

Agnieszka KOWALSKA-STYCZEŃ  
Politechnika Śląska  
Wydział Organizacji i Zarządzania  
Instytut Ekonomii i Informatyki

## **AUTOMATY KOMÓRKOWE W MODELOWANIU PROCESÓW PRZYWÓDZTWA W ORGANIZACJACH<sup>1</sup>**

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono możliwości zastosowania automatów komórkowych do modelowania procesów przywództwa w organizacjach. Ponieważ obecność liderów wydaje się być kluczowym czynnikiem powodzenia w przypadku zmian postaw w organizacjach, to mechanizm przekazywania informacji „z ust do ust”(w-o-m) jest decydującym narzędziem w tej sferze. W artykule pokazano możliwość modelowania dynamiki procesu zmian w organizacji, wynikającego z oddziaływanie liderów zmian. Przedstawiono także zależność dynamiki zmian od parametrów modelu.

## **CELLULAR AUTOMATA IN THE MODELING PROCESS OF LEADERSHIP IN ORGANIZATIONS**

**Summary.** The article presents the possibility of using cellular automata to model the processes of the leadership in organizations. Since the presence of leaders seems to be a key factor in the success of attitude change, the way of communication by the use of 'word of mouth' mechanism is a crucial tool in this sphere. The proposed paper shows the possibility of modeling the dynamics of the process of change in the organization, if the basic assumption of this process is the presence of leaders and the their impact on possible changes. The dependence of the model dynamics according to the changes in model parameters is shown.

### **1. Wprowadzenie**

Przywództwo w organizacjach jest jednym z najważniejszych zagadnień poruszanych we współczesnej literaturze z zakresu nauki o organizacji i zarządzaniu. Świadczy o tym między innymi praca E. Morrison, zamieszczona w [14] pokazująca, że leadership jest jednym z

---

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

najczęściej badanych obszarów w dziedzinie zarządzania w czasopiśmie *Academy of Management Journal* (jednym z najbardziej uznawanych czasopism na świecie). Dzieje się tak dlatego, że przywództwo bywa jednym z istotniejszych elementów prowadzących do sukcesu organizacji.

Jest bardzo wiele definicji przywództwa. Między innymi prace socjologiczne i politologiczne traktują je jako jeden z aspektów władzy. Według Abercrombie i in. [1] przywództwo to zdolność do wpływania lub sprawowania władzy we wspólnotach społecznych. Z kolei Bogdanor [3] definiuje przywództwo jako zdolność jednej lub kilku osób do wpływania na grupę i wdrażania własnej polityki. Przywództwo można definiować również bardziej ogólnie, odnosząc je do organizacji gospodarczych. Według Morrisa i Seemana [15], przywództwo jest każdą czynnością, która wpływa na postawę grupy. Szczegółową analizę przywództwa, a także teorii przywódczych można znaleźć m.in. w pracy Mrówki [16]. Przywództwo rozpatrywane jest tutaj głównie jako zależności hierarchiczne.

Wraz z rozwojem i badaniami leadership, coraz popularniejsza staje się również teoria złożonego przywództwa (*Complex Leadership Theory*), prezentowana m.in. w pracy [13]. Cytowani autorzy proponują analizę przywództwa i roli liderów we współczesnych organizacjach z perspektywy złożonych systemów „adaptowalnych” (*complex adaptive systems CAS*). W tej perspektywie rola liderów nie jest rozpatrywana – jak w ujęciach tradycyjnych – z punktu widzenia zależności hierarchicznych, ale raczej jako zespół interakcji „agentów” w sieciach (agentów). Interakcje te mają głównie charakter nieformalny, ale tłumaczą wiele procesów organizacyjnych – takich jak uczenie się organizacji, innowacje i ich dyfuzję czy procesy adaptacyjne [13]. Takie widzenie organizacji pojawiło się już ponad dekadę wcześniej. W pracy [17] zaproponowano na przykład ujęcie *complex systems* jako perspektywę opisu procesu zmian strategicznych. Cytowany autor pokazał między innymi interpretacje wcześniejszych badań własności sieci boolowskich oraz automatów komórkowych (CA), z których wynika, że sam fakt sieciowego charakteru relacji we współczesnych organizacjach implikuje niektóre zachowania i procesy w nich zachodzące. Intrygującym przykładem tego fenomenu jest pokazana przez Kauffmana [9] na bazie sieci boolowskich zależność dokumentująca większą stabilizację procesów w sieciach o rzadszych powiązaniach agentów oraz możliwość destabilizacji (wpadania w stany nieustalone i nieprzewidywalne) w strukturach sieciowych o licznych powiązaniach agentów. Co ciekawe reguły oddziaływania stosowane w odpowiednich symulacjach dokumentujących te zależności były budowane w sposób losowy i nie miały wpływu na omawiane zachowania całych sieci. Podobne wyniki zostały zaprezentowane przez Wolframa [19], chociaż jego symulacje bazowały na koncepcji automatów komórkowych.

