

WIELOAGENTOWA PLATFORMA HANDLU DLA LOKALNEGO RYNKU ENERGII ELEKTRYCZNEJ*

Mariusz Kaleta, Piotr Pałka, Eugeniusz Toczyłowski

Słowa kluczowe: system wieloagentowy, lokalny rynek energii, kontrakty negocjowane

Streszczenie. Ze względu na specyficzne aspekty handlu energią elektryczną, w wielu przypadkach atrakcyjne może być podejście polegające na automatyzacji pewnych procesów związanych z wymianą handlową. W takim przypadku naturalnym podejściem jest zastosowanie systemów wieloagentowych. W referacie rozważamy koncepcję platformy wieloagentowej do prowadzenia procesów negocjacyjnych na lokalnym rynku energii, np. w sieci dystrybucyjnej. W rozważanym systemie wieloagentowym, który realizuje zawieranie transakcji na lokalnym rynku energii elektrycznej, agenty będące komponentami oprogramowania, samodzielnie podejmują akcje zmierzające do wynegocjowania warunków umowy. Procesy ofertowe i negocjacyjne mogą być prowadzone na różnych zasadach i przyjmować różną formę. Przykładowo, mogą one dotyczyć negocjacji dwustronnych prowadzonych w środowisku rozproszonych agentów lub procesów ofertowych w sformalizowanych warunkach, jakie narzuca lokalna giełda energii.

Wdrożenie odpowiedniego mechanizmu handlu wymaga m.in. rozwiązania problemów organizacji środowiska dla agentów, schematów komunikacji agentów, wymiany danych w sposób zrozumiały dla negocjujących stron, elastycznego modelowania ofert, itp. W przypadku handlu rozproszonego pojawia się szereg dodatkowych problemów związanych z lokalizacją partnerów handlowych i ich ofert.

Prezentowana w referacie koncepcja oraz nowe technologie informatyczne, wspierające systemy wieloagentowe i usługi sieciowe, będą mogły w przyszłości wspomagać przedsiębiorstwa w decyzjach handlowych, ułatwiając przygotowywanie ofert kupna/sprzedaży, wybór i nawiązanie kontaktu z kontrahentami, oraz wspomagać w negocjowaniu kontraktów.

1. WSTĘP

Procesy negocjowania i zawierania kontraktów w sektorze elektroenergetycznym są wspierane przez narzędzia informatyczne dostępne na rynku. Narzędzia te oferują metody szacowania ryzyka, oceny pewnych propozycji, a w pewnych warunkach optymalizacji przygotowywanych ofert. Decydent wypracowuje decyzje na drodze interakcji z systemem informatycznym. Tymczasem, biorąc pod uwagę specyfikę pewnych obszarów handlu energią elektryczną, wspomaganie procesów handlowych może pójść o krok dalej, w kierunku automatyzacji części procesów handlowych, w tym procesów decyzyjnych, w oparciu o pewne strategie działania. Strategie te nie są odwzorowywane w tradycyjnych systemach wspomagania podejmowania decyzji, lecz zazwyczaj pozostają po stronie decydenta wchodzącego w interakcję z systemem. To decydent, wykorzystując wiedzę ekspercką oraz własną inteligencję, kieruje procesem decyzyjnym.

Czynniki przemawiające za potrzebą przeniesienia do systemów informatycznych i automatyzowaniem pro-

cesów decyzyjnych w handlu energią elektryczną są następujące:

1. Konieczność szybkiego podejmowania decyzji w sytuacji, gdy nie ma dostatecznie dużo czasu na przeprowadzenie interaktywnego procesu z udziałem decydenta. Przykładem może być potrzeba szybkiego dobilansowania podmiotu z uwagi na zaistniałe zaburzenia zapotrzebowania bądź generacji.
2. Znaczna liczba potencjalnych kontrahentów. Nawet w sytuacji gdy warunki czasowe nie są istotnym ograniczeniem dla prowadzenia procesów handlowych, podmiot może być zainteresowany wyszukiwaniem wielu partnerów handlowych i prowadzeniem z nimi równoległych negocjacji. Automatyzacja negocjacji może doprowadzić do wyeliminowania tych partnerów, dla których wydaje się, że potencjalne porozumienie handlowe nie może być osiągnięte lub jest bardzo trudne do osiągnięcia. Decydent może włączać się w procesy

* Praca częściowo finansowana w ramach sieci naukowej Eko-Energia „Nowe, ekologiczne i bezpieczne technologie w wytwarzaniu i konwersji energii”.

negocjacji dopiero na zaawansowanym etapie, po zawężeniu liczby potencjalnych partnerów.

