

Agnieszka KOWALSKA-STYCZEŃ
Wydział Organizacji i Zarządzania
Politechnika Śląska

PODEJŚCIE AGENTOWE W MODELOWANIU DYFUZJI INNOWACJI¹

Streszczenie. W artykule przedstawiono możliwości zastosowania modeli agentowych do modelowania dyfuzji nowego produktu na rynku. Zaprezentowano model oparty na dwuwymiarowym automacie komórkowym. Jako kluczowy mechanizm dyfuzji nowego produktu przyjęto reklamę oraz przekazywanie informacji „z ust do ust” ('word of mouth'). W artykule analizowano dynamikę zmian poglądów i postaw konsumentów bazując na lokalnych interakcjach między nimi w grupach nieformalnych. Te nieformalne grupy konsumentów reprezentowane są przez otoczenie von Neumanna o promieniu $r = 1$ (otoczenia 4-elementowe) i $r = 2$ (otoczenia 12-elementowe).

Słowa kluczowe: dyfuzja innowacji, marketing szeptany, zachowania konsumentów, modele agentowe automat komórkowy.

THE AGENTS APPROACH IN THE MODELING DIFFUSION OF INNOVATION

Summary. This paper presents the applicability of using agent models to model a new product diffusion on the market. Two dimensional cellular automaton has been used for modelling. As a key mechanism of new product diffusion, advertisement and word of mouth communication was adopted. The study analyzed the dynamics of the views and attitudes of consumers based on local interactions in informal groups. These informal groups of consumers are represented by von Neumann neighborhood of radius $r = 1$ (4-element neighborhood) and $r = 2$ (12-element neighborhood).

Keywords: diffusion of innovation, word of mouth, consumers behavior, agent models, cellular automaton.

¹ Artykuł powstał w ramach projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki (NCN, grant nr 2011/01/B/HS4/02740).

1. Wprowadzenie

1.1. Modele dyfuzji

Procesy dyfuzji nowych produktów i usług w ostatnich latach stają się coraz bardziej złożone i wieloaspektowe. Konsumenci są dziś narażeni na wiele czynników, które obejmują komunikację *word of mouth* (w-o-m), zewnętrzne sieci i sygnały społeczne. W tym kontekście trafna wydaje się definicja proponowana przez Peres i in. [20]: *dyfuzja innowacji jest procesem wchodzenia na rynek nowych produktów i usług, które są napędzane przez czynniki społeczne, które obejmują wszystkie współzależności wśród konsumentów, które wpływają na różne podmioty rynkowe z/lub bez ich wyraźnej wiedzy.*

Matematyczne modelowanie dyfuzji innowacji począwszy od lat 60. cieszy się dużym zainteresowaniem wśród naukowców. Przykładem jest prosty model prognozowania sprzedaży nowych produktów spożywczych Fourta i Woodloocka [6], model Mansfielda [19], wykorzystany do zbadania, jakie czynniki określają szybkość rozprzestrzeniania się zastosowanej nowej techniki z jednej firmy do drugiej, czy najbardziej znany model Bassa [2], opisujący dyfuzję innowacji jako wirusowy proces, który inicjowany jest przez masową komunikację i napędzany przez w-o-m, czyli tzw. marketing szeptany.

Modelom dyfuzji dużą uwagę poświęcają również praktycy zarządzania, ponieważ zdolność firmy do skutecznego promowania innowacji może prowadzić do jej przewagi konkurencyjnej na rynku i zapewnić długotrwały sukces. Korzystanie z narzędzi, które pomagają wstępnie oszacować reakcje rynku na nowe produkty jest zatem bardzo ważne w pracy menadżerów.

Z ekonomicznego punktu widzenia, teoria dyfuzji innowacji opiera się na stwierdzeniu, że innowacje należy rozumieć jako dynamiczny proces, zdominowany przez wpływy społeczne [13]. Empiryczne fundamenty do takiego podejścia do dyfuzji innowacji stworzone zostały znacznie wcześniej przez Ryana i Grossa [22]. Cytowani autorzy stwierdzili, że kontakty społeczne i komunikacja interpersonalna to istotne czynniki, które wpływają na przyjęcie nowych zachowań.