W tym artykule automaty komórkowe (CA) zostaną wykorzystane do modelowania procesów przywództwa w organizacjach. Takie podejście jest realizacją paradygmatu *complex systems* (CS) zakładającego iż złożone zmiany systemu mogą być wyjaśnione poprzez dynamiczną analizę interakcji między jego elementarnymi składnikami. Ponieważ

przywództwo jest rozumiane jako zdolność jednej lub kilku osób do wpływania na grupę, wprowadza się do poniższych symulacji agentów - liderów, którzy w silny sposób będą wpływać na członków organizacji. Obecność takich liderów jest kluczowym czynnikiem powodzenia w przypadku zmian postaw w organizacjach, dlatego też decydującym narzędziem w tej sferze jest mechanizm przekazywania informacji *word of mouth* (w-o-m). Ten rodzaj komunikacji został zamodelowany i szczegółowo zbadany m.in. w pracy [12]. Za komunikacją w-o-m przemawiają wyniki badań Burta [5], z których wynika, że kontakty pośrednie nie mają znaczenia, natomiast nawet w bardzo różnych okolicznościach ważną rolę odgrywają sieci bezpośrednich kontaktów poszczególnych osób. W tym artykule mechanizm w-o-m będzie modelowany poprzez reguły automatu komórkowego działające na najbliższe otoczenie w sieci agentów reprezentujących organizację/przedsiębiorstwo.

Najistotniejszą cechą podejścia CS w analizach przywództwa jest możliwość uwzględniania sieci kontaktów i wpływów o charakterze nieformalnym [2]. Sieci nieformalne są bowiem postrzegane już od dawna jako kluczowe źródła wpływu społecznego w systemach społecznych [4]. Prace [6, 7] pokazują, że spójność sieci zwiększa przyjęcie innowacji, a wiele połączeń między „agentami” ułatwia wymianę wiedzy. W prezentowanym artykule podjęto próbę zamodelowania takiej sytuacji.

W kolejnych sekcjach omówiono ideę automatów komórkowych i ich parametrów a następnie sformułowano model pozwalający badać wpływ liderów (agentów) na przebieg procesu zmian poglądów członków organizacji. Przedstawiono rezultaty badań symulacyjnych zbudowanego modelu i omówiono możliwości dalszych badań w analizowanej sferze.

## 2. Opis modelu

Model wykorzystany do badania procesów przywództwa w organizacjach oparto na działaniu automatu komórkowego. Automat komórkowy to obiekt składający się z  $n$ -wymiarowej regularnej, dyskretnej siatki komórek, gdzie każda komórka posiada jeden stan ze skończonego zbioru stanów. Ewolucja każdej komórki przebiega według tej samej reguły lokalnej, która określa stan komórki w zależności od jej poprzedniego stanu oraz od stanów sąsiednich komórek [11, 18, 19, 20]. Sąsiednie komórki tworzą otoczenie, które dla każdej komórki jest takie samo. Ważnym parametrem jest promień  $r$ , którego wielkość zależy od postaci otoczenia danego automatu komórkowego. Jeśli otoczeniem są najbliżsi sąsiedzi  $i$ -tej komórki, to  $r = 1$ .

