

OPINIA

o dorobku naukowym, organizacyjnym i dydaktycznym dr inż. Michała Morawskiego dla Rady Wydziału Fizyki Technicznej, Informatyki i Matematyki Stosowanej Politechniki Łódzkiej w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych

1. Ogólne informacje o Habilitancie

Dr inż. Michał Morawski ukończył studia wyższe na Wydziale Elektrycznym (obecna nazwa Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej, uzyskując stopień magistra inżyniera o specjalności Elektroniczna aparatura medyczna w 1991 roku. W roku 1997 obronił rozprawę doktorską pt. „Serwomechanizm samo-nastrajający z zastosowaniem do sieci neuronowej” w Instytucie Elektrotechniki w Warszawie. W latach 1990-1997 Habilitant pracował jako asystent a następnie w latach 1998 - 2003 roku jako adiunkt w Zakładzie Badań Podstawowych PAN w Instytucie Elektrotechniki w Warszawie. W latach 1998 do dziś był zatrudniony najpierw w Samodzielnym Zakładzie Sieci Komputerowych a potem w Instytucie Informatyki Politechniki Łódzkiej.

2. Ocena monotematycznego cyklu publikacji stanowiącego osiągnięcie naukowe dla habilitacji

Jako podstawę dla swojej habilitacji Habilitant zgłosił cykl 10 publikacji, które stanowią osiągnięcie naukowe zatytułowane: „Odporne platformy komunikacyjne dla współczesnych sieciowych układów sterowania” równoważne rozprawie habilitacyjnej. Zgłoszone publikacje składają się z 5 pozycji wydanych w czasopiśmie posiadających niezerowy 5-letni impact factor oraz z 5 innych z których trzy są konferencyjne, cytowane przez bazę publikacji Web of Science a dwie (czasopismowa i konferencyjna) są punktowane przez MNiSW.

Lista publikacji wchodzących do osiągnięcia naukowego dla habilitacji

Dla publikacji podano odpowiednio następujące parametry: **IF** – impact factor odpowiedni do roku publikacji, **MNiSW** - punktacja według MNiSW, **WoS** – obecność cytowania w bazie Web of Science. Publikacje zaopatrzone są indeksami zgodnymi z podanymi przez Habilitanta w Autoreferacie, oraz, dla publikacji wieloautorskich - informacjami określającymi wkład Habilitanta.

[MM-A], Michał Morawski, Przemysław Ignaciuk, 2018, Energy-efficient scheduler for MPTCP data transfers with independent and coupled channels, Computer Communications, 132, 56-64;
IF=2.613, MNiSW=30, 70%.

[MM-B] Przemysław Ignaciuk, Michał Morawski, 2018, Quasi-Soft variable structure control of discrete-time system with input saturation, IEEE Transactions on Control System Technology, PP 99 (2), 1-6; **IF=4.883; MNiSW =40, 30%**.

[MM-C] Michał Morawski Przemysław Ignaciuk, 2017, Network nodes play a game – routing alternative in multihop ad-hoc networks, Computer Networks, 122, 96-104; **IF=2.522, MNiSW=35, 60%**.

[MM-D] Michał Morawski Przemysław Ignaciuk, 2016, Reducing impact of network induced perturbations, in remote control systems, Control Engineering Practice, 55(10), 127-138; **IF=2.602, MNiSW=30, 50%**.

[MM-E] Michał Morawski, Antoni Zajęzkowski, 2010, Approach to the design of robust networked control systems, International Journal of Applied Mathematics and Computer Science (AMCS), 20 (4), 2010, 689-698; **IF=0.794, MNiSW=25, 75%**.

[MM-F], Przemysław Ignaciuk, Michał Morawski, 2018, Discrete sliding mode control of multipath TCP networks under input and output uncertainty, 23rd International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics, (MMAR), Międzyzdroje, 363-368, **MNiSW=15, (WoS), 50%**.

[MM-G] Michał Morawski, Przemysław Ignaciuk, 2016, Adjustable sampling rate – an efficient way to reduce the impact of network – induced uncertainty in Networked Control Systems, 23rd Conference on Computer Networks, (CN), 329-343. Best Paper Award; **MNiSW=15 (WoS), 50%**.

[MM-H] Michał Morawski, 2006, Analysis of short latencies in industrial network environment, Journal of Applied Computer Sciences, (JACS), 2/2006, 65-78, **MNiSW=5**.

[MM-I] Michał Morawski, Andrzej Bartoszewicz, 2015, Applying routing information to the TCP sender logic, 2nd International Conference on Telecommunications and Computer Networks, IADAT-ten 2015, Portsmouth, UK, 115-119; **MNiSW=5, 50%**.

[MM-J] Michał Morawski, 2005, Uncertain metrics applied to QoS multipath routing, 5th IEEE International Workshop on Design of Reliable Communication Networks, DRCN'05, Island of Ischia, Naples, Italy, 353-360. **MNiSW=15 (WoS)**.

