

Agata Wawrzyniak*

Uniwersytet Szczeciński

MODELOWANIE ZACHOWANIA AGENTÓW W WIELOAGENTOWYCH SYSTEMACH SYMULACYJNYCH STOSOWANYCH W ZARZĄDZANIU

Streszczenie

Podjęcie decyzji w złożonych systemach gospodarczych, jakimi są przedsiębiorstwa, jest zadaniem trudnym i wymagającym odpowiedniego podejścia. Najczęściej wiąże się z konstruowaniem odpowiedniego modelu, w którym można symulować działanie całego systemu z punktu widzenia wielu heterogenicznych podmiotów. W artykule przybliżono problematykę modelowania zachowania agentów w wieloagentowych systemach symulacyjnych stosowanych w zarządzaniu oraz wskazano podstawowe uwarunkowania zachowania agentów-decydentów.

Słowa kluczowe: modelowanie i symulacja wieloagentowa, system wieloagentowy, zachowanie agentów, podejmowanie decyzji

Wprowadzenie

Procesy podejmowania decyzji stanowią obecnie najważniejszy element w zarządzaniu firmą. Sukces skutecznego zarządzania opiera się, w dużej mie-

* Adres e-mail: agataw@wneiz.pl.

rze, na odpowiednio podjętych decyzjach, które umożliwiają przedsiębiorstwu osiągnięcie założonych celów. W przedsiębiorstwach decyzje podejmowane są głównie w związku z potrzebą rozwiązywania określonych problemów merytorycznych: – ekonomicznych (np. ustalenie zakładowego planu kont, wybór systemu informatycznego wspomagającego zarządzanie firmą), personalnych (np. przeprowadzenie rekrutacji kandydatów na dane stanowisko, ustalenie systemu motywacyjnego dla pracowników), handlowych (np. wybór dostawcy), technicznych (np. wybór technologii produkcji). Cechą charakterystyczną tego typu decyzji jest to, że poszukuje się wariantu, który pozwoli na rozwiązanie realnego problemu, usunięcie jakiejś trudności, braku czy poprawę niezadowalającego stanu rzeczy (Mróz-Gorgoń, 2012, s. 59–60). Jak stwierdza J. Koziński (Przybyła, 2003, s. 86), skuteczne rozwiązywanie problemu wymaga wyboru właściwego sposobu działania (eliminującego całkowicie lub częściowo negatywne skutki problemu, rzeczywiste lub potencjalne), a następnie zrealizowania tego działania (zgodnie z dokonanym wyborem).

Jedyną możliwością badania współzależności w tak złożonym systemie decyzyjnym, jakim jest przedsiębiorstwo, jest skonstruowanie odpowiedniego modelu. Model w literaturze jest definiowany jako reprezentacja badanego obiektu w postaci innej, niż ta, w której występuje on w rzeczywistości (Guttenbaum, 2003, s. 11). Analizując przedstawioną definicję można stwierdzić, że model ukazuje istotę badanego zjawiska czy systemu poprzez uproszczenie jego budowy. Modele stosuje się, gdy nie ma możliwości bezpośredniego przebadania danego zjawiska lub kiedy bezpośrednia analiza mogłaby być niebezpieczna dla człowieka (Stanek i Żytniewski, 2005, s. 127). Eksperymenty prowadzone na modelu pozwalają na ocenę skutków decyzji i zachodzących zmian szybciej, bez ponoszenia strat i bez ryzyka wywołania szkód. Prowadzenie takich samych eksperymentów w świecie rzeczywistym najczęściej nie jest możliwe, a jeśli już jest podejmowane, to może skutkować nieodwracalnymi skutkami, często nie do przewidzenia, ze względu na niepewność skutków podejmowanych decyzji gospodarczych.

Należy zauważyć, że model tylko reprezentuje system oryginalny. Stan modelu przedstawia jedynie stan oryginału. Wgląd w działanie oryginału umożliwia analiza historii stanów modelu, która jest możliwa dzięki symulacji. Symulacja to proces konstruowania historii stanów modelu, który jest uważany za odpowiednik historii stanów oryginału. Symulacja jest więc procesem, a nie przedmiotem (Kmieciak, 2013, s. 216). Zgodnie z definicją sformułowaną przez

T. Naylora symulacja to proces projektowania matematycznego i/lub logicznego modelu systemu rzeczywistego, a następnie prowadzenie na tym modelu eksperymentów komputerowych w celu opisanego, wyjaśnienia lub predykcji zachowań systemu rzeczywistego (Naylor, 1975, s. 21). Z definicji tej wynika, że badania symulacyjne wymagają zbudowania modelu matematycznego i/lub logicznego. Model symulacyjny musi umożliwiać budowę wydajnego i sprawnego programu komputerowego. Następnie, dzięki dobrze zaprojektowanej procedurze eksperymentalnej, umożliwić uzyskanie użytecznych wyników. Celem symulacji komputerowej jest przeprowadzenie dowolnie określonej przez badacza liczby eksperymentów polegających na zmianie wartości poszczególnych zmiennych, a więc eksperymentów zazwyczaj niemożliwych do przeprowadzenia w realnym świecie. Ponieważ nadrzędnym celem symulacji jest prognozowanie zachowania systemu, należy również włączyć decydentów w proces oceny uzyskanych wyników.

Zazwyczaj w rozważaniach o funkcjonowaniu jednostek w systemach ekonomicznych pojawia się pojęcie *homo oeconomicus* i pogląd o jego racjonalnym zachowaniu. W teorii doskonałej racjonalności przyjmuje się następujące założenia:

- a) decydent działa racjonalnie – na podstawie przesłanek ugruntowanych poznawczo, wykorzystuje analizy, opinie ekspertów;
- b) decydent posługuje się wyłącznie kryteriami zgodnymi z celami i zasadami funkcjonowania instytucji, jest obiektywny;
- c) decydent poszukuje rozwiązania optymalnego.

