

Poznań, 10.09.2024

dr hab. inż. Jarogniew Rykowski, prof. UEP

Katedra Technologii Informacyjnych

Instytut Informatyki i Ekonomii Ilościowej

Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu

al. Niepodległości 10

61-875 Poznań

RECENZJA

Ocena działalności naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej dr. Wiesława Pawłowskiego oraz recenzja jego osiągnięć naukowych przedstawionych w postępowaniu habilitacyjnym (cykl publikacji „Interoperacyjność semantyczna w Internecie Rzeczy”), opracowana w związku z uchwałą nr BA3-0005-9/24 z dnia 28 czerwca 2024 roku Rady Naukowej Instytutu Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk, oraz pismem Z-cy Dyrektora ds. Naukowych dr. hab. Jana W. Owsieńskiego z dnia 9 lipca 2024 roku, powierzającym mi funkcję recenzenta w ww. postępowaniu habilitacyjnym

Podstawowe informacje o kandydacie

Habilitant uzyskał tytuł doktora nauk matematycznych w zakresie informatyki w roku 2000, w Instytucie Podstaw Informatyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie, tytuł rozprawy „Kontekstowe systemy logiczne w podstawach specyfikacji i konstruowaniu oprogramowania”, promotor prof. dr hab. Andrzej Tarlecki. Był zatrudniony jako asystent i adiunkt w Instytucie Podstaw Informatyki PAN w latach 1990-2012, następnie jako adiunkt w Polsko-Japońskiej Akademii Technik Komputerowych (Zamiejscowy Wydział Informatyki w Gdańsku) w latach 2013-2015. Obecnie (od 2007 roku) jest zatrudniony na stanowisku adiunkta w Instytucie Informatyki przy Wydziale Matematyki, Fizyki i Informatyki Uniwersytetu Gdańskiego. Dr Wiesław Pawłowski brał także udział w szeregu projektów naukowych, w ramach których był dodatkowo zatrudniony na stanowiskach specjalisty

(Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk w Warszawie, udział w europejskich projektach badawczych ASSIST-IoT, aerOS oraz INTER-IoT), a w latach 1990-1991 pracował jako tzw. *visiting researcher* w Technical University of Denmark w Lyngby (Dania, udział w projekcie badawczym BRA ProCoS).

Ocena osiągnięcia naukowego będącego podstawą nadania stopnia doktora habilitowanego

Na przedstawiony do recenzji cykl prac pod wspólnym tytułem „Interoperacyjność semantyczna w Internecie Rzeczy”, zgłoszonych przez dr. Wiesława Pawłowskiego jako osiągnięcie naukowe, składa się dziesięć artykułów H1÷H10, opublikowanych w większości jako materiały konferencyjne. Wszystkie artykuły są współautorskie i powstały w ramach współpracy tej samej grupy badawczej, do której należał dr Wiesław Pawłowski. Osiem z nich jest na liście MNiSW (ranking 20÷40 punktów), dwa na tzw. liście filadelfijskiej (IF 2÷4). Udział Habilitanta w w/w publikacjach jest znaczący, choć można ocenić, że był on autorem wiodącym nie więcej niż w połowie tych publikacji. Nie ma na liście publikacji samodzielnej ani takiej, w której dr Wiesław Pawłowski jest wymieniony jako pierwszy autor. Można zatem stwierdzić, że udział Habilitanta w całym cyklu prac jest znaczący, ale nie wiodący w opracowaniu koncepcji badań, metodologii, pracach implementacyjnych i walidacyjnych, oraz analizie wyników.

W głównym nurcie zagadnień poruszanych w publikacjach leży Internet Rzeczy (ang. Internet of Things, IoT) oraz interoperacyjność, rozumiana jako nieograniczona możliwość wymiany i interpretacji znaczenia danych w aplikacjach IoT. Habilitant wskazuje na dwa uzupełniające się aspekty interoperacyjności – techniczny (komunikacja) oraz semantyczny (analiza znaczenia informacji). Ten drugi aspekt leży w centrum zainteresowań i stanowi podstawę cyklu publikacji przedstawionych do recenzji. Cykl ten jest przez to spójny i prowadzi od naświetlenia ogólnego tła problemu do implementacji przyjętych rozwiązań. Cykl nie jest zamknięty, ze względu na otwarty charakter problemu i możliwą szeroką klasę rozwiązań – nie sposób zaproponować rozwiązania, które będzie na tyle uniwersalne, że połączy nie tylko obecne, ale także przyszłe urządzenia IoT w jedną semantyczną całość. Nie jest to zarzut, tylko obserwacja, zresztą sygnalizowana także przez

Habilitanta. Z tego też względu opisywane w artykułach przykłady odnoszą się do raczej niewielkich fragmentów świata rzeczywistego (np. zastosowań IoT w logistyce), mimo potencjalnej możliwości wykorzystania w znacznie szerszym zakresie.

