

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, 17 października 2020

## Recenzja pracy doktorskiej mgr. inż. Piotra J. Górskiego

Przedstawiona mi do recenzji praca doktorska mgr. inż. Piotra J. Górskiego swą tematyką wpisuje się w szeroki nurt badań naukowych określanych mianem socjofizyki a motywem przewodnim tych badań jest równowaga strukturalna. Praca powstała pod opieką prof. dr. hab. inż. Janusza A. Hołysta przy wsparciu dr. inż. Juliana Sienkiewicza jako promotora pomocniczego.

Rozprawa ta formalnie mogłaby zostać potraktowana jako hybryda ustawowo dozwolonej pracy pisemnej (w formie monografii naukowej — i taką fizycznie posiada) i zbioru opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych — jej dwa rozdziały zostały bowiem poświęcone omówieniu prac:

- P. J. Górski, K. Kułakowski, P. Gawroński, J. A. Hołyst, Destructive influence of interlayer coupling on Heider balance in bilayer networks, *Scientific Reports*, **7**(1):1–12, 2017,
- P. J. Górski, K. Bochenina, J. A. Hołyst, R. M. D’Souza, Homophily based on few attributes can impede structural balance, *Physical Review Letters*, **125**(7):078302, 2020.

W obu tych pracach Autor dysertacji jest pierwszym autorem. Autor wspomina też o odniesieniu się w swej rozprawie do jeszcze jednej dotychczas nieopublikowanej pracy.

W rozdziale pierwszym, wprowadzającym w tematykę pracy, zakreślono też główne cele pracy, którymi są:

1. zbadanie wpływu różnego typu oddziaływań między agentami;
2. zbadanie wpływu homofilicznych relacji międzyagentowych;
3. oraz zbadanie wpływu atrybutów agentów

na osiągnięcie w układzie równowagi strukturalnej.

W dalszej części tego rozdziału przedstawiono podstawowe informacje o sieciach złożonych, omówiono wybrane procesy i zjawiska obserwowane w sieciach społecznych, zdefiniowano stanowiące rdzeń pracy pojęcie równowagi strukturalnej oraz przedyskutowano zagadnienie tej ostatniej w sieciach wielowarstwowych. Rozdział kończy

dyskusja możliwości jednoczesnego modelowania zjawiska homofilii i równowagi strukturalnej, w tym analiza polaryzacji badanego układu. Treść tego rozdziału wypełnia ustawowe przesłanki odnośnie wymogu prezentacji ogólnej wiedzy kandydata w dyscyplinie, w której Autor dysertacji ubiega się o nadanie stopnia doktora.

Tytuł rozdziału drugiego „Wpływ istnienia połączeń międzywarstwowych na równowagę strukturalną” precyzyjnie odzwierciedla jego zawartość. Treść tego rozdziału w znakomitej większości oparto na publikacji *Scientific Reports*, **7**(1):1–12, 2017. Ma to bezpośrednie odzwierciedlenie w rysunkach 2.1–2.7 odpowiadających siedmiu rycinom (1, 2, 3a i 3b, 3c, 4, 5, 6a i 6b) z przywołanego artykułu.

W rozdziale pokazano równania dynamiki rządzące ewolucją czasową  $x_{ij}^\alpha$  wag krawędzi łączącej agentów  $i$  i  $j$  w warstwie o indeksie  $\alpha$  (dla sieci dwuwarstwowej) wraz z uogólnieniem na sieć  $M$ -warstwową. Dalej Autor prezentuje szczegóły numerycznego rozwiązania tych równań (w oparciu o pakiet Matlab) oraz dyskutuje pewne szczególne przypadki (jak układ o sprzężeniu symetrycznym czy pojedynczą triadę aktorów) dla których istnieją rozwiązania analityczne tych równań. Analiza ta pozwoliła na przykład na konstrukcję

- swoistego diagramu fazowego w przestrzeni parametrów  $\beta_1$  i  $\beta_2$  regulujących wpływ warstwy drugiej na warstwę pierwszą i pierwszej na drugą,
- zależności prawdopodobieństwa  $P_{RS}$  uzyskania stanu zrównoważonego strukturalnie od stałych sprzężenia  $\beta_{1,2}$  również dla przypadku symetrycznego ( $\beta \equiv \beta_1 = \beta_2$ ),
- zależności prawdopodobieństwa  $P_{RS}$  uzyskania stanu zrównoważonego strukturalnie od rozmiaru układu  $N$ ,
- wykresu przedstawiającego ewolucję czasową wartości wag krawędzi łączącej agentów.

W rezultacie Autor wykazał zmniejszenie obszaru występowania stanu zrównoważonego strukturalnie skutkiem sprzężenia międzywarstwowego oraz wykrył różne typy uporządkowania wag krawędziowych w warstwie i między warstwami.