Jak łatwo zauważyć, w jednokryterialnych problemach wyboru istnieje dokładnie jeden sposób na doskonale racjonalne postępowanie. Stąd też w budowanych wcześniej modelach makroekonomicznych całe klasy podmiotów gospodarczych, takich jak gospodarstwa domowe czy przedsiębiorstwa, były zastępowane wygodnymi w modelowaniu reprezentatywnym gospodarstwem domowym lub reprezentatywną firmą (Kuszewski, Szapiro i Szufel, 2015, s. 10). Obecnie to podejście jest krytykowane. W rzeczywistości decyzje są podejmowane w przeważającej liczbie przypadków na podstawie analizy całej wiązki kryteriów, a nie pojedynczego kryterium oraz eksperymentalnie udowodniono, że podmioty gospodarujące nie zachowują się w sposób doskonale racjonalny. Co w konsekwencji podaje w wątpliwość stosowanie tradycyjnych narzędzi modelowania makroekonomicznego (Farmer i Foley, 2009, s. 686). W teorii ograniczonej racjonalności zakłada się, że:

- a) decydent nie jest w pełni racjonalny, tylko częściowo działa na podstawie ugruntowanych przesłanek, posługując się również własnymi, subiektywnymi doświadczeniami, poglądami;
- b) decydent usiłuje godzić interesy całej organizacji, jak i interesy partykularne;
- c) decydent nie poszukuje rozwiązania optymalnego, lecz zadowalającego.

Powyższe założenia wskazują na konieczność uwzględnienia w modelach:

- indywidualnych, zróżnicowanych cech jednostek,
- sytuacji decyzyjnej indywidualnie na poziomie każdego podmiotu, którego zachowanie podlega modelowaniu,
- zależności ekonomicznych, społecznych, demograficznych i innych charakteryzujących modelowane systemy.

Podjęciem, które jest na tyle elastyczne, że pozwala na uwzględnienie wcześniej przytoczonych założeń, jest symulacja wieloagentowa. Jest to metoda polegająca na modelowaniu systemu na poziomie mikro jako zbioru niezależnych elementów – agentów. W modelu wieloagentowym pojedynczy agenci są autonomiczni, ale powiązani z otoczeniem. Twórca modelu określa ich charakterystyki i wprowadza ich do wirtualnego środowiska, które działa według określonych reguł. Model taki pozwala uwzględniać zróżnicowanie jednostek, interakcje między nimi i obserwować pojawiające się efekty sieciowe. Praca z modelem wieloagentowym polega na prowadzeniu eksperymentów i badaniu dynamiki systemu. Analiza modelu wieloagentowego może być prowadzona zarówno w ujęciu mikro, mezo, jak i makro (Kuszewski, Szapiro i Szufel, 2015, s. 11). Według Farmera i Foley’a symulacja wieloagentowa jest narzędziem umożliwiającym analizę złożonych systemów gospodarczych, a w szczególności pozwala na analizę systemów przy zmianie zasad ich funkcjonowania oraz dynamiki powiązań w tych systemach (Farmer i Foley, 2009, s. 686).

Celem artykułu jest przybliżenie problematyki modelowania zachowania agentów w wieloagentowych systemach symulacyjnych stosowanych w zarządzaniu oraz omówienie podstawowych uwarunkowań zachowania agentów-decydentów.

Podejście symulacyjne w modelowaniu systemów

Przedmiotem analizy symulacyjnej jest system rozumiany zgodnie z koncepcją analizy systemowej jako celowo określony zbiór elementów i zbiór sprzężeń między nimi, które wspólnie określają cechy całości (Mynarski, 1979; Mazur, 1987, s. 21). Tym samym symulacja jest zestawem technik do analizy dynamicznego zachowania modelu systemu, a celem modelowania symulacyjnego jest eksperymentowanie z utworzonym modelem systemu. Według Gilberta i Troitzscha (Gilbert i Troitzsch, 2005, s. 17) w trakcie analizy symulacyjnej dane z modelu symulacyjnego powinny być porównywane z danymi z systemu rzeczywistego. Wynika z tego, że dane z badania empirycznego mogą zarówno posłużyć do kalibracji modelu symulacyjnego, jak i do późniejszego sprawdzenia poprawności działania tego modelu.

W badaniach, w których stosuje się symulację komputerową, za punkt wyjścia brany jest analizowany system. W odniesieniu do systemu przeprowadzane są obserwacje zmian jego stanu. Na podstawie wiedzy o systemie i zebranych o nim informacji budowany jest model. W testowych symulacjach wykonywanych na modelu generowane są stany modelu, które są porównywane ze stanami systemu rzeczywistego. Gdy podobieństwo między analizowanym systemem a modelem osiąga oczekiwany przez osobę modelującą stopień, model symulacyjny jest gotowy do eksperymentów symulacyjnych. Eksperymenty te wykraczają swoimi założeniami poza obserwowane w rzeczywistości stany systemu. Badacze przyjmują, że jeżeli model podczas testowania zachowywał się podobnie jak system rzeczywisty, to i dla innych założonych stanów zachowa się podobnie jak by zachował się w rzeczywistości. Z tego założenia wynika możliwość wnioskowania o zmianach systemu na podstawie obserwowanych zmian w modelu symulacyjnym.

