

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

## WYKORZYSTANIE STANDARDU FIPA NA POTRZEBY $M^3$ – OTWARTEGO MODELU WYMIANY WIELOTOWAROWEJ\*

**Streszczenie.** W artykule dokonano analizy protokołów komunikacyjnych zdefiniowanych w standardzie FIPA na potrzeby rozwoju mechanizmów wymiany wielotowarowej. Pokazano jak dostosować te protokoły do potrzeb  $M^3$  (otwartego modelu danych dla handlu wielotowarowego), przy zachowaniu aktów komunikacyjnych standardu FIPA. Przeanalizowano także problem zatwierdzania dwufazowego, co jest ważnym elementem transakcji w modelu  $M^3$ .

**Słowa kluczowe:** systemy wieloagentowe, rynki wielotowarowe, FIPA

## USE OF THE FIPA STANDARD FOR $M^3$ – OPEN MULTI-COMMODITY MARKET MODEL

**Summary.** The paper reports results of analysis of the communication protocols defined in the FIPA standard, in the context of multi-commodity trade. We present how to customize these protocols for the  $M^3$  (open multi-commodity market model), using communicative acts defined in the FIPA standard. Particularly, two-phase commit is considered, which is an important element of transactions in  $M^3$  model.

**Keywords:** multi-agent systems, multi-commodity markets, FIPA

### 1. Wstęp

W ramach standardów organizacji FIPA (*Foundation of Intelligent Physical Agents*) [1] są proponowane standardy organizacji komunikacji w środowisku wieloagentowym. W ramach tych standardów komunikacja jest prowadzona na podstawie tzw. aktów komuni-

---

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

kacyjnych (*Communicative Acts*), stanowiących zestaw wymienianych komunikatów. FIPA definiuje różne protokoły komunikacyjne składające się z aktów komunikacyjnych. W szczególności proponowane są standardy wymiany komunikatów na potrzeby handlu rozumianego jako zawieranie transakcji na rynkach aukcyjnych i giełdach, a także na rynkach kontraktów bilateralnych, gdzie zawarcie kontraktu jest poprzedzone negocjacjami. Z kolei model  $M^3$  (*Multi-commodity Market Model*) jest zbiorem formalnych modeli danych, stworzonym jako podstawa opartego na XML systemu wymiany danych na potrzeby jednoczesnego handlu wieloma towarami, umożliwiającego łatwy przepływ informacji między różnymi segmentami złożonych rynków infrastrukturalnych. Wymiana handlowa prowadzona w danym segmencie rynkowym może być dokonywana za pomocą, bądź za pośrednictwem, pewnych agentów. Ponadto model  $M^3$  oferuje obsługę szerokiego zestawu mechanizmów wymiany towarów: poza prostym przypadkiem rynku aukcyjnego oraz giełdy scentralizowanej, także scentralizowane platformy obrotu wielotowarowego oraz rynki rozproszone oraz oparte na negocjacjach rynki kontraktów bi- i multilateralnych [8].

Środowiska wieloagentowe (np. JADE, ZEUS) dostarczają protokołów wymiany komunikatów między agentami. Standardy FIPA określają zestaw protokołów komunikacyjnych, koniecznych do tego, aby poszczególne agenty mogły prowadzić komunikację, zwłaszcza w kontekście handlu.

Celem opisanego tu działania było dokonanie analizy możliwości utrzymania komunikacji między agentami w ramach standardu FIPA, przy jednoczesnym zachowaniu zalet funkcjonalnych wynikających z zastosowania modelu  $M^3$  w warstwie modelu danych. W tym celu zbadano możliwości prowadzenia komunikacji na potrzeby modelu  $M^3$  w oparciu o standardy FIPA. Sprawdzono również, czy standard FIPA pokrywa wszystkie możliwe typy komunikatów potrzebnych w modelu  $M^3$  w trakcie zawierania transakcji, składania ofert, negocjacji oraz we wszystkich powiązanych procesach komunikacji.

## 2. Model $M^3$

Model  $M^3$  dostarcza bogatych mechanizmów dotyczących wymiany wielotowarowej [7], zwłaszcza dla handlu w sieciach infrastrukturalnych, ale też dla rynków rozproszonych. Wstępna analiza wymiany komunikatów pomiędzy agentami wykorzystującymi model  $M^3$  [8] została przeprowadzona w kontekście multilateralnych rynków rozproszonych [4] oraz w kontekście rynków scentralizowanych [5].

Standard  $M^3$  modeluje systemy obrotu wielotowarowego, które są systemami scentralizowanymi bądź rozproszonymi, w których aktywnie uczestniczą liczne podmioty, pełniące różne role na rynku. Każdy z tych podmiotów wymienia dane z innymi podmiotami oraz prze-

chowuje zarówno dane dotyczące siebie i swoich działań, jak i wybrane dane dotyczące otoczenia.

