

AUTOREFERAT

**Modelowanie procesów rozprzestrzeniania się
opinii i emocji w różnych typach grup
społecznych z wykorzystaniem metod fizyki
statystycznej i dynamiki wieloagentowej**

Dr Paweł Sobkowicz

2 czerwca 2015

Dane personalne

Paweł Sobkowicz

02-777 Warszawa, Al. Komisji Edukacji Narodowej 94/140

ur. 19.04.1958

Wykształcenie i stopnie naukowe

- Studia na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (1977-1983), Magister fizyki, praca magisterska „Macierz dielektryczna grafitu przekładanego”, dyplom z wyróżnieniem;
- Stopień doktora nauk fizycznych, uzyskany w Instytucie Fizyki PAN, rozprawa doktorska „Własności dwuwymiarowych układów elektronowych w półprzewodnikach półmagnetycznych” (1990), promotor prof. dr hab. Jacek Kossut.

Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- Studia doktoranckie, Instytut Fizyki PAN (1983-1988)
- Starszy asystent, później adiunkt, Instytut Fizyki PAN (1988-1993)
- Kierownik Działu Transferu Technologii, Narodowe Centrum Badań Jądrowych Świerk, od czerwca 2012.

Wskazanie osiągnięcia stanowiącego podstawę postępowania habilitacyjnego

Podstawą postępowania habilitacyjnego wynikającą z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.) jest jednotematyczny cykl prac poświęconych zagadnieniom modelowania zjawisk społecznych, zatytułowany **Analiza procesów rozprzestrzeniania się opinii i emocji w różnych typach grup społecznych z wykorzystaniem metod fizyki statystycznej i modelowania wieloagentowego**. Prace te, publikowane w latach 2009-2015 przedstawiały zarówno nowe modele teoretyczne, jak i analizy rzeczywistych środowisk społecznych z wykorzystaniem tych modeli.

Interdyscyplinarne podejście badawcze reprezentowane przez omawiane prace, oparte na zastosowaniu metod i pojęć znanych z fizyki do zagadnień socjologicznych staje się coraz popularniejsze, przynosi bowiem realne korzyści obu dziedzinom. Stąd też coraz powszechniejsze użycie dla takich badań określenia **socjofizyka**. Z jednej strony, badanie zjawisk społecznych dostarcza fizykom motywacji do opisywania nietrywialnych układów o skomplikowanej strukturze i dynamice (wewnętrznej i zewnętrznej). Choć częstym punktem startowym są metody fizyki statystycznej, stopień komplikacji zjawisk społecznych i odchylenia od wartości uśrednianych zmuszają do wyjścia poza te metody. Z drugiej strony, modele socjofizyczne pozwalają na wskazanie regularności opisywalnych znanymi z fizyki statystycznej pojęciami, takimi jak entropia, przejścia fazowe, parametry porządku, a dzięki temu na lepsze rozumienie mechanizmów społecznych w skali masowej.

Jednym z ważnych działów socjofizyki jest analiza opinii w grupach społecznych [C1]. Zmiany opinii społecznej wykazują podobieństwo do oddziaływań magnetycznych w układach nieuporządkowanych. Pierwsze prace fizyków poświęcone temu zagadnieniu wskazywały analogie między charakterystycznymi wielkościami i składnikami układów i przenosiły bezpośrednio wyniki fizyczne do socjologii. W podejściu tym odpowiednikiem indywidualnych przekonań czy opinii poszczególnych osób jest spin atomów. Wypadkowej opinii całej grupy odpowiada makroskopowa magnetyzacja. Siły analogii szukać należy w prostocie porównań: konsensus odpowiada całkowitej magnetyzacji, konflikty opinii między osobami odpowiadają frustracji spinów itp. Jednak wartość podejścia wychodzi poza prostotę. Zastosowanie metod socjofizycznych pozwala na efektywne wykorzystanie pojęć i aparatu matematycznego upraszczającego analizę zjawisk socjologicznych (na przykład przez wprowadzenie ekwiwalentów pojęć temperatury czy entropii) i prowadzące do konkretnych wyników – na przykład opisu zmian opinii w grupach opartych o analizę przejść fazowych. Określenie uniwersalnych cech takich przejść, dla różnych „mikroskopowych” wzorców oddziaływań pomiędzy ludźmi jasno wskazuje użyteczność takiego podejścia.

Analiza opinii społecznych z wykorzystaniem aparatu pojęciowego i metod fizycznych ma dość długą historię. Warto zwrócić uwagę, że polscy badacze odegrali znaczącą rolę w rozwoju tej dyscypliny. Wkład ten sięga historycznych prac Nowaka, Latanè, Szamreja i Lewensteina [C2, C3, C4], obejmuje niezwykle popularny model indywidualnej dynamiki opinii zapropono-

wany przez Sznajda i Sznajd-Weron [C5] aż po modele oparte na dynamicznym opisie wpływu (*social influence model*) Hołysta i Kacperskiego [C6, C7, C8].

Interdyscyplinarna metodologia ma jednak, oprócz niewątpliwych zalet, także wady. Niektóre z nich wynikają z różnic pomiędzy głównymi punktami zainteresowania i językiem charakterystycznym dla socjologii i fizyki. Wspomniane podejście do dynamiki opinii jest tu dobrym przykładem: fizyczne opisy zjawisk magnetycznych koncentrują się na przejściach fazowych prowadzących do pełnej magnetyzacji i warunkach ich wystąpienia. Stąd też znacząca część prac socjofizycznych poświęconych zmianom opinii w grupach opisuje warunki powstawania pełnego konsensusu – niejako „zapominając” o fakcie częstego w rzeczywistości społecznej współistnienia skonfliktowanych grup o sprzecznych opiniach – zjawiska niezwykle istotnego z socjologicznego punktu widzenia. Podobnie zależność dynamiki opinii w grupach od kształtu struktur społecznych, charakterystyki wzajemnych kontaktów między ludźmi i dodatkowych zmiennych określających zachowania poszczególnych uczestników procesów społecznych jest dopiero od niedawna wprowadzana do klasycznych modeli socjofizycznych, przybliżając je do realnych systemów społecznych. W badaniach społecznych nie można także zapominać o znaczeniu unikalnych okoliczności i jednostek – czynnikach świadomie pomijanych w podejściu statystycznym.

Chęć rozwiązania przynajmniej części tych problemów była głównym motywem moich prac związanych z modelowaniem zmian opinii. **Celem jest zbliżenie podejścia opartego o pojęcia i metody fizyki (w tym o symulacje komputerowe) z psychologicznymi i społecznymi uwarunkowaniami przetwarzania informacji, emocji i zmian opinii pojedynczych osób oraz współoddziałujących grup.**

Prace stanowiące podstawę postępowania habilitacyjnego

- [A1] P. Sobkowicz, Studies of opinion stability for small dynamic networks with opportunistic agents *International Journal of Modern Physics C (IJMPC)*, vol. 20, no. 10, pp. 1645–1662, 2009.
- [A2] P. Sobkowicz, M. Kaschesky, and G. Bouchard, Opinion Formation in the Social Web: Agent Based Simulations of Opinion Convergence and Divergence *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 7103, pp. 288–303, 2012.
- [A3] P. Sobkowicz, Effect of leader’s strategy on opinion formation in networked societies with local interactions *International Journal of Modern Physics C (IJMPC)*, vol. 21, no. 6, pp. 839–852, 2010.
- [A4] P. Sobkowicz, Modelling opinion formation with physics tools: call for closer link with reality *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 12, no. 1, p. 11, 2009.
- [A5] P. Sobkowicz and A. Sobkowicz, Dynamics of hate based Internet user networks *The European Physical Journal B*, vol. 73, no. 4, pp. 633–643, 2010.
- [A6] P. Sobkowicz and A. Sobkowicz, Two-Year Study of Emotion and Communication Patterns in a Highly Polarized Political Discussion Forum *Social Science Computer Review*, vol. 30, pp. 448–469, 2012.
- [A7] P. Sobkowicz and A. Sobkowicz, Properties of social network in an Internet political discussion forum *Advances in Complex Systems*, vol. 15, p. 1250062, 2012.
- [A8] A. Chmiel, P. Sobkowicz, J. Sienkiewicz, G. Paltoglou, K. Buckley, M. Thelwall, and J. Holyst, Negative emotions boost users activity at BBC Forum *Physica A*, vol. 390, no. 16, pp. 2936–2944, 2011.
- [A9] P. Sobkowicz, Discrete Model of Opinion Changes Using Knowledge and Emotions as Control Variables *PLoS one*, vol. 7, p. e44489, 09 2012.
- [A10] P. Sobkowicz, Minority persistence in agent based model using information and emotional arousal as control variables *The European Physical Journal B*, vol. 86, no. 7, pp. 1–11, 2013.
- [A11] P. Sobkowicz, Quantitative agent based model of user behavior in an Internet discussion forum *PLoS one*, vol. 8, no. 12, p. e80524, 2013.
- [A12] P. Sobkowicz, M. Kaschesky, and G. Bouchard, Opinion mining in social media: Modeling, simulating, and forecasting political opinions in the web *Government Information Quarterly*, vol. 29, pp. 470–479, 2012.

- [A13] P. Sobkowicz, Simulations of opinion changes in scientific communities *Scientometrics*, vol. 87, no. 2, pp. 233–250, 2011.
- [A14] P. Sobkowicz, Extremism without extremists: Deffuant model with emotions *Frontiers in Physics*, vol. 3, doi: 10.3389/fphy.2015.00017, 2015

Omówienie celu naukowego prac i osiągniętych wyników

Wprowadzenie

Prace badawcze stanowiące podstawę postępowania habilitacyjnego stanowią rezultat spójnego tematycznie, choć zróżnicowanego warsztatowo programu badawczego. Jego tematem było zagadnienie zmian opinii w grupach społecznych, opisywane za pomocą modelowania agentowego. Historycznie, pierwsze z tych prac wywodziły się z klasycznego nurtu socjofizyki, przedstawiając konkretne propozycje modyfikacji istniejących modeli wpływu społecznego [C6, C7, C8], uwzględniające nowe efekty mające swoje społeczne i psychologiczne odpowiedniki. Wśród nich były efekty wynikające z dynamicznej natury sieci społecznych (w których nie tylko opinie poszczególnych osób ale także cała sieć wzajemnych powiązań może ulegać zmianie – co z kolei wpływa na dalsze oddziaływania) [A1], skutki uwzględnienia osób o neutralnych poglądach (przejście od modelu dwustanowego $+/-$ do modelu trójstanowego $+/0/-$) [A2] czy wreszcie efekty oddziaływania liderów, biorące pod uwagę ograniczoność zasobów jakim oni dysponują [A3]. Prace te, pozostając w głównym nurcie socjofizycznych badań dynamiki opinii, wskazały na dość interesujące elementy, w tym na możliwość długotrwałej koegzystencji grup społecznych o odmiennych poglądach. Co istotne, różnice w proponowanych modelach szczegółowych wskazywały na to, że ten sam efekt – istnienie trwałej mniejszości, niepoddającej się wpływom większości – może być wyjaśniony na różne sposoby, poprzez różne mechanizmy.

Jednym z pośrednich efektów pracy nad wspomnianymi powyżej publikacjami była obserwacja dotycząca znaczącego oderwania modeli socjofizycznych od realiów zachowań społecznych. Omówiona została ona w przeglądowym artykule [A4]. Tylko kilka z niemal pięćdziesięciu omówionych tam prac próbowało odnieść uzyskane wyniki do konkretnych danych socjologicznych.

Konstatacja potrzeby takich porównań wymusza od teoretyka uzyskanie dostępu do danych obserwacyjnych. Szczególny charakter badań dynamiki opinii w skali masowej uniemożliwia wykorzystanie wyników badań psychologicznych, prowadzonych z reguły w małych kilku- kilkunastoosobowych grupach. Na szczęście, przynajmniej częściowym wyjściem jest wykorzystanie informacji jakie pozostawiają po sobie aktywni użytkownicy Internetu. W tej sytuacji, równoległe do kontynuowanych badań dotyczących modeli teoretycznych, przeprowadzone zostały obserwacje i analizy zachowań uczestników forów dyskusyjnych. Miały one na celu uzyskanie informacji o właściwościach rzeczywistych sieci komunikacji społecznej, dynamice poglądów i wzajemnych relacji, z roboczym założeniem uzyskania danych wspierających bądź osłabiających pozycję poszczególnych modeli dynamiki opinii. Prace te kontynuowane były przez ponad dwa lata [A5, A6, A7] i dostarczyły bogatego materiału, obejmującego nie tylko opinie, ale także zachowania emocjonalne, a nawet odkryte regularności w tak zaskakujących cechach jak lognormalny rozkład długości komentarzy, który okazał się bardzo uniwersalną cechą niezależną od tematyki wypowiedzi, a nawet od języka [C9].

Podjęta w tym czasie współpraca z Pracownią Fizyki w Ekonomii i Naukach Społecznych,

Centrum Doskonałości Badań Układów Złożonych Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej pozwoliła na poszerzenie analizowanych danych o zapisy dotyczące dyskusji internetowych na forach BBC. Proponowany przez autora model zastosowany został do opisu tych danych w zbiorowej pracy [A8]. Szczególnym, nowatorskim elementem tych opracowań było uwzględnienie roli dialogów (kłótni) między użytkownikami w charakterystyce sieci społecznych.

Zaobserwowana w omawianych powyżej analizach silna rola emocji towarzyszących wyrażanym opiniom była motywacją dla stworzenia całkowicie nowego modelu dynamiki opinii. Model ten, wykorzystujący podejście agentowe, oparty był na zmodyfikowanej przez ograniczenia do skończonej liczby stanów teorii katastrof. Traktuje on indywidualne opinie jako zależne od dostępnych agentowi informacji i jego stanu emocjonalnego, oraz od informacji i emocji jakie przekazują danej osobie inni członkowie społeczności lub media; stąd jego nazwa Emocje/Informacje/Opinie (E/I/O). Model był rozwijany począwszy od najprostszych rozwiązań w przybliżeniu pola średniego [A9], przez zbadanie skutków skończonego zasięgu oddziaływań [A10], aż po będącą swoistym ukoronowaniem programu pracę [A11]. Ta ostatnie praca w jednym syntetycznym ujęciu uwzględniała aspekty sieciowe, w tym kłótnie między parami użytkowników, jak też wpływ emocji i różnic poglądów na treść komentarzy. W rezultacie powstał ilościowy model zachowań, zgodny z obserwacjami zarówno w odniesieniu do własności sieci społecznych, wyrażanych emocji i intencji komentarzy.

Model E/I/O dobrze opisuje obserwowaną w zjawiskach społecznych rosnącą rolę postaw ekstremalnych. Zagadnienie to, ze względu na swoje konsekwencje, jest coraz częściej badane metodami socjofizycznymi. Jak się okazuje, może ono występować w stabilny i powtarzalny sposób także w znacznie prostszych modelach, takich jak model Deffuanta – zagadnieniu temu poświęcona jest praca [A14].

Ze względu na interdyscyplinarny charakter zagadnienia, prace związane z omawianą tematyką publikowane były nie tylko w czasopismach fizycznych, ale także socjologicznych, jak na przykład [A2, A6, A12], oraz prezentowane na wielu konferencjach poświęconych naukom społecznym.

