

Jadwiga Sobieska-Karpińska, Marcin Hernes

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu

WERYFIKACJA ALGORYTMU CONSENSUSU W SYSTEMACH ZARZĄDZANIA ŁAŃCUCHEM DOSTAW

Streszczenie: Różnorodność kryteriów i metod analizy łańcucha dostaw stosowanych w systemach zarządzania łańcuchem dostaw SCM (Supply Chain Management) prowadzi do sytuacji, w której system generuje wiele wariantów rozwiązań. W systemie występuje więc konflikt wiedzy. W celu rozwiązania tego konfliktu autorzy artykułu zaproponowali włączenie do systemu SCM modułu wykorzystującego algorytm wyznaczania consensusu. Takie rozwiązanie wpłynie na zdynamizowanie łańcucha dostaw, a zarazem na efektywność jego i podmiotów biorących w nim udział. W pierwszej części przedstawiono podstawowe elementy opracowanego prototypu systemu SCM wykorzystującego algorytm wyznaczania consensusu. Następnie scharakteryzowano moduł consensusu funkcjonujący w tym systemie oraz przedstawiono formalną definicję opracowanego algorytmu wyznaczania consensusu. W końcowej części artykułu opisano sposób przeprowadzenia weryfikacji algorytmu wyznaczania consensusu oraz wyniki tej weryfikacji.

Słowa kluczowe: zarządzanie łańcuchem dostaw, konflikty wiedzy, weryfikacja algorytmu consensusu, prototyp systemu SCM.

DOI: 10.15611/ie.2014.1.27

1. Wstęp

Współcześnie można zaobserwować wzrost zainteresowania jednostek organizacyjnych systemami nakierowanymi na integrację zarządzania łańcuchem dostaw SCM (Supply Chain Management). Rozwiązania te służą głównie ścisłej koordynacji działań partnerów biznesowych, co zazwyczaj osiągnąć jest poprzez elektroniczną wymianę danych EDI (Electronic Data Interchange). W literaturze przedmiotu [Lu 2011; Rutkowski 2010; Sitek, Wikarek 2012] zwraca się jednak uwagę, że systemy te powinny posiadać rozwiązania umożliwiające dynamiczne reagowanie na pojawiające się potrzeby, co w konsekwencji może wpłynąć na zwiększenie wartości wszystkich firm, które uczestniczą w realizacji łańcucha dostaw. Systemy SCM powinny więc, na pod-

stawie aktualnych i wiarygodnych informacji pozyskiwanych z otoczenia, prezentować użytkownikowi, w czasie rzeczywistym, wariant rozwiązania dotyczący przepływu produktów. Jest to jednak zadanie trudne ze względu na turbulentność otoczenia oraz dużą złożoność obliczeniową algorytmów stosowanych w systemach SCM oraz fakt, że systemy SCM wykorzystują najczęściej dane z podsystemów transakcyjnych i analitycznych zintegrowanego systemu informatycznego zarządzania. Powoduje to konieczność integracji elastycznych aplikacji analitycznych, takich jak np. Business Intelligence, z nieelastycznymi aplikacjami gromadzącymi dane, takimi jak aplikacje realizacji produkcji czy aplikacje finansowo-księgowo, a ponadto potrzebę korzystania z informacji o otoczeniu zewnętrznym, znajdujących się w źródłach internetowych. Prowadzi to w rezultacie do tego, że system SCM przedstawia użytkownikowi różne warianty przepływu produktów pomiędzy poszczególnymi kooperantami. Każdy z tych wariantów może posiadać różne wartości atrybutów (cech) opisujących przepływ produktu (atrybutem może być np. termin dostawy). Taka sytuacja nazywana jest konfliktem wiedzy pomiędzy wariantami wygenerowanymi przez system SCM. W systemie brakuje jednak rozwiązania pomagającego wybrać wariant przynoszący użytkownikowi satysfakcjonujące korzyści, czyli powinien to być taki wariant, który pozwala na dostawę towaru w odpowiedniej liczbie i czasie, przy możliwie najmniejszych kosztach i niskim ryzyku. Ryzyko to może być związane z potrzebą dokonywania samodzielnego wyboru przez użytkownika. Wybór ten zawsze dokonywany jest intuicyjnie pod presją czasu. Niewłaściwy wybór może mieć negatywne skutki w postaci opóźnień w realizacji wykonywanych prac, wzrostu kosztów magazynowania, co w konsekwencji może prowadzić do niezadowolenia klientów związanego ze wzrostem ceny i obniżeniem poziomu jakości produktów i usług [Sobieska-Karpińska, Hernes 2012].

Z uwagi na te problemy, konflikt wiedzy nie powinien być rozwiązywany przez człowieka, lecz przez system automatycznie, a więc w czasie zbliżonym do rzeczywistego. W literaturze przedmiotu, a także w praktyce mówi się i wykorzystuje różne metody rozwiązywania konfliktów wiedzy, takie jak np. negocjacje [Dyk, Lenar 2006] czy metody dedukcyjno-obliczeniowe [Barthlemy 1992]. Przy czym należy podkreślić, że negocjacje umożliwiają dobre rozwiązanie konfliktu wiedzy poprzez osiągnięcie kompromisu, jednakże wymagają wymiany dużej liczby komunikatów pomiędzy elementami systemu, przez co utrudnione, a nawet często niemożliwe staje się funkcjonowanie systemu SCM w czasie rzeczywistym. Metody dedukcyjno-obliczeniowe (np. oparte na teorii gier, mechanice klasycznej, czy też metody wyboru) pozwalają na uzyskanie dużej wydajności obliczeniowej systemu, nie gwarantują jednak prawidłowego rozwiązania konfliktu wiedzy, ponieważ często wybór jednego z wariantów jest związany z wysokim poziomem omawianego wcześniej ryzyka [Sobieska-Karpińska, Hernes 2013].