W literaturze przedmiotu analiza modelu symulacyjnego jest usystematyzowana. Opis etapów pracy z modelem symulacyjnym nosi nazwę procedury symulacyjnej. Gilbert i Troitzsch dzielą proces symulacji na następujące etapy:

- określenie zakresu modelowanego systemu,
- obserwacja modelowanego systemu w celu określenia parametrów początkowych,
- poczynienie założeń i konstrukcja modelu,
- weryfikacja modelu (sprawdzenie, czy model działa zgodnie z założeniami),

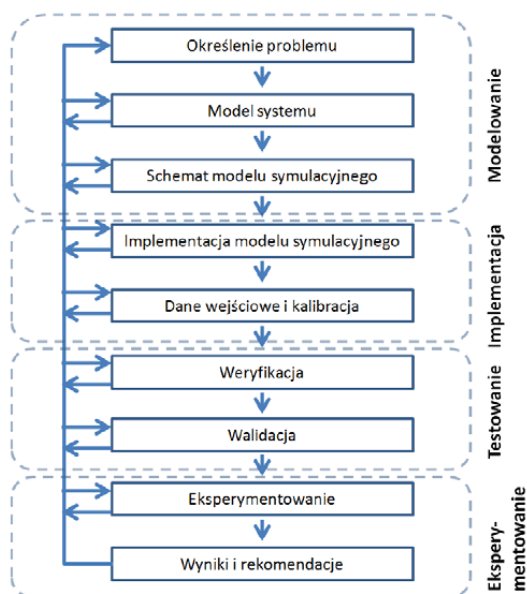
- walidacja modelu (sprawdzenie, że model zachowuje się podobnie do rzeczywistego systemu),
- analiza wrażliwości (sprawdzenie wpływu zmian parametrów początkowych na zachowanie modelu),
- publikacja wyników symulacji (Gilbert i Troitzsch, 2005, 18–26).

Podobne podejście do procedury symulacyjnej proponują także polscy autorzy (Kuszewski, Szapiro i Szufel, 2015, s. 9–10), którzy wyróżniają w niej cztery podstawowe etapy:

1. Modelowanie, które obejmuje określenie problemu, stworzenie modelu systemu oraz stworzenie schematu oprogramowania modelu symulacyjnego.
2. Implementację, która obejmuje stworzenie kodu źródłowego oraz kalibrację modelu na podstawie dostępnych danych.
3. Testowanie, które obejmuje sprawdzenie, czy model działa zgodnie z założeniami poczynionymi wcześniej (weryfikacja) oraz sprawdzenie, czy model systemu zachowuje się podobnie do systemu rzeczywistego (walidacja).
4. Eksperymentowanie, które obejmuje zebranie wyników i ich analizę (rys. 1).

Symulacja wieloagentowa – podstawowe założenia

Analiza symulacyjna systemu zarządzania powinna uwzględniać złożoność tego systemu, a w szczególności zróżnicowanie indywidualnych cech podmiotów w tym systemie oraz wpływ tego zróżnicowania na podejmowane przez nie decyzje. Ponadto model powinien uwzględniać wpływ decyzji jednych podmiotów na sytuację decyzyjną innych. Metodą analizy, która spełnia te wymagania jest symulacja wieloagentowa (ang. agent-based modelling and simulation – ABMS). Badacze M.J. North i Ch.M. Macal definiują symulację wieloagentową jako sposób modelowania złożonych systemów, składających się z niezależnych agentów (North i Macal, 2007, s. 11). Opiera się ona na symulowaniu działań pojedynczych agentów ekonomicznych, którzy kierują się określonymi regułami decyzyjnymi, wchodzą w interakcje między sobą i wpływają na zachowania innych agentów.



Rys. 1. Procedura symulacyjna

Źródło: (Kuszewski, Szapiro i Szufel, 2015, s. 10).

W modelu wieloagentowym agentami mogą być zbiory danych lub reguł decyzyjnych reprezentujących zachowania:

- jednostek (konsumenci, gospodarstwa domowe, producenci, usługodawcy),
- grup społecznych (rodziny, przedsiębiorstwa, społeczności lokalne, społeczności internetowe),
- instytucji (rynki, systemy kontroli i regulacji, organy administracji samorządowej i centralnej),
- jednostek biologicznych (rośliny, zwierzęta, uprawy, hodowle),
- jednostek fizycznych (regiony geograficzne, infrastruktura techniczna).

Agenci w modelach opartych na agentach mogą reprezentować bardzo odmienne obiekty – pojazdy, elementy wyposażenia, projekty, produkty, pomysły, organizacje, inwestycje, grunty, ludzi w różnych rolach, a decyzja, jacy agenci będą tworzyć system nie jest zadaniem trywialnym (Borshchev, 2013, s. 57–58). Agentami mogą być pojedyncze jednostki, ale można również definiować jako agentów podmioty złożone. Możliwe są struktury hierarchiczne, w których pojedynczy

agent, należący do pewnej klasy, może składać się z wielu agentów należących do innej klasy. W zależności od potrzeb agentem może być również zasób przyrodniczy albo fizyczny. Z informatycznego punktu widzenia agent jest zbiorem danych i reguł opisujących jego zachowania w różnych sytuacjach. Agenci mogą być autonomiczni albo ze sobą powiązani. Agenci w takich modelach znajdują się w bezpośrednich lub pośrednich relacjach między sobą tworząc struktury wieloagentowe. Agenci mogą być zróżnicowani pod względem ich interakcji z otoczeniem – od aktywnych, podejmujących samodzielne decyzje i uczących się, wpływających na warunki środowiska, w którym działają, do biernych składników otoczenia bez funkcji poznawczych jednostek (Kopczewski, 2012, s. 25).

