

dr hab. inż. Marek Natkaniec, prof. AGH
Instytut Telekomunikacji
Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

Kraków, dnia 17 marca 2025 r.

Recenzja

osiągnięcia naukowego i aktywności naukowej

dr inż. Fernando Solano Donado

Wprowadzenie

Przedmiotem niniejszej recenzji jest ocena osiągnięcia naukowego (zrealizowanego oryginalnego osiągnięcia technologicznego) oraz aktywności naukowej dra inż. Fernando Solano Donado. Opinię przygotowano w związku z wnioskiem dra inż. Fernando Solano Donado, skierowanym w dniu 30 lipca 2024 roku do Rady Doskonałości Naukowej, w którym jego autor zwrócił się o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.

Recenzję przygotowano w związku z postępowaniem habilitacyjnym prowadzonym przez Radę Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Warszawskiej. Do jej opracowania posłużyła dokumentacja wniosku habilitacyjnego dra inż. Fernando Solano Donado. Recenzja została opracowana zgodnie z wymogami określonymi w art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

Podstawowe dane dotyczące Habilitanta

Dr inż. Fernando Solano Donado uzyskał w 2003 roku tytuł zawodowy inżyniera na kierunku Informatyka w Universidad del Norte w Barranquilla, Kolumbia, a kolejno w 2007 roku stopień naukowy doktora w zakresie technik informacyjnych, obroniony w Universitat de Girona na podstawie rozprawy doktorskiej zatytułowanej „*Label Space Reduction in GMPLS and All-Optical Label Swapping Networks*”. W latach 2008-2010 pracował na stanowisku asystenta naukowego do prac badawczych związanych z realizacją projektu EUREKA – MANGON/CELTIC CP04-017 w Instytucie Telekomunikacji na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej. Od 2010 roku pracuje w Instytucie Telekomunikacji na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej jako adiunkt naukowo-dydaktyczny.

Ocena wskazanego osiągnięcia naukowego Habilitanta

W myśl zapisów Ustawy, podczas opracowywania recenzji wzięto pod uwagę następujące kryteria obowiązujące osoby ubiegające się o stopień doktora habilitowanego (podkreślone punkty właściwe dla dorobku dr inż. Fernando Solano Donado):

1. Stopień doktora habilitowanego nadaje się osobie, która:
 - 1) posiada stopień doktora;
 - 2) posiada w dorobku osiągnięcia naukowe albo artystyczne, stanowiące znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny, w tym co najmniej:
 - a) 1 monografię naukową wydaną przez wydawnictwo, które w roku opublikowania monografii w ostatecznej formie było ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. a, lub
 - b) 1 cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b, lub
 - c) 1 zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne lub artystyczne;
 - 3) wykazuje się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.
2. Osiągnięcie, o którym mowa w ust. 1 pkt 2, może stanowić część pracy zbiorowej, jeżeli opracowanie wydzielonego zagadnienia jest indywidualnym wkładem osoby ubiegającej się o stopień doktora habilitowanego.
3. Obowiązek publikacji nie dotyczy osiągnięć, których przedmiot jest objęty ochroną informacji niejawnych.

Jako główne osiągnięcie naukowe wskazane w dokumentacji wniosku przez Habilitanta, podlegające jednocześnie ocenie w ramach niniejszej recenzji, jest osiągnięcie technologiczne zatytułowane „Zaprojektowanie i Opracowanie Systemów Internetu Rzeczy do Monitorowania Nielegalnej Produkcji Narkotyków”, wynikające z realizacji poniższych trzech jednolitych tematycznie projektów europejskich w obszarze bezpieczeństwa:

- FP7 Goldifsh - realizowany od listopada 2011 r. do maja 2015 r. (finansowanie z KE na projekt: 2,1 mln EUR). W realizacji projektu uczestniczyło 9 partnerów ze Szwecji, Francji, Kolumbii, Boliwii, Austrii, Chorwacji, Słowacji i Polski. Habilitant pełnił w projekcie rolę: koordynatora, kierownika, głównego badacza projektu oraz dewelopera.
- H2020 micromole - realizowany od września 2015 r. do lutego 2019 r. (finansowanie z KE na projekt: 5,0 mln EUR). W realizacji projektu uczestniczyło 11 partnerów ze Szwecji, Niemiec, Islandii, Belgii, Holandii, Francji i Polski. Habilitant pełnił w projekcie rolę: koordynatora, kierownika, głównego badacza projektu oraz dewelopera.

- H2020 SYSTEM - realizowany od listopada 2018 r. do lutego 2022 r. (finansowanie z KE na projekt: 8,0 mln EUR). W realizacji projektu uczestniczyło 20 partnerów z Niemiec, Szwecji, Polski, Włoch, Anglii, Słowacji i Belgii. Habilitant pełnił w projekcie rolę: pomysłodawcy projektu, lidera work-package'a oraz dewelopera.

