

dr hab. inż. Jerzy Balicki, prof. uczelni
Zakład Strukturalnych Metod Przetwarzania Wiedzy
Wydział Matematyki i Nauk Informatycznych
Politechnika Warszawska
ul. Koszykowa 75
00-662 Warszawa

Warszawa, 28.05.2019 r.

Recenzja

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgra inż. Marcina Badurowicza zatytułowana „*Zintegrowane metody oceny jakości dróg jako społecznościowy system akwizycji danych*”. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Jerzy Montusiewicz, prof. uczelni.

1. Tematyka rozprawy

Rozprawa umiejscowiona jest tematycznie w obszarze komputerowych metod analizy danych z wykorzystaniem nowoczesnych architektur sieci komputerowych, a całość tej niewątpliwie bardzo interesującej i aktualnej tematyki należy do dziedziny nauk technicznych w dyscyplinie Informatyka i Telekomunikacja. Praca dotyczy badań nad zintegrowanymi metodami oceny jakości dróg w kontekście społecznościowego systemu akwizycji danych do klasyfikacji artefaktów drogowych i oceny jakości dróg przy wykorzystaniu urządzeń mobilnych. Tematyka pracy bez wątpienia jest niezwykle istotna nie tylko z poznawczego, ale także z praktycznego punktu widzenia. Nawiązuje także do istotnych pojęć z zakresu Internetu Rzeczy.

Opiniowana rozprawa doktorska składa się z przeglądowego autoreferatu do 7 przedłożonych do oceny artykułów, których autorem lub współautorem jest Doktorant. Artykuły stanowią spójny cykl poświęcony zagadnieniom: projektowania mobilnego systemu informatycznego, opracowania algorytmów i aplikacji, a także modelowania kryteriów do monitorowania i oceny jakości dróg. W wielu fragmentach podkreślono istotną rolę urządzeń mobilnych oraz systemów społecznościowych.

Rozprawa doktorska mgra inż. Marcina Badurowicza poświęcona jest badaniom nad algorytmami do identyfikacji potencjalnych zmian nawierzchni drogi na podstawie komputerowej analizy wartości danych zarejestrowanych z czujników urządzenia mobilnego podczas przejazdu. Powyższe podejście może mieć zastosowanie również do rozwoju pojazdów autonomicznych. Ze względu na fakt, że nie przedstawiono jeszcze w krajowej

literaturze przedmiotu wyników powyższych badań, to można uznać, że właśnie tę „lukę” wypełnia opiniowana dysertacja.

Część ważnych wyzwań podejmowanych w ramach wspomagania decyzji za pomocą optymalizacji i wizualizacji agregowanych strumieni danych o stanie dróg znajduje oddźwięk w rozprawie. Doktorant opracował algorytm wykorzystujący akcelerometr wbudowany w urządzenia mobilne do pomiaru drgań i wykrywania artefaktów drogowych. W skonstruowanej metodzie opracowano aplikację wykorzystującą uczenie maszynowe w chmurze obliczeniowej. Ponadto wprowadzenie *crowdsourcingu* wymagało sprawnej procedury agregacji informacji pochodzących od wielu użytkowników, z czym Autor sobie doskonale poradził. W metodzie rozważa się także współczynnik IRI (ang. *International Roughness Index*), za pomocą którego oceniana jest techniczna jakość nawierzchni drogi.

Ponieważ proponowane wcześniej metody dotyczyły albo identyfikacji artefaktów, albo oceny jakości drogi, Doktorant uwzględnił oba powyższe czynniki za pomocą ujednoczonego wskaźnika numerycznego. Autor dokonał również innowacyjnej integracji przetwarzania w chmurze oraz na krawędzi Internetu Rzeczy między chmurą obliczeniową a urządzeniami końcowymi, co pozwala na zmniejszenie intensywności przesyłanych danych oraz pozwala na integrację danych pochodzących z wielu źródeł.

Po szczegółowej analizie zintegrowanej metody oceny jakości dróg warto podkreślić, że zasadna jest teza naukowa rozprawy, którą jest stwierdzenie, że możliwe jest wykrycie oraz identyfikacja potencjalnych zmian nawierzchni drogi na podstawie komputerowej analizy wartości danych zarejestrowanych z czujników urządzenia mobilnego podczas przejazdu po drodze.

Swoje tezy Autor uzasadnia w 106 stronnicowym autoreferacie zawierającym w szczególności 7 kluczowych artykułów naukowych, w tym 98 odnośników do aktualnej dla podejmowanej tematyki i reprezentatywnej literatury przedmiotu.

