

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy: „*The method for knowledge acquisition from sensor networks and the internet of things using model of augmented perception*”.

Autor rozprawy: mgr inż. Michał DYK

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Andrzej NAJGEBAUER, Prof. Wojskowej Akademii Technicznej

1. Cel, zakres i charakter rozprawy

Od szeregu lat można zaobserwować stały rozwój wiedzy i nie tylko, dotyczący sieci sensorowych. Ich praktyczne zastosowanie jest trudne do przecenienia. Prostota architektury sieciowej oraz praktycznie jej bezobsługowość lub w niektórych zastosowaniach minimalne wymagania serwisowe, czynią z tej sieci bardzo atrakcyjne narzędzie przy tworzeniu nawet skomplikowanych i odpowiedzialnych systemów. Połączenie sieci sensorowych z bardzo popularnym zastosowaniem Internetu do pozyskiwania danych z prostych konstrukcyjnie źródeł informacji (Internet Rzeczy, *ang. Inthernet of Things*) jest kolejnym interesującym zastosowaniem. Zatem głównym celem pracy wydaje się być, opracowanie metody pozyskiwania wiedzy z sieci sensorowych oraz urządzeń włączonych do Internetu Rzeczy. Urządzenia mogą posiadać różnego rodzaju sensory, przy użyciu których obserwują środowisko. Podstawowym obszarem zainteresowania są sieci M2M (Machine to Machine) oraz MANET (Mobile Ad-hoc network), w których urządzenia komunikują się bezpośrednio ze sobą, lub w razie braku bezpośredniego połączenia pomiędzy nadawcą a odbiorcą za

ze sobą, lub w razie braku bezpośredniego połączenia pomiędzy nadawcą a odbiorcą za pomocą skoków (ang. hop by hop). Ważnym jest i to, że metoda, bez dodatkowych modyfikacji, może być wykorzystana w rozwiązaniach, w których urządzenia komunikują się ze sobą za pośrednictwem sieci Internet, lub sieci mieszanych.

Oryginalność zaproponowanej przez autora metody opiera się na koncepcji, którą autor określił mianem tzw. „potrzeby informacyjnej”. Oznacza to, że to użytkownik określa o jaką informację mu chodzi i w jakiej formie ma być prezentowana i w jakiej formie jest potrzebna. Taki użytkownik nosi miano agenta kognitywistycznego. Rolą otaczającej go sieci urządzeń jest dostarczenie odpowiedzi na określoną, tak zdefiniowaną potrzebę. Należy zatem umożliwić samoorganizację sieci dla wypracowania odpowiedzi na postawione pytanie. Jest to w założeniach inne podejście niż obecnie opracowywane rozwiązania w dziedzinie Data Fusion (jak proces JDL), Big Data i IoT Cloud. Opierają się one na gromadzeniu surowych lub nieco wstępnie przetworzonych danych oraz analizowaniu ich w ramach dedykowanych usług. Niejednokrotnie takie podejście wymaga dużej wiedzy dziedzinowej oraz głębokiej znajomości typów sensorów i przetwarzania sygnałów wyjściowych.

Metoda zaproponowana w niniejszej pracy przenosi całość analizy do sieci urządzeń. Jest to implementacja koncepcji *fog computing* (przetwarzanie we mgle) bezpośrednio w sieci. Motywacja autora do tak sformułowanego problemu wynika z istoty samej informacji. Zawsze to nadawca definiuje co jest a co nie jest dla niego informacją. Jest to podyktowane stanem jego wiedzy dziedzinowej oraz kontekstu. Faktem jest, że nawet te same dane mogą dostarczyć różnej informacji bądź nie dostarczyć jej w ogóle, jeśli odbiorca nie potrafi ich zinterpretować. Stąd wynika podstawowy cel jaki autor postawił przed sobą i proponowaną metodą. Jest nim dostarczenie odpowiedzi, która jest zrozumiała (jest informacją) dla użytkownika. Ponadto użytkownik zadający pytanie do sieci w postaci potrzeby informacyjnej nie musi mieć wiedzy o jej topologii, rodzajach urządzeń oraz sensorach w które są wyposażone. W myśl opracowanej metody sieć jest autonomicznym systemem ze zdolnością do samoorganizacji na potrzebę udzielenia odpowiedzi na zadane pytanie o informację.

