

Jarosław Koźlak*, Małgorzata Żabińska*

Koncepcja holonicznego systemu do zarządzania łańcuchami dostaw**

1. Wprowadzenie

Problematyka budowy i zarządzania łańcuchami dostaw wymaga podejmowania decyzji uwzględniających szereg czynników. Podjęcie właściwych decyzji przekładać się może na znaczne zyski oraz uzyskanie przewagi konkurencyjnej na rynku. Stworzenie symulatora umożliwiającego przewidywanie skutków podejmowanych działań może pomagać w doborze właściwej strategii rynkowej dzięki możliwości wykonywania scenariuszy symulacyjnych dla różnych przyjętych strategii decyzyjnych.

Do analizy rezultatów podejmowania decyzji przydatne może być użycie podejścia agentowego, które zakłada tworzenie systemu złożonego z autonomicznych i działających racjonalnie jednostek, wybierających do wykonania akcje oraz oddziałujących ze sobą w taki sposób, aby uzyskać najkorzystniejsze dla siebie rozwiązania.

Najbardziej interesującym dla nas zagadnieniem jest analiza dynamicznego organizowania się systemu rynkowego, identyfikacji złożonej sytuacji w której znalazł się podmiot oraz doboru najkorzystniejszych strategii postępowania w danej sytuacji.

2. Przegląd dziedziny badań

Pojęcie holonu zostało wprowadzone przez Artura Koestlera [4], określa ono rekursywny i samopodobny (*self-similar*) byt biologiczny lub socjologiczny. Każdy taki byt jest z jednej strony kompozycją podporządkowanych mu bytów, a z drugiej strony – wchodzi w skład bytu wyższego poziomu.

Holony w systemach holonicznych [2] są charakteryzowane przez atrybuty holoniczne, takie jak autonomia i chęć współpracy.

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki, Katedra Informatyki

** Prace finansowano z grantu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr N N516 366236

W publikacji [2] wyróżniono trzy rodzaje systemów holonicznych, różniące się stopniem autonomii holonów składowych:

- Holon – federacja autonomicznych agentów – podejście najbardziej zbliżone do tradycyjnych systemów wieloagentowych, działalność holonu wynika z działalności agentów składowych, które mogą być efektem przeprowadzanych pomiędzy nimi negocjacji.
- Agenci łączący się w jeden byt – w rezultacie łączenia się agentów w holon powstaje nowy byt, a jego agenci składowi całkowicie tracą autonomię.
- Holony jako grupy moderowane – podejście pośrednie pomiędzy powyższymi dwoma skrajnymi rozwiązaniami, agenci oddają tylko część swojej funkcjonalności super-holonowi lub głowie holonu, reprezentującemu całość. Głowę holonu może stanowić albo jeden z agentów składowych albo nowy agent tworzony jako reprezentant holonu.

Podejście holoniczne zostało użyte do rozwiązywania różnych problemów związanych z transportem lub zarządzaniem produkcją. W [6] prezentowana jest architektura holoniczna złożona z urządzenia kontroli logicznej (*Logical Control Device*) oraz, w razie konieczności, fizycznego zasobu. Są używane cztery klasy holonów wytwarzających: produkty (*products*), zadania (*tasks*), operacyjne (*operational*) i nadzorcze (*supervisor*). Holony ewoluują pomiędzy dwoma stanami: statycznym, gdzie kontrola jest oparta na nadzorcach i dąży się do uzyskania globalnej optymalizacji procesu produkcyjnego, oraz przejściowym, gdzie zachodzą zaburzenia, na które należy reagować.

