

Mariusz Balawajder*, Bartosz Czerwiński*, Adam Kudła*,
Jarosław Koźlak*, Małgorzata Żabińska*

Agentowy system SOA wykorzystujący aukcje do przydziału zadań

1. Wprowadzenie

Celem prowadzonych prac [2, 3] było zaproponowanie koncepcji systemu bazującego na architekturze *Service Oriented Architecture* (SOA) do obsługi akcji ratunkowych związanych z wypadkami drogowymi, który wykorzystuje automatyczne aukcje do alokacji zasobów, a następnie przygotowanie cząstkowych realizacji rozwiązań pilotowych.

Poszczególne funkcje oferowane przez służby publiczne zostały zamodelowane poprzez odpowiednio przygotowane usługi webowe, natomiast dla potrzeb integracji dostępnych usług w złożone procesy biznesowe zdecydowano się użyć *Web Service Business Process Execution Language* (WS-BPEL) [8].

Zadaniem BPEL jest zapewnienie integracji funkcji oferowanych przez poszczególne usługi stosując orkiestrację, która polega na użyciu centralnej kontroli przepływu prac umożliwiającego współpracę między grupą aplikacji [6]. W projektowanym systemie zdefiniowane usługi związane z poszczególnymi służbami są wywoływane, a w miarę określonych potrzeb specyfikowanych przez użytkowników systemu są zgrupowane w odpowiednich procesach biznesowych opisanych za pomocą WS-BPEL.

Integracja podejścia SOA z koncepcją systemów agentowych daje możliwość tworzenia złożonych i skalowalnych systemów zarządzanych za pomocą technik sztucznej inteligencji [10]. W prezentowanych pracach rolą systemu agentowego jest stworzenie odpowiednich planów działań i dynamiczny wybór usług pasujących do wzorców opisanych w procesach biznesowych. Kluczowym elementem systemu jest możliwość definiowania i rejestracji usług sieciowych w centralnym repozytorium, celem ich późniejszego wyszukiwania, kompozycji i uruchamiania.

Jedną z głównych części systemu jest komponent realizujący aukcje agentowe w oparciu o zdefiniowany zbiór protokołów, służący do określenia zasobów biorących udział

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

w prowadzonej akcji ratowniczej. Aukcje mają na celu uzgodnienie oraz wybór oferty optymalnej dla agenta przy jednoczesnym uwzględnieniu interesu agenta licytującego, oferującego usługi.

System zrealizowano kładąc nacisk na prostotę wymiany oraz modyfikacji algorytmów aukcyjnych, sposobów komunikacji, czy też poszczególnych agentów realizujących określone zadania.

2. Aukcje i ich rodzaje

W dziedzinie Zintegrowanych Akcji Ratowniczych przedmiotem licytacji jest zasób związany ze świadczoną usługą. W systemie zostały zaimplementowane podstawowe rodzaje aukcji [4, 9]: angielska, holenderska, tajna (*first-price sealed-bid*) i Vickreya (*second-price sealed-bid*) wraz z kilkoma wersjami algorytmów decyzyjnych.

Aukcja angielska. Licytacja odbywa się w systemie zwykłym, który polega na tym, że aukcjoner rozpoczyna aukcję od tzw. ceny wywoławczej, najniższej możliwej do zaakceptowania przez sprzedającego. Następnie uczestnicy aukcji proponują aukcjonerowi coraz wyższe ceny, jawnie dla pozostałych uczestników aukcji. Zwycięzcą staje się ten z nich, który zaoferuje najwyższą cenę. Jest to obecnie najczęściej spotykany powszechnie typ aukcji. Jeśli cena nie przekroczy ceny minimalnej wyznaczonej przez sprzedawcę, przedmiot nie zostaje sprzedany.