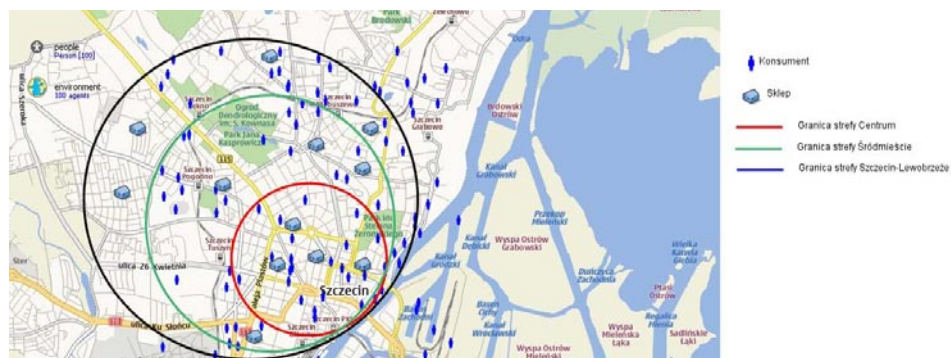
Decyzja o rodzajach agentów, ich liczebności oraz rodzajach powiązań między elementami systemu należy do twórcy modelu. Osoba modelująca określa jego stan początkowy – agentów, relacje między nimi oraz rodzaje interakcji, w jakie mogą wchodzić. Po uruchomieniu symulacji można śledzić zmiany tego systemu w czasie. Powtórzenie symulacji przy modyfikacji początkowych parametrów agentów pozwala na wyodrębnienie czynników, które mają największy wpływ na analizowany system.

Z przytoczonych cech modelowania i symulacji agentowej wynika, że jest to bardzo elastyczna metoda i model tworzony w tej konwencji można dopasować do praktycznie każdego problemu badawczego. Nauki społeczne, w tym ekonomia i zarządzanie, w coraz szerszym zakresie stosują w praktyce metody eksperymentalne. Modele zachowań konsumentów, producentów czy rynków mogą być testowane i modyfikowane na podstawie wyników eksperymentów. Niestety podstawowym problemem eksperymentalnego podejścia jest ich skala. Trudno sobie wyobrazić eksperymenty dokonywane na funkcjonujących przedsiębiorstwach lub całych gospodarkach. Modele wieloagentowe, oprócz stopnia skomplikowania, nie mają tych ograniczeń. (Kopczewski, 2012, s. 28–29).

Zasadność podejścia do modelowania systemów ekonomicznych jako całości składającej się z wielu agentów, pomiędzy którymi zachodzą różnego rodzaju relacje, znajduje potwierdzenie także w teorii. Wielu zauważa, że zachowania jednostek w skali mikro mają wpływ na kształt gospodarki widziany w skali makro (Schelling, 1978). Tym samym jest możliwe modelowanie gospodarki w skali mikro (na poziomie agentów ich zachowań), a następnie analiza stanu modelu reprezentującego gospodarkę w skali makro. Modelowanie i symulację wieloagentową stosuje się obecnie w badaniach dynamiki rynku, zarządzania,

relacji klient-instytucja, badaniach złożonych systemów społeczno-ekonomicznych (Kmieciak 2013, s. 218).

W ostatnich kilku latach nastąpił znaczący rozwój oprogramowania do modelowania i symulacji wieloagentowej. Pakiety symulacyjne stały się bardziej kompleksowe i uniwersalne. Obecnie na rynku są dostępne różne programy symulacyjne od najprostszych stworzonych na bazie matematycznych modeli (NetLogo, Repast) do najbardziej rozbudowanych, z aparatem stochastycznym umożliwiającym np. dopasowywanie danych wejściowych do właściwego rozkładu, ze środowiskiem do tworzenia animacji, grafiki 3D, bogatymi narzędziami do prezentacji danych wyjściowych z symulacji (AnyLogic). Takie graficzne przedstawienie analizowanego zjawiska wspomaga procesy poznawcze i ułatwia prawidłowe zrozumienie przez decydentów zależności występujących w analizowanych systemach (rys. 2)



Rys. 2. Przykład zastosowania modelu wieloagentowego w symulacji (model opracowany w systemie AnyLogic ver. 6.9)

Źródło: opracowanie własne.

Pojęcie agenta i jego właściwości

Pojęcie agenta w literaturze nie jest jednoznaczne, a definicje różnią się w zależności od przeznaczenia danego modelu. Woolridge i Jennings wskazują na dwa znaczenia tego terminu. Pierwsze nazywają słabym, jest ich zdaniem niekontrowersyjne, zwłaszcza w środowisku informatyków. W tym znaczeniu agent

to system komputerowy charakteryzujący się następującymi cechami (Woolridge i Jennings, 1995, s. 116–117):

- a) autonomia – agenci działają bez bezpośredniej interwencji ludzi lub innych obiektów, wykazują pewną kontrolę nad swoim zachowaniem i stanem wewnętrznym;
- b) umiejętności socjalne – agenci nawiązują kontakty z innymi agentami (a także z ludźmi) poprzez język komunikacji międzyagentowej;
- c) reaktywność – agenci postrzegają swoje środowisko (którym może być świat fizyczny, użytkownik przez graficzny interfejs użytkownika, zbiór innych agentów, Internet, albo wszystkie one łącznie) i reagują w porę na zmiany, które w nim następują;
- d) proaktywność – agenci nie tylko działają w odpowiedzi na zmiany w ich środowisku, ale mogą oni wykazywać zachowanie ukierunkowane na cele poprzez przejmowanie inicjatywy.