2. Zawartość rozprawy

Praca liczy 212 stron i została ujęta w 8 rozdziałów. Uzupełnia ją lista definicji oraz spis literatury zawierający 96 pozycji.

Rozdział 1 stanowi wprowadzenie, w którym zawarto informacje dotyczące motywacji podjęcia tematu pracy, przedstawiono jej cele i zakres oraz przedstawiono problemy badawcze, których rozwiązanie, według autora, jest decydujące z punktu widzenia celu pracy.

Uzyskanie celu postawionego w pracy wymagało opracowania szeregu modeli formalnych. Stały się one niezbędne w zaprojektowaniu algorytmów zachowania się urządzeń w sieci oraz implementacji środowiska symulacyjnego, które umożliwiło zbadanie w sposób jakościowy i ilościowy opracowanej metody.

W Rozdziale 2 opisany jest model percepcji. Model ów prezentuje w jaki sposób sensory, które są elementem składowym urządzenia i obserwują zjawiska w swoim otoczeniu. Model ten opiera się na Formalnej Teorii Percepcji, która wprowadza pojęcie i definicję *obserwatora*. Jest to podstawowy element procesu percepcji. Opisywany model pozwala określić precyzyjne zadania pojedynczego sensora, dzięki czemu możliwe jest określenie co i w jakiej formie pojedynczy sensor może wiedzieć o otoczeniu.

W Rozdziale 3 autor przedstawił drugi model jakim jest model informacji. Stanowi on podstawę dla dalszego zdefiniowania potrzeby informacyjnej oraz odpowiedzi na nią. Jako podstawę modelu autor przyjął teorię informacji opracowaną przez Keitha Devlina, która wprowadza pojęcie *infonu* jako atomowej jednostki informacji.

W Rozdziale 4. autor przedstawił kolejny model, który jest oparty o teorię grafów i sieci. Model ten posłużył autorowi do definiowania urządzeń posiadających budowę warstwową zgodną ze standardem IEEE P2413.

W Rozdziale 5, który wydaje się jednym z najważniejszych z punktu widzenia oceny pracy, autor przedstawił metodę pozyskiwania wiedzy z sieci urządzeń. Przypomniawszy pojęcie *agenta kognitywistycznego*, który posiada, w pewnym zakresie, zdolność do identyfikacji zjawisk, a także obiektów w swoim otoczeniu. *Agent kognitywistyczny* w ogólnym przypadku może być bardzo złożony jako na przykład urządzenie lub skomunikowana bądź nie, grupa urządzeń. Autor ponadto odpowiadając na pytanie, co może być *agentem kognitywistycznym* definiuje warstwę middle, dla której fundamentalnym elementem jest baza wiedzy, która umożliwia identyfikację obiektów i zjawisk w obserwowanym środowisku na podstawie odczytów z sensorów.

Zastosowana i przedstawiona przez autora notacja infonów umożliwia nawet przekształcenie prostych zdań z języka naturalnego w zestaw infonów. A jeśli tak to już krok do przynajmniej w części, automatyzacji zadań. Zapis ten jest również formalny, więc może być rozumiany przez komputery, i inne inteligentne urządzenia podłączone w bezprzewodową sieć sensorową lub Internet Rzeczy. Dzięki temu urządzenia wymieniają między sobą informacje, korzystając z potrzeby informacyjnej i odpowiedzi na nią. Zastosowanie metody, co jest bardzo ważne, nie jest uzależnione od wykorzystania określonej platformy sprzętowej bądź programowej. Urządzenia muszą jedynie spełniać wymagania postawione agentom kognitywistycznym, to jest posiadać własną bazę wiedzy oraz ontologię zawierającą zbiór podstawowych konceptów umożliwiających identyfikowanie w obserwowanym środowisku obiektów. Opracowania metoda może być traktowana jako rozwiązanie pozwalające zapewnić interoperacyjność urządzeń w ramach IoT i sieci sensorowych.