Habilitant kierował dwoma z tych projektów. W ramach realizacji wymienionych projektów powstały systemy do monitorowania substancji będących narkotykami w europejskich ściekach oraz w kolumbijskich rzekach. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że ze względu na poufny charakter opracowanych rozwiązań, projekty były objęte ochroną informacji niejawnych, co w konsekwencji prowadziło do ograniczenia jawnych publikacji wynikających z rezultatów projektów do 6 powiązanych publikacji w czasopiśmie w ciągu ostatnich 14 lat. Tym samym podczas wykonywania recenzji zastosowanie ma art. 219 ust. 3 ustawy z dn. 30 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, mówiący o tym, że obowiązek publikacji nie dotyczy osiągnięć, których przedmiot jest objęty ochroną informacji niejawnych. Habilitant w autoreferacie odnosi się jednak do 9 publikacji będących wynikiem realizacji tych projektów. Tym samym ocena osiągnięć naukowych Habilitanta związana z zaprojektowaniem i opracowaniem systemów Internetu rzeczy IoT (Internet of Things) do monitorowania nielegalnej produkcji narkotyków będzie opierała się zarówno na informacjach przedstawionych w autoreferacie jak i wskazanych publikacjach.

Pierwszy projekt dotyczył zaprojektowania i implementacji systemu Internetu rzeczy do lokalizacji laboratoriów produkcji kokainy w dżunglach tropikalnych Ameryki Łacińskiej. Opracowany system został nazwany Goldfish i składał się z węzłów sensorowych oraz z bram komunikacyjnych. Węzły sieci sensorowej były umieszczane na dnie rzeki, a anteny do komunikacji bezprzewodowej unosiły się nad jej powierzchnią. Bramy znajdowały się na obu brzegach rzeki. Węzły wyposażone w odpowiednie czujniki komunikowały się z bramami za pomocą sieci Wi-Fi, tworząc w ten sposób strukturę kratową. Bramy były wyposażone w modem GSM do przesyłania zbieranych danych pomiarowych do chmury. Węzły sieci sensorowej składały się z modułu czujnika elektrochemicznego, modułu głównego i modułu komunikacyjnego. Do budowy węzła zastosowano kontroler Cortex-M4, przetwornik ADC o wysokiej rozdzielczości do pomiarów biosensora, mikrokontroler PIC24F oraz Raspberry Pi z kartą Wi-Fi. Moduł elektrochemiczny i główny moduł procesora wymieniały dane za pomocą dedykowanego protokołu, opartego na magistrali I2C. Główne osiągnięcia Habilitanta związane z realizacją projektu Goldfish 7PR były związane z zaprojektowaniem i wdrożeniem drugiej wersji prototypu Goldfish eliminującego komunikację Wi-Fi (nazwanego Goldfish-light) oraz zaprojektowanie i zaimplementowanie algorytmu kompresji danych do transmisji pomiarów przez urządzenia końcowe IoT. W systemie Goldfish-light zrezygnowano z użycia sieci bezprzewodowej Wi-Fi do komunikacji, głównie z powodu konieczności redukcji zużycia energii przez system. Dr inż. Solano Donado zaproponował, aby każdy węzeł sensorowy był wyposażony w modem GSM podłączony bezpośrednio do płyty głównej, co umożliwiło usunięcie zarówno modułów Wi-Fi jak i

bram ulokowanych na ładzie. Dzięki temu każdy węzeł sieci sensorowej mógł wysyłać dane zgromadzone z czujnika bezpośrednio do chmury. Habilitant zmodyfikował oprogramowanie węzła dodając sterownik modemu GSM, moduł zarządzania próbkami i komponent zdalnego zarządzania węzłem. System Goldfish-light dzięki eliminacji urządzeń Wi-Fi zużywał ok. 50% energii mniej w stosunku do pierwotnej wersji systemu. Co więcej, był również w stanie trzykrotnie szybciej przysyłać zgromadzone pomiary, co w rezultacie dawało sześciokrotnie mniejsze zużycie energii w odniesieniu do standardowego węzła Goldfish. W konsekwencji system Goldfish-light pozwolił na ładowanie akumulatora węzła z turbiny wodnej, czyli odnawialnego źródła energii, która również została zaprojektowana i wykonana w ramach projektu Goldfish. Habilitant opracował również algorytm kompresji danych, który zmniejszał rozmiar przesyłanych danych, jeżeli wartości pomiarów wynosiły 0 lub były zbliżone do 0. Realizacja projektu przyczyniła się również do powstania trzech publikacji, których współautorem był Habilitant, oznaczonych jako [H1], [H2] i [H3]. Pierwsze dwie publikacje dotyczą określenia sposobu routingu pomiędzy węzłami Goldfish, jeżeli te węzły płyną z prądem rzeki.