Sz szczególnie duży potencjał mają modele dyfuzji, które stanowią pomost pomiędzy poziomami mikro i makro, ponieważ sprzyjają lepszemu zrozumieniu procesu dyfuzji. Podejście takie prezentują m.in. Mahajan i in. [18] oraz Chatterjee i Eliashberg [5].

1.2. Modele agentowe w dyfuzji innowacji

W ostatniej dekadzie pojawia się coraz więcej prac pokazujących przydatność modeli agentowych do badania dyfuzji innowacji. Dyfuzja innowacji jest zjawiskiem, w którym kluczowe znaczenie mają interakcje na poziomie mikro pomiędzy przyjmującymi innowacje (ang. *adopters*) i wywierającymi wpływ (ang. *influencers*) [8]. Te relacje na poziomie mikro wpływają na dalsze rozprzestrzenianie się produktu czy usługi na rynku i odgrywają

kluczową rolę w ich sukcesie (lub porażce). Jest to ogólny wskaźnik dyfuzji na poziomie makro, który jest poważnym problemem wielu organizacji. Dzieje się tak dlatego, że rezultaty na makropoziomie, wynikające z interakcji między przyjmującymi innowacje na mikropoziomie nie zawsze są przewidywalne. Brak tej przewidywalności powoduje wyzwanie, mianowicie jak uchwycić złożony charakter dyfuzji innowacji? Modele agentowe mogą być odpowiedzią dla wyjaśniania takich złożonych procesów, ponieważ umożliwiają ich modelowanie na poziomie lokalnym i naśladując dynamiczne skutki społeczne, dają szansę na obserwowanie ich wpływu na poziomie globalnym. Jak pokazują Garcia i Jager [8], modele agentowe powinny wykraczać poza poziom osób zajmujących się modelowaniem, ponieważ mogą i powinny być wykorzystywane w prawdziwych problemach rynkowych. Przykładem takiego podejścia jest praca Broekhuizena, Delrea, i Torresa [3], w której autorzy pokazali, jak społeczne wpływy w branży filmowej przyczyniają się do nierówności na rynku między różnymi krajami w odniesieniu do sukcesu nowych wydań filmowych, a także badania Zhanga i Nuttalla [26] dotyczące modelowania i symulowania rozpowszechniania inteligentnych liczników energii elektrycznej w Wielkiej Brytanii oraz artykuł Ahrweilera, Pyki i Gilberta [1], gdzie autorzy zbadali dynamikę sieci innowacji opartej na wiedzy w przemyśle i pokazali, jak obecność uczelni wyższych w takich sieciach przyczynia się do ilości i szybkości innowacji.

Przykładem agentowych modeli dyfuzji są również rozszerzenia i modyfikacje modelu dyfuzji innowacji Bassa, zaprezentowane przez Randa i Rusta [21], a także Peresa i in. [20]. W modelowaniu procesów dyfuzji innowacji wykorzystuje się również Automaty Komórkowe (AK), czego przykładem są prace Goldenberga, Efroni [9] oraz Goldenberga i in. [10]. Obok takich ogólnych analiz modelowych z wykorzystaniem AK, powstają także modele opisujące procesy dyfuzji innowacji, bazujące na rzeczywistych danych. Przykłady takich rozwiązań pokazali między innymi Guseo i Guidolin [11], prezentując model ekspansji rzeczywistych produktów farmaceutycznych na rynkach włoskich oraz Garber i in. [7], wykorzystując podejście AK do przewidywania sukcesu rynkowego nowego produktu przez analizę danych o sprzedaży regionalnej, a także Ma i Chao [17] pokazując modelowanie dynamiki wprowadzania nowych modeli produktów na rynku telefonów komórkowych i stacjonarnych w Chinach.