System obrotu wielotowarowego łączy zatem wiele różnych agentów, które przechowują dane, współdzielą pewne zasoby informacyjne oraz wymieniają między sobą informacje. W systemach giełdowych/aukcyjnych występuje zwykle wyróżniony agent, pełniący rolę jednostki zarządzającej procesami bilansowania systemu. Zatem wymiana danych ma tu strukturę zbliżoną do gwiazdzistej. Jednak w systemach rynkowych, w których zamiast centralnego zarządcy występuje wielu agentów (brokerów) aktywnie wyszukujących oferty i pośredniczących w zawieranych transakcjach, takiej centrali nie ma, a wymiana danych ma strukturę sieciową.

Model danych  $M^3$  jest modelem ogólnym, umożliwiającym wymianę i przetwarzanie danych dotyczących obrotu różnego rodzaju towarami (np. energią elektryczną, przepustowością łącza telekomunikacyjnego, gazem itp.) oraz wiązek towarów wzajemnie związanych. Handel w grupie towarów jest zazwyczaj prowadzony niezależnie w określonych obszarach rynkowych, np. na rynku energii elektrycznej, rynku usług telekomunikacyjnych, rynku papierów wartościowych. Na danym rynku można postrzegać pewne umowne segmenty, związane z asortymentem towarów, obszarem lub mechanizmem bilansowania o określonych cechach. Przykładem segmentu rynkowego może być segment giełdowy handlu usługami telekomunikacyjnymi, segment bilansujący rynku energii elektrycznej, segment handlu uprawnieniami do emisji  $CO_2$  itp. Możliwy jest także handel między poszczególnymi segmentami, co wzbogaca obszar zastosowań modelu.

Zaproponowany model danych  $M^3$  z założenia ogranicza się do jednego (wielotowarowego) segmentu rynku, a dokładniej – do obrazu tego segmentu, modelowanego z punktu widzenia konkretnego podmiotu. Jednak z faktu, że możliwa jest wymiana danych między poszczególnymi segmentami, możliwy jest także handel między nimi (jeśli tylko istnieją podobne towary na poszczególnych segmentach). Projektowany system wymiany danych w szczególności jest przystosowany do komunikacji między systemami (instancjami) reprezentującymi różne obrazy i/lub segmenty rynku.

Model  $M^3$  rozszerza znacznie możliwości standardowych procesów handlowych zawartych w standardach FIPA. Rozszerzenie to dotyczy przede wszystkim możliwości handlu wieloma towarami/usługami jednocześnie, ale również możliwości zawierania kontraktów multilateralnych (czyli między wieloma agentami równocześnie), także na podstawie negocjacji. Oprócz tego, w pracy [5] zostały opisane rynki rozproszone, co stanowi istotne rozszerzenie podstawowego modelu handlu.

### 3. Adaptacja protokołów FIPA do mechanizmów $M^3$

W trakcie komunikacji międzyagentowej można zauważyć pewne typowe schematy przepływu komunikatów. FIPA zebrała te schematy i nazwała je protokołami. Z punktu widzenia projektanta mechanizmów rynkowych, korzystającego z modelu  $M^3$ , interesujące są dwa protokoły: *Contract Net Interaction Protocol* oraz *Iterated Contract Net Interaction Protocol*.

*Contract Net Interaction Protocol* definiuje wymianę komunikatów w handlu scentralizowanym, typu aukcyjnego bądź giełdowego. Istotnym faktem w przypadku tego protokołu jest fakt, iż agent składający ofertę nie zakłada możliwości jej negocjacji.

Naturalnym rozszerzeniem powyższego jest *Iterated Contract Net Interaction Protocol*, który zakłada możliwość negocjacji ofert. Nadaje się on więc do stosowania na rynkach kontraktów negocjowanych.

Przedstawione poniżej protokoły stanowią propozycję rozszerzenia istniejących protokołów FIPA. Oprócz tego przedstawiamy istotny dla modelu  $M^3$  protokół zatwierdzania dwufazowego.