Habilitant szeroko korzysta z pojęcia ontologii, czyli formalnego opisu semantyki zbioru pojęć i relacji między nimi. Ontologie pozwalają na efektywny podział informacji na dane oraz metadane (informacje o znaczeniu danych), co z kolei umożliwia automatyzację analizy i standaryzację informacji uzyskiwanych z heterogenicznych czujników i podsięci IoT. Ważną zaletą podejścia opisu semantyki z wykorzystaniem ontologii jest dziedzinowość - ontologie mogą opisywać wybrane fragmenty świata rzeczywistego, co pozwala z jednej strony na ich łatwiejszą implementację, a z drugiej strony umożliwia efektywne łączenie tych fragmentów w większe konglomeraty.

Praca H1 jest niejako wprowadzeniem do tematyki badawczej i przedstawia szeroką analizę ontologii i innych metod reprezentacji semantyki w dziedzinie IoT. Motywem przewodnim publikacji jest zapewnienie interoperacyjności w Internecie Rzeczy, z wykorzystaniem metod reprezentacji i analizy opisów semantycznych. W tekście szczegółowo porównano możliwości kilkunastu systemów reprezentacji semantyki, słusznie zauważając, że opisy semantyczne zwykle abstrahują od budowy i danych technicznych urządzeń IoT, skupiając się raczej na oferowanych przez nie „usługach” transmisji danych. W tekście nie rozważono zagadnień pobocznych do reprezentacji semantyki, w szczególności możliwości implementacji rozwiązania w sposób rozproszony (bezpośrednio w urządzeniach IoT) oraz efektywny energetycznie i zasobowo (urządzenia IoT są zwykle dość ograniczone w tych aspektach). Jednak w wielu innych miejscach i publikacjach Habilitant słusznie zauważa, że w ogólności uwzględnienie tych ograniczeń skutkuje brakiem generalizacji i ograniczeniem do wąskiej specjalizacji urządzeń lub obszarów aplikacyjnych (co zresztą jest standardem w obecnym Internecie Rzeczy).

Uzupełnieniem publikacji H1 jest praca H2, która przedstawia poszerzoną analizę ontologii domenowych w zakresie zastosowań IoT w logistyce i ochronie zdrowia. W analizie skupiono się na poszukiwaniu optymalnego rozwiązania. Zauważono, że mimo szeregu propozycji w tym zakresie (także wykraczających poza ontologie i formalną reprezentację semantyki danych) nie ma zdecydowanego „zwycięzcy” w żadnym z badanych obszarów dziedzinowych. Co więcej, większość rozwiązań jest ograniczona do

konkretnych zastosowań i nie jest w pełni dostępna publicznie („otwarty” dostęp), co by umożliwiło dopasowanie konkretnego rozwiązania do własnych, specyficznych wymagań i zastosowań). Podobnie jak w pracy H1, zauważono ogrom pracy związanej z opracowaniem (dostosowaniem) własnej ontologii i nie rozważono aspektów pobocznych, takich jak możliwości implementacji w środowiskach ograniczonych sprzętowo i komunikacyjnie.

Artykuł H3 przedstawia możliwości w zakresie wykorzystania ontologii i deklaracji (opisów) semantycznych do interpretacji danych z urządzeń IoT. W tekście przedyskutowano szereg propozycji reprezentacji semantyki danych IoT, także „nieformalnych” albo o niskim stopniu formalizacji (jak opisy XML i JSON), pod kątem możliwości przeniesienia danych do formalnej reprezentacji semantycznej (OWL). W pracy słusznie zauważono, że mimo dostępności szeregu narzędzi do analizy i przygotowywania opisu semantycznego, pełna automatyzacja eksportu/importu danych z wykorzystaniem OWL nie jest możliwa, zawsze jest niezbędna ingerencja człowieka, co najmniej na etapie przygotowania odpowiedniego translatora. W pracy nie przedyskutowano ani technicznych aspektów budowy, ani ogólnej architektury takiego translatora, przyjmując tylko jako podstawę wykorzystanie istniejących narzędzi reprezentacji ontologii.