W pracy [H1] Habilitant ze współautorami zaproponowali model optymalizacji dla sieci DTN (Delay/Disruption Tolerant Networking), który maksymalizuje prawdopodobieństwo dostępności ścieżek od źródeł do miejsc docelowych. Autorzy pracy przedstawiają również oportunistyczny algorytm przekazywania, który uwzględnia prawdopodobieństwo dostępności sąsiadujących węzłów, aby zdecydować, czy dany węzeł powinien przekazać wiadomość, czy przechować ją do momentu nawiązania kontaktu z węzłem o wyższym prawdopodobieństwie dostępności. Algorytm ten został przetestowany w pięciu różnych scenariuszach i we wszystkich przypadkach znalazł ścieżkę do miejsca docelowego. Powiązanie pracy [H1] z projektem Goldfish wynika z faktu rozważania komunikacji pomiędzy ruchomymi węzłami sensorowymi i bramami jako sporadycznej, czyli traktowania tej sieci jako DTN.

W pracy [H2] Habilitant oraz pozostali współautorzy zaproponowali predykcyjny algorytm oparty na technikach filtracji Kalmana, który pozwala prawidłowo oszacować moment, w którym czujnik znajduje się możliwie najbliżej węzła zbiorczego, w celu zmniejszenia zużycia energii przez czujnik. W szczególności autorzy pracy proponują zastosowanie dwóch filtrów Kalmana. Pierwszy z nich służy do oszacowania poziomu wskaźnika siły odbieranego sygnału (RSSI) na podstawie kilku pakietów kontrolnych odbieranych przez urządzenie czujnikowe. To oszacowanie RSSI wskazuje w danym momencie odległość mobilnego czujnika od węzła zbiorczego. Drugi filtr Kalmana, wykorzystując dane wyjściowe z pierwszego filtra, szacuje prędkość kątową oraz kąt mobilnego czujnika w danym czasie. Po przetworzeniu tych informacji możliwe jest oszacowanie pozycji mobilnego czujnika na trajektorii kołowej, co pozwala określić, jak blisko znajduje się on względem węzła zbiorczego. Autorzy wykazali również, że ich predykcyjny algorytm routingu wykazuje lepsze wyniki pod względem dokładności określania odległości od węzła zbiorczego oraz zużycia energii w warunkach zakłóconej komunikacji. Szkoda jednak, że wyniki tych prac nie

zostały wdrożone w projekcie, głównie z powodu przyjętego finalnie założenia, że system Goldfish powinien składać się wyłącznie z nieruchomych węzłów.

Trzecia publikacja [H3] przedstawia kilka algorytmów do obliczania optymalnego parametru kodowania Rice'a. Autor stawia hipotezę, że optymalny parametr kodowania Rice'a można ograniczyć i weryfikują tę hipotezę poprzez eksperymenty numeryczne z wykorzystaniem rzeczywistych danych. Opisuje również algorytmy, które dzielą wejściową sekwencję danych na podsekwencje w taki sposób, że jeśli każda podsekwencja zostanie zakodowana z innym parametrem Rice'a. Autor proponuje algorytm do znalezienia optymalnego podziału dla kodów Rice'a, a także szybkie heurystyki, oparte na analizie kompromisów związanych z tym problemem. Habilitant pokazał, że znalezienie najlepszego parametru kodowania Golomba-Rice'a jest problemem programowania całkowito-liczbowego. Wyniki uzyskane w tej pracy zostały zastosowane w projekcie Goldfish do opracowania efektywnego algorytmu kompresji danych.

Drugi projekt o nazwie Micromole miał na celu opracowanie i przetestowanie autonomicznego systemu rozproszonych czujników bezprzewodowych, wspomagających szybkie wykrywanie nielegalnej produkcji narkotyków syntetycznych w obszarach miejskich. System ten miał także umożliwić gromadzenie oraz przechowywanie dowodów fizycznych i cyfrowych, które mogłyby zostać wykorzystane przez organy ścigania w postępowaniach sądowych. Habilitant poświęcił 80% swojego czasu pracy na zadania badawcze, rozwojowe i walidacyjne projektu H2020 Micromole, co było możliwe dzięki ograniczeniu obowiązków dydaktycznych. W szczególności prace dra inż. Solano Donado związane z realizacją projektu Micromole były związane z analizą wymagań i rozwiązań dla systemu, projektowaniem, wdrażaniem i testowaniem oprogramowania wbudowanego H2020 Micromole w laboratorium i sieciach kanalizacyjnych, a także określeniem wzorca architektury IoT dla autonomicznego wykrywania zdarzeń i wyzwalania elementów wykonawczych systemu. System Micromole miał w swoich założeniach zbierać fizyczne dowody w ściekach produkcji narkotyków syntetycznych w postaci odpadów z syntezy oraz szybko zgłaszać ich nielegalną produkcję organom śledczym. Szczegółowe wymagania zostały postawione zarówno przez funkcjonariuszy organów ścigania w konsorcjum jak i specjalistów z zakresu hydrotechniki, którzy określili warunki pracy w środowiskach sieci kanalizacyjnej związane z ich bezpieczną eksploatacją. Zdecydowano, że system powinien przyjąć formę pierścienia, aby możliwe było jego dopasowanie do wewnętrznych ścian rur kanalizacyjnych. Ponieważ nie było możliwe ulokowanie wszystkich komponentów w jednej obudowie, zdecydowano się (głównie za sprawą wymagań energetycznych) na podział komponentów elektronicznych na trzy oddzielne urządzenia pierścieniowe do monitorowania pojedynczego odpływu. Pierścień pierwszy (nazywany urządzeniem referencyjnym) był umieszczany przed monitorowanym wylotem i zawierał czujniki pH i przewodności elektrycznej. Z kolei pierścień drugi (nazywany urządzeniem nadrzędnym) był umieszczany za monitorowanym wylotem i był wyposażony w czujniki pH i przewodności elektrycznej. Ostatni, trzeci pierścień (nazywany urządzeniem próbkującym) był umieszczany za pierścieniem drugim i posiadał na wyposażeniu czujnik elektrochemiczny i jednostkę próbkującą.