#### 3.1. Zatwierdzanie dwufazowe

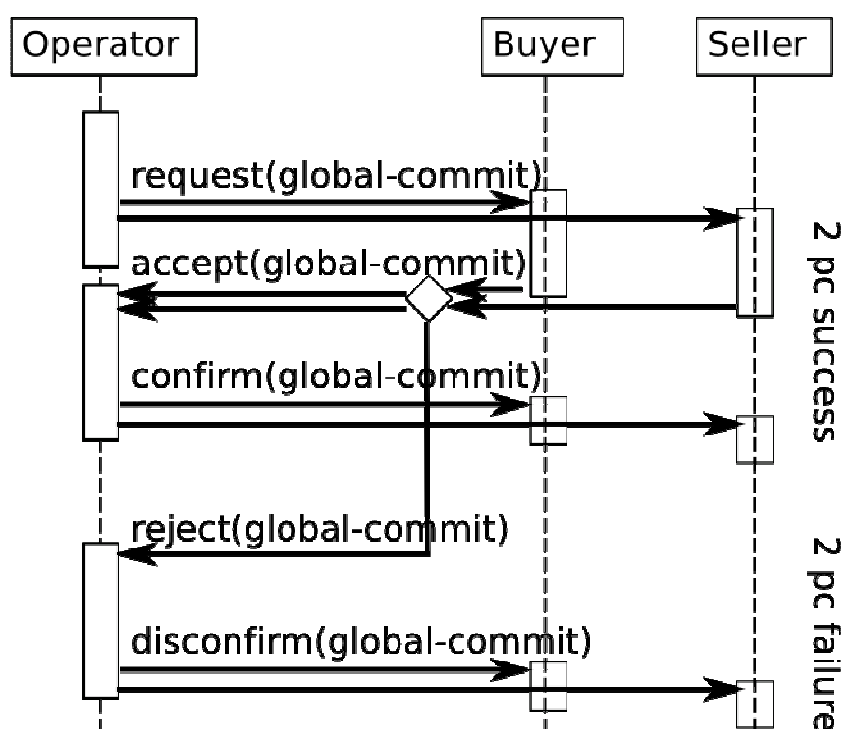
Zasadniczym problemem istniejącym w standardach FIPA jest brak zatwierdzania dwufazowego [1]. W procesach komunikacyjnych modelu  $M^3$  zatwierdzanie dwufazowe odpowiada za bezpieczne zakończenie transakcji. Zatwierdzanie dwufazowe jest tu niezbędnym elementem komunikacji [5].

Brak zdefiniowanego standardu zatwierdzania dwufazowego w protokołach FIPA jest więc istotnym problemem. Standardy FIPA są jednak na tyle elastyczne, że można za pomocą istniejących aktów komunikacyjnych zdefiniować komunikaty odpowiadające za zatwierdzanie dwufazowe [6]. Jednakże autorzy [6] proponują wykorzystanie zatwierdzania dwufazowego jedynie w przypadku zawierania kontraktów bilateralnych. Przyjmuje się, że inicjatorem zatwierdzania dwufazowego jest inicjator negocjacji. Jednakże model  $M^3$  pozwala na dokonywanie transakcji multilateralnych, czyli takich, w których uczestniczy więcej niż dwóch agentów. Tak więc nie można pominąć przypadku inicjowania zatwierdzania dwufazowego przez każdego agenta uczestniczącego w handlu.

Gdy inicjatorem zatwierdzania dwufazowego jest inicjator negocjacji, system posiada proste zasady, jednak jest to przypadek ograniczony. Rozszerzeniem tego założenia jest sytuacja, gdy inicjatorem zatwierdzania dwufazowego może być każdy z uczestników handlu. Wówczas pojawia się problem wyboru inicjatora – aby go wybrać wszystkie agenty muszą zgodzić się na pełnienie tej roli przez jednego z nich. Problem ten jest rozwiązywany przez

algorytm wyboru koordynatora (głosowania) w środowiskach rozproszonych (np. *bully algorithm* [3] lub *ring algorithm* [2]). Tak więc jeśli założymy, że każdy agent może pełnić rolę inicjatora zatwierdzania dwufazowego, przed protokołem zatwierdzania dwufazowym dochodzi protokół wyboru koordynatora, zaś po głosowaniu, następuje właściwy proces zatwierdzania dwufazowego. W niniejszej pracy zostanie pominięty opis protokołów głosowania.

Protokół zatwierdzania dwufazowego w modelu komunikacji M<sup>3</sup> może być stosowany dla więcej niż dwóch agentów. Dla ustalenia uwagi, założmy iż wybrany został agent inicjujący zatwierdzanie dwufazowe.



Rys. 1. Protokół zatwierdzania dwufazowego. *Operator* inicjuje zatwierdzanie poprzez rozesłanie do pozostałych agentów *Buyer* i *Seller* komunikatu `request(global-commit)`

Fig. 2. Two-phase commit protocol. *Operator* initiates commit sending `request(global-commit)` message to agents *Buyer* and *Seller*

