

dr hab. inż. Krzysztof Malarz, prof. AGH
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej
Katedra Informatyki Stosowanej i Fizyki Komputerowej
Zespół Układów Złożonych

Kraków, 1 października 2021

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Joanny Linczuk

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Joanny Linczuk — za-tytułowana „Koewolucja dynamiki stanów i połączeń na sieciach złożonych” — swą tematyką wpisuje się w socjofizyczny nurt interdyscyplinarnych zastosowań fizyki układów złożonych. Praca powstała pod opieką prof. dr. hab. inż. Janusza A. Hołysta przy wsparciu dr. inż. Krzysztofa Sucheckiego jako promotora pomocniczego.

Rozprawa ma formę pracy pisemnej (w formie książkowej) ale część z prezentowa-nego materiału udało się już opublikować w renomowanych czasopismach o światowej cyrkulacji:

- J. Toruniewska, K. Kułakowski, K. Suchecki, J. A. Hołyst, *Coupling of link-and node-ordering in the coevolving voter model*, Phys. Rev. E **96** (2017) 042306;
- A. Jędrzejewski, J. Toruniewska, K. Suchecki, O. Zaikin, J. A. Hołyst, *Spontaneous symmetry breaking of active phase in coevolving nonlinear voter model*, Phys. Rev. E **102** (2020) 042313;

bądź takie publikacje są na stronie dwunastej pracy anonsowane:

- J. Linczuk, P. J. Górski, B. K. Szymański, J. A. Hołyst, *Empirical evidence for multidimensionality of social triadic interactions*;
- S. A. Myers, K. Suchecki, J. Linczuk, S. Kumar, J. Leskovec, J. A. Hołyst, *Information diffusion leads to cohesive pathways in social networks*.

Praca liczy osiemdziesiąt pięć stron i jest strukturalnie podzielona na cztery rozdziały.

W rozdziale pierwszym przedstawiono podstawowe pojęcia z teorii grafów i sieci złożonych, w tym charakterystyki klasycznych grafów przypadkowych. W drugiej części tego rozdziału przedyskutowano zasady tworzenia modeli agentowych i za-prezentowano „model głosującego”. Trzecia część rozdziału definiuje kluczowe dla pracy pojęcie sieci koewoluującej, to jest sieci, w których stany węzłów oraz wiązanie

między nimi wzajemnie na siebie wpływają. Czwarta część tego rozdziału opisuje przybliżone metody analityczne, w tym technikę średniopolową oraz uwzględniającą blisko-zasięgowe korelacje metodę przybliżenia par.

Ostatnia część rozdziału pierwszego opisuje teorię równowagi strukturalnej (w psychologii społecznej lepiej znaną jako teorię Heidera). Tam, może nieco przedwcześnie, pojawiają się pojęcia triad zrównoważonych i niezrównoważonych, bez jakiegokolwiek wyjaśnienia tej terminologii.

Rozdział drugi poświęcono koewolucji w „modelu głosującego”. W pojawiającym się tam równaniu (2.1) nie zdefiniowano wielkości ρ . Co wyraża ta wielkość dowiadujemy się dopiero kilka stron dalej.

W dalszej części rozdziału znajdujemy rachunki analityczne oraz wyniki symulacji komputerowych dla liniowego „modelu głosującego”. Natomiast kolejną część rozdziału poświęcono nieliniowej wersji tego modelu (znów w układzie: analityka, symulacje, dyskusja). Niestety ponownie, tym razem w równaniach (2.25)–(2.27), spotykamy niezdefiniowane wielkości, tym razem $\theta_-^q, \theta_+^q, \theta_-, \theta_+$.

Głównymi rezultatami tej części pracy są diagramy fazowe w przestrzeni (p, q) , diagramy stabilności w przestrzeniach parametrów (ρ, p) , (ρ, c, p) i (ρ, c, m) oraz mapy cieplne średnich czasów przebywania układu w danym stanie w przestrzeniach parametrów (c, p) , (ρ, p) i (m, p) .

W rozdziale trzecim Autorka skupiła się na analizie danych rzeczywistych i technologicznych sieci społecznościowych. Do konstrukcji sieci społecznej wykorzystano wyniki eksperymentu NetSense dającego informacje zarówno o opiniach (stanach węzłów) jak i połączeniach (wiązaniach) między studentami jednej z amerykańskich uczelni. Do zbadania własności statycznych takiej sieci zaproponowano cztery modele.

W dalszej części rozdziału przedyskutowano również dynamiczne własności sieci, w tym prawdopodobieństwa zmian stanów triad niezrównoważonych na zrównoważone czy też prawdopodobieństwa pozostawania w stanie zrównoważonym w zależności od przyjętej wartości progowej określającej znormalizowany stopień podobieństwa między wektorami (ciągami) opinii agentów pozwalającymi uznać relacje między nimi za przyjacielskie.