W dotychczasowej praktyce realizacji systemów SCM nie zwrócono uwagi na grupę metod, które pozwalają na rozwiązanie konfliktu wiedzy w czasie zbliżonym do rzeczywistego [Sobieska-Karpińska, Hernes 2013], a jednocześnie gwarantują

osiągnięcie dobrego kompromisu [Nguyen 2006]. Są to tzw. metody consensusu. Autorzy niniejszego artykułu wskazali na możliwość jego wykorzystania w systemach SCM, ponadto opracowali algorytm wyznaczania consensusu w tych systemach [Sobieska-Karpińska, Hernes 2014].

Aby dowieść skuteczności działania algorytmu, a także potwierdzić korzyści, jakie niesie zastosowanie consensusu w rozwiązywaniu konfliktów wiedzy w systemach SCM, w niniejszym artykule postanowiono przeprowadzić eksperyment badawczy polegający na weryfikacji tego algorytmu z użyciem autorskiego prototypu wieloagentowego systemu SCM.

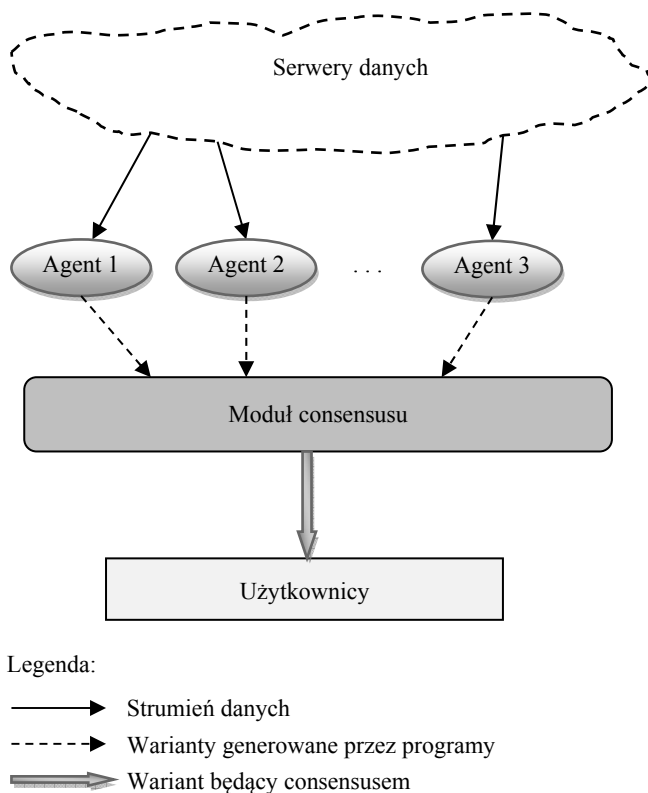
W pierwszej części artykułu posługując się takimi metodami badawczymi, jak studia literaturowe i obserwacja zjawisk, przedstawiono podstawowe elementy opracowanego prototypu systemu SCM wykorzystującego algorytm wyznaczania consensusu. Następnie w wyniku zastosowania metod ilościowych i symulacji komputerowej scharakteryzowano moduł consensusu funkcjonujący w tym systemie oraz przedstawiono formalną definicję opracowanego algorytmu wyznaczania consensusu. W końcowej części artykułu opisano eksperyment badawczy polegający na weryfikacji algorytmu wyznaczania consensusu oraz przeanalizowano wyniki tej weryfikacji.

2. Podstawowe elementy prototypu systemu zarządzania łańcuchem dostaw

Prototyp systemu SCM opracowany został jako system wieloagentowy. Programy agentowe potrafią bowiem samodzielnie (automatycznie, bez udziału człowieka) wyszukać oraz przetworzyć niezbędne informacje, wyciągnąć na ich podstawie wnioski i podejmować odpowiednie działania. Agenty pogrupowane są w zależności od pozycji przedsiębiorstwa w łańcuchu dostaw, np. obsługujące dostawców, obsługujące producentów, obsługujące detalistów. Jednakże w dotychczasowych rozwiązaniach [Moyaux i in. 2006; Podobnik i in. 2008; Farrell, Loffredo 2006], pomimo że agenty wykorzystują różne metody zarządzania łańcuchem dostaw, to użytkownik systemu musi samodzielnie decydować, która z decyzji wygenerowanych przez agenty ma być realizowana. Natomiast w prototypie systemu SCM prezentowanym w niniejszym artykule proces wyznaczania ostatecznej decyzji dokonywany jest przez moduł consensusu.

