

Jacek JAKIEŁA, Paweł LITWIN, Marcin OLECH
Politechnika Rzeszowska, Zakład Informatyki

PROTOTYP PLATFORMY SYMULACJI WIELOAGENTOWEJ ROZSZERZONYCH PRZEDSIĘBIORSTW

Streszczenie. Celem prac, których częściowe rezultaty przedstawiono w niniejszym artykule, jest przygotowanie projektu oraz implementacja platformy dla wieloagentowych eksperymentów symulacyjnych. Opracowane rozwiązanie pozwala na sprawną organizację eksperymentu oraz przeprowadzenie symulacji, której celem są analiza i ulepszenie istniejących lub znajdujących się na etapie projektowania rozszerzonych przedsiębiorstw. Załączone studium przypadku prezentuje eksperyment symulacyjny, ilustrujący wpływ „efektu byczego bicia” na procesy realizowane w ramach łańcucha dostaw.

Słowa kluczowe: modelowanie i symulacja wieloagentowa, modelowanie rozszerzonych przedsiębiorstw, komputerowo wspomagane zarządzanie łańcuchem dostaw.

THE PROTOTYPE OF MULTIAGENT PLATFORM FOR EXTENDED ENTERPRISES SIMULATIONS

Summary. The aim of the research, which partial results are presented in this paper is to design and develop agent-oriented platform for conducting simulation experiments. Proposed solution enables to effectively organize the experiment as well as run the simulation. The analysis of simulation's results may be used as a basis for improving existing or designing brand new extended enterprises. Enclosed case study shows how the bullwhip “effect influences supply” chain processes.

Keywords: multiagent simulation and modeling, modeling extended enterprises, computer aided supply chain management.

1. Wprowadzenie

Koszty koordynacji mają istotny wpływ na kształtowanie struktury organizacyjnej przedsiębiorstwa i jego powiązań z partnerami biznesowymi [1]. Rosnące możliwości interakcji

w ramach łańcucha wartości, z jednoczesnym spadkiem kosztów współpracy, spowodowane upowszechnianiem gospodarki cyfrowej oraz systemów e-biznesu, doprowadziły do powstania zupełnie nowych, często bardzo złożonych architektur biznesowych [2]. Dzisiaj łatwiej i taniej jest współpracować z firmami partnerskimi niż z wydziałami wewnątrz organizacji [3]. Czynniki te intensyfikują zainteresowanie outsourcingiem i powstawanie struktur rozszerzonych przedsiębiorstw, które stanowią najbardziej zaawansowaną formę łańcucha dostaw. Celem tworzenia struktury tego typu jest maksymalizacja efektywności działania całego rozszerzonego przedsiębiorstwa, przy jednoczesnej optymalizacji wartości dodawanej do produktu lub usługi w każdym z jego ogniw.

Zarządzanie rozszerzonym przedsiębiorstwem wymaga dogłębnego zrozumienia sposobu jego działania, w tym wpływu zmian charakterystyk operacyjnych na zachowanie podmiotów wchodzących w jego skład, oraz organizacji jako całości. Zazwyczaj konieczna jest budowa modelu rozszerzonego przedsiębiorstwa i analiza jego zachowania z wykorzystaniem odpowiednich metod i technik. W przypadku analizy dynamicznej struktury o tak dużym stopniu złożoności jak rozszerzone przedsiębiorstwo, może się okazać, że jedynym rozwiązaniem jest symulacja komputerowa, umożliwiająca zrozumienie sposobu funkcjonowania organizacji na podstawie eksperymentów na jej modelu. Przykład takiego podejścia został zaprezentowany w niniejszym artykule z wykorzystaniem opracowanego studium przypadku, pokazującego „efekt byczego bicia” (ang. *Bullwhip Effect*). Polega on na wzmocnionym przenoszeniu zmian popytu w łańcuchu dostaw, co powoduje, że stosunkowo niewielkie odchylenia popytu zgłaszanego przez finalnych klientów rosną w miarę przekazywania informacji w górę łańcucha do producenta i dostawców.

W ostatnich latach coraz większe zainteresowanie zyskuje symulacja wieloagentowa, której zalety, w odniesieniu do modelowania złożonych i często emergentnych struktur, zostały opisane w wielu publikacjach [4, 5, 6, 7, 8]. Wykorzystanie agentów w modelach symulacyjnych opiera się na założeniu odwzorowania przez społeczność autonomicznych jednostek, zachowania grupy rzeczywistych obiektów (ludzi, działów organizacji, organizacji, rozszerzonych przedsiębiorstw). Paradygmat agentowy daje możliwość modelowania i symulacji złożonych systemów, których właściwości w skali makro wyłaniają się z zachowań i wzajemnych interakcji agentów w skali mikro.

Niestety, budowa od podstaw wieloagentowego modelu symulacyjnego wymaga zwykle dużego nakładu pracy i nie zawsze daje oczekiwane rezultaty. Platforma symulacji wieloagentowej rozszerzonego przedsiębiorstwa, której prototyp przedstawiono w niniejszej pracy, może znacznie ułatwić realizację eksperymentów.

