

Mariusz KALETA, Piotr PAŁKA, Eugeniusz TOCZYŁOWSKI, Tomasz TRACZYK
Politechnika Warszawska, Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej

WYKORZYSTANIE MODELU M^3 W IMPLEMENTACJI WIELO-AGENTOWEJ PLATFORMY WYMIANY WIELOTOWAROWEJ W ŚRODOWISKU AIMMS¹

Streszczenie. W rozdziale przedstawiono zastosowanie modelu M^3 (*Multi-commodity Market Model*) w projekcie i implementacji platformy wymiany wielotowarowej. Zrealizowano ją jako system wieloagentowy, w którym poszczególne agenty reprezentują pojedyncze podmioty rynkowe bądź ich grupy. Platforma ta została zaimplementowana w środowisku AIMMS.

Słowa kluczowe: systemy wieloagentowe, rynki wielotowarowe, negocjacje, handel wielostronny, AIMMS

APPLICATION OF THE M^3 MODEL FOR IMPLEMENTATION OF MULTICOMMODITY TRADE PLATFORM IN AIMMS ENVIRONMENT

Summary. The chapter presents an application of the M^3 (*Multi-commodity Market Model*) model in an open platform for multi-commodity exchange. It is implemented as a multi-agent system in which individual agents represent individual market entities, or their groups. The platform has been implemented in AIMMS environment.

Keywords: multi-agent systems, multi-commodity markets, negotiations, multi-lateral trade, AIMMS

¹ Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009-2011 jako projekt badawczy nr N N516 375736.

1. Wstęp

Procesy rynkowe mogą być modelowane jako pewna gra toczona pomiędzy uczestnikami rynku. Z informatycznego punktu widzenia, poszczególni uczestnicy rynku mogą być rozpatrywani jako pewne autonomiczne byty, kierujące się własnymi interesami. Byty te, powodowane chęcią osiągnięcia zysków z wymiany towarów, wchodzą w interakcje z innymi uczestnikami rynku. Z kolei instytucje rynkowe stwarzają uczestnikom odpowiednie warunki handlu ustalając reguły, zgodnie z którymi są prowadzone procesy rynkowe.

Informacyjny model systemu rynkowego jest zbliżony do definicji systemu wieloagentowego z agentami programowymi [12]. W pracy [6] pokazano, że automatyzacja pewnych procesów związanych z wymianą handlową jest realna i może być atrakcyjna. Tak więc zasadne jest rozpatrywanie implementacji platformy handlu jako systemu wieloagentowego. Na takiej platformie handlują agenty w imieniu reprezentowanych przez nie podmiotów. Agenty te mogą postępować zgodnie ze strategiami zaprogramowanymi przez projektantów. W takim przypadku naturalnym podejściem do automatyzacji procesu handlowego jest zastosowanie znanych standardów systemów wieloagentowych.

W pracy [5] zaproponowano model danych i komunikacji M^3 (*Multi-commodity Market Model*) umożliwiający budowę otwartych, elastycznych systemów wymiany handlowej. W niniejszej pracy pokazujemy na przykładzie implementacji w środowisku AIMMS, iż możliwe jest zbudowanie takiego systemu. Celem drugorzędym pracy jest również ocena środowiska wieloagentowego oferowanego przez pakiet AIMMS w kontekście zastosowań w handlu wielotowarowym.

2. Opis używanych narzędzi i standardów

Standard M^3 [5, 11] jest zbiorem formalnych modeli danych, stworzonym jako podstawa systemu wymiany danych opartego na języku XML. Umożliwia on standaryzację komunikacji pomiędzy uczestnikami tego samego segmentu rynkowego oraz łatwy przepływ informacji między różnymi segmentami rynków. Wymiana handlowa, prowadzona w danym segmencie rynkowym, może być dokonywana za pośrednictwem pewnych agentów. Model M^3 pozwala realizować wiele różnych sposobów wymiany towarów – poza prostym przypadkiem rynku aukcyjnego oraz giełdy scentralizowanej także rynki rozproszone oraz oparte na negocjacjach rynki kontraktów bi- i multilateralnych. W ramach standardu M^3 został opracowany język opisu danych rynkowych M3-XML, będący dialektem XML.