2. Walory pracy

Rozprawa jest bardzo przejrzystie napisana w kontekście prezentacji systemu metodologicznego związanego z podejściem polegającym na agregacji strumieni danych z wielu urządzeń mobilnych, a następnie na przetwarzaniu danych w inteligentnej chmurze obliczeniowej. W autoreferacie precyzyjnie sprecyzowano cel pracy, w tym cel użytkowy, a także postawiono hipotezę. Wskazano także na wagę uprawianej problematyki.

Istotnym walorem pracy jest pierwszy artykuł autorstwa M. Badurowicz i J. Montusiewicz pt.: “Identifying road artefacts with mobile devices”, w których Doktorant

w interesujący i świadczący o dobrej znajomości rzeczy sposób opisuje *state_of_the_art* interdyscyplinarnego obszaru badawczego na styku informatyki i transportu. Z autoreferatu jasno wynika, jakie części artykułu są autorstwa Doktoranta. Autor sięga do najważniejszych i aktualnych publikacji dotyczących tematyki doktoratu, w tym opisów akwizycji heterogenicznych danych z urządzenia mobilnego (wartości przyspieszenia w układzie kartezyjskim urządzenia, współrzędne geograficzne z systemu GNSS, stempel czasu). Doktorant zaproponował transformację układu współrzędnych urządzenia poprzez zastosowanie macierzy orientacji, co pozwoliło na uniezależnienie się od fizycznej orientacji urządzenia. Opracowana została również procedura kalibracji sensorów, pozwalająca uniezależnić się od mikroskopijnych wahań wartości czujników urządzenia. W rezultacie Doktorant w jasny sposób wprowadza czytelnika w słownik pojęciowy i badaną problematykę, a także definiuje podstawowe pojęcia.

W drugim artykule M. Badurowicz, T. Cieplak oraz J. Montusiewicz pt.: “The cloud computing stream analysis system for road artefacts detection”, Doktorant precyzyjnie opisuje skonstruowany system analizy strumienia danych o stanie dróg. Rozważania zilustrowano adekwatnymi przykładami, przedstawiając autorską modyfikację algorytmu Z-THRESH do detekcji artefaktów drogowych. Zastosowano również rozproszony system informatyczny w oparciu o paradygmat Internetu Rzeczy z wykorzystaniem protokołu MQTT.

Artykuł trzeci M. Badurowicz, T. Cieplak and J. Montusiewicz pt.: “On-the-fly community-driven mobile accelerometer data analysis system for road quality assessment” odnosi się do przetwarzania równoległych strumieni heterogenicznych danych z zastosowaniem koncepcji okna czasowego, co pozwala na wydzielenie stosownego fragmentu drogi do autonomicznej analizy. W opracowanej metodzie MOD-Z-THRESH do wykrywania obiektów niepasujących w przepływającym strumieniu danych, zastosowano zmienną wartość progu identyfikacji zależną od bieżącej jakości drogi w aktualnie przetwarzanym oknie czasowym. System zaimplementowano na platformie IBM Infosphere Streams w języku IBM Stream Processing Language. Eksperymenty zostały przeprowadzone na drogach różnej jakości – na drogach szutrowych, brukowanych oraz asfaltowych.

Powyższy artykuł poprzedza bardzo ciekawy artykuł czwarty M. Badurowicz i J. Montusiewicz pt.: “Virtual road concept as a tool for road quality research”, w którym szczegółowo opisano kwintesencję rozprawy – nowe podejście do wirtualizacji drogi. W artykule zaproponowano testową implementację „wirtualnej drogi” polegającą na generowaniu heterogenicznych strumieni danych symulujących przejazd przez rzeczywistą drogę, ale zawierających ustalony zestaw artefaktów drogowych. Wirtualna droga może zostać

zastosowana zamiast pracy na danych rzeczywistych, do celów projektowania i testowania nowych algorytmów. Zaproponowano podział różnych rodzajów artefaktów na klasy i podklasy.

W artykule piątym M. Badurowicz, J. Montusiewicz i T. Cieplak pt.: “Community-Driven Road Quality Assessment for Users and Territorial Government Organizations” Doktorant słusznie wskazał na zalety zastosowania podejścia opierającego się na wykorzystaniu chmurowej architektury Lambda do agregacji danych gromadzonych przez społeczność użytkowników. Autor wybrał tę architekturę z uwagi na możliwość jednoczesnego przetwarzania danych w sposób strumieniowy oraz wsadowy, co pozwala na wyszukiwanie artefaktów drogowych oraz agregację danych jakości drogi w systemie informatycznym. Oczywiście, obszar zastosowań proponowanego podejścia w tym artykule, a zatem i w rozprawie może być znacznie szerszy.