Rozwinięcie modelu wpływu społecznego: dynamika opinii w aktywnie zmieniającej się sieci społecznej

Pierwsza z prac stanowiących podstawę habilitacji, *Studies of opinion stability for small dynamic networks with opportunistic agents* [A1] wprowadzała do istniejącego modelu teoretycznego *social influence* Hołysta i Kacperskiego badanie skutków zmienności sieci relacji pomiędzy osobami. Znacząca większość wcześniejszych prac różnych autorów traktowała takie powiązania jako niezmiennie w czasie. W najprostszych modelach członkowie grup społecznych opisywani byli w języku atomów umieszczonych na geometrycznej sieci (najczęściej dwuwymiarowej), oddziałujących między najbliższymi sąsiadami. Wraz ze wzrostem zainteresowania realnymi sieciami społecznymi, spopularyzowanymi pracami Watta i Strogatza [C10, C11], Alberta i Barabásiego [C12, C13] i innych, prosta geometryczna topologia zastępowana jest coraz częściej modelami, w których oddziałujące atomy są węzłami sieci, której struktura odpowiadała typowym sieciom społecznym [C14]. Praca [A1] przyjęła za punkt wyjścia obserwację, że w realnych sytuacjach możliwa jest koewolucja sieci powiązań społecznych i poszczególnych opinii: opinie mogą wpływać na kształt sieci, a struktura sieci na odczuwane wpływy innych osób. W większości modeli socjofizycznych, kontakt dwóch osób o przeciwnych opiniach może prowadzić do zmiany opinii przez jedną z tych osób, „przekonanej” przez rozmówcę lub rozmówców (model wyborcy, model Sznajdów, model wpływu społecznego, [C15, C5, C2, C3, C4]), do zbliżenia poglądów obu osób (model ograniczonego zaufania [C16, C17]), lub wreszcie do pozostania przy poprzednio przyjmowanych opiniach. Zauważmy jednak, że w realnych sytuacjach częstą reakcją na fundamentalne różnice poglądów (na przy-

kład politycznych) nie są próby wzajemnego porozumienia i związane z nimi zmiany opinii przez jednego z dyskutantów, ale raczej **zerwanie więzi z osobą żywiącą „wrogie” przekonania**, a także **poszukiwanie kontaktu z osobami o podobnych poglądach**. Prowadzi to do wybiórczego grupowania i zmniejszenia znaczenia kontaktów z osobami o odmiennych opiniach. Zjawiska te są dobrze znane w socjologii (*false consensus*, *selective exposure*). Prowadzi to z kolei do lokalnej stabilizacji opinii: osoby znajdujące się (z własnego wyboru) w środowisku podzielaającym ich opinię, są mniej podatne na zmiany i wpływ opinii przeciwnych.

Drugim elementem wprowadzonym w omawianej pracy było wprowadzenie niewielkiej liczby „fanatyków” – agentów o niezmiennych opiniach, i zbadanie wpływu ich obecności na statystyczne zachowania całego systemu.

Główne założenia modelu przedstawić można następująco:

- Opisany układ społeczny składa się z N oddziałujących agentów. Zmiany realizowane są w dyskretnych krokach czasowych.
- Każdy agent i charakteryzowany jest przez opinię $\sigma(i)$, mogącą przyjąć dyskretne wartości (+ lub -). Początkowa liczebność agentów o opinii +, N_+^{ini} , jest jednym z kluczowych parametrów kontrolnych modelu – opisując początkową asymetrię układu.
- Agenci połączeni są siecią społeczną. Początkowa struktura sieci oparta jest o bezskalową sieć Barabasięgo-Albert.
- Niektóre z powiązań w tej sieci traktowane są jako trwałe (statyczne), co odpowiada, przykładowo, powiązaniom rodzinnym czy związanych z miejscem pracy. Powiązanie takie są trudne rozerwania, nawet jeśli pomiędzy poszczególnymi osobami występują różnice poglądów. Pozostałe powiązania traktowane są jako swobodne – mogą zostać zerwane jeśli dane osoby różnią się poglądami i „nie chcą mieć ze sobą nic wspólnego”. W miejsce tak zerwanych powiązań mogą powstać nowe, łącząc osoby o podobnych opiniach. Takie nowe powiązania traktowane są jako swobodne. W celu zachowania ogólnych cech sieci społecznej procesy zrywania i nawiązywania powiązań realizowane są w sposób utrzymujący całkowitą liczbę powiązań na stałym poziomie.
- Każdy agent i charakteryzuje się dodatkowo swoim oportunizmem. Opisuje to parametr $\omega(i)$ ($0 \leq \omega(i) \leq 1$). Małe wartości $\omega(i)$ odpowiadają agentom, u których prawdopodobieństwo zmiany opinii pod wpływem innych (lub pod wpływem oddziaływań zewnętrznych) jest bardzo małe. Takich agentów określamy jako „fanatyków”. Z kolei duże wartości $\omega(i)$ odpowiadają „oportunistom” – agentom, którzy chętnie zmieniają swój pogląd, przyłączając się do większości lub ulegając zewnętrznej propagandzie. Ogólny model pozwala na zastosowanie dowolnego rozkładu $\omega(i)$, jednak w prezentowanych rezultatach zastosowano prosty dwuwartościowy rozkład, w którym niewielka grupa fanatyków ma bardzo małe wartości $\omega(i) = \omega_f$ a pozostali oportuniści mają $\omega(i) = \omega_o$, ($\omega_f \ll \omega_o$).
- Wpływ poszczególnych agentów na innych zależy od ich opinii oraz od odległości społecznej, przy czym odległość ta obliczamy jako najkrótszą ścieżkę łączącą parę agentów. Jak we wszystkich modelach wpływu społecznego wpływ ten jest sumowany – zatem kluczową rolę odgrywają wartości uśrednione.

Sam proces symulacji składa się z następujących etapów:

1. Utworzenie początkowej konfiguracji sieci, przypisanie początkowych opinii $\sigma(i)$ i oportunizmu $\omega(i)$ agentom, oraz określenie, które powiązania w sieci będą statyczne a które wolne. Średnia ilość powiązań na agenta powinna odpowiadać z grubsza wartościom z realnych sieci społecznych, stąd wybrano średnią wartość 6 dwustronnych połączeń na agenta. Oczywiście bezskalowa natura sieci początkowej oznacza, że obok dużej liczby

agentów o mniejszej niż ta wartość ilości połączeń, w sieci znajdzie się pewna ilość agentów o znacząco większej liczbie powiązań.

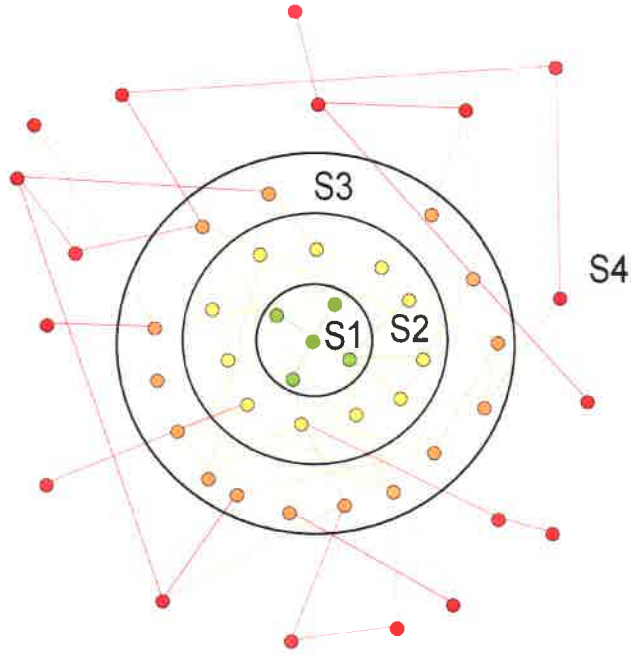
2. Przypisanie wartości i układu sieci opisane powyżej oparte jest na pełnej przypadkowości w ramach zadanych rozkładów. Struktura taka ma mało wspólnego z realnymi warunkami społecznymi. **Ten problem – ustalenia sensownych warunków początkowych dla symulacji, tak aby nie zakłócały one wyników modelu – będzie jeszcze wielokrotnie wspomniany w niniejszej rozprawie.** W szczególności, już startowe warunki powinny uwzględniać pewien stopień rozdzielania między zwolennikami przeciwnych opinii. W tym celu początkowa, w pełni przypadkowa konfiguracja sieci poddana jest w czasie stosunkowo niewielkiej liczby pierwszych iteracji modyfikacji mającej nadać jej taki kształt. W toku pierwszych 5000 iteracji proces obejmuje jedynie zrywanie i tworzenie powiązań, agenci nie zmieniają przy tym swoich opinii. To prowadzi do powstania sieci, w której zwolennicy przeciwnych poglądów są od siebie częściowo oddzieleni. Rozpoczynanie symulacji zmian opinii w konfiguracji całkowicie przypadkowej – typowe dla wielu prac – prowadzi niekiedy do dość nietypowych zachowań, nieznanymi w naukach społecznych. Zaznaczenie wymaga fakt, że w symulacjach, w których wszystkie powiązania traktowane są jako statyczne, ta wstępna faza po prostu nie występuje i konfiguracja pozostaje przypadkowa.
3. Późniejsza faza symulacji, składająca się z o wiele większej liczby iteracji (< 200000), opiera się na dwóch kolejnych krokach: możliwej zmiany opinii u przypadkowo wybranego agenta oraz zmiany powiązań społecznych tego agenta, poprzez ewentualne zerwanie istniejących połączeń, w przypadku różnic poglądów i nawiązania nowych powiązań z kimś o poglądach podobnych.

Wpływ innych osób: model stref oddziaływania

Pierwotny model wpływu społecznego zakładał uzależnienie siły oddziaływania między parami agentów od ich odległości społecznej. Typowe założenie potęgowe spadku siły tego oddziaływania z odległością w formie potęgowej $\sim x_{ij}^{-\alpha}$ miało sens w szczególności w rozważaniach geometrii 2D i 3D (jak to miało miejsce w pracach Nowaka i in. [C2, C3, C4]). Jednak sieci bezskalowe, spotykane w wielu systemach społecznych charakteryzują się stosunkowo bliskimi odległościami między uczestnikami (będąc jedną z topologii realizujących słynne „7 stopni oddalenia”, wprowadzone przez Wattsa [C11]). Ilość agentów oddalonych o dwa, trzy, cztery kroki w sieciach bezskalowych gwałtownie rośnie. To oznaczałoby nieproporcjonalnie duży wpływ oddziaływań z osobami „oddalonymi”, po prostu ze względu na ich ilość. A doświadczenie socjologiczne i psychologiczne wskazuje, że istotniejsza powinna być rola osób z najbliższego otoczenia.

W celu rozwiązania tego problemu **zaproponowany został przez autora model sfer oddziaływania, bazujący w zasadniczych koncepcjach na modelu wpływu, ale inaczej traktujący wkład do siły oddziaływania pochodzący od coraz bardziej oddalonych agentów.**

Dla każdego z agentów i obliczamy odległość społeczną innych agentów j (liczoną jako najkrótsza ścieżka między tymi agentami). Agentów tych dzielimy następnie na 4 grupy (sfery) S_1, S_2, S_3 i S_4 , składające się, odpowiednio, z najbliższych sąsiadów, drugich i trzecich sąsiadów oraz reszty społeczności. Siła oddziaływania agenta j na i zależy od sfery, w której się znajduje. Siła ta uzależniona jest także od czynnika $f_o(i, j)$, który odzwierciedla naturalną tendencję do przypisywania większego znaczenia opiniom osób, które zgadzają się z nami, niż opiniom osób wyrażających opinie przeciwne. Przyjęto $f_o(i, j) = 2$ jeśli $o(i) = o(j)$ oraz $f_o(i, j) = 1$ gdy $o(i) \neq o(j)$



Rysunek 1: Schematyczne zobrazowanie czterech sfer oddziaływania: najbliższych sąsiadów społecznych (S1), drugich (S2) i trzecich (S3) sąsiadów oraz „reszty społeczeństwa” (S4).

Dla każdej z czterech sfer K obliczana jest uśredniona, znormalizowana wartość wpływu na agenta i od agentów znajdujących się w tej sferze I_K :

$$I_K = \frac{-\sum_{j \in S_K} f_o(i, j) o(i) o(j)}{\sum_{j \in S_K} f_o(i, j)} \quad (1)$$

Mianownik w tym wyrażeniu ma za zadanie normalizować I_K , tak aby w przypadku gdy wszyscy agenci j z danej sfery nie zgadzali się z i wartość $I_K = 1$, a gdy wszyscy agenci zgadzali się z i wartość ta wynosiłaby $I_K = -1$.

Całkowity wpływ społeczeństwa $I(i)$ na agenta i obliczany jest jako ważona średnia z I_K . W celu uwzględnienia faktu, że wpływ bliskich znajomych jest większy niż odległych, wagi przypisywane poszczególnym sferom maleją w postępie geometrycznym, określonym zmienną d .

$$I(i) = \sum_{K=1}^4 I_K d^{(K-1)} \frac{1-d}{1-d^4}, \quad (2)$$

gdzie mianownik zapewnia normalizację. W pracy [A1] przyjęto $d = 0.5$ i $d = 0.3$, co odpowiada przypisaniu odpowiednio 53% i 70.5% wpływu sferze S_1 najbliższych sąsiadów każdego z agentów.

Podobnie jak w pracach Hołysta i Kacperskiego [C6, C7, C8], obok wpływu innych agentów, model uwzględnia także oddziaływanie zewnętrznych czynników, takich jak propaganda czy media. W analogii fizycznej odpowiada to zewnętrznemu polu magnetycznemu. Realizowane jest to poprzez czynnik $h(i) = -ho(i)$, gdzie h jest prostym współczynnikiem numerycznym, będącym jednym z parametrów zmienianych w symulacjach. Drugim podstawowym parametrem jest początkowa ilość agentów o opinii +, N_+^{ini} .

Wybrany przypadkowo agent i zmienia swoją opinię z prawdopodobieństwem $P = (I(i) + h(i)) \omega(i)$, gdzie $\omega(i)$ jest miarą jego oportunisty. Duże wartości $\omega(i) \approx 1$ odpowiadają agentom „normalnym”. Małe, $\omega(i) \ll 0.1$, odpowiadają agentom trwającym przy swoich poglądach, określanym jako „fanatyczny”. Kiedy suma $I(i) + h(i)$ jest mniejsza niż zero (ogólny wpływ otoczenia

i czynników zewnętrznych jest zgodny z aktualną opinią agenta i) nie ma „powodów” do zmiany opinii. Z drugiej strony, kiedy $I(i) + h(i) > 0$, prawdopodobieństwo zmiany zależy zarówno od siły wpływu jak też od oportunistu agenta i .

W propozycji sfer wpływu istotny jest rosnący stopień uśredniania opinii i wpływu wraz ze wzrostem odległości od agenta i . Indywidualny wpływ pojedynczych agentów w sferze S_4 jest bardzo mały. Odlegli agenci stanowią zatem zuniformizowane tło, którego opinie dochodzą do konkretnego agenta pośrednio, element zbliżający model do realnych obserwacji psychologicznych.

Modyfikacja sieci na skutek różnic poglądów

Drugim elementem symulacji jest modyfikacja sieci w odpowiedzi na różnice poglądów między poszczególnymi agentami. Mając na celu zachowanie ogólnych statystyk sieci powiązań procesy zrywania i nawiązywania powiązań zostały połączone. Oczywiście, w odniesieniu do realnych zjawisk społecznych jest to uproszczenie: warunek zamrożenia ogólnej liczby powiązań społecznych nie musi być – i najczęściej nie jest – spełniony. Jednak jego przyjęcie pozwala na skoncentrowanie analizy na efektach zmiany topologii połączeń wymuszanej przez różnice opinii, a nie zmianach wynikających z ewolucji średniej liczby połączeń.

Przebieg procesu można opisać następująco. Wyselekcjonowany na poprzednim etapie agent i wybiera w sposób przypadkowy spośród swoich sąsiadów agenta t , którego opinia $o(t)$ jest niezgodna z opinią $o(i)$. Połączenie między i a t zostaje zerwane. Oczywiście, jeśli wszyscy sąsiedzi i podziela ją jego opinię, nie dochodzi do zrywania połączeń.

Tworzenie nowych powiązań jest nieco bardziej skomplikowane – trzeba bowiem rozróżnić prawdopodobieństwa nawiązania bezpośredniego kontaktu w zależności od oddalenia agentów. Nowy „sąsiad” s nie jest wybrany w sposób całkiem przypadkowy, ale z prawdopodobieństwem malejącym z rosnącą odległością między i a s . Prawdopodobieństwo to, w przypadku gdy s należy do sfery S_K ($K \geq 2$) przyjęto jako

$$p(s) = \frac{A}{N_K^{agr}} \left(\frac{1}{2}\right)^{K-1}, \quad (3)$$

gdzie N_K^{agr} jest liczbą agentów w sferze S_K , których poglądy są zgodne z opinią i , a czynnik A jest globalnym czynnikiem normalizującym tak aby $\sum_s p(s) = 1$. Czynnik $(1/2)^{K-1}$ odpowiada za zmniejszające się prawdopodobieństwo wyboru agentów s z odległych sfer wokół i . Powyższa forma nie ma szczególnego uzasadnienia (fizycznego ani socjologicznego) i wybrana została jedynie ze względu na swoją prostotę obliczeniową.