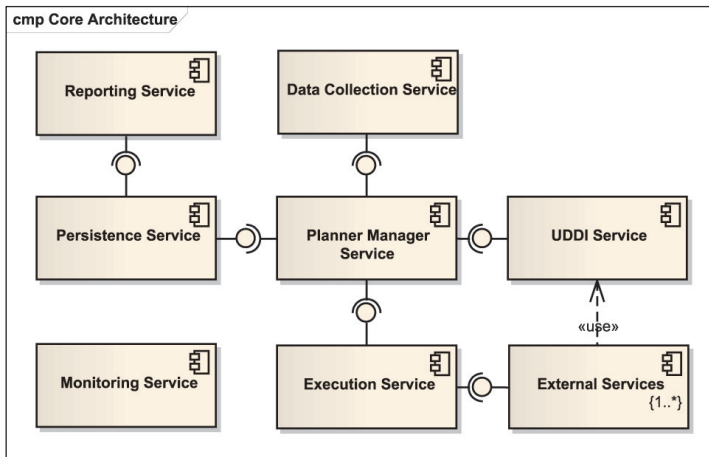
Aukcja holenderska. Aukcjoner ogłasza nową aukcję z ceną wyjściową, jednakże w przypadku tej aukcji cena wyjściowa jest ceną najwyższą, jaką może osiągnąć aukcjoner. Po rozpoczęciu aukcji sprzedawca czeka na propozycje zakupu od potencjalnych zainteresowanych. Jeżeli nikt nie złoży oferty na zakup przedmiotu po aktualnie oferowanej cenie, aukcjoner decyduje o zmniejszeniu bieżącej ceny i powtarza to postępowanie aż do wpłynięcia oferty lub osiągnięcia końcowych warunków brzegowych. W momencie gdy zostanie złożona oferta, która spełnia bieżące kryteria ceny na aukcji, oferent automatycznie wygrywa aukcję. W tym przypadku już pierwsza złożona oferta jest wygrywająca, więc oferenci nie mogą zwlekać ze złożeniem własnych ofert, ponieważ wraz z upływającym czasem rośnie ryzyko, iż zostaną wyprzedzeni przez konkurenta.

Aukcja tajna pierwszej ceny oraz **aukcja Vickreya** polegają na składaniu tajnych ofert kupna. Najwyższa oferta zwycięża. W przypadku aukcji tajnej pierwszej ceny cena sprzedaży jest równa cenie najwyższej oferty, w przypadku aukcji Vickreya – jest równa wysokości drugiej co do wysokości oferty.

3. Architektura systemu do zarządzania zintegrowaną akcją ratowniczą

Proponowany system, którego celem jest Zarządzanie Akcją Ratowniczą został oparty o architekturę zorientowaną na usługi. Schemat architektury systemu pokazano na rysun-

ku 1, natomiast zadania komponentów przedstawiono pokrótce w dalszej części artykułu. Jako podstawę realizacji omawianego systemu SOA wykorzystano środowisko *Open-ESB* [5] z serwerem aplikacyjnym *Glassfish* [7], natomiast do implementacji systemu użyto języka Java [1].



Rys. 1. Model architektury systemu do zarządzania zintegrowaną akcją ratowniczą

Data Collection Service. Głównym zadaniem komponentu jest komunikacja z aplikacją obsługiwana przez dyspozytora zgłaszającego wypadek.

Reporting Service. Podstawową funkcją komponentu jest umożliwienie raportowania wykonania kolejnych kroków procesu realizowanej akcji ratowniczej, koordynowanego poprzez Web serwisy.

Persistence Service. Komponent realizujący magazynowanie i dostęp do danych o zgłoszeniach, wygenerowanych planach, wykonywanych akcjach oraz ich stanie.

UDDI Service. Zadaniem komponentu jest rejestrowanie, wyrejestrowywanie oraz wyszukiwanie dostępnych usług sieciowych. Podstawowym kryterium wyszukiwania jest typ interfejsu usługi. Usługa *UDDI Service* powinna dostarczać interfejs dostępu umożliwiającą ręczną rejestrację i zarządzanie usługami sieciowymi.