3. Powtarzalność, a więc sytuacja, w której wyniki negocjacji zazwyczaj należą do wąskiego zbioru potencjalnych wyników. Przykładowo, negocjacje podlegają szczegółowe grafik dostaw, mieszczące się w ramach wyznaczonych przez umowę sprzedaży w długim horyzoncie czasu.

Systemy wieloagentowe (SWA) są naturalnym rozwiązaniem dla automatyzacji procesów prowadzonych w środowisku rozproszonym, gdzie proces podejmowania decyzji wynika z pewnej strategii postępowania („inteligencji”), uzależnionej od wyników interakcji z innymi podmiotami.

Omawiane w niniejszej pracy zagadnienia prezentują fragment większych prac, w ramach których stawiane są pytania dotyczące możliwości prowadzenia handlu na lokalnym rynku energii z wykorzystaniem środowiska wieloagentowego, w jaki sposób taki system powinien być projektowany i implementowany oraz jakie cechy i korzyści są związane z handlem opartym na SWA.

W referacie rozważamy lokalny rynek energii elektrycznej, na którym pewna liczba podmiotów prowadzi działalność handlową. Dodatkowo, nadwyżki lub niedobór mocy mogą być kompensowane poprzez zakup lub sprzedaż energii z/do systemu przesyłowego wyższych napięć.

Rozważamy wieloagentowy model lokalnego rynku energii elektrycznej, na którym agenty będące komponentami oprogramowania, samodzielnie podejmują akcje zmierzające do wynegocjowania warunków umowy. Bilansowanie systemu energetycznego odbywa się w złożonym, wieloetapowym procesie. Na poszczególnych etapach tego procesu mechanizmy handlu mogą przyjmować różną formę, począwszy od prowadzonych w sposób rozproszony, indywidualnie przez podmioty w ramach kontraktów bilateralnych, po sformalizowane, centralne platformy obrotu (np. lokalna giełda energii).

Wdrożenie wieloagentowego mechanizmu handlu wymaga rozwiązania szeregu problemów, które są rozważane w niniejszej pracy. Problemy te obejmują m.in. zagadnienia organizacji środowiska dla agentów, mechanizmy komunikacji agentów, mechanizmy wymiany danych w sposób zrozumiały dla negocjujących stron, elastyczne modelowanie ofert. W przypadku handlu rozproszonego pojawia się szereg dodatkowych problemów związanych z lokalizacją partnerów handlowych i ich ofert.

Prezentowana w referacie koncepcja oraz nowe technologie informatyczne uzupełniające systemy wieloagentowe i usługi sieciowe, będą mogły w przyszłości wspomagać przedsiębiorstwa w decyzjach handlowych, ułatwiając przygotowywanie ofert kupna/sprzedaży, wybór i nawiązanie kontaktu z kontrahentami, oraz wspomagać w negocjowaniu kontraktów.

2. MODEL HANDLU

2.1. Modele komunikacji w handlu

W pracach [2] i [3] rozważane były różne konfiguracje środowisk handlowych. W szczególności rozważano sposób komunikacji, tzn. czy istnieje centralna jednostka, do której kierowane są oferty (tak dzieje się w handlu scentralizowanym), czy też uczestnicy rynku komunikują się na zasadzie każdy z każdym (tak dzieje się w handlu rozproszonym). Handel scentralizowany jest stosowany w typowych segmentach rynkowych, gdzie istnieje pewien zarządca (operator rynku) i to do niego spływają oferty kupna i sprzedaży, on też zwraca wyniki rozliczenia do poszczególnych uczestników danego rynku.

W środowiskach scentralizowanych łatwiej jest zadbać o spełnienie dodatkowych ograniczeń (np. ograniczeń sieciowych, technicznych). Odmiennym modelem handlu jest model rozproszony, w którym brak jest wyróżnionego uczestnika, a poszczególni uczestnicy zawierają kontrakty dwu- lub wielostronne. Kontrakty zawierane są bardzo często po pewnych, często złożonych, negocjacjach.