FIPA (*Foundation of Intelligent Physical Agents*) [3] jest organizacją promującą wykorzystywanie środowisk wieloagentowych. Opracowała ona wiele standardów dotyczących komunikacji międzyagentowej, sprecyzowała akty komunikacyjne² (*Communicative Acts*), zidentyfikowała i zaproponowała pewne schematy wymiany komunikatów³ (*Interaction Protocols*). Zgodnie ze standardami FIPA, każdy agent jest osadzony na pewnej standaryzowanej platformie, która dostarcza środki do komunikacji agentów.

Środowisko AIMMS (*Advanced Integrated Multidimensional Modeling Software*) [2] oferuje zestaw narzędzi optymalizacyjnych, dzięki którym możliwa jest realizacja mechanizmów bilansowania na różnych segmentów rynkowych w formie matematycznych modeli optymalizacyjnych. AIMMS oferuje również wsparcie dla budowy środowisk wieloagentowych. Środowisko to zapewnia także narzędzia ułatwiające import i eksport danych zapisanych w języku XML. Dzięki temu możliwe jest wczytanie do środowiska AIMMS danych zapisanych za pomocą dialektu M3-XML, a także wyeksportowanie wyników działania z AIMMS do formatu zgodnego z M3-XML.

Środowisko AIMMS umożliwia elastyczną implementację wielotowarowych mechanizmów obrotu, pozwalając na integrację pakietów optymalizacyjnych, elastycznego języka modelowania oraz języka wysokiego poziomu operującego bezpośrednio na elementach i danych problemów optymalizacji. Środowisko AIMMS jednocześnie zawiera zintegrowane narzędzia do tworzenia interfejsu użytkownika, np. do prezentacji zasobów sieci Teleinformatycznej w postaci wizualnej reprezentacji grafowej w przypadku platformy handlu zasobami sieci teleinformatycznej (np. przepustowościami poszczególnych połączeń) bądź też do wizualnej prezentacji sieci przesyłowej energii elektrycznej na potrzeby rynku energii elektrycznej. Możliwość integracji wymienionych elementów w środowisku wieloagentowym czyni AIMMS dobrym rozwiązaniem na potrzeby implementacji wieloagentowej platformy wymiany towarów.

3. Implementacja wieloagentowej platformy handlu w środowisku AIMMS

System wieloagentowy [12] jest systemem złożonym z wielu autonomicznych agentów programowych, które komunikują się między sobą i dążą do realizacji indywidualnych celów podmiotów, które reprezentują. System wieloagentowy powinien realizować pewne cele nadrzędne i funkcjonować zgodnie z intencjami projektanta, przy czym system jako całość nie

² Akt komunikacyjny stanowi przekaz pewnej treści kierowany od nadawcy do odbiorcy.

³ Schemat wymiany komunikatów to ustalony schemat przebiegu aktów komunikacyjnych pomiędzy pewną liczbą komunikujących się agentów, prowadzący do określonego wyniku (np. zawarcie kontraktu na wymianę towarów).

realizuje tych celów bezpośrednio, lecz poprzez indywidualne cele każdego z agentów oraz ich wzajemne interakcje. Projektowana przez nas wieloagentowa platforma handlu wielotowarowego powinna zawierać następujące elementy:

- Agenty będące reprezentacją rzeczywistych podmiotów rynkowych.
- Środowisko wieloagentowe, w którym będą funkcjonować powyższe agenty. W niniejszej pracy proponujemy implementację tego środowiska w AIMMS.
- Mechanizmy komunikacji, które powinny opierać się na pewnych ogólnie przyjętych standardach. Dobrym przykładem takich standardów są opracowane przez FIPA modele komunikacji [3]. W pracy [8] przeprowadzona została analiza, której wynikiem było wzbogacenie standardów FIPA o elementy wielotowarowe, zgodnie z modelem M^3 .
- Model ofertowania, pozwalający na elastyczne składanie ofert. Do zapisu ofert proponujemy użyć modelu M^3 i notacji M3-XML [11].
- Mechanizm rynkowy, który określa reguły handlu na danej platformie. W niniejszej pracy nie zajmujemy się tym aspektem zakładając, że odpowiednie mechanizmy mogą zostać zaimplementowane z wykorzystaniem standardów M^3 .