W budowie prototypu zastosowano zatem koncepcję wykorzystania metod consensusu przedstawioną w pracy [Hernes, Sobieska-Karpińska 2012]. Założono w niej, że komponenty systemu SCM dotyczące dostawców, producentów, hurtowników, detalistów i klientów indywidualnych, na podstawie posiadanych informacji z systemów transakcyjnych (np. ERP), analitycznych (np. MES, CRM) oraz ze źródeł internetowych, ze względu na różne kryteria czy też metody analizy tych informacji generują różne warianty rozwiązań dla poszczególnych elementów łańcucha dostaw. Warianty te są reprezentowane za pomocą struktur informacji, struktury zaś stanowią profil, na podstawie którego obliczany jest consensus i w ramach danego modułu powinny posiadać takie same atrybuty.

Na potrzeby niniejszego artykułu, biorąc pod uwagę przede wszystkim jego objętość, wykorzystano komponent prototypu systemu SCM dotyczący producentów. Składa się on z następujących elementów (rys. 1): serwerów danych, agentów, modułu consensusu, użytkowników.



Rys. 1. Struktura modułu dotyczącego producentów w prototypie wieloagentowego SCM.

Źródło: opracowanie własne.

Przy czym **serwery danych** zawierają dane pochodzące ze źródeł internetowych oraz z baz danych systemów transakcyjnych i analitycznych. Z kolei **agenty** to inteligentne programy, które na podstawie danych odczytanych z serwerów przeprowadzają proces obliczeń i wnioskowania, w wyniku którego wygenerowana zostaje decyzja dotycząca zarządzania dostawami produktów. Każdy agent stosuje inną metodę (sposób) zarządzania łańcuchem dostaw. W rozpatrywanym prototypie wykorzystano jedynie kilka najczęściej używanych w praktyce metod [Siurdyban, Møller 2012], do których należą (przyjęto założenie, że numer metody odpowiada numerowi agenta):

1. Stała wielkość zamówienia (Fixed Order Quantity), cechy:
 - stała wielkość zamówienia,
 - zmienny cykl zamówień,
 - ustalony poziom zapasów sygnalizujący konieczność ponownego złożenia zamówienia.
2. Stały okres zamawiania (Fixed Order Period), cechy:
 - zmienna wielkość zamówienia,
 - wymagana okresowa kontrola stanów zapasów.
3. Uzupełnianie opcjonalne, cechy:
 - stała lub zmienna wielkość zamówienia,
 - dyskretnie zmienny okres (cykl) zamawiania,
 - niezbędna okresowa kontrola stanów zapasów.
4. Uzupełnianie łączone, cechy:
 - stała lub zmienna wielkość zamówienia,
 - zmienny okres (cykl) zamawiania,
 - wymagana ciągła kontrola stanów zapasów.
5. System „dwóch skrzynek” (*two bin*), cecha (procedura):
 - pobieranie produktów ze skrzynki A, w oczekiwaniu jest dostarczona skrzynka B,
 - rozpoczęcie pobierania pozycji ze skrzynki B, zamówienie produktów w celu uzupełnienia skrzynki A,
 - pobieranie pozycji ze skrzynki B i uzupełnianie skrzynki A,
 - pobieranie pozycji ze skrzynki B, dostawa skrzynki A.
6. MRP (Material Requirements Planning), cechy:
 - zaopatrywanie (uzupełnianie) produktów na zamówienie,
 - planowanie i sterowanie uzupełnianiem zapasów materiałowych w fazie zaopatrzenia i produkcji, w zależności od wielkości popytu.
7. DRP (Distribution Requirements Planning), cechy:
 - zaopatrywanie (uzupełnianie) dostawy na zamówienie (*order sourcing*),
 - planowanie i sterowanie uzupełnianiem zapasów produktów w fazie dystrybucji, w zależności od wielkości popytu.

Decyzje agentów zapisywane są w bazie danych w postaci następującej struktury wariantu [Sobieska-Karpińska, Hernes 2012]:

Definicja 1

Niech dane będą:

zbiór towarów $T = \{t_1, t_2, \dots, t_N\}$

zbiór miejsc $M = \{m_1, m_2, \dots, m_L\}$

Strukturą wariantu nazywamy dowolny ciąg:

$$W = \left\{ \left\langle t_1, m_{p1}, m_{q1}, dt_{m_{p1}}, dt_{m_{q1}}, i_1, k_1 \right\rangle, \left\langle t_2, m_{r2}, m_{s2}, dt_{m_{r2}}, dt_{m_{s2}}, i_2, k_2 \right\rangle, \dots, \right. \\ \left. \dots, \left\langle t_N, m_{xN}, m_{yN}, dt_{m_{xN}}, dt_{m_{yN}}, i_N, k_N \right\rangle \right\} \quad (1)$$

gdzie: $p, q, r, s, x, y = \{1..L\}$,

$dt_{m_{p1}}, dt_{m_{r1}}, \dots, dt_{m_{xN}}$ – data i czas wysłania towaru t_1, t_2, \dots, t_n z miejsca m_p, m_r, \dots, m_x ,

$dt_{m_{q1}}, dt_{m_{s1}}, \dots, dt_{m_{yN}}$ – data i czas odbioru towaru t_1, t_2, \dots, t_n w miejscu m_q, m_s, \dots, m_y ,

i_1, i_2, \dots, i_N – ilość transportowanego towaru t_1, t_2, \dots, t_n (wielkość partii dostawy),

k_1, k_2, \dots, k_N – koszty transportu towaru t_1, t_2, \dots, t_n .