Artykuł szósty autorstwa M. Badurowicz pt.: “Algorithm for Detection of Road Artefacts for the IoT Edge Scenarios” przedstawia koncepcję algorytmu SCC-DFP (ang. Sequential Cross Correlation against Digital Fingerprint), służącego do identyfikacji artefaktów drogowych w warstwie szybkiej architektury Lambda lub bezpośrednio na krawędzi Internetu Rzeczy. Implementację algorytmu wykonano w języku C dla urządzeń IoT, pozwalając na przeniesienie wykrywania artefaktów z chmury na urządzenia. Ograniczono w ten sposób ilość przesyłanych danych nawet do trzech rzędów wielkości. W ten sposób metoda, algorytm i aplikacja są efektywne do wykorzystania na urządzeniach mobilnych.

Artykuł siódmy M. Badurowicz i T. Cieplak pt.: “Real-Time Road Quality Assessment Using Smartphones and Cloud Lambda Architecture” podsumowuje najważniejsze osiągnięcia Autora w postaci opisu zaprojektowanego systemu „CRADIA” (ang. *Community Road Artefacts Detection, Identification and quality Assessment*) w zmodyfikowanej chmurze obliczeniowej o architekturze Lambda.

Podjmując się napisania cyklu artykułów, w przeciwieństwie do problematyki wielu rozpraw doktorskich, Doktorant nie mógł być pewien, że osiągnie postawiony cel naukowy. Istotne jest to, że udało mu się to zrobić. Przy weryfikacji przyjętego podejścia naukowego Autor umiejętnie skorzystał z dorobku teorii naukowych dotyczących uczenia maszynowego, modelowania matematycznego oraz systemów wspomagania decyzji.

Artykuły są klarowne i napisane poprawnym językiem. Widać, że Autor nie ma problemów związanych z pisaniem publikacji naukowych. Doktorant poprawnie używa konstrukcji językowych pod względem gramatycznym, semantycznym i pragmatycznym.

Układ prac jest poprawny, struktura podziału treści – prawidłowa. Zakres jest spójny i przejrzysty.

Wykaz literatury zawiera reprezentatywne pozycje. W artykułach stanowiących rozprawę przeprowadzono analizę literatury przedmiotu, a zgromadzony materiał dobrze świadczy o wiedzy Autora. Sam przegląd wyników związanych z dziedziną jest poprawny, zaś wyciągnięte wnioski nie budzą zastrzeżeń. Sposób cytowania oraz podawania źródeł zaczerpniętej wiedzy jest poprawny.

W badaniach swoich Doktorant wykazał wyczuć w zakresie doboru metod oraz procedur postępowania. Autor wywiązała się z postawionego zadania, wynikającego z postawionego celu naukowego. Na podstawie lektury doktoratu uznać można, że mgr inż. Marcin Badurowicz wykazał się odpowiednią wiedzą w zakresie agregacji i wizualizacji danych o artefaktach drogowych i algorytmów przetwarzania rozproszonego, jak również umiejętnością przyjęcia racjonalnych założeń oraz stosownym warsztatem naukowym i inżynierskim.

W syntetycznym ujęciu należy stwierdzić, że zgodnie z zamierzonym celem badawczym niniejszej rozprawy doktorskiej do kluczowych osiągnięć Doktoranta zaliczyć można następujące elementy:

1. Obszerny przegląd literatury przedmiotu;
2. Opracowanie metody rozproszonej agregacji danych o artefaktach drogowych;
3. Skonstruowanie strategii do rozpoznawania i identyfikacji zagrożeń na drodze;
4. Przeprowadzenie badań eksperymentalnych z wykorzystaniem algorytmów uczenia maszynowego oraz chmur obliczeniowych;
5. Opracowanie metody wirtualizacji drogi w celu porównania wybranych algorytmów.
6. Opracowanie wskaźników oceny jakości dróg.

Uwzględniając wymienione oryginalne osiągnięcia naukowo-badawcze, uważam, że mgr inż. Marcin Badurowicz osiągnął cel rozprawy. Wykazał się przy tym umiejętnością samodzielnego rozwiązywania zagadnień projektowych w wymaganym zakresie.