Przy dominacji powiązań swobodnych następuje szybka separacja sieci na dwie niemal rozdzielne podsieci, łączące agentów o dodatnich i ujemnych wartościach opinii. Finalna charakterystyka takiej podzielonej sieci okazuje się odpowiadać konkretnym przykładom znanym ze studiów społecznych, na przykład tym opisanym przez Adamic i Glance’a [C18].

Podczas gdy średnia liczba powiązań przypadających na agenta a nawet potęgowe rozkłady *indegree* i *outdegree* pozostają niezmienione, inne cechy sieci społecznej ulegają radykalnej ewolucji. Przykładem może być rozkład najkrótszych ścieżek pomiędzy agentami (skracający się dla agentów o tych samych opiniach i rosnący dla par agentów o różniących się opiniach) oraz współczynnik klastrowania. Obliczając te wielkości dla obu podsieci osobno (szczególnie w przypadku sieci agentów o poglądach stanowiących większość) uzyskamy wyniki podobne do początkowej sieci. Z kolei dla sieci mniejszościowej, szczególnie w przypadkach gdy takich agentów jest niewielu, są oni znacząco izolowani od siebie i podsieć mniejszościowa może mieć zupełnie nową charakterystykę.

Efekty równoczesnych zmian opinii indywidualnych i sieci społecznej

Przeprowadzone w pracy [A1] symulacje zakładały początkową sieć bezskalową o średnio 6 powiązaniach na agenta. Poszczególne wyniki otrzymywano przyjmując odpowiednio różne proporcje powiązań swobodnych i statycznych: poczynając od 100% powiązań statycznych (oznaczanych na ilustracjach jako $F = 0, S = 6$), 66% powiązań statycznych ($F = 2, S = 4$); 33% takich powiązań ($F = 4, S = 2$) oraz układów wyłącznie ze swobodnymi powiązaniem ($F = 6, S = 0$). Symulacje były prowadzone dla układu o 500 agentach.

Pierwsza obserwacja odnosiła się do nieprzewidywalności wyników poszczególnych symulacji, szczególnie dla pewnych zakresów parametrów (takich jak oddziaływanie zewnętrzne h czy początkowy udział agentów o dodatniej opinii N_+^{ini}). Symulacje stabilizowały się na bardzo różnych poziomach wartości końcowej ilości agentów o dodatnich opiniach N_+ (parametru mierzącego stopień konsensusu). Konkretny przebieg symulacji, przy zadanych parametrach, mógł prowadzić do $N_+ \approx 300$, a więc podziału społeczności na prawie równe części, podczas gdy inny przebieg prowadził do $N_+ = 490$, czyli niemal pełnego konsensusu. Szczegółowa analiza wykazała, że różnice te wynikały w znacznym stopniu z pozycji, jakie w sieci zajmowali agenci-fanatyki, niezmiennie poglądów. Zajęcie przez takiego agenta pozycji z dużą ilością powiązań znacząco wpływało na zachowanie systemu – obserwacja ta była bodźcem do prac związanych z rolą liderów, których rezultaty omówione zostaną w dalszej części rozprawy. Posługując się językiem potocznym, takie różnice pomiędzy wynikami symulacji odzwierciedlały „rolę jednostki w procesie historycznym”. Przypomina to nam, że realne zjawiska społeczne mają charakter jednorazowy i unikalny, a metody statystyczne mają w ich opisie istotne ograniczenia.

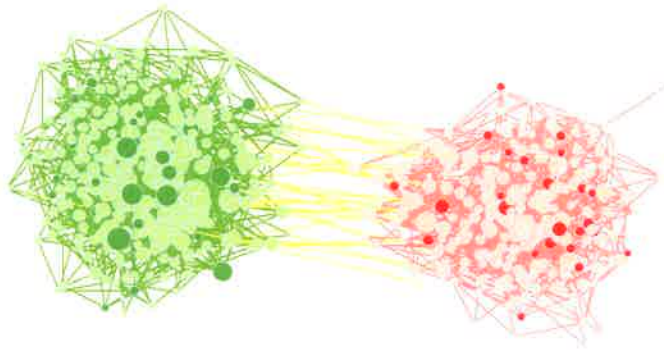
Ponieważ wyniki poszczególnych symulacji mogły różnić się między sobą, analiza skoncentrowana została na statystycznych rozkładach tych wyników w zależności od parametrów modelu. Jak już wspomniano, podstawowym parametrem końcowym wybrana została liczba agentów z $\sigma(i) = +1$, oznaczana jako N_+ . Poszukiwaliśmy warunków, w których badana społeczność składałaby się głównie z agentów jednego typu ($N_+ \approx 0$ lub $N_+ \approx 500$) oraz warunków dla współistnienia obu opinii. W szczególności poszukiwaliśmy warunków, w których istniałyby asymetryczne układy końcowe składające się ze znaczącej większości (na przykład $N_+ = 420$) i małej ale stabilnej mniejszości ($N_- = 80$).

Obok końcowych wartości N_+ , badane było także tempo w jakim układ osiąga stan stabilizacji, rozkład opinii wśród fanatyków i oportunistów oraz średnie ilości powiązań pomiędzy agentami różnych typów.

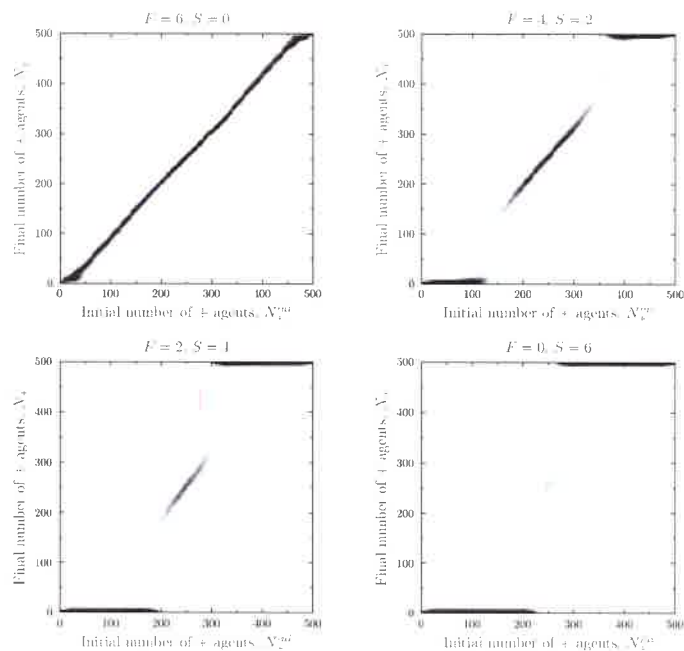
Zestawienie wyników wielu tysięcy indywidualnych symulacji pozwoliło na odkrycie dość nieoczekiwanych cech systemu. Rysunek 3 przedstawia rozkład końcowych wartości N_+ dla różnych proporcji między powiązaniem statycznymi a swobodnymi, przy założeniu braku wpływu zewnętrznego $h = 0$, oraz wartościach oportunistów $\omega_f = 0.02, \omega_o = 0.9$ ($\omega_f = 0.02$ oznacza, że część fanatyków w toku symulacji może zostać „przekonana” do odmiennych poglądów). Tempo spadku siły oddziaływania z odległością społeczną określone zostało przez $d = 0.5$. Odcienie szarości odpowiadają prawdopodobieństwu, że konkretna realizacja symulacji doprowadzi przy wartości startowej N_+^{ini} do wyniku końcowego N_+ .

Zacznijmy od „klasycznego” modelu, w którym cała sieć jest zamrożona (prawy dolny wykres, $F = 0, S = 6$). Jak widać, mieszane społeczeństwo występuje jedynie w bardzo wąskim zakresie wartości początkowych N_+^{ini} , między 230 and 270 – czyli w bezpośrednim otoczeniu równowagi początkowej. Jakakolwiek większa asymetria w początkowym rozkładzie zwolenników $+$ i $-$ prowadzi do konsensusu i zaniknięcia początkowej mniejszości. W rejonie centralnym rozkład wyników układu się z grubsza wzdłuż linii o nachyleniu 5/3. Przejście od konsensusu $N_+ = 0$ do konsensusu $N_+ = 500$ jest dość gwałtowne i sugeruje obecność przejścia fazowego.

Na drugim krańcu zakresu „elastyczności” sieci, czyli dla 100% swobodnych powiązań



Rysunek 2: Przykład końcowej konfiguracji sieci otrzymanej przy założeniu 100% swobodnych powiązań ($S = 0, F = 6$). Ciemny kolor oznacza fanatyków, jasny oportunistów, a rozmiar koła liczbę powiązań agenta. Widoczny jest podział między zwolennikami opinii + i -. Wynik odpowiada obserwacjom dotyczącym układu politycznych blogów przez wyborami prezydenckimi w USA w 2004 roku przez Adamic i Glance'a.



Rysunek 3: Rozkład prawdopodobieństwa końcowych wartości ilości zwolenników opinii +, N_+ , jako funkcja początkowej wartości N_+^{ini} przy braku zewnętrznego wpływu, $h = 0.0$. Poszczególne wykresy odpowiadają różnym proporcjom swobodnych i statycznych powiązań. Kolejne panele odpowiadają 100% powiązań swobodnych, 1/3 powiązań niezmiennych, 2/3 i sieci statycznej. Symulacje przeprowadzane były z 10% fanatyków, dla których prawdopodobieństwo zmiany opinii wynosiło $\omega_f = 0.02$. Czynnikiem określający spadek wpływu z odległością społeczną wynosił $d = 0.5$ (co oznacza, że około 50% wpływu pochodzi od najbliższych sąsiadów).

(rysunek górny, lewy, $F = 6, S = 0$), widzimy zupełnie odmienne zachowanie systemu. Po pierwsze, rozrzut wyników pomiędzy poszczególnymi symulacjami jest mniejszy. Co ważniejsze, dla niemal całego zakresu N_+^{ini} początkowy podział opinii w społeczności pozostaje niemal niezmienny, $N_+ \approx N_+^{ini}$. Oznacza to, że proces odseparowywania agentów o przeciwnych poglądach dominuje nad możliwościami wzajemnego przekonywania. Nawet obecność znaczącej większości (np. $N_+^{ini} = 400$) nie wymusza zniknięcia mniejszości zwolenników $-$, po prostu izolują się oni efektywnie od większości.

Pośrednie przypadki, z $1/3$ i $2/3$ swobodnych powiązań ($F = 2, S = 4$ i $F = 4, S = 2$) przypominają jakościowo wynik dla sieci statycznej: widoczne są obszary konsensusu oraz pośredni obszar proporcjonalności do N_+^{ini} , tym szerszy, im więcej jest powiązań swobodnych.

Porównanie z innymi wynikami dla sieci adaptacyjnych

Zagadnienie koewolucji topologii sieci i cech elementów ją tworzących zyskuje rosnącą popularność w różnych, nie tylko socjofizycznych kontekstach [C19, C20, C21, C22, C23]. Przedstawione powyżej wyniki powiązane są z innymi pracami – zarówno opartymi o rozwiązania analityczne jak też o symulacje komputerowe. Adaptacja cech sieci społecznej do własności agentów (sieci adaptacyjne) występuje przy tym dla bardzo wielu typów oddziaływań wzajemnych. Wymienić tu można zagadnienie rozprzestrzeniania się epidemii (np. [C24, C25]), ewolucje współpracy przy grze w dylemat więźnia (np. [C26, C27]), a także bardzo liczne prace poświęcone koewolucji topologii sieci i zmianom opinii ([C28, C29, C30, C31, C32, C33, C34, C35, C36, C37, C38, C39]). W tej ostatniej grupie popularne są prace łączące dynamiczne zmiany powiązań z modelem wyborcy (*voter model*) [C40, C41, C42].

Zaproponowany w pracy [A1] model wyróżniał się na tym tle bardziej realistycznym potraktowaniem indywidualnej dynamiki opinii, opartym na zmodyfikowanym modelu wpływu społecznego. Dodatkowym wyróżnikiem było rozważanie skutków istnienia pewnej części powiązań społecznych, które nie ulegają modyfikacji (połączeń statycznych). Większość modeli wspomnianych powyżej przyjmuje założenie równoważności wszystkich powiązań. Najczęściej stosowany jest parametr opisujący prawdopodobieństwo „przekierowania” danego łącza w kolejnym kroku symulacji. Jeśli przyjąć, jak to jest często robione, że parametr ten jest identyczny dla wszystkich połączeń, to determinuje on tempo zmian sieci (w stosunku do zmian cech elementów ją tworzących, na przykład opinii). W zaproponowanym podejściu obecność statycznych powiązań odpowiada realnym społecznym uwarunkowaniom, w których niektóre powiązania są wyróżnione, na przykład więzi rodzinne czy w miejscu pracy. Kolejną istotną cechą jest możliwość „regulowania” wagi, jaka w procesie przekonywania odgrywają najbliżsi sąsiedzi, co opisuje parametr d .

Znaczącym rezultatem było wykazanie, że w odróżnieniu od sieci statycznych, w dynamicznych sieciach uwzględniających zrywanie połączeń między węzłami o przeciwnej charakterystyce (osobami o odmiennych poglądach), w miejsce skokowej reakcji na zewnętrzny wpływ (na przykład propagandę), odpowiadającej przejściu fazowemu do stanu konsensusu, występują gradualne zmiany uśrednionej opinii. Z punktu widzenia fizyki, oznacza to, że włączenie do analizy procesu rekonfiguracji sieci oddziaływań zmienia jakościowo reakcję systemu na bodziec zewnętrzny. Z kolei biorąc pod uwagę zastosowania socjologiczne, zaproponowany model pozwolił w prosty i naturalny sposób wyjaśnić istnienie odpornych na naciski zewnętrzne i presję większości grup mniejszościowych. Funkcjonują one dzięki oddzieleniu się od reszty społeczeństwa i wynikającym z tego wzmocnieniu wzajemnego wpływu osób o podobnych poglądach. W tym kontekście zaproponowany model realizuje na gruncie socjofizycznym idee selektywnego odbioru (*selective exposure*) [C43, C44, C45, C46, C47].

Model z udziałem agentów neutralnych

Przyjęcie jako założenia jedynie dwu stanów dostępnych agentom jest dość radykalnym uproszczeniem, wywodzącym się wprost z modelu Isinga. Z drugiej strony modele operujące ciągłymi wartościami opinii, takie jak modele ograniczonego zaufania, napotykały na problem trudności pomiaru takich uciążliwych zmiennych. W tej sytuacji naturalnym krokiem jest rozwinięcie modelu dwustanowego przez dodanie trzeciego stanu, odpowiadającego brakowi opinii lub opinii neutralnej. Ten najprostszy sposób rozwinięcia modelu dwustanowego stał się podstawą pracy [B49]. Jednocześnie motywacją dla jego rozwijania wynikała z prowadzonych równoległe badań dotyczących realnych zachowań uczestników dyskusji internetowych, opisanych w pracach [A5, A6, A7].

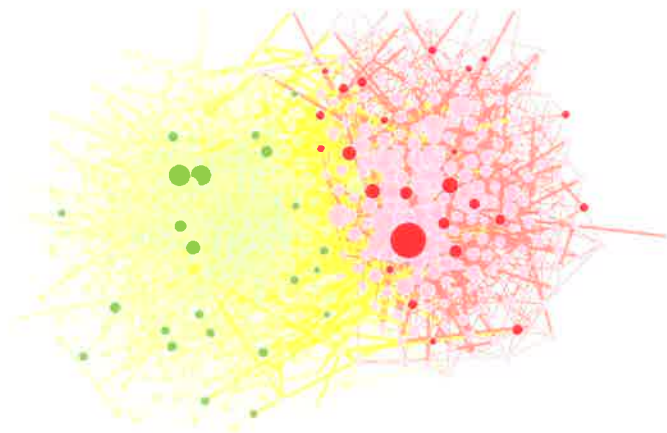
Podobnie jak w poprzednich rozważaniach, sieć społeczną traktujemy jako dynamicznie zmienną, z możliwością zrywania i nawiązywania połączeń. Parametrem modelu jest, jak poprzednio, procentowy udział powiązań o statycznym charakterze. Zrywanie powiązań możliwe jest w przypadku drastycznej różnicy poglądów (między agentami o opiniach $+1$ i -1). Nawiązywanie nowych powiązań można rozważać w dwóch wariantach. W pierwszym, rygorystycznym, nowe powiązania zastępujące te zerwane możliwe są tylko między agentami o określonej i identycznej opinii ($+1/+1$ lub $-1/-1$). W drugim wariantcie, łagodniejszym, możliwe jest także nawiązywanie połączeń między parami agentów nie będących w konflikcie (czyli dopuszczające nowe połączenia par $+1/0$ i $-1/0$). Jak widać, neutralni agenci – o ile nie znikną na skutek procesów zmiany opinii – mogą działać jako połączenia między skonfliktowanymi stronami.