Przedstawiona zostanie implementacja wieloagentowej platformy obrotu za pomocą narzędzi wieloagentowych środowiska AIMMS. Platforma ta będzie zawierała elementy handlu wielotowarowego, zaproponowane w modelu M^3 .

3.1. Agenty

Podstawowym typem agenta jest Agent Handlujący. Jest on pośrednikiem pomiędzy rzeczywistym decydentem a systemem wieloagentowym. Jego zadaniem jest zawieranie najbardziej korzystnych kontraktów (z punktu widzenia podmiotu, który reprezentuje). Aby zawrzeć kontrakt, agent składa pewną ofertę kupna/sprzedaży, w której zawiera swoje oczekiwania dotyczące dóbr, które chce kupić bądź sprzedać. Należy pamiętać, że agent handlujący, którego celem jest maksymalizacja swoich dochodów, może składać oferty zgodnie z pewnymi strategiami, zaimplementowanymi przez projektanta.

W handlu scentralizowanym (na którym skupimy uwagę w niniejszej pracy), musi istnieć wyróżniony agent pełniący funkcję centralnego podmiotu (zwanego często operatorem rynku), który zbiera oferty pozostałych agentów, a następnie, korzystając z pewnego mechanizmu rynkowego, dokonuje analizy ofert, dzieli je na przyjęte i odrzucone, wyznacza ceny dla każdego z agentów handlujących, a następnie rozsyła do nich wyniki rozliczenia.

Strategie, zgodnie z którymi postępują poszczególne agenty, zależą przede wszystkim od wiedzy, jaką dany agent posiada. Wiedza ta, po pierwsze, dotyczy mechanizmów, zgodnie z którymi dokonywane jest rozliczenie (np. czy to jest aukcja angielska, czy aukcja drugiej ceny), a po drugie, dotyczy pozostałych agentów. Wiedza na temat pozostałych agentów jest

związana przede wszystkim z prywatnymi preferencjami agentów. Kiedy wiedza danego agenta jest pełna, posiada on kompletną informację o prywatnych preferencjach pozostałych agentów, o aktualnie zgłaszanych przez nie ofertach oraz o strategiach, zgodnie z którymi postępują. Wiedza agenta może być jednak niepełna, wówczas może znać on jedynie rozkłady statystyczne (w najprostszym wypadku może to być rozkład równomierny) dotyczące powyższych informacji. Implementacja agentów, a więc przede wszystkim ich strategii działania, w środowisku AIMMS jest możliwa za pomocą języka obiektowego, który to środowisko udostępnia.

3.2. Środowisko wieloagentowe

Agenty realizowane jako komponenty oprogramowania muszą zostać osadzone w pewnym środowisku wieloagentowym, które umożliwi im komunikację. AIMMS oferuje możliwość implementacji i tej części środowiska wieloagentowego, co wykorzystano do zaimplementowania wieloagentowej platformy obrotu.

W środowisku AIMMS jest tworzona tzw. kolejka komunikatów (identyfikowana ciągiem znaków), do której kierowane są komunikaty wysyłane przez agentów. Kolejka komunikatów realizuje przesyłanie komunikatów do adresatów. Dzięki takiej konstrukcji możliwa jest realizacja zarówno systemu wieloagentowego rozproszonego, jak i scentralizowanego. Ponadto można wyobrazić sobie sytuację, kiedy pojedynczy agent łączy się do jednej kolejki komunikatów, a następnie do innej. Takie scenariusze były rozpatrywane w pracy [4].