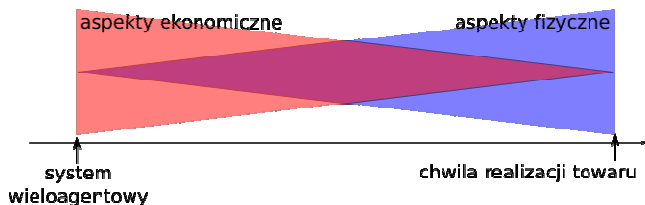
2.2. Kontrakty wielostronne

Najprostszym rodzajem kontraktów zawieranych w środowiskach rozproszonych są kontrakty dwustronne. Należy jednak pamiętać, że gdy rozważamy handel wielotowarowy (np. jednoczesny handel energią elektryczną i usługami systemowymi), kontrakty mogą dotyczyć jednocześnie kilku towarów, ale też kilku dostawców i odbiorców (może także brokerów), nierozzerwalnie związanych pewną strukturą wymiennych towarów.

2.3. Warunki handlu w kontekście procesów rynkowych

Na rynkach energii elektrycznej zachodzą różne procesy rynkowe dotyczące tego samego towaru. Im bliżej chwili rozliczenia, tym bardziej istotne stają się aspekty fizyczne dotyczące towarów, jednostek wytwórczych, zaś zanikają aspekty ekonomiczne (rynk RCR, RDB) [8]. Zaś im dalej do chwili rozliczenia, tym istotniejsze stają się aspekty ekonomiczne, zaś aspekty fizyczne stają się marginalne (giełdy energii, kontrakty długoterminowe). Z umiejscowienia segmentu rynkowego na osi czasu pozostałego do rozli-

czenia wynika sposób jego organizacji. W razie umieszczenia segmentu blisko czasu realizacji towaru, jako że należy brać pod uwagę więcej uwarunkowań fizycznych, konieczne staje się stosowanie segmentów scentralizowanych, na których realizacja ograniczeń fizycznych jest zachowywana. Zaś w przypadku umieszczenia segmentu dalej od czasu realizacji, segmenty mogą mieć strukturę rozproszoną.



Rysunek 1. Zmiana istotnych aspektów dla modelu handlu w zależności od czasu pozostałego do realizacji transakcji

3. SYSTEMY WIELOAGENTOWE

System wieloagentowy jest systemem złożonym z dwóch lub większej liczby autonomicznych agentów, komunikujących się ze sobą i dążących do realizacji własnych celów. System powinien realizować pewne cele nadrzędne i funkcjonować zgodnie z intencjami projektanta systemu, przy czym system nie realizuje tych celów bezpośrednio lecz poprzez lokalne cele każdego z agentów oraz ich wzajemne interakcje.

Agent działający w systemie wieloagentowym jest komponentem oprogramowania funkcjonującym w pewnym środowisku, monitorującym to środowisko i zdolnym do reakcji na zmiany w nim zachodzące. Agent często jest definiowany poprzez zbiór cechy, który powinien posiadać. Najważniejsze z tych cech to

- autonomiczność – agent samodzielnie podejmuje decyzje na podstawie obserwowanych zmian w środowisku,
- komunikatywność – agent wchodzi w interakcje z innymi agentami; w odróżnieniu od tradycyjnych komponentów oprogramowania, oprócz wymiany danych, agenci mają zdolności społeczne, np. prowadzenie negocjacji lub współpracę,
- zdolność do adaptacji – agenty dynamicznie modyfikują swoje zachowanie, aby osiągnąć ustalone cele.

Do głównych zalety systemów wieloagentowych można zaliczyć:

- elastyczność, odporność – zdolność do dostosowania się systemu do zmieniającej się sytuacji;

- rozszerzalność – zdolność do realizacji nowych funkcji, np. poprzez dodanie nowej funkcjonalności do agenta;
- zdolność od działania w środowisku rozproszonym – agent może działać na różnych platformach, środowiskach;

Agent enkapsuluje zbiór funkcji jakie może realizować analogicznie do mechanizmów enkapsulacji w obiektowych językach programowania. Pojawiają się więc tutaj wszelkie korzyści wynikające z oddzielenia realizowanych przez agenta funkcji od pozostałych elementów systemu i jego implementacji.