Powstały liczne prace poświęcone wykorzystaniu podejścia holonicznego do zarządzania łańcuchami dostaw, podejście zastosowano dla różnych dziedzin produkcji. W [8] przedstawiono wykorzystanie podejścia holonicznego do budowy łańcuchów dostaw dla potrzeb przemysłu produkcji aparatów telefonicznych. W systemie są wyróżnione dwie organizacje złożone z holonów zwane holarchiami, holarchia zarządzania zamówieniami oraz holarchia wytwarzania. Holarchia zarządzania zamówieniami obejmuje klienta, zarządcę zamówień, e-logistyki odpowiadające za koordynację wytwórców i dostawców oraz negocjujące produkcję, a także dostawcy potrzebnych zasobów, holon planujący odpowiadający za koordynację zadań łączenia elementów, moduł transportowy odpowiedzialny za zarządzanie zasobami transportowymi oraz mediator między przedsiębiorstwami, odpowiadający za połączenie z innymi holarchiami uczestniczącymi w łańcuchu dostaw. Drugi rodzaj holarchii – holarchia wytwarzania, obejmuje zakład montujący odpowiadający za składanie telefonów z dostarczanych komponentów oraz dostawcę kabli, będącego bezpośrednim dostawcą zakładu montującego.

W [7] zaprezentowano system odpowiadający za zarządzanie łańcuchami dostaw budowanymi na potrzeby przemysłu naftowego. Model organizacyjny systemu holonicznego obejmuje organizację holoniczną, wspólną dla wszystkich systemów holonicznych oraz organizację wewnętrzną, specyficzną dla konkretnej dziedziny problemowej. W organizacji holonicznej agent może pełnić rolę głowy (*head*) lub części (*part*), natomiast w organizacji wewnętrznej mogą występować różne rodzaje ról np. dostawca lub klient.

Drugim istotnym problemem badawczym jest kwestia identyfikacji sytuacji, w której znajduje się przedsiębiorstwo i doboru odpowiednich strategii rynkowych. Problem ten badano w [3]. Stosuje w tym celu różne techniki predykcji oraz analizy wzorców, takie jak mieszane modele Gaussa (*Gaussian mixture model*), predykcja korekty Markowa (*Markov correction prediction*) oraz wykładnicze wygładzanie (*exponential smoother*).

W niniejszej pracy skupiono się na organizacji holonów uwzględniającej poszczególne przedsiębiorstwa oraz na związanym z nią procesem decyzyjnym przedsiębiorstwa, natomiast nie zajmowano się organizacją wewnętrzną przedsiębiorstwa.

3. Koncepcja modelu systemu holonicznego modelującego organizację podmiotów rynkowych i tworzenie łańcuchów dostaw

W [5] przedstawiono schemat systemu holonicznego do modelowania problemów logistycznych oraz jego adaptację dla dziedziny problemów transportowych. W tej pracy zostanie on przystosowany do problemu modelowania przedsiębiorstw działających w środowisku rynkowym oraz do zawierania przez nie długoterminowych kontraktów. Rozpatrywanymi agentami podstawowymi są przedsiębiorstwa. Holony reprezentują byty powstałe w rezultacie kontraktów dotyczących dostaw komponentów zawieranych pomiędzy przedsiębiorstwami. Kontrakty są opisywane przez warunki ich obowiązywania i obejmują:

- identyfikator towaru, którego dotyczy transakcja,
- częstotliwość dostarczanych towarów,
- ilość dostarczanego towaru,
- warunki zerwania (opisywane przez maksymalny akceptowany czas opóźnienia oraz maksymalną dopuszczalną liczbę opóźnionych sztuk towarów),
- karę za niedotrzymanie kontraktu,
- zagwarantowane informacje na temat stanów, które będą wymieniane z partnerem współtworzącym holon.

Grupa przedsiębiorstw z zawartymi odpowiednimi kontraktami wzajemnej współpracy jest reprezentowane przez holon. Przyjęto, że holon AH jest opisywany następująco [5]:

$$AH = (G, P, S, A, K, C, HO) \quad (1)$$

gdzie: G reprezentuje funkcję celu przedsiębiorstwa, P – plan działania, S – stan, w którym się znajduje, A – atrybuty, K – wiedzę, C – akcję, HO – organizację holoniczną.