Różne rodzaje agentów są odwzorowywane w środowisku AIMMS poprzez role agentów. Środowisko AIMMS, niestety, nie implementuje standardów FIPA. Jednak dzięki możliwości definiowania typów wiadomości (*Message Types*) istnieje możliwość implementacji sekwencji komunikacji w sposób zgodny z propozycjami standardów FIPA. Poszczególne akty komunikacyjne w standardach FIPA są mapowane na typy wiadomości w środowisku AIMMS. AIMMS wymusza przypisanie operacji wysłania oraz odbierania poszczególnych komunikatów do poszczególnych agentów. Po konfiguracji dotyczącej wymienianych komunikatów, system AIMMS tworzy automatycznie szkielety metod wysyłania i odbierania wszystkich komunikatów w poszczególnych, przypisanych do tego fragmentach kodu odpowiedzialnego za funkcjonowanie agentów. Język obiektowy systemu AIMMS umożliwia oprogramowanie agentów, czyli strategii ich zachowania.

Ważną cechą środowiska AIMMS jest możliwość wystawienia interfejsu w języku WSDL (*Web Services Definition Language*) i udostępnienia wybranej funkcjonalności poprzez mechanizm usług sieciowych (*Web services*). Dzięki temu możliwa jest współpraca

systemu wieloagentowego zaimplementowanego w AIMMS z agentami zaimplementowanymi w innych środowiskach programistycznych.

3.3. Standardy komunikacji

Przez standardy komunikacji będziemy rozumieli język komunikacji agentów, czyli:

- zestaw aktów komunikacyjnych,
- schematy wymiany komunikatów,
- język treści komunikatów.

Zakładamy za [8], że będziemy korzystać ze standardów komunikacji zaproponowanych przez FIPA, zmodyfikowanych na potrzeby przeprowadzania handlu wielotowarowego.

AIMMS wymusza implementację poszczególnych aktów komunikacyjnych jako procedury w wewnętrznym języku obiektowym. Komunikacja między agentem pełniącym rolę operatora a agentami handlującymi jest dokonywana na podstawie zmodyfikowanego schematu wymiany komunikatów *Contract Net Interaction Protocol* [8], zaproponowanego w standardach FIPA. Konieczne jest samodzielne oprogramowanie funkcjonalności odpowiadającej za obsługę schematów wymiany komunikatów, gdyż AIMMS nie realizuje implementacji standardów FIPA.

Treść komunikatu w AIMMS składa się z pewnej liczby pól. Każde pole ma przypisany typ (np. liczba, ciąg znaków, element zbioru). W implementacji platformy zakładamy przekazywanie treści komunikatów jako ciągu znaków interpretowanego jako dokument M3-XML. W szczególności przekazywane są fragmenty odpowiadające składanym ofertom. Dzięki mechanizmowi konwersji opisanemu w punkcie 3.5, możliwe jest wczytanie danych z dokumentu M3-XML do struktur danych AIMMS. W ten sposób uzyskujemy elastyczność zastosowania systemu przy ograniczeniu stosowania do klasy problemów rynkowych.

3.4. Model ofertowania

Agenty powinny mieć możliwość elastycznego wyrażania swoich preferencji poprzez pewne sparametryzowane oferty. W ramach szerokiego spektrum zorganizowanych platform obrotu, oferty mogą przyjmować różną postać. Postać ofert ewoluuje wraz z rozwojem rynku, rozwiązań oraz świadomości i wymagań uczestników. Dlatego istotne jest, aby system miał możliwość wyrażania szerokiego spektrum możliwych form ofert. Cel ten może zostać osiągnięty dzięki modelowi ofert zaproponowanemu w M³ [5].

Model 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 uwzględnianie dodatkowych ograni-

czeń (np. elastyczna oferta na sprzedaż energii, uwzględniająca możliwości magazynowania paliwa-biomasy, z uwzględnieniem wydajności procesu).

3.5. Integracja modelu M^3 w platformie AIMMS

W środowisku AIMMS reguły mechanizmu, czyli reguły określające, w jaki sposób dokonać podziału ofert na przyjęte i odrzucone oraz jakie ceny wyznaczyć za poszczególne towary, są formułowane jako problemy optymalizacyjne. Złożone problemy bilansowania rynku mogą być rozwiązywane poprzez oprogramowanie sekwencji elementarnych zadań bilansowania w wewnętrznym języku obiektowym AIMMS. Rozwiązanie to jest bardzo pracochłonne, ale jednocześnie zapewnia potencjalnie dużą elastyczność, tj. szerokie spektrum problemów rynkowych możliwych do zaimplementowania. Każdy z nich (np. rynek dnia bieżącego energii elektrycznej, giełda energii, rynek obrotu zasobami sieci teleinformatycznej) posiada pewne specyficzne warunki działania.