Prace [4] i [5] zawiera przegląd zastosowań systemów wieloagentowych w energetyce wraz z bogatą listą cytowań. Obecnie można wyróżnić następujące obszary zastosowań:

- diagnostyka i monitorowania danych – np. podejmowanie przez agenty akcji w przypadku wystąpienia odpowiednich danych, dynamiczne strojenie urządzeń pomiarowych, SWA umożliwia holistyczne spojrzenie na działanie złożonych systemów;
- sterowanie rozproszone polegające na współpracujących agentach jako substytut centralnego sterowania;
- systemy zabezpieczeń, w których każde urządzenie zabezpieczające jest reprezentowane przez agenta, zaś zbiór agentów dąży do zapewnienia bezpieczeństwa całego systemu;
- symulacje, w szczególności symulowanie mechanizmów rynkowych, symulowanie pracy systemu w aspekcie rozwoju sieci przesyłowej;

Systemy wieloagentowe są intensywnie rozwijane w środowiskach naukowych od kilkunastu lat. Uważa się, iż obecny stan rozwój SWA jest na etapie konsumowania prac naukowych w pierwszych praktycznych implementacjach. System IntelliTEAM II, przeznaczony do kontrolowania i automatycznego przywracania pracy systemu dystrybucyjnego, stanowi przykład komercyjnego systemu wieloagentowego.

4. PROJEKTOWANIE SYSTEMÓW WIELOAGENTOWYCH

Podczas projektowania systemu wieloagentowego pojawia się szereg wymagań technicznych. Najważniejsze z nich w kontekście rozważanego zastosowania są omówione poniżej.

4.1. Środowisko agentów

Agenty realizowane jako komponenty oprogramowania muszą zostać osadzone w pewnym środowisku. Rzeczywistym standardem dostarczającym rozwiąza-

nia szkieletowego, w ramach którego agenty mogą funkcjonować, są standardy zdefiniowane przez FIPA (*Foundation of Intelligent Physical Agents*) [1]. FIPA, jako organizacja promująca wykorzystywanie środowisk wieloagentowych, opracowała wiele standardów dotyczących komunikacji międzyagentowej, sprecyzowała akty komunikacyjne (*Communicative Acts*), zidentyfikowała i zaproponowała pewne schematy wymiany komunikatów. Głównym szkieletem standardu jest modelu referencyjny *Agent Management Reference*. W modelu tym każdy agent jest osadzony na pewnej standaryzowanej platformie, która dostarcza główny system komunikacji agentów. Na takiej platformie musi funkcjonować wyróżniony agent AMS (*agent management service*) który zarządza rejestrem wszystkich agentów działających w ramach tej platformy. Dodatkowo może zostać zdefiniowany agent DF (*directory facilitator*), który udostępnia pozostałym agentom informacje o istnieniu innych agentów oraz o usługach przez nie świadczonych.

4.2. Język komunikacji

Język komunikacji agentów definiuje w jaki sposób agenty wymieniają informacje i prowadzą negocjacje. Standardy FIPA określają sposób interakcji agentów, a więc określają w jaki sposób agenty przekazują między sobą komunikaty. W ramach interakcji przekazywana jest pewna zawartość komunikatu, która wymaga zdefiniowania przez projektanta SWA. Sposób interpretacji komunikatu jest zdefiniowany przez dwa elementy: język i ontologię użyte do przekazania informacji. Język określa składnię zawartości komunikatu, natomiast ontologia definiuje semantykę, a więc nadaje znaczenie składowym zawartości komunikatu. FIPA proponuje cztery języki, jednak żaden z nich nie umożliwia modelowania danych na potrzeby handlu energią elektryczną w sposób dostatecznie otwarty. Dlatego konieczne jest wykorzystanie w tym obszarze innego standardu danych.

4.3. Standardy danych

Otwartość projektowanego systemu przejawia się m.in. w bogatych możliwościach definiowania towarów, ofert oraz wszelkich elementów informacyjnych wymaganych do prowadzenia negocjacji. Standardem ujmującym w sposób ogólny model danych jest model wymiany wielotowarowej M^3 (Multi-commodity Market Model) [9]. Umożliwienie w systemie handlu wieloma towarami, poprzez bogate możliwości ofertowania jednocześnie dla różnych segmentów rynku (kontraktów bilateralnych, giełdy, rynku bilansującego) jest obecnie możliwe dzięki otwartości oferowanej przez model M^3 .

4.4. Bezpieczeństwo

Ważnym aspektem wymiany informacji handlowych jest zachowanie ich poufności. Wiąże się to z proble-

matyką podsłuchiwania komunikatów, podszywania się pod inne podmioty, weryfikacji wiarygodności podmiotów. Ze względu na złożoność tego zagadnienia, nie jest ono dyskutowane w niniejszej pracy.