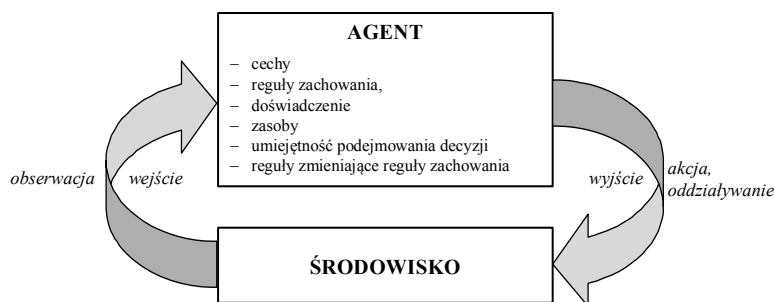
Mocne znaczenie określenia agent może budzić, zdaniem Woolridge’a i Jenningsa, więcej wątpliwości i jest bardziej popularne wśród badaczy zajmujących się problemami sztucznej inteligencji. Rozszerzają oni listę cech agenta o cechy częściej odnoszące się do ludzi, takie jak wiedza, przekonania, intencje, racjonalność, a nawet emocje. W takim też (mocnym) znaczeniu rozumie się pojęcie agenta w wieloagentowych modelach symulacyjnych.

Z kolei Macal i North zauważają, że agentowi należy przypisać następujący zestaw cech (Macal i North, 2010, s. 153):

- a) identyfikowalność – agent jest identyfikowalną jednostką z zestawem cech oraz reguł określających jego zachowanie oraz możliwości podejmowania decyzji;
- b) heterogeniczność – cechy i zachowania poszczególnych agentów mogą różnić się między sobą;
- c) podporządkowanie realizacji celu – decyzje agenta mogą być podporządkowane realizacji wcześniej ustalonych celów;
- d) niezależność – agent jest niezależny i sam kieruje swoimi poczynaniami w ramach środowiska, w którym się znajduje;
- e) adaptacyjność – agent ma umiejętności dostosowania się do zmian w otoczeniu, wykorzystując swoje wcześniejsze doświadczenia i obserwacje.

Ponadto należy zauważyć, że agent jest umieszczony wewnątrz środowiska i obserwuje jego stan oraz generuje akcje wpływające na to środowisko

(rys. 3). W środowisku tym prowadzi także interakcje z innymi agentami oraz może reagować na zmiany tego środowiska. Agent zapamiętuje reakcje środowiska na jego zachowania i dostosowuje do nich swoje przyszłe reguły decyzyjne. Agent może być wyposażony w reguły określające zasady zmian reguł jego postępowania. Stąd z kolei wynika, że w modelowaniu wieloagentowych systemów ekonomicznych można zrezygnować z założenia o doskonałej racjonalności podmiotów gospodarujących na rzecz racjonalności ograniczonej (Kuszeński, Szapiro i Szufel, 2015, s. 19).



Rys. 3. Agent i jego środowisko

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Macal i North, 2006, s. 74; Wooldridge, 2009, s. 16).

Dokonując przeglądu literatury można stwierdzić, że cechą wspólną większości definicji agenta jest to, że ich autorzy wymieniają najczęściej kilka stałych cech agentów – zostały one ujęte w tabeli 1.

Tabela 1

Cechy agentów w wieloagentowych modelach symulacyjnych

Cecha	Charakterystyka
1	2
Autonomia	zdolność agentów do działania bez interwencji człowieka czy innych systemów, wówczas agenci mają kontrolę nad swoim wewnętrznym stanem i swoim zachowaniem
Heterogeniczność	agenci różnią się od siebie atrybutami, np. agenci reprezentujący ludzi mogą mieć atrybuty takie, jak wiek, płeć, zawód itd.; mogą istnieć grupy agentów, ale są to połączenia podobnych jednostek, a nie zbiór identycznych bytów
Adaptacyjność	umiejętność dostosowania się do zmian w otoczeniu

1	2
Ograniczona racjonalność	agenci mogą wykorzystywać cały lub częściowy dostępny zasób wiedzy w procesie decyzyjnym, mogą być zaprojektowani w taki sposób, że ich racjonalność zostanie ograniczona w celu zwiększenia wiarygodności procesu decyzyjnego
Reaktywność	agenci utrzymują ciągłą interakcję ze swoim środowiskiem i reagują na zmiany w nim zachodzące
Proaktywność	agenci nie ograniczając się do reakcji na zmiany środowisku sami podejmują celowe działania
Inteakcyjność	agenci komunikują się i wchodzą w interakcje z innymi agentami
Uczenie się	agenci posiadają możliwość uczenia się i zdobywania doświadczenia, wykorzystują metody przechowywania wiedzy i wnioskowania (systemy regułowe, sieci neuronowe, logika rozmyta), dzięki czemu uczą się, podejmują decyzje

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Woolridge i Jennings, 1995, s. 116–117; Pańkowska i Żytniewski, 2007, s. 79–81; cyt. za: Maciąg, Pietroń i Kukła, 2013, s. 311–312; Macal i North, 2010, s. 153; Dzieszko, Bartkowiak i Gielda-Pinas, 2013, s. 19).

W swojej pracy M. Abdou i in. wyróżniają cztery podstawowe własności agentów, które zawierają w sobie wcześniej wymienione cechy (Abdou, Hamill i Gilbert, 2012):

- percepcja – umiejętność postrzegania cech środowiska, w którym dany agent się znajduje oraz dostrzegania sąsiedztwa innych agentów,
- wykonywanie działań – umiejętność poruszania się, komunikowania z innym agentami oraz interakcja ze środowiskiem,
- pamięć – umiejętność zapamiętywania swoich poprzednich stanów i działań,
- polityka – ustalone reguły zachowania, podejmowania decyzji i realizacji strategii.