Praca H4 jest poświęcona ważnemu zagadnieniu w systemach IoT – uwzględnieniu ciągłego przepływu danych. W tekście zaproponowano własny sposób opisu semantyki ciągłego przetwarzania danych. Sposób ten wydaje się kompletny, choć jest mocno zależny od danych domenowych, które jawnie pojawiają się w opisie semantycznym (np. długość i szerokość geograficzna wyrażana jako etykiety „lat” i „long” w nazwach parametrów). Jest to mankament większości podejść reprezentacji semantyki, co często pociąga za sobą konieczność uzupełniania automatycznej analizy danych i metadanych przez pracę (weryfikację) człowieka. W tekście przedyskutowano interesujący aspekt reprezentacji związków „wiele-do-wielu” (ang. „many to many”) jako grupy związków „jeden-do-jednego” i związana z tym konieczność tworzenia semantycznych bytów przejściowych (podobnie jak dodatkowe tabele „techniczne” w relacyjnych bazach danych).

Pewnym mankamentem podejścia opisywanego w tekście jest brak rozróżnienia pełnego strumieniowania od przesyłania paczek danych. W pierwszym przypadku musimy także reprezentować historię transmisji danych oraz utrzymywać stały kontakt

komunikujących się stron (ang. connectivity, session) w celu identyfikacji nie jednego przesłania danych, a całego ciągu. Dla przykładu, nie można obejrzeć tylko jednej klatki filmu – żeby zrozumieć całość, trzeba także zobaczyć wszystkie klatki poprzednie i następne, w odpowiedniej kolejności i reżimie czasowym. W tekście mamy raczej do czynienia z drugim podejściem – przesyłania, najczęściej cyklicznego, niezależnych paczek danych (np. odczyty aktualnych parametrów otoczenia ze stacji pogodowej). Takie podejście zdecydowanie upraszcza semantykę danych, gdyż reprezentujemy tylko czyste dane, a nie ich ukryte związki przyczynowo-skutkowe. Oczywiście nic nie stoi na przeszkodzie, żeby poszerzyć opisywane w tekście rozwiązania o pełną reprezentację strumieniowości (zresztą w artykule zasygnalizowano obecność „kanałów komunikacji”), jednak nie jest to w pełni przedyskutowane w tekście.

Podobnym zagadnieniom jest poświęcona praca H5, w której dodatkowo przedyskutowano problem ekstrakcji danych semantycznych (budowy ontologii) oraz ich łączenia (multi-ontologii). Skupiono się na architekturze i rozwiązaniu scentralizowanym (z ontologią „nadrzędną”, najbardziej ogólną). W celu uniknięcia największej wady podejścia scentralizowanego, czyli kompleksowości i nikłej możliwości wprowadzania zmian, wprowadzono interesujące rozwiązanie – modularność. „Centrum” jest podzielone na jednostki, które są jawnie „adresowane” przez ontologie zewnętrzne wyłącznie w zakresie niezbędnym do poprawnej translacji danych. W ten sposób uniknięto niepotrzebnej nadmiarowości systemu centralnego, sprowadzając problem „wszystko dla wszystkich” do „wybrane dla wybranych”, co nie ogranicza funkcjonalności całości, a znacznie upraszcza potencjalną implementację.

Publikacja H6 jest ważnym głosem w polemice na temat efektywności rozwiązań wykorzystujących semantykę i ontologie. W powszechnym odczuciu są to rozwiązania wymagające bardzo dużych zasobów pamięciowych i obliczeniowych. W tekście pokazano, że opisywane w poprzednich publikacjach cyklu implementacje własnych rozwiązań są w miarę efektywne (czasy wykonania operacji na poziomie dziesiątek milisekund na rozbudowanym komputerze PC, czyli porównywalne np. z operacjami szyfrowania i podpisu elektronicznego). W tekście nie przedyskutowano możliwego narzutu związanego z komunikacją oraz implementacji (fragmentów) rozwiązania bezpośrednio w urządzeniach IoT, skupiając się na łączeniu całych podsieci („silosów”) Internetu Rzeczy.

Publikacje H7 i H9 są szczegółowym opisem formatu danych używanych do translacji semantycznej. Są to solidne i wyczerpujące objaśnienia technicznych aspektów translacji opisanych w poprzednich publikacjach.

Ostatnie dwie publikacje stanowią swego rodzaju podsumowanie cyklu. W pracy H8 przedyskutowano globalne aspekty interoperacyjności z wykorzystaniem translacji semantycznych. Opisano i przedyskutowano istniejące ontologie ogólne i dziedzinowe, oraz zanalizowano możliwość wprowadzenia jednej ontologii „ogólnej” dla sieci (silosów) Internetu Rzeczy, z translacją danych semantycznych „w locie”. W tekście nie przedyskutowano wszystkich aspektów takiego połączenia (np. tylko zaznaczono konieczność fizycznego dopasowania formatów komunikacji), skupiając się na semantyce danych. W pracy H10 podsumowano projekt INTER-IoT i związane z nim osiągnięcia badawcze, dodając także szereg wyjaśnień i opisów studium przypadku (możliwości i technik implementacji).