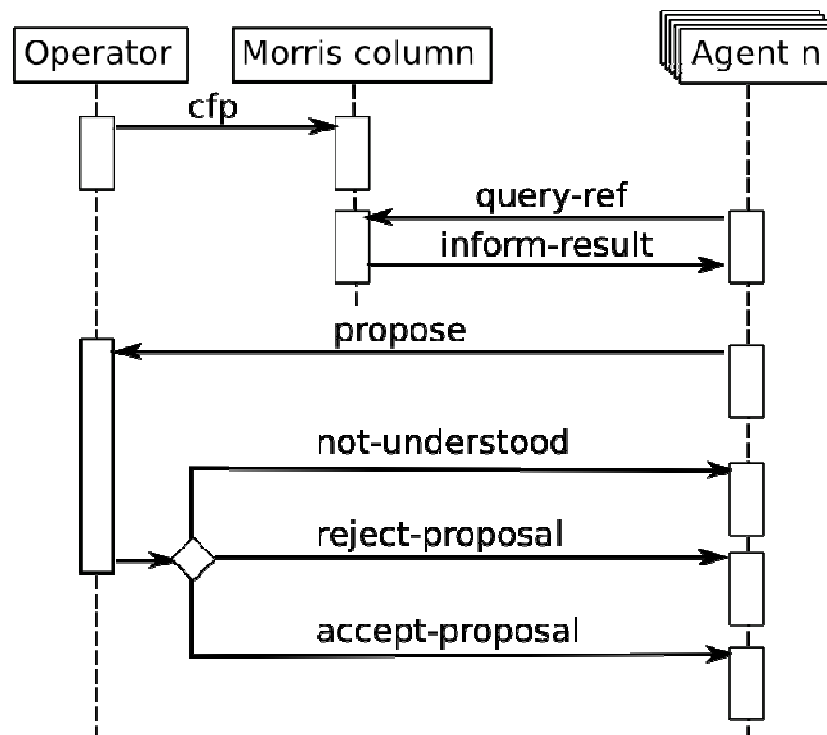
Inicjujący protokół zatwierdzania dwufazowego wysyła do wszystkich agentów, którzy brali udział w handlu (lub w negocjacjach) komunikat `request(global-commit)`. Agenty, które otrzymują taki komunikat, mają skończony czas na odpowiedź pozytywną `accept(global-commit)`, jeśli zgadzają się na zatwierdzenie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

Jeśli inicjator otrzyma od wszystkich agentów odpowiedź pozytywną (w określonym czasie), wówczas transakcja jest zatwierdzana – agent inicjujący rozsyła do wszystkich agentów uczestniczących w handlu komunikat `confirm(global-commit)`. Oznacza to, że ostatecznie

transakcja została 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 inicjatora, 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.

### 3.2. Rynki scentralizowane

Do rozpoczęcia handlu scentralizowanego wymagana jest pewna platforma, na której agenci będą mogli składać oferty zakupu i/lub sprzedaży. Platformę taką tworzy jej operator, ustalający model danego rynku, sposób zawierania transakcji, określający zestaw towarów jakimi prowadzony będzie obrót, sposób rozliczenia, podzielność poszczególnych towarów, ewentualne ograniczenia infrastrukturalne i inne. Operator takiego rynku odpowiada często za zdefiniowanie wszystkich wymaganych słowników (często również ontologii), dopracowania ściśle obowiązującego kalendarza, według którego będzie prowadzony handel.



Rys. 2. Zmodyfikowany *Contract Net Interaction Protocol*

Fig. 2. Modified *Contract Net Interaction Protocol*

Diagram sekwencji przedstawiający zmodyfikowany protokół *Contract Net Interaction Protocol* jest przedstawiony na rys. 2. Operator, chcąc poinformować agentów o istnieniu danej platformy rynkowej, powinien wysłać do wszystkich komunikat *cfp* (*call for proposals*).

Jednakże, operator po pierwsze nie musi znać wszystkich agentów, a po drugie wysłanie komunikatu do wszystkich agentów byłoby, ze względu na potencjalnie ogromną ich liczbę, zadaniem nietrywialnym, a także wprowadzałoby bardzo duży ruch w sieci. W tej sytuacji skorzystać można z pojęcia „słupa ogłoszeniowego” (*Morris column*) [5], który jest pewnym tworem (agentem), pełniącym zadania publicznej lokalizacji, która posiada mechanizmy pozwalające dodawać, usuwać oraz przeglądać oferty. Lokalizacja słupa ogłoszeniowego (czyli adres URI) musi być znana publicznie.

Operator wysyła więc komunikat *cfp* do jednego lub kilku słupów ogłoszeniowych. Komunikat ten zawiera informacje o rozpoczęciu przetargu, aukcji, giełdy itd. Możliwe jest, że komunikat taki jest wysyłany tylko raz – w przypadku systemu notowań ciągłych.