Ponieważ czujniki musiały ze sobą współpracować, konieczne było dodanie bezprzewodowych interfejsów komunikacyjnych do przekazywania zdarzeń generowanych przez czujniki. W konsekwencji, wszystkie trzy pierścienie zawierały główny moduł do komunikacji bezprzewodowej, analizy danych i ogólnej kontroli urządzenia pierścieniowego oraz moduł zarządzania energią z bateriami do zasilania. Habilitant był odpowiedzialny za wybór rozwiązań sprzętowych kontrolera i radia. W tym celu przeprowadził szereg pomiarów w prywatnej linii kanalizacyjnej na terenie Wyższej Szkoły Policji w Legionowie przy użyciu generatora sygnału radiowego i analizatora widma. Biorąc pod uwagę uzyskane wyniki, wskazujące na słabe warunki propagacji radiowej, zdecydował, że system będzie posiadał dodatkowe urządzenia w postaci bram do przekazywania informacji z monitoringu do organów ścigania przez Internet. Projekt i wdrożenie bramy należało do zadań kierowanego przez niego zespołu. Niestety, z uwagi na słabe warunki propagacji radiowej, naruszono założenie odnośnie konieczności stosowania komunikacji bezprzewodowej, zastępując transmisję bezprzewodową między pierścieniem trzecim i bramą rozwiązaniem światłowodowym. Jeżeli chodzi o wybór poszczególnych komponentów elektronicznych Habilitant zdecydował się na użycie mikrokontrolera EZR32WG330 firmy Silicon Labs, który zawierał kontroler ARM Cortex-M4F oraz podłączone poprzez magistralę SPI radio pracujące na częstotliwości 169 MHz. Mikrokontroler pracował z maksymalną szybkością zegara 48 MHz i mógł obsługiwać aplikację binarną o rozmiarze nie większym niż 256 KB, jak również posiadał zaledwie 16 KB pamięci ulotnej dla wbudowanej aplikacji. Podczas implementacji oprogramowania dr inż. Solano Donado postanowił opracować zdecentralizowany algorytm czasu rzeczywistego, rozkładając analizę danych sygnałowych między dwa urządzenia IoT w taki sposób, aby ograniczyć liczbę przesyłanych między nimi ramek danych. Dzięki temu udało mu się zmniejszyć całkowite zużycie energii oraz skrócić czas reakcji systemu. Zaproponowany przez Habilitanta rozproszony algorytm wykorzystywał filtr Kalmana do ustawienia linii bazowej (kompensującej wahania pomiarów parametrów ścieków spowodowane opadami deszczu lub nieszczelnością rur) dla pomiarów pH i EC w celu identyfikacji anomalii w każdym urządzeniu. Habilitant z zespołem opracował również protokół komunikacyjny CoAP, sterowniki radiowe dla układu EZR32WG330 poprzez magistralę SPI, obsługi płyty dla kontrolera Gateway SAME70, zarządzania pamięcią zewnętrzną, odczytu czujników pH i EC, komunikacji optycznej i płytki próbkującej. Po zintegrowaniu protokołu komunikacyjnego CoAP do systemu operacyjnego RIOT-OS, dr inż. Solano Donado zaimplementował protokół warstwy aplikacji znajdujący się powyżej CoAP, sterowniki radia dla układu EZR32WG330 poprzez SPI, obsługę płyty kontrolera bramy oraz wymieniony wcześniej rozproszony algorytm. Sam system został zaimplementowany i przetestowany w dwóch obiektach obejmujących lokalizacje w Berlinie i Legionowie. Kolejno, Habilitant rozszerzył rozproszony algorytm monitorowania pojedynczego monitorowanego obiektu do systemu monitorowania składającego się z wielu urządzeń, umożliwiających monitorowanie zestawu kolejnych sąsiednich wlotów w sieci kanalizacyjnej. W tym celu ustalił, że rola pierścienia Micromole dla konkretnego monitorowanego obiektu zależy od jego względnego położenia w