W prezentowanej pracy podejście AK zastosowano do badania dyfuzji nowego produktu. Wprowadzenie nowego produktu na rynek wsparte jest przez reklamę (zewnętrzne pole oddziaływania na konsumentów/agentów). Analizowana jest dynamika zmian poglądów i postaw konsumentów bazujące na lokalnych interakcjach między nimi w małych grupach nieformalnych. Te nieformalne grupy konsumentów reprezentowane są przez otoczenie von Neumanna o promieniu $r = 1$ (otoczenia 4-elementowe) i $r = 2$ (otoczenia 12-elementowe).

Oprócz reklamy, podobnie jak w pracach [15, 16], zastosowano mechanizm *word of mouth* (w-o-m), tzw. marketing szeptany, ponieważ jak pokazują liczne badania [4, 12, 24] taki rodzaj komunikacji między konsumentami ma znaczący wpływ w podejmowaniu ich decyzji zakupowych.

2. Model

Ponieważ do symulacji wykorzystano automat komórkowy, więc społeczeństwo konsumentów reprezentowane jest przez kwadratową sieć o rozmiarze L na L (automat komórkowy dwuwymiarowy). Dla każdego kroku czasowego wszystkie komórki są aktualizowane jednocześnie (typowe podejście automatu komórkowego [14, 25]). Ponieważ dyfuzja nowego produktu badana jest dla różnej liczby powiązań między konsumentami (dla różnej spójności sieci powiązań między konsumentami), więc wprowadza się różną gęstość zapelnienia sieci przez konsumentów g . Takie założenie przybliża proponowany model do rzeczywistości społecznej, ponieważ dyskusje między konsumentami odbywają się w grupach o różnej liczbie przyjaciół/znajomych. Zakładając różną gęstość zapelnienia sieci, proponowane 4-elementowe sąsiedztwo von Neumanna może składać się od 0 do 4 sąsiadów, a sąsiedztwo 12-elementowe od 0 do 12 sąsiadów.

Zachowanie konsumentów/agentów zależy od wprowadzonych do modelu reguł lokalnych. Po pierwsze, każdy agent/konsument sprawdza preferencje swojego otoczenia i zmienia swoją preferencję na dominującą w sąsiedztwie. Jeśli więcej niż 50% sąsiadów jest tego samego zdania co agent/konsument, oczywiście nic się nie zmienia. W kolejnym kroku na konsumentów działa reklama dotycząca nowego produktu. Jest to zewnętrzne pole oddziaływania μ (liczba z przedziału $[0, 1]$), która działa tak, że $\mu \times 100\%$ losowo wybranych agentów/konsumentów, którzy nie zmienili swojego zdania w poprzednim kroku, zmienia preferencję na reklamowany produkt. Jeśli nie ma dominującej preferencji w sąsiedztwie konsumenta i nie zmienił on swojego wyboru w wyniku oddziaływania reklamy μ , to konsument przemieszcza się do najbliższego pustego miejsca w sieci w losowym kierunku. Ruch agenta w sieci może być utożsamiany z sięganiem konsumentów do innych źródeł informacji (np. sięganie do opinii dalszych znajomych lub zasięganie informacji w Internecie).

2.1. Projekt eksperymentu

Na początku symulacji agenci/konsumenci są losowo rozmieszczeni w sieci. Wśród konsumentów wyróżnia się takich, którzy preferują produkt firmy B oraz takich, którzy preferują produkt firmy A. Dodatkowo, zakłada się, że początkowo w sieci są jedynie

konsumenci typu B, a konkurencyjny produkt firmy A wprowadzany jest na rynek i jest reklamowany (czyli działa zewnętrzne pole oddziaływania μ).

Eksperymenty zostały zaprojektowane w celu zbadania wpływu reklamy i mechanizmu w-o-m na przyjęcie nowego produktu na rynku. Parametry wpływające na zmianę preferencji konsumentów były zmieniane przez następujące zmienne niezależne:

- g - gęstość zapewnienia sieci,
- rozmiar sąsiedztwa,
- możliwość ruchu agentów,
- μ - poziom natężenia reklamy.

Jako zmienną zależną, opisującą zachowania konsumentów przyjęto średnią liczbę osób ostatecznie wybierających produkt firmy A. Średnia ta jest obliczana po 1000 symulacji, gdzie pojedyncza symulacja składa się ze 100 kroków czasowych (czyli 100 uaktualnień całego systemu).