Założmy, iż pewna liczba agentów zainteresowała się handlem na danej platformie, o której istnieniu dowiedziały się wysyłając do słupa ogłoszeniowego komunikat *query-ref*. Odpowiada on złożeniu zapytania o pewien obiekt, którego wzorzec podawany jest w zapytaniu – tak więc agenty, zainteresowane obiektem typu aukcja, wysyłały różne reprezentacje wzorca tego obiektu. W odpowiedzi na zapytanie *query-ref*, słup ogłoszeniowy w komunikacie *inform-result* odsyła wszystkie obiekty pasujące do wzorca.

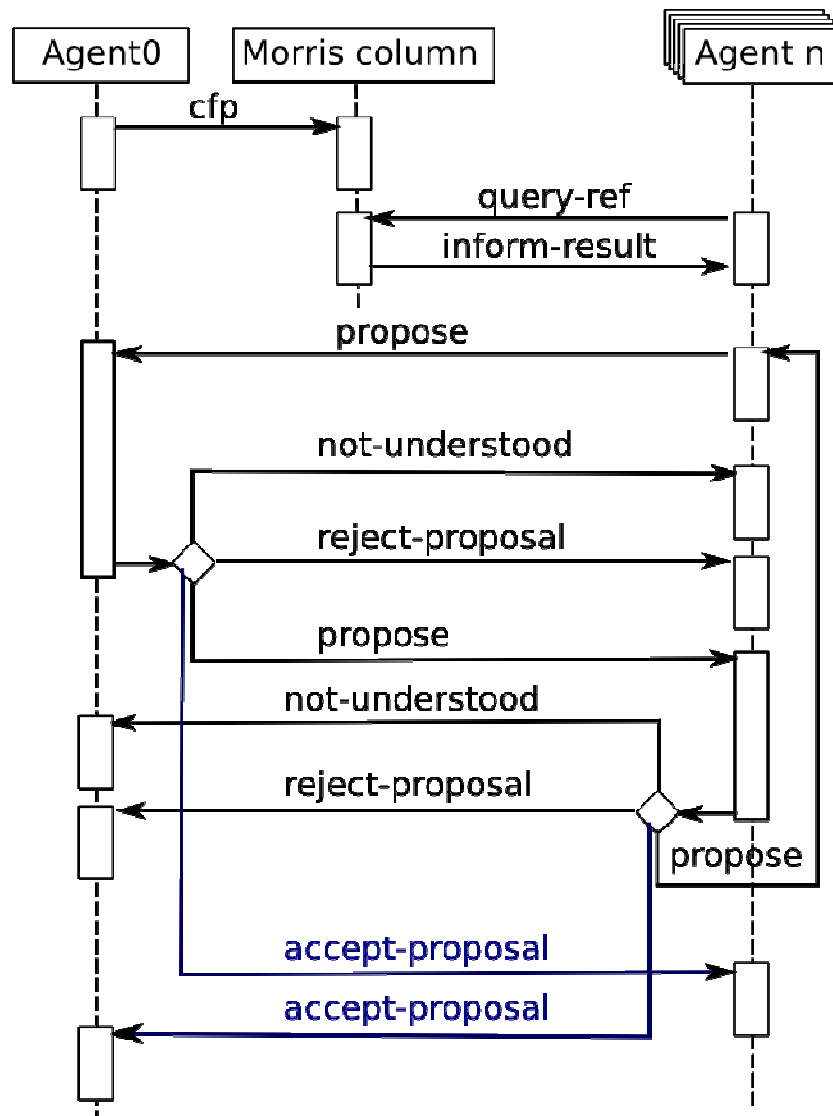
Agenty mogą następnie złożyć pewną liczbę ofert kupna/sprzedaży. W zależności od typu notowań stosowanych na danej platformie rynkowej, agenty mogą składać oferty w pewnym określonym oknie czasowym (dla trybu notowań jednolitych) lub w dowolnym momencie (dla trybu notowań ciągłych). Komunikat służący do składania ofert to *propose*.

Operator rynku kojarzy oferty także w sposób zależny od trybu notowań, jaki obowiązuje dla danej platformy. Dla trybu notowań ciągłych kojarzone są oferty pasujące do siebie, po pojawieniu się wszystkich wymaganych do tego ofert. Dla trybu notowań jednolitych po zakończeniu sesji składania ofert kojarzone są wszystkie oferty za pomocą odpowiedniego algorytmu. Następnie operator wysyła do odpowiednich agentów komunikaty. W przypadku, gdy oferta została przyjęta, agent otrzymuje komunikat *accept-proposal*. Gdy oferta została odrzucona (tylko dla trybu notowań jednolitych), agent otrzymuje komunikat *reject-proposal*. W przypadku, gdy oferta jest sformułowana w sposób niepoprawny, agent otrzymuje komunikat *not-understood*.