Poszczególne elementy holonu są szczegółowo opisywane poniżej.

Funkcja celu przedsiębiorstwa. Funkcja celu przedsiębiorstwa G to funkcja, która stanowi podstawę do podejmowania decyzji przez agenta. Agent wybiera akcje w ten sposób, aby maksymalizować lub minimalizować wartości tej funkcji. Funkcja celu przedsiębiorstwa

zazwyczaj reprezentuje majątek przedsiębiorstwa. Ze względu na dynamikę działań i otoczenia rynkowego trudno jest przewidzieć pewny zysk związany z konkretnymi działaniami. Dlatego konieczne jest wprowadzenie pewnych estymacji wykorzystujących różne techniki predykcji oraz analizy wzorców. Do podejmowania decyzji może być wykorzystywana szacunkowa predykowana wartość przedsiębiorstwa osiągnięta po przyjętej liczbie kroków czasowych.

Wartość funkcji celu może być obliczana na różne sposoby i określać:

- tylko aktualną wartość aktywów,
- aktualną wartość aktywów wraz z sumą wartości komponentów w magazynie, szacowanych według kosztów ich nabycia,
- aktualną wartość aktywów wraz z sumą wartości komponentów w magazynie, szacowanych według bieżących cen.

Plan. Plan (P), to sekwencja akcji wraz z ich atrybutami, najbardziej sprzyjająca realizacji celu. Plan jest generowany w oparciu o przyjętą strategię decyzyjną, która określa atrybuty przekazywane poszczególnym akcjom.

Stan. Stan (S) opisuje licznosci zasobów będących w posiadaniu przedsiębiorstwa, obejmuje zasoby finansowe, licznosci komponentów oraz produktów końcowych poszczególnych typów w magazynie. Zawiera także informacje na temat przyszłych dostarczonych komponentów i sprzedanych produktów końcowych, wynikające z zawartych kontraktów.

Atrybuty. Zbiór atrybutów (A) zawiera pary złożone z atrybutów i ich wartości, opisujących właściwości charakteryzujące przedsiębiorstwo oraz przypisane im wartości liczbowe.

Można wyróżnić następujące rodzaje atrybutów:

- atrybuty podstawowe (AB), obejmujące wielkości takie jak moc produkcyjna, koszty magazynowania poszczególnych komponentów i produktów, typy i ilości komponentów wejściowych potrzebne do produkcji poszczególnych produktów końcowych;
- atrybuty decyzyjne (AD) – są to aktualne marże dla poszczególnych produktów, oraz preferowane wysokości zapasów magazynowych dla poszczególnych typów komponentów.

Wiedza. Wiedza (K) zawiera zbiór stwierdzeń na temat stanu i atrybutów własnych i innych przedsiębiorstw w chwili obecnej, a także zapamiętanych danych historycznych oraz wyprzedykowanych ich przyszłych wartości. Obejmuje informacje na temat wysokości cen oraz popytu na poszczególne produkty i komponenty, wysokości marży, terminowości realizacji zamówień przez poszczególne przedsiębiorstwa.

Akcje. Zbiór akcji (C) obejmuje działania wykonane przez agenta – holon, które prowadzą do zmiany jego parametrów, polegają na komunikacji z innymi agentami oraz prowadzą także do zmiany ich parametrów. Można wyróżnić następujące rodzaje akcji:

- akcje wewnętrzne – przeprowadzenie procesu decyzyjnego, produkcja,
- akcje zewnętrzne – wysłanie ofert sprzedaży lub kupna, dokonanie transferu dóbr i płatności, przyjęcie lub odrzucenie otrzymanej propozycji, dostarczenie i odbiór informacji,
- akcje organizacji holonu – złożenie propozycji zawarcia kontraktu współpracy/konstrukcji holonu, zgoda lub odrzucenie propozycji, rozwiązanie kontraktu.