W prezentowanym, w tym artykule modelu zastosowano dwuwymiarowy automat komórkowy z otoczeniem von Neumanna o promieniu  $r = 1$  (4-elementowe) i  $r = 2$  (12-elementowe)

Poniższe badania dotyczą zachowań osób tworzących organizację/przedsiębiorstwo. Środowisko takie w modelu przedstawione jest jako kwadratowa sieć agentów o rozmiarze  $S \times S$ . Oprócz zwykłych agentów wprowadza się agentów-liderów, którzy mają większą siłę perswazji w stosunku do pozostałych członków organizacji.

Pojedyncza  $i$ -ta komórka/agent ( $i = 1, 2, \dots, S^2$ ) może być w jednym z trzech stanów: zajęta przez agentów typu A, zajęta przez liderów typu A oraz zajęta przez agentów typu B. W poniższych symulacjach badamy sytuację, w której agenci popierają opcję B, a liderzy są jedynie za opcją A.

Oznaczmy przez  $n$  liczbę agentów w sieci, wtedy:

$$n = p S^2,$$

gdzie  $p$  – gęstość zapelnienia sieci (wyrażona w procentach).

Niech  $n_A$  oznacza liczbę agentów za opcją A, wtedy  $n - n_A$  oznacza liczbę agentów za opcją B. Niech  $c = n_A/n$ , to będzie koncentracja A – agentów, a więc  $1 - c$ , to będzie koncentracja B – agentów. W takiej notacji liczba agentów za opcją A wynosi:

$$n_A = cpS^2$$

Niech  $n_{A^*}$  oznacza liczbę liderów za opcją A, a  $f = n_{A^*}/n_A$  oznacza frakcję liderów za opcją A. W takiej notacji liczba liderów za opcją A wynosi:

$$n_{A^*} = fcpS^2$$

W związku z obecnością w modelu agentów i agentów-liderów oraz różnej ich roli, proponuje się dla nich odmienne reguły postępowania.

#### **Reguły dla agentów**

- Agent sprawdza preferencje swojego otoczenia i zmienia swoją preferencję na dominującą w otoczeniu (czyli jeżeli więcej niż 50% jego sąsiadów ma inną opinię niż on, to zmienia on swoją opinię na tę dominującą).
- Agent zmienia swoją preferencję również w przypadku, gdy w jego otoczeniu znajduje się przynajmniej jeden lider.
- Jeśli więcej niż 50% ma opinię taką samą, jak badany agent lub brak jest lidera, to oczywiście nic się nie zmienia.

#### **Reguły dla liderów**

- Jeżeli agent jest liderem to, mimo że jest w środku to nie zmienia się pod wpływem większości otoczenia tak, jak zwykły agent.

- Jeżeli lider znajdzie się w otoczeniu innego agenta, to przekonuje go do swojej preferencji (zob. reguły dla agentów).

Tak zdefiniowane reguły automatu komórkowego, uwzględniają działanie wpływów interpersonalnych. Symuluje się w ten sposób przekazywanie wiedzy „z ust do ust” (w-o-m) i wpływ liderów na kształtowanie się opinii w organizacji/przedsiębiorstwie. Bardzo ważne jest wprowadzenie różnych gęstości zapelnienia sieci, które powoduje, że najbliższe otoczenie składa się z różnej liczby osób. Jest to krok, w kierunku zbliżenia modelu do rzeczywistości, ponieważ grupy pracowników składają się z różnej liczby osób. Odnosząc się do badań empirycznych Burta [6] oraz Fleminga i in. [7], celem tego artykułu będzie pokazanie, że również w sztucznym modelu organizacji, działanie i skuteczność liderów będzie większe w sieci o większym zagęszczeniu i dla większych otoczeń (czyli bardziej spójnej). Będzie to kolejny krok przemawiający za wykorzystywaniem możliwości CS, a w szczególności CA do badania dynamiki zmian w organizacjach.

W celu przeprowadzenia symulacji podaje się rozmiar sieci  $S$ , wielkość otoczenia, czyli  $r$ , gęstość zapelnienia sieci  $p$  oraz wielkość frakcji  $f$ .