External Services. Komponent reprezentuje szereg usług sieciowych dostarczających zasobów funkcjonalnych do projektowanego systemu. Wprowadzono kategoryzację, która ujednoliciła interfejs dostępu do usług sieciowych. Wyróżnia się następujące podstawowe kategorie usług:

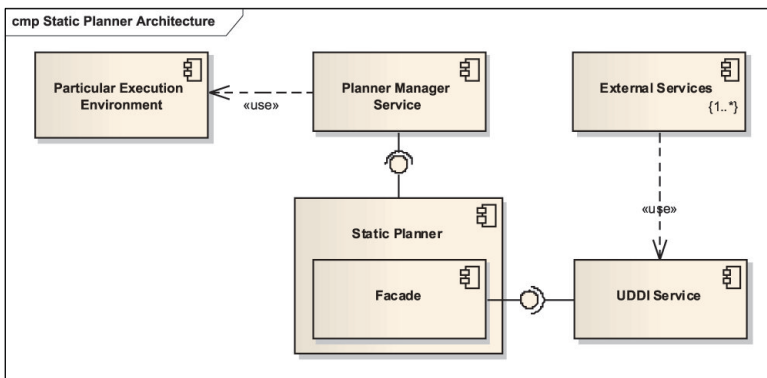
- *IFirstAidStation* – szpitale, jednostki rejonowego pogotowia ratunkowego; podstawowa funkcjonalność umożliwiająca pobranie informacji o położeniu szpitala, statusie i rodzaju jednostek ratowniczych oraz dodatkowo zamówienie konkretnych jednostek;

- *IPoliceStation* – oddziały rejonowe policji, analogicznie jak miało to miejsce w przypadku *IFirstAidStation* funkcjonalność usługi umożliwi pobranie informacji o położeniu komisariatu policji, statusie i rodzaju jednostek ratowniczych oraz dodatkowo zamówienie konkretnych jednostek;
- *IFireStation* – oddziały rejonowe straży pożarnej;
- *IEmergencyRoadService* – oddziały pomocy drogowej;
- *IGeolocationService* – usługi geolokalizacji, serwis implementujący interfejs umożliwiający wyszukiwanie usług webowych najbliższych oddziałów pogotowia ratunkowego (*FirstAidStation*) oraz komisariatów policji (*IPoliceStation*); dodatkowa funkcjonalność pozwala na wyznaczanie najkrótszych połączeń pomiędzy dwoma zadanymi lokalizacjami.

Monitoring Service. Rolą usługi *MonitoringService* jest prowadzenie zcentralizowanego dziennika zdarzeń, który monitoruje w celach diagnostycznych stan poszczególnych usług sieciowych wchodzących w skład głównej architektury systemu.

Execution Service. Zadaniem komponentu wykonawczego jest wdrożenie procesu biznesowego, który koordynuje wykonanie akcji ratowniczej oraz umożliwienie raportowania stanu końcowego. Ze względu na złożoność procesu kompozycji usług oraz implementację statycznego planera w prototypowej wersji systemu, zapewniono taką postać interfejsu, która umożliwi swobodną adaptację planera dynamicznego.

Planner Manager. Jest kluczowym komponentem w działaniu całego systemu. Zajmuje się adaptacją poszczególnych strategii planowania zintegrowanych akcji ratowniczych. Na podstawie danych wejściowych zgłoszonych do systemu oraz informacji o dostępnych serwisach zajmuje się tworzeniem planu działania dla poszczególnych jednostek oraz dostarczeniem środowiska wykonawczego dla tych planów. Komponent został zrealizowany jako środowisko aukcyjne oparte o system agentowy. Architektura planera przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Model architektury planera statycznego

4. Agenci systemu aukcyjnego

Celem systemu aukcyjnego w dziedzinie Zintegrowanych Akcji Ratunkowych jest wspomaganie procesu doboru jednostek ratowniczych wykorzystywanych w procesie kompozycji usług. Po przygotowaniu planu akcji ratowniczej, wyszczególnione są tylko typy jednostek potrzebnych do jej przeprowadzenia – system aukcyjny zajmuje się doбором konkretnych instancji tych obiektów.