stosunku do monitorowanego obiektu. Przyjmując takie założenie, pojedyncze urządzenie z pierścieniem Micromole może pełnić wszystkie trzy funkcje (referencyjną, nadrzędną i próbkującą), niezależnie dla trzech różnych monitorowanych obiektów. Zaproponowany przez Habilitanta model architektury HADA (Hop-by-hop Anomaly Detection and Actuation) stanowi innowacyjne podejście do problemu kaskadowego monitorowania lokalizacji anomalii. Architektura HADA może znaleźć zastosowanie również w przypadku innych systemów IoT, które pracują w trudnych warunkach środowiskowych, gdzie część urządzeń nie ma bezpośredniego dostępu do Internetu lub ich połączenie jest wolne lub zawodne. HADA wypada lepiej pod względem energooszczędności i czasu przetwarzania w porównaniu do rozwiązań opartych na chmurze i przetwarzaniu na brzegu sieci. Warto podkreślić, że projekt Micromole został wyróżniony przez Komisję Europejską jako „Success Stories”, a także osiągnął 6 poziom gotowości technologicznej (TRL6). Tak jak w przypadku pierwszego projektu, jego realizacja umożliwiła Habilitantowi przygotowanie kolejnej publikacji, oznaczonej jako [H4].

Habilitant w pracy [H4] przedstawił ze współautorami i poddał ocenie system IoT monitorowania i aktywacji, przeznaczony do lokalizowania nielegalnych, szkodliwych zrzutów zanieczyszczonych ścieków przemysłowych w sieciach kanalizacyjnych. Zaproponowane rozwiązanie określa nowy wzorzec architektury IoT, który został uogólniony i nazwany HADA. Rozproszony algorytm wykrywania i lokalizacji anomalii przewiduje występowanie nieprawidłowości na podstawie wcześniejszych pomiarów czujników, uwzględniając sezonowe zmiany parametrów ścieków oraz zakłócenia generowane przez sensory. Do przeprowadzenia badań autorzy wykorzystali symulację komputerową, gdzie przebadano dużą sieć kanalizacyjną, obejmującą trzy powszechnie spotykane nielegalne zanieczyszczenia przemysłowe. W pracy omówiono również zalety i ograniczenia proponowanego systemu lokalizacji anomalii w ściekach. System IoT, wraz z algorytmem wykrywania i lokalizacji anomalii, został zaimplementowany na mikrokontrolerze o niskim poborze mocy i przetestowany w płynących ściekach zawierających różne agresywne odpady przemysłowe.

Ostatni z projektów pod akronimem H2020 SYSTEM (SYnergy of integrated Sensors and Technologies for urban sEcured environMent) dotyczył zaprojektowania systemu fuzji danych dla lokalizacji laboratoriów produkujących narkotyki syntetyczne lub materiały wybuchowe w dużych aglomeracjach miejskich. System ten miał integrować informacje pochodzące z różnorodnych zestawów czujników, w tym urządzeń opracowanych w ramach projektu H2020 Micromole, rozmieszczonych w różnych sieciach infrastruktury publicznej na obszarach miejskich. Podczas realizacji projektu H2020 SYSTEM Habilitant aktywnie pracował nad takimi zagadnieniami jak adaptacja systemu H2020 Micromole do monitoringu dużych aglomeracji miejskich, opracowanie algorytmu adaptacyjnego do energooszczędnego pobierania próbek pH i EC ścieków, opracowanie algorytmów kompresji danych do transmisji pomiarów przez urządzenia końcowe IoT oraz opracowanie algorytmów fuzji danych do lokalizacji tajnych laboratoriów narkotyków syntetycznych lub materiałów wybuchowych. W konsekwencji dr inż. Fernando Solano Donado

przeprojektował architekturę systemu Micromole i wdrożył ją tak, aby była zgodna z klasycznym systemem IoT opartym na chmurze. Habilitant zaprojektował i wdrożył oprogramowanie pośrednie do integracji analizy z użyciem technik LC-MS/MS z pomiarami scentralizowanego przetwarzania usług w chmurze ze wszystkich innych czujników. Opracował również algorytm adaptowalnej częstotliwości pomiaru, który wykorzystywał regulator proporcjonalno-całkująco-różniczkujący (PID), kontrolujący wzmocnienia filtra Kalmana używanego do prognozowania bazowego poprzez dostosowanie tempa pomiaru EC. Kolejno, zaproponował odmianę algorytmu kodowania Sprintz, który pod względem efektywności energetycznej przewyższa w większości przypadków wydajność kodów Golomb-Rice. Duża część prac była poświęcona zagadnieniu związanego z kształtem obserwowanego piku zrzutu zanieczyszczeń w określonej lokalizacji, który powinien dostarczyć wystarczających informacji do wskazania punktu źródłowego zrzutu w sieci kanalizacyjnej. W tym celu Habilitant wykorzystał algorytmy uczenia maszynowego. Wynikiem działania tego algorytmu nie jest dokładna lokalizacja w sieci kanalizacyjnej, ale oszacowanie odległości między punktem pomiarowym, a punktem źródłowym zrzutu. W ramach przeprowadzonych prac zaobserwowano, że dane symulacyjne wykorzystywane do uczenia algorytmów uczenia maszynowego mogą różnić się od rzeczywistych pomiarów, jeśli w sieci kanalizacyjnej występują osady lub zatory rur. Skłoniło to Habilitanta do opracowania kolejnego rozwiązania. Druga metoda zapewnia strategię rozmieszczenia ograniczonego zestawu czujników w celu zlokalizowania tajnego laboratorium. Opracowane rozwiązanie (postrzegane jako drzewo decyzyjne) gwarantowało, że maksymalna liczba kroków potrzebnych do określenia ze 100% pewnością lokalizacji potencjalnego źródła zrzutu była minimalna. Trzecia opracowana przez Habilitanta metoda bierze również pod uwagę ograniczenia geometryczne oraz prędkości przepływu w kanalizacji. Szkoda, że dwie opracowane metody optymalizacji nie zostały jednak zaimplementowane w ostatecznym prototypie projektu. Dr inż. Fernando Solano Donado brał również udział w opracowaniu algorytmu fuzji danych zaimplementowanego w prototypie projektu H2020 SYSTEM, gdzie przedstawił wymagania techniczne dla algorytmu fuzji danych oraz przygotował zbiory danych do jego oceny. W ramach realizacji projektu H2020 SYSTEM Habilitant przygotował kolejne publikacje oznaczone jako [H5], [H6], [H7], [H8] i [H9].

