

dr hab. inż. Grzegorz Dobrowolski  
prof. nzw. AGH  
Katedra Informatyki  
Akademii Górniczo-Hutniczej  
w Krakowie

Kraków, dnia 21 kwietnia 2016 r.

## Recenzja rozprawy doktorskiej

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska **mgr Waldemara Bartyny** zatytułowana „**Współdziałanie w otwartym heterogenicznym systemie wielorobotowym w oparciu o paradygmat SOA**”. Podstawą formalną recenzji jest pismo Zastępcy Dyrektora ds. Naukowych Instytutu Podstaw Informatyki Polskiej Akademii Nauk nr IPI-DNP-RN 07/2016 z dnia 5 lutego 2016 r. Rozprawa liczy 169 stron, składa się oprócz *Wstępu* i *Podsumowania* z sześciu rozdziałów merytorycznych. Dopełnienie rozprawy stanowi bibliografia oraz dwa dodatki.

**Teza rozprawy.** Teza rozprawy ulokowana jest jednocześnie w dwóch silnie rozwijających się obszarach: sztucznej inteligencji, głównie systemów agentowych (w szczególnym ujęciu dyktowanym przez założenia dotyczące SOA [ang. *Service Oriented Architecture*]) oraz robotyki (w zakresie warstwy zarządzającej systemów, w których skład wchodzi roboty mobilne, ale także proste urządzenia stacjonarne). Heterogeniczność sprzętu przybliży również tematykę pracy do modnej aktualnie problematyki Internetu rzeczy.

Podstawową potrzebą, która niewątpliwie ujawnia się na ścieżce rozwojowej tego rodzaju systemów (zwanym dalej wielorobotowymi lub po prostu robotowymi) jest opracowanie odpowiedniej rozproszonej infrastruktury informacyjnej zapewniającej automatyczne współdziałanie składowych urządzeń w otwartym, rozproszonym i zmieniającym się dynamicznie środowisku.

Jako niezbędne do rozpatrzenia elementy infrastruktury wymienić trzeba następujące: język do opisu środowiska, którego formuły byłyby gruntowane w ramach obserwacji prowadzonych przez te urządzenia, modele struktur mentalnych i architektury robotów (jako głównej specjalizacji ogólnej klasy

autonomicznych urządzeń), protokoły ich interakcji oraz dedykowane języki komunikacji.

Konstatacja powyższych potrzeb i spodziewanych możliwości ich zaspokojenia pozwoliła autorowi na sformułowanie następującej tezy rozprawy doktorskiej: „Automatyzacja wykonywania zadań (poprzez współdziałanie) w otwartych systemach rozproszonych składających się z heterogenicznych, inteligentnych, kognitywnych urządzeń, jest możliwa poprzez zastosowanie odpowiedniej abstrakcyjnej architektury systemu opartej na paradygmacie SOA oraz konstrukcję uniwersalnych protokołów komunikacyjnych opartych na odpowiedniej reprezentacji środowiska (ontologii), i uniwersalnego języku do jej opisu”.

Sposób sformułowania tezy, pomimo jego rozwlekłości, uznać można za klasyczny, wskazujący (w tym przypadku) na poszukiwanie nowej specyficznie uwarunkowanej, zasady budowy systemów rzeczywistych, których – uważane za inteligentne – cechy takie, jak możliwość obserwacji środowiska i rozumowania o nim – ułożone są w wirtualnej warstwie będącej faktycznie siecią komputerową.

Ze względu na rysującą się przed takimi systemami konkretną perspektywę aplikacyjną, przeprowadzenie tezy wypełniłoby, stojące przed dysertacją, cele zarówno poznawcze jak i użyteczne. Jeżeli dodać do tego, że przeprowadzająca ocena zaproponowanego podejścia do budowy takich systemów wiązać się musi z prototypową implementacją, testowaniem oraz oceną skuteczności i efektywności działania, uznać należy, że podjęcie tak sformułowanej tezy stanowi ambitne wyzwanie naukowe, któremu doktorant postanowił sprostać.