Także w tym modelu spotykamy się ponownie z problemem dobrania warunków początkowych. Rozpoczęcie symulacji z przypadkowego rozkładu opinii (spełniającego założone proporcje) ma niewiele wspólnego z sytuacjami społecznymi. Stąd też symulacje powtarzają mechanizm wstępnej segregacji. W toku pierwszych 5000 iteracji (2.5 kroku na agenta) nie dochodziło do modyfikacji opinii a jedynie wstępnego „porządkowania” sieci, w którym agenci o podobnych opiniach gromadzili się razem, odchodząc od czysto przypadkowego rozkładu. W późniejszych iteracjach (ponad 200 kroków na agenta) zmieniane były zarówno opinia agenta jak i jego powiązania sieciowe.

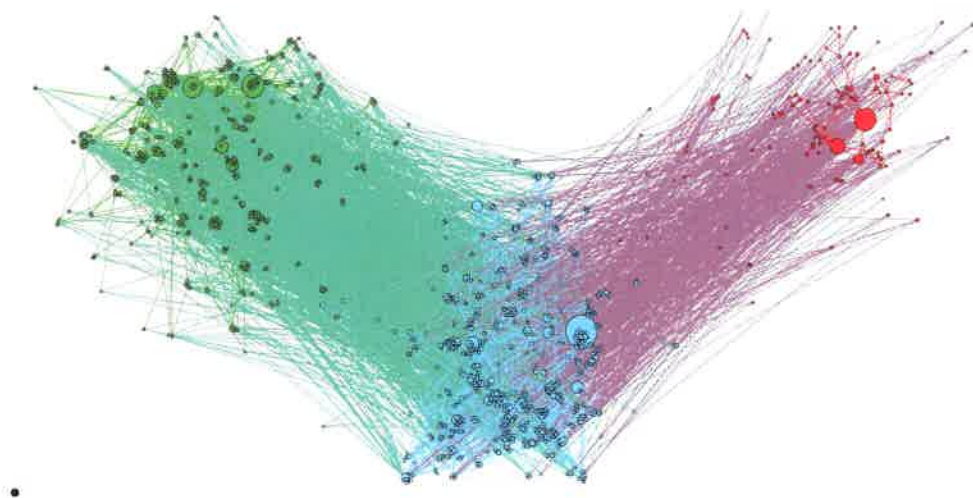
W procesie zmiany opinii, dla przypadkowo wybranego agenta i obliczamy wpływ innych agentów zgodnie z regułami modelu czterech sfer S1–S4. W przedstawionych poniżej symulacjach wykorzystywano wartość $d = 0.3$, co odpowiada bardzo znacznemu wpływowi bezpośredniego otoczenia (70.5% wpływu pochodzi od bezpośrednich sąsiadów, a tylko 2% od sfery S4, do której zaliczają się wszyscy „odlegli” agenci, w tym ci, z którymi nie ma bezpośredniego połączenia).

Proces modyfikacji sieci społecznej przebiega podobnie jak w modelu bez agentów neutralnych, opisany wcześniej. W nieobecności agentów neutralnych i przy dużym udziale powiązań swobodnych proces prowadzi do szybkiej separacji podsieci zwolenników opinii $+1$ i -1 . Rysunek 3 pokazuje taką właśnie rozdzieloną sieć, dla przypadku, w którym wszystkie powiązania traktowane są jako swobodne. Założenie, że 1/3 połączeń ma charakter statyczny w dalszym ciągu prowadzi do rozdzielonego układu, jednak sam podział jest daleko słabszy i niemal każdy agent ma wśród swoich sąsiadów agentów o przeciwnej opinii (rysunek 4). Obecność lub brak powiązań statycznych radykalnie wpływa na globalne własności sieci, takie jak rozkład najkrótszych ścieżek łączących poszczególnych agentów (a zatem także na podział agentów na sfery S1–S4 dla każdego agenta i). Zmienia się także współczynnik klasteryzacji.

Wprowadzenie agentów neutralnych (którzy nie prowokują zrywania powiązań) zmienia wyniki symulacji, nawet w nieobecności powiązań statycznych. Rysunek 5 pokazuje, że agenci neutralni rzeczywiście mogą stanowić swego rodzaju most między zwolennikami przeciwnych opinii, skracając przy tym ścieżki komunikacji (co zwiększa potencjalny wpływ na zmiany opinii). W pewnym sensie agenci neutralni stanowią spoiwo społeczne, nawet w sytuacji,



Rysunek 4: Sieć społeczna powstała w wyniku symulacji przy założeniu braku agentów neutralnych oraz przypisaniu 1/3 powiązań charakteru statycznego.



Rysunek 5: Sieć społeczna powstała w wyniku symulacji przy założeniu początkowej obecności 60% agentów neutralnych i 100% powiązań swobodnych. Model prowadzi do praktycznie całkowitego zaniku bezpośrednich powiązań między agentami o przeciwnych poglądach (kolory zielony i czerwony). Zachowana zostaje jednak spójna struktura społeczności, w której agenci neutralni odgrywają rolę spoiwa, utrzymując poglądy neutralne dzięki zachowaniu równowagi między wpływem obu przeciwnych obozów.

kiedy wszystkie połączenia mogą być zrywane.

Ewolucja opinii w obecności agentów neutralnych

Obecność agentów neutralnych nie tylko wpływa na strukturę sieci społecznej, ale także na dynamikę zmian opinii. Rysunek 6 pokazuje przykład ewolucji opinii w społeczności, w której warunki początkowe zawierały dużą proporcję (60%) agentów neutralnych. Model obejmował 2000 agentów połączonych startową siecią bezskalową, z $N_0 = 1200$ agentów neutralnych, $N_+ = 600$ zwolenników opinii +1 i $N_- = 200$ zwolenników mniejszościowej opinii -1. Wszystkie powiązania w sieci traktowane były jako swobodne.

Proces zmian opinii podzielić można na dwie fazy. W fazie pierwszej, mamy do czynienia z przekonywaniem agentów neutralnych przez większość. Ilość agentów mniejszościowych pozostaje zasadniczo stabilna, a zmiany wartości N_+ i N_0 daje się z dobrym przybliżeniem opisać formułami eksponencjonalnymi.

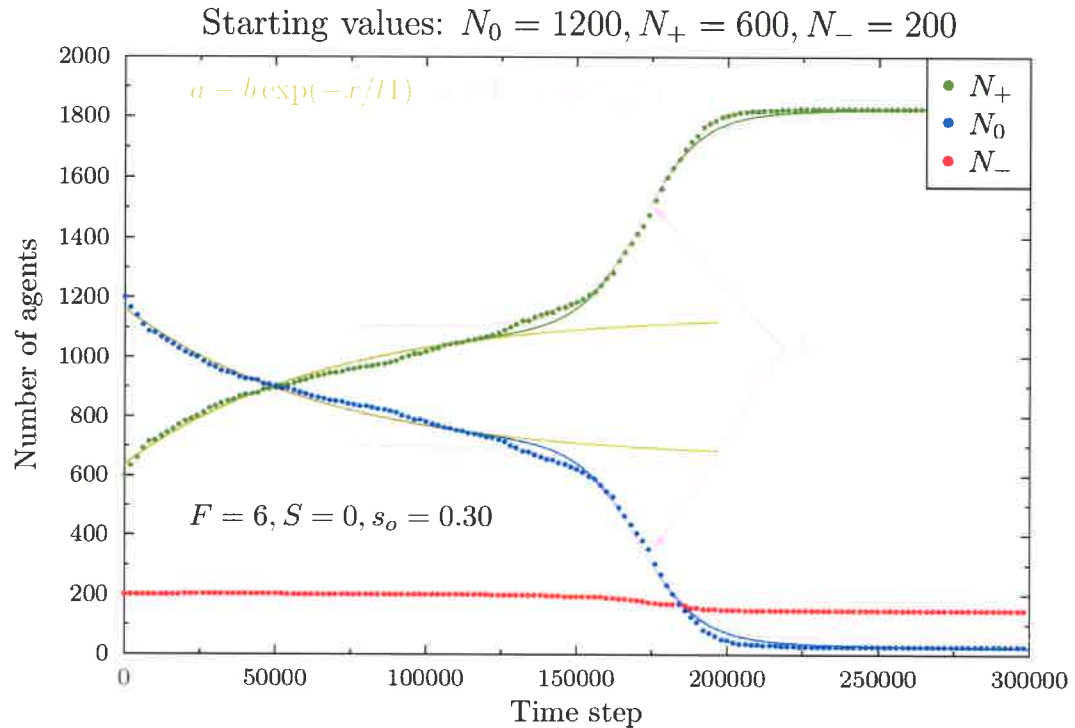
$$N_+ = N_+(t=0) + N_1 \exp(-t/t_1) \quad (4)$$

$$N_0 = N_0(t=0) - N_1 \exp(-t/t_1) \quad (5)$$

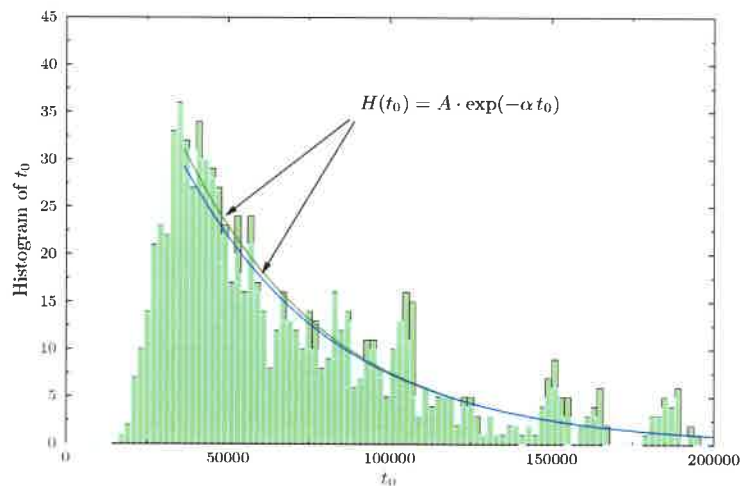
W części symulacji mamy do czynienia wyłącznie z fazą pierwszą, nawet dla bardzo długich symulacji (powyżej 1000 kroków na agenta). Jednak w znacznej liczbie przypadków pojawia się druga faza procesu. Po przekroczeniu pewnej wartości $N_+(t)$ następuje gwałtowne załamanie liczebności populacji agentów neutralnych. Towarzyszy temu niewielki ale widoczny spadek liczby zwolenników poglądu mniejszościowego, związany z tym, że ich dotychczasowo neutralne otoczenie zmieniło opinię, poddając ich wpływowi większości, zanim proces zrywania więzów skutecznie ich odizolował. Końcowym rezultatem jest społeczność podobna do modelu bez agentów neutralnych: rozdzielone podsieci większości i mniejszości. Interesujące jest jednak to, że moment wystąpienia drugiej fazy jest dość odległy w czasie – sytuacja z fazy pierwszej ma charakter metastabilny.

Ewolucję ilości agentów N_+ i N_0 w drugiej fazie można dobrze przybliżyć funkcją logistyczną $N_2 / (1 + \exp(-\frac{t-t_0}{t_2}))$. Centrum tej funkcji, t_0 różni się pomiędzy poszczególnymi symulacjami, ma jednak dość dobrze określony rozkład, rosnący szybko dla t_0 powyżej 10000 (5 kroków na agenta), z maksimum około $t_0 \approx 30000$, a później spadający eksponencjalnie (Rysunek 7).

W porównaniu do symulacji w których uwzględniane były tylko dwie przeciwstawne opinie (podrozdział), wprowadzenie agentów neutralnych poszerza zakres sytuacji, w których społeczeństwo może składać się z dominującej większości i stabilnej (lub metastabilnej) mniejszości. W zależności od wartości parametrów takich jak upór czy względna ilość powiązań statycznych można obserwować zróżnicowaną dynamikę ewolucji systemu. Duże wartości uporu, zgodnie z intuicyjnymi oczekiwaniami, prowadzą do zamrożenia sytuacji początkowej. Na drugim końcu spektrum, przy bardzo małych wartościach uporu, agenci neutralni są bardzo szybko przekonywani do zdania większości. Dla wartości pośrednich system wykazuje skomplikowane złożenie dwóch procesów, jednego opisanego funkcją eksponencjalną, drugiego – logistyczną. W tym drugim procesie niemal wszyscy agenci neutralni przyjmują opinie większości, jednak wystąpienie tego zjawiska może być bardzo odsunięte w czasie, w zależności od szczegółów sieci i rozkładu początkowego opinii dla danej symulacji. Rozkład charakterystycznego czasu wystąpienia tej fazy ma niegaussowski, eksponencjalny charakter.



Rysunek 6: Przykład symulowanej ewolucji czasowej liczebności zwolenników poszczególnych opinii N_+ , N_- i N_0 , dokumentujący dwie fazy procesu: eksponencjalną i logistyczną. Różne przebiegi programu symulującego prowadzą do podobnych jakościowo zmian czasowych, różniących się czasami trwania obu faz, określonymi przez wartości t_1, t_0 i t_2 . W symulowanym układzie wszystkie połączenia mają charakter swobodny.



Rysunek 7: Histogramy częstości występowania czasu charakterystycznego dla fazy logistycznej, t_0 , dla spadku ilości agentów neutralnych i wzrostu ilości agentów większościowych. Pokazane rozkłady dla procesu zanikania agentów neutralnych i dominacji agentów większościowych.

Wpływ liderów na dynamikę zmian opinii

Praca *Effect of leader's strategy on opinion formation in networked societies with local interactions* [A3] skoncentrowana była z kolei na efektach wynikających ze zróżnicowania możliwości oddziaływania poszczególnych osób na innych, w szczególności ze skutków obecności osób o bardzo dużym wpływie (przywódców). Wcześniejsze prace Kacperskiego i Hołysta [C7, C6], na których oparte było zaproponowane podejście, definiowały wśród oddziałujących agentów „lidera”, obdarzonego znacznie większą „siłą oddziaływania”. W analogii do oddziaływań magnetycznych (stanowiącej klasyczny punkt odniesienia w socjofizyce) odpowiednikiem lidera byłby atom o wielokrotnie (na przykład tysiącokrotnie) większej wartości momentu magnetycznego. Wspomniane artykuły analizowały wzajemne interakcje wpływu liderów i zewnętrznych oddziaływań i poszukiwały charakterystycznych cech przejść fazowych związanych z osiąganiem konsensusu i określiły bardzo interesujące z fizycznego punktu widzenia skutki występowania w takim systemie „szumu”.

Jednak z punktu widzenia zastosowania w realnych sytuacjach społecznych bezpośrednia analogia „magnetyczna” ma konkretne wady. W szczególności, siła oddziaływania nawet najbardziej charyzmatycznego przywódcy ma swoje ograniczenia. Moment magnetyczny atomu nie „męczy” się, niezależnie od ilości innych atomów, na które oddziałuje. W warunkach społecznych takie ograniczenie (związane choćby ze skończoną ilością osób, z którymi przywódca może nawiązać kontakt w danym czasie czy z ograniczeniami finansowymi kampanii politycznych) jest bardzo realne. W omawianej pracy analizowane było założenie skończoności „zasobów” dostępnych dla przywódcy i skuteczności różnych sposobów ich wykorzystania. Podobnie jak poprzednio, podstawowym celem analizy było określenie warunków występowania konsensusu (w tym przypadku ilości osób popierających przywódcę), występowania przejść fazowych – w zależności od sposobu w jaki lider wykorzystuje swoje zasoby. Rozważane były przy tym dwie podstawowe strategie: rekrutacja kadry wspomagającej (np. tworzenie lokalnych oddziałów partii politycznych) oraz wydanie „pieniędzy” na zewnętrzną kampanię informacyjną/promocyjną. Pierwsza ze strategii oparta była na założeniu, że nawet charyzmatyczny przywódca ma mniejsze szanse na przekonywanie niż lokalny współ-przywódcą, będący blisko swoich „wyborców”. Strategia ta okazuje się szczególnie efektywna w sytuacji gdy przywódca ma do dyspozycji duże zasoby (których może użyć do rekrutacji lokalnych pomocników) ale jest niekorzystnie ulokowany.