Tematyka badań zgłoszonych przez Habilitanta jest ważna i aktualna. Dotyczy ona architektury i organizacji sieciowych systemów sterowania zapewniających możliwość realizacji sterowania systemami, w których obiekt sterowany jest oddalony od sterującego komputera i komunikacja między nimi odbywa się poprzez sieć teleinformatyczną. Takie założenie powoduje, że realizacja sterowania obiektem docelowym może być zlokalizowana w sposób wygodny i wysoko wydajny w komputerze o dostatecznie dużej mocy aby sprostać wymaganiom wydajnej implementacji zaawansowanych i skutecznych algorytmów regulacji automatycznej. Dodatkowo takie założenia umożliwiają skoordynowane i zsynchronizowane sterowanie dla problemów inherentnie wymagających rozproszenia sterowanych obiektów w przestrzeni. Przy takich założeniach źródła sygnałów wejściowych (informacji o stanie obiektu sterowanego) są odległe od komputera sterującego oraz źródła sygnałów sterujących wypracowywanych przez komputer sterujący są odległe od obiektu sterowanego, co powoduje że przesłania informacji potrzebnych dla sterowania odbywa się z niepomijalnymi opóźnieniami i jest narażone na wszelkie inne

niekorzystne zjawiska, które mogą zachodzić w sieciach.. Użycie sieci komputerowej w systemie sterowania umożliwia zastosowanie prostszych rozwiązań niż systemy czasu rzeczywistego, oparte na odpowiedniej redundancji sprzętowej wprowadzonej w sieci, która zapewnia większą odporność układu sterowania na awarie. Jednakże użycie sieci komputerowej w pętli układu regulacji automatycznej wprowadza w realizacji tego układu wszelkie towarzyszące sieciom niedogodności takie jak wspomniane opóźnienia transmisji sygnałów wynikające z różnych przyczyn, niepewność niezawodnego działania związaną z możliwością blokad wynikających z przeciążenia połączeń sieciowych, możliwością utraty danych związanych z niedoskonałością protokołów transmisyjnych lub zakłóceniami z powodu nieprzewidzianych zjawisk elektrycznych. Przyczyny te powodują zwykle nieregularny rozróż czasowy między chwilą dokonania pomiaru stanu obiektu sterowanego a podaniem do tego obiektu nowego sygnału sterującego uwzględniającego ten stan w systemie regulacji automatycznej. Rozróż ten zakłóca poprawność działania pętli sprzężenia zwrotnego w tym systemie. Możliwe do zastosowania obiecujące podejście sterowania zdarzeniami (event driven control) napotyka tutaj na trudności związane z koniecznością znajomości wartości opóźnień transmisji danych w sieci oraz zapewnieniu bezstratności tych transmisji. Ponieważ takie wymagania są w ogólności trudne do spełnienia w praktyce Habilitant ukierunkowuje swoje badania na rozwiązania oparte na wykorzystaniu podejścia sterującego opartego na analizie przebiegów czasowych w sterowaniu (time driven control). Dodatkową trudnością w realizacji sieciowych układów sterowania są wymagania na niską cenę wdrożenia nowych koncepcji sieciowych układów regulacji automatycznej. Ukierunkowuje to prowadzone prace badawcze przede wszystkim na zastosowanie standardowych komputerowych sieci komunikacyjnych, charakteryzujących się niskim kosztem realizacji w odróżnieniu od specjalizowanych rozwiązań o wysokim koszcie. Jednakże, standardowe sieci komunikacyjne wykazują dużą stratność przesyłanych pakietów oraz zmienność opóźnień transmisji co stanowi wyzwanie dla wykorzystania ich dla realizacji sieciowych układów sterowania. Stało się to genezą dla problematyki badawczej niniejszej habilitacji. Miała ona na celu rozwój sieciowych systemów sterowania automatycznego wykorzystujących standardowe sieci komputerowe oraz stosujących podejście analizy przebiegów czasowych w rozpatrywanych algorytmach regulacji automatycznej. Można stwierdzić, że tak sformułowane cele badawcze są wartościowe z punktu widzenia bieżącej praktyki realizacji systemów regulacji automatycznej a dodatkowo dostarczają wyników badań podstawowych dla dalszych badań w tej dziedzinie. Dla tak postawionego problemu potrzeba stosownych ogólnych metod teoretycznych a w praktyce problemu potrzeba odpowiednich skutecznych rozwiązań systemowych. Niniejsza rozprawa habilitacyjna w postaci ciągu publikacji ma na celu wypełnienie tej luki. Stanowi więc wkład Habilitanta w ogólny rozwój wspomnianych komputerowo systemów sterowania.

Ogólnie biorąc oryginalne osiągnięcia Habilitanta można zaszeregować do dwu składowych obszarów badań, które zostały zidentyfikowane przez Habilitanta jako prowadzące do realizacji celu badań postawionego w przedstawionym osiągnięciu naukowym. Wymienię je za Habilitantem poniżej, zamieszczając odsyłacze do listy publikacji stanowiących oceniane osiągnięcie naukowe:

1. obszar ulepszeń w warstwie aplikacji, polegających na wprowadzeniu do reguł sterowania automatycznego mechanizmów zmniejszających wpływ opóźnień lub strat danych bez istotnego zwiększania nakładów obliczeniowych i ilości przesyłanych danych,
2. obszar ulepszeń w warstwie sieciowej, polegających na zmniejszeniu niepewności związanej z działaniem systemów komunikacji danych.

Wśród ulepszeń w warstwie aplikacji Habilitant wymienia takie zadania badawcze jak:

1a) poprawa jakości procesu regulacji w sieciowych układach sterowania poprzez ograniczenie wpływu niepewności w transmisjach danych – prace [MM-D], [MM-E], [MM-G],

1b) poprawa własności sieciowych układów sterowania poprzez ograniczanie wielkości sterujących – praca [MM-B].