4.5. Elastyczne modelowanie ofert

Zarówno w ramach negocjacji kontraktów bilateralnych jak i w ramach szerokiego spektrum zorganizowanych platform obrotu, oferty mogą przyjmować różną postać. Postać ofert ewoluuje wraz z ewolucją rynku, rozwojem rozwiązań oraz rozwojem świadomości i wymagań uczestników. Dlatego istotne jest, aby system posiadał możliwość wyrażania szerokiego spektrum możliwych form ofert. Cel ten może zostać osiągnięty dzięki modelowi ofert zastosowanemu w M^3 . Standard ten przewiduje oprócz standardowych ofert wyrażanych poprzez oferowany wolumen i cenę ofertową, również te, które umożliwiają oferowanie wiązek towarów (np. energii w okresach wielogodzinnych), a także wymuszających uwzględnienie dodatkowych ograniczeń (np. elastyczna oferta magazynowania energii w zasobniku w sieci dystrybucyjnej z uwzględnieniem strat).

5. WIELOAGENTOWA PLATFORMA HANDLU

5.1. Zdefiniowanie wymagań systemu

Wieloagentowa platforma handlu powinna umożliwić efektywną wymianę wielu towarów między uczestnikami, reprezentowanymi przez pewne software agenty. Musi zostać zagwarantowana spójność i jednoznaczność przesyłanych komunikatów (to znaczy komunikat powinien być przez odbiorcę odczytywany tak jak chciał tego nadawca). Platforma powinna umożliwiać prowadzenie przez agenty negocjacji wielostronnych.

5.2. Agenty i ich zadania

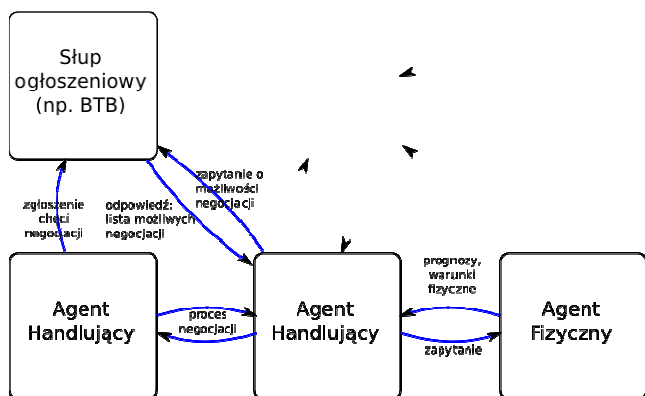
Podstawowym typem agenta będzie Agent Handlujący (AH). Będzie on bytem pośredniczącym pomiędzy rzeczywistym decydem (np. spółką obrotu, elektrownią, odbiorcą energii itd.) a systemem wieloagentowym. Jego zadaniem będzie zawieranie najbardziej korzystnych (z punktu widzenia podmiotu, którego reprezentuje) kontraktów, poprzedzone procesami negocjacji. Negocjacje przeprowadzane będą zgodnie z zaimplementowanymi strategiami. Zakładamy, iż rola Agent Handlującego może zostać rozszerzona o rolę Brokera (pośrednika handlu), który jednocześnie sprzedaje i kupuje towary, czerpiąc z tego zyski.

Aby zapewnić możliwość komunikacji między poszczególnymi Agentami Handlującymi, należy zapewnić istnienie pewnego agenta, który będzie pełnił rolę repozytorium, przechowującego informacje o lokalizacji AH. Repozytorium to będzie zawierało, w najprostszym wypadku, adresy URI poszczególnych

agentów. Agent pełniący taką rolę będzie nosił nazwę Brokera Transakcji Bilateralnych (BTB). W modelu M³, rolę repozytoriów w handlu rozproszonym pełnią tzw. „słupy ogłoszeniowe”. Tak więc, Broker Transakcji Bilateralnych może być implementowany z funkcjonalnościami słupa ogłoszeniowego. Zakłada się także, że w ogólnym przypadku, słupów ogłoszeniowych może być wiele, tak więc może też być wiele instancji BTB.

5.3. Przepływ danych między agentami

Agenty istniejące na danej platformie rynkowej wymieniają pewne dane. Są to przede wszystkim propozycje ofert tworzące procesy negocjacji. Aby agent mógł rozpocząć negocjacje powinien zgłosić chęć ich prowadzenia, bądź też wysłać zapytanie o aktualnie toczące się negocjacje do agenta BTB. Inne wymieniane informacje dotyczą prognoz popytu, podaży, warunków fizycznych.