Organizacja. Organizacja holoniczna HO określa aktualne powiązania między agentami składowymi, a także związki między agentami określające aktualne potencjalne korzyści z nawiązania kontraktów w celu współpracy. Jest ona reprezentowana następująco:

$$HO = (HR, HC, HI, JP, SP) \quad (2)$$

gdzie:

- HR – zbiór holonów, z którymi dany holon jest w relacjach; relacje te opisują korzyści z nawiązania współpracy z danym agentem/holonem, wyliczane w oparciu o jego profil produkcyjny, aktualny stan rynku, dotychczasową terminowość w wywiązywaniu się z umów ze strony danego agenta,
- HC_i – identyfikatory holonów składowych, które wchodzi w skład danego holonu,
- HI_i – holon nadrzędny, w którym dany agent się zawiera,
- JP_i – protokół przyłączenia do holonu,
- SP_i – protokół odłączenia od holonu.

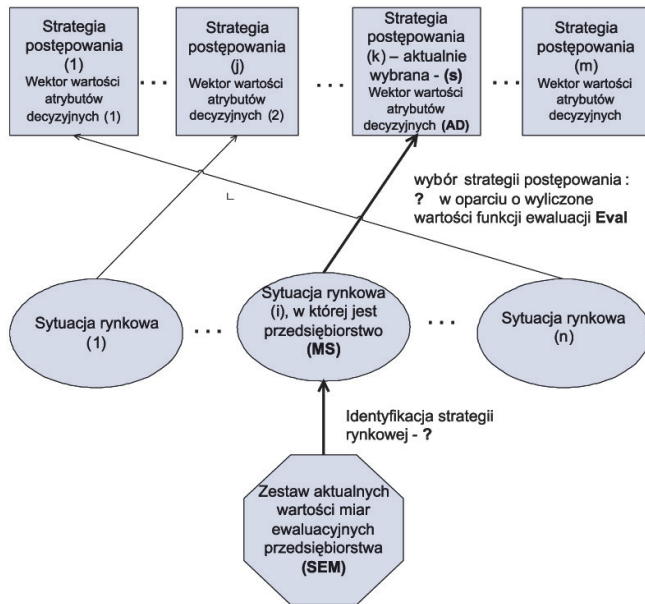
4. Algorytmy decyzyjne

Decyzje, jakie akcje i jak skonfigurowane należy wykonywać, są podejmowane przez moduł decyzyjny przedsiębiorstwa. Moduł decyzyjny jest reprezentowany następująco:

$$Dec = (SEM, SMS, MS, SS, ESS, Eval, s, \phi, \theta) \quad (3)$$

gdzie:

- SEM – wektor wartości miar ewaluacyjnych stanu przedsiębiorstwa,
- SMS – zbiór sytuacji rynkowych wraz z kryteriami kwalifikującymi daną sytuację w oparciu o wartości miar stanu przedsiębiorstwa,
- MS – sytuacja rynkowa, w której znajduje się przedsiębiorstwo,
- SS – zbiór strategii postępowania z przypisanymi poszczególnym strategiom wartościami atrybutów decyzyjnych konfigurujących akcje wykonywane przez przedsiębiorstwo,
- ESS – macierz ewaluacji przydatności strategii do wykonania w poszczególnych sytuacjach rynkowych,
- $Eval$ – funkcja ewaluacji przydatności strategii w poszczególnych sytuacjach rynkowych $Eval: MS \times SS \rightarrow ESS$,
- s – aktualnie wybrana ze zbioru SS strategia postępowania,
- ϕ – funkcja identyfikująca sytuacje rynkowe $\phi: SEM \times SM \rightarrow MS$,
- θ – funkcja wyboru strategii postępowania: $\theta: MS \times ESS \rightarrow s$.