Szczegóły modelu Model oparty jest zasadniczo o idee wprowadzone w pracach [C2, C4, C6, C7, C8], oraz zmiany zaproponowane w pracy [A4]. Podstawowe różnice modelu podstawowego można scharakteryzować następująco:

- powiązania między agentami są traktowane jako statyczne;
- większość agentów dysponuje ograniczoną siłą przekonywania $p(i)$, zawartą pomiędzy 0 a $2\bar{p}$, gdzie $\bar{p} = 1$;
- jeden z agentów dysponuje siłą oddziaływania znacząco większą niż inni agenci.

Do rozważań przyjęto bezskalową sieć Barabasiego–Albert, a opinie agentów aktualizowane są synchronicznie w dyskretnych krokach czasowych. Wpływ agentów określają zasadniczo te same równania co w pracach Kacperskiego i Hołysta

Sformułowanie modelu okazuje się prostsze przy zastosowaniu, w miejsce wpływu odległości społecznej ($g(d_{ij})$), równoważnego opisu za pomocą bliskości (*immediacy*) m_{ij} . Wpływ społeczności na agenta i daje się zapisać jako

$$I(i) = \sum_{j=1}^N p_j m_{ij} o_j + h, \quad (6)$$

gdzie $o(i), o(j)$ to opinie agentów, a p_j ich siły przekonywania. Jeśli $I(i) > 0$ to agent i przyjmuje opinię $o(i) = 1$; jeśli $I(i) < 0$ to agent i przyjmuje opinię $o(i) = -1$.

W praktyce wygodne jest użycie przeskalowanych wartości, uniezależniających wpływ od ilości agentów w systemie N :

$$h^R = \frac{h}{N\bar{m}\bar{p}}, \quad (7)$$

gdzie \bar{m}, \bar{p} są, odpowiednio, średnimi z m_{ij} i p_j . W podejściu wykorzystującym model 4 sfer, wartości bliskości społecznej dają się przedstawić w postaci

$$m_{ij} = d^{d_{ij}-1} \frac{1-d}{1-d^4} \frac{1}{N_{i,S_{d_{ij}}}}, \quad (8)$$

gdzie d_{ij} to odległość społeczna między agentami i i j .

Zanim przejdziemy do rozważań dotyczących roli liderów, musimy skupić uwagę na starannym doborze i znaczeniu parametrów opisujących społeczność w nieobecności liderów. Jednym z kluczowych elementów jest upór agentów. W języku bliskości społecznej ma on prostą interpretację poprzez czynnik opisujący, jako składnik sumy 6, wpływ agenta i na samego siebie; m_{ii} . W odróżnieniu od wartości m_{ij} pomiędzy różnymi agentami, wartości m_{ii} nie są określone przez topologię powiązań (równanie 8), są swobodnymi parametrami. Dla uproszczenia przyjmujemy tu, że wartość m_{ii} jest taka sama dla wszystkich agentów. Im większa wartość m_{ii} , tym odporniejsi są poszczególni agenci na wpływy i tym stabilniejsza społeczność. Z drugiej strony wartości m_{ii} bliskie zeru odpowiadają nierealistycznej psychologicznie podatności na wpływ innych osób. Wybór zbyt małej wartości m_{ii} powoduje, że przy przewadze jednej z opinii, system bardzo szybko podlega przemianie fazowej i przechodzi w stan konsensusu. Z kolei zbyt duże wartości m_{ii} zamrażają system w pobliżu wartości początkowych. Dodatkowe testy w obecności wpływu zewnętrznego h_R pozwoliły na taki wybór zakresu wartości m_{ii} , żeby układ poddawał się wpływom a jednocześnie był na wystarczająco stabilny.

Pierwszym krokiem w analizie roli przywódców było odtworzenie, w ramach modelu sfer oddziaływania i w środowisku bezskalowej sieci społecznej, oryginalnego sformułowania Kacperskiego i Hołysta [C6, C7]. Podejście to zakłada wyróżnienie jednego agenta (oznaczanego indeksem L) o bardzo dużej wartości siły przekonywania p_L . Wpływ tego agenta na innych opisany jest przez

$$I_{iL} = p_L m_{iL} / o_L, \quad (9)$$

gdzie o_L jest ustaloną, niezmienną opinią przywódcy, przyjętą, dla ustalenia uwagi, jako dodatnia.

Takie sformułowanie wpływu przywódcy na innych agentów ogranicza „psychologiczną” interpretację. Przywódca oddziałuje siłą swojej „charyzmy”, identycznie na wszystkich agentów, a efekty modyfikowane są jedynie bliskością społeczną m_{iL} . Nie ma żadnych ograniczeń siły oddziaływania (im większa społeczność tym większy zasięg oddziaływania), nie ma ograniczeń związanych z dostępnymi przywódcy zasobami (choćby tak prozaicznymi jak środki finansowe, ale także po prostu ograniczeniem czasu dostępnego na kontakty z innymi agentami). W opisanym modelu przywódca nie „męczy się” a jego wpływ jest stały w czasie. Jednak mimo tych uproszczeń, radykalnych z punktu widzenia socjologii i psychologii, model ma pewne interesujące cechy.

Analizę wyników warto rozpocząć od wprowadzenia przeskalowanej wartości siły przywódcy (uniezależniającej wyniki od liczby agentów w systemie)

$$p_L^R = \frac{p_L}{N\bar{p}}, \quad (10)$$

gdzie średnia \bar{p} obliczana jest z wyłączeniem przywódcy. Dodatkowo, w obliczeniach warto wprowadzić pojęcie tła $B = N\bar{p}\bar{m}$, odpowiadającego maksymalnemu wpływowi wszystkich

agentów (poza przywódcą) przy założeniu że wszyscy oni mają zgodną opinię $o(i) = +1$. Przy takim sformułowaniu całkowity wpływ na agenta i wynosi

$$I_i = p_L^R \frac{m_{iL}}{\bar{m}} B + \sum_{j \neq L} p_j^R \frac{m_{ij}}{\bar{m}} o_j B + h^R B, \quad (11)$$

gdzie wyróżnione są części pochodzące od przywódcy, od innych „zwykłych” agentów oraz od wpływu zewnętrznego. Warto zauważyć, że warunek $p_L^R = 1$ odpowiada sytuacji, w której siła przywódcy równa jest sumie sił wszystkich pozostałych agentów (zakładając, że są oni zgodni ze sobą). To pokazuje jak wyróżnioną pozycję zajmuje przywódca w opisanym modelu.

Ogromna różnica w skutkach oddziaływania przywódcy (mierzonej liczbą zwolenników), w zależności od jego pozycji w sieci społecznej odnotowana była już wcześniej, w pracach [C48, C49]. Staje się to szczególnie istotne w przypadku sieci bezskalowych, przy założeniu szybkiego spadku wpływu z odległością społeczną, umiejscowienie przywódcy w sieci staje się kluczowe. Potęgowy rozkład przypadających na uczestnika ilości powiązań (typowy dla wielu realnych sytuacji społecznych) oznacza istnienie w sieci węzłów o ilości połączeń przekraczającej wartości typowe nieraz o kilka rzędów wielkości. Połączenie przypisanej przywódcy dużej wartości siły oddziaływania z wyróżnioną pozycją *high connectivity* (HC), której odpowiada kilkaset lub więcej powiązań sieciowych (czyli kilkaset najbliższych sąsiadów, na których wpływ jest bardzo silny) prowadzi do szybkiej dominacji opinii tego przywódcy. Wynik ten jest w pewnym sensie trywialny. W rzeczywistości jednak taka kombinacja może występować bardzo rzadko. Stąd dalsza część modelu skoncentrowana była na, po pierwsze, uwzględnieniu skończoności zasobów dostępnych przywódcy; po drugie, na możliwych modyfikacjach zachowań zwiększających skuteczność w przypadku niekorzystnego umiejscowienia przywódcy w sieci (np. w węźle o małej liczbie połączeń).

Model przywództwa ze skończonymi zasobami

Jak już zaznaczyliśmy, w tradycyjnym podejściu proces wpływania przez przywódcę na inne osoby ograniczony jest jedynie odległością społeczną. Przywódca może wpływać jednocześnie na setki czy tysiące innych agentów, nie męczy się przy tym ani nie zużywa żadnych zasobów. Z tych powodów zastosowanie tego modelu do analizy rzeczywistych sytuacji jest dość ograniczone. Zasoby, będące do dyspozycji przywódców są ograniczone – począwszy od czasu na spotkania, przez środki materialne konieczne dla prowadzenia niezbędnych działań, utrzymania organizacji i prowadzenia propagandy. Niepublikowany preprint [C50] wprowadzał podejście, w którym każdy kontakt wymagał od przywódcy pewnego kosztu, co ograniczało liczbę agentów, na których mógł on wpływać. Jednak przeliczanie sposobu wykorzystania dostępnych środków (obliczenia „kosztu kontaktu”) było bardzo skomplikowane i pozostawiało bardzo wiele swobody wyboru, co utrudniało porównania z rzeczywistymi sytuacjami. Z tego powodu przedstawiony tutaj model opiera się na uproszczonym podejściu, a celem jest zbadanie strategii maksymalizującej poparcie poglądów przywódcy.

Rekrutowanie współprzywódców Biorąc pod uwagę założony szybki spadek efektywności oddziaływania bezpośredniego przywódcy wraz ze wzrostem odległości społecznej najbardziej naturalną strategią jest podzielenie się siłą/zasobami S_L^R z pewną liczbą współprzywódców, tak rozmieszczonych aby jak największa liczba członków społeczności była w bezpośrednim zasięgu jednego z nich. Odpowiada to realnym działaniom politycznym: zakładaniu lokalnych oddziałów partii politycznych, rekrutowaniu kadry, tworzeniu obecności w społecznościach lokalnych.

Rekrutacja i przekazywanie zasobów takim kadrom, tak aby spełniały rolę współprzywódców jest procesem odmiennym od przekonywania „zwykłych” osób. Można go realizować na wiele sposobów. Pierwszym z nich jest posłużenie się bezpośrednimi sąsiadami przywódcy

i utworzenie lokalnego klastra zwolenników. Strategia taka, jak to pokazano w pracy [A1] nie jest szczególnie skuteczna w pozyskiwaniu szerokiego poparcia, ale znakomicie sprawdza się jako sposób na „przetrwanie” małej części społeczności otoczonej przez przeciwników. W połączeniu z dynamicznymi zmianami sieci, dającymi możliwość istotnego odseparowania od reszty społeczności daje to niemal gwarancję zachowania spójności. Ze strategią taką mamy często do czynienia w organizacjach o charakterze terrorystycznym czy przestępczym [C51, C52].

Inną możliwą strategią jest skoncentrowanie się na pozyskaniu jako współliderów agentów rozproszonych w całej społeczności. Takie podejście daje, jak się okazuje, szansę na uzyskanie bardzo wysokich poziomów poparcia f .

Inwestowanie w propagandę docierającą do całej społeczności Uzupełnieniem podejścia opisanego powyżej (które odpowiada, na przykład, tworzeniu lokalnych biur partii politycznych, tak aby „być blisko wyborców”) może być model, w którym przywódca inwestuje swoje zasoby w globalną propagandę h^R . Mowa tu o „opłacaniu” przychylnych mediów. Działanie takie ma tę zaletę, że media, z założenia mają bezpośredni dostęp do wszystkich członków społeczności¹. Omija się więc problemy związane z dystansem między przywódcą a członkami społeczności.

Wyniki liczbowe zależą w ogromnym stopniu od „kursu wymiany” zasobów przywódcy na siłę propagandy. Symulacje nie mogą dostarczyć danych do właściwego dobrania tej funkcji. W niektórych sytuacjach społecznych można pokusić się o zmierzenie efektów kampanii medialnych i porównanie tych danych z kosztami finansowymi. Jednak przełożenie mierników finansowych i abstrakcyjnej miary siły/zasobów S_L^R jest utrudnione przez to, że zasoby mogą mieć także niefinansową formę. Realistyczne potraktowanie roli przywódców i dostępnych im strategii jest więc zadaniem bardzo skomplikowanym.

Potrzeba porównania modeli socjofizycznych z realnymi systemami społecznymi

Jednym z problemów zaobserwowanych w związku z opisanymi powyżej pracami była trudność powiązania modeli socjofizycznych z obserwacjami dotyczącymi realnych sytuacji społecznych. Zaowocowało to przeglądowym artykułem *Modelling opinion formation with physics tools: call for closer link with reality* [A4]. Zawierał on nie tylko przegląd różnych socjofizycznych modeli dynamiki opinii, ale w szczególności charakterystykę ich zastosowania do realnych sytuacji społecznych (a ściślej dominującego braku takich bezpośrednich odniesień). Spośród przeanalizowanych tam 45 prac zaledwie 4 próbowało odnieść się do rzeczywistych danych socjologicznych. Większość prac, w najlepszym przypadku, przywoływała ogólne intuicje i jakościowe charakterystyki zjawisk społecznych. To oderwanie od obserwacji ma znacząco negatywny wpływ na rozwój socjofizyki. Ta młoda dziedzina, z założenia interdyscyplinarna, musi rozbudowywać więzy z socjologią i psychologią. Nawet z punktu widzenia rozwoju fizyki: modeli statystycznych czy symulacyjnych, nie można zapominać, że to porównanie modelu z obserwacjami czy eksperymentem uczyniło z fizyki najważniejszą z nauk empirycznych. Niestety, zarówno analiza literatury jak i udział w konferencjach naukowych poświęconych opiniom społecznym i ich mechanizmom, jasno wskazuje na trwające podziały. A ponieważ to raczej socjofizyka, jako młodsza dyscyplina, powinna wykazać swą wartość dla socjologii, na fizykach spoczywa ciężar pokazania możliwości zastosowania w konkretnych problemach.

Sytuacja ta, w której tylko niewielka ilość prac socjofizycznych porównuje wyniki modeli z obserwacjami empirycznymi, ma może ulec radykalnej poprawie. Związane jest to z rosnącą

¹Przedstawione poniżej wyniki nie biorą pod uwagę zjawisk takich jak polaryzacja mediów, selektywna uwaga itp. [C53, C54, C55, C56, C57, C46, C18, C58, C59, C60, C61, C62, C43, C44, C45, C63].

dostępnością danych dotyczących zachowań, opinii i emocji wyrażanych w różnego rodzaju formach komunikacji Internetowej. Blogi, fora dyskusyjne, platformy komunikacji natychmiastowej takie jak Twitter, poczta elektroniczna – wszystkie te środowiska nie tylko dokumentują w bardzo dokładny sposób powstawanie i dynamikę sieci społecznych, ale także pozwalają na analizę czynników psychologicznych i socjologicznych na skalę niedostępną tradycyjnym badaniom laboratoryjnym [C64]. Ostatnie pięć lat to okres bardzo szybkiego wzrostu ilości prac poświęconych takim środowiskom. Co znaczące z punktu widzenia badacza nie wspieranego funduszami zewnętrznymi, dostęp do wielu zbiorów danych nie pociąga za sobą znaczących kosztów.