Zaproponowane przez Habilitanta ulepszenia sieciowe obejmują takie problemy jak:

2a) poprawa własności sieciowych układów sterowania poprzez sieci ad-hoc – prace [MM-C], [MM-E], [MM-J],

2b) poprawa własności sieciowych układów sterowania poprzez transmisje wielościeżkowe - prace [MM-A], [MM-F] oraz poprzez wykorzystywanie informacji z kontrolera wysyłającego dane - praca [MM-I].

W zakresie badań nad poprawą jakości procesów regulacji sieciowych procesów sterowania, określonych powyżej w punkcie 1a), przeprowadzono analizę wpływu negatywnych zjawisk wprowadzanych przez użytą sieć przesyłania danych na jakość sterowania. Uwzględnione negatywne zjawiska sieciowe obejmowały opóźnienia przesyłania informacji, opóźnienia przetwarzania sterowania, zmienność zachodzących opóźnień, straty pakietów danych, zmiany porządku przesyłania pakietów.

Artykuł [MM-D] przedstawia analizę porównawczą wariantowych metod algorytmicznych używanych w sterowaniu sieciowym dla zapewnienia poprawy jakości sterowania przy obecności niepewności działania sieci. Wykonano szereg eksperymentów dotyczących współpracy obiektu sterowanego i rzeczywistej sieci komputerowej z użyciem której system regulacji automatycznej jest zbudowany. Użyto benchmarku stanowiącego wahadło na wózku. Celem sterowania była stabilizacja wahadła przy obecności opóźnień sterowania dostarczanego przez komputerowy system regulacji automatycznej. Zamodelowano matematycznie wpływ niekorzystnych zjawisk sieciowych na działanie zdalnie sterowanych systemów sterowania. W wykorzystanym modelu zastosowano technikę konfrontacji zysku czasowego sterowania oraz kompensacji biernego czasu sterowania z opóźnieniami istniejącymi w sieciowych pętlach systemu regulacji. Przedstawiono i zbadano trzy grupy metod wspomaganie sterowania: użycie dynamicznych kompensatorów opóźnień dostosowujące działanie regulatora do aktualnej średniej wartości opóźnienia w sieci (metody 1), użycie selekcji ze zbioru zrównoleglonych wirtualnych pętli sterowania zrealizowanych dla zbioru predykcji wartości opóźnienia w sieci (metody 2) oraz użycie dynamicznej adaptacji częstotliwości próbkowania wyznaczonej na podstawie predykcji wartości opóźnienia w sieci (metody 3). Porównano jakość sterowania i zużycie zasobów. Metody 1 (najprostsza) dostarczały najlepszą wydajność sterowania przy obecności niepewności działania sieci, aczkolwiek była czuła na ustawianie parametrów sieciowych. Jednakże metody 1 działały źle w przypadku grupowych strat pakietów i zatorów w przesyłaniu danych. Sytuacja polepszała się na korzyść metod 2 i 3, gdy częstotliwość próbkowania (wysyłania pakietów sterujących) zwiększała się. Metody 2 funkcjonowały zwykle lepiej niż metody 3. Przedstawiono zastosowane reguły zdalnego sterowania i zanalizowano przyczyny występujących zjawisk w przebiegu sterowania poprzez sieć w wymienionych metodach. Analiza przyczyn zaobserwowanych różnic zachowania się zbadanych metod potwierdziła, że wynikały one z niedoskonałości zastosowanego modelu matematycznego reguł sterowania. W szczególności dotyczyło to takich aspektów jak linearyzacja dynamiki procesów nieliniowych i dyskretyzacja opisu funkcjonalnego dla większych okresów próbkowania. Przedstawione przez Habilitanta wyniki badawcze stanowią wkład do metodologii projektowania układów sterowania automatycznego wykorzystujących sieci z niepewnością działania dla transmisji informacji składowych występujących w procesie sterowania.

W artykule [MM-E] przedstawiono wstępne założenia i metody algorytmiczne dla rozwiniętego w późniejszych pracach Habilitanta podejścia do polepszania odporności działania sieciowych systemów sterowania przy obecności opóźnień przesyłania informacji w zamkniętych pętlach sterowania. Założono kombinację predyktywnych metod sterowania z użyciem wielu kanałów transmisyjnych i aktualnych metod stosowanych do zarządzania ruchem w sieciach. Wydajność zastosowanego podejścia została zweryfikowana praktycznie poprzez eksperymenty wykonane z użyciem przykładowego systemu sterowania sieciowego dotyczącego dynamicznego obiektu poddanemu lewitacji magnetycznej poddanemu stabilizacji z użyciem sieci ETHERNET i WiFi. Artykuł opisuje założenia konstrukcyjne i liniowy model matematyczny obiektu oraz metody sterowania jego stabilizacją przestrzenną. Następnie opisana jest wykorzystana metoda kompensacji opóźnień transmisji stanów i informacji sterującej. Eksperymenty potwierdziły, że odporność sieciowego systemu sterowania na niepewność sieci nie może być zapewniona jedynie przez właściwy projekt systemu regulacji lecz musi też uwzględniać właściwe metody zarządzania ruchem w sieci. Wykazano, że zaproponowane metody są niezależne od technologii łączy sieciowych i działają poprawnie w zależności od specyfiki sterowania zastosowanej powyżej warstwy łączy komunikacyjnych. Te wyniki stanowią wkład Habilitanta w rozwój dziedziny projektowania systemów sterowania z transmisją informacji dla procesu sterowania poprzez sieci komputerowe z niepewnością działania.