Rys. 1. Koncepcja działania modułu decyzyjnego

Koncepcja działania modułu jest przedstawiona na rysunku 1. Identyfikacja sytuacji rynkowej (*MS*) jest dokonywana w oparciu o stan przedsiębiorstwa i jego wiedzę (wynikającą z historii i z predykcji). Zostają wyliczone wartości miary opisu sytuacji, które zostaną opisane poniżej (*SMS*). W oparciu o te wartości jest określana aktualna sytuacja rynkowa *MS*.

Dla poszczególnych sytuacji rynkowych dokonywane są ewaluacje skutków wykonania odpowiednich strategii ze zbioru *SS*, ewaluacje te są opisywane przez przyrost odpowiednich wersji funkcji celu po rozważanych liczbach kroków. W oparciu o te wartości dokonywane są wybory najbardziej odpowiedniej strategii dla danego przedsiębiorstwa.

Identyfikacja sytuacji. W celu ewaluacji sytuacji przedsiębiorstwa brane są pod uwagę następujące miary opisujące aktualną sytuację (*SMS*):

- miary charakteryzujące stan zakupu komponentów (opisujące jak przebiegały poszczególne działania dla poszczególnych etapów symulacji):
 - zakontraktowany czas dostawy *i-tego* egzemplarza komponentu typu *j* zamówionego w kroku *t*,
 - ustalona w ramach zawartego kontraktu cena *i-tego* egzemplarza komponentu typu *j* zamówionego w kroku *t*,
 - liczba tur spóźnienia w dostawie cena *i-tego* egzemplarza komponentu typu *j* zamówionego w kroku *t*,

- procent zamówionych przez przedsiębiorstwo komponentów typu j w porównaniu do całego popytu w kroku t na ten komponent na rozpatrywanym rynku,
- procent otrzymanych komponentów typu j w porównaniu do całego popytu na ten komponent na rozpatrywanym rynku w czasie t ,
- miary charakteryzujące stan aktualnie posiadanych zasobów:
 - liczba posiadanych egzemplarzy komponentów typu j w chwili t ,
 - na ile kroków starczy posiadanych komponentów typu j , jeśli będą one sprzedawane według poziomu sprzedaży zachodzącej w ostatnich turach, z uwzględnieniem możliwości produkcyjnych przedsiębiorstwa, możliwa są ewaluacje wykorzystująca różne metody produkcji popytu,
 - na ile kroków starczy posiadanych komponentów typu j , jeśli będą one sprzedawane w liczbie zaspokajającej cały popyt,
- miary charakteryzujące stan sprzedaży produktów końcowych:
 - procent całkowitej sprzedaży elementów produktu końcowego j jaki stanowi sprzedaż przedsiębiorstwa w kolejnych krokach t ,
 - czas dostawy produktu i -tego egzemplarza produktu końcowego typu j zakontraktowanego w kroku t ,
 - wysokość marży przy sprzedaży i -tego egzemplarza produktu końcowego typu j zamówionego w kroku t ,
 - liczba tur spóźnienia w dostarczeniu i -tego egzemplarza produktu końcowego typu j zamówionego w kroku t .

Charakterystyka strategii postępowania. W rezultacie wyboru strategii postępowania następuje zmiana wartości zestawu atrybutów decyzyjnych odpowiadających za:

- Działania związane z kupnem komponentów; obejmują one modyfikację liczby preferowanych zakupionych komponentów poszczególnych typów, warunków transakcji w zależności od liczby kupowanych komponentów, proponowanych oraz akceptowalnych cen i czasów dostaw.
- Działania związane ze sprzedażą produktów składowych; obejmują one modyfikację liczby preferowanych sprzedanych produktów końcowych, warunków transakcji w zależności od liczby kupowanych komponentów, proponowanych oraz akceptowalnych cen i czasów dostaw.
- Działania związane z zawarciem długoterminowego kontraktu z przedsiębiorstwem sprzedającym komponenty składowe oraz z warunkami takiego kontraktu obejmują modyfikację akceptowalnej cena, akceptowalnego zakresu liczebności elementów dotyczących transakcji oraz konsekwencji niedotrzymania kontraktu.
- Działania związane z zawarciem długoterminowego kontraktu z przedsiębiorstwem kupującym elementy końcowe produkowane przez przedsiębiorstwo obejmują modyfikację akceptowalnej cena, akceptowalnego zakresu liczebności elementów dotyczących transakcji, konsekwencje niedotrzymania kontraktu.