### 3. Wyniki symulacji

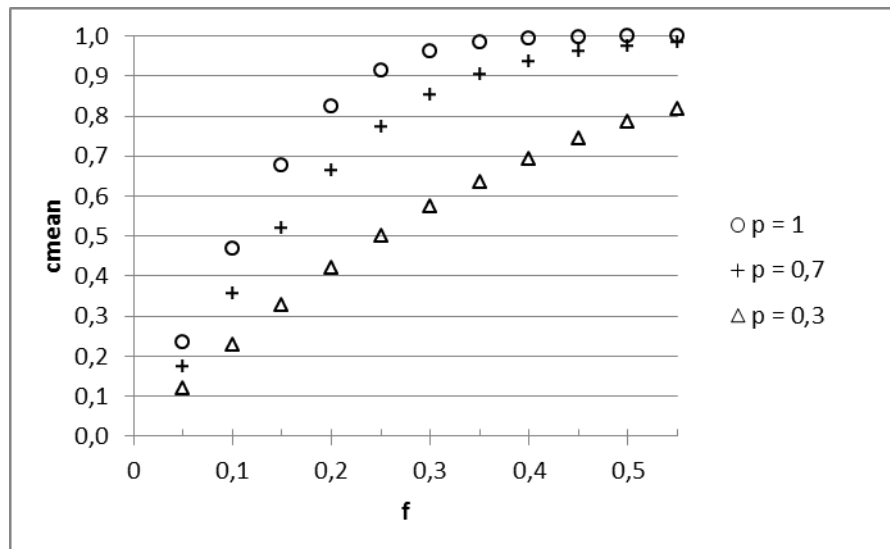
Zaproponowany w sekcji poprzedniej model poddano symulacjom mającym na celu wykorzystanie automatu komórkowego do symulowania procesu przywództwa w organizacjach. Badano dynamikę tego procesu przez analizowanie zmian preferencji organizacji w zależności od procentowego udziału liderów w organizacji/przedsiębiorstwie. Wcześniejsze symulacje [10] pokazały, że wielkość organizacji/przedsiębiorstwa nie wpływa na efektywność leadership, a większa ilość kontaktów nieformalnych (większe otoczenie) stwarza większe prawdopodobieństwo spotkania lidera zmian – stąd mniejsza liczba takich agentów wystarczy do zmiany poglądu całej organizacji.

W niniejszym artykule próbuje się zbadać jak proces zmian w organizacji, wynikający z działania liderów będzie przebiegał w sieci powiązań rzadkich i gęstych (z większą liczbą agentów). Liderzy mają za zadanie komunikowania potrzebę zmian, mobilizując i przekonując innych do poparcia proponowanych zmian. W związku z tym, przeprowadzono symulacje dla dwóch różnych promieni otoczenia ( $r = 1$  i  $r = 2$ ) i trzech gęstości zapelnienia sieci  $p = 0,3$  (sieć rzadka) i  $p = 0,7$  (sieć gęsta),  $p = 1$  (sieć zagęszczona w 100%).

W przeprowadzonych symulacjach agenci mieli do wyboru dwa odmienne poglądy/idee w organizacji (A i B). Ponadto, przyjęto, że na początku symulacji mamy agentów będących

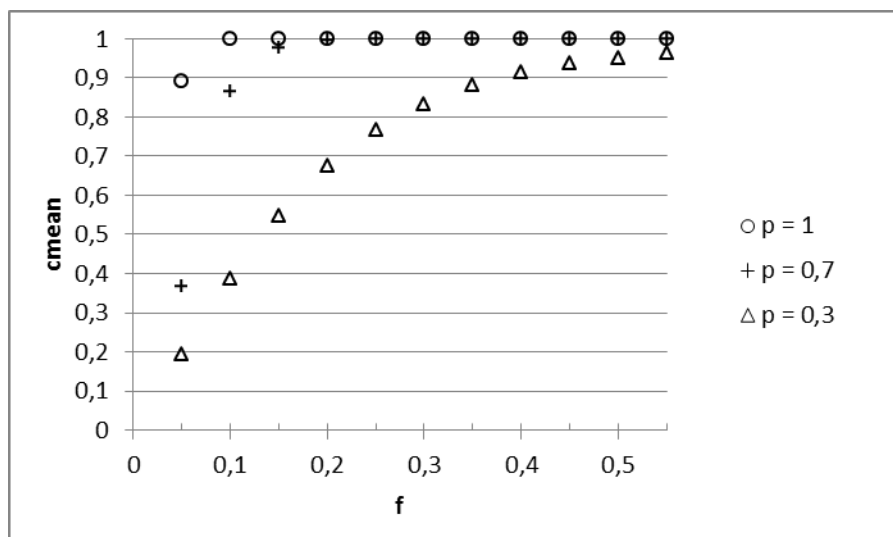
za poglądem B i liderów będących za poglądem A, przy czym liderów preferujących A jest  $c$  (czyli na początku symulacji  $f = c$ ), a agentów preferujących B jest  $1 - c$ .