Podsumowując można stwierdzić, że przedstawione prace H1÷H10 składają się na spójny cykl publikacji, opisując zarówno teoretyczne, jak i praktyczne aspekty wykorzystania semantyki i ontologii do automatyzacji połączeń w ramach sieci Internetu Rzeczy. W ramach cyklu postawiono konkretny problem badawczy i go rozwiązano. Można wypunktować niewielkie mankamenty przyjętych rozwiązań (choć są to raczej wskazówki dalszych badań w tym zakresie):

- w rozwiązaniach nie rozróżniono strumieniowości od przesyłania paczek danych (brak reprezentacji „pamięci” oraz „historii” – zakłada się typową dla IoT współpracę bezpołączeniową);
- rozwiązania zakładają centralizację przetwarzania semantyki, nie są uwzględniane ograniczenia urządzeń IoT (pamięć, CPU) i transmisji między nimi (także ograniczenia typu transmisja jednokierunkowa) – rozwiązanie jest przeznaczone raczej dla „silosów”, czyli całych podsieci IoT z silną stacją pośredniczącą (ang. gateway);
- implementacja zakłada milcząco konieczność instalacji i zawarcia całej „inteligencji” semantycznej na etapie przed użytkowaniem, rozwiązania sugerują raczej nikłe możliwości zmian w trakcie i brak rozproszenia na poziomie urządzeń lub chociażby

bramek wejściowych do podsieci (dla przykładu: jest dostępna technologia On-The-Air OTA, ale tylko dla urządzeń z dużą pamięcią i dwustronnym, bezpiecznym linkiem komunikacyjnym). Czyli de facto opisywane rozwiązania są przeznaczone do łączenia raczej całych sieci (podsieci, silosów) IoT w celu zwiększenia funkcjonalności, a nie mają na celu np. wzrost możliwości współpracy w ramach konkretnej sieci, jak słusznie zauważono w pracy H3;

- nie jest rozwiązany i dyskutowany problem „nowoprzybyłego”, który de facto jest zmuszony zainstalować albo szereg lokalnych systemów, albo korzystać z globalnego „centrum dostępowego”, nie znając z góry szczegółów ani jednego, ani drugiego. Nie rozwiązuje to problemu interoperacyjności, tylko przesuwa go na wyższy poziom;
- w tekście nie ma też dyskusji praktyczno-ekonomicznej (modelu biznesowego) i uzasadnienia dla aplikowalności przyjętych rozwiązań – mimo że techniczne możliwe do wprowadzenia, w praktyce mogą być jeszcze jednym rozwiązaniem „lokalnym”, „specyficznym” lub zastrzeżonym (ang. local, specific, proprietary), tylko o nieco większym zasięgu. Wydaje się, że opisywane rozwiązania dobrze się sprawdzą w aplikacjach zamkniętych, rozpoznanych i opisanych w dużej mierze formalnie (jak ochrona zdrowia i logistyka, stanowiące główny przedmiot zainteresowania Habilitanta), natomiast nie poradzą sobie w rozwiązaniach specyficznych i bardzo rozległych (np. usługi w przestrzeni publicznej).

W podsumowaniu tej części opinii można ocenić, że przedstawiona do oceny aktywność naukowa dr. Wiesława Pawłowskiego, wyrażona cyklem publikacji, spełnia wymogi stawiane przed kandydatami do stopnia dr. habilitowanego.

Ocena pozostałego dorobku naukowego, osiągnięć dydaktycznych, organizacyjnych i popularyzacji nauki

Przedstawiony do recenzji cykl prac H1÷H10 jest jedynie fragmentem szerszego dorobku publikacyjnego i organizacyjnego dr. Wiesława Pawłowskiego. Na dorobek ten składa się (po uzyskaniu stopnia doktora):

- czynny udział (jako wykonawca) w dziewięciu projektach i programach badawczych, w większości międzynarodowych,
- członkostwo w Radach Redakcyjnych dwóch poczytnych czasopism (*Informatics* oraz *Scalable Computing*),
- promotorstwo pomocnicze w przewodzie doktorskim (P. M. Szmeja, *Calculating multidimensional semantic similarity in ontologies*, IBS PAN, 2021),
- promotorstwo szeregu prac magisterskich i licencjackich,
- udział w komitetach programowych ośmiu międzynarodowych konferencji,
- szereg referatów na międzynarodowych konferencjach.