Analizy zachowania użytkowników Internetowych forów dyskusyjnych

Artykuł *Dynamics of hate based Internet user networks* [A5] jest rezultatem takiej właśnie analizy. Dotyczy on dyskusji na forum Internetowym *Gazety Wyborczej* w 2009 roku. Praca obejmowała zarówno analizę statystycznych własności sieci powiązań między użytkownikami forum, w tym własności takich jak rozkład charakterystyk aktywności (*outdegree*) i popularności (*indegree*), współczynniki klastryzacji czy korelacje między aktywnością a popularnością. Posty użytkowników zostały sklasyfikowane pod względem treści, a w szczególności celów z jakimi powstawały, na przykład wyrażenia zgody, niezgody, agresji, prowokacji czy humoru. Porównanie forów dyskusyjnych poświęconych polityce, sportowi i nauce wykazało znaczące różnice w charakterystykach sieci społecznych związanych z tymi forami. **Zaskakującym odkryciem dotyczącym forum politycznego była dominująca rola kontaktów między zwolennikami przeciwnych opinii.** Nie tylko nie unikali się wzajemnie, ale wręcz szukali okazji do starć i kłótni, pozostając przy tym przy własnych opiniach. Taka tendencja, zdominowana przez niezgodę, agresję i inwektywy była sprzeczna z założeniami o naturalności procesu zamykania się we własnej grupie i odcinaniu powiązań ze zwolennikami „wrogich” opinii, które były podstawą założeń modelu opisanego w pracy [A1]. Zachowanie jest więc odmienne od znanego z socjologii tradycyjnych środowisk społecznych. Wydaje się, że bezpieczeństwo (na przykład brak zagrożenia fizycznego) i domniemana anonimowość typowe dla środowisk internetowych, nie tylko ułatwiają, ale wręcz prowokują takie kontakty między zwaśnionymi grupami. A że komunikacja elektroniczna zaczyna dominować, szczególnie wśród młodzieży, badania związanych z nią zjawisk mają istotne znaczenie.

Równoległe do analizy danych zebranych z forów dyskusyjnych, przygotowany został model zachowania użytkowników oparty o symulacje agentowe, w którym kluczową rolę odegrało wprowadzenie, w ramach wątków dyskusyjnych, długich wymian postów pomiędzy dwoma użytkownikami. Takie dialogi (bardzo często kłótnie) decydowały o wielu charakterystykach poszczególnych dyskusji. Dopiero ich włączenie do modelu symulacyjnego pozwoliło na odтворzenie z dużą dokładnością wszystkich zaobserwowanych cech sieci społecznych, w tym aktywności użytkowników, długości wątków i statystyk relacji.

Różnice między zachowaniem uczestników i cechami dyskusji politycznych (zdominowanych przez różnice poglądów i wzajemną nienawiść), a tymi, w których motywy komunikacji są pozytywne (na przykład wzajemna pomoc lub wspólne zainteresowania) okazały się być bardzo znaczące. Szczególne znaczenie, z punktu widzenia modelowania dynamiki opinii, miała obserwacja, że mimo intensywnych kontaktów między użytkownikami o odmiennych opiniach, sytuacje w których jeden z nich zmieniał swoją opinię były niezwykle rzadkie (mniej niż 0.4%). Ma to istotne konsekwencje dotyczące stosowalności modeli socjofizycznych do środowisk internetowych. Modele te zakładają stosunkową „łatwość” zmiany opinii pod wpływem kontaktu z inną osobą czy grupą osób. Taka łatwość ma fizyczne uzasadnienie w odniesieniu do spinu atomu, ale, jak się okazuje, nie jest wcale oczywista w przypadku ludzi i ich po-

głędów. Wynik ten był wskazówką, że socjofizyczne modele dynamiki opinii powinny zostać przebudowane w oparciu o bardziej realistyczne założenia.

Omówiony powyżej artykuł i zawarty w nim model zwrócił uwagę grupy badaczy z Politechniki Warszawskiej, zajmującej się w ramach projektu CYBEREMOTIONS analizą emocji użytkowników forów internetowych. Rezultatem nawiązanej współpracy był artykuł *Negative emotions boost users activity at BBC Forum* [A8], w którym ten sam komputerowy model zachowania użytkowników wykorzystany został do odtworzenia cech środowiska dyskusji na forach BBC, dla których dostępna była analiza wartości wyrażanych emocji. W tym przypadku zwrócić należy uwagę na skalę analizowanych danych: ponad 97 tysięcy dyskusji, niemal 2,5 miliona indywidualnych komentarzy od ponad 18 tysięcy użytkowników. Model pozwolił na jednoczesne dopasowanie zarówno aktywności (całościowej i w poszczególnych dyskusjach), ilości dyskusji w których brali udział, zróżnicowania długości dyskusji i ilości uczestników w takiej dyskusji. Te generalne cechy odtworzone zostały za pomocą modelu z zaledwie 6 parametrami.

Znaczenie zaproponowanego modelu uwidacznia się jeszcze bardziej przy analizie podstawowego tematu pracy, jakim były emocje użytkowników. Zautomatyzowana analiza danych emocjonalnych zawartych w wypowiedziach wskazywała na generalną przewagę emocji negatywnych i korelację między długością dyskusji a wzrostem negatywnych emocji. **Teoretyczny model, obejmujący rolę „kłótni” między użytkownikami, odtworzył z dużą dokładnością zarówno rozkład emocji użytkowników forum jak i globalnych emocji w ramach wątków dyskusyjnych.** Dla korelacji średniej emocji w wątku o długości L i średniej emocji uzyskano – wykorzystując te same wartości parametrów modelu – wyniki zgodne z obserwacjami dla długich wątków, ale różniące się w przypadku wątków liczących poniżej 25 postów. Ze względu na brak możliwości szczegółowej analizy treści dla tak masowego zbioru danych przyczyny rozbieżności nie są znane.

Dyskusje na forum politycznym *Gazety Wyborczej*, omawiane w pracy [A5] były analizowane w okresie 2 kolejnych lat. Rezultaty ciągu obserwacji stanowiły podstawę do opracowań zaprezentowanych w artykułach [A6, A7]. Podstawowym celem badawczym było w tym przypadku określenie dynamiki zmian sieci społecznych i opinii ich użytkowników związanych nie tylko z upływem czasu, ale także z dramatycznymi wydarzeniami jakie miały miejsce w okresie 2009-2011, oraz z postępującą polaryzacją polityczną społeczeństwa, obserwowaną przez socjologów. Ubocznym wątkiem (jak się okazało, o bardzo znaczących konsekwencjach) okazały się skutki zmiany interfejsu użytkownika forum, utrudniające prowadzenie dedykowanych dialogów między dwoma uczestnikami. Jeden z wariantów forum *Gazety* umożliwiał odpowiadanie innym użytkownikom przez jedno kliknięcie, w drugim nie było to możliwe. Istnienie dwóch wariantów forum dyskusyjnego skutkowało jakościowo i ilościowo różnymi sieciami komentarzy – mimo, że odnosiły się one do tych samych tematów politycznych. Co więcej, zmiana interfejsu zaowocowała nieoczywistą zmianą rozkładu intencji i emocji wyrażanych w komentarzach.

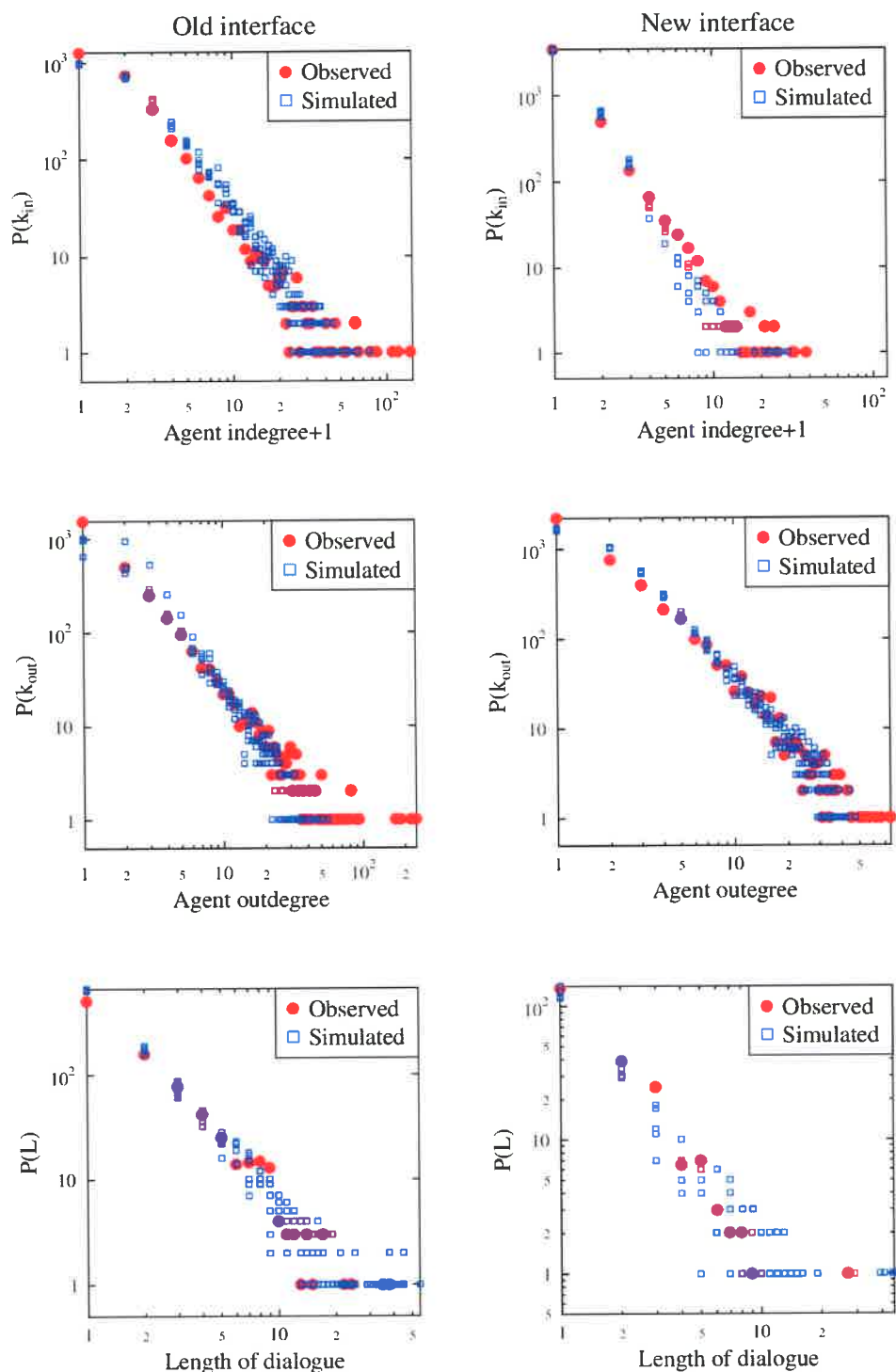
Podobnie jak w przypadku prac [A5, A8] teoretyczny model powstawania sieci społecznej pozwolił na odtworzenie z dużą dokładnością statystycznych cech sieci komentarzy tworzonych przez użytkowników forum, w tym zarówno aktywności uczestników, ich popularności jak i potęgowego charakteru długości dialogów pomiędzy parami uczestników.

Dwuletni okres obserwacji forum i możliwość śledzenia poszczególnych użytkowników, obecnych w dyskusjach w tak długim okresie czasu, potwierdziły wcześniejsze wyniki dotyczące stabilności poglądów politycznych wyrażanych przez autorów komentarzy. Stabilność ta stoi w sprzeczności z opartymi na analogiach „magnetycznych” modelami socjofizycznymi, zakładającymi stosunkowo dużą „podatność” indywidualnych opinii na wpływy innych osób i grup. Obserwacje wskazują więc na konieczność uwzględnienia w modelach statystycznych i symulacyjnych nowych czynników, wykraczających poza dotychczasowe podejścia. Co więcej, dominacja kontaktów między uczestnikami przeciwnych obozów politycznych wyklucza, w

tym przypadku, przypisanie stabilności opinii do mechanizmu separacji społecznej opisanego w pracy [A1]. Mimo intensywności indywidualnych dyskusji, poszczególni uczestnicy pozostawali przy swoich opiniach. Nawet dramatyczne wydarzenia i zmasowana obecność propagandy politycznej w 2010 i 2011 roku tylko w minimalnym stopniu wpływała na indywidualne poglądy. Te obserwacje stanowią istotną wskazówkę, że modele socjofizyczne muszą uwzględniać dodatkowe, dotychczas pomijane czynniki stabilizujące opinie.

Ciekawym rezultatem omawianych prac były wyniki analizy statystycznej ocen wypowiedzi. Oceny takie „lubię/nie lubię”, nie wymagają od oceniającego tworzenia własnych komentarzy, dają więc szansę na oszacowanie rozkładu opinii wśród „niewidzialnych” użytkowników forum. Chodzi tu o czytelników, którzy nie pozostawiają po sobie śladu w postaci podpisanych komentarzy. Rozkład poglądów dla oceniających, będący przybliżeniem rozkładu dla wszystkich czytelników, okazał się być niemal identyczny jak rozkład autorów komentarzy, dostępny bezpośredniej analizie. Obserwacja ta wskazuje, że asymetrycznej polaryzacji komentatorów (z dominującym udziałem jednej opcji politycznej a mniejszościowym, ale aktywnym wkładem zwolenników opcji przeciwnej) odpowiada podobna polaryzacja biernych czytelników. Podobnie jak poprzednio, podstawą do takiej analizy był prosty matematyczny model zachowań, oparty jedynie o parametry bezpośrednio pochodzące z obserwacji.

Wspomniana wcześniej zmiana interfejsu użytkownika, zmniejszająca łatwość prowadzenia dialogów (czy raczej kłótni) między użytkownikami, doprowadziła do dość zaskakującego rezultatu: **w porównywalnych warunkach skala negatywnych emocji wyrażanych w komentarzach była mniejsza na forum ułatwiającym kłótnie.** Przez „porównywalne warunki” rozumiem tu wątki dyskusyjne odnoszące się do tych samych wiadomości prasowych, w tym samym czasie, różniące się jedynie interfejsem forum, na którym dyskusje były prowadzone. Obserwacja ta może mieć istotne znaczenie praktyczne dla minimalizacji agresji i negatywnych emocji w różnych formach komunikacji elektronicznej, w których nie ma bezpośredniego kontaktu konkretnie rozpoznawanych osób a jedynie ich Internetowych identyfikatorów. Umożliwienie i ułatwienie kontaktów dwustronnych (nawet jeśli osoby są ukryte za tożsamościami sieciowymi) zmniejsza tendencję do walki o popularność – realizowanej przez ekstremalne wypowiedzi adresowane do ogółu potencjalnych odbiorców.



Rysunek 8: Porównanie cech sieci społecznej tworzonej przez komentarze na forum dyskusyjnym *Gazety Wyborczej* (dla dwóch wersji interfejsu użytkownika). Czerwone punkty obrazują odpowiednio rozkłady popularności poszczególnych użytkowników (mierzonej przez ich *indegree*, k_{in}), ich aktywności (mierzonej przez *outdegree*, k_{out}) oraz rozkład długości dialogów między parami uczestników forum. Niebieskie kwadraty to wartości dla 5 symulacji (przy identycznych parametrach modelu).

Model E/I/O

Omówione powyżej obserwacje, a także liczne dyskusje prowadzone z przedstawicielami nauk społecznych i psychologami, wskazywały, że opinie i emocje są ściśle powiązane. Co więcej, poglądy są często znacznie stabilniejsze niż wynikałoby to z klasycznych modeli socjofizycznych. Rezultatem tych przemyśleń jest zaproponowanie **nowego modelu indywidualnych zmian opinii biorących pod uwagę zarówno posiadane przez osobę informacje jak i stan emocjonalny osoby i jej rozmówcy lub odbieranej wiadomości**. Podejście to zaprezentowane zostało w pracy *Discrete model of opinion changes using knowledge and emotions as control variables* [A9]. Model nazwany został modelem E/I/O, co odzwierciedla współgrę emocji, informacji i opinii w jednolitym schemacie zmian cech indywidualnych agentów.

W odróżnieniu od poprzednich artykułów, głównym zagadnieniem omawianym w pracy [A9] nie jest dynamika zmian opinii w grupach społecznych, a próba prostego, a jednocześnie nietrywialnego opisu jednostkowego, „mikroskopowego” zachowania poszczególnych osób i jego skutków w najprostszych zjawiskach grupowych. Model oparty jest o koncepcje teorii katastrof, stosowane uprzednio w psychologii. Zaproponowany został uproszczony, dyskretny model zachowań z siedmioma stanami określonymi przez wzajemne relacje posiadanej informacji (wspierającej daną opinię, neutralnej lub przeciwnej), stanu emocjonalnego (spokojnego i zaangażowanego emocjonalnie) i wynikowej opinii. Model oparty jest na odzwierciedleniu zmian stanu osoby w zależności od aktualnych wartości tych parametrów oraz informacji, emocji i opinii odbieranych z zewnątrz (na przykład stanu osoby, z którą prowadzi się rozmowę). Zmiany stanu opisane zostały w macierzy przejść, mogącej uwzględniać różne podejścia psychologiczne.

