

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY
WYDZIAŁU ELEKTRYCZNEGO
POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ



Tytuł rozprawy: „Modelowanie opóźnień transmisji spowodowanych zaburzeniami w sieciach bezprzewodowych w standardzie IEEE 802.15.4”

Autor rozprawy: mgr inż. Beata Krupanek

Istotnym aspektem poprawnego działania rozproszonych systemów pomiarowo-sterujących, a w szczególności sieci bezprzewodowych, jest znajomość opóźnień transmisji między węzłami pomiarowymi. Stąd też prace dotyczące modelowania opóźnień są bardzo wartościowe. Przedmiotem niniejszej rozprawy doktorskiej jest modelowanie tych opóźnień w transmisji danych w sieci bezprzewodowej.

Celem rozprawy jest wykazanie, że do opisu opóźnień transmisji w sieciach bezprzewodowych można zastosować model probabilistyczny obejmujący wpływ losowo określonego czasu dostępu do nośnika i stałego czasu transmisji komunikatu między nadajnikiem i odbiornikiem oraz uwzględniający powtórzenia transmisji w przypadku utraty pakietu.

Tezę rozprawy sformułowano następująco: Możliwe jest zastosowanie aparatu matematycznego wykorzystującego losowe ciągi funkcyjne do modelowania opóźnień spowodowanych zaburzeniami w sieciach bezprzewodowych.

Teza jest jasno sformułowana. Praca ma charakter teoretyczno-doświadczalny z wyraźną przewagą części doświadczalnej.

Praca liczy 160 stron. Zawiera spis treści, spis ważniejszych skrótów i oznaczeń, 7 rozdziałów i bibliografię liczącą 104 pozycji literaturowych, odwołania do 4 stron internetowych oraz 8 odwołań do dokumentacji technicznych.

Rozprawa składa się z 7 rozdziałów. Pierwsze 4 rozdziały mają charakter obszernego wprowadzenia w tematykę rozprawy. Pierwszy z nich ma charakter wstępu, w którym określono cele, tezy, zakres i zawartość rozprawy. W drugim rozdziale przedstawiono krótki

przegląd wybranych standardów sieci bezprzewodowych koncentrując się na specyfikacji ZigBee. W trzecim rozdziale omówiono propagację sygnałów radiowych wewnątrz budynków, charakteryzując zjawiska zaburzające poprawność transmisji.

Rozdział 4, merytorycznie bardzo istotny dla rozprawy, poświęcono opisowi opóźnień w systemach bezprzewodowych. Przedstawiono przyczyny występowania opóźnień, opis modeli matematycznych opóźnień, a także opis programu OPNET Modeler do symulacji całej infrastruktury sieciowej (modele deterministyczne i probabilistyczne). Przedstawiono również obszerny przegląd literaturowy wyników badań opóźnień w sieciach bezprzewodowych.

Podstawy teoretyczne do badań doświadczalnych przedstawiono w rozdziale 5. Opisano nową metodę modelowania opóźnień komunikacyjnych w sieciach bezprzewodowych. Ideę tej metody opublikowano wcześniej we współautorskiej publikacji w *Zeszytach Naukowych Politechniki Śląskiej*, seria *Elektryka*. Zaproponowano model probabilistyczny opóźnień wykorzystujący czasowe ciągi funkcji delta. Istotą opisu opóźnień jest wykorzystanie funkcji gęstości prawdopodobieństwa. Stwierdzono, że funkcje gęstości prawdopodobieństwa opóźnienia całkowitego można opisać splotem funkcji gęstości prawdopodobieństwa opóźnienia wprowadzanego przez nadajnik oraz opóźnienia transmisji między nadajnikiem a odbiornikiem. Zaproponowany model, szczegółowo i klarownie opisany w niniejszym rozdziale, uwzględnia możliwość retransmisji danych w sieci bezprzewodowej.

Główną część pracy stanowi doświadczalna weryfikacja opracowanego modelu przedstawiona w obszernym rozdziale 6 (55 stron). Do eksperymentów zbudowano 2 układy pomiarowe sieci ZigBee wykorzystujące moduły dwóch różnych producentów: Digi International i Atmel. Wybór modułów jest bardzo trafny, są one reprezentowane dla sieci bezprzewodowych ZigBee. Idea weryfikacji doświadczalnej polegała na porównaniu histogramów opóźnień uzyskiwanych w wyniku eksperymentów w układzie pomiarowym z rozkładami otrzymywanymi na podstawie zaproponowanego modelu. Podstawowe badania przeprowadzono dla systemu składającego się z 2 modułów ZigBee. Badania przeprowadzono dla zaburzeń pasywnych (ściany pojedyncze, podwójne, potrójne, z różnych materiałów budowlanych) i dla wybranych zaburzeń aktywnych (wyładowania elektrostatyczne, impulsowe pole magnetyczne, inne układy ZigBee). Przeprowadzono też badania wpływu odległości między modułami na opóźnienia w transmisji danych w wolnej przestrzeni. Szczegółowo przeanalizowano wpływ różnych zaburzeń na jakość transmisji, określono parametry modelu dla każdego z przeprowadzonych eksperymentów. Powyższe, obszerne

badania dla układów 2 modułów w sieci ZigBee uzupełniono krótko pomiarami opóźnień w sieci ZigBee o konfiguracji gwiazdowej (nadajnik, koordynator, odbiornik).