Przy czym tak sformułowana definicja umożliwia przedstawienie poszczególnych wariantów rozwiązań w postaci jednolitej struktury. Jest to struktura złożona, wielowartościowa występują w niej różne typy danych.

Moduł consensusu z kolei pozwala na uzgodnienie jednego wariantu (który ma zostać przedstawiony użytkownikowi) na podstawie różnych wariantów wygenerowanych przez poszczególnych agentów (ponieważ moduł consensusu stanowi główną część problematyki rozpatrywanej w niniejszym artykule, funkcjonowanie modułu zostanie szczegółowo scharakteryzowane w rozdziale 3.).

Użytkownicy to osoby zarządzające łańcuchem dostaw, które za pomocą komputerów podłączonych do sieci Internet odczytują warianty wyznaczone przez moduł consensusu. Ponieważ, jak już wcześniej stwierdzono, w systemie SCM mogą występować konflikty wiedzy pomiędzy wariantami wygenerowanymi przez agenty, w dalszej części artykułu scharakteryzowany zostanie moduł consensusu umożliwiający rozwiązywanie tych konfliktów, a więc uzgodnienie wariantu prezentowanego użytkownikowi.

3. Moduł consensusu

Istota consensusu zasadza się na porozumieniu [Nguyen 2006; Hernes, Nguyen 2007]. Metody consensusu pozwalają na wyznaczenie jednego wariantu decyzyjnego. W consensusie bowiem każda ze stron jest brana pod uwagę, każda ze stron konfliktu „traci” najmniej jak tylko jest możliwe, każda ze stron wnosi swój wkład w consensus, wszystkie strony akceptują consensus i jest on reprezentacją wszystkich stron konfliktu [Sobieska-Karpińska, Hernes 2014]. Zatem wariant zarządzania łańcuchem dostaw prezentowany użytkownikowi nie musi być wariantem wygenerowanym przez system SCM, lecz jest on nowym wariantem utworzonym na podstawie tych wygenerowanych wariantów. Dzięki temu wszystkie warianty wygenerowane przez system SCM brane są pod uwagę.

Należy również podkreślić, że consensus nie jest średnią, ale rozwiązaniem, którego odległość od elementów profilu jest minimalna (biorąc pod uwagę prosty

przykład: profil składający się z liczb 2, 3 i 8, to consensusem jest liczba 3, gdyż minimalna odległość do pozostałych elementów profilu wynosi $1+0+5=6$, natomiast średnia wynosi 4,33).

Wyznaczanie consensusu składa się z trzech podstawowych etapów [Sobieska-Karpińska, Hernes 2012]. W pierwszym dokładnie bada się strukturę zbioru wszystkich wariantów wygenerowanych przez system SCM, czyli określa cechy reprezentujące te warianty oraz dziedziny ich wartości. Struktury wariantów stanowią jednocześnie strukturę wiedzy systemu SCM (struktura wariantu została przedstawiona w rozdziale 2). W drugim etapie definiuje się funkcję obliczania odległości pomiędzy poszczególnymi wariantami (zob. [Sobieska-Karpińska, Hernes 2013]). Trzeci etap to określenie zbioru wariantów (profilu), na podstawie którego będzie wyznaczany consensus, oraz opracowanie algorytmów wyznaczania consensusu, czyli wyznaczania takiego wariantu, że odległość pomiędzy tym wariantem (consensusem) a poszczególnymi wariantami wygenerowanymi przez system SCM jest minimalna (według różnych kryteriów równomierności) [Sobieska-Karpińska, Hernes 2014].

Definicja 2

Profilom $A = \{W^{(1)}, W^{(2)}, \dots, W^{(R)}\}$ nazywamy zbiór M wariantów, taki że:

$$\begin{aligned}
 W^{(1)} &= \left\langle \left\langle t_1^{(1)}, m_{p1}^{(1)}, m_{q1}^{(1)}, dt_{m_{p1}}^{(1)}, dt_{m_{q1}}^{(1)}, i_1^{(1)}, k_1^{(1)} \right\rangle, \dots, \right. \\
 &\quad \left. \left\langle t_N^{(1)}, m_{xN}^{(1)}, m_{yN}^{(1)}, dt_{m_{xN}}^{(1)}, dt_{m_{yN}}^{(1)}, i_N^{(1)}, k_N^{(1)} \right\rangle \right\} \\
 W^{(2)} &= \left\langle \left\langle t_1^{(2)}, m_{p1}^{(2)}, m_{q1}^{(2)}, dt_{m_{p1}}^{(2)}, dt_{m_{q1}}^{(2)}, i_1^{(2)}, k_1^{(2)} \right\rangle, \dots, \right. \\
 &\quad \left. \left\langle t_N^{(2)}, m_{x1}^{(2)}, m_{y1}^{(2)}, dt_{m_{x1}}^{(2)}, dt_{m_{y1}}^{(2)}, i_N^{(2)}, k_N^{(2)} \right\rangle \right\}. \quad (2) \\
 &\quad \dots \\
 W^{(R)} &= \left\langle \left\langle t_1^{(R)}, m_{p1}^{(R)}, m_{q1}^{(R)}, dt_{m_{p1}}^{(R)}, dt_{m_{q1}}^{(R)}, i_1^{(R)}, k_1^{(R)} \right\rangle, \dots, \right. \\
 &\quad \left. \left\langle t_N^{(R)}, m_{x1}^{(R)}, m_{y1}^{(R)}, dt_{m_{x1}}^{(R)}, dt_{m_{y1}}^{(R)}, i_N^{(R)}, k_N^{(R)} \right\rangle \right\}
 \end{aligned}$$