Ewaluacja skutków użycia strategii w danych stanach. Ewaluacja skutków użycia strategii (*Eval*) może być przeprowadzana na różne sposoby. Obecnie planujemy zastosowanie techniki uczenia maszynowego, czyli przeprowadzania wielu symulacji oraz ewaluacji skutków wyboru poszczególnych strategii poprzez badanie wartości funkcji celu G po różnych, zadanych liczbach kroków symulacji. Ewaluacja ta może być przeprowadzana przy użyciu różnych kryteriów:

- średni uzyskany majątek w turze t po wybraniu danej strategii opisywany albo przy użyciu jedynie gotówki albo z uwzględnieniem wartości zakupionych komponentów;
- maksymalny uzyskany majątek;
- minimalny uzyskany majątek;
- prawdopodobieństwo przejścia przy jej użyciu do innych wzorców sytuacyjnych i ewaluacji jakości tych kolejnych wzorców.

5. Podsumowanie

Przedstawiono została koncepcja systemu holonicznego do modelowania podmiotów rynkowych, które uwzględnia zawieranie przez nich porozumień. Zaprezentowano przyjętą organizację systemu holonicznego oraz wyróżniono miary opisujące stan przedsiębiorstwa, które mogą być podstawą do doboru odpowiednich rodzajów akcji do wykonania, w tym także do podjęcia decyzji odnośnie zawierania odpowiednich umów i formowania holonów.

W ramach prac przeprowadzono dotąd badania identyfikacji stanów przedsiębiorstw w oparciu o kombinacje różnych czynników stanu [1], badanie odpowiednich strategii postępowania w tych stanach oraz automatyczne dobieranie strategii w oparciu a algorytm uczenia maszynowego ze wzmocnieniem Q-learning.

Literatura

- [1] Chodura D., Dominik P., Koźlak J., *Market strategy choices made by company using reinforcement learning*. Trends in practical applications of agents and multiagent systems: 9th international conference on Practical applications of agents and multiagent systems, Springer-Verlag, 2011, Advances in Intelligent and Soft Computing, 83–90.
- [2] Gerber Ch., Siekmann J., Vierke G., *Holonic Multi-Agent Systems*. Research Report, DFKI, RR-99-03, May 1999.
- [3] Ketter W., Collins J., Gini M., Gupta A., Schrater P., *Detecting and forecasting economic regimes in multi-agent automated exchanges*. Decis. Support Syst., vol. 47(4), November, 2009, 307–318.
- [4] Koestler A., *The Ghost in the Machine*. Hutchinson, 1967.
- [5] Koźlak J., Pisarski S., Żabińska M., *Application of holonic approach for transportation modelling and optimising*. Advances on practical applications of agents and multiagent systems: 9th

international conference on Practical applications of agents and multiagent systems, Springer-Verlag, 2011, Advances in Intelligent and Soft Computing, 189–194.

- [6] Leitão P., Casais F., Restivo F., *Holonic Manufacturing Control: a Practical Implementation*. Emerging Solutions for Future Manufacturing Systems, Springer Boston, 2005, 33–44.
- [7] Marcellino F., Sichman J., *Oil Industry Supply Chain Management as a Holonic Agent Based Distributed Constraint Optimization Problem*. Proc. International Workshop on Artificial Intelligence and Logistics AILog@ECAI 2010, Lisbon, Portugal, 2010, 19–24.
- [8] Ulieru M., Cobzaru M., *Building holonic supply chain management systems: An e-Logistics application for the telephone manufacturing industry*. IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 1(1), February 2005.