Rysunek 2 Przepływ informacji między agentami (szarym kolorem zaznaczono potencjalne rozszerzenia systemu)

5.4. Modelowanie interakcji agentów

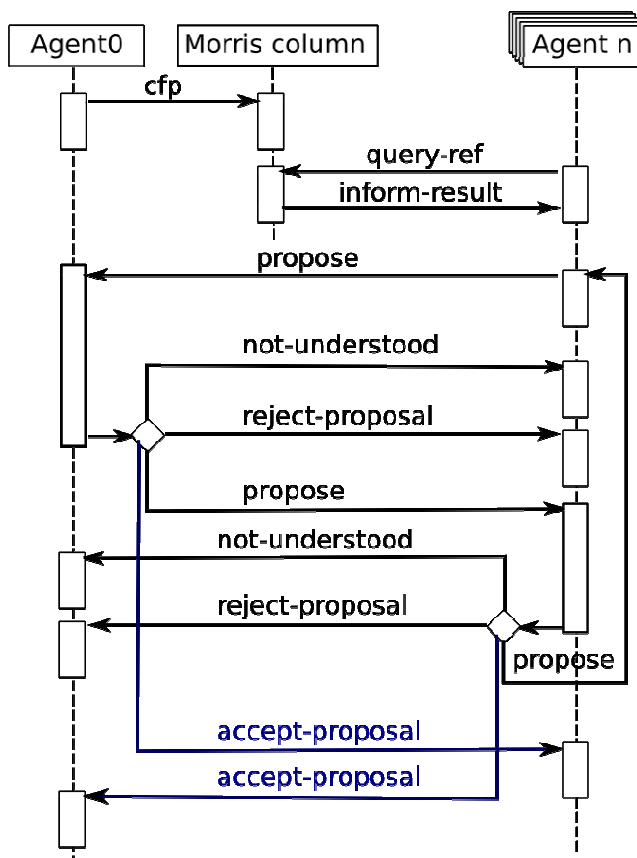
Na rysunku 2 szarym kolorem zaznaczono agenty realizujące dodatkowe segmenty rynku położone bliżej chwili rozliczenia – kiedy uwzględnione są ograniczenia fizyczne poszczególnych jednostek wytwórczych lub sieci przesyłowej, konieczne jest dobilansowanie centralne rynku.

FIPA zebrała typowe schematy komunikacji i nazwała je protokołami. Najbardziej złożonym z protokołów komunikacji występujących w naszej platformie jest protokół służący do wymiany propozycji ofert składanych przez negocjujące agenty. W standardach FIPA, protokół służący do obsługi takiej sytuacji nosi nazwę *Iterated Contract Net Interaction Protocol* [1]. W pracy [7] autorzy dokonali analizy możliwości zastosowania tego protokołu w wielotowarowych środowiskach rozproszonych, a następnie przedstawili jego modyfikacje. Modyfikacje dotyczyły przede wszystkim uproszczeń, jakie przyjęte są w standardzie FIPA, a które należy koniecznie rozważyć ze względu na specyfikę środowiska roz-

proszonego, konieczność zatwierdzania dwufazowego (pojedynczy agent może uczestniczyć jednocześnie w wielu negocjacjach i może zerwać część z nich nawet na chwilę przed zatwierdzeniem. Protokół zatwierdzania dwufazowego rozwiązuje ten problem).

5.4.1. Negocjacje

Zmodyfikowany protokół *Iterated Contract Net Interaction Protocol*, służący do wymiany komunikatów w sytuacji negocjacji jest przedstawiony na rysunku 3.