2. Architektury biznesowe współczesnych przedsiębiorstw

Tworzenie architektury biznesowej jest często błędnie uzasadniane wymaganiami infrastruktury technologii informacyjno-komunikacyjnych (ang. *Information and Communication Technologies*). Takie podejście raczej utrudnia niż wspomaga prowadzenie działalności gospodarczej. Współczesne firmy zmierzają w kierunku architektur umożliwiających wspieranie przez systemy informatyczne odpowiednio zaprojektowanych działań biznesowych [9]. W tym ujęciu architektura oparta na wiedzy niezbędnej do obsługi procesów biznesowych dyktuje kształt rozwiązań informatycznych, stosowanych w przedsiębiorstwie. Eriksson i Penker proponują następującą definicję architektury biznesowej [10]: *Architektura biznesowa to zorganizowany zbiór wzajemnie powiązanych elementów, tworzących funkcjonalną całość. Bloki składowe architektury biznesowej reprezentują strukturalne i behawioralne składniki przedsiębiorstwa i stanowią abstrakcję kluczowych procesów i struktur w biznesie. Dobra architektura biznesowa powinna: realistycznie opisywać procesy biznesowe, koncentrować się na kluczowych procesach i strukturach organizacji na odpowiednim poziomie abstrakcji, oraz pozwalać na adaptację w wyniku zmian i rozszerzeń.*

Tworzenie optymalnej architektury biznesowej wymaga uwzględnienia charakterystyk opisujących strukturę i sposób funkcjonowania współczesnych przedsiębiorstw.

W odróżnieniu od dominującej przez prawie 200 lat tradycyjnej orientacji funkcjonalnej, dzisiejsze firmy są zorientowane procesowo. Proces biznesowy jest definiowany jako seria powiązanych operacji, prowadzących do wytworzenia wartości dodanej dla klienta. Myślenie procesowe oparte jest na ścisłej koordynacji działań realizowanych w przedsiębiorstwie oraz na styku z partnerami biznesowymi, jest zorientowane na wyniki i zadowolenie klienta. Orientacja procesowa wpływa również na zakres działań podmiotów i kształtuje strukturę organizacyjną przedsiębiorstwa. Firmy takie składają się z autonomicznych, współpracujących ze sobą podmiotów (zespołów procesowych), realizujących cel procesu. Często struktura organizacyjna procesowo zorientowanej firmy powstaje w odpowiedzi na doraźne zapotrzebowanie i przybiera formę adhokracji [11].

Nowoczesne przedsiębiorstwa muszą koordynować całość procesów biznesowych, co w powiązaniu ze złożonością dzisiejszych działań gospodarczych oznacza konieczność wyjścia poza granice firmy i dotarcie do partnerów biznesowych (dostawców, kooperantów, klientów). Należy przy tym zauważyć, że architektury biznesowe muszą wykazać się wysokim stopniem elastyczności. W przeciwnym wypadku przedsiębiorstwa nie są w stanie efektywnie funkcjonować przy obecnej dynamice otoczenia rynkowego. Wspomniane zmiany są nierozzerwalnie związane z rozwojem gospodarki cyfrowej, opartej na globalizacji, preferującej nowe pomysły na biznes i wykorzystującej efekt synergii. Cyfrowa gospodarka wzmaga globalną konkurencję, popychając podmioty gospodarcze ku wirtualnej integracji, dzięki któ-

rej każdy może skupić się na tym, co robi najlepiej, pozwalając innym zająć się resztą. Takie zjawisko wychodzenia organizacji poza tradycyjne granice zyskało nazwę rozszerzonego przedsiębiorstwa – organizacji sieciowej zapewniającej ściśle powiązanie między partycypującymi podmiotami i spajanej przez oszczędności wynikające z optymalnego wykorzystania inherentnych kompetencji jej uczestników. Rozszerzone przedsiębiorstwa, dzięki koncentracji na celach wspólnych dla ich uczestników, są w stanie wypracować wartość znacznie większą, niż ich „udziałowcy” funkcjonujący samodzielnie [3].

W wyniku przedstawionych przeobrażeń, rozszerzone przedsiębiorstwa są z natury zorientowane procesowo, rozproszone i funkcjonujące na podstawie zdecentralizowanych procesów decyzyjnych. Wymienione charakterystyki uwzględniono przy formułowaniu założeń dotyczących szkieletu platformy.

3. Kluczowe założenia i struktura szkieletu platformy

Proces tworzenia modelu rozszerzonego przedsiębiorstwa oraz planowania eksperymentu symulacyjnego od podstaw to złożone i czasochłonne zadania. Mogą być one znacznie uproszczone przez dostarczenie szkieletu składającego się z generycznej architektury biznesowej, stanowiącej bazę dla modelu przedsiębiorstwa, sformalizowanego opisu zachowania elementów architektury i scenariusza pokazującego kolejne kroki eksperymentu symulacyjnego. Wszystkie te elementy zostały zawarte w prototypie opracowanej platformy symulacji wieloagentowej.

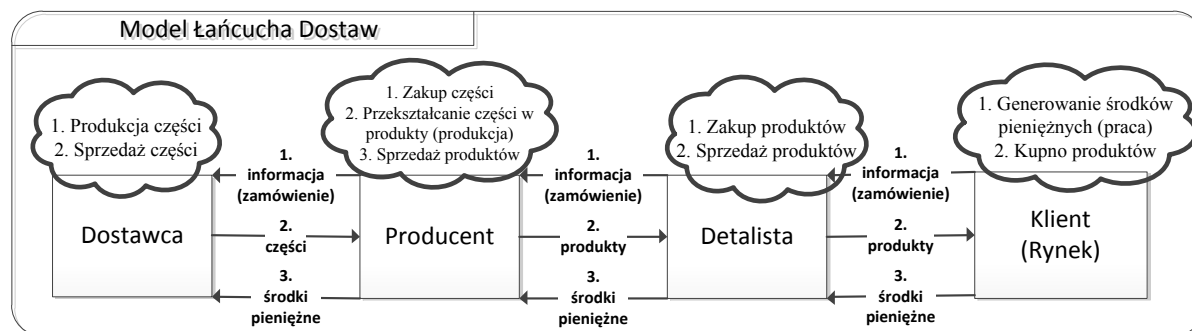
Podczas tworzenia modelu stanowiącego szkielet platformy przyjęto następujące założenia:

1. Model opisuje organizacje zorientowane procesowo. Oznacza to, że działania w ramach przedsiębiorstwa są zorganizowane wokół procesów biznesowych, a nie podziału, jaki narzuca hierarchia funkcjonalna.
2. Procesy realizowane są przez autonomiczne jednostki współdziałające dla osiągnięcia celów procesu. Każdy wykonawca realizuje przy tym własne cele, które są niezbędne do wykonania procesu oraz realizacji celów organizacji jako całości.
3. Organizacje mogą wchodzić w alianse integrujące procesy, co prowadzi do powstawania rozszerzonych przedsiębiorstw.
4. Tworzony model opisuje strukturalne i behawioralne aspekty funkcjonowania rozszerzonego przedsiębiorstwa.
5. Jądro modelu stanowi generyczna struktura łańcucha dostaw.
6. Model ma hierarchiczną, trójpoziomą strukturę:
 - a) najwyższy, najbardziej ogólny poziom ukazuje podstawowe komponenty oraz fizyczne i informacyjne przepływy w łańcuchu dostaw;

- b) poziom środkowy opisuje logikę biznesową łańcucha dostaw;
 - c) najniższy poziom przedstawia operacje realizowane przez przedsiębiorstwo.
7. Podczas tworzenia szkieletu platformy przyjęto kilka uproszczeń, w związku z którymi model nie uwzględnia następujących czynników:
- a) czasu od złożenia zamówienia do odnotowania tego faktu przez dostawcę;
 - b) minimalnej (ekonomicznej) wielkości zamówienia – zamówienia są realizowane bez względu na to, ile zawierają pozycji;
 - c) minimalnej (ekonomicznej) wielkości serii produkcyjnej – produkcja jest uruchamiana niezależnie od ograniczeń opłacalności;
 - d) niektórych działań w ramach łańcucha dostaw, takich jak: planowanie produkcji oraz prognozowanie wielkości popytu.

4. Identyfikacja struktur modelowania

Proces formalizacji wiedzy z zakresu wybranej dziedziny rozpoczyna się od konceptualizacji, czyli identyfikacji obiektów występujących w uniwersum dyskursu oraz ich powiązań [12]. Użyte tu pojęcie obiektu jest dość obszerne i obejmuje zarówno obiekty fizyczne (np. sprzedane towary), jak i abstrakcyjne twory (np. zamówienia). Chociaż możemy zidentyfikować wiele powiązań między obiektami, zazwyczaj podkreślana jest istotność wybranych, przy jednoczesnym pomijaniu innych.



Rys. 1. Model łańcucha dostaw

Fig. 1. The Model of Supply Chain

Przedstawiona struktura łańcucha dostaw (rys. 1) spotykana jest w niemal każdej działalności związanej z wytwarzaniem i dostarczaniem różnego rodzaju dóbr. Podstawowymi ogniwami łańcucha dostaw są: dostawca, producent, sprzedawca i klient. Na rysunku przedstawiono również przepływy pomiędzy ogniwami: ruch produktów w kierunku klienta jest odpowiedzią na płynące w przeciwną stronę zamówienia i płatności. Rzeczywiste łańcuchy dostaw są dynamicznymi strukturami biznesowymi, przybierającymi formę złożonych sieci powiązań pomiędzy firmami. Taka struktura wzajemnych zależności nieustannie zmienia się

w czasie. W związku z tym, często jedynym możliwym sposobem analizy i predykcji zachowania łańcucha dostaw jest podejście symulacyjne.

Warto również pamiętać, że niezwykle istotną decyzją projektową przy tworzeniu modelu organizacji jest właściwy dobór paradygmatu modelowania. Jak pokazano w wielu pracach [4, 13, 14], w przypadku modelowania architektur biznesowych współczesnych przedsiębiorstw najbardziej odpowiednie jest podejście agentowe. Jednym z argumentów przemawiającym za takim rozwiązaniem jest podobieństwo pozwalające na bezpośrednie przeniesienie struktur i interakcji biznesowych do środowiska modelowania. Istotne w symulacji wieloagentowej jest zjawisko emergencji, zgodnie z którym zachowanie systemu jako całości jest wynikiem działań i interakcji autonomicznych, heterogenicznych agentów. Systemy wieloagentowe są zatem bardzo intuicyjną metaforą, którą w przystępny sposób można zaadaptować do modelowania i symulacji rozszerzonych przedsiębiorstw.

W przypadku symulacji rozszerzonego przedsiębiorstwa, podejście agentowe pozwala zrozumieć wpływ realizacji poszczególnych procesów biznesowych na kształtowanie struktury i funkcjonowanie organizacji. W odróżnieniu od podejścia agentowego, klasyczne metody symulacji (np. *System Dynamics* [15]) nie uwzględniają wszystkich wymiarów analizy współczesnych firm, jak np. naturalnego rozproszenia, autonomii decyzyjnej oraz dynamiki interakcji.