W systemie aukcyjnym działają dwie klasy agentów:

- **Agent potrzeby.** Agent potrzeby reprezentuje zgłoszone zapotrzebowanie na zasób do systemu. W wyniku zgłoszenia zapotrzebowania środowisko aukcyjne powołuje do życia nowego agenta potrzeby, który będzie odpowiedzialny za jej zrealizowanie. Po przekazaniu agentowi wszystkich niezbędnych informacji o zdarzeniu, przeprowadza on aukcję w systemie – odpowiada za ogłoszenie informacji o aukcji zgodnej z pewnym protokołem i jej poprawne przeprowadzenie. Po zakończeniu aukcji wysyła on wyniki tej aukcji podmiotowi, który zgłosił zapotrzebowanie.
- **Agent licytujący.** Agent licytujący rezyduje na stałe w systemie. Odpowiada on za reprezentowanie pewnej grupy zasobów (jednostek ratowniczych etc.) w tym systemie. Otrzymując informacje o nowych aukcjach w systemie, decyduje o tym, czy posiada odpowiednie zasoby i czy może brać udział w aukcji.

Natura aukcji określana jest poprzez zachowanie uczestniczących w niej agentów. Towarem wystawianym na aukcję przez agenta potrzeby jest możliwość zrealizowania niezbędnej usługi ratunkowej (ekwiwalent kontraktu na realizację usługi). Uczestnikami aukcji są natomiast agenci licytujący reprezentujący poszczególne jednostki służb publicznych zgłaszający odpowiednie oferty rozwiązań. Aby agent licytujący mógł włączyć się do aukcji, musi spełniać twarde warunki licytacji, czyli reprezentować odpowiedni typ potrzeby oraz posiadać do dyspozycji zasoby odpowiednich typów. Gwarantuje to możliwość wykonania odpowiedniej operacji, np. przeprowadzenie reanimacji, wydobycie zakleszczonej ofiary wypadku czy też usunięcie wraku pojazdu. Miękkie warunki, które mogą podlegać licytacji, obejmują koszty i czas trwania akcji. Architektura systemu pozwalała dowolnie rozszerzać kompetencje agentów licytujących o posiadanie do dyspozycji np. łóżek w specjalistycznych szpitalach.

W ramach realizacji rozwiązań pilotowych rozpatrzono następujące algorytmy decyzyjne dla agentów licytujących.

- Składane oferty są określane losowo, ograniczone od góry poprzez granicę opłacalności zakupu towaru bądź też poprzez zasoby posiadane przez agenta. Zaimplementowano różne warianty dostosowane do konkretnych rodzajów aukcji. Dla aukcji ofert tajnej wartość oferowana przez agenta jest losowana z przedziału $[0, \text{ilość posiadanych zasobów}]$. Dla aukcji angielskiej, wartość oferowana w rundzie $i+1$ jest równa wartości maksymalnej zgłoszonej w rundzie i powiększonej o wartość losowaną z przedziału $[0, \text{dostępne zasoby}/4]$. Wariant dla aukcji holenderskiej polega na składaniu oferty

pod warunkiem wylosowania liczby pseudolosowej z zakresu $[0, \text{wartość początkowa towaru}]$ większej lub równej cenie aktualnej.