Artykuł [MM-G] dotyczy badań nad dwoma algorytmami redukcji wpływu niepewności działania sieci komputerowych użytych w realizacji zdalnych systemów regulacji automatycznej. Pierwszy algorytm stosuje dynamiczną adaptację częstotliwości próbkowania (Adaptive Sampling Rate - ASR) a drugi (Predictive Based - PB) – selekcję spośród zrównoleglonych wirtualnych pętli sterowania, zorganizowanych w obu przypadkach na podstawie zbioru predykcji wartości opóźnienia w sieci. Przedstawiono opisy wymienionych metod, zasady selekcji strategii wyznaczania sterowania, szczegóły zastosowanych modeli formalnych oraz wyniki eksperymentów porównawczych z użyciem obu algorytmów zrealizowanych w tym samym środowisku testowym. Wyniki eksperymentów wykazały, że metoda PB dawała lepszą jakość sterowania (redukcję błędów sygnałów wyjściowych) niż ASR. Jakość ta dla ASR szybko pogarszała się ze wzrostem opóźnień. Takie efekty zdaniem Habilitanta wynikają z wad aproksymacji przy linearyzacji nieliniowej dynamiki obiektu, dyskretyzacji dla dużych okresów próbkowania i niepewności transferów w obrębie obiektu sterowanego, nie uwzględnione w konstrukcji układu regulacji. Okazało się, że propagacja błędów przy realizacji kompensacji opóźnień danych w metodzie PB powodowała mniejsze negatywne konsekwencje niż stosowanie rzadkiego próbkowania w metodzie ASR. Skuteczność obu metod silnie zależała od jakości modelu sterowanego procesu stąd wniosek, że eliminacja niepewności działania sieci danych powinna być skojarzona z dokładnością modelu sterowanego obiektu oraz odpornością algorytmu sterowania. Przedstawione wyniki badań stanowią istotny wkład Habilitanta do metodologii dziedziny, której poświęcił swoje osiągnięcie naukowe dla habilitacji.

Następnym tematem badań, których wyniki są przedstawione w ramach opiniowanego osiągnięcia naukowego dla habilitacji jest poprawa własności sieciowych układów sterowania poprzez ograniczanie wielkości sterujących – problematyka 1b). Genezą dla przeprowadzonych badań są wymagania aby w procesie regulacji automatycznej uzyskiwać możliwie szybką zbieżność sterowania liniowego przy zapewnieniu stosunkowo łagodnych zmian wejściowych informacji sterujących, unikając w ten sposób przekraczania fizycznych możliwości reakcji układów wykonawczych, prowadzącego do utraty stabilności układu sterowania i nadmiernego zużywania się zwykle elektromechanicznych urządzeń wykonawczych.

W artykule [MM-B] rozważono w jaki sposób należy zmieniać współczynniki sprzężenia zwrotnego w sieciowym układzie sterowania, aby uzyskać zadawalającą zbieżność sterowania przy gładkim kontrolowaniu wartości wielkości wejściowych zapewniających stabilność

zamkniętego układu regulacji automatycznej. W artykule założono zbadanie dla tego celu układu o zmiennej strukturze (Variable Structure Control – VSC), podobnego do układu stosowanego w predykcijnym podejściu do redukcji wpływu niestabilności sieci transmisji danych, przełączanego nie skokowo, stosownie do wartości opóźnienia transmisji danych, ale łagodnie, na podstawie odchylenia wektora stanu od punktu równowagi. W pracy przedstawiono matematyczne sformułowanie tego problemu a następnie sposób wykorzystania do tego celu koncepcji „miękkiego” układu VSC, działającego w systemach regulacji z czasem dyskretnym. Przedstawiono analizę zbieżności zastosowanej metody sterowania. Wyznaczono i zweryfikowano praktycznie zaproponowane rozwiązanie poprzez eksperymenty dotyczące sterowania obiektu, którym jest układ odwróconego wahadła. Zbadano dynamikę stabilizacji ruchów obiektu dla czterech strategii sterowania z ograniczeniami wartości wejściowych dla układu regulacji. Porównano zaproponowaną metodę sterowania ze znanymi innymi rozwiązaniami liniowymi i wykazano wyższość opracowanego regulatora zapewniającego większą łagodność zmian wejścia dla porównywalnej dynamiki pętli regulacji. Przedstawione eksperymenty pozwoliły stwierdzić, że zaproponowany system regulacji zachowuje stabilność. Formalnie oszacowano zbieżność regulacji. Stwierdzono, że zaproponowany nieliniowy układ sterowania zapewnia krótszy czas regulacji niż układ liniowy, zapewniając jednocześnie unikanie gwałtownych zmian wartości wejściowych. Uzyskane w artykule wyniki stanowią wkład Habilitanta w rozwój metod projektowania sieciowych systemów sterowania pokazując udoskonalone metody ustawiania parametrów systemu poprawiających zbieżność przy zachowaniu stabilności. Wadą proponowanego rozwiązania w porównaniu do kontrolerów liniowych z nasycaniem jest bardziej skomplikowana struktura wymagająca co najmniej dwóch podukładów sterujących i systemu przełączania między nimi. Przedstawiono wskazówki i warunki praktycznej implementacji zaproponowanego podejścia.

Kolejnym problemem zbadanym w ramach opiniowanego osiągnięcia naukowego dla habilitacji jest poprawianie własności sieciowych układów sterowania poprzez sieci ad-hoc - problematyka 2a).