**Struktura i zawartość rozprawy.** Rozdział 2 dysertacji obejmuje rozważania, które określić można z punktu widzenia metodologicznego jako rekapitulację stanu aktualnego rozwoju dziedziny, w której lokuje się oceniana dysertacja. Autor kładzie szczególny nacisk na przegląd i porównanie istniejących systemów o podobnych założeniach wyjściowych, i w dodatku realizowanych z wykorzystaniem paradygmatu SOA. Omawiane i analizowane systemy grupują się następująco. Trzy z nich zaliczyć można do grupy ściśle zorientowanych na zastosowanie – Robotic Room, SmartBo. Cztery pozostałe nacechowane są walorem ogólności – PEIS-Ecology, SODA Alliance, OASIS DPWS (rozwinięcie podejścia SODA), URSF. Wspomniano również pokrótce o kilku innych realizacjach.

Autor podsumowuje przegląd wskazując, niedostatecznie rozwiązane dotąd jego zdaniem, kwestie: właściwej reprezentacji urządzenia w kategoriach usługi typu SOA oraz braku uniwersalnego sposobu opisu środowiska oraz oddziaływania na nie urządzeń, a także człowieka, na którego rzecz system robotowy działa.

Kolejne rozdziały recenzowanej rozprawy to opis rezultatów osiągniętych przez doktoranta w toku uzasadniania tezy. Prezentują one koncepcję architektury systemu robotowego nazwanej Service Oriented – MultiRobot System (w skrócie SO–MRS), realizację systemów prototypowych, a także badania prototypów, których istnienie i właściwości stanowią o skuteczności przeprowadzenia tezy.

W rozdziale 3 przedstawiono podstawowe elementy proponowanej architektury. Koncepcją wyjściową jest SOA. Następnie, przyjmując że dostępny jest i przetwarzany w systemie antologiczny opis środowiska, autor prezentuje ogólną architekturę SO–MRS, a następnie dyskutuje funkcje pojedynczych elementów – agentów odpowiedzialnych za funkcje organizacyjne. Wprowadza również użytkownika systemu, który zleca systemowi zadanie w formie intencji odnoszącej się do tego samego opisu środowiska. Realizacja zadania odbywa się sposób podobny do stosowanego w architekturze SOA. Zlecenie tłumaczone jest na zbiór usług zleczanych robotom.

Rozdział kolejny 4 poświęcony jest opisowi ontologicznemu środowiska, przyjętej reprezentacji wiedzy oraz zaproponowanemu językowi. Podana jest bliższa charakterystyka środowiska jako przestrzeni rzeczywistej, w której poruszają się i działają roboty. Siła wyrazu opisu i w konsekwencji użytego języka musi być adekwatna do tak określonego środowiska oraz wystarczyć do opisu zleceń dla systemu. W proponowanej reprezentacji, środowisko opisywane jest jako hierarchiczna kolekcja obiektów nazwana mapą obiektową. Z kolei język opisu przyjęty został jako rozszerzenie, znanego wcześniej języka Entish, które obejmuje przede wszystkim formuły dotyczące mapy obiektowej. Tak skonstruowany język służy następnie do definiowania interfejsów usług (ich opisu).

Rozdział 5 zawiera opis komunikacji stosowanej w tak skonstruowanym systemie SO–MRS. Określono zakres semantyczny komunikacji – 10 komunikatów (wiadomości), z których mogą być następnie budowane wszystkie przewidziane w systemie interakcje (protokoły). Zaproponowano także ich format. Następnie opisano sposoby obsługi tych wiadomości przez wydzielone elementy architektury (agentów) oraz podstawowe protokoły interakcyjne.

Centralną funkcję w systemie realizuje agent zadaniowy, który przejmuje na siebie takie funkcje architektury SOA, jak aranżacja i orkiestracja.

Dwa kolejne rozdziały to opisy eksperymentów z tak skonstruowanym systemem, przy czym rozdział 6 poświęcony jest eksperymentom w środowisku rzeczywistym, a rozdział 7 – eksperymentom przeprowadzonym w oparciu o techniki symulacji komputerowej.