Definiując (na stronie 54) znormalizowaną odległość $x^{i,j}$ między studentami (a chyba precyzyjniej byłoby mówić o odległości między ich opiniami) wygląda, że założono, iż opinie w każdej ze składowej wektora (ciągu) opinii są równie istotne. W rzeczywistości można sobie jednak łatwo wyobrazić, że różnienie się w opiniach w pewnych kwestiach (np. światopoglądowych) uniemożliwia przyjacielskie (a nawet obojętne) relacje nawet jeśli agenci zgadzają się w pełni ze sobą w mnóstwie spraw ale błahych. Czy takie ważenie różnic składowych opinii było już wcześniej rozważane? Czy może znacząco wpłynąć na prezentowane w pracy wyniki? A mo-

że zamiast pojedynczego progu można zastanowić się nad wprowadzeniem całego ich spektrum? A może już w samych modelach kształtowania się opinii społecznej można się dopatrzeć jakiejś analogii z możliwością interakcji (czy raczej jej braku) między agentami znacząco swoimi opiniami (nawet skalarnymi) się różniącymi?

Druga część rozdziału została poświęcona analizie rzeczywistych danych z mediów społecznościowych na przykładzie danych z Twittera. Dane te pozwoliły utworzyć ewoluującą sieć o około trzynastu milionach węzłów i ponad miliardzie krawędzi. Analiza sieci pozwoliła ustalić homofiliczne zbliżanie się (w sensie długości ścieżek w grafie) węzłów do siebie w takiej sieci. Proces separacji użytkowników Twittera o różnych „zainteresowaniach” został modelowany agentowym układem z dyfuzją informacji i jednoczesną ewolucją topologii sieci. Model zdaje się jakościowo odzwierciedlać dane eksperymentalne. W kolejnej części zbadano wpływ parametrów modelu na względne zmiany odległości między agentami oraz zaimplementowano model na klasycznych grafach przypadkowych Erdősa–Renéy’ego.

Treść pracy jednoznacznie wskazuje na wypełnienie ustawowej przesłanki odnośnie wymogu umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez kandydatkę do stopnia doktora. Prace wieńczy bardzo zwarte (półtorastronicowe) podsumowanie oraz lista blisko stu referencji.

Styl i redakcja pracy nie budzą większych zastrzeżeń. Z obowiązku recenzenta wskazuję jednak takie drobiazgi jak: powrót do linii pisma z dolnym indeksem j w podpisie do rys. 3.10; pisanie symbolu funkcji eksponencjalnej pismem pochyłym w równaniach (3.7)–(3.8); zbędny przecinek przed spójnikiem „i” po równaniu (2.23); użycie potocznego „korki” na określenie „zatorów” (str. 19) czy sformułowanie „ilość węzłów” zamiast odpowiedniego dla policzalnych przecięz bytów wyrażenia „liczba węzłów” (str. 44).

Zgodnie z artykułem 187, punkt 1, ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U.2020.85) „rozprawa doktorska powinna prezentować ogólną wiedzę teoretyczną kandydata do stopnia w dyscyplinie, w której stopień ma być nadany oraz jego umiejętność do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej”. Bez wątplenia przedstawiona praca spełnia oba te warunki.

Przedmiotem tej rozprawy doktorskiej jest (znów ustawowo dozwolone w artykule 187, punkcie 2) „oryginalne rozwiązanie problemu naukowego”, to jest „zrozumienie mechanizmów koewolucji w modelach sieci społecznych oraz identyfikacja procesów wpływających na koewolucję takich sieci w oparciu o dane rzeczywiste” postawionego jasno na jedenastej stronie pracy. Oczywiście formuła rozprawy doktorskiej nie mogła przynieść pełnej odpowiedzi na tak szeroko i ambitnie zakreślone cele, ale *w przyjętych ramach badanych układów modelowych i diskutowanych danych eksperymentalnych cele te zostały zrealizowane* (na tyle na ile analizowane układy mogły dać odpowiedź na tak postawione pytanie).

Zgodnie z artykułem 187, punkt 3, „rozprawę doktorską może stanowić praca pisemna, w tym monografia naukowa, zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, praca projektowa, konstrukcyjna, technologiczna, wdrożeniowa lub artystyczna, a także samodzielna i wyodrębniona część pracy zbiorowej.” Przedstawiona praca ma formę pracy pisemnej wydanej w formie książkowej.

Ciążący na Autorze obowiązek z artykułu 187, punkt 4, przygotowania streszczenia pracy w języku angielskim został dopełniony.

Reasumując, praca doktorska mgr inż. Joanny Linczuk spełnia formalne i zwyczajowe wymogi dla tego typu prac i z pełnym przekonaniem rekomenduję Komisji Doktorskiej dopuszczenie jej Autorki do dalszych czynności w prowadzonym przewodzie doktorskim.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "U. Melan". The signature is written in a cursive, flowing style.