Zatwierdzanie dwufazowe nie jest tu konieczne ze względu na fakt, iż agent składający ofertę na rynek giełdowy bądź aukcyjny zobowiązuje się do dostarczenia bądź zakupienia towaru. Tak więc samo złożenie oferty przez agenta, oznacza że zobowiązuje on się do dostarczenia/odebrania towaru.

### 3.3. Rynki kontraktów bi- i multilateralnych

Rynki kontraktów bi- oraz multilateralnych są o wiele ciekawszym obiektem badań. Każdy agent może zainicjować handel, poza tym ustalanie cen odbywa się często na podstawie złożonych procesów negocjacji. Oczywiście jest, że procesy negocjacji wymagają bardziej złożonych narzędzi komunikacji niż prosty handel giełdowy. Także handel dokonywany na takich rynkach niejednokrotnie wymaga dopracowania wspólnego języka, gdyż często nie istnieje wspólny język (ontologia), według którego będzie dokonywany handel. Handel w takim segmencie rynku daje wiele więcej możliwości.



Rys. 3. Zmodyfikowany *Iterated Contract Net Interaction Protocol*

Fig. 3. Modified *Iterated Contract Net Interaction Protocol*

Na rys. 3 przedstawiony jest diagram sekwencji przedstawiający propozycję rozszerzenia protokołu *Iterated Contract Net Interaction Protocol*. Rozpoczęcie negocjacji polega na ogłoszeniu przez agenta tego faktu. Jako że zakładamy, iż agenci znajdują się w środowisku

rozproszonym i nie istnieje żadne centralne repozytorium, a także niemożliwe jest wysłanie komunikatu do wszystkich istniejących agentów (ze względu na ich liczbę), nadal korzystamy ze słupów ogłoszeniowych. Agent (dla ustalenia uwagi nazwijmy go Agentem 0) chcący rozgłosić chęć rozpoczęcia negocjacji, zgłasza się do pewnej liczby słupów ogłoszeniowych. Agent 0 wysyła komunikat *cfp* (*call for proposals*) do słupa ogłoszeniowego. 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 wybranego słupa ogłoszeniowego i mają możliwość przeglądania komunikatów.

Zakładamy, iż pewna liczba agentów zgłosiła się do tego samego słupa ogłoszeniowego i odczytała komunikat Agent 0. Dokonały tego poprzez wysłanie do słupa ogłoszeniowego komunikatu *query-ref* (zapytanie o pewien obiekt – wyspecyfikowanego agenta zgłaszającego chęć negocjacji), w odpowiedzi na co otrzymały komunikat *inform-result*, zawierający listę obiektów zgadzających się z podanym przez nie wzorcem obiektu (w szczególności otrzymują identyfikator URI Agent 0).

Następnie następuje kilkukrotne wysłanie komunikatu *propose* (w którym zawarta jest propozycja oferty), naprzemiennie przez negocjujące agenty. Negocjacje mogą zostać zakończone przez jednego z agentów przez wysłanie komunikatu *reject-proposal* – kończy to negocjacje w sposób niekonstruktywny. Propozycja może zostać niezrozumiana (np. z powodu różnic terminologicznych), może także zawierać błędy wówczas agent wysyła komunikat *not-understood*. W końcu każdy z agentów, może zakończyć negocjacje, akceptując ofertę partnera, wysyła wówczas komunikat *accept-proposal*.

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

#### 4. Zastosowanie języka M3-XML jako dialektu ACL

Język ACL (*Agent Communicative Language*) powinien, zgodnie ze standardem, być zrozumiały dla agentów uczestniczących w wymianie komunikatów. Tak więc, przy założeniu, że agenty będą miały zaimplementowane metody do odczytu danych zapisanych w formacie M3-XML, możemy używać jako języka ACL języka opartego na zdefiniowanych statycznych plikach M3-XML. Nasza propozycja określa stosowanie języka M3-XML w tych miejscach, gdzie będzie to wygodne dla agentów. Przykład zastosowania języka M3-XML jako dialektu ACL przedstawiono poniżej:

```

(propose
:sender ex:Buyer
:receiver ex:Operator
:content (
  <m3:Offer id="ex:o12345-67" offeredPrice="-140.00">
    <m3:description>buy offer</m3:description>
    <m3:offeredBy ref="ex:Buyer"/>
    <m3:volumeRange minValue="0" maxValue="100"/>
    <m3:ElementaryOffer>
      <m3:offeredCommodity shareFactor="-1"
        ref="ex:energyOn2007-04-09T08:00:00"/>
    </m3:ElementaryOffer>
  </m3:Offer>
)
:language m3
:ontology EnergyMarket
:reply-with ex:o12345-67
)

```

W treści *content* komunikatu zawarta jest oferta sformułowana w zapisie M3-XML. Agenty posiadające zaimplementowane metody odczytu języka M3-XML rozumieją jednoznacznie treść komunikatu, jako ofertę zakupu (współczynnik *shareFactor* = -1) towaru *ex:energyOn2007-04-09T08:00:00* (energii na godzinę 8 rano dnia dziewiątego kwietnia 2007 roku), po cenie oferowanej 140 [PLN/MWh<sup>1</sup>] w ilości do 100 [MWh]. Tak więc język M3-XML może być stosowany do wymiany komunikatów między agentami, które posiadają zaimplementowaną obsługę tegoż języka.