W publikacji [MM-C] przedstawiono i zbadano zasady nowej metody organizacji przesłań danych w sieci zapewniającej lepszą wydajność w przypadku gdy stworzenie obrazu obciążeń elementów składowych sieci składających się na jej obraz globalny jest utrudnione z powodu tego że sieć jest przeciążona, silnie dynamiczna i podlega lokalnym zakłóceniom przepustowości jej elementów. Nowa metoda, której idea została zaproponowana już wcześniej w pracach [MM-E] i [MM-J], polega na zastosowaniu arytmetyki rozmytej (fuzzy arithmetic) do organizacji ruchu w sieci. Arytmetyka rozmyta zastępuje metrykę wartości danych opartą na ostrych relacjach między wartościami danych (równy, mniejszy, większy) przez bardziej informatywną metrykę z relacjami miękkimi (w rodzaju prawie równy, dużo mniejszy, trochę większy). Oparcie się na takiej metryce dla organizacji ruchu w sieciach danych przynosi korzyści pozwalając na łatwiejsze rozładowanie spiętrzeń w kolejkach węzłów składowych a przez to polepszenie ogólnej przepustowości sieci. W omawianej pracy zastosowano teorię gier opartą na logice rozmytej do organizacji ruchu w sieci (wyznaczanie ścieżek dla pakietów) poprzez rozważanie tzw. reputacji węzłów, odzwierciedlającej bieżący stopień pomyślnej retransmisji pakietów. Określanie efektywnych tras dla pakietów w sieci odbywa się nie poprzez wykonanie narzuconego algorytmu szeregującego a poprzez samolubną grę pakietów rozgrywaną z ich rozgłaszaniem i rozpatrywaniem reakcji na uzyskiwane potwierdzenia w środowisku sieci bezprzewodowych. Decyzja o retransmisji pakietu odbywa się w wyniku rozpatrzenia zysku wynikającego z tej retransmisji. W pracy przedstawiono i zbadano strategię określania prawdopodobieństw retransmisji i zysków z nich płynących aby optymalizować funkcjonowanie sieci w sposób oparty na zasadach Pareto. Habilitant opracował tutaj metodę korygowania wartości wymienionych powyżej czynników regulujących przebieg gry w przypadku obecności zakłóceń działania sieci.

Zaproponowane rozwiązania oparte na teorii gier zostały porównane z klasycznym rutowaniem pakietów wykazując przewagę nowego rozwiązania dla celów realizacji sieciowych układów sterowania automatycznego. Zaproponowane przez Habilitanta rozwiązania są bardzo ciekawe i świadczą o istotnym wkładzie jego działalności badawczej w rozwój nowoczesnych metod sterowania ruchem w sieciach danych wykorzystywanych w sieciowych systemach regulacji automatycznej.

Ostatnim kierunkiem badań wykonanych w ramach opiniowanego osiągnięcia naukowego dla habilitacji było poprawianie własności sieciowych układów sterowania poprzez transmisje wielościeżkowe – problematyka 2b).

W artykule [MM–A] przedstawiono propozycje organizacji ruchu w sieciach TCP optymalizującą zużycie energii przy wykorzystaniu, rozwijanych ostatnio, wielościeżkowych protokołów TCP (MPTCP – MultiPath TCP). Dodatkowym celem była zwiększona odporność sieci na awarie i przeciążenia.

W sieciach wielościeżkowych występuje rozproszenie przesyłania danych między wieloma pojedynczymi ścieżkami sieciowymi realizującymi protokół TCP. Przyjęto tutaj architekturę protokołu MPTCP zakładającą obecność modułu szeregującego (planisty) wysyłającego pakiety danych do interfejsów sieciowych ścieżek sieci z protokołem TCP (NIC - Network Interface Controller). Założono, że planista otrzymuje od kontrolerów ścieżek (w ramach sprzężenia zwrotnego) informacje na temat bieżącego profilu energetycznego i stanu buforów transmisyjnych ścieżek. Opracowano propozycję nowej organizacji przesłań danych obejmującej metodę rozdziału transmisji danych pomiędzy wiele równoległe działających ścieżek TCP. Organizacja ta bazuje na nowym modelu matematycznym wielościeżkowych transmisji uwzględniającym aspekty energetyczne (energię zużywaną przez interfejsy ścieżek i kanały transmisyjne) oraz rozdział danych między ścieżki. Założono, że ścieżki wymagają pomijalnego czasu na inicjację transmisji. Opracowano dwa przypadki sformułowania modelu. Pierwsze sformułowanie, w którym uwzględniono niezależne kanały transmisyjne ze znanym scenariuszem działania systemu w przyszłości, zakładające ustalone parametry sieciowe i dające dokładniejsze rozwiązanie problemu optymalizacji. Dla tego przypadku, na podstawie opracowanego modelu matematycznego, podano formułę zapewniającą minimalne zużycie energii przy założonym kryterium opartym na relacjach między ilością danych wysyłanych w kanałach a średnią przepustowością i współczynnikami zużycia mocy w tych kanałach. Opracowane drugie sformułowanie modelu zakłada, że model adaptuje się do zmiennych w czasie, niepewnych warunków sieciowych, dostarczając mniej dokładne rozwiązanie przybliżone. Ze względu na trudności wyznaczania parametrów problemu w niepewnych zdecentralizowanych sieciach transmisyjnych, przybliżone kryterium minimalizacji jest oparte na relacji między opóźnieniem transmisji w kanale a objętością danych i uśrednionym czasem dostarczania danych. Zaproponowano warunek dostateczny na objętość danych zapewniającą korzyści z równoległego przesyłania danych w wielu kanałach. Wobec problematycznej niezależności ścieżek transmisyjnych i trudności z niezależnością oraz nieprzewidywalną dynamiką wzajemnego wpływu równoległych ścieżek transmisyjnych, dla rozwiązania problemu optymalizacji wykorzystano zaadaptowane dla środowiska sieciowego podejście Extremum Seeking Control – ESC pochodzące z systemów czasu rzeczywistego. Sformułowano programowalną w czasie rzeczywistym metodę doboru parametrów rozdziału ruchu w sieci, która optymalizuje zużycie energii przez komputer wykonawczy i interfejsy sieciowe.