Tak zdefiniowaną indywidualną dynamikę emocji i opinii można następnie uzupełnić o mechanizm komunikacji między agentami i, dzięki temu, przenieść na efekty grupowe. Omawiana praca oparta była o stosunkowo daleki od realiów społecznych, ale bliski modelom fizycznym schemat oddziaływania każdy-z-każdym, odpowiadający w granicy dużych układów przybliżeniu pola średniego. Takie uproszczenie efektów oddziaływania pozwoliło na wyodrębnienie cech globalnych związanych ze specyfiką indywidualnych, „mikroskopowych” zachowań. Artykuł przedstawiał zarówno rozwiązania matematyczne jak i symulacje komputerowe uwzględniające lokalne fluktuacje.

Mimo swojej prostoty model prowadzi, nawet w najprostszym wariacie sieci społecznej opartej na kontaktach każdy z każdym, do zróżnicowanych zachowań. W zależności od warunków początkowych, określonych proporcjami osób wspierających przeciwstawne opinie i ich stany emocjonalne, możliwe jest zarówno osiągnięcie konsensusu jak i trwałe współistnienie większości i mniejszości. W tym drugim przypadku mniejszość, „atakowana” poglądami większości chroni swoje poglądy kosztem ciągłego stanu wysokich emocji – zjawisko odpowiadające zarówno intuicjom jak i obserwacjom zachowań w dyskusjach internetowych. Dodatkowo, interesującym z fizycznego punktu widzenia, aspektem modelu jest występowanie metastabilnych stanów mieszanych w układach będących pod wpływem zewnętrznej propagandy. Obecność stanu metastabilnego wskazuje na znaczenie złamania symetrii przez jednostronna propagandę.

Odtworzenie w przybliżeniu pola średniego konfiguracji społecznych zbliżonych jakościowo do intuicji socjologicznych i niektórych przynajmniej obserwacji stanowiło zachętę do zastosowania modelu w bardziej realistycznych symulacjach. Pierwszym krokiem było modelowanie zachowań w których wymiana informacji i emocji prowadzona jest za pomocą pojedynczych komunikatów o skończonym zasięgu (praca *Minority persistence in agent based model using information and emotional arousal as control variables* [A10]).

Istotną cechą modelu jest możliwość bezpośredniego powiązania sztucznych miar upływu „czasu” w symulacjach (zazwyczaj mierzonego krokami w procedurze Monte-Carlo) z upływem czasu w warunkach rzeczywistych, poprzez realistyczne odwzorowanie procesów wymiany

informacji między osobami. Takie powiązanie jest bardzo trudne w większości wcześniejszych modeli socjofizycznych, a ma ono istotne znaczenie. Pozwala bowiem na określenie czy przewidywane przez symulacje tempo zachodzenia zjawisk takich jak przejścia fazowe czy odpowiedzi na zaburzenia odpowiada realnym sytuacjom społecznym. Jak się bowiem okazuje, w zależności od parametrów symulacji, takich jak zasięg oddziaływań między agentami (lub, w języku komunikacji społecznej, zasięg tej komunikacji), mogą w układzie występować długociągowe stany pośrednie, o cechach znacząco różnych od charakterystyk stanu finalnego. Obok „sieciovego” parametru, jakim jest zasięg oddziaływania, istotną rolę odgrywały też „indywidualne” cechy agentów takie jak ich skłonność do irytacji (wzrostu negatywnych emocji na skutek zetknięcia się z przeciwną opinią) czy zanikanie emocji w efekcie kontaktu ze spokojnymi osobami podzielającymi dana opinię.

Symulacje prowadzone były na abstrakcyjnej (z punktu widzenia psychologii społecznej) dwuwymiarowej sieci kwadratowej. Zaletą tego podejścia była łatwość wizualizacji wyników i intuicyjnego zrozumienia pewnych efektów. Dotyczyło to w szczególności roli warunków początkowych, w tym odejścia od ulubionego przez fizyków założenia o początkowo przypadkowym początkowym rozkładzie cech agentów.

Artykuł *Quantitative agent based model of user behavior in an Internet discussion forum* [A11], wieńczył omawiany cykl publikacji dotyczących modelu E/I/O. W pracy tej połączone zostały realistyczne symulacje procesu tworzenia komentarzy na forum Internetowym z modelem E/I/O. Pozwoliło to na **ilościowe odtworzenie w symulacjach komputerowych wyników obserwacji i analiz forów politycznych *Gazety Wyborczej*, omówionych powyżej**. Uzyskane w symulacjach wyniki dają nie tylko dobrą zgodność w opisie cech statystycznych sieci społecznej związanej z wymienianymi komentarzami, ale także odtwarzają statystyki dotyczące typów komentarzy, wypowiedzianych opinii i emocji. Taka ilościowa zgodność modelu z obserwacjami jest wyjątkiem na skalę światową.

Ważne znaczenie ma także sposób doboru parametrów modelu. Mają one intuicyjnie proste znaczenie psychologiczne i socjologiczne, na przykład średniej ilości znajomych, prawdopodobieństwa odpowiedzi na komentarz skierowany do danego agenta, prawdopodobieństwa irytacji czy uspokojenia itp. Sformułowanie modelu z wykorzystaniem takich parametrów daje szansę na ich eksperymentalną weryfikację, a przynajmniej ocenę realności takiej weryfikacji. „Klasyczne” parametry stosowane w modelach socjofizycznych, takie jak „temperatura społeczna”, choć mają zaletę bezpośredniego odpowiednika w modelach fizycznych, są znacznie trudniejsze do uchwycenia w realnych sytuacjach społecznych.

Uniwersalność występowania opinii ekstremalnych

Zjawiskiem obserwowanym coraz częściej w różnych kontekstach społecznych jest dominacja ekstremalnych opinii, często ewoluujących od małych grup mniejszościowych i ograniczających znaczące fragmenty społeczeństwa. Stawia to poważne wyzwanie społeczeństwom demokratycznym. Od niedawna znacząca część publikacji socjofizycznych skoncentrowała się na tym problemie. Wiele z poświęconych mu prac opartych jest na tych samych fundamentach i technikach co analizy występowania konsensusu, z jedną znaczącą modyfikacją: wprowadzeniem agentów o niezmiennych się opiniach, wprowadzonych w celu stworzenia długotrwałego stanu konfliktu i niezgody. Przykłady takich prac obejmują wiele modeli dynamiki opinii, przykładowo model ograniczonego zaufania [C65, C48]; model Galama [C66]; binarny model oparty o teorię gier [C67, C68, C69]; model głosującego [C70, C71]; model Sznajdów [C72, C73] oraz podejścia oparte o pojęcie uporu [C74, C75]. Mimo różnic – niejednokrotnie fundamentalnych – pomiędzy tymi modelami: dostępnymi stanów (binarne, bardziej liczne dyskretne stany, ciągła przestrzeń stanów); topologii rozważanych sieci społecznych (w pełni połączonych, geometrycznych, bezskalowych); konkretnych mechanizmów interakcji między

agentami – wszystkie te prace wskazują na znaczącą rolę jaką może odegrać nawet niewielka grupa agentów z ustalonymi opiniami, mogąca pociągnąć za sobą większość społeczności lub całą społeczność. Ci wyróżnieni agenci mają różne nazwy: fanatyków, zatwardziałych, niezależnych, ekstremistów. . .

Możliwe jest wszakże opisanie dominacji poglądów ekstremalnych bez odwoływania się do specjalnej klasy agentów. Model E/I/O wskazał na rolę jaką mogą odgrywać w tym emocje: zwiększony poziom emocji może prowadzić do zamrożenia indywidualnych opinii. Sugestia ta stanowiła impuls do powstania pracy *Extremism without extremists: Deffuant model with emotions* [A14], która opisała powstawanie globalnych ekstremalnych opinii w jednym z najprostszych modeli socjofizycznych, modelu ograniczonego zaufania Deffuanta. Pojawienie się i dominacja opinii ekstremalnych nie wymaga tu specjalnych, wprowadzanych *ad hoc* agentów, a jedynie korelacji między ekstremalnymi opiniami indywidualnymi, emocjami i zmniejszoną w takich sytuacjach tolerancją na poglądy innych.

Model zmian opinii w środowiskach naukowych

Obok społeczności Internetowych dostępne są także inne środowiska, w których możliwe jest śledzenie dynamiki opinii na szeroką skalę i tworzenie modeli o ilościowym, statystycznie znaczącym charakterze. Przykładem może być rozprzestrzenianie poglądów wśród naukowców. Po pierwsze, poparcie dla poszczególnych koncepcji, teorii czy paradygmatów jest, z dobrym przybliżeniem, mierzalne za pośrednictwem analizy publikacji naukowych. Po drugie, daje się określić dobrze zdefiniowane sposoby komunikacji. Po trzecie, mamy do czynienia z bardzo interesującym środowiskiem, w którym sieć społeczna nie tylko zmienia się dynamicznie ale także rośnie w tempie eksponencjalnym [C76].

Modelowanie matematyczne tego procesu ma długą historię, począwszy od odkrycia prawa Lotki [C77], przez próby nadania matematycznego kształtu modelowi zmiany paradygmatu Kuhna [C78] takie jak [C79, C80, C81, C82]. Znaczenie tematyki jest oczywiste z punktu widzenia socjologii nauki. Także z perspektywy socjofizyki, omawiana dziedzina jest bardzo obiecująca, ze względu na dostępność bogatych danych w postaci publikacji, cytowań czy kolaboracji naukowych.

Poświęcona temu tematowi praca *Simulations of opinion changes in scientific communities* [A13] zaproponowała nowatorski w literaturze przedmiotu model obejmujący równoległe trzy mechanizmy zmiany opinii w tej szczególnej sytuacji. Przez opinię rozumiemy tu wsparcie dla jednego z kilku alternatywnych sposobów rozumienia/wyjaśniania obserwacji czy eksperymentów. Zmiana „wspieranej” teorii na inną może, w ramach modelu, nastąpić na skutek wpływu bezpośredniego otoczenia, w którym pracuje badacz: jego promotorów, mentorów, władz uczelni i instytucji decydujących o wsparciu finansowym. Dostosowanie się do lokalnych uwarunkowań jest często znaczącym czynnikiem, szczególnie dla młodych naukowców, czasem nie związanym z „jakością” poszczególnych teorii. Drugim czynnikiem są prezentowane w publikacjach wyniki uzyskane przez innych badaczy – ich siła przekonywania. Takie społeczne mechanizmy występują oczywiście także poza nauką, choćby w polityce. Jednak czynnikiem wyróżniającym naukę z innych domen społecznych jest występowanie niezależnego od względnych konwencji „obiektywnego miernika jakości” teorii naukowych, a mianowicie ich zdolności do wyjaśniania obserwacji i eksperymentów i przewidywania wyników przyszłych obserwacji. Stąd też trzecim mechanizmem zmiany opinii jest dokonanie odkrycia o przełomowym charakterze, wymuszającego przyjęcie nowej interpretacji. Częstość występowania takich kluczowych obserwacji czy eksperymentów jest bardzo różna dla różnych dziedzin nauki. Nawet w klasycznych naukach empirycznych, takich jak chemia, fizyka czy biologia, wyróżnić można obszary gdzie kluczowe eksperymenty mogą być stosunkowo nieliczne. W naukach społecznych czy w filozofii zmiany paradygmatu wymuszone przez ob-

serwacje są jeszcze rzadsze. Zaproponowany model pozwalał na elastyczne modyfikowanie roli takich doświadczeń i danych w kształtowaniu poparcia poszczególnych teorii. Symulacja obejmowała przy tym zarówno proces tworzenia własnego wkładu w rozwój nauki (pisanie prac) jak i śledzenie tego, co tworzą inni badacze.

Wyniki odtwarzały statystyczne własności procesu powstawania prac naukowych (takie jak ilość artykułów napisanych przez naukowca, rozkład wielkości współpracujących ze sobą grup badaczy czy wreszcie rozkład ilości autorów poszczególnych prac), zgodnie z analizami rzeczywistych środowisk wykonanymi przez Newmana [C83, C84]. Jednocześnie, zaproponowany opis zdobywania poparcia przez nową, dokładniejszą niż poprzednie teorię naukową wskazuje na znaczenie dwóch parametrów: jakościowego postępu jaki wnosi nowa teoria oraz ilości kluczowych eksperymentów i ich roli w danej dziedzinie. Ten drugi czynnik odgrywa decydującą rolę w określaniu równoległego współistnienia sprzecznych wyjaśnień w domenach, w których nie jest możliwe/wymagane porównanie z obserwacjami. Warto pamiętać, że taka sytuacja może mieć miejsce także w naukach o tradycyjnie przyrodniczym i obserwacyjnym charakterze. Przykładem mogą być wyjaśnienia natury ciemnej energii (pozostającej poza zasięgiem eksperymentalnej weryfikacji), kontrowersje dotyczące paradygmatu selekcji grupowej w biologii ewolucyjnej (gdzie niedawne prace wykazały równoważność matematyczną ideowo różnych podejść), czy wczesny etap konceptualnych dyskusji dotyczących natury korelacji kwantowych (przed eksperymentami Aspecta i gwałtownym wzrostem zainteresowania tematyką kwantowego szyfrowania i komputerów, wraz z ich praktycznymi realizacjami). Oparty o symulacje model przewiduje, że **w przypadku małego wpływu kluczowych obserwacji i eksperymentów *status quo* ewoluuje bardzo powoli, a nowe teorie mają małe szanse na zdobycie dominującej pozycji**. Prace opisane w artykule [A13] są obecnie kontynuowane, z uwzględnieniem dodatkowych czynników takich jak zmiany zainteresowań poszczególnych badaczy, moda w nauce czy czynniki wynikające z modelu finansowania badań naukowych przez granty badawcze.

Podsumowanie

Omówione powyżej prace przedstawiają **kompleksowy socjofizyczny model procesów kształtowania i zmian opinii w realnych społecznościach**. Istotną ich cechą jest łączenie metod charakterystycznych dla wielu dziedzin nauki, od fizyki, przez socjologię po psychologię. Poszczególne artykuły rozważały znaczenie takich elementów, jak:

- równoczesną dynamikę zmian opinii poszczególnych osób oraz zależnych od tych opinii powiązań społecznych, prowadzących do segregacji społecznej i efektu lokalnej dominacji poglądów;
- zróżnicowanie wpływu poszczególnych osób oraz istnienie w społeczeństwie osób o cechach przywódczych. Potraktowanie tych cech jako skończonych zasobów i analizę skutków różnych strategii dysponowania tymi zasobami;
- analizę wpływu osób nie będących zdecydowanymi zwolennikami jednego ze skonfliktowanych poglądów (agentów neutralnych) na dynamikę sieci społecznych i wypadkowych opinii, w szczególności rolę takich grup w zapewnieniu łączności między skonfliktowanymi grupami i wpływ na występowanie metastabilnych stanów mieszanych;
- połączenie roli informacji i emocji na indywidualną dynamikę zmian opinii poszczególnych osób i modelowanie skutków takiego kompleksowego podejścia na poziomie mikroskopowym na dynamikę opinii w sieciach społecznych.

Tematem wiodącym jest analiza powstawania i utrzymywania się, w różnych ujęciach, trwałych układów skonfliktowanych grup. Zjawisko to jest szczególnie istotne w

analizach socjologicznych i stanowi wyzwanie dla podejścia opartego na metodach fizycznych, gdzie typowym stanem uporządkowanym jest stan pełnego konsensusu. Wyniki omawianych prac wskazują na to, że w przypadku oddziaływań społecznych co najmniej trzy mechanizmy (indywidualna dynamika informacji/emocji, segregacja powiązań i rola agentów neutralnych) prowadzą albo do w pełni stabilnych albo do długożyciowych konfiguracji, w których współistnieją konkurujące, przeciwne poglądy. Co więcej, stany takie są, w szerokim zakresie modelowanych parametrów, odporne na zmianę za pomocą „zewnętrznych pól” – na przykład propagandy.

Istotnym elementem filozofii badawczej była i jest intencja jak najdalszego powiązania proponowanych modeli opartych na koncepcjach fizycznych i symulacjach komputerowych z obserwacjami rzeczywistych układów społecznych oraz nadawanie prostej i naturalnej interpretacji psychologicznej i socjologicznej poszczególnym parametrom modeli, po to aby mogły być one porównane z badaniami eksperymentalnymi w naukach społecznych. W opinii autora tylko takie podejście daje szansę na prawdziwie multidyscyplinarny rozwój socjofizyki.