- Oferta jest średnią ważoną obliczoną z ofert wygrywających przy uwzględnieniu określonej liczby przeprowadzonych aukcji. Przykładowo, dla aukcji ofert tajnych z pierwszą ceną ustalana jest zwykła średnia rozpatrywanych wartości, dla aukcji angielskiej oblicza się wartości średnie oddzielnie dla poszczególnych rund.
- Agent licytujący posiada wiedzę o historii akcji zachodzących w przeszłości, w których brał udział. Na ich podstawie podejmuje aktualną decyzję dotyczącą udziału w bieżących aukcjach oraz wartościowaniu swoich ofert. Agent wyszukuje zadaną liczbę podobnych aktualnych aukcji, biorąc pod uwagę ceny końcowe na dane rodzaje usług i bierze te wartości pod uwagę określając własne oferty. Drugim elementem, wpływającym na cenę końcową zasobu jest element zainteresowania. Jest to jednostka odpowiadająca za częściową minimalizację prawdopodobieństwa zagłodzenia agenta przez modyfikowanie jego kosztów operacyjnych na podstawie bieżących wyników osiągniętych na aukcjach. W tym rozwiązaniu w uproszczony sposób realizowana jest przez system symulacja polityki wolnorynkowej, ponieważ to agenci walczą o swoją konkurencyjność, jednocześnie dbając o to, by nie doprowadzić siebie do bankructwa.

Proces integracji środowiska aukcyjnego z systemem Zintegrowanych Akcji Ratowniczych można podzielić na kilka poziomów. Celem poziomu pierwszego jest dostarczenie interfejsu pozwalającego na komunikację ze środowiskiem aukcyjnym za pośrednictwem usługi webowej. Poziom drugi zakłada dostarczenie konfiguracji systemu aukcyjnego dedykowanych dziedzinie, w której przeprowadzane będą aukcje. Obligatoryjna konfiguracja obejmuje określenie zestawu bytów, które stanowią podstawową jednostkę w systemie, zestawu kryteriów oceny ofert oraz funkcji ewaluacji wykorzystywanych do oceny i porównywania ofert. Możliwe jest dostarczenie opcjonalnej rozszerzonej konfiguracji środowiska uwzględniającej dodatkowe strategie zachowań agentów biorących udział w aukcji, dostosowane do dziedziny Zintegrowanych Akcji Ratowniczych.

5. Studium przypadku

Przypadkiem modelowym jest wypadek drogowy, który wydarzył się w pewnym miejscu X.

1. Do systemu przychodzi zgłoszenie o wypadku drogowym, które jest obsługiwane przez system ZAR.
2. W trakcie procesu tworzenia planu akcji ratowniczej system ZAR, który zaplanował działania odpowiednich służb, zgłasza zapotrzebowanie do systemu aukcyjnego o dostarczenie instancji karetki pogotowia w miejsce X. Jeśli system wymaga spełnienia warunków brzegowych, wysyła je razem ze zgłoszeniem.