Rysunek 3 Protokół służący do wymiany komunikatów w trakcie negocjacji

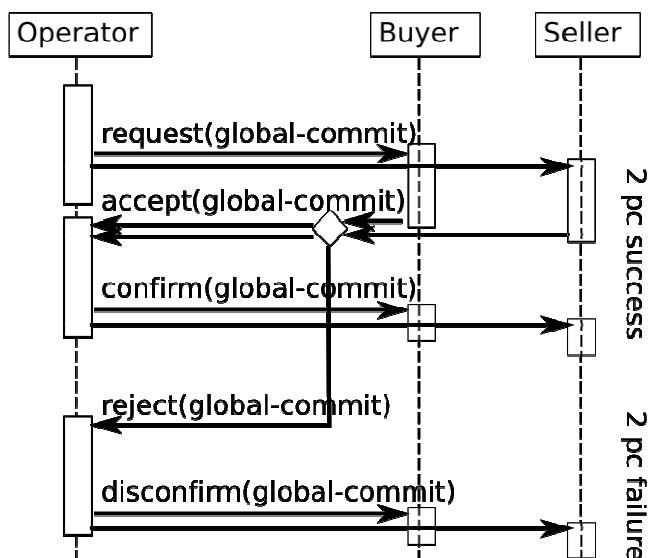
Rozpoczęcie negocjacji polega na rozgłoszeniu przez AH chęci rozpoczęcia negocjacji. Rozgłoszenie polega na umieszczeniu komunikatu cfp (call for proposals) na słupie ogłoszeniowym (jednym lub więcej BTB). Komunikat ten zawiera wszystkie potrzebne informacje o przedmiocie negocjacji (opis towaru/towarów, specyfikacja czy dany towar będzie sprzedawany czy kupowany, okno czasowe przeznaczone na składanie propozycji itd.). Inne agenty, chcące odczytać „ogłoszenie”, zgłaszają się do wybranych przez nich słupów ogłoszeniowych i mają możliwość przeglądania komunikatów. Dokonują tego poprzez wysłanie do agenta BTB komunikatu query-ref (zapytanie o pewien obiekt – wyspecyfikowanego agenta zgłaszającego chęć negocjacji). W odpowiedzi na to otrzymują komunikat inform-result, zawierający listę obiektów zgadzających się z poda-

nym przez nie wzorcem obiektu (w szczególności otrzymują identyfikator URI naszego agenta).

Następnie następuje kilkukrotne wysłanie komunikatu propose (w którym zawarta jest propozycja oferty), naprzemiennie przez negocjujące agenty. Negocjacje mogą zostać zarzucone przez jednego z agentów przez wysłanie komunikatu reject-proposal. Propozycja może zostać niezrozumiana, może także zawierać błędy, wówczas wysyłany jest komunikat not-understood. W końcu każdy z agentów może zakończyć negocjacje, akceptując ofertę partnera – wysyłając komunikat accept-proposal.

5.4.2. Zatwierdzanie dwufazowe

Następnie konieczny jest protokół zatwierdzania dwufazowego, gdyż każdy agent może uczestniczyć jednocześnie w wielu negocjacjach i w każdej chwili może trafić na lepsze rozwiązanie, co powoduje wycofanie się z prawie zakończonej, ale mniej korzystnej transakcji.



Rysunek 4 Protokół zatwierdzania dwufazowego

W procesach komunikacyjnych modelu M^3 zatwierdzanie dwufazowe odpowiada za bezpieczne zakończenie transakcji, jest więc niezbędnym elementem komunikacji [3]. W standardach FIPA brak jest zdefiniowanego protokołu zatwierdzania dwufazowego. Jednakże standardy FIPA są na tyle elastyczne, że można za pomocą istniejących aktów komunikacyj-

nych zdefiniować protokół odpowiadający za zatwierdzanie dwufazowe [6].

Inicjujący protokół zatwierdzania dwufazowego wysła do wszystkich agentów, którzy brali udział w negocjacjach komunikat request(global-commit). Agenty, które otrzymują taki komunikat, mają skończony czas na: odpowiedź pozytywną accept(global-commit), jeśli zgadzają się na zatwierdzenie transakcji, bądź na odpowiedź negatywną reject(global-commit) jeśli agent podjął decyzję o odrzuceniu transakcji.

Jeśli inicjator otrzyma (w określonym czasie) od wszystkich agentów odpowiedź pozytywną, wówczas transakcja jest zatwierdzana – agent inicjujący rozsyła do wszystkich agentów uczestniczących w handlu komunikat confirm(global-commit). Oznacza to, że transakcja została ostatecznie zawarta. Jeśli zaś choć jeden z agentów odmówi akceptacji transakcji (komunikat reject(global-commit)), bądź jeśli choć jeden z agentów nie odpowie w określonym czasie na komunikat request(global-commit), wówczas transakcja nie zostanie zatwierdzona – agent inicjujący rozsyła do wszystkich agentów komunikat disconfirm(global-commit), który oznacza, że transakcja nie została poprawnie zatwierdzona i jej skutki muszą być wycofane u wszystkich agentów.