Ponieważ analogiczne wyniki uzyskano dla różnych rozmiarów sieci, więc w niniejszej pracy zaprezentowano eksperymenty dla $L = 20$. W badaniu przyjęto dwa poziomy rozmiaru sąsiedztwa $r = 1$ i $r = 2$ (których średnia wielkość zmienia się w zależności od gęstości zapewnienia sieci) oraz trzy poziomy gęstości zapewnienia sieci:

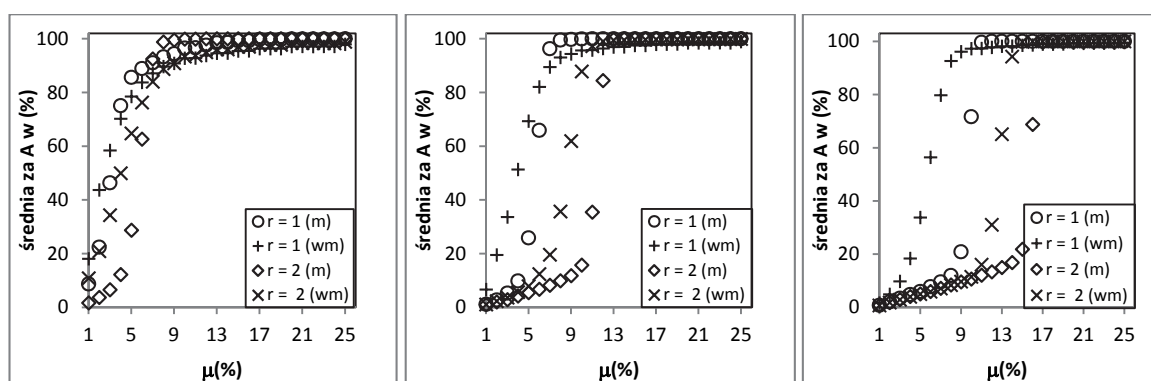
- $g = 0,3$ (dla $r = 1$ otoczenie składa się, średnio, z 1,2 sąsiadów, a dla $r = 2$ z 3,6 sąsiadów),
- $g = 0,5$ (dla $r = 1$ otoczenie składa się, średnio, z 2 sąsiadów, a dla $r = 2$ z 6 sąsiadów)
- $g = 0,7$ (dla $r = 1$ otoczenie składa się, średnio, z 2,8 sąsiadów, a dla $r = 2$ z 8,4 sąsiadów).

Symulacje wykonano dla modelu z możliwością ruchu i bez możliwości ruchu agentów. Poziom natężenia reklamy μ zmieniono od 1% do 25% z krokiem 1%.

2.2. Wyniki symulacji

Przeprowadzając symulacje ustalono, że zewnętrzne pole (reklama) działa tylko na konsumentów nieprzekonanych do reklamowanego produktu firmy A. Aby sprawdzić jak reklama i komunikacja w-o-m działają w sieci o różnej liczbie bliskich więzi między konsumentami, przyjęto $g = 0,3$ (sieć rzadkich powiązań), $g = 0,5$ (sieć gęstszych powiązań) i $g = 0,7$ (gęsta sieć powiązań pomiędzy konsumentami). Sieć nie w pełni zapelniona przez konsumentów umożliwia im ruch, czyli sięganie do opinii dalszych znajomych. Jak widać na rys. 1, reklama (zewnętrzne pole) jest najbardziej skuteczna w przypadku sieci rzadszych kontaktów między konsumentami ($g = 0,3$). Mniej intensywne μ powoduje większą skłonność do przyjęcia nowego produktu niż dla $g = 0,5$ i $g = 0,7$. Ponadto, na skuteczność reklamy wpływają również wielkość sąsiedztwa i możliwości sięgania do opinii innych

znajomych niż tych z najbliższego otoczenia. Mniejsza liczba kontaktów w komunikacji w-o-m (mniejsze otoczenie) wpływa na większą efektywność reklamy, jeśli jej intensywność jest mniejsza (małe μ). Jeżeli intensywność reklamy jest większa, to lepszą skuteczność μ obserwujemy dla większych grup znajomych (większe otoczenie, $r = 2$). Wyniki wskazują, że przekonanie do nowego produktu zależy zarówno od oddziaływania reklamy, jak i mechanizmu w-o-m.