3. Zgłoszenie o zapotrzebowaniu na karetkę przychodzi do systemu.
4. Tworzony jest nowy *agent potrzeby*. Dostaje on dane ze zgłoszenia do systemu. Jeśli w danych dostarczonych nie ma określonych danych brzegowych, system przydziela dane domyślne. Określone muszą zostać także wagi dla poszczególnych parametrów – przykładowo, jeśli system ocenia ofertę, biorąc pod uwagę deklarowany czas pojawienia się jednostki ratowniczej na miejscu zdarzenia oraz estymowany koszt przeprowadzenia akcji ratowniczej, należy dane o wagach tych dwóch parametrów dołączyć do funkcji ewaluacji, która jest dostępna dla każdego zainteresowanego agenta.
5. Agent potrzeby po zebraniu wszystkich wymaganych do działania parametrów ogłasza nową aukcję w systemie. Na podstawie zebranych danych tworzona jest funkcja ewaluacji kryteriów, która pozwala wyznaczyć cenę zasobu poprzez *agenta licytującego*.
6. Agenci potrzeby, którzy istnieją w systemie jako stałe byty, ponieważ reprezentują interesy dowolnych grup ratowniczych, otrzymują powiadomienie o nowej aukcji w systemie oraz o warunkach jej przebiegu (wraz z funkcją ewaluacji, która pozwala ocenić wartość aukcyjną każdego z posiadanych przez agenta zasobów).
7. Rozpoczęta aukcja przebiega zgodnie z ustalonym protokołem aukcyjnym,
8. Agenci, którzy są zainteresowani udziałem w akcji ratowniczej, podejmują udział w aukcji, odpowiadając poprzez wysyłanie własnej oferty, która została sporządzona w oparciu o funkcję ewaluacji i/lub inne indywidualne cele agenta. Każdy z agentów licytujących może zostać wyposażony w cele indywidualne. W zależności od wersji algorytmu stosowanej przez agenta licytującego, może on ustalać własną cenę. Używając tych dwóch mechanizmów oraz dostarczonej informacji o wagach dla poszczególnych parametrów, agent jest w stanie modyfikować swoją ofertę, by zwiększyć jej konkurencyjność w ramach grupy licytujących.
9. Następnie agent dokonuje manipulacji cenami za wykonanie akcji ratowniczej. Jest on w stanie poprawić jakość każdej z ofert, korzystając z wiedzy, którą posiada na temat poprzednich aukcji, dzięki czemu aproksymuje on swoją cenę końcową względem trendu cen ostatnich podobnych aukcji w systemie. Do zmiany wartości zasobu jest również wykorzystywany współczynnik zainteresowania, który dostarcza agentowi wiedzy o konkurencyjności jego ofert na rynku.
10. Po zakończeniu aukcji w systemie ogłaszany jest zwycięzca.
11. Agent licytujący przesyła agentowi potrzeby informację o referencji do obiektu.
12. Wyznaczona referencja do obiektu zostaje zwrócona jako efekt pracy systemu aukcyjnego.

6. Eksperymenty

Przeprowadzone zostały testy dla różnych rodzajów sytuacji kryzysowych, dotyczących wypadków drogowych, które zostały zgłoszone, w oparciu o zdefiniowane wzorce

postępowania i różne zapotrzebowania na zasoby. Do celu określenia przydziału zasobów przeprowadzono następujące rodzaje aukcji: angielska, holenderska, tajna pierwszej ceny oraz Vickreya. Proces podejmowania decyzji został zrealizowany dla agentów licytujących przy użyciu przedstawionych powyżej metod. Testowano rezultaty przebiegu aukcyjnego dla różnej liczby agentów licytujących i przeprowadzanych aukcji.

Definiowano rozmaite przykładowe scenariusze przedstawiające sytuacje związane z wypadkami drogowymi, podając parametry je opisujące, takie jak: miejsce zdarzenia, typ wymaganego zasobu, maksymalny czas dojazdu, maksymalny koszt akcji oraz wagi czasu dojazdu i kosztów akcji, a także maksymalny czas trwania aukcji dotyczącej przydziału wymaganego zasobu w zdefiniowanym typie (np. karetka pogotowia, wóz straży pożarnej, wóz interwencyjny policji). Na podstawie zadanych parametrów określano zestawy usług, które stawały się przedmiotem aukcji.

W wyniku eksperymentów otrzymano szereg charakterystyk przedstawiających wartości końcowe ofert w zależności od numeru aukcji i liczby działających agentów licytujących, a także wartości ofert w zależności od numeru rundy (jeśli dotyczy) i liczby agentów oraz liczby aukcji zakończonych w danej iteracji.

Przykładowy test opierał się o przeprowadzenie licytacji pomiędzy czworgiem agentów reprezentujących ten sam typ usługi ubiegającej się o wykorzystanie w akcji ratowniczej przy użyciu aukcji angielskiej. Osiągnięte wartości zakończenia licytacji zostały zaprezentowane na rysunku 3. Zgodnie z przewidywaniami metoda daje stały wzrost cen zbieżny do określonej przed aukcją wartości maksymalnej, gdzie wraz ze wzrostem wartości oferowanej przez agenta maleje szybkość zbieżności do wartości granicznej.