Na podstawie lektury całości rozprawy, należy także uznać, iż Autor w wystarczającym stopniu posiadał umiejętności: analizy problemu naukowego, przedstawienia wnoszonych innowacji oraz opracowania uzyskanych wyników. Doktorant włożył spory wysiłek w przygotowanie rozprawy oraz dostarczony opis szczegółów swojej pracy. Włączone do rozprawy artykuły zawierają materiał, który obszernie ilustruje jakość i efektywność opracowanego podejścia z zakresu metod oceny jakości dróg przy wykorzystaniu społecznościowego systemu akwizycji danych.

3. Dyskusyjne elementy dysertacji

Bardzo trudno doszukać się w rozprawie nieco słabszych fragmentów. Wymieniłbym może trzy elementy dysertacji, o których warto podyskutować na publicznej obronie. Najważniejszym z nich jest pełniejsze uzasadnienie rekomendacji odnośnie opracowanej zintegrowanej metody oceny jakości dróg. W jakim stopniu społecznościowy system akwizycji danych poprawia jej efektywność? Czy nie wiąże się to ze zbyt mało precyzyjnymi pomiarami?

Autor rozważa modele uczenia maszynowego w zastosowaniu do diagnostyki stanu dróg i stwierdza (str. 112), że implementacja algorytmu SCC-DFP (ang. *Sequential Cross Corellation against Digital Fingerprint*) dla urządzeń zlokalizowanych na krawędzi Internetu Rzeczy poprawia wykrywanie elementów w strumieniu danych oraz jego zastosowanie do wykrywania artefaktów drogowych z dokładnością na poziomie ponad 90%. Czy dla bardziej wydajnych jednostek obliczeniowych można oczekiwać dalszej poprawy jakości rozwiązań? Nie jest dla mnie jasne, dlaczego Autor nie zrobił kolejnego kroku i nie odniósł się do rozwiązań Pareto-optimalnych czy kompromisowych w rozpatrywanych zagadnieniach.

W rozprawie brakuje szerszego odniesienia do nakładów obliczeniowych, w tym czasów obliczeń dla implementacji omawianych metod. W tym kontekście warto się również zastanowić nad możliwością wykorzystania procesorów graficznych GPU do wspomagania obliczeń w chmurze komputerowej.

Warto podkreślić, że artykuły zaliczone do rozprawy napisane są niezwykle starannie w języku angielskim. Nie występują w niej istotne błędy stylistyczne – może jedynie warto zasugerować, że tytuł sekcji „Related works” powinien brzmieć „Related work” (artykuł A7, p. 100).

4. Przydatność rozprawy dla nauk technicznych

Główny wynik recenzowanej rozprawy doktorskiej to zintegrowane metody oceny jakości dróg jako społecznościowy system akwizycji danych. Przyjęta metodyka modelowania tej klasy systemów oraz ich analizy jest w pełni zasadna. Problematyka ta uwzględniana jest w literaturze przedmiotu w niewielkim zakresie, a potrzeby rozwoju tego rodzaju metod systematycznie się zwiększają. W związku z tym poszerzanie wiedzy i doświadczenia w tym obszarze oraz rozwijanie nowych narzędzi programistycznych słusznie jest przedmiotem dociekań naukowych i projektów badawczych.

Przydatność rozprawy dla dziedziny nauk technicznych jest zatem ewidentna ze względów poznawczych, a także aplikacyjnych. Podnoszone przeze mnie uwagi krytyczne nie wpływają na bardzo wysoką ocenę oryginalnych osiągnięć naukowo-badawczych i zasadniczych wyników zawartych w recenzowanej pracy. Dysertacja stanowi ciekawy krok w rozwoju informatyki, w tym metod oceny jakości dróg.

5. Podsumowanie

Podsumowując, stwierdzam, że praca mgr inż. Marcina Badurowicza zatytułowana „*Zintegrowane metody oceny jakości dróg jako społecznościowy system akwizycji danych*” w przedstawionej formie spełnia wymagania przewidziane dla rozpraw doktorskich w aktualnie obowiązującej ustawie. Dlatego, stawiam wniosek o przyjęcie tej pracy jako rozprawy doktorskiej i o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

Ponadto, ze względu na śmiałe i nowatorskie podjęcie tematyki związanej z zastosowaniem mobilnej agregacji strumieni danych, nagradzając innowacyjność dysertacji, pragnę zgłosić wniosek o wyróżnienie ww. rozprawy. Uważam, że otrzymane rezultaty, poziom trudności i sposób napisania artykułów wchodzących w skład rozprawy w pełni to uzasadnia.