W rozdziale trzecim Autor skupił się na badaniach zrównoważenia strukturalnego w strukturze jednowarstwowej przy przyjęciu modelu dynamiki lokalnych triad bazujących na atrybutach. Tym razem dyskutowane wyniki korespondują częściowo z wynikami opublikowanymi w pracy *Physical Review Letters*, **125**(7):078302, 2020 — swoje jednoznaczne odwzorowania w wymienionej pracy posiadają rysunki 3.2 (1), 3.9 (4a), 3.12 (2), 3.13 (3), 3.16-j (4b).<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>W nawiasach wskazuję numerację rycin w przywołanej publikacji.

W tym rozdziale Autor analizuje zaproponowany model w podejściu błędzenia przypadkowego, pokazuje dokładne rozwiązanie dla małych układów oraz dyskutuje asymptotykę rozwiązań analitycznych (dla równań Fokkera–Plancka na ewolucję prawdopodobieństwa tego, że krawędź ma określoną wagę).

Dla małego układu (jednej triady) Autor wykazuje, że w modelu dynamiki lokalnych trójkątów bazujących na atrybutach prawdopodobieństwo  $P_p$  osiągnięcia fazy raj (,,paradise”) w funkcji parametru  $p$  tego modelu nigdy nie osiąga jedności. Fakt ten Autor kwituje zatytułowaniem podrozdziału „Brak przejścia fazowego w układzie jednej triady”.

W dalszej części pracy znajdziemy, między innymi, analizę rozkładu prawdopodobieństwa wag krawędzi oraz gęstości krawędzi dodatnich dla różnych stosunków liczby atrybutów i liczby agentów oraz diagram fazowy w przestrzeni parametrów prawdopodobieństwa  $p$  (wyboru krawędzi ujemnej przy wylosowaniu triady z jedną krawędzią ujemną) i wykładnika  $\gamma$  (w zależności liczby atrybutów przypisanych do każdego agenta od liczby agentów) zbudowany dla granicy termodynamicznej układu. Rozdział kończy dyskusja własności układów o ustalonej liczbie atrybutów albo ustalonej liczbie agentów oraz testowanie hipotezy, że przy pewnej wartości  $p$  stan układów o zadanej liczbie węzłów nie zależy od liczby atrybutów charakteryzujących aktorów.

Na podstawie uzyskanych rezultatów Autor wnioskuje, że: (1) zjawisko homofilii utrudnia osiągnięcie zrównoważonego stanu globalnej kooperacji; (2) istnieją dwie charakterystyczne wartości prawdopodobieństwa  $p$ ; (3) w granicy dużych układów i dużej liczby atrybutów modele dynamiki lokalnych trójkątów oraz dynamiki lokalnych trójkątów bazującej na atrybutach są sobie równoważne. Ten ostatni wniosek może się wydawać kontrowersyjny — i chętnie posłucham przy najbliższej okazji wyjaśnień Autora w tej sprawie — gdyż model dynamiki lokalnych trójkątów zakłada brak jakiegokolwiek dekoracji węzłów sieci (a więc  $G = 0$  a nie  $G \rightarrow \infty$ ).

Celem czwartej części pracy jest analiza wpływu różnego rodzaju atrybutów na osiągnięcie przez układ stanu równowagi strukturalnej i stanu spolaryzowanego.

Zaproponowany model jest syntezą modeli wykorzystywanych w dwóch poprzednich rozdziałach. W modelu występują dwie warstwy, z których każda jest ważonym grafem zupełnym. Jedna z warstw pełni rolę warstwy relacji (o wagach  $x_{ij}$ ) druga zaś (o wagach  $g_{ij}$ ) charakteryzuje warstwę atrybutów definiowanych jako  $G$ -elementowy wektor cech  $\mathbf{A}_i = (a_i^1, \dots, a_i^g, \dots, a_i^G)$ . Współczynnik sprzężenia międzywarstwowego  $\gamma$  mierzy intensywność oddziaływania wag  $g_{ij}$  na wagi  $x_{ij}$ .

Do pomiaru podobieństwa wektorów atrybutów w pierwszym przybliżeniu można by wybrać prostą odległość Hamminga pomiędzy atrybutami  $\mathbf{A}_i$  i  $\mathbf{A}_j$ . Taką właśnie odległość między aktorami (czy raczej ich atrybutami) stosował Autor w rozdziale trzecim (równanie (3.1)). Odpowiada ona (po normalizacji do liczby atrybutów  $G$ ) wagom w warstwie atrybutów  $g_{ij}$  przy przyjęciu miary podobieństwa między

agentami  $h_{i,j}$  podanej w równaniu (4.6) — przy założeniu sił atrybutów  $C_g \equiv 1$  dla  $g \in \{1, 2, \dots, G\}$ . I taką miarę podobieństwa stosuje Autor do pozytywnych atrybutów kategoriycznych. Inne miary zostały zaproponowane do atrybutów dychotomicznych czy atrybutów uporządkowanych. Wymieniona powyżej nomenklatura oraz klasyfikacja atrybutów jest oryginalną koncepcją Autora i stanowi wartość dodaną do pracy wykraczającą poza dyscyplinę nauk fizycznych. Koncepcja tej klasyfikacji i związana z nią propozycja miar podobieństwa została przystępnie zilustrowana na rys. 4.3.