W Rozdziale 6, który również według mnie jest podstawowym dla pracy, autor przedstawił symulator *SenseSim*, za pomocą którego dokonuje się weryfikacji jakościowej i ilościowej opracowanej metody. Implementuje on modele sieci oraz percepcji wprowadzone w Rozdziałach 4 i 2. Symulator jest bytem wieloagentowym, który oprócz aspektów komunikacyjnych i za pomocą którego jest możliwe symulowanie zachowania urządzeń oraz

uruchamianie przez nie programy. Dodatkowo daje możliwości symulowania elementów otoczenia poprzez zmieniające się w czasie zjawiska, które mogą być obserwowane przez sieć urządzeń. Dzięki modułowej konstrukcji możliwa jest wymiana każdej z warstw składowych urządzeń. W szczególności symulowane urządzenia mogą zostać wyposażone w warstwę middleware z zaimplementowanymi algorytmami opracowanymi w Rozdziale 5. W ten sposób stają się agentami kognitywistycznymi zdolnymi do przetwarzania potrzeby informacyjnej.

Rozdział 7 zawiera opisy przygotowanych w ramach pracy eksperymentów. Również i ten rozdział nosi znamiona fundamentalnego gdyż stosowane prezentowane metody mogą być wykorzystane do budowania świadomości sytuacji w czasie rzeczywistym. Zaprezentowany scenariusz dotyczył sytuacji specyficznych i typowych dla akcji militarnych. Sama metoda dopuszcza sytuację, w której informacje o jednym obiekcie zbiera wiele urządzeń, przy czym każde może uwzględniać inny jego aspekt.

Rozdział 8 zawiera konkluzje i dyskusję podsumowującą uzyskane rezultaty pracy.

3. Uwagi ogólne

Większość prezentowanych w rozprawie rozważań teoretycznych ma charakter jakościowy choć trzeba przyznać, że strona eksperymentalna i badawcza pracy jest godna podkreślenia i jej istnienie znacząco uwiarygadnia uzyskane rezultaty teoretyczne. Rozważania o charakterze ilościowym opierają się na znanych rozwiązaniach spotykanych w literaturze. Natomiast należy podkreślić bardzo dobre rozeznanie i swobodę autora w poruszaniu się w zasobach literaturowych, co pozwoliło mu na formułowanie własnych koncepcji, których stopień trudności jest adekwatny do problematyki pracy. Trudno mieć jakieś fundamentalne uwagi do pracy, gdyż trudno dyskutować zarówno z pomysłem jak i wybraną drogą do jego realizacji. Autor, jak sądzę, był silnie motywowany przez cele użyteczne, co warto podkreślić, toteż moim zdaniem ocenie powinna podlegać poprawność postawionej nie wprost tezy, warsztat i potencjał naukowy doktoranta oraz uzyskane rezultaty. Praca jest niezwykle obszerna i niesie ze sobą znaczący ładunek wiedzy i umiejętności autora. Autor objął swoimi zainteresowaniami znaczny zakres problematyki związanej z opracowaniem metody pozyskiwania wiedzy z sieci sensorowych oraz urządzeń włączonych do Internetu Rzeczy oraz modelowaniem oprogramowania i uważam, że z podjętego zadania wywiązał się bardzo dobrze. Niestety nie potrafię sformułować żadnych uwag ogólnych, gdyż te, które mi się nasuwają, biorąc pod uwagę ogrom pracy i jej bardzo szeroki zakres wydają się nieistotne.

4. Uwagi szczegółowe

Strona edycyjna nie budzi większych zastrzeżeń. Praca jest przygotowana wydawniczo niezwykle starannie. Co do języka wypowiedzi też nie można mieć żadnych pretensji tym bardziej, że została napisana w języku angielskim, a piszący te słowa nie ma kwalifikacji do oceny językowej.

5. Ocena ogólna

Podstawowym aczkolwiek nie jedynym, deklarowanym przez autora celem pracy było opracowanie metody pozyskiwania wiedzy. Praca ma charakter absolutnie interdyscyplinarny, a co najważniejsze ma znaczące aspekty praktycznego zastosowania. Udokumentowane w pracy rezultaty, świadczą o szerokiej wiedzy autora nie tylko z zakresu projektowania systemów ale również z zakresu informatyki i to tej nie najłatwiejszej ale bardziej skomplikowanej związanej z systemami informatycznymi czasu rzeczywistego.