Algorytm wyznaczania consensusu funkcjonuje w ten sposób, że określany jest porządek rosnący wartości dt_{xy} z wszystkich wariantów i tak samo postępuje się z wartościami i_y oraz k_y . Następnie oblicza się, pomiędzy którymi wartościami w tych porządkach musi znajdować się wartość będąca consensusem. W kolejnym kroku wyznacza się wartości consensusu towaru, miejsca opuszczenia i miejsca przybycia w ten sposób, że z profilu wybiera się wartości tych atrybutów z wariantu, w którym odległość pomiędzy kosztem tego wariantu a kosztem wariantu wyznaczonego w consensusie jest minimalna. Algorytm kończy się w momencie sprawdzenia wszystkich elementów wariantu i znalezienia consensusu. Formalna definicja tego algorytmu przedstawia się następująco:

Algorytm 1

Dane: Profil $W = \{W^{(1)}, W^{(2)}, \dots, W^{(R)}\}$ składający się z R wariantów.

Wynik: Consensus

$$CON = \left\{ \left\langle CON(t_1), CON(p_1), CON(m_{q_1}), CON(dt_{m_{p_1}}), CON(dt_{m_{q_1}}), CON(i_1), CON(k_1) \right\rangle, \dots, \left\langle CON(t_N), CON(m_{x_N}), CON(m_{y_N}), CON(dt_{m_{x_N}}), CON(dt_{m_{y_N}}), CON(i_N), CON(k_N) \right\rangle \right\} \quad (3)$$

względem W .

START

Krok 1: Przyjmujemy $CON(x) = 0$.

Krok 2: $j := dt_{xy}$.

Krok 3: Wyznaczamy $pr(j)$.

Krok 4: $l_j^1 = (R+1)/2$, $l_j^2 = (R+2)/2$.

Krok 5: $l_j^1 \leq CON(j) \leq l_j^2$.

Krok 6: Jeżeli $j = dt_{xy}$ to $j := i_y$. Przechodzimy do: Krok 3.

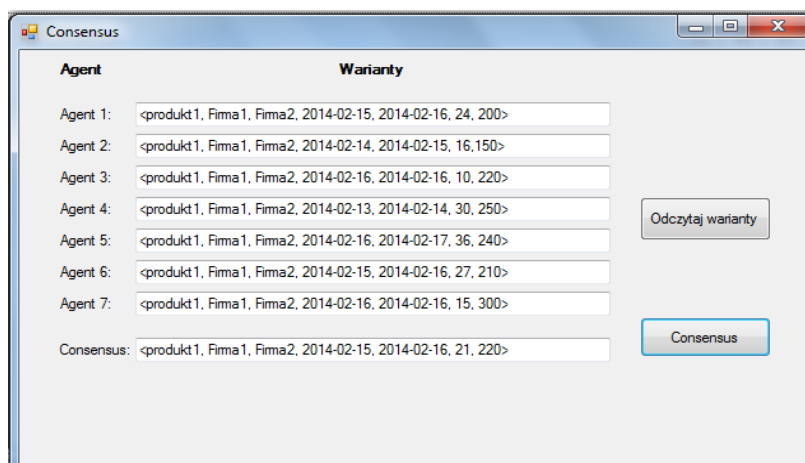
Jeżeli $j := i$ to $j := k_y$. Przechodzimy do: Krok 3.

Jeżeli $j := k_y$ to STOP. Przechodzimy do: Krok 7.

Krok 6: Wyznaczamy trójkę $CON(t_x), CON(m_{px}), CON(m_{px})$, która spełnia następujące warunki $\min(\chi(CON(k_x), k_x)^{(2)})$.

STOP.

Źłożoność algorytmu wynosi $O(N^2R)$.



Rys. 2. Interfejs użytkownika modułu consensusu

Źródło: opracowanie własne.

Zastosowanie powyższego algorytmu w systemach wspomagających zarządzanie łańcuchem dostaw pozwoli zatem pominąć wspomnianą wcześniej analizę poszczególnych wariantów dokonywaną przez człowieka. Algorytm funkcjonuje w czasie zbliżonym do rzeczywistego.

Rysunek 2. przedstawia interfejs użytkownika modułu consensusu w prototypie SCM. Naciśnięcie przycisku „Odczytaj warianty” powoduje odczytanie z bazy danych wariantów wygenerowanych przez poszczególne agenty. Warianty te prezentowane są w oknie modułu consensusu. W celu wyznaczenia consensusu (według algorytmu 1) należy nacisnąć przycisk „Consensus”. Wariant będący consensusem również prezentowany jest w oknie modułu consensusu.

W dalszej części artykułu przedstawiono weryfikację algorytmu wyznaczania consensusu, wykorzystując w tym celu komponent dotyczący producentów w prototypie systemu SCM.