Jednakże nie wszystkie komunikaty używane w komunikatach FIPA mają tak prostą strukturę jak komunikat *propose*. Przykładem może być komunikat *cfp*, który powinien zawierać wiele informacji o prowadzonym handlu. Proponujemy więc rozszerzenie dialektu M3-XML na potrzeby komunikatów FIPA. Rozszerzenie polega na wprowadzeniu klas, które opisują bardziej złożone obiekty.

```

(cfp
:sender ex:Operator
:receiver ex:morrisColumn
:content (
  auction
    :id ex:001
    :type Vickrey
    :timeWindow <m3:CalendarPeriod ref="ex:2007-04-08" />
    :commodities (commodity
      <m3:Commodity id="ex:energyOn2007-04-09T08:00:00"
        dref="pse:generation">
        <m3:description>
          Generation on 2007-04-09 08:00-09:00
        </m3:description>
        <m3:CalendarScheduledCommodity
          ref="ex:2007-04-09T08:00:00"/>
        </m3:Commodity>
      )
    )
:language m3
:ontology EnergyMarket
)

```

Powyższy komunikat, zawiera definicję aukcji, która posiada elementy takie jak okno czasowe (*timeWindow*), towary, którymi będzie się handlować (*commodities*, należy zwrócić

<sup>1</sup> Jednostka energii (MWh), a także jednostka monetarna jest znana na podstawie używanej ontologii

uwagę na dokładność opisu towaru<sup>2</sup>). Elementy możliwe do zdefiniowania jako fragmenty języka M3-XML są zapisane w tym dialekcie. Pozostałe, jak na przykład typ rozliczenia (*type* – aukcja Vickrey'a) są wypisane jako elementy z pewnego słownika.

## 5. Podsumowanie

W niniejszym opracowaniu została sformułowana propozycja wykorzystania standardów FIPA do pewnych specyficznych form komunikacji, występujących w modelu  $M^3$ . Celem tego działania było umożliwienie komunikacji między agentami, przy zachowaniu zalet wynikających z zastosowania modelu  $M^3$ . Sprawdzono, czy możliwa jest adaptacja standardu FIPA w taki sposób, aby umożliwić wykorzystanie modelu  $M^3$  w systemach wieloagentowych opartych o standard FIPA. Sprawdzono również, czy standard FIPA pokrywa wszystkie typy komunikatów potrzebne w  $M^3$  w trakcie zawierania transakcji, składania ofert, negocjacji oraz we wszystkich powiązanych procesach komunikacji.

### 5.1. Spodziewane korzyści

Standardy FIPA są szeroko stosowane w systemach wieloagentowych. Niniejsza analiza wykazała możliwość ich zastosowania w kontekście zastosowań rynkowych wspieranych przez model  $M^3$ . Jest to korzystne z punktu widzenia potencjalnych zastosowań zarówno standardów FIPA jak i modelu  $M^3$ . Szersze wykorzystanie możliwości modelu  $M^3$ , jeśli zostanie on wzbogacony o możliwości wykorzystania uznanych standardów wymiany komunikatów, pozwoli na rozwój i stopniową poprawę efektywności systemów wymiany handlowej oraz poprawę konkurencyjności w wielu systemach infrastrukturalnych.

### 5.2. Role agentów

Każdy agent w proponowanym przez nas systemie wieloagentowym może pełnić wiele ról (np. być inicjatorem negocjacji, uczestniczyć w negocjacjach, być operatorem pewnego segmentu rynkowego, uczestniczyć w pewnej ilości segmentów rynkowych), co więcej, może pełnić jednocześnie wiele z tych ról, a to w jakiej roli występuje zależy od kontekstu. Powyższe założenie pozwala na proste tworzenie bardziej złożonych ról, w szczególności roli brokera (pośrednika).

Tak zdefiniowane role umożliwiają tworzenie pewnych nietrywialnych metod handlu, np. agent A chce kupić wiązkę towarów  $ex:X$ ,  $ex:Y$ ,  $ex:Z$ . Zgłasza on chęć negocjacji. Agent

---

<sup>2</sup> Część wpisów została pominięta ze względu na oszczędność miejsca. Jednakże komunikat *cfp* powinien zawierać pełną definicję wszystkich elementów (typu towaru, okresu kalendarza itd.).