Praca [H5] przedstawia system monitoringu online umożliwiający ilościowe oznaczanie mikrozanieczyszczeń w dopływie i odpływie oczyszczalni ścieków. System ten wykorzystuje automatyczne i ciągle pobieranie próbek, ich przygotowanie, ekstrakcję oraz analizę danych. Zautomatyzowana analiza danych pozwalała na uzyskanie wyników w ciągu kilku sekund po każdym pomiarze. Dodatkowo, w aplikacji do analizy danych uwzględniono narzędzie alarmowe, które automatycznie powiadamiało użytkownika w przypadku przekroczenia określonego progu stężenia danej substancji. System monitoringu online został zastosowany do analizy dopływu i odpływu, monitorując 57 substancji przez tydzień w dopływie oraz dwa dni w odpływie. Wysoka rozdzielczość czasowa umożliwiła obserwację periodycznych wzorców dotyczących obecności farmaceutyków oraz zanieczyszczeń pochodzących ze źródeł punktowych i rozproszonych.

W pracy [H6] Habilitant skupia się na problemie identyfikacji zanieczyszczenia w ściekach oraz lokalizacji jego źródła w sieci kanalizacyjnej, bazując na szeregach czasowych pomiarów ścieków zbieranych przez czujniki rozmieszczone w systemie kanalizacyjnym. Praca odnosi się zarówno do wykrywania i identyfikacji substancji zanieczyszczających w ściekach, czyli oceny, czy dany szereg czasowy odpowiada zdarzeniu zanieczyszczenia, oraz określenia, jaka substancja je spowodowała. Do rozwiązania problemu wykorzystano klasyfikatory lasów losowych (random forest) jak i oszacowanie odległości między punktem pomiarowym a źródłem zanieczyszczenia, uwzględniając wynik identyfikacji substancji. W drugim przypadku Habilitant zastosował algorytm XGBoost, który przewiduje dystans między źródłem zanieczyszczenia a czujnikiem.

W kolejnej pracy [H7] dr inż. Fernando Solano Donado ze współautorami przeanalizowali problem pokrycia sieci kanalizacyjnej czujnikami oraz minimalizacji funkcji kosztu. Problem rozmieszczenia czujników w sieci kanalizacyjnej został sformułowany jako zagadnienie programowania MIP (Mixed-Integer Programming). Takie podejście gwarantuje uzyskanie optymalnego rozwiązania dla rozważanego problemu. Do jego rozwiązania wykorzystano solver CPLEX. Badania przeprowadzono w scenariuszach opartych na realistycznych zbiorach danych.

Z kolei w pracy [H8] Habilitant rozważa problem minimalizacji funkcji kosztu pokrycia sieci kanalizacyjnej czujnikami. Funkcja kosztu obejmuje zakup i instalację komponentów elektronicznych, takich jak czujniki, baterie oraz urządzenia, na których są one montowane. Problem rozmieszczenia czujników w sieci kanalizacyjnej lub jej części został sformułowany jako model programowania MIP, który gwarantuje uzyskanie optymalnego rozwiązania. Zaproponowany model umożliwia uwzględnienie zarówno częściowego, jak i pełnego pokrycia analizowanej sieci kanalizacyjnej. Do rozwiązania problemu również wykorzystano solver CPLEX. Badania przeprowadzono dla scenariuszy opartych na sztucznych oraz rzeczywistych zbiorach danych.