Oprócz wykazanych w cyklu dziesięciu publikacji, dr Wiesław Pawłowski jest także współautorem siedmiu publikacji z podobnego obszaru badawczego (duża część wysokopunktowana i z wysokim współczynnikiem IF), dwóch artykułów w czasopismach, czterech rozdziałach w monografiach, czternastu prac w materiałach konferencji międzynarodowych i jednej – konferencji krajowej, oraz współautorem trzech większych monografii. Na uwagę zasługuje stosunkowo wysoki współczynnik cytowań:

- Scopus: 475, h-index 12,
- Web of Science: 278/10,
- Google Scholar: 1056/16,
- Semantic Scholar: 702/15.

Habilitant nie przedstawił danych umożliwiających ocenę jego dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego, dlatego te aspekty nie zostaną uwzględnione w niniejszej ocenie dorobku.

W podsumowaniu tej części opinii można ocenić, że pozostała aktywność naukowa dr. Wiesława Pawłowskiego spełnia wymogi stawiane przed kandydatami do stopnia dr. habilitowanego.

Konkluzja

Mając na uwadze powyższe opisy i uwagi można stwierdzić, że przedstawiony do recenzji cykl publikacji dr. Wiesława Pawłowskiego *„Interoperacyjność semantyczna w Internecie Rzeczy”* spełnia kryterium znacznego wkładu w rozwój dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja, a poruszana tematyka i opisywane rozwiązania są spójne i kompletne. Najważniejsze osiągnięcia opisywane w ramach w/w cyklu to:

- uwzględnienie ciągłego przepływu danych i związanej z tym ciągłej transformacji semantycznej,
- architektura centralnej multi-ontologii z wyspecjalizowanymi translacjami typu one-to-one;
- format opisujący transformację ontologii;
- własne rozwiązanie translatora ontologii wraz z pełną implementacją, które powstało w ramach projektów badawczych, w których aktywnie uczestniczył Habilitant.

Zwraca uwagę bardzo dobra orientacja Habilitanta w tematyce poruszanej w recenzowanym cyklu publikacji.

Należy jednak wskazać także słabsze strony. Habilitant nie przedstawił ani jednej publikacji całkowicie samodzielnej, a w publikacjach cyklu nie uwypuklił wystarczająco swojej wiodącej roli w badaniach i raportowaniu wyników tych badań. Ciężko ocenić, które z opisywanych pomysłów są autorstwa Habilitanta, a które pozostałych członków grupy badawczej. Nie wynika to także wprost z tekstów i deklaracji w autoreferacie. Określenie „participation” (uczestnictwo) dominuje w większości schematów kontrybucji przedstawionych artykułów. Wyjątkiem są publikacje H4 i H8, gdzie jest zaznaczona rola Habilitanta jako lidera, ale nie są to teksty przełomowe (H8 jest wręcz właściwie tylko podsumowaniem poprzednich prac, nie ma tam nowych pomysłów i rozwiązań), a nawet w tych przypadkach zadeklarowany udział procentowy nie przekracza 50%. Czyli de facto największym wkładem osobistym Habilitanta w recenzowanym cyklu badań i publikacji

jest uwzględnienie ciągłego przepływu danych w translacji semantycznej (nazwane w ramach cyklu „strumieniowaniem”), a pozostałe wyżej wymienione osiągnięcia należy „rozproszyć” między pozostałych członków grupy badawczej, w ramach której Habilitant publikował. Jednak taki zestaw osiągnięć jest według mnie wystarczający do uznania znaczącej roli Habilitanta w recenzowanym cyklu publikacyjnym.

Mając na uwadze wcześniejsze zawarte w tekście uwagi, analizy oraz oceny stwierdzam, że dorobek dr. Wiesława Pawłowskiego we wszystkich zrecenzowanych obszarach oceniam pozytywnie. Jego osiągnięcia naukowe, zarówno w zakresie przedstawionego do oceny cyklu publikacji, jak i w ramach pozostałych wymaganych obszarów aktywności spełniają wymagania stawiane osobom kandydującym do nadania stopnia naukowego doktora habilitowanego, określone w art. 219 ust. 1 pkt 2 i 3 z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018, poz. 1668). Tym samym wyrażam opinię pozytywną w sprawie nadania dr. Wiesławowi Pawłowskiemu stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie *nauk inżynieryjno-technicznych* w dyscyplinie *informatyka techniczna i telekomunikacja*, i rekomenduję komisji habilitacyjnej wniosek o dopuszczenie dr. Wiesława Pawłowskiego do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.