4. Weryfikacja algorytmu consensusu

Weryfikacja algorytmu consensusu wiązała się z przeprowadzeniem, z wykorzystaniem prototypu systemu, testu, którego celem było porównanie wariantów wygenerowanych przez moduł consensusu z wariantami generowanymi przez poszczególne metody zarządzania łańcuchem dostaw. W teście przyjęto następujące założenia:

1. Początkowa wartość zapasu wynosi 100, zapotrzebowanie na kolejne dni określone jest w sposób losowy.

2. Jako chronon¹ przyjęto jeden dzień. Naciśnięcie przycisku „Odczytaj warianty” powoduje przeprowadzenie obliczeń przez programy agentowe i przesunięcie zegara wewnętrznego o jeden dzień (w celu przyśpieszenia przeprowadzenia testu zrezygnowano z zegara czasu rzeczywistego, a wykorzystano zegar wewnętrzny, w którym jednostka czasu zmienia po naciśnięciu przycisku).

3. Test przeprowadzano przez 100 dni (każdy agent generował 100 wariantów, na podstawie wariantów wszystkich agentów w każdym dniu wyznaczany jest consensus).

4. W teście mierzono następujące wartości: koszt magazynowania, koszt dostawy oraz czas dostawy.

5. Koszt magazynowania obliczano na podstawie liczby produktów przechowywanych w magazynie (zależność wprost proporcjonalna) oraz czasu ich przechowywania (zależność wprost proporcjonalna).

6. Koszt dostawy obliczano na podstawie liczby transportowanych produktów (zależność wprost proporcjonalna) oraz czasu dostawy (zależność odwrotnie proporcjonalna).

¹ Jest to najmniejsza jednostka czasu i może nim być np. sekunda, minuta, godzina, dzień – w zależności od charakteru zadania.

7. Czas dostawy określano na podstawie terminów określonych przy planowaniu zapotrzebowania przez poszczególne agenty.

8. Jako miernik ryzyka wykorzystano przeciętny współczynnik zmienności; ponieważ jest miarą względną, pozwala mierzyć ryzyko związane z wyborem wariantu docelowego, w ujęciu procentowym. Przeciętny współczynnik zmienności określany jest jako iloraz odchylenia średniego i średniej arytmetycznej, czyli:

$$V = \frac{s}{|E(r)|} \cdot 100\%$$

gdzie: V – przeciętny współczynnik zmienności,
 s – odchylenie przecietne stopy zwrotu,
 $E(r)$ – średnia arytmetyczna stopy zwrotu.

W przeprowadzonym eksperymencie badawczym zapisano warianty wygenerowane przez poszczególne agenty w każdym dniu. Następnie na podstawie tych wariantów wyznaczono consensus. W tabeli 1. przedstawiono uzyskane wyniki.

Tabela 1. Wyniki uzyskane w rezultacie przeprowadzonego testu

Wyszczególnienie	Koszty magazynowania							
Numer agenta	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	C
Średnia w badanym okresie	286	271	269	266	279	235	232	249
Przec. wsp. zmienności (%)	5,5	9,2	06,1	7,2	5,9	6,1	5,1	1,7
Średnia wszystkich agentów	262							
Wyszczególnienie	Koszty dostawy							
Numer agenta	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	C
Średnia w badanym okresie	200	201	200	197	100	234	232	191
Przec. wsp. zmienności (%)	2,3	16,2	8,3	7,2	100	3,1	4,6	2,1
Średnia wszystkich agentów	194							
Wyszczególnienie	Termin dostawy							
Numer agenta	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	C
Średnia w badanym okresie	2,1	1,5	2	2	2,71	0,4	0,2	1,24
Przec. wsp. zmienności (%)	34,3	33,3	30,0	30,0	30,1	120	160	29,4
Średnia wszystkich agentów	1,56							

Źródło: opracowanie własne.

Analizując wyniki weryfikacji, można zauważyć, że najniższe średnie koszty magazynowania i najkrótsze terminy dostawy w badanym okresie pozwoliły uzyskać warianty generowane przez agenty a6 i a7 (odpowiednio 235 i 232). Wynik uzyskany z wykorzystaniem algorytmu consensusu, czyli 249, jest trzeci pod względem wielkości średnich kosztów magazynowania i terminów dostawy w roz-

patrywanym okresie. Zatem dwóch agentów zaprezentowało lepsze wyniki od wyników wygenerowanych przez zastosowanie algorytmu consensusu, natomiast pięciu agentów przedstawiło wyniki gorsze. Wykorzystanie algorytmu consensusu pozwoliło również uzyskać niższe średnie koszty magazynowania i krótsze średnie terminy dostawy niż średnie koszty magazynowania i terminy dostawy wszystkich agentów, które w badanym okresie wyniosły odpowiednio 262 i 1,56.