Paweł Sobkowicz

Wybrana literatura tematu

- [C1] C. Castellano, S. Fortunato, and V. Loreto, Statistical physics of social dynamics *Rev. Mod. Phys.*, vol. 81, pp. 591–646, 2009.
- [C2] A. Nowak, J. Szamrej, and B. Latané, From Private Attitude to Public Opinion: A Dynamic Theory of Social Impact *Psychological Review*, vol. 97, no. 3, pp. 362–376, 1990.
- [C3] B. Latané and A. Nowak, *Dynamical Systems in Social Psychology*, ch. Attitudes as Catastrophes: From Dimensions to Categories With Increasing Involvement, pp. 219–249. San Diego: Academic Press, 1994.
- [C4] A. Nowak and M. Lewenstein, Modeling Social Change with Cellular Automata in *Modelling and Simulation in the Social Sciences From A Philosophy of Science Point of View* (R. Hegselmann, U. Mueller, and K. G. Troitzsch, eds.), pp. 249–285, Kluwer, Dordrecht, 1996.
- [C5] K. Sznajd-Weron and J. Sznajd, Opinion Evolution in Closed Community *Int. J. Mod. Phys. C*, vol. 11, pp. 1157–1166, 2000.
- [C6] K. Kacperski and J. Holyst, Opinion formation model with strong leader and external impact: a mean field approach *Physica A*, vol. 269, pp. 511–526, 1999.
- [C7] K. Kacperski and J. Holyst, Phase transitions as a persistent feature of groups with leaders in models of opinion formation *Physica A*, vol. 287, pp. 631–643, 2000.
- [C8] J. Holyst, K. Kacperski, and F. Schweitzer, Social impact models of opinion dynamics *Annual Review of Comput. Phys.*, vol. IX, pp. 253–273, 2001.
- [C9] P. Sobkowicz, M. Thelwall, K. Buckley, G. Paltoglou, and A. Sobkowicz, Lognormal distributions of user post lengths in Internet discussions — a consequence of the Weber-Fechner law? *EPJ Data Science*, 2:2, 2013.
- [C10] D. J. Watts and S. H. Strogatz, Collective dynamics of ‘small-world’ networks *Nature*, vol. 393, pp. 440–442, 1998. no reference file.
- [C11] D. J. Watts, *Small Worlds*. Princeton University Press, Princeton, 1999.
- [C12] R. Albert and A. L. Barabási, Topology of Evolving Networks: Local Events and Universality *Phys. Rev. Lett.*, vol. 85, no. 24, pp. 5234–5237, 2000.
- [C13] A. L. Barabási, R. Albert, and P. Schiffer, The physics of sand castles: maximum angle of stability in wet and dry granular media *Physica A*, vol. 266, pp. 366–371, 1999.
- [C14] M. Newman and J. Park, Why social networks are different from other types of networks *Physical Review E*, vol. 68, no. 3, p. 36122, 2003.

- [C15] M. Scheucher and H. Spohn, A soluble kinetic model for spinodal decomposition *Journal of statistical physics*, vol. 53, no. 1, pp. 279–294, 1988.
- [C16] G. Deffuant, D. Neau, F. Amblard, and G. Weisbuch, Mixing beliefs among interacting agents *Advances in Complex Systems*, vol. 3, pp. 87–98, 2000.
- [C17] R. Hegselmann and U. Krause, Opinion dynamics and bounded confidence models, analysis, and simulation *Journal of Artificial Societies and Social Simulation (JASSS) vol*, vol. 5, no. 3, 2002.
- [C18] L. Adamic and N. Glance, The political blogosphere and the 2004 US election: divided they blog in *Proceedings of the 3rd international workshop on Link discovery*, pp. 36–43, 2005.
- [C19] T. Gross and B. Blasius, Adaptive coevolutionary networks: a review *Journal of The Royal Society Interface*, vol. 5, no. 20, p. 259, 2008.
- [C20] T. Gross and H. Sayama, *Adaptive networks*. Springer, 2009.
- [C21] J. L. Herrera, M. G. Cosenza, K. Tucci, and J. C. González-Avella, General coevolution of topology and dynamics in networks *EPL (Europhysics Letters)*, vol. 95, no. 5, p. 58006, 2011.
- [C22] B. Schmittmann and A. Mukhopadhyay, Opinion formation on adaptive networks with intensive average degree *Physical Review E*, vol. 82, no. 6, p. 66104, 2010.
- [C23] I. B. Schwartz and L. B. Shaw, Rewiring for adaptation *Physics*, vol. 3, no. 17, 2010.
- [C24] S. Risau-Gusmán and D. H. Zanette, Contact switching as a control strategy for epidemic outbreaks *Journal of theoretical biology*, vol. 257, no. 1, pp. 52–60, 2009.
- [C25] Y. Wang, G. Xiao, and J. Liu, Dynamics of competing ideas in complex social systems *New Journal of Physics*, vol. 14, no. 1, p. 013015, 2012.
- [C26] M. G. Zimmermann, V. M. Eguiluz, M. San Miguel, and A. Spadaro, Cooperation in an adaptive network *Advances in Complex Systems*, vol. 3, no. 01n04, pp. 283–297, 2000.
- [C27] M. G. Zimmermann, V. M. Eguiluz, and M. San Miguel, Coevolution of dynamical states and interactions in dynamic networks *Physical Review E*, vol. 69, no. 6, p. 065102, 2004.
- [C28] S. Gil and D. Zanette, Coevolution of agents and networks: Opinion spreading and community disconnection *Physics Letters A*, vol. 356, no. 2, pp. 89–94, 2006.
- [C29] P. Holme and M. E. J. Newman, Nonequilibrium phase transition in the coevolution of networks and opinions *Physical Review E*, vol. 74, no. 5, p. 056108, 2006.
- [C30] B. Kozma and A. Barrat, Consensus formation on adaptive networks. *Physical Review E*, vol. 77, no. 1 Pt 2, p. 016102, 2008.
- [C31] C. Nardini, B. Kozma, and A. Barrat, Who’s Talking First? Consensus or Lack Thereof in Coevolving Opinion Formation Models *Physical Review Letters*, vol. 100, no. 15, p. 158701, 2008.
- [C32] F. Vazquez, V. Eguíluz, and M. San Miguel, Generic absorbing transition in coevolution dynamics *Physical Review Letters*, vol. 100, no. 10, p. 108702, 2008.

- [C33] F. Fu and L. Wang, Coevolutionary dynamics of opinions and networks: From diversity to uniformity *Physical Review E*, vol. 78, no. 1, p. 16104, 2008.
- [C34] I. J. Benczik, S. Z. Benczik, B. Schmittmann, and R. K. P. Zia, Lack of consensus in social systems *EPL (Europhysics Letters)*, vol. 82, p. 48006, 2008.
- [C35] I. J. Benczik, S. Z. Benczik, B. Schmittmann, and R. K. P. Zia, Opinion dynamics on an adaptive random network *Physical Review E*, vol. 79, no. 4, p. 46104, 2009.
- [C36] L. Zhong, F. Ren, T. Qiu, J. Xu, and B. Chen, Effects of attachment preferences on coevolution of opinions and networks *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2010.
- [C37] G. Iníguez, J. Kertész, K. Kaski, and R. Barrio, Opinion and community formation in coevolving networks *Physical Review E*, vol. 80, no. 6, p. 66119, 2009.
- [C38] M. Li, S. Guan, and C.-H. Lai, Spontaneous formation of dynamical groups in an adaptive networked system *New Journal of Physics*, vol. 12, no. 10, p. 103032, 2010.
- [C39] G. Demirel, F. Vazquez, G. Böhme, and T. Gross, Moment-Closure Approximations for Discrete Adaptive Networks *arXiv preprint arXiv:1211.0449*, 2012.
- [C40] G. Zschaler, G. A. Böhme, M. Seißinger, C. Huepe, and T. Gross, Early fragmentation in the adaptive voter model on directed networks *Physical Review E*, vol. 85, no. 4, p. 046107, 2012.
- [C41] R. Durrett, J. P. Gleeson, A. L. Lloyd, P. J. Mucha, F. Shi, D. Sivakoff, J. E. S. Socolar, and C. Varghese, Graph fission in an evolving voter model *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 109, no. 10, pp. 3682–3687, 2012.
- [C42] G. A. Böhme and T. Gross, Fragmentation transitions in multistate voter models *Physical Review E*, vol. 85, no. 6, p. 066117, 2012.
- [C43] S. Iyengar, K. Hahn, J. Krosnick, and J. Walker, Selective exposure to campaign communication: The role of anticipated agreement and issue public membership *The Journal of Politics*, vol. 70, no. 01, pp. 186–200, 2008.
- [C44] S. Knobloch-Westerwick and J. Meng, Looking the Other Way: Selective Exposure to Attitude-Consistent and Counterattitudinal Political Information *Communication Research*, vol. 36, no. 3, pp. 426–448, 2009.
- [C45] S. Knobloch-Westerwick, Selective Exposure and Reinforcement of Attitudes and Partisanship Before a Presidential Election *Journal of Communication*, 2012.
- [C46] N. J. Stroud, Polarization and Partisan Selective Exposure *Journal of Communication*, vol. 60, no. 3, pp. 556–576, 2010.
- [C47] M. Wojcieszak, 'Don't talk to me': effects of ideologically homogeneous online groups and politically dissimilar offline ties on extremism *New Media & Society*, vol. 12, pp. 637–655., 2010.
- [C48] D. W. Franks, J. Noble, P. Kaufmann, and S. Stagl, Extremism propagation in social networks with hubs *Adaptive Behavior*, vol. 16, no. 4, p. 264, 2008.
- [C49] W. Ru and C. Li-Ping, Opinion Dynamics on Complex Networks with Communities *Chinese Physics Letters*, vol. 25, pp. 1502–1505, 2008.

- [C50] P. Sobkowicz, Effect of leader’s strategy on opinion formation in networked societies. <http://arxiv.org/pdf/cond-mat/0311566>, 2003.
- [C51] W. P. Horbulin, O. G. Dodonow, and D. W. Lande, Informacijni operaciji ta bezpeka suspilstwa: zagrozy, protidatna modellowanja tech. rep., Institut Problem Nacionalnoi Bezpieki i Oborony Ukraini (National Security and Defense Council of Ukraine), 2009.
- [C52] T. Wragg, Modelling the Effects of Information Campaigns Using Agent-Based Simulation 2006.
- [C53] D. Baldassarri and P. Bearman, Dynamics of political polarization *American Sociological Review*, vol. 72, no. 5, p. 784, 2007.
- [C54] M. A. Baum and T. Groeling, New media and the polarization of American political discourse *Political Communication*, vol. 25, no. 4, pp. 345–365, 2008.
- [C55] F. R. Campante and D. A. Hojman, Media and polarization tech. rep., Harvard University, John F. Kennedy School of Government, 2010.
- [C56] C. Lord, L. Ross, and M. Lepper, Biased assimilation and attitude polarization: the effects of prior theories on subsequently considered evidence. *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 37, no. 11, p. 2098, 1979.
- [C57] M. Prior, Media and Political Polarization *Annual Review of Political Science*, vol. 16, no. 1, pp. 101–127, 2012.
- [C58] J. Brundidge, The Contemporary Media Environment and Breadth of Communication: The Contribution of the Internet to the Heterogeneity of Political Discussion Networks in *Annual meeting of the International Communication Association, TBA, Montreal, Quebec, Canada, May 21, 2008*, 2008.
- [C59] B. Fogarty and J. Wolak, The Effects of Media Interpretation for Citizen Evaluations of Politicians’ Messages *American Politics Research*, vol. 37, no. 1, pp. 129–154, 2009.
- [C60] P. T. Metaxas and E. Mustafaraj, Social Media and the Elections *Science*, vol. 338, no. 6106, pp. 472–473, 2012.
- [C61] I. Beneli, “Selective attention and arousal.” <http://www.csun.edu/vcpsy00h/students/arousal.htm> 1997.
- [C62] S. Galdi, B. Gawronski, L. Arcuri, and M. Friese, Selective exposure in decided and undecided individuals: Differential relations to automatic associations and conscious beliefs *Personality and Social Psychology Bulletin*, 2012.
- [C63] N. Valentino, A. Banks, V. Hutchings, and A. Davis, Selective exposure in the Internet age: The interaction between anxiety and information utility *Political Psychology*, vol. 30, no. 4, pp. 591–613, 2009.
- [C64] L. Skitka and E. Sargis, The Internet as psychological laboratory *Annu. Rev. Psychol.*, vol. 57, pp. 529–555, 2006.
- [C65] G. Deffuant, Comparing extremism propagation patterns in continuous opinion models *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 9, no. 3, pp. 1–24, 2006.
- [C66] S. Galam and F. Jacobs, The role of inflexible minorities in the breaking of democratic opinion dynamics *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 381, pp. 366–376, 2007.

- [C67] J. Xie, S. Sreenivasan, G. Korniss, W. Zhang, C. Lim, and B. K. Szymanski, Social consensus through the influence of committed minorities *Physical Review E*, vol. 84, no. 1, p. 011130, 2011.
- [C68] J. Xie, J. Emenheiser, M. Kirby, S. Sreenivasan, B. K. Szymanski, and G. Korniss, Evolution of opinions on social networks in the presence of competing committed groups *PloS one*, vol. 7, no. 3, p. e33215, 2012.
- [C69] G. Verma, A. Swami, and K. Chan, The impact of competing zealots on opinion dynamics *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 395, pp. 310–331, 2014.
- [C70] M. Mobilia, Does a Single Zealot Affect an Infinite Group of Voters? *Physical Review Letters*, vol. 91, no. 2, p. 028701, 2003.
- [C71] M. Mobilia, A. Petersen, and S. Redner, On the role of zealotry in the voter model *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, vol. 2007, no. 08, p. P08029, 2007.
- [C72] K. Sznajd-Weron, M. Tabiszewski, and A. M. Timpanaro, Phase transition in the Sznajd model with independence *EPL (Europhysics Letters)*, vol. 96, p. 48002, 2011.
- [C73] P. Nyczka and K. Sznajd-Weron, Anticonformity or Independence? – Insights from Statistical Physics *Journal of Statistical Physics*, vol. 151, pp. 174–202, 2013.
- [C74] M. Ramos, J. Shao, S. D. S. Reis, C. Anteneodo, J. S. Andrade Jr, S. Havlin, and H. A. Makse, How does public opinion become extreme? *arXiv preprint arXiv:1412.4718*, 2014.
- [C75] K. Burghardt, W. Rand, and M. Girvan, Competing Opinions and Stubbornness: Connecting Models to Data *arXiv preprint arXiv:1411.7415*, 2014.
- [C76] D. J. de Solla Price, *Little science, big science... and beyond*. Columbia University Press New York, 1986.
- [C77] A. J. Lotka, The frequency distribution of scientific productivity. *Journal of Washington Academy Sciences. Vol.*, vol. 16, pp. 317–323, 1926.
- [C78] T. S. Kuhn, *The structure of scientific revolutions*. University of Chicago Press, Chicago, 1962.
- [C79] W. Goffman, Mathematical approach to the spread of scientific ideas—the history of mast cell research. *Nature*, vol. 212, no. 5061, pp. 449–452, 1966.
- [C80] M. Kochen and A. Blaiwas, A model for the growth of mathematical specialties *Scientometrics*, vol. 3, no. 4, pp. 265–273, 1981.
- [C81] J. D. Sterman, The growth of knowledge: Testing a theory of scientific revolutions with a formal model *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 28, no. 2, pp. 93 – 122, 1985.
- [C82] J. Sterman and J. Wittenberg, Path Dependence, Competition, and Succession in the Dynamics of Scientific Revolution *Organization Science*, vol. 10, no. 3, pp. 322–341, 1999.
- [C83] M. E. J. Newman, Scientific collaboration networks. I. Network construction and fundamental results *Physical Review E*, vol. 64, no. 1, pp. 016131–+, 2001.

- [C84] M. E. J. Newman, Scientific collaboration networks. II. Shortest paths, weighted networks, and centrality *Physical Review E*, vol. 64, no. 1, pp. 016132–+, 2001.
- [C85] L. Peter and R. Hull, *The Peter Principle*. William Morrow and Company, New York, 1969.