W AIMMS zostały przygotowane procedury obsługujące dokumenty M3-XML. Aplikacja AIMMS umożliwia odczyt oraz zapis danych do plików XML. Jest to możliwe dzięki odwzorowaniu poszczególnych zmiennych, parametrów oraz elementów zbiorów AIMMS na poszczególne elementy i atrybuty pliku XML. Odwzorowanie to zapisywane jest w pliku AXM (*AIMMS XML Mapping file*). Na podstawie plików definicji schematów XSD (*XML Schema Definition*), za pomocą wbudowanego narzędzia *XML Schema Mapping*, można utworzyć plik odwzorowania AXM. Zostały wygenerowane pliki AXM służące zarówno do zapisu, jak i do odczytu danych z/do plików M3-XML.

Zastosowanie procedur odczytu i zapisu danych M3-XML do i z systemu AIMMS wraz z funkcjonalnością rozwiązywania problemów handlu wielotowarowego, spełnia proponowane przez nas w pracy [7] założenia procesora decyzyjno-obliczeniowego dla modelu M^3 .

3.6. Implementacja rozwiązania w systemie AIMMS

Do zaimplementowania wieloagentowej platformy obrotu w środowisku AIMMS wykorzystano moduł AIMMS RPC (*AIMMS Remote Procedure Call*). Implementacja dotyczyła trzech obszarów:

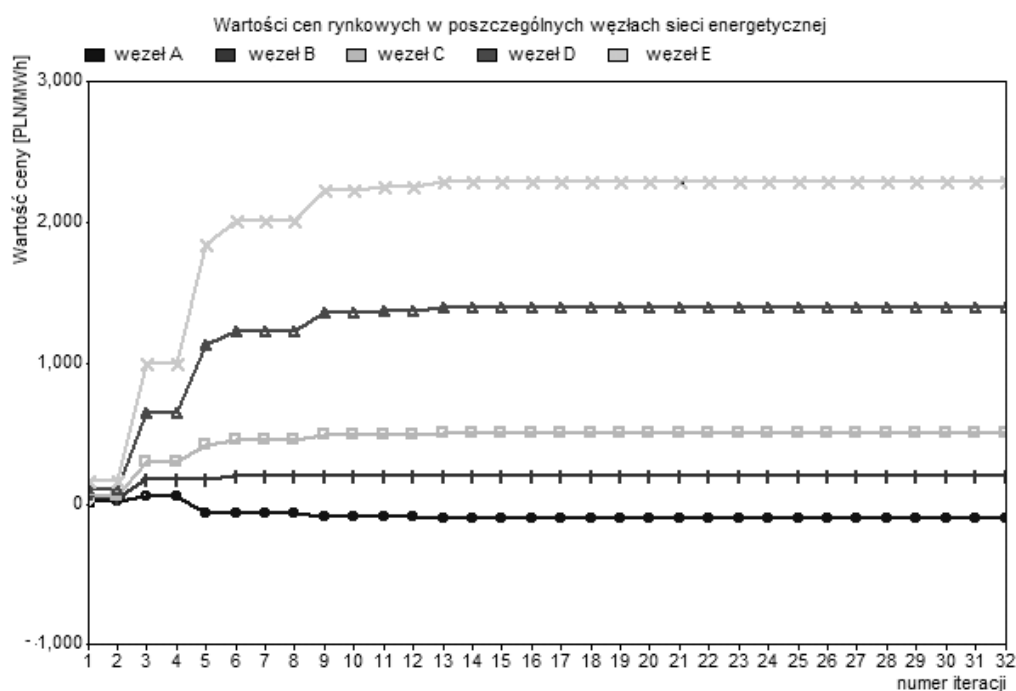
- konfiguracji środowiska wieloagentowego (*Community Setup*),
- konfiguracji ról agentów (*Agent Setup*),
- implementacji mechanizmów rozliczenia.