Należy jednak zauważyć, że pomimo iż decyzje agentów a6 i a7 pozwoliły uzyskać niskie średnie koszty magazynowania i krótkie średnie terminy dostawy, to jednocześnie wysokie były średnie koszty dostawy. Najniższe średnie koszty dostawy można było uzyskać w wyniku decyzji generowanych przez agenta a5 (100), jednak charakteryzowały się one wysokimi średnimi kosztami magazynowania (279) i długim czasem dostawy (2,71). Wynik uzyskany z wykorzystaniem algorytmu consensusu, czyli 191, jest również trzeci pod względem wielkości średnich kosztów dostawy w rozpatrywanym okresie. Wykorzystanie algorytmu consensusu pozwoliło również uzyskać niższe średnie koszty dostawy niż średnie koszty dostawy liczone na podstawie wariantów wszystkich agentów, które w badanym okresie wyniosły 194.

Analizując ryzyko związane z zarządzaniem łańcuchem dostaw, zauważono, że wykorzystanie algorytmu consensusu pozwala na realizację tego procesu z najniższym poziomem ryzyka (przeciętny współczynnik zmienności wyniósł w odniesieniu do kosztów magazynowania 1,7%, w odniesieniu do kosztów dostawy 2,1%, w odniesieniu do terminów dostawy 29,4%) spośród analizowanych metod zarządzania łańcuchem dostaw (dla pozostałych metod zarządzania łańcuchem dostaw w badanym okresie wartość przeciętnego współczynnika zmienności w odniesieniu do kosztów magazynowania wynosiła od 5,1% do 9,2%, w odniesieniu do kosztów dostawy od 2,3% do 100%, w odniesieniu zaś do terminów dostawy od 30% do 160%).

Można zatem stwierdzić, że warianty generowane przez moduł consensusu charakteryzują się niskim poziomem fluktuacji kosztów magazynowania, kosztów dostawy i terminów dostawy. Zjawisko to może mieć pozytywny wpływ zarówno na zachowanie płynności finansowej przedsiębiorstw (przy niskiej fluktuacji kosztów można je lepiej planować), jak i na zachowanie ciągłości produkcji (przy niskiej fluktuacji terminów dostaw obniża się poziom ryzyka związany z przerwami w produkcji). Podsumowując, warto podkreślić, że warianty generowane przez moduł consensusu pozwalają w danym okresie zarządzania łańcuchem dostaw uzyskać niższe koszty magazynowania i dostawy oraz krótsze terminy realizacji dostawy przy mniejszym ryzyku w porównaniu ze stosowaniem z osobna każdej metody zarządzania łańcuchem dostaw. Nie bez znaczenia jest również możliwość generowania wariantów docelowych w czasie rzeczywistym w odróżnieniu od sytuacji, w której decydent samodzielnie wybiera spośród wariantów wygenerowanych przez poszczególne metody. Wzrasta zatem poziom użyteczności wyznaczonego wariantu i dzięki temu przynosi on satysfakcjonujące korzyści, takie jak: ter-

minowość, odpowiednia wielkość partii lub też niski poziom kosztów dostawy, co w konsekwencji może prowadzić do uzyskania przez przedsiębiorstwo dobrego rezultatu ekonomicznego.

5. Zakończenie

Zarządzanie łańcuchem dostaw jest związane z działalnością niemalże każdej organizacji. Systemy wspomagające to zarządzanie, a w szczególności systemy SCM, pozwalają na integrację i koordynację przepływu produktów, informacji i środków pieniężnych pomiędzy poszczególnymi organizacjami, które wchodzi w skład łańcucha dostaw, co oczywiście ma wpływ na ich zdolność do właściwego dostosowania się do popytu rynkowego. Różnorodność kryteriów i metod analizy łańcucha dostaw stosowanych w systemach SCM często prowadzi do sytuacji, w której system generuje wiele wariantów rozwiązań, które mogą być obciążone różnym poziomem ryzyka niewłaściwego wyboru. Inaczej mówiąc, występuje konflikt wiedzy w takim systemie. Dokonanie wyboru najlepszego wariantu przez użytkownika jest bardzo trudne, ponieważ wymaga szczegółowej analizy wszystkich wariantów, co oczywiście zajmuje mu czas, a w konsekwencji znacznie obniża dynamiczność i skuteczność zarządzania łańcuchem dostaw. Nie ma też pewności, że nawet po przeprowadzeniu analizy użytkownik wybierze dobry wariant. Często również, ze względu na ograniczenia czasowe związane z ciągłością procesu zarządzania łańcuchem dostaw, analiza jest niemożliwa, a jeśli użytkownik polega tylko na swoim doświadczeniu, to istnieje duże ryzyko wyboru wariantu nieprawidłowego. Wykorzystanie algorytmu consensusu w celu rozwiązania konfliktu wiedzy, a więc wyznaczenia jednego wariantu prezentowanego następnie użytkownikowi, który będzie oparty na wariantach zaproponowanych przez system, może doprowadzić do skrócenia czasu wyznaczenia tego wariantu, jak również do zmniejszenia ryzyka wyboru wariantu najgorszego. Autorzy mają świadomość, że metody consensusu nie gwarantują, że decyzja będzie optymalna, natomiast zapewniają one odpowiedni poziom satysfakcji. Zaprezentowana w artykule weryfikacja z użyciem prototypu pokazała, że dopiero zastosowanie metod consensusu pozwala na wygenerowanie, w czasie zbliżonym do rzeczywistego, wariantu przynoszącego satysfakcjonujące korzyści. Związane są one z uzyskaniem niższych, od średnich (uzyskanych w wyniku decyzji generowanych przez pozostałe agenty), kosztów magazynowania i dostawy oraz krótszych od średnich terminów dostawy. Również przeciętny współczynnik zmienności osiągnął najniższą wartość (co oznacza najniższy poziom ryzyka związanego z wyborem wariantu nieprawidłowego) właśnie w przypadku wykorzystania algorytmu consensusu.