Zbadano jak zmiana gęstości wypełnienia sieci (sieć rzadka i gęsta) wpływa na efektywność liderów w zależności od różnych otoczeń. Analizowano średnią liczbę za poglądem A po  $10^3$  symulacjach (symulacje Monte Carlo). Na rys. 1 i 2 pokazano dynamikę zmian preferencji w zależności od procentowego udziału liderów na początku symulacji, dla dwóch rodzajów otoczenia i trzech gęstości wypełnienia sieci. Ponieważ wielkość sieci (co pokazano w [10]) nie ma wpływu na efektywność liderów symulacje przeprowadzono dla  $L = 20$ .



Rys. 1. Zmiana  $c_{\text{mean}}$  średniej koncentracji agentów za opcją liderów w zależności od frakcji  $f$  liderów na początku symulacji, dla otoczenia 4- elementowego

Fig. 1. The change of the average concentration of agents  $c_{\text{mean}}$  for leading option, depending on the fraction  $f$  of leaders at the beginning of simulations, for 4-elements neighborhood



Rys. 2. Zmiana  $c_{\text{mean}}$  średniej koncentracji agentów za opcją liderów w zależności od frakcji  $f$  liderów na początku symulacji, dla otoczenia 12- elementowego

Fig. 2. The change of the average concentration of agents  $c_{\text{mean}}$  for leading option, depending on the fraction  $f$  of leaders at the beginning of simulations, for 12-elements neighborhood

Przedstawione rezultaty wskazują na fakt zależności zmian opinii/poglądów w organizacji jako całości od gęstości zapelnienia sieci i wielkości otoczenia, czyli od spójności organizacji. W przypadku gęstszej sieci ( $p = 1$ ,  $p = 0,7$ ) istnieje możliwość uzyskiwania pełnego przekonania do nowej idei (poglądów, kultury) przy zaangażowaniu mniejszej liczby liderów zmian niż w przypadku rzadkiej sieci. Widać tę zależność na rys. 1 i 2, gdzie największa efektywność działalności liderów jest dla sieci o gęstości  $p = 1$ , a najmniejsza dla  $p = 0,3$ . Ponadto, dynamika zmian opinii zależy również od średniej wielkości sąsiedztwa w sieci agentów reprezentujących organizację/przedsiębiorstwo. Wielkość sąsiedztwa odzwierciedla ilość kontaktów nieformalnych – a więc wielkość grup nieformalnych występujących w symulowanych procesach *w-o-m*. Otrzymane wyniki pokazują możliwość uzyskiwania pełnego przekonania do nowej idei, przy zaangażowaniu mniejszej liczby liderów zmian dla większych grup nieformalnych, czyli większego otoczenia (zob. rys 1 i 2).

#### 4. Podsumowanie

Zaproponowany model jest – jak każdy model – uproszczeniem rzeczywistości. W analizowanych eksperymentach pokazano jednak, iż wyniki uzyskiwane drogą takich uproszczeń z jednej strony potwierdzają intuicyjne przekonania, a z drugiej wyniki żmudnych badań empirycznych, przeprowadzonych w rzeczywistych organizacjach/przedsiębiorstwach. Większa ilość kontaktów nieformalnym stwarza większe prawdopodobieństwo spotkania lidera zmian – stąd mniejsza liczba takich agentów wystarczy do zmiany poglądu całej organizacji. Ponadto, potwierdzenie za pomocą modelu CA wniosków uzyskanych w pracach [6, 7] wskazuje na to, że automaty komórkowe mogą być przydatnym narzędziem do badania różnych procesów w organizacji, a w szczególności procesu przywództwa. Również postulowana rola agentów zmian w projektowaniu systemów socjotechnicznych [8] może być teoretycznie i jakościowo eksplorowana za pomocą badania zachowania odpowiednio zaprojektowanych CA z regułami opisującymi w różny sposób działania liderów zmian. Ciekawym kierunkiem badań wydaje się wprowadzenie do modelu zróżnicowania siły perswazyjnej liderów, a także „stopnia oporu” na innowacje wśród agentów.