W eksperymentach rzeczywistych usługi opierały się na dwóch rzeczywistych robotach mobilnych typu Pioneer 3 (P3-DX) operujących w dwóch pomieszczeniach uczelni. W ramach usług roboty mogły podejmować, przenosić i upuszczać różne przedmioty w dowolnych wskazanych lokalizacjach. W powyższym przypadku przygotowano odpowiednią mapę obiektową i jej opis w przygotowanym języku. Roboty miały określone obszary działania (zasięg usługi), co wymuszało ich współpracę. W powyższych warunkach wykonano wyczerpującą liczbę zleceń, z których jedno opisano dla przykładu w szczegółach.

Środowisko symulacyjne w istotnym stopniu rozszerza możliwości badania zaproponowanych w dysertacji rozwiązań. Platforma symulacyjna umożliwia automatyczne odwzorowanie mapy obiektowej w graficzne obiekty trójwymiarowe składające się na symulowane środowisko, zorganizowanie systemu robotowego SO–MRS i badanie jego zachowań w czasie wykonywania znacznie bogatszej mnogości zleceń. Również w tym przypadku wykonano według różnorodnych scenariuszy wiele eksperymentów, które są raportowane w dysertacji.

W obu przypadkach eksperymentowania wykorzystano także oprogramowanie niebędące dziełem autora: oprogramowanie realizujące elementarne funkcje robotów rzeczywistych oraz odpowiadające funkcjonalnie oprogramowanie w badaniach symulacyjnych. Oprogramowanie SO–MRS pozostaje w tych przypadkach w pozycji użytkownika.

W podrozdziale 8.1 (Podsumowanie) doktorant zawarł krótką analizę wyników badań eksperymentalnych nad proponowanymi rozwiązaniami uogólniającą nieco bezpośrednio obserwacje dotyczące zachowania systemu zawarte w rozdziałach o eksperymentowaniu.

Dysertację dopełnia dobrze dobrana bibliografia w istotnej części dotycząca tezy dysertacji (70 pozycji) oraz dwa dodatki. Dodatek A poszerza opis eksperymentowania symulacyjnego w zakresie cech otwartości i elastyczności architektury SO–MRS. Dodatek B to zestaw zdjęć i zrzutów ekranów ilustrujących eksperymentowanie.

Podsumowując przegląd treści stwierdzić można, że dysertacja ma charakter teoretyczno-konstrukcyjno-doświadczalny z pewną przewagą dwóch ostatnich elementów.

Zaproponowana struktura rozprawy jest w zasadzie do zaakceptowania, dobór prezentowanego materiału jest podporządkowany przeprowadzeniu postawionej tezy. Uwagi zgłosić można w stosunku do grupowania materiału. Mogłyby pojawić się przynajmniej dwa podrozdziały zbierające (1) wszystkie wymagania i założenia w stosunku do systemu SO–MRS (zniknąłby wtedy Dodatek A zawierający treści zdecydowanie należące do korpusu głównego rozprawy) oraz (2) wszystkie wnioski z badań eksperymentalnych.

**Obrona tezy.** Sformułowania tezy stwarzają sytuację, w której stosunkowo łatwo jest określić zakres jej uzasadnienia. W tej kwestii stwierdzić można co następuje.

1. Zgodnie z ogólnymi wymaganiami zawartymi w tezie, autor oryginalnie zaproponował ogólną architekturę systemu oraz uniwersalne protokoły komunikacyjne oparte na logicznym opisie środowiska sformułowanym w zaproponowanym języku.
2. Na podstawie powyższych rozwiązań doktorant zbudował system SO–MRS będący programowo zrealizowaną warstwą zarządzającą mobilnego systemu robotowego o określonej możliwości realizacji zleceń na rzecz użytkownika.
3. Powyższa warstwa zarządzająca posłużyła do uformowania (konieczne prace implementacyjne) dwóch systemów robotowych rzeczywistego składającego się z robotów oraz wirtualnego, w którym zarówno roboty jak i ich środowisko były symulowane.
4. Oba systemy poddane zostały eksperymentom mającym na celu zbadanie właściwości zaproponowanego i zrealizowanego rozwiązania.
5. Zgromadzony materiał eksperymentalny został opracowany, przedstawiony i przedyskutowany prowadząc do generalnej konkluzji, że SO–MRS posiada założone cechy.