Dokonano konfiguracji środowiska wieloagentowego przez utworzenie dwóch typów agentów: agenta handlującego oraz agenta operatora. Następnie zdefiniowano wymagane komunikaty (na podstawie wybranych aktów komunikacyjnych FIPA) oraz przypisanie agent-komunikat i oprogramowano schematy przepływu komunikatów, przez co osiągnięto

pewne przybliżenie schematu wymiany komunikatów *Contract Net Interaction Protocol*. Następnie system AIMMS wygenerował szkielety procedur odpowiedzialnych za wysłanie i odebranie poszczególnych komunikatów. Oprogramowano poszczególne komunikaty, a także strategie zachowania poszczególnych agentów. Zaimplementowano zestaw mechanizmów handlu wielotowarowego bez ograniczeń oraz mechanizmu handlu wielotowarowego z ograniczeniami infrastrukturalnymi. W szczególności zaimplementowano mechanizmy dotyczące handlu energią elektryczną na rynku bilansującym.

4. Ewaluacja

Do przeprowadzenia symulacji użyto systemu AIMMS w wersji 3.9 na komputerze Dell model XPS M133 z procesorem Intel® Core™ 2 Duo T8100 2100 GHz. Za pomocą zaimplementowanej platformy handlu przeprowadzono symulację handlu na rynku bilansującym energii elektrycznej, w której uczestniczyło sześciu agentów (w tym pięciu w roli agentów handlujących i jeden w roli operatora rynku). Agenty prowadziły grę w imieniu reprezentowanych przez nie podmiotów (wytwórców i spółek dystrybucyjnych). Przyjęto, że towarem, którym handlują agenty, jest energia w okresach o długości jednej godziny. Agenty dochodzą do rozwiązania w sposób iterowany. Agenty handlujące stosowały uproszczone wersje strategii *Best Response* [1]. Strategia *Best Response* prowadzi do najkorzystniejszego rezultatu z punktu widzenia danego agenta, przy założeniu, że strategię jego przeciwników są znane i ustalone. Autonomiczne agenty, działając w ramach dwóch grup kapitałowych, są umiejscowione w obszarach reprezentowanych przez węzły uproszczonej, pięciowęzłowej sieci przesyłowej. Na rysunku 1 przedstawiono ceny rynkowe w poszczególnych węzłach energetycznej sieci przesyłowej. W wyniku symulacji agenty doszły do pewnego punktu równowagi w czasie równym 15,69 [s]. Wyniki rynkowe symulacji są korzystne dla każdej grupy (pomimo ujemnej ceny w jednym z węzłów – kompensuje ją wysoka cena w innym węźle). Wieloagentowa platforma wymiany towarów umożliwia więc poszczególnym agentom osiągnięcie racjonalnych wyników poprzez ich interakcje oraz dążenie do zaspokojenia ich indywidualnych celów.



Rys. 1. Wyniki przykładowej symulacji – ceny węzłowe

Fig. 1. Sample results of simulation – nodal prices

4.1. Możliwości środowiska wieloagentowego AIMMS

Jeśli chodzi o możliwości systemu AIMMS jako środowiska wieloagentowego, nie jest to rozwiązanie, które zapewnia elastyczną implementację szeroko rozumianych systemów wieloagentowych. Wskazują na to zauważone w poprzednich rozdziałach niedogodności. System wieloagentowy zbudowany w AIMMS ma ograniczone możliwości rozwoju. Chodzi tu przede wszystkim o dodawanie nowych aktów komunikacyjnych. Jest to spowodowane implementacją komunikatów jako procedury. Wymusza to konieczność ponownej generacji szkieletów procedur oraz przebudowania po stronie agentów procedur, które uczestniczą w wymianie danego aktu komunikacyjnego. Ogranicza to możliwości rozszerzania systemu wieloagentowego i powoduje trudności w jego utrzymaniu, zwłaszcza przy wprowadzaniu nowych ról agentów, nowych komunikatów oraz zmianie zawartości komunikatów. Jednak gdy zakładamy przekazywanie w komunikatach fragmentów XML, ograniczenie to staje się mniej istotne, ze względu na przeniesienie ciężaru problemu elastyczności rozwiązania z warstwy komunikacji do warstwy modelu danych. Kolejnym brakiem AIMMS jest konieczność samodzielnego oprogramowania funkcjonalności odpowiadającej za obsługę schematów wymiany komunikatów.