W dalszej części artykułu przedstawiono sformułowanie modelu sterowania transmisjami dla wielościeżkowej realizacji sieci z protokołami TCP przy założeniu istnienia zależności między kanałami transmisyjnymi. Dla tego sformułowania, z powodu trudności z nieliniowością i dynamicznymi opóźnieniami w sieci, dla znajdowania optimum transmisyjnego nie zastosowano

klasycznego podejścia ESC lecz nowe zmodyfikowane podejście wykorzystujące obserwację gradientu wydajności energetycznej transmisji. Stosuje się ją dla oceny stopnia sprzężenia między kanałami transmisyjnymi. W algorytmie polepsza się jakość energetyczną transmisji poprzez zmienne obciążanie kanałów transmisyjnych, prowadzące do niedodatniej wartości gradientu współczynnika całościowego zużycia energii przez kontroler transmisyjny i kanały przesyłania danych.

Wykonano eksperymenty praktyczne poprzez implementację zaproponowanych rozwiązań pod systemem Linux. Przy użyciu tej implementacji uzyskano zwiększenie wydajności energetycznej transmisji w porównaniu do rozwiązań znanych w literaturze. Wykazano, że zaproponowane podejście redukuje opóźnienia w dostarczaniu danych i nieregularność tych opóźnień, co jest bardzo korzystne przy wykorzystaniu podanych metod w sieciowych układach regulacji automatycznej. Wykazano, że podane metody redukują prawdopodobieństwo blokady kolejek pakietów w sieci. Uzyskane zalety uwidaczniają się w przypadku dużych obciążeń ścieżek transmisyjnych. Wymienione badania wykonano metodami symulacyjnymi na modelu laboratoryjnym oraz poprzez eksperymenty z użyciem rzeczywistych urządzeń i sieci komputerowych. Uzyskane wyniki stanowią istotny wkład Habilitanta w rozwój metodologii wykorzystania sieci komputerowych w systemach regulacji automatycznej.

W artykule [MM-F] zaproponowano metodę projektowania modułu sterującego działaniem sieci wielościeżkowego przesyłania danych z protokołem TCP opartego na znanym w literaturze podejściu tzw. dyskretne sterowanie ślizgowe (Discrete Sliding Mode Control - DSMC). Celem badań było zapewnienie wysokiej przepustowości pomimo niepewności parametrów wejściowych i wyjściowych przepływu danych na obrzeżach sieci. Przedstawiono formalne sformułowanie problemu a następnie sformułowano matematyczny model systemu wielokanałowej transmisji danych uwzględniający opóźnienia transmisyjne. W oparciu o ten model zaproponowano model matematyczny kontrolera wielościeżkowych transmisji oparty o podejście dyskretne sterowania ślizgowe. Udowodniono twierdzenia dotyczące własności przyjętej metody organizacji transmisji w kontrolerach z wielościeżkowym protokołem TCP. Opracowana metoda nie wymaga ręcznego ustawiania parametrów kontrolera lecz jest oparta na podstawach teoretycznych zapewniających odporność wydajnego sterowania transmisjami na niepewność wykorzystywanych parametrów sieciowych. Własności metody zostały udowodnione formalnie i zweryfikowane symulacyjnie, co stanowi istotny wkład Habilitanta w rozwój dziedziny.

Artykuł [MM-I] dotyczy metod usprawnienia działania sieci danych pracujących z protokołem TCP. Przedstawiono w nim w jaki sposób kontroler wysyłający dane może wykorzystać informacje towarzyszące komunikatom potwierdzającym wysłane pakiety dla odtworzenia informacji o przepustowości kanałów transmisyjnych i przeciążeniach istniejących w sieci. W artykule zaproponowano modyfikację logiki działania protokołu TCP aby uwzględniać informację o odrzuceniu pakietów dla oszacowania przeciążeń w sieci. W kolejnych częściach artykułu przedstawia takie wyniki jak: podstawowe własności algorytmu rutowania wspomagające realizację postawionych celów dla protokołu TCP, przegląd wyników prac poprzedzających artykuł, sposób modyfikowania zachowania protokołu TCP przez informację uzyskaną z rutingu oraz wyniki badań symulacyjnych. Badania symulacyjne pokazały, że możliwe jest uzyskiwanie informacji o przepustowości sieci oraz o przeciążeniach sieci metodą obserwacji zachowania się kontrolera wysyłającego pakiety danych w sieci TCP. Uzyskane wyniki symulacji potwierdzają tezę artykułu i stanowią wkład Habilitanta w rozwój dziedziny.