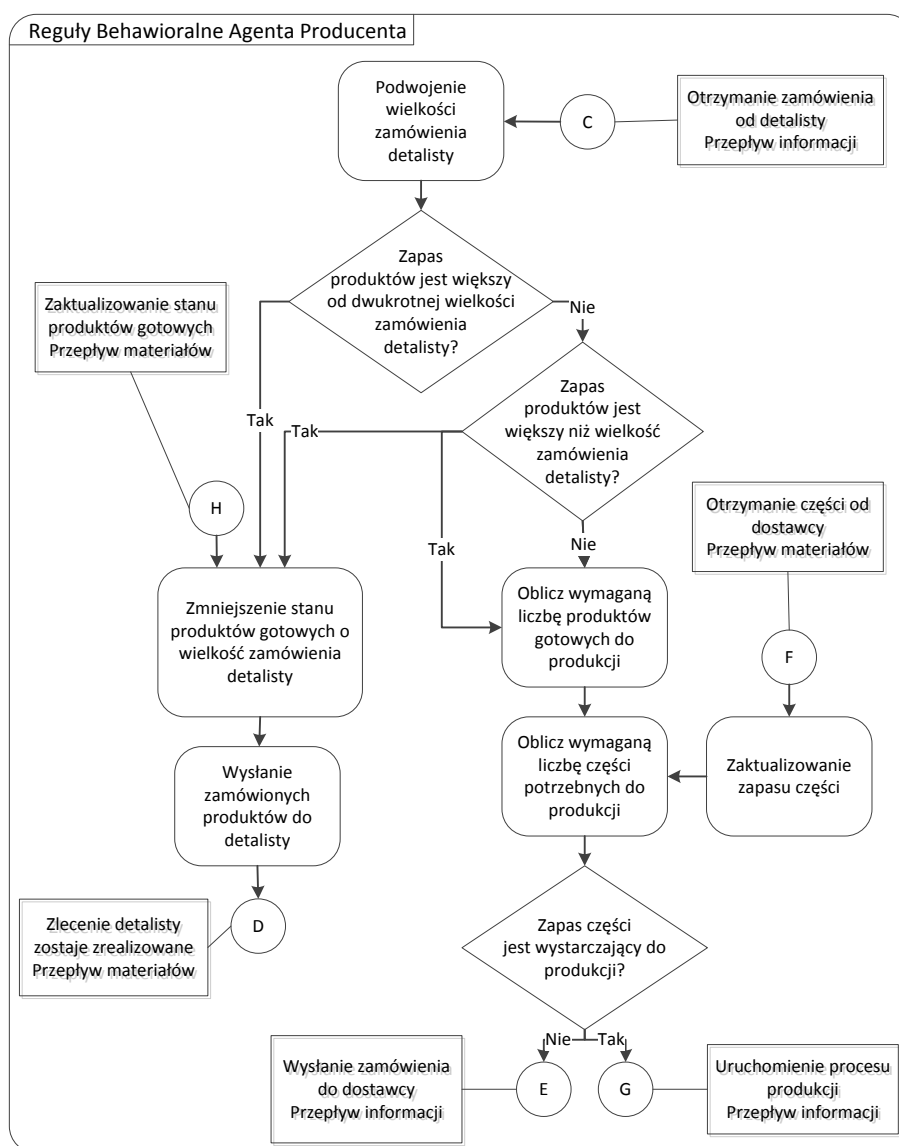
4.1. Identyfikacja agentów

Aby element systemu mógł być modelowany jako agent, musi mieć zdolność samodzielnego podejmowania decyzji (ang. *Autonomy*), cel do którego te decyzje prowadzą (ang. *Goal Orientation*) oraz tożsamość (ang. *Identity*) [4]. Każdy z agentów może posiadać niepowtarzalne cechy. Dzięki temu możliwe jest modelowanie systemu jako społeczności współpracujących i heterogenicznych komponentów. Unikalność każdego agenta może być związana z jego zachowaniem, zajmowaną pozycją lub zasobami, z których korzysta. Wynika z tego, że budowa modelu dla symulacji agentowej wymaga prawidłowej identyfikacji agentów, zdefiniowania ich zachowań i spektrum interakcji z innymi agentami.

Na podstawie przedstawionej wcześniej konceptualizacji dziedziny problemu, podczas tworzenia modelu łańcucha dostaw wyodrębniono cztery kategorie agentów: Agent Dostawcę, Agent Producenta, Agent Sprzedawcę i Agent Klienta (Rynek). Każdy z wymienionych agentów dysponuje zestawem reguł behawioralnych, określających jego zachowanie w trakcie symulacji. Reguły behawioralne wykorzystane w ramach platformy wywodzą się z modelu pojęciowego, przedstawionego w pracy [16].

4.2. Formalizacja zachowania agentów

Odpowiednio dobrana technika modelowania powinna prowadzić do uzyskania, w wyniku realizacji procesu inżynierii wiedzy, precyzyjnie zdefiniowanego modelu. Z tego powodu do specyfikacji reguł behawioralnych agentów wykorzystano diagramy czynności języka UML (ang. *Unified Modeling Language*). Jak wielokrotnie pokazano, diagramy te mogą być z sukcesem stosowane w dokumentacji projektów systemów agendowych oraz w charakterze schematów reprezentacji wiedzy. Ilustrację formalizacji logiki biznesowej w postaci reguł behawioralnych przedstawiono na przykładzie Agentu Producenta.



Rys. 2. Reguły behawioralne producenta. Źródło [16]

Fig. 2. Producer Agent's Behavioral Rules

Zdarzeniem inicjującym odpowiednie działania Agentu Producenta (rys. 2) jest zamówienie otrzymane od Agentu Sprzedawcy. W pierwszej kolejności producent podwaja liczbę zamówionych produktów, aby być przygotowanym na kolejne zamówienia. To gwarantuje,

że stan zapasów pokryje zamówienia w kolejnym okresie. Jeśli podwojona wielkość zamówienia jest mniejsza niż stan zapasów, zamówienie jest realizowane, stan magazynu zmniejszany i cały proces zostaje zakończony.

Jeśli poziom zapasów jest niższy niż podwojona wielkość zamówienia, lecz wystarczający do realizacji zamówienia, wówczas produkty są wysyłane do sprzedawcy. Jednocześnie producent oblicza, ile produktów należy wytworzyć, aby uzupełnić stan magazynu. Uruchamiany jest proces produkcyjny i, w przypadku braku potrzebnych komponentów (materiałów), wysyłane jest zamówienie do dostawcy. Produkcja jest kontynuowana po otrzymaniu niezbędnych materiałów. Oznacza to, że określona liczba komponentów jest pobierana z magazynu i przekazywana do produkcji. Gotowe produkty są przeznaczone do uzupełnienia zapasu w magazynie. Jeśli zapas produktów jest mniejszy niż zamówienie sprzedawcy, Agent Producent oblicza, ile produktów należy wyprodukować, aby zrealizować zamówienie i uzupełnić zapas.