Z kolei R.L. Axtell zauważa, że w implementacji informatycznej wieloagentowego modelu systemu agenci są reprezentowani jako obiekty. Z punktu widzenia programowania obiektowego agenci są abstrakcyjnymi obiektami, którym przypisane są określone stany przez wybrane cechy (opisane za pomocą danych) oraz metody (reguły przetwarzania tych danych) pozwalające na podejmowanie decyzji (Axtell, 2000, s. 2). Dlatego też na początku symulacji dla każdego agenta należy określić zestaw stanów oraz zasady zachowania się. Zarówno stany jak i zachowania się mogą być prywatne lub publiczne. Prywatne stany to stany dostępne tylko danemu agentowi, stany publiczne to stany dostępne dla całego środowiska w tym innych agentów. Podobnie zachowania publiczne dotyczą innych agentów (dokonanie zakupu), a zachowania prywatne dotyczą wyłącz-

nie agenta (ocena użyteczności jakiegoś produktu) (Kuszeński, Szapiro i Szufel, 2015, s. 20).

Zachowanie agentów i jego uwarunkowania

Pomimo że agenci mogą, jak wspomniano w poprzednim punkcie, reprezentować zarówno ludzi, jak i obiekty nieożywione, w modelowaniu i symulacji wieloagentowej kładzie się duży nacisk na modelowanie zachowań ludzkich (tabela 2). Jest to trudne zadanie, ponieważ występujący w modelu autonomiczni agenci muszą być heterogeniczni, a jednocześnie w pewnych sytuacjach ich sposób zachowania powinien być podobny. Niezależnie od tego czy agentami są

Tabela 2

Przykładowe cechy i zachowania agentów

	Cechy	Zachowania
Konsument	<ul style="list-style-type: none"> – wiek – płeć – wykształcenie – dochód – preferencje dotyczące towarów – preferencje dotyczące usług – historia zakupów 	<ul style="list-style-type: none"> – użytkowanie produktów – korzystanie z usług – zakupy – inne aktywności (nie odnoszące się bezpośrednio do produktu)
Przedsiębiorstwo	<ul style="list-style-type: none"> – zasoby – czas potrzebny na podjęcie decyzji – planowany zysk – docelowa wielkość sprzedaży – planowany udział w rynku – tolerancja ryzyka 	<ul style="list-style-type: none"> – reakcja na nieoczekiwane zdarzenia – codzienne działania – cotygodniowe działania – comiesięczne działania – planowanie roczne

Źródło: opracowanie własne na podstawie (North i Macal, 2007, s. 25–26).

pojedyncze osoby czy grupy osób, różnią się oni zestawami cech, począwszy od wieku, wykształcenia, na poziomie emocjonalności skończywszy. W omawianym w artykule podejściu zachowanie agentów najczęściej jest rozumiane jako podejmowanie decyzji. I tutaj pojawia się kolejna trudność. To, co kieruje danym człowiekiem, gdy podejmuje określone decyzje nie zawsze można zdefiniować w sposób prosty i jednoznaczny. Zazwyczaj przyjmuje się, że ludzie podejmują decyzje na podstawie analizy środowiska, stanu, w którym się znajdują

oraz poprzednich zdarzeń, a decyzje te są racjonalne. Należy jednak pamiętać, że ludzie nie zawsze zachowują się racjonalnie. Oddziałują na nich przeżywane emocje, a oni sami często postępują intuicyjnie lub nieświadomie. W związku z tym, projektując model wieloagentowy, należy brać pod uwagę tę możliwą nieracjonalność postępowania i wpływ emocji na agentów-decydentów.

W modelu wieloagentowym każdy agent może być niezależną, samodzielną jednostką, która podejmuje określone działania w zależności od występujących cech środowiska, w którym funkcjonuje. Agenci dzielą się pod tym względem na aktywnych i biernych. Aktywni agenci zmierzają do realizacji zdefiniowanych celów, bierni z kolei oddziałują ze środowiskiem lub innymi agentami. Same działania agentów (aktywnych i biernych) mogą być zarówno synchroniczne, jak i asynchroniczne. Zachowania agentów często są zdefiniowane jako zwykłe dążenie do celu lub maksymalizacja korzyści działania.

W modelu wieloagentowym występuje określona, skończona liczba autonomicznych agentów posiadający własne cechy, stany i sposoby zachowania. Model taki można przedstawić jako:

$$A = \{ \langle a^A, a^S, a^C, a^{RI}, a^{RA} \rangle \in A^A \cdot A^S \cdot A^C \cdot A^R \} \quad (1)$$

gdzie:

- A – zbiór agentów,
- a^A – wektor cech agenta,
- a^S – wektor określający stan agenta,
- a^C – lista celów do osiągnięcia przez agenta,
- a^{RI} – zbiór reguł definiujący indywidualne zachowanie agenta,
- a^{RA} – zbiór reguł definiujący aktualne zachowanie agenta,
- A^A – zbiór możliwych cech agenta,
- A^S – zbiór możliwych stanów agenta,
- A^C – zbiór możliwych celów agenta,
- A^R – zbiór możliwych reguł zachowania agenta.