Podsumowanie oceny osiągnięcia naukowego zgłoszonego przez Habilitanta

W swoim osiągnięciu naukowym dla uzyskania habilitacji zatytułowanym „Odporne platformy komunikacyjne dla współczesnych sieciowych układów sterowania” Habilitant wykonał

obszerne badania naukowe dotyczące 4 cząstkowych problemów naukowych wymienionych na str. 3 niniejszej Opinii.

W przedstawionym osiągnięciu naukowym dla habilitacji oraz w załączonym Autoreferacie Habilitant przedstawił omówienie swoich wyników uzyskanych w badaniach nad metodologią projektowania systemów regulacji automatycznej, zawierających sieci komputerowe, stanowiące medium dla przesyłania informacji o stanie sterowanego obiektu oraz informacji sterujących służących do redukcji błędu regulacji. Metodologia ta prowadzi do ograniczenia wpływu niedoskonałości działania sieci komputerowych (takich jak opóźnienia transmisji, niepewność parametrów sieciowych i nieprzewidywalność funkcjonalna przebiegu transmisji) na efektywność i zbieżność procesu regulacji. Postawione przez Habilitanta cele badawcze zostały w pełni zrealizowane przez opracowanie potrzebnych podstaw teoretycznych, zaprojektowanie algorytmów i wykonanie rozległych eksperymentów praktycznych pozytywnie weryfikujących proponowane metody. Uważam, że postawione problemy i zaproponowane ich rozwiązania są bardzo aktualne i ważne z punktu widzenia bieżących tendencji rozwoju metodologii współczesnych systemów sterowania z regulacją automatyczną, realizowaną w sposób rozproszony z użyciem sieciowej transmisji danych między sterowanym obiektem a komputerem realizującym algorytmy procesu sterowania. Wyniki te zostały szeroko opublikowane w poważnych czasopiśmiech o wysokich parametrach bibliograficznych oraz stanowiły przedmiot czterech poważnych projektów badawczych finansowanych przez Komitet Badań Naukowych, Narodowe Centrum Nauki i Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Przedstawione osiągnięcie naukowe dla habilitacji zawiera 10 publikacji naukowych. 5 publikacji ma niezerowy pięcioletni Impact Factor, z których 4 mają ten współczynnik bardzo wysoki, wyższy niż 2.5. 5 pozostałych publikacji osiągnięcia naukowego to publikacje z listy MNiSW, z których jedna jest zagraniczną publikacją czasopismową, 3 są publikacjami na konferencjach międzynarodowych cytowanymi w bazie Web of Science a jedna jest publikacją międzynarodową na konferencji w Anglii. 2 publikacje Habilitanta są jedno-autorskie a 8 to publikacje dwu-autorskie. Zgodnie z oświadczeniem Habilitanta, jego wkład procentowy w powstanie 7 publikacji dwu-autorskich wynosi od 50% do 75% a 2 publikacje są samodzielne. Można więc stwierdzić, że udział Habilitanta w opracowaniu zbioru publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe zgłoszone dla przyznania stopnia doktora habilitowanego jest zdecydowanie wiodący i przeważający.

Podsumowując wyniki przedstawione w zgłoszonym osiągnięciu naukowym stwierdzam, że Habilitant uzyskał oryginalny znaczący wkład w rozwój dyscypliny naukowej informatyka w zakresie metod i mechanizmów zapewniających postęp w metodologii wykorzystywania sieci komputerowych w systemach zdalnego oraz rozproszonego sterowania procesami i obiektami fizycznymi.

3. Ocena istotnej aktywności naukowej Habilitanta

Pozostałe publikacje

Oprócz wykonania badań dla wymienionych publikacji należących do osiągnięcia naukowego dla habilitacji, Habilitant brał udział po doktoracie w badaniach, które doprowadziły do uzyskania następujących pozostałych publikacji :

- a) współautorstwo monografii związanej z metodologią komputerów systolicznych, punktowanej w MNiSW,

- b) autorstwo 5 samodzielnych publikacji, dotyczących obliczeń w komputerach systolicznych oraz metod pomiarowych w systemach sterowania procesów przemysłowych, punktowanych w MNiSW,
- c) współautorstwo publikacji dwuautorskiej na temat oceny wiarygodności systemów pomiarowych, punktowanej w MNiSW,
- d) autorstwo bądź współautorstwo 5 rozdziałów w monografiach, dotyczących metodologii sieci komputerowych i sieciowych systemów sterowania, punktowanych w MNiSW,
- e) autorstwo lub współautorstwo dodatkowych 10 publikacji czasopismowych, dotyczących metodologii sieci komputerowych, techniki pomiarów sieciowych i obliczeń systolicznych systemów sterowania, w większości punktowanych w MNiSW.

Ogólnie biorąc, sumaryczny impact factor (dla publikacji wymienionych w osiągnięciu naukowym oraz pozostałych) według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania, wynosi $IF = 13,414$.

Liczba cytowań według bazy Web of Science - 18.

Liczba cytowań według bazy Scopus - 45.

Liczba cytowań według Google Scholar - 67.

Indeks Hirscha według bazy Web of Science - 2.

Indeks Hirscha według bazy Scopus - 5.

Indeks Hirscha według bazy Google Scholar - 5.

Liczba punktów MNiSW - 545.

Wysokości parametrów publikacji uzyskanych po doktoracie są moim zdaniem zadowalające a tematyka tych publikacji jest aktualna i rozwojowa. Stosunkowo niskie wartości indeksu Hirsha wynikają moim zdaniem ze specyfiki problemu i niezbyt wysokiego stopnia rozpowszechnienia techniki sieciowej w systemach regulacji automatycznej.