6. PODSUMOWANIE

Opracowanie wieloagentowej platformy umożliwiającej prowadzenie działań handlowych przez autonomicznych agentów umożliwiłoby podmiotom na zwiększenie efektywności procesów handlowych. Aby implementacja takiego systemu była możliwa, należy rozwiązać szereg problemów koncepcyjnych i technicznych. W referacie przedstawiono najważniejsze problemy koncepcyjne i sposoby ich rozwiązania prowadzące do systemu otwartego, gotowego do zastosowania w szerokim spektrum możliwych implementacji procesów handlowych, od handlu rozproszonego po rozwiązania scentralizowane. Wskazano również rozwiązania i standardy techniczne, powstałe w środowiskach naukowych, gotowe do przenoszenia na grunt praktycznych rozwiązań.

LITERATURA

- [1] Foundation for Intelligent Physical Agents, <http://fipa.org/>
- [2] Kacprzak P., Kaleta M., Pałka P., Smolira K., Toczyłowski E., Traczyk T.: Model komunikacji dla M^3 – Otwartego modelu obrotu wielotowarowego, II Krajowa Konferencja Naukowa Technologie Przetwarzania Danych, ss. 139-150. Poznań, wrzesień 2007

- [3] Kacprzak P., Kaleta M., Pałka P., Smolira K., Toczyłowski E., Traczyk T.: Modeling distributed multilateral markets using Multi-commodity Market Model. W książce: Information Systems Architecture and Technology: Decision Making Models. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2007, ss. 15-20.
- [4] McArthur S., Davidson E., Catterson V., Dimeas A., Hatziagyriou N., Ponci F., Funabashi T.: Multi-Agent Systems for Power Engineering Applications – Part I: Concepts, Approaches and technical Challenges, IEEE Trans. on Power Systems, vol. 22, no. 4, pp. 1743-1752, 2007.
- [5] McArthur S., Davidson E., Catterson V., Dimeas A., Hatziagyriou N., Ponci F., Funabashi T.: Multi-Agent Systems for Power Engineering Applications – Part II: Technologies, Standards and Tools for Building Multi-agent Systems, IEEE Trans. on Power Systems, vol. 22, no. 4, pp. 1753-1759, 2007.
- [6] Nimis J., Lockemann P. C.: Robust Multi-Agent Systems The Transactional Conversation Approach, SASE-MAS'04 – Third International Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, New York, 2004.
- [7] Pałka P., Kaleta M., Toczyłowski E., Traczyk T. : Wykorzystanie standardu FIPA na potrzeby M³ – otwartego modelu wymiany wielotowarowej, referat zgłoszony na konferencję BDAS'09
- [8] Toczyłowski E.: *Optymalizacja procesów rynkowych przy ograniczeniach*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2002.
- [9] <http://www.openM3.org> – strona domowa standardu M³.

MULTI-AGENT-PLATFORM FOR TRADING IN A DISTRIBUTED NETWORKS

Key words: Multi-Agent system, local energy market, contract negotiations

Summary. Trading processes on electrical energy markets, related to negotiations and bidding, are specific. Their particular properties make automation of trade processes desirable. Multi-agent systems are natural framework for automation task in environment where many entities possess their own objectives. In the paper we consider the concept of multi-agent platform for trading on local electrical energy markets, e.g. in distribution networks. In our multi-agent market model, an agent is a software component which is able to take autonomous actions and conduct negotiations. However, trading processes can be performed in different circumstances and may take different forms. For instance, they can be related to bilateral negotiations in distributed environment, or may have more formalized conditions imposed by the energy exchange. We consider several important aspects of implementing multi-agent systems for trade automation. These include organizing the multi-agent environment, agents communication schemes, information interchange, and modeling offers in an expressive way. In the case of distributed trading, other aspects are discussed: how to find contracting parties and their offers. The concept and information technologies, presented in the paper, are the basis for building the decision support systems.

Mariusz Kaleta, adiunkt w IAiIS, specjalność: badania operacyjne, informatyczne systemy zarządzania, projektowanie mechanizmów rynkowych, e-mail: mkaleta@ia.pw.edu.pl

Piotr Pałka, doktorant w IAiIS, specjalność: zgodność motywacji w mechanizmach rynkowych, rynki energii elektrycznej, e-mail: P.Palka@ia.pw.edu.pl

Eugeniusz Toczyłowski, profesor, Kierownik Zakładu Badań Operacyjnych i Systemów Zarządzania w IAiIS PW, specjalność: badania operacyjne i systemowe, metody strukturalne optymalizacji, informatyczne systemy zarządzania, projektowanie konkurencyjnych i efektywnych mechanizmów rynkowych, e-mail: E.Toczyłowski@ia.pw.edu.pl