Rys. 1. Średnia liczba konsumentów „za A” w zależności od poziomu reklamy μ . Model z ruchem – (m), model bez ruchu agentów – (wm)

Fig. 1. Average number of consumers "for A" depending on the advertising level μ . Model with movement – (m), model without movement – (wm)

3. Podsumowanie

Obecnie konsumenci nie mają dostępu do wszystkich informacji (których jest tak wiele i pochodzą z różnych źródeł), ponieważ nie mają wystarczającej zdolności do przetwarzania i oceny każdej dostępnej dla nich alternatywy [23]. Zamiast tracić czas i pieniądze, aby przeanalizować wszystkie możliwości, konsumenci zazwyczaj podejmują decyzję opierając się na zaufaniu do innych osób. Jest to prosty i ekonomiczny sposób na pozyskanie informacji w dobie ich mnogości. Podstawowym mechanizmem w tym zakresie jest marketing szeptany (w-o-m), który z coraz większą siłą kształtuje opinię publiczną. W związku z powyższym, w niniejszej pracy wykorzystano model AK oparty na komunikacji w-o-m. Oprócz marketingu szeptanego do wyboru nowego produktu przekonuje konsumentów reklama. Wyniki przeprowadzonych eksperymentów pokazują, że działanie obu mechanizmów jest bardziej skuteczne w przypadku mniej gęstych sieci powiązań między konsumentami (szybsze zdobycie rynku przez nowy produkt dla mniejszego natężenia reklamy). Ponadto, w procesie tym ważną rolę odgrywa wielkość sąsiedztwa, czyli wielkość grup bliskich znajomych/przyjaciół. Jeśli grupy te są mniejsze, to sprzyjają komunikacji w-o-m i przekonaniu do nowego produktu z mniejszym udziałem reklamy. W przypadku

bardziej gęstych społeczeństw konsumentów (czyli dla większego g) jest więcej połączeń między nimi (więcej kontaktów), dlatego też decyzja o przyjęciu nowego produktu jest podejmowana wolniej.

Przedstawiane badania są wstępnymi w zakresie dyfuzji innowacji, jednak otrzymane wyniki wskazują na potencjał narzędzia, jakim są modele agentowe, a w szczególności Automaty Komórkowe.

Bibliografia

1. Ahrweiler P., Pyka A., Gilbert N.: A New Model for University-Industry Links in Knowledge-Based Economies, *Journal of Product Innovation Management*, 28 (2), p. 218–235, 2011.
2. Bass F.M.: A new product growth model for consumer durables, *Management Science*, 15, 1969, p. 215–227.
3. Broekhuizen T.L.J., Delre S.A., Torres A.: Simulating the Cinema Market: How Cross-Cultural Differences in Social Influence Explain Box Office Distributions, *Journal of Product Innovation Management*, 28 (2), 2011, p. 204–217.
4. Brown J.J., Reingen P. H.: Social Ties and Word-of-Mouth Referral Behavior, *Journal of Consumer Research* Vol. 14, 1987, p. 350–362.
5. Chatterjee R., Eliashberg J.: The Innovation Diffusion Process in a Heterogeneous Population: A Micromodeling Approach, *Management Science*, 36 (9), 1990, p. 1057–1079.
6. Fourt L.A., Woodlock J.W.: Early prediction of market success for new grocery products, *Journal of Marketing*, 25, 1960, p. 31–38.
7. Garber T., Goldenberg J., Libai B., Muller E.: From Density to Destiny: Using Spatial Dimension of Sales Data for Early Prediction of New Product Success, *Marketing Science*, 23 (3), 2004, p. 419–428.
8. Garcia R., Jager W.: From the Special Issue Editors: Agent-Based Modeling of Innovation Diffusion, *Journal of Product Innovation Management*, 28, 2011, p.148–151.
9. Goldenberg J., Efroni S.: Using Cellular Automata Modeling of the Emergence of Innovation., *Technological Forecasting and Social Change*, 68 (3), 2001, p. 293–308.
10. Goldenberg J., Libai B., Muller E.: Using Complex Systems Analysis to Advance Marketing Theory Development: Modeling Heterogeneity Effects on New Product Growth through Stochastic Cellular Automata, *Academy of Marketing Science Review*, 9, 2001.
11. Guseo R., Guidolin M.: Modelling a dynamic market potential: A class of automata networks for diffusion of innovations, *Technological Forecasting and Social Change*, 76, 2009, p. 806–820.