Rys. 3. Wartość końcowa oferty w zależności od numeru rundy dla czworga uczestniczących agentów

7. Podsumowanie

Celem prezentowanych prac było opracowanie systemu agentowego do obsługi zintegrowanej akcji ratowniczej bazującego na architekturze SOA oraz agentowym komponencie wspomagającym planowanie działań przy pomocy aukcji. Opracowany system spełnia większość przedstawionych założeń, które zostały określone w fazie analizy. Wraz z implementacją głównych modułów systemu została dostarczona implementacja protokołu aukcji angielskiej oraz aukcji ofert zamkniętych z pierwszą ceną. Dla wyżej wymienionych protokołów przeprowadzono szereg eksperymentów.

Można wyróżnić kilka kierunków dalszego rozwoju komponentów systemu, do których można zaliczyć m.in. automatyczną generację procesów biznesowych, wykorzystanie usług semantycznych oraz rozwój mechanizmów monitorowania. Automatyczna generacja procesów biznesowych w oparciu o wyniki przeprowadzonych aukcji i zestaw przydzielonych zadań wymaga integracji zaprezentowanych w artykule rozwiązań. Jednym z kluczowych problemów jest dostarczenie mechanizmu wspomagającego automatyczne wdrażanie procesów biznesowych w środowisku uruchomieniowych (serwer aplikacji).

Kolejnym kierunkiem badań jest wykorzystanie semantycznych usług webowych oraz stworzonego repozytorium semantycznego do wyszukiwania, dopasowywania i dynamicznego komponowania usług w procesy biznesowe.

Równie istotną kwestią jest implementacja komponentów związanych z monitorowaniem i raportowaniem działania systemu (przewiduje się tu użycie agentów programowych).

Oprócz powyżej wymienionych kierunków rozwoju, ze względu na charakter i wagę dostarczonych usług, stworzony system wymaga przeprowadzenia kompleksowego zestawu testów akceptacyjnych ze szczególnym uwzględnieniem realizacji szeregu testów opartych na danych rzeczywistych.

Literatura

- [1] Binildas C.A., *Service Oriented Java Business Integration. Enterprise Service Bus integration solutions for Java developers*. Packt Publishing, 2008.
- [2] Cetnarowicz K., Dyduch T., Koźlak J., Żabińska M., *Koncepcja zastosowania podejścia agentowego w systemach SOA*. Automatyka (półrocznik AGH), t. 13, z. 2, 2009, 231–238.
- [3] Cetnarowicz K., Dyduch T., Koźlak J., Żabińska M., Błaszczyk P., Niedźwiecki M., Rzecki K., Belava L., Wąchocki G., Bech P., Dziedzic J., Ptaszek M., *SOA-based multi-server agent system – application for integrated rescue action. SOA infrastructure tools: concepts and methods*. Poznań University of Economics Press, 2010.
- [4] Cramton P., Shoham Y., Steinberg R., *Introduction to combinatorial auctions*. Combinatorial Auctions, The MIT Press, 2006.
- [5] Documentation – OpenESB: the Open Source ESB for SOA & Integration, <http://wiki.open-esb.java.net/Wiki.jsp?page=Documentation>.

- [6] ErlTh., *Service Oriented Architecture. Concepts, Technology, and Design*. Prentice Hall, 2005.
- [7] GlassFish – Open Source Application Server, <http://glassfish.java.net/>.
- [8] Oasis Standard, *Web Services Business Process Execution Language Version 2.0*. <http://docs.oasis-open.org/wsbpel/2.0/wsbpel-v2.0.pdf> 11 April 2007.
- [9] Sandholm T., *Distributed rational decision making. Multiagent systems. A modern approach*. MIT Press, 1999.
- [10] Singh M.P., Huhns M.N., *Service-oriented computing*. Wiley, 2005.