5. Struktura procesu symulacji

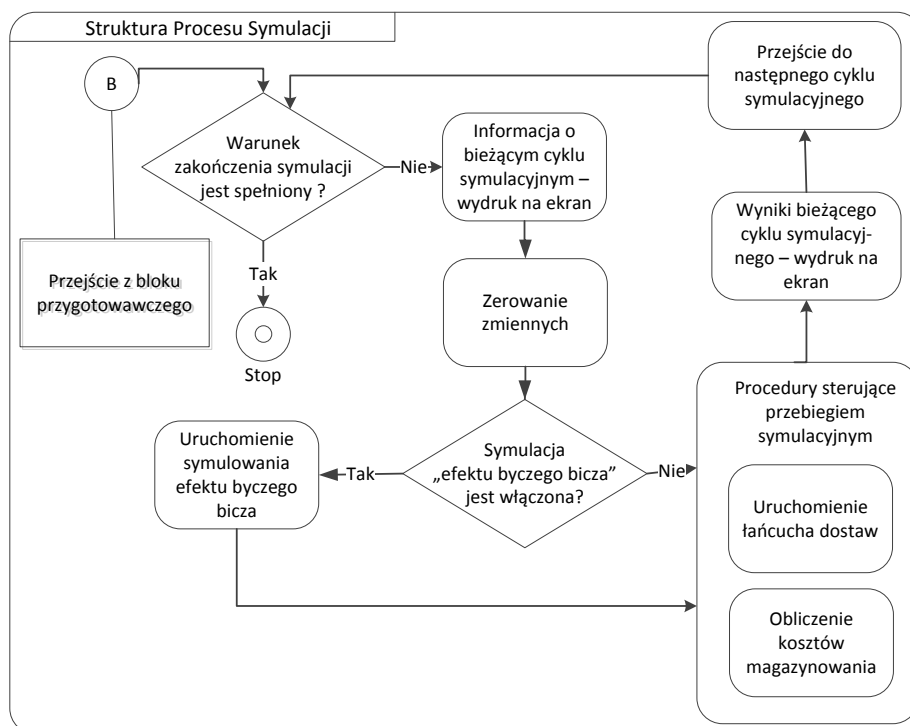
Opracowaną platformę symulacyjną zaimplementowano w środowisku NetLogo. Dzięki darmowej licencji, dobrej dokumentacji, łatwości instalacji oraz dużym możliwościom pakietu (budowa interfejsu użytkownika, tworzenie filmów i animacji), NetLogo uważane jest dzisiaj za jedno z najbardziej popularnych środowisk symulacyjnych. Symulacje wieloagentowe tworzone w NetLogo składają się z trzech następujących po sobie etapów:

1. Część definicyjna – zawiera definicje typów agentów, zmiennych globalnych oraz zmiennych związanych z każdym z agentów (np. nazwa agenta).
2. Część przygotowawcza – procedury konfigurujące środowisko do symulacji (np. ustawiające początkowe wartości zmiennych).
3. Faza symulacji – procedury stanowiące jądro symulacji.

W pierwszym węźle decyzyjnym procesu symulacji (rys. 3) sprawdzane jest, czy spełniony jest warunek zakończenia symulacji. Jeśli nie, symulacja jest kontynuowana. Symulacja przebiega iteracyjnie. Każdy przebieg stanowi jeden, unikalnie numerowany cykl symulacji. Liczba cykli symulacji ustalana jest w przedziale 1 – 1000. Po uruchomieniu kolejnego cyklu informacje z nim związane są wysyłane do konsoli środowiska. Przed uruchomieniem symulacji łańcucha dostaw ustawiane są wartości początkowe zmiennych.

W kolejnym węźle decyzyjnym następuje sprawdzenie, czy w danym cyklu „efekt byczego bicza” powinien zostać zasymulowany. Po sprawdzeniu tego warunku, uruchamiane są procedury symulacji łańcucha dostaw. Końcowa procedura wyświetla wyniki bieżącego cy-

klu symulacji. Przykładowy zestaw wartości wygenerowanych w jednym z cykli i ich interpretację zawiera tabela 1.



Rys. 3. Model generyczny procesu symulacji
 Fig. 3. The generic model of simulation process

Tabela 1

Interpretacja wyników symulacji

Wynik	Interpretacja
9	Numer cyklu symulacyjnego, z którego pochodzą wyniki
30	Liczba części posiadanych przez dostawcę
-26.7	Zysk (strata) dostawcy
0	Liczba części zamówionych przez producenta u dostawcy
0	Liczba części, które musi wyprodukować dostawca
4	Wielkość zapasu produktów gotowych u producenta
7	Wielkość zapasu części u producenta
92.36	Zysk producenta
0	Liczba produktów do wytworzenia przez producenta
3	Liczba produktów zamówionych przez detalistę w danym cyklu
3	Wielkość zapasu produktów gotowych u detalisty
14.6	Zysk detalisty
9999985062	Ilość środków pieniężnych posiadanych przez rynek
0	Popyt rynkowy na koniec bieżącego cyklu
Yes	Oznacza, że w danym cyklu nastąpił zakup produktów przez rynek
4.9	Czas realizacji zamówienia detalisty przez producenta (h)