Następnie Autor bada wpływ liczby atrybutów  $G$ , liczby kategorii  $v$ , średniej intensywności wpływu przypadającej na jeden atrybut  $\gamma/G$  i liczby agentów  $N$  na destabilizację (bądź możliwość pojawienie się) równowagi strukturalnej (bądź polaryzacji) w warstwie relacji.

Jako wnioski z analizy wyników tego rozdziału Autor podkreśla decydującą rolę atrybutów (mając na myśli, decydującą rolę wpływu wartości wiązań  $g_{ij}$  na wartości wiązań  $x_{ij}$ ) o ile wartość sprzężenia  $\gamma$  międzywarstwowego jest odpowiednio silna (czego może i należało się intuicyjnie spodziewać). Czytamy też, że pojawienie się w układzie negatywnych atrybutów kategoriycznych powoduje destabilizację istniejącego bądź utrudnia pojawienie się stanu równowagi strukturalnej. To ostatnie stwierdzenie może być użyteczne zarówno w zagadnieniach socjologii pracy jak i (z premedytacją wykorzystane) w inżynierii społecznej.

Treść rozdziałów 2–4 jednoznacznie wskazuje na wypełnienie ustawowej przesłanki odnośnie wymogu umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez kandydata do stopnia doktora. Pracę wieńczy zgrabne podsumowanie wraz ze wskazaniem ścieżki dalszych badań oraz lista stu czterdziestu pięciu referencji.

Praca napisana jest bardzo ładną polszczyzną, jej układ jest przemyślany, przedstawiane wnioski są logicznie wyciągane z uzyskanych i klarownie prezentowanych wyników a edytorsko praca mogłaby być stawiana za wzór innym kandydatom do stopnia doktora gdyby pominąć drobne uchybienia redakcyjne. Za ich przykład mógłbym jedynie wskazać nieporadność (acz dość konsekwentną) Autora przy korzystaniu ze znaków przestankowych w okolicy eksponowanych wyrażeń matematycznych. Te ostatnie, zgodnie z zasadami sztuki redaktorskiej, powinny stanowić integralną część zdań w których występują. Stąd jako błędy interpunkcyjne traktuję brak przecinków i kropek na końcach równań (2.1), (2.8)–(2.11), (2.13), (2.14), (3.3)–(3.5), (3.7)–(3.9), (4.5) i niestety jeszcze kilku, bądź przedwczesne stawianie kropek w miejscach bezpośrednio te równania poprzedzających. Całkiem poprawnie (acz niezwykle rzadko) poradził sobie z tym Autor w innych częściach pracy, jak na przykład przy równaniach (1.1), (3.1), (3.35)–(3.37). Częste wstawianie dwukropka przed wymienionymi wcześniej równaniami jest chyba też jego nadużyciem — przynajmniej recenzent nie spotkał się wcześniej z taką praktyką.

Zgodnie z ustawą „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 wątpienia przedstawiona praca spełnia oba te warunki. Przedmiotem tej rozprawy doktorskiej jest (znów ustawowo dozwolone) oryginalne rozwiązanie problemu naukowego postawionego jasno na osiemnastej stronie pracy. Na podkreślenie zasługuje fakt oparcia pracy na publikacjach, których mgr Górski jest pierwszym współautorem — w tym w najbardziej prestiżowym czasopiśmie fizycznym za jakie uchodzi *Physical Review Letters*.

Reasumując, praca doktorska mgr. inż. Piotra J. Górskiego spełnia formalne i zwyczajowe (w mojej ocenie te ostatnie to nawet ze sporym naddatkiem) wymogi dla tego typu prac i z pełnym przekonaniem rekomenduję Komisji Doktorskiej dopuszczenie jej Autora do dalszych czynności w prowadzonym przewodzie doktorskim.

Biorąc pod uwagę przywołany przed chwilą naddatek (w spełnieniu wymogów zwyczajowych jakie powinna spełniać praca doktorska), wychodzącą poza ramy dyscypliny wartość dodaną pracy (w postaci zaproponowania oryginalnej koncepcji klasyfikacji atrybutów aktorów) oraz opublikowanie części dysertacji w renomowanych czasopismach, a przede wszystkim wiodący udział (bo tak chyba należy odczytać pierwszeństwo Doktoranta na liście współautorów) w publikacji w *Physical Review Letters* stawiam wniosek o wyróżnienie tej rozprawy.