*B* rozpoczyna z nim negocjacje, posiadając jedynie towar  $ex:X$ , równocześnie zgłasza chęć negocjacji o kupno towaru  $ex:Y$ , a także rozpoczyna uczestnictwo w rynku scentralizowanym o kupno towaru  $ex:Z$  (o którym wie, że istnieje taki rynek). Agent *B* staje się swoistym pośrednikiem, który wzbogaca rynek wielością pełnionych funkcji, a także umożliwia szybsze spełnienie zapotrzebowań innych agentów. Możliwe jest tworzenie wielostopniowych zależności, jak powyższa.

### 5.3. Dalsze prace

W obecnej chwili istnieje szereg narzędzi (np. *solver* – aplikacja służąca do rozwiązywania modeli rynkowych zdefiniowanych przez zestaw plików  $M^3$ , walidator plików M3-XML, narzędzia do transformacji plików M3-XML, narzędzia do modelowania infrastruktury sieciowej i czasowej) wykorzystujących bądź ułatwiających korzystanie z modelu  $M^3$ . Opracowana i udostępniona publicznie została także biblioteka modeli przykładów w notacji  $M^3$ , zawierająca różne problemy optymalizacyjne, dotyczące np. różnorodnych modeli cząstkowych wariantów rozwiązań na rynkach energii elektrycznej oraz rynkowych mechanizmów wymiany przepustowości w sieciach telekomunikacyjnych. Dalsze prace będą skupiały się na wykorzystaniu zaproponowanego modelu komunikacji w rzeczywistych rozwiązaniach. W szczególności rozważana jest próba implementacji systemu wieloagentowego dla projektowanego Centrum Badawczego PAN w Jabłoncej. W systemie tym agenty mogą negocjować chwilowe ceny energii elektrycznej w lokalnej sieci dystrybucyjnej zasilanej z wielu konkurujących ekologicznych źródeł energii.

## LITERATURA

1. Foundation for Intelligent Physical Agents, <http://fipa.org/>
2. Frederickson G. N., Lynch N. A.: Electing a leader in a synchronous ring, *Journal of the ACM*, 34(1), ss. 98-115, 1987
3. Garcia-Molina H.: Elections in a Distributed Computing System, *IEEE Transactions on Computers*, 31(1), ss. 48-59, 1982
4. Kacprzak P., Kaleta M., Pałka P., Smolira K., Toczyłowski E., Traczyk T.: Model komunikacji dla M3 – Otwartego modelu obrotu wielotowarowego, II Krajowa Konferencja Naukowa Technologie Przetwarzania Danych, ss. 139-150. Poznań, wrzesień 2007

5. 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.
6. Nimis J., Lockemann P. C.: Robust Multi-Agent Systems The Transactional Conversation Approach, SASEMAS'04 – Third International Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, New York, 2004.
7. Toczyłowski E.: Optymalizacja procesów rynkowych przy ograniczeniach. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, wydanie drugie rozszerzone, 2003.
8. Witryna projektu M3. <http://www.openm3.org/>

Recenzent: tytuły Imię Nazwisko

Wpłynął do Redakcji ...

## Abstract

FIPA (*Foundation of Intelligent Physical Agents*) proposes organization of communication in the multi-agent environment. Communication is conducted on the basis of certain *Communicative Acts*, forming a set of exchanged messages. FIPA specifies some communication protocols, which consist of communicative acts. In particular, the proposed standards are the exchange communications for the trade, which is to conclude a transaction in auction markets and exchanges, as well as the bilateral contracts, where the conclusion of the contract is preceded by negotiations. The M<sup>3</sup> model (*Multi-commodity Market Model*) is a set of formal data models, allowing for easy flow of information between the various segments of the complex market infrastructure. Trade carried out in a given market segment may be made by some agents. In addition, the model offers a set of trading platforms, from a simple auction market and a centralized exchanges, to bilateral and multilateral contracts that are based on negotiations.

The aim of the paper is to enable communication between agents while maintaining the advantages resulting from the application of the model M<sup>3</sup>. We have shown that it is possible to extend the standard in the FIPA in a way to achieve the usability of the M<sup>3</sup> model in the context of FIPA standards. We have also examined whether the standard FIPA covers all possible types of communications needed in M<sup>3</sup> during contracts, negotiation, and other related processes of communication.

**Adres**

Piotr PAŁKA, Mariusz KALETA, Eugeniusz TOCZYŁOWSKI, Tomasz TRACZYK:  
Politechnika Warszawska, Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej,  
ul. Nowowiejska 15/19, 00-665 Warszawa, Polska, P.Palka@ia.pw.edu.pl,  
M.Kaleta@ia.pw.edu.pl, E.Toczyłowski@ia.pw.edu.pl, T.Traczyk@ia.pw.edu.pl