Jak już też wspominałem, podjęta problematyka jest istotna i aktualna ze względu na fakt wielkiego i szybkiego wzrostu liczby zastosowań nie tylko nowoczesnych systemów stosowanych w procesach projektowania ale konieczności rozwoju i budowy nowych platform projektowych. Podobnie obserwuje się zrozumiały wzrost wymagań związanych z poprawnością realizacji oprogramowania aplikacyjnego jako elementu nieodzownego z punktu widzenia celów pracy. Widać zatem, że proponowane i poddane testom przez autora metody, opisane w kolejnych rozdziałach pracy wychodzą jak najbardziej naprzeciw powstawania nowych platform projektowych. Tak więc, że powtórzę, temat podjętej pracy jest niezwykle aktualny.

Należy bardzo wysoko ocenić stronę badawczą i eksperymentalną. Eksperymenty zostały dobrane w sposób przemyślany i są bardzo dobrze udokumentowane. Przeprowadzono znaczną liczbę eksperymentów, które pozwoliły stwierdzić, że zaproponowane rozwiązanie jest sensowne. Opracowanie wyników badań również robi wrażenie bo analiza ich rezultatów niemalże wprost powoduje wykazanie poprawności stawianych nie wprost, w pracy tez.

Również dobre wrażenie robi dorobek bibliograficzny autora, a spis literatury zawiera pozycje bardzo aktualne i reprezentatywne dla tematyki badań. Do każdej pozycji literaturowej umieszczonej w spisie literatury, istnieje w treści pracy odwołanie.

Moim zdaniem, do oryginalnych osiągnięć oprócz rzecz jasna opracowania metody pozyskiwania wiedzy należy zaliczyć:

- Opracowanie modelu Bezprzewodowej Sieci Sensorowej (WSN) – jest on kompletnym modelem matematycznym WSN, który obejmuje nie tylko aspekty komunikacyjne, ale także konstrukcję urządzeń, ich zdolności percepcyjne, jak również środowisko zewnętrzne względem sieci, w którym mogą występować zmieniające się w czasie zjawiska (obserwowane przez urządzenia).
- Opracowanie symulatora SenseSim. Symulator jest implementacją formalnego modelu sieci WSN. Koncentruje się nie tylko na aspektach komunikacyjnych, ale także może symulować zachowanie urządzeń, jak również zjawiska w zmieniającym się środowisku. Ma także możliwość łączenia rzeczywistych urządzeń, dzięki czemu można przy jego użyciu przeprowadzać eksperymenty typu Hardware In The Loop (HWITL).

Warto na koniec pokreślić fakt, iż autor doskonale zdaje sobie sprawę z faktu, iż znajduje się na początku swej badawczej drogi i deklaruje konieczność kontynuacji swych badań, prezentując propozycje bardzo szerokich merytorycznie, ale z drugiej strony spójnych ze sobą kierunków badań mających na celu dalsze usprawnianie własnych modeli.

Niniejsza praca ma praktyczne znaczenie dla projektowania i konstruowania profesjonalnych systemów również wbudowanych i dlatego wyniki pracy autora należy ocenić pozytywnie.

Podobnie wysoko należy ocenić umiejętności autora w stawianiu tez naukowych, doboru narzędzi i metod oraz ich dowodzeniu i rozwiązywaniu niebanalnych problemów praktycznych.

6. Wniosek końcowy

Uważam, że w recenzowanej rozprawie **mgr inż. Michał DYK** wykazał umiejętności formułowania i rozwiązywania problemów naukowych. Wyniki jego pracy poszerzają wiedzę o możliwościach i zakresie wykorzystania mechanizmów modelowania, testowania i implementacji oraz wnoszą znaczące możliwości w praktyczne ich zastosowanie, ze szczególnym uwzględnieniem stosowania systemów czasu rzeczywistego stosujących sieci sensorowe w otoczeniu Internetu Rzeczy. Biorąc pod uwagę szeroki zakres merytoryczny pracy i uzyskane rezultaty, nie tylko uważam, że recenzowana praca spełnia wymagania odpowiednich przepisów o stopniach i tytule naukowym ale jak najbardziej zasługuje dodatkowo na wyróżnienie. Stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy **mgr inż. Michała DYK** do publicznej obrony i jej wyróżnienie