Najistotniejszym elementem procesu symulacji jest sekcja odpowiedzialna za funkcjonowanie łańcucha dostaw. Składa się ona z dwóch procedur: *Generuj zamówienie rynku* i *Realizuj zamówienie w łańcuchu dostaw*. Procedura *Generuj zamówienie rynku* zawiera kilka

węzłów decyzyjnych, sprawdzających wielkość zamówienia i stan zasobów finansowych. Jeśli wszystkie warunki są spełnione, uruchamiana jest procedura *Próbuj złożyć zamówienie*, w przeciwnym wypadku uruchamiana jest procedura *Brak zamówienia w bieżącym cyklu*. Po wygenerowaniu zamówienia jest ono realizowane przez procedurę *Realizuj zamówienie w łańcuchu dostaw*. Pierwszy krok tej procedury związany jest z odnotowaniem faktu, że zamówienie zostało złożone. W zależności od stopnia pokrycia zamówienia przez stan zapasów, rozróżniane są następujące przypadki:

- Sprzedawca ma odpowiedni poziom zapasów do realizacji zamówienia, liczba pozostających na magazynie produktów równa jest wielkości zamówienia – uruchamiana jest procedura *Realizuj zamówienie w łańcuchu dostaw*.
- Sprzedawca ma odpowiedni poziom zapasów do realizacji zamówienia, lecz liczba pozostających na magazynie produktów jest mniejsza niż podwojona wielkość zamówienia. Uruchamiane są procedury *Realizuj zamówienie w łańcuchu dostaw* i *Zamów produkty*. Ponieważ zamówienie zostało zrealizowane, jego status zostaje ustawiony jako „zamknięte”, dlatego też po zakończeniu produkcji produkty nie trafiają na rynek, lecz uzupełniają stan magazynowy dożądanego poziomu.
- Sprzedawca nie ma wystarczającej liczby towarów do pokrycia zamówienia. Zostaje uruchomiona procedura *Zamów produkty*, status zamówienia przyjmuje wartość „otwarte”. Zamówienie zostanie zrealizowane po zakończeniu produkcji u producenta.

Zaprezentowane diagramy czynności przygotowane zostały na wysokim poziomie abstrakcji. Przed uruchomieniem symulacji opracowano dodatkowe, bardziej szczegółowe procedury. W tym celu czynności przedstawione na diagramach najwyższego poziomu zostały zdekomponowane i przedstawione w formie diagramów czynności kolejnego poziomu. Poniżej pokazano hierarchię procedur zaprogramowanych w prototypie platformy.

Uruchom łańcuch dostaw

- Generuj zamówienie rynku
 - Brak zamówienia w bieżącym cyklu
 - Próbuj złożyć zamówienie
- Realizuj zamówienie w łańcuchu dostaw
 - Wykonaj zamówienia rynku
 - Zamów produkty
 - Sprawdź zapas części u dostawcy
 - Wyślij produkty do sprzedawcy
 - Wyślij dostawę do sprzedawcy
 - Uruchom produkcję wyrobów
 - Proces produkcji wyrobów uruchomiony
 - Zamów części od dostawcy

- Wyślij dostawę do producenta
- Uruchom produkcję części

6. Case Study – analiza wpływu „efektu byczego bicza” na czas realizacji dostaw

Przygotowując symulację, należy zwrócić szczególną uwagę na proces planowania eksperymentu, który w przypadku modelowania łańcucha dostaw miał następujący przebieg:

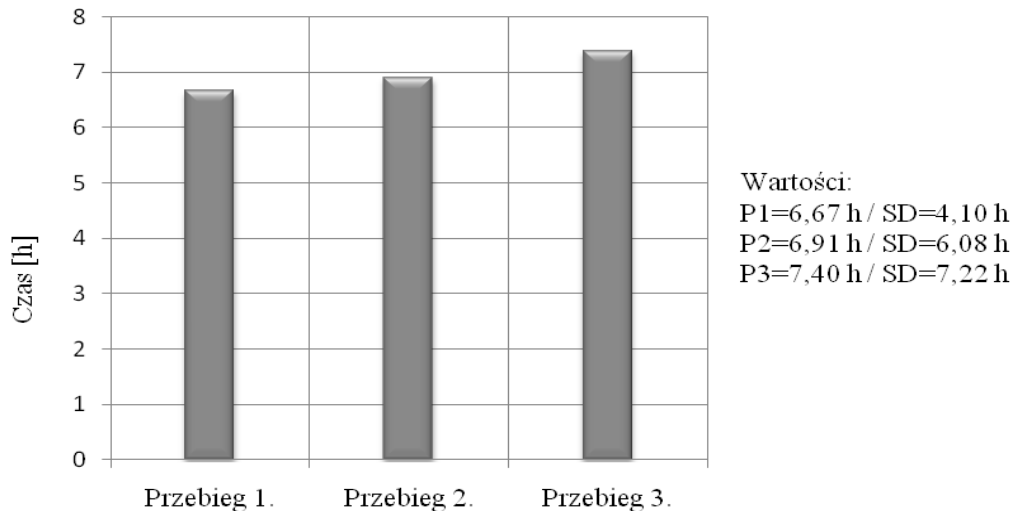
1. **Sformułowanie problemu**, który ma być rozwiązany za pomocą symulacji. Głównym celem stawianym symulacji wieloagentowej jest odpowiedź na pytanie, „Jaki jest wpływ „efektu byczego bicza” na czas dostawy produktów do sprzedawcy?”.
2. **Utworzenie modelu**. Główne komponenty utworzonego modelu to agenty reprezentujące: dostawcę, producenta, sprzedawcę i konsumenta (rynek). Logikę biznesową sformalizowano w postaci reguł behawioralnych agentów. Ustalono sposoby komunikacji agentów przez przepływy informacji, dóbr i pieniędzy.
3. **Wybór metryk** pozwalających na monitorowanie stanu modelowanego systemu. Równanie (1) opisuje całkowity czas dostawy mierzony od momentu złożenia zamówienia przez sprzedawcę do chwili otrzymania zamówionych produktów:

$$T_T = T_D + T_P + T_{DC} + T_{PC}, \quad (1)$$

gdzie: T_T – całkowity czas dostawy, T_D – czas dostawy od producenta do sprzedawcy, T_P – czas potrzebny na wyprodukowanie wyrobów (równy zero, gdy producent ma zapas produktów przewyższający wielkość zamówienia), T_{DC} – czas dostawy od dostawcy do producenta (liczony, gdy zapas producenta jest mniejszy niż wielkość zamówienia), T_{PC} – czas produkcji części przez dostawcę (równy zero, gdy zapas części u dostawcy jest większy od wielkości zamówienia producenta).