Biorąc powyższe pod uwagę uznaję, że teza rozprawy została obroniona z sukcesem.

**Uwagi ogólne.** Poniższe uwagi odnoszą się do zakresu merytorycznego pracy. Traktować je należy jako kwestie skierowane do doktoranta, a dotyczące jego decyzji pogłębienia lub nie pewnych wątków dysertacji.

1. Jednym z ważnych stwierdzeń autora jest, że bezpośrednio zastosowanie koncepcji SOA jest niewystarczające do zorganizowania systemu robotowego. Stąd też bierze się sformułowanie tezy. Czy możliwa byłaby głębsza analiza prowadząca do określenia pełnych warunków stosowalności podejścia SOA wychodzących poza zastosowanie dla przypadku mobilnych robotów transportujących (jak w dysertacji)? Czy odpowiedni poszerzony model usługi (np. o atrybut rzeczywistego zakresu stosowalności) może zostać tutaj zaproponowany?
2. Czy problem reakcji systemu na sytuacje awaryjne i wyjątkowe może rzeczywiście być delegowany do warstwy adaptacyjnej, ustanowionej powyżej proponowanej w dysertacji SO–MRS, czy też być uwzględniony jako dodatkowy ale niezbędny element usługi?
3. W SO–MRS do wstępnego pozycjonowania robotów stosuje się specjalnie rozmieszczane znaczniki, co – jak wynika z eksperymentów – jest częstym źródłem nieodpowiedniego działania systemu. Czy próbowano zastosować inne rozwiązania w tym zakresie?

**Uwagi szczegółowe.** Rozprawa nie zawiera istotnych uchybień natury merytorycznej. Poniższe uwagi mają charakter techniczny lub polemiczny i mogą być uwzględnione bez naruszenia istotnych treści dysertacji.

1. Na stronie 106 (werset 6) autor omyłkowo wskazuje „Usługę1”, zamiast „Usługę2”.
2. Na rysunku 6.20 komunikaty są indeksowane za pomocą liczb naturalnych. Indeksacja jest nie kompletna i nie do końca wiadomo (brak odniesień w tekście) do czego służy.

**Uwagi redakcyjne.** Rozprawa napisana jest językiem na ogół zrozumiałym nie pozostawiającym czytelnikowi istotnych wątpliwości. Jest też bogato zi-

lustrowana dużą liczbą zdjęć, rysunków i diagramów. Nieco zbyt liczne literówki, usterki interpunkcyjne, gramatyczne oraz inne potknięcia edycyjne (jestem zwolennikiem wydzielenia reprodukowanych kodów źródłowych podobnie jak tablic) nie utrudniają ponad miarę odbioru jej istoty.

Dyskusyjne może być intensywne stosowanie XML jako języka publikacyjnego. Jakkolwiek posiada on ze względów historycznych właściwość czytelności dla ludzi, to długie i w dużej ilości występujące w pracy kody są nużące w śledzeniu i odwracają uwagę czytelnika od głównego biegu wywodu.

**Konkluzja.** Za podstawowe osiągnięcie doktoranta uważam oryginalnie opracowaną, zrealizowaną i zweryfikowaną warstwę zarządzającą systemów robotowych transportujących, która zapewnia realizację zleceń użytkownika w odpowiednio opracowanym środowisku pracy. Warstwę tę można uważać za prototyp, który może znaleźć rozwinięcie w zastosowaniach praktycznych.

W podsumowaniu recenzji stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr Waldemara Bartyny, stanowiąc oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wykazując ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie naukowej informatyka a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, spełnia wymagania *Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z późn. zm.* Tym samym wnioskuję o dopuszczenie przedmiotowej dysertacji do obrony publicznej.