W ostatniej pracy [H9] Habilitant wraz ze współautorami opracował i przetestował system fuzji danych, który przekształca szeregi czasowe pomiarów czujników w zestaw zdarzeń związanych ze źródłami zrzutów zanieczyszczeń. System ten dokonuje transformacji danych w kilku krokach. Szeregi czasowe pomiarów czujników są ponownie próbkowane i konwertowane na jednolite obserwacje w dyskretnym przedziale czasowym. Obserwacje czujników są odwzorowywane na wykrycia zanieczyszczeń, które określają ilość konkretnych substancji na podstawie wcześniejszej wiedzy. Wykrycia zanieczyszczeń są następnie wykorzystywane do modelowania ich propagacji w dół sieci kanalizacyjnej, co pozwala uwzględnić brakujące pomiary czujników. Wykrycia zanieczyszczeń oraz uzupełnione obserwacje czujników są grupowane w ścieżki. Na końcu ścieżki te są analizowane i propagowane w górę sieci w celu utworzenia końcowej listy prawdopodobnych zdarzeń zrzutów zanieczyszczeń. Wyniki wskazują, że proponowany system jest w stanie zawęzić lokalizację źródła zanieczyszczenia do siedmiu lub mniejszej liczby węzłów, w zależności od całkowitej liczby czujników, jednocześnie przetwarzając około 100 obserwacji na sekundę.

Siedem z dziewięciu publikacji wskazanych w dokumentacji wniosku jako wynikających z pracy nad projektami posiada wskaźnik oddziaływania IF (*Impact Factor*), obliczony według bazy JCR (*Journal Citation Reports*) zgodnie z rokiem opublikowania, równy 26,568 (kolejno są to wartości 0,627+0,627+4,82+8,9+3,847+3,9+3,847). Osiem z dziewięciu prac dra inż. Fernando Solano Donado powstało we współpracy z innymi autorami. Średni procentowy udział Habilitanta w powstaniu tych prac wynosi ok. 20%, wahając się od wartości 10% do 70%. Należy jednak nadmienić, że udokumentowany procentowy udział Habilitanta najczęściej przyjmuje wartości 10%-15%, co oznacza, że w większości przypadków udział Habilitanta nie był dominujący. Do pięciu artykułów wieloautorskich załączono deklaracje współautorów o udziale poszczególnych autorów w powstaniu wspomnianych publikacji wraz z krótkim opisem wykonanych przez nich prac. Niestety, nie wszyscy współautorzy podpisali te oświadczenia. Uwzględniając te fakty należy stwierdzić, że dorobek publikacyjny wynikający z pracy w projektach jest zauważalny w skali międzynarodowej, choć sam autor nie odgrywał w nich zwykle roli przewodniej. Szkoda również, że zabrakło publikacji w najbardziej renomowanych czasopismach międzynarodowych. Docenić za to należy dużą mobilność Habilitanta, gdyż realizacja projektów międzynarodowych oznaczała współpracę z wieloma ośrodkami międzynarodowymi.

Oceniając natomiast wkład Habilitanta w wykonanie wszystkich trzech projektów należy go ocenić jako znaczący. Dr inż. Fernando Solano Donado pełnił w nich funkcje pomysłodawcy projektu, koordynatora, kierownika, głównego badacza, lidera work-package'a oraz dewelopera. Przedstawione do oceny osiągnięcia technologiczne w tych projektach świadczą zatem o znaczącym wkładzie dr inż. Fernando Solano Donado w rozwój dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja.

Ocena działalności naukowej Habilitanta

Po uzyskaniu stopnia doktora, Habilitant opublikował łącznie 35 prac naukowych (na podstawie informacji uzyskanych z załącznika 'Wykaz osiągnięć naukowych albo artystycznych'). Z tych wszystkich prac 15 ukazało się w monografiach naukowych (materiałach konferencyjnych), natomiast pozostałe 20 prac zostało opublikowanych w czasopismach, m.in.: IEEE Access, MDPI Sensors (3 prace), MDPI Algorithms, International Journal of Computers Communications & Control (2 prace), Journal of Applied Mathematics, Przegląd Telekomunikacyjny – Wiadomości Telekomunikacyjne, Journal of Optical Communications and Networking, Telecommunication Systems, Theoretical Computer Science, International Journal of Communication Networks and Distributed Systems, Journal of Optical Communications and Networking i Environmental Pollution. Niestety autor nie określił jaki był jego udział w powstaniu tych prac. Habilitant wygłosił 2 referaty na międzynarodowych konferencjach tematycznych.

Habilitant uczestniczył również w innych projektach międzynarodowych oraz krajowych:

- Eureka Flexnet (2017.11.23 – 2021.08.31) - Habilitant był liderem implementacji systemu monitoringu osób bywających na kwarantannie.

- Eureka Mango (2008.02.01 – 2009.10.31) - Habilitant był wykonawcą zadania implementacji modułu oprogramowania do obliczania ścieżek w sieciach optycznych, w których występują zakłócenia sygnału.