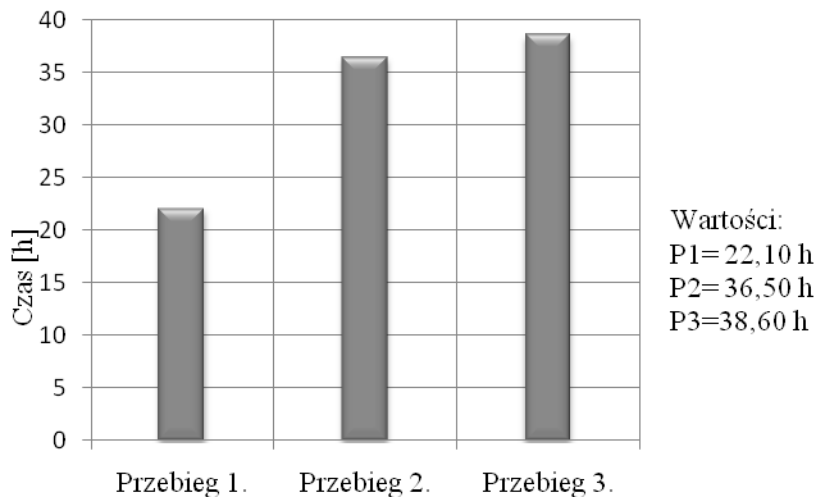
1. **Ustalenie wartości startowych parametrów symulacji**. Przeprowadzono trzy symulacje: pierwsza, wykorzystująca opisane wcześniej procedury (jest to przebieg referencyjny), i dwie kolejne, w których doszło do nagłego, niczym nieuzasadnionego wzrostu popytu, powodującego spiralę zwiększonych zapotrzebowań w całym łańcuchu dostaw. Wartości początkowe parametrów symulacji określono następująco: długość symulacji – 300 cykli, cena części – 2,50/szt., poziom bezpiecznych zapasów części u dostawcy – 25 szt., u producenta – 20 szt., popyt ze strony rynku: wartość średnia – 6, odchylenie standardowe – 1,5, liczba cykli z „efektem byczego bicza”: w drugim przebiegu – 15, w trzecim – 45, siła „efektu byczego bicza” – 18 szt.
2. **Wykonanie symulacji**. Przeprowadzono trzy przebiegi symulacji, których rezultaty zapisano w plikach tekstowych, a następnie zaimportowano do Excela i opracowano wyniki.

3. **Obliczenie wartości metryk.** Korzystając ze zbiorów wynikowych, wyznaczono wartości minimalnego, maksymalnego i średniego czasu dostawy.
4. **Interpretacja wyników.** Średni czas dostawy był zbliżony i wyniósł 6,67 godz. w pierwszym przebiegu, 6,91 godz. w drugim przebiegu i 7,40 godz. w ostatnim przebiegu. Wpływ „efektu byczego bicza” na ten parametr był zatem niewielki (rys. 4).



Rys. 4. Średni czas realizacji dostaw
Fig. 4. Average time of delivery

Niewielkie różnice średniego czasu dostawy mogą być powodowane realizacją dostaw bezpośrednio z magazynu w cyklach następujących po cyklu z „efektem byczego bicza”.



Rys. 5. Maksymalny czas realizacji dostawy
Fig. 5. Maximal time of delivery

Interesujące wyniki zaobserwowano w odniesieniu do najdłuższego czasu dostawy. W przypadku symulacji bez wystąpienia „efektu byczego bicza”, czas ten wyniósł 22,1 godz., 36,5 godz. w symulacji, w której „efekt byczego bicza” wystąpił w 5% cykli, natomiast w przebiegu trzecim, gdy „efekt byczego bicza” wystąpił w 15% cykli symulacyjnych, czas

maksymalnego oczekiwania na dostawę wyniósł aż 38,6 godz. (rys. 5).

„Efekt byczego bicza”, występujący w 15% cykli (losowo wybranych), spowodował wzrost maksymalnego czasu realizacji dostawy o ok. 75%. Tak przedłużony w stosunku do średniej czas oczekiwania, może powodować spadek zadowolenia klientów, a nawet ich utratę. Przedsiębiorstwo powinno zatem podjąć odpowiednie kroki, prowadzące do osłabienia negatywnego wpływu „efektu byczego bicza” na czas dostawy produktów do klienta. Po przygotowaniu propozycji usprawnień należy przeprowadzić kolejne eksperymenty symulacyjne, uwzględniające wniesione zmiany i pozwalające zweryfikować przyjęte założenia.

7. Podsumowanie

W ostatnich latach obserwujemy istotne zmiany charakterystyk strukturalnych i behawioralnych organizacji gospodarczych oraz otoczenia, w którym funkcjonują. W przypadku struktur tak złożonych, jak rozszerzone przedsiębiorstwo, symulacja wydaje się być jedyną rozsądną metodą badania istniejących i wspomaganie projektowania nowych modeli biznesowych. Symulacja stanowi efektywne narzędzie analizy sposobu funkcjonowania organizacji, pozwalające na mierzenie parametrów efektywności rozszerzonego przedsiębiorstwa. Jak pokazano w artykule, podejście agentowe daje bogate możliwości modelowania i realizacji eksperymentów symulacyjnych współczesnych firm. Proponowana platforma dostarcza badaczom zarówno gotową, szczegółową strukturę modelu, jak i scenariusz eksperymentu symulacyjnego.