OCENA ROZPRAWY

Rozprawa jest bardzo dobrze zredagowana. Jest napisana jasno i klarownie. Układ pracy jest przejrzysty. Każdy rozdział zawiera na wstępie krótki opis jego zawartości i kończy się podsumowaniem, co wyraźnie ułatwia lekturę rozprawy. Analiza źródeł przeprowadzona została w sposób właściwy. Wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący. Dużą wartość rozprawy stanowi rozdział 4, będący obszernym i dobrze opracowanym przeglądem stanu tematyki rozprawy, świadczący o bardzo dobrej orientacji autorki rozprawy w tej tematyce. Pewne fragmenty treści wydają się jednak być nadmiarowe. Obszerny opis programu symulacyjnego OPNET Modeler można uznać za zbędny (punkt 4.3.3, s. 61); zdanie, że „wszystkie biblioteki mogą zostać rozszerzone o autorskie modele zbudowane przez użytkownika w oparciu o specyficzne wytyczne” nie jest wystarczającym uzasadnieniem obszernego opisu tego programu. Szczegółowy opis obu modułów ZigBee firm Digi International i Atmel (rozdział 6.2) jest również raczej zbędny z punktu widzenia celu pracy. Idea metody modelowania opóźnień opisana została bardzo dobrze. Przeprowadzona w podstawowym układzie dwóch modułów ZigBee weryfikacja doświadczalna jest bardzo kompleksowa, dobrze i czytelnie opisana. Przeprowadzone badania wykazały przydatność przedstawionego modelu do opisu opóźnień w sieciach bezprzewodowych w różnych konfiguracjach sieciowych, co potwierdza tezę rozprawy.

Przedstawione w pracy wyniki są wartościowe i nie budzą zastrzeżeń. Jednak za zbyt szczątkowe trzeba uznać eksperymenty z modułami w konfiguracji gwiazdowej. Ponadto brak bardziej szczegółowego opisu metody określania konkretnych wartości parametrów modelu dotyczących poszczególnych opóźnień τ_i , wyznaczanych na podstawie eksperymentów pomiarowych. Brak również jasnego kryterium porównywania histogramów uzyskiwanych z pomiarów eksperymentalnych z histogramami modelowymi (czy to było kryterium oceny wizualnej wyników?). Histogramy modelowe mają rozkład normalny, a histogramy z pomiarów mają „w przybliżeniu” rozkład normalny. Eksperymenty pomiarowe potwierdziły tezę, że proponowany model probabilistyczny może być użyteczny w modelowaniu opóźnień w bezprzewodowych sieciach radiowych. Szkoda tylko, że nie wprowadzono wymiernej miary zgodności modelu z rzeczywistymi wartościami opóźnień. Na s. 112 porównując histogramy uzyskane pomiarowo (rys. 6.14) i symulacyjnie (rys. 6.16) podano: „Widać dobrą „optyczną” zgodność histogramów z rys. 6.14 i 6.16, jednak pełne potwierdzenie hipotezy o

zgodności rozkładów wymaga stosownych testów statystycznych”. Dlaczego nie przeprowadzono choć dla jednego przypadku takich testów? Można by sprawdzić taką zgodność stosując jedną z uproszczonych metod, np. przyjąć jako kryterium różnicy histogramów unormowany pierwiastek z sumy kwadratów różnic pomiędzy kolejnymi odpowiadającymi sobie słupkami histogramu. Inną metodą byłoby porównanie histogramu modelowego z aproksymowanym splajnami histogramem uzyskanym z pomiarów.

Oryginalny dorobek autorki rozprawy obejmuje:

- opracowanie probabilistycznego modelu opóźnień komunikacyjnych w sieciach bezprzewodowych;
- opracowanie układów pomiarowych do wyznaczania opóźnień transmisji między modułami ZigBee w warunkach występowania zaburzeń;
- przeprowadzenie obszernej weryfikacji doświadczalnej zaproponowanego modelu opóźnień komunikacyjnych w sieciach bezprzewodowych w warunkach zaburzeń pasywnych i aktywnych.

Recenzowana rozprawa jest oryginalną pracą naukową. Zamieszczone w niej wyniki były opublikowane w 5 artykułach naukowych w czasopismach krajowych, w 3 rozdziałach w monografiach oraz zaprezentowane w 3 referatach na konferencjach krajowych i 1 na konferencji międzynarodowej. Uwagi krytyczne zamieszczone w tej recenzji nie podważają wartości naukowej rozprawy. Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Beaty Krupanek „Modelowanie opóźnień transmisji spowodowanych zaburzeniami w sieciach bezprzewodowych w standardzie IEEE 802.15.4” spełnia warunki Ustawy o Tytule Naukowym i Stopniach Naukowych i wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