Projekty badawcze, w których Habilitant uczestniczył po doktoracie:

1. Modele i algorytmy wielościeżkowego rutowania w sieciach komputerowych z gwarancją jakości usług, grant Komitetu Badań Naukowych realizowany w Zakładzie Sieci Komputerowych Politechniki Łódzkiej, 2004-2006, główny wykonawca.
2. Sterowanie wybranymi układami elektromechanicznymi przy wykorzystaniu sieci komputerowych, grant Komitetu Badań Naukowych, realizowany w Instytucie Automatyki Politechniki Łódzkiej, 2005-2007, główny wykonawca.
3. Projektowanie i weryfikacja algorytmów sterowania w sieciowych układach regulacji, grant Narodowego Centrum Nauki, realizowany w Instytucie Informatyki Politechniki Łódzkiej, 2013-2016, główny wykonawca.
4. Optymalne a odporne algorytmy aktywnego zarządzania zasobami w układach sieciowych – projektowanie i analiza właściwości, grant Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, realizowany w Instytucie Informatyki Politechniki Łódzkiej, 2015-2017, główny wykonawca.
5. Numeryczno-analityczne metody przetwarzania równoległego w problemach sterowania układami elektromechanicznymi, grant Komitetu Badań Naukowych, realizowany w Towarzystwie Przetwarzania Obrazów, 1997-1998, główny wykonawca
6. Technologia, Edukacja, Wiedza, Innowacja –TEWI, grant POiG, 2010-2013, wykonawca.

Stwierdzam, że aktywność Habilitanta pod względem liczby projektów naukowych, w których uczestniczył jest bardzo wysoka.

Zrealizowane przez Habilitanta oryginalne osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne i technologiczne

Po doktoracie, Habilitant uczestniczył w 22 osiągnięciach projektowych, konstrukcyjnych i technologicznych w dziedzinie zarządzania produkcją, metod diagnostyki przemysłowej, automatyzacji nadzoru, komputerowego sterowania procesami przemysłowymi w różnych dziedzinach przemysłu, współpracując z wieloma firmami krajowymi i zagranicznymi. Brał udział w pracach klastra ICT utworzonego w ramach konsorcjum uczelni i przedsiębiorstw regionu łódzkiego. Jego aktywność w wyżej wymienionej dziedzinie należy uznać za bardzo wysoką.

Wygłoszone przez Habilitanta referaty konferencyjne i inne jego współautorstwa

Habilitant był bardzo aktywny w publikowaniu swoich osiągnięć na międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych. Po doktoracie wygłosił on w sumie 55 referatów naukowych, w tym 25 na konferencjach międzynarodowych i 30 na konferencjach krajowych.

Organizacja konferencji

Habilitant był przewodniczącym sesji na 5 krajowych i zagranicznych konferencjach naukowych. Był przewodniczącym Komitetu Organizacyjnego Polish Teletraffic Symposium 2009.

Recenzowanie publikacji

Habilitant wykonał recenzje artykułów dla 9 czasopism oraz recenzję jednej monografii z dziedziny informatyki i matematyki stosowanej.

Ocena dorobku dydaktycznego i w zakresie kształcenia kadr

Habilitant uczestniczył aktywnie w procesie kształcenia młodych kadr. Na Wydziale Fizyki Technicznej, Informatyki i Matematyki Stosowanej Politechniki Łódzkiej był promotorem około 100 prac dyplomowych. Był recenzentem około 100 prac dyplomowych. Jest współautorem skryptu dotyczącego języka programowania Ada 95 wydanego siłami Politechniki Łódzkiej.

W latach 2003-2015 był instruktorem sieciowej Akademii CISCO.

Ocena działalności organizacyjnej Habilitanta dla nauki i społeczeństwa

Habilitant pełnił funkcje administracyjne na Wydziale FTIMS Politechniki Łódzkiej. W latach 2003-2005 był on pełnomocnikiem Dziekana do budowy sieci teleinformatycznej. Uczestniczył w działalności Komisji Dydaktycznej i Komisji Oceny Jakości Kształcenia.

Udział w zespołach eksperckich i konkursowych

Działalność Habilitanta w tej dziedzinie była bardzo intensywna i rozwinięta. Wielokrotnie pełnił on funkcje eksperta w organizacji nauki w Polsce na skalę regionalną i ministerialną, w konkursach na granty krajowe PARP, NCBiR, MNiSW i ŁARR, konkursach w zakresie innowacji Ministerstwa Rozwoju. Ocenil około 150 wniosków o granty w konkursach POiG i innych.

Wykonane ekspertyzy i opracowania na zamówienie

Habilitant wykonał 7 ekspertyz na zamówienie w zakresie systemów bezpieczeństwa sieci i organizacji komunikacji w komputerowych systemach sterowania.

4. Wniosek końcowy

Podsumowując moją ocenę dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego dr inż. Michała Morawskiego, stwierdzam, że jego zgłoszone osiągnięcie naukowe oraz aktywność naukowa, jak również jego dorobek w podanym zakresie uzyskany po doktoracie spełniają wymagania ustawowe dla uzyskania stopnia naukowego doktora habilitowanego. Dlatego stawiam wniosek o dopuszczenie dr inż. Michała Morawskiego do dalszych faz postępowania o nadanie mu stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk technicznych.

el. Turczyński