Za stosowaniem AIMMS jako środowiska wieloagentowego przemawiają możliwości systemu do zdalnego podłączania agentów do systemu wieloagentowego na podstawie adresu hosta oraz identyfikatora kolejki komunikatów (można go traktować jako identyfikator systemu wieloagentowego), jak i możliwość realizacji zarówno rozproszonego, jak i scentralizo-

wanego systemu wieloagentowego. Ponadto AIMMS umożliwia wystawienie interfejsu WSDL i komunikację z agentami nie zaimplementowanymi w AIMMS za pomocą usług sieciowych (*Web Services*).

Implementacja specyficznego rodzaju systemu wieloagentowego, jakim jest wieloagentowa platforma wymiany towarów, powoduje, że możliwe jest wykorzystanie elementów modelu M^3 jako języka treści komunikatów. W ten sposób uzyskujemy względną elastyczność zastosowania systemu. Poza tym za implementacją wieloagentowej platformy wymiany towarów w AIMMS przemawia łatwość implementacji mechanizmów rynkowych za pomocą narzędzi optymalizacyjnych AIMMS, a także łatwość implementacji interfejsu użytkownika.

4.2. Ocena wieloagentowej platformy wymiany towarów

Wieloagentowa platforma wymiany towarów składa się z dwóch zasadniczych modułów. Jednym z nich jest sam system wieloagentowy. Drugim modułem jest implementacja szeregu mechanizmów rynkowych, rozwijanych w aktualnym, światowym nurcie prac badawczych. Dzięki szerokiej funkcjonalności systemu AIMMS uzyskano pewien kompromis między dużą elastycznością modelowania mechanizmów i procesów rynkowych a nieco gorszym systemem wieloagentowym. W wyniku uzyskano praktyczne narzędzie, które jest z powodzeniem stosowane w kilku projektach badawczych (np. [10]).

Wieloagentowa platforma wymiany towarów zaimplementowana w środowisku AIMMS jest dobrym rozwiązaniem do prowadzenia prac badawczych oraz na potrzeby budowy prototypu systemu. Platforma może służyć do symulacji procesów rynkowych; dzięki wygodnemu graficznemu interfejsowi użytkownika łatwe jest tworzenie wykresów, tabel przestawnych oraz predefiniowanych okien użytkownika. Ułatwia to znacznie analizę danych. Platforma ta może służyć do badania właściwości, porównywania oraz do projektowania nowych mechanizmów rynkowych.

5. Podsumowanie

W pracy opisano projekt wieloagentowej platformy wymiany towarów. W procesie projektowania wykorzystano światowe standardy (FIPA), zaawansowany model rynku wielotowarowego M^3 oraz doświadczenie zespołu autorów w projektowaniu złożonych mechanizmów rynkowych. Projekt został zaimplementowany w środowisku AIMMS. Do implementacji mechanizmów rynkowych wykorzystano narzędzia optymalizacyjne oraz obiektowy język programowania dostarczony z systemem AIMMS.

AIMMS umożliwia implementację pewnej podklasy systemów wieloagentowych, jakimi są wieloagentowe platformy obrotu. Przemawia za tym względna łatwość implementacji mechanizmów rynkowych za pomocą narzędzi optymalizacyjnych oferowanych przez AIMMS. Bez większych trudności zaimplementowano wieloagentową platformę obrotu, na której przeprowadzono symulację handlu na rynku bilansującym energii elektrycznej. Zaobserwowano, że agenty dążąc do spełnienia własnych celów, dążą także do wyniku pożądanego przez projektanta rynku (czyli do stabilnego punktu równowagi rynkowej).