W modelu agentowym zachowanie jednostek można odwzorować przy wykorzystaniu systemu regułowego (utworzonego dzięki zastosowaniu teorii zbiorów przybliżonych) i założeniach – każdy agent wykorzystuje zbiór reguł w celu pojmowania decyzji i wykonywania odpowiednich działań, zbiór reguł zmienia się pod wpływem określonych czynników (oddziaływanie otoczenia, komunikacja z innymi agentami, nabywanie doświadczenia), każda z reguł

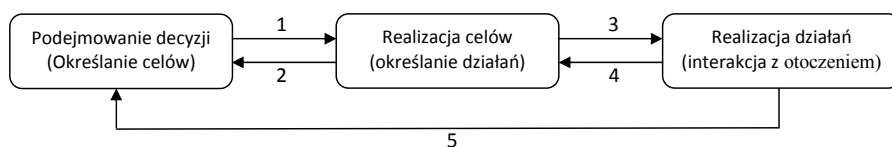
powinna mieć określony priorytet. Model zachowania jednostki można przedstawić następująco:

$$A^J = \langle 0, A^R, A^{WR}, A^A, A^S, A^C, A^D, A^{Act}, F^{RA}, F^D, F^C, F^{Act} \rangle \quad (2)$$

gdzie:

- A^J – zachowanie jednostki (pojedynczego agenta),
- 0 – otoczenie agenta,
- A^R – zbiór możliwych reguł zachowania agenta,
- $A^{WR} \subseteq A^R$ – zbiór reguł zachowania dla wszystkich agentów,
- A^A – zbiór możliwych cech agenta,
- A^S – zbiór możliwych stanów agenta,
- A^C – zbiór możliwych celów agenta,
- A^D – zbiór możliwych decyzji agenta,
- A^{Act} – zbiór możliwych działań agenta,
- F^{RA} – funkcja określająca aktualny zbiór reguł zachowania agenta,
- F^D – funkcja określająca decyzję podejmowaną przez agenta,
- F^C – funkcja określająca cele do realizacji przez agenta,
- F^{Act} – funkcja określająca działanie agenta.

Proces określania zachowania jednostki (agenta) można podzielić na dwie części. W pierwszej jednostka analizuje stan otoczenia i określa cel jaki chce osiągnąć. W drugiej określone jest rzeczywiste działanie jednostki. Podstawowe fazy składające się na zachowanie agenta przedstawiono na rys. 7.



Rys. 4. Diagram zachowania agenta

Źródło: (Kapałka 2011, s. 87).

Podsumowując, agentów charakteryzują zachowania, które wiążą informacje zebrane przez agenta z jego decyzjami i działaniami. Agent gromadzi dane poprzez interakcje z innymi agentami i ze środowiskiem. Zachowanie agenta

może być określone w dowolny, wybrany przez modelującego, począwszy od stworzenia prostych reguł (opartych na formule „co, jeśli”) aż po zbiory reguł decyzyjnych zidentyfikowanych dzięki zastosowaniu zaawansowanych metod sztucznej inteligencji, takich jak sieci neuronowe, teoria zbiorów przybliżonych albo algorytmy genetyczne. Obecnie modele wieloagentowe często mają w kodzie źródłowym skomplikowaną strukturę zachowań i czynności agentów skonstruowaną w taki sposób, by jak najlepiej naśladować ludzkie zachowania.

Podsumowanie

Przedstawione cechy symulacji wieloagentowej wskazują na przydatność tego rodzaju modelowania w zarządzaniu. Podejście wieloagentowe umożliwia uwzględnienie heterogeniczności podmiotów w systemach zarządzania, dynamiki samego systemu oraz pozwala na dowolne modelowanie procesu decyzyjnego agentów, a w szczególności uwzględnienie współzależności decyzji w systemie zarządzania. Symulacja wykorzystuje oprogramowanie komputerowe do modelowania rzeczywistych działań i procesów oraz umożliwia eksperymentowanie w sytuacji, gdy nie ma możliwości bezpośredniego przebadania danego systemu gospodarczego lub kiedy bezpośrednia analiza mogłaby być zbyt kosztowna lub zbyt czasochłonna. Może być również wykorzystana jako metoda analizy złożonych relacji między poszczególnymi elementami systemu. Symulacja może także ujawniać wyniki interakcji wielu elementów, zwłaszcza, gdy podlegają one zmianie w czasie. Takie problemy występują w przypadku badań zachowania decydentów, które są kształtowane pod wpływem otoczenia, ze szczególnym uwzględnieniem wpływów interpersonalnych. Ponadto ich preferencje zmieniają się w czasie.

Należy też wziąć pod uwagę pewne ograniczenia tej metody. W oparciu o osiągnięcia psychologii eksperymentalnej i wyniki badań prezentowane w literaturze można stwierdzić, że nie zawsze ludzie postępują racjonalnie w sytuacjach decyzyjnych, im bardziej skomplikowana jest sytuacja (liczba możliwych alternatyw, kryteriów oceny), tym trudniejsze do przewidzenia są wybory. W modelowaniu wieloagentowym nie należy zakładać, że opis strategii działania agenta można przewidzieć z góry i model będzie wiernie odzwierciedlał rzeczywisty system. Symulacja wieloagentowa będzie efektywna tylko wówczas, gdy agent podejmuje stosunkowo proste decyzje a jego strategia będzie modelowana

w oparciu o dane empiryczne pochodzące z rzeczywistego systemu. W modelach wieloagentowych agentów należy różnicować nie tylko według kryteriów jakimi kierują się podejmując decyzje, ale także według stopnia racjonalności i powtarzalności ich zachowań.