Rezultaty weryfikacji mogą stanowić podstawę do włączenia zaproponowanego rozwiązania do funkcjonujących w praktyce systemów SCM. Dalsze prace badawcze mogą dotyczyć m.in. opracowania funkcji oceny wiedzy agentów i algo-

rytmów consensusu umożliwiających doskonalenie wiedzy agentów. Celowe jest również podjęcie badań nad wykorzystaniem metod consensusu w innych niż zarządzanie łańcuchem dostaw obszarach decyzyjnych.

Literatura

- Barthlemy J.P., 1992, *Dictatorial consensus function on n-trees*, "Mathematical Social Science", no. 25.
- Dyk P., Lenar M., 2006, *Applying negotiation methods to resolve conflicts in multi-agent environments*, [w:] *Multimedia and Network Information systems*, MISSI 2006, red. A. Zgrzywa, Oficyna Wydawnicza PWR, Wrocław.
- Farrell B., Loffredo D., 2006, *A Simple Agent for Supply Chain Management*, Department of Computer Science The University of Texas at Austin.
- Hernes M., Nguyen N.T., 2007, *Deriving Consensus for Hierarchical Incomplete Ordered Partitions and Coverings*, "Journal of Universal Computer Science", no. 13 (2), s. 317-328.
- Hernes M., Sobieska-Karpińska J., 2012, *Wykorzystanie metod consensusu w procesie zarządzania łańcuchem dostaw*, [w:] *Systemy inteligencji biznesowej jako przedmiot badań ekonomicznych konferencja KISIB 2012*, red. C.M Olszak, E. Ziemba, Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Wydziałowe UE w Katowicach, Wydawnictwo UE w Katowicach, Katowice, s. 195-208.
- Lu D., 2011, *Fundamentals of supply chain management*, Dr. Dawei Lu & Ventus Publishing ApS, bookboon.com.
- Moyaux T., Chaib-draa B., D'Amours S., 2006, *Supply Chain Management and Multiagent Systems: An Overview*, [w:] *Multi-agent-based supply chain management*, red. B. Chaib-draa, J. P. Müller, Springer, Heidelberg, s. V-X.
- Nguyen N.T. , 2006, *Using Consensus Methodology in Processing Inconsistency of Knowledge*, [w:] *Advances in Web Intelligence and Data Mining*, series "Studies in Computational Intelligence", red. M. Last i in., Springer-Verlag, Berlin.
- Podobnik V., Petric A., Jezic G., 2008, *An Agent-Based Solution for Dynamic Supply Chain Management*, "Journal of Universal Computer Science", vol. 14, no. 7.
- Rutkowski K., 2010, *Best Practices in Logistics and Supply Chain Management. The Case of Central and Eastern Europe*, [w:] *Global Logistics and Distribution Planning*, red. D. Waters, Kogan Page, London.
- Sitek P., Wikarek J., 2012, *Cost optimization of supply chain with multimodal transport*, Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems, <http://fedcsis.org/proceedings/fedcsis2012/pliks/182.pdf>.
- Siurdyban A., Möller C., 2012, *Towards Intelligent Supply Chains: A Unified Framework for Business Process Design*, "International Journal of Information Systems and Supply Chain Management", no. 5/2013, IGI Global, IGI Global, Hershey, New York.
- Sobieska-Karpińska J., Hernes M., 2012, *Using consensus methods in knowledge conflicts resolving in supply chain management support systems*, "Information System in Management – Systemy informatyczne w zarządzaniu", vol. 1, no. 2, Wydawnictwo SGGW, Warszawa, s. 160-167.
- Sobieska-Karpińska J., Hernes M., 2013, *Distance function between structure of variants in consensus determining process in supply chain management systems*, "Ekonometria" 3 (41)-2013, red. J. Dziechciarz, Wydawnictwo UE we Wrocławiu, Wrocław, s. 131-140.
- Sobieska-Karpińska J., Hernes M., 2014, *Consensus determining algorithm for supply chain management systems*, "Information System in Management – Systemy informatyczne w zarządzaniu", vol. 3, no. 1, Wydawnictwo SGGW, Warszawa.

VERIFICATION OF CONSENSUS ALGORITHM IN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT SYSTEMS

Summary: The diversity of the criteria and the methods of analysis in the supply chain used in Supply Chain Management systems (SCM) leads to a situation in which the system generates many variants of solutions. As a result conflict of knowledge appears in the system. In order to resolve this conflicts the authors of the article have suggested the inclusion of the module using the consensus determining algorithm in the SCM system. This will affect the supply chain dynamics, and at the same time, the effectiveness of organizations. The first part of the article presents the basic elements of the developed prototype of SCM, which uses consensus determining algorithm. Next the consensus module and the formal definition of the elaborated algorithm is characterized. The last part of the article presents the manner of conducting the verification of the consensus determining algorithm and the results of this verification.

Keywords: supply chain management, knowledge conflicts, verification of consensus algorithm, SCM prototype.