

Dortmunder Beiträge zur Kommunikationstechnik

Band 6

Nils Langhammer

**Analysis and Optimization of