Sumaryczny wskaźnik oddziaływania IF obliczony przez recenzenta według bazy JCR, zgodnie z rokiem opublikowania poszczególnych prac, wyniósł dla wszystkich publikacji naukowych będących wynikiem realizacji projektu IF = 26,568. Z kolei sumaryczny wskaźnik oddziaływania IF podany przez kierownik Biblioteki Wydziału Elektroniki i Technik Informacyjnych PW wynosi 37,478. Liczba cytowań wszystkich prac Habilitanta liczona metodą Basic Search bazy WoS wynosi 116 (bez samocytowań 96), a indeks Hirscha jest równy 6. Z kolei liczba cytowań wszystkich prac Habilitanta liczona metodą Cited Reference Search bazy WoS wynosi 231 (bez samocytowań 181), a indeks Hirscha jest równy 8. Liczba cytowań wszystkich prac Habilitanta liczona na podstawie bazy Google Scholar wynosi 591, a indeks Hirscha jest równy 15. Obiektywnie można stwierdzić, że sumaryczny IF jest na dobrym poziomie. Liczba cytowań prac Habilitanta oraz jego indeks Hirscha w podawanych przypadkach są również na dobrym poziomie. Można więc uznać, że przedstawiony przez dra inż. Fernando Solano Donado do oceny dorobek naukowo-badawczy stanowi istotny wkład Habilitanta w rozwój dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja.

Ocena innych obszarów działalności Habilitanta

Ocenę pozostałych obszarów działalności Habilitanta, przygotowaną dla potrzeb niniejszej opinii, sporządzono na podstawie informacji zawartych w załącznikach 'Autoreferat' oraz 'Wykaz osiągnięć naukowych albo artystycznych' dołączonych do wniosku.

Po uzyskaniu stopnia doktora Habilitant odbył krótki (1 tydzień) staż naukowy w INRIA Sophie-Antipoli, Francja - 2008.04. Staż dotyczył współpracy w ramach opracowania cyklu artykułów naukowych o algorytmach aproksymacyjnych dla problemu zmniejszenia liczby etykiet w sieciach MPLS.

Od 2013 r. jest zatrudniony na stanowisku adiunkta badawczo-dydaktycznego na Politechnice Warszawskiej. W ostatnich kilkunastu latach Habilitant prowadził szereg zajęć dydaktycznych, m.in. z takich przedmiotów jak: Projektowanie Sieci Telekomunikacyjnych, Techniki Internetu, IP Multimedia Subsystem, Grafy i sieci, Pracownia problemowa, Switching and Routing, Internet of Things, Internet Technologies and Standards, Architektura sieci telekomunikacyjnych, Obiekty Internetu Rzeczy, Przygotowanie pracy dyplomowej magisterskiej, Programowanie systemów Internetu Rzeczy i aplikacji sieciowych, Sieci mobilne i sieci Internetu Rzeczy, Senior Design Project, Master of Science Project i Master Diploma Edition.

Habilitant był członkiem komitetu programowego jednej międzynarodowej konferencji – SENSORNETs w roku 2021. Był również autorem recenzji kilkudziesięciu artykułów. Wykonał cztery recenzje rozpraw doktorskich, 35 recenzji referatów konferencyjnych oraz cztery recenzje artykułów w czasopiśmie (IEEE IoT, IEEE Access, IEEE Access, IEEE Communication Letters).

W czerwcu 2014 roku założył spółkę z ograniczoną odpowiedzialnością Blue Technologies, której głównym celem jest wykorzystanie i komercjalizacja wyników projektów finansowanych przez Unię Europejską w obszarze bezpieczeństwa systemów IoT.

Na podstawie wszystkich materiałów zawartych w załącznikach, prezentujących dorobek dydaktyczny, popularyzatorski i organizacyjny dra inż. Fernando Solano Donado, a także jego współpracę na forum międzynarodowym, należy stwierdzić, że Habilitant wykazał się odpowiednią aktywnością, zaangażowaniem i dokonaniem.

Podsumowanie i wniosek końcowy

Dr inż. Fernando Solano Donado przedłożył do oceny zrealizowane oryginalne osiągnięcie technologiczne wykonane w ramach trzech projektów międzynarodowych pod nazwą „Zaprojektowanie i Opracowanie Systemów Internetu Rzeczy do Monitorowania Nielegalnej Produkcji Narkotyków” wraz z publikacjami wynikającymi z pracy nad tymi projektami. Habilitant posiada również dorobek w postaci innych wartościowych artykułów naukowych. Cytowalność artykułów Habilitanta jest na dobrym poziomie. Indeks Hirscha kandydata obecnie wynosi 8. Dr inż. Fernando Solano Donado ma również osiągnięcia w zakresie współpracy międzynarodowej. W ostatnich latach kierował projektami międzynarodowymi, jak również brał w nich czynny udział, odbył staż międzynarodowy, a także recenzował wiele artykułów naukowych nadesłanych do czasopism z listy JCR jak również zgłoszonych na uznane konferencje międzynarodowe.

Reasumując, stwierdzam, że opiniowany przeze mnie – zgodnie z wymogami określonymi w art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego – wniosek dra inż. Fernando Solano Donado o nadanie stopnia doktora habilitowanego, spełnia wymagania stawiane tego typu wnioskowi przez obowiązujące przepisy. Z powodu powyższego **wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Warszawskiej o nadanie dr inż. Fernando Solano Donado stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.**

Marek Natkaniec