Z problemem racjonalności podejmowanych decyzji gospodarczych związane są kierunki dalszych badań autorki artykułu. Celem badań będzie określenie ogólnych zasad modelowania zachowań decydentów na potrzeby budowy modeli wieloagentowych, Do realizacji tego celu zastosowana zostanie metoda AHP, która pozwala ona sprowadzić złożony problem decyzyjny do skończonego zbioru kilku wariantów decyzyjnych, wykorzystując zarówno dane ilościowe, jak i jakościowe. Metoda ta została wybrana również z powodu jej ugruntowanych podstaw teoretycznych oraz licznych potwierdzeń stosowalności w praktyce.

Bibliografia

- Abdou M., Hamill L., Gilbert N. (2012), *Designing and building an Agent-Based Model*, w: *Agent-Based Models of Geographical Systems*, red. A.J. Heppenstall, A.T. Crooks, L.M. See, M. Batty, Springer, s. 141–165.
- Axtell R. (2000), *Why agents? On the varied motivations for agent computing in the social sciences*, Center on Social and Economic Dynamics, Working Paper no. 17, www.brookings.edu/es/dynamics/papers/agents/agents.pdf (29.01.2015).
- Borshchev A. (2013), *The big book of simulation modeling. Multimethod modeling with AnyLogic 6*, AnyLogic North America.
- Dzieszko P., Bartkowiak K., Giełda-Pinas K. (2013), *Agenci w modelowaniu agentowym (ABM)*, „Roczniki Geomatyki”, t. 11, z. 4 (61), s. 17–23.
- Farmer J.D., Foley D. (2009), *The economy needs agent-based modeling*, „Nature”, no. 460 (7256), s. 685–686.
- Gilbert N., Troitzsch K.G. (2005), *Simulation for the social scientist*, McGraw-Hill International.
- Gutenbaum J. (2003), *Modelowanie matematyczne systemów*, Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit, Warszawa.
- Kapałka M. (2011), *Symulacja zachowania tłumu w dynamicznym otoczeniu*, „Symulacja w Badaniach i Rozwoju”, vol. 2, nr 2, s. 83–92.
- Kmieciak A. (2013), *Filozoficzne aspekty komputerowych badań symulacyjnych w naukach społecznych*, „Filo–Sofija”, nr 20, s. 213–225.

- Kopczewski T. (2012), *Ekonomia złożoności. Zastosowanie modelowania Agent-based Computational Economics w nauczaniu zdalnym*, w: *E-learning – narzędzia i praktyka*, red. M. Dąbrowski, M. Zając, Fundacja Promocji i Akredytacji Kierunków Ekonomicznych, Warszawa, s. 22–30.
- Kuszeński T., Szapiro T., Szufel P. (2015), *Modelowanie wieloagentowe w badaniach decyzji edukacyjnych*, Analizy IBE, Warszawa.
- Macal Ch.M., North M.J. (2010), *Tutorial on Agent-Based Modeling and Simulation*, „Journal of Simulation”, no. 4, s. 151–162.
- Maciąg A., Pietron R., Kukla S. (2013), *Prognozowanie i symulacja w przedsiębiorstwie*, PWE, Warszawa.
- Mazur M. (1987), *Pojęcie systemu i rygory jego stosowania*, „Postępy Cybernetyki”, nr 2 (10), s. 21–29, www.autonom.edu.pl/publikacje/mazur_marian/pojecie_systemu_i_rygory_jego_stosowania.php (29.01.2015).
- Mról-Gorgoń B. (2012), *Procesy decyzyjne na przykładzie relacji franczyzowych*, „Ekonomia Economics”, nr 2 (19), s. 58–69.
- Mynarski S. (1979), *Elementy teorii systemów i cybernetyki*, PWN, Warszawa.
- Naylor T. (1975), *Modelowanie cyfrowe systemów ekonomicznych*, PWN, Warszawa.
- North M.J., Macal Ch.M. (2007), *Managing Business Complexity. Discovering Strategic Solutions with Agent-Based Modeling and Simulation*, Oxford University Press.
- Pańkowska M., Żytniewski M. (2007), *Metodyczne aspekty budowy agentów interfejsu*, w: *Modele hybrydowe w podejmowaniu finansowych decyzji gospodarczych*, red. S. Stanek, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice, s. 79–81.
- Przybyła M. (red.) (2003), *Organizacja i zarządzanie. Podstawy wiedzy menadżerskiej*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław.
- Salgado M., Gilbert N. (2013), *Agent Based Modelling*, w: *Handbook of Quantitative Methods for Educational Research*, red. T. Teo, Sense Publishers, s. 247–265.
- Schelling T. (1978), *Micromotives and macrobehaviour*, W.W. Norton & Company, New York.
- Stanek S., Żytniewski M. (2005), *Symulacja z wykorzystaniem modeli hybrydowych*, „Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej w Katowicach”, s. 126–133.
- Wooldridge M. (2009), *An Introduction to MultiAgent Systems – Second Edition*, Wiley & Sons, www.csc.liv.ac.uk/~mjw/pubs/imas, (29.01.2015).
- Wooldridge M., Jennings N.R. (1995), *Intelligent agents: theory and practice*, „The Knowledge Engineering Review”, vol. 10, s. 115–152.

**AGENT BEHAVIOUR MODELLING
IN MULTI-AGENT SIMULATION SYSTEMS APPLIED IN MANAGEMENT**

Summary

The decision making in complex economic systems, such as enterprises, is a difficult task and requires a proper approach. Most often it is connected with constructing of the proper model, where is possible to simulate the entire system operation from the heterogeneous entities point of view. The aim of the article is to introduce the issue of agent behaviour modelling in multi-agent simulation systems used in the management and indicate main determinants of agent (decision-maker) behaviour.

Translated by Agata Wawrzyniak

Keywords: agent based modelling and simulation (ABMS), multi-agent system, agent behaviour, decision making