BIBLIOGRAFIA

1. Airiau S., Sen S., Saha S.: Evolutionary Tournament-based Comparison of Learning and Non-learning Strategies for Iterated Games. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, Vol. 10, 2007.
2. Bisschop J., Roelofs M.: *Aimms – Language Reference*. Lulu.com, 2006.
3. Foundation for Intelligent Physical Agents, <http://fipa.org/>.
4. Kacprzak P., Kaleta M., Pałka P., Smolira K., Toczyłowski E., Traczyk T.: Modeling distributed multilateral markets using Multi-commodity Market Model. *Information Systems Architecture and Technology: Decision Making Models*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007, s. 15÷20.
5. Kacprzak P., Kaleta M., Pałka P., Smolira K., Toczyłowski E., Traczyk T.: M^3 – model danych dla otwartego systemu obrotu wielotowarowego. *Bazy danych. Bezpieczeństwo, wybrane technologie i zastosowania*. WNT, Warszawa 2007, s. 289÷300.
6. Kaleta M., Pałka P., Toczyłowski E.: Wieloagentowa platforma handlu na lokalnym rynku energii elektrycznej. *Rynek Energii*, 2009, No. I (III), s. 16÷22.
7. Kacprzak P., Kaleta M., Pałka P., Smolira K., Toczyłowski E., Traczyk T.: Procesor decyzyjno-obliczeniowy dla rynkowego modelu danych M^3 . *Bazy danych. Rozwój metod i technologii*. WNT, Warszawa 2008, s. 215÷226.
8. Pałka P., Kaleta M., Toczyłowski E., Traczyk T.: Wykorzystanie standardu FIPA na potrzeby M^3 – otwartego modelu wymiany wielotowarowej, *Studia Informatica*, 2009, Vol. 30, No. 2B (84), s. 127÷140.
9. Toczyłowski E.: *Optymalizacja procesów rynkowych przy ograniczeniach*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, wydanie II, Warszawa 2003.
10. Toczyłowski E., Kaleta M., Smolira K., Kacprzak P., Pałka P.: *Opracowanie perspektywicznych rozwiązań w zakresie efektywnego mechanizmu bilansowania z uwzględnieniem wielotowarowego charakteru rynku energii elektrycznej – etap II. Raport IAiIS PW*, 2009.

11. Witryna projektu M3. <http://www.openm3.org/>.
12. Wooldridge M.: Introduction to MultiAgent Systems. John Wiley & Sons, 2001.

Recenzenci: Dr inż. Jacek Frączek

Dr inż. Katarzyna Harężlak

Wpłynął do Redakcji 30 stycznia 2010 r.

Abstract

The chapter describes the application of M^3 (*Multi-commodity Market Model*) model in the multi-agent, multi-commodity trading platform. The implementation of the platform was developed in the AIMMS (*Advanced Integrated Multidimensional Modeling Software*) environment. M^3 is a set of formal data models, which results in XML-derived information interchange specification for standard interfaces for the data flows and integration of market data and processes across various market segments. Trade may be made by, or through, some software agents. AIMMS offers a set of general optimization tools which enabled us to implement various market segments in the form of mathematical models. AIMMS provides also a framework for multi-agent system implementation, which is the basis for multi-agent, multi-commodity trading platform. In the chapter we prove that our data and communication model M^3 , proposed in our previous works, suites well for the of multi-commodity trading platform. We also present an evaluation of the trading platform implemented in AIMMS as the multi-agent system.

Adresy

Mariusz KALETA: Politechnika Warszawska, Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej, ul. Nowowiejska 15/19, 00-665 Warszawa, Polska, M.Kaleta@ia.pw.edu.pl .

Piotr PAŁKA: Politechnika Warszawska, Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej, ul. Nowowiejska 15/19, 00-665 Warszawa, Polska, P.Palka@ia.pw.edu.pl .

Eugeniusz TOCZYŁOWSKI: Politechnika Warszawska, Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej, ul. Nowowiejska 15/19, 00-665 Warszawa, Polska, E.Toczyłowski@ia.pw.edu.pl .

Tomasz TRACZYK: Politechnika Warszawska, Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej, ul. Nowowiejska 15/19, 00-665 Warszawa, Polska, T.Traczyk@ia.pw.edu.pl .