**Bibliografia**

1. Abercrombie N., Hill S., Turner B.S.: The Penguin dictionary of sociology, Penguin Books, 1988.
2. Battilana J., Casciano T.: Change agents, networks, and institutions: a contingency theory of organizational change, *Academy of Management Journal*, Vol. 55, No. 2, 2012, s. 381-398.
3. Bogdanor V. (red.): The Blackwell Encyclopedia of Political Science, Blackwell Publishers, Oxford, Cambridge, 1993, p. 321-323.
4. Brass D.J.: Being in the right place - A structural analysis of individual influence in an organization. *Administrative Science Quarterly*, 29, 1984, p. 518-539
5. Burt R.S.: Secondhand brokerage: evidence on the importance of local structure for managers, bankers, and analysts, *Academy of Management Journal*, Vol. 50, No. 1, 2007, p. 119-148.
6. Burt R.S.. Structural holes and good ideas. *American Journal of Sociology*, 110, 2004, p. 349-399
7. Fleming L., Mingo S., Chen D.: Collaborative brokerage, generative creativity, and creative success. *Administrative Science Quarterly*, 52, 2007, p. 443-475.
8. Hendrick H.W., Kleiner B.M.: Macroergonomics. An Introduction to Work System Design. Human Factors and Ergonomics Society, 2001.
9. Kauffman S.: The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution, New York: OxfordUniversity Press, 1993.
10. Kowalska-Styczeń A.: A cellular based model as a tool of the organizational culture change analysis, [w:] (red.): Rebelo F., Soares M.: *Advances in Usability Evaluation. Part II*, wyd. CRC Press / Taylor & Francis, 2012, p. 200-210.
11. Kowalska-Styczeń A.: Symulowanie złożonych procesów ekonomicznych za pomocą automatów komórkowych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
12. 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.
13. Lichtenstein B.B., Uhl-Bien M, Marion R., Seers A., Orton J. D., Schreiber C.: Complexity leadership theory: An interactive perspective on leading in complex adaptive systems *E:CO Issue* Vol. 8, No. 4, 2006, p. 2-12.
14. Morison E.: What is hot and what is not?, *Academy of Management Journal*, Vol. 53, No. 5, 932-936, 2010.



15. Morris R., Seeman M.: The Problem of Leadership: An Inter-Disciplinary Approach, *American Journal of Sociology*, No. 56, 1959.
16. Mrówka R.: Przywództwo w organizacjach. Analiza najlepszych praktyk, Wydawnictwo Wolters Kluwer, 2010.
17. Stacey R.D.: The science of complexity: an alternative perspective for strategic change processes, *Strategic Management Journal*, Vol. 16, 1995, p. 477-495.
18. Wolfram S.: *A New Kind of Science*. Wolfram Media, Inc. 2002.
19. Wolfram S.: Statistical mechanics of cellular automata, *Rev. Mod. Phys.* 55, 1983, p. 601-644.
20. Wolfram S.: Universality and complexity in cellular automata, *Physica D* 10, 1984, p. 1-35.

### **Abstract**

The publication presents simulation model of cellular apparatus for analyzing leadership processes. Cellular automata allow to analyze the dynamics of changes in views and attitudes in social groups based on local interactions between people in small groups of friends, family members etc. Since the presence of leaders seems to be a key factor in the success of attitude change, the way of communication by the use of 'word of mouth' mechanism is a crucial tool in this sphere. Article shows, that even in an artificial model of organization, operation and effectiveness of leaders in the network will be greater in the network with a higher density and for large neighborhoods (ie, more consistent).