych krzywych, które go posiadają wskazując na osiągnięcie stanów stacjonarnych.

Szczególnie interesującym i ważnym zagadnieniem analizowanym w pracy była problematyka przemian fazowych zwłaszcza typu faza stacjonarna vs niestacjonarna czy też faza dominacji procesu typu S vs faza dominacji procesu typu D – w tym kontekście wymowny, trójwymiarowy (zbiorczy) wykres przedstawiony na rysunku 3-13 zasługuje na szczególne wyróżnienie. Ta druga przemiana została przez Autora starannie i wiarygodnie przebadana. Trzeba zgodzić się z Autorem, że badanie na drodze numerycznej tej pierwszej wiąże się dużymi trudnościami związanymi z nieredukowalnością obliczeniową prowadząca do znaczącego wydłużenia czasu relaksacji układu do stanu stacjonarnego. Uważam za ważne, że Autor zbadał zależność tego czasu od parametrów charakteryzujących układ (np. od średniego stopnia wierzchołka).

Za równie ważny uważam fakt, że Autor wszedł w mikroskopię relaksacji układów analizując pojedyncze przebiegi czasowe. Zaskakujące jest, że w przypadku modelu Sznajdów ma miejsce (dla obu sieci) zjawisko niestabilności prowadzące raz do asymptotycznego zaniku (praktycznie rzecz biorąc) udziału węzłów typu S a raz do ich niemal całkowitej dominacji. Zjawisko to nie zostało zaobserwowane dla modelu „z sąsiedztwem”. Nie jest jasne dlaczego ma to miejsce.

Ważnym elementem pracy jest porównanie (siłą rzeczy cząstkowe) wyników symulacji z przewidywaniami metody pola średniego. Pozwoliło to na stwierdzenie istnienia prawdopodobieństw krytycznych określających warunki istnienia fazy pełnej fazy S (co ma miejsce dla prawdopodobieństw większych od krytycznego).

Na zasadzie dodania „łyżki dziegciu do beczki miodu” muszę przyznać, że miałem kłopot z odróżnieniem jakie wyniki było tylko sprawdzeniem istniejących w publikacjach a jakie oryginalnymi Autora pracy. Na szczęście Autor podał w rozdz. 10 tabelę 10-1, w której zestawiał najważniejsze (oryginalne jak domniemam – szkoda, że trzeba się tego domyślać) rezultaty pracy. Uzyskane wyniki mają charakter dedykowany a nie uniwersalny, zależąc od rodzaju konkurujących procesów i rodzaju sieci. Pewnej ogólności można się dopatrzeć, gdy konkurują ze sobą dynamika modelu „z sąsiedztwem” i dynamika inspirowana modelem wyborcy wtedy uzyskane wyniki nie zależą, w zasadzie, od rodzaju sieci.

Reasumując stwierdzam, że (pomimo kilku uwag krytycznych) rozprawa doktorska mgr Marcina Rybaka jest pożyteczna, ciekawa i inspirująca, spełniająca wszelkie wymogi

stawiane tego typu rozprawom, dotycząc wschodzącego, interdyscyplinarnego obszaru wiedzy jakim jest socjofizyka. Oceniając rozprawę bardzo pozytywnie, a także pozytywnie oceniając dorobek naukowy doktoranta, wnioskuję o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie mgr Marcina Rybaka do kolejnych etapów procedury a w tym do publicznej obrony jego rozprawy doktorskiej.



Ryszard Kutner