Praca zawiera przykład implementacji modelu w środowisku NetLogo wraz ze studium przypadku ilustrującym wpływ „efektu byczego bicza” na funkcjonowanie łańcucha dostaw. Warto zaznaczyć, że proponowany prototyp platformy nie stanowi kompletnego rozwiązania, jest natomiast rdzeniem stanowiącym stabilną bazę dla dalszych prac rozwojowych.

BIBLIOGRAFIA

1. Malone T.W., Yates J., Benjamin R. I.: Electronic markets and electronic hierarchies. *Communications of the ACM*, Vol. 30, 1987, p. 484÷497.
2. Tapscott D., Ticoll D., Lowy A.: *Digital Capital: Harnessing the Power of Business Webs*. Harvard Business Press, 2000.
3. IT Governance Institute: *Governance of the Extended Enterprise: Bridging Business and IT Strategies*. John Wiley & Sons, 2005.

4. North M.J., Macal C.M.: *Managing Business Complexity. Discovering Strategic Solutions with Agent-Based Modeling and Simulation*. Oxford University Press, 2007.
5. Weyns D., Uhrmacher A.M. (eds.): *Multi-Agent Systems Simulation and Applications. Computational Analysis, Synthesis, and Design of Dynamic Models Series*. CRC Press, Florida 2009.
6. Yilmaz L., Ören T.: *Agent-Directed Simulation and Systems Engineering*. John Wiley & Sons, 2009.
7. Jakiela J., Litwin P., Olech M.: *MAS Approach to Business Models Simulations: Supply Chain Management Case Study*, [in:] Jędrzejowicz P. et al. (eds.): *KES AMSTA-2010, Part II, LNAI 6071*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2010, s. 32÷41.
8. Nuno D., Sichman J.S. (eds.): *Multi-Agent-Based Simulation IX*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2009.
9. McCormack K., Johnson W.C.: *Supply chain networks and business process orientation. Advanced Strategies and Best Practices*. CRC Press LLC, Florida 2003.
10. Eriksson H.E., Penker M.: *Business modeling with UML: Business patterns at work*. John Wiley & Sons, 2000.
11. Toffler A., Toffler H.: *Budowa nowej cywilizacji. Polityka trzeciej fali*. Zysk i S-ka, 1996.
12. Genesereth M.R., Nilsson N.J.: *Logical Foundations of Artificial Intelligence*. Morgan Kaufmann, 1987.
13. Jakiela J.: *AROMA – Agentowo zoRientowana metOdologia Modelowania orgAnizacji*. WAEiI, Politechnika Śląska, Gliwice 2006.
14. Jakiela J., Pomianek B.: *Agent Orientation as a Toolbox for Organizational Modeling and Performance Improvement*. *International Book Series Information Science and Computing, Book 13, Intelligent Information and Engineering Systems, INFOS 2009*, 2009, s. 113÷124.
15. Shieritz N., Miling P.M.: *Modeling the Forest or Modeling the Trees. A Comparison of System Dynamics and Agent-Based Simulation*. [in:] *Proceedings of 21 System Dynamics Conference*, New York 2003.
16. Vieira G.E., Cesar O.Jr.: *A conceptual model for the creation of supply chains models*. *Proceedings of the 37th conference on Winter simulation, Orlando 2005*, s. 2619÷2627.

Recenzenci: Dr hab. inż. Zygmunt Mazur, prof. Pol. Wrocławskiej
Dr inż. Tomasz Traczyk

Wpłynęło do Redakcji 13 stycznia 2011 r.

Abstract

The main aim of the research, which partial results are presented in this paper is to design and develop agent-oriented platform for conducting simulation experiments supporting the management of Extended Enterprises.

The framework has been based on two pillars. The first one is the business architecture that encompasses structural and behavioral characteristics of contemporary enterprises such as process orientation, distribution and autonomy decentralization. The latter is agent orientation of the platform. It means that agent concept has been applied as a modeling metaphor and at the same time as a basic construct used in the model building process. This enabled to reduce the semantic gap between an organization and a simulation model. What is more, each enterprise is undoubtedly a complex system. Thus complexity management is a serious problem in case of organization modeling. Therefore agent orientation has been considered as a toolbox for complexity management when developing business models.

Proposed solution allows to effectively organize the experiments as well as run the simulation. All the stages of the development process have been described in detail, starting with the conceptualization issues, agents discovery, formalization of knowledge related to business logic, implementation realized in NetLogo Integrated Development Environment and finally basic steps of simulation experiment scenario.

The analysis of simulation's results generated by the platform may be used as a basis for improving existing or designing brand new Extended Enterprises.

In order to show possible application of the platform, the case study illustrating how the bullwhip effect influences supply chain processes has been elaborated. Figures (4) and (5) depict relationships between the presence of bullwhip effect and the time of the delivery (metric formalized in the formula (1)). Finally simulation's results have been visualized and carefully analyzed as well as interpreted.

Adresy

Jacek JAKIEŁA: Politechnika Rzeszowska, Zakład Informatyki, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, Polska, jjakiela@prz.edu.pl.

Paweł LITWIN: Politechnika Rzeszowska, Zakład Informatyki, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, Polska, plitwin@prz.edu.pl.

Marcin OLECH: Politechnika Rzeszowska, Zakład Informatyki, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, Polska, molech@prz.edu.pl.