12. Hennig-Thurau T., Walsh G.: Electronic word-of-mouth: motives for and consequences of reading consumer articulations on the Internet, *International Journal of Electronic Commerce*, Vol. 8, No. 2, Winter, 2004, p. 51-74.
13. Kiesling E., Günther M.: Stummer Ch., Wakolbinger L. M.: Agent-based simulation of innovation diffusion: a review, *Central European Journal of Operations Research*; 20 (2), 2012, p. 183.
14. Kowalska-Styczeń A.: Symulowanie złożonych procesów ekonomicznych za pomocą automatów komórkowych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
15. Kowalska-Styczeń A.: Wpływ marketingu szeptanego na zachowania konsumentów na rynku oligopolistycznym, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Organizacja i Zarządzanie*, z. 64, Gliwice 2013.
16. Kowalska-Styczeń A., Sznajd-Weron K.: Access to information in word of mouth marketing within a cellular automata model, *Advances in Complex Systems* Vol. 15, No. 7, 2012.
17. Ma F., Chao G.: Research on Communication Products Diffusion in China Using Cellular Automata. *International Business Research*, 4 (2), 2011, p. 147–152.
18. Mahajan V., Muller E., Bass F.M.: New product diffusion models in marketing: a review and directions for further research. *Journal of Marketing*, 54 (1), 1990, p. 1–26.
19. Mansfield E.: Technical change and the rate of imitation, *Econometrica*, 29 (4), 1961, p. 741–766, 1961.
20. Peres R., Muller E., Mahajan V.: Innovation diffusion and new product growth models: A critical review and research directions, *International Journal of Research in Marketing* 27, 2010, p. 91–106.
21. Rand W., Rust R.T.: Agent-based modeling in marketing: Guidelines for rigor. *International Journal of Research in Marketing*, 28 (3), 2011, p. 181–193.
22. Ryan B., Gross N.: The diffusion of hybrid seed corn in two Iowa communities, *Rural Sociology*, 8 (1), 1943, p. 15–24.
23. Simon H.A.: *Models of bounded rationality*. Volume 2. Cambridge: MIT Press, 1982.
24. Steffes E.M., Burgee L.E.: Social ties and online word of mouth, *Internet Res.* 19, 2009, p. 42–59.
25. Wolfram S.: *A New Kind of Science*. Wolfram Media, Inc. 2002.
26. Zhang T., Nuttall W.J.: Evaluating Government's Policies on Promoting Smart Metering Diffusion in Retail Electricity Markets via Agent-Based Simulation, *Journal of Product Innovation Management*, 28 (2), 2011, p. 169-186.

Abstract

The paper presents possibilities of using agent models to simulate diffusion of innovation. The presented model uses a two dimensional cellular automaton with von Neumann neighborhood of radius $r = 1$ (4-element neighborhood) and $r = 2$ (12-element neighborhood). As a key mechanism of new product diffusion, advertisement and word of mouth communication was adopted. The paper shows examples of model application to simulate a new product diffusion on the market. The results show, that the effect of both mechanisms (advertisement and w-o-m) is more effective for less dense network of connections between consumers. In addition, an important role is played by the size of the neighborhood, which is the size of groups of close friends/friends. Presented study are preliminary in the field of innovation diffusion, but the results indicated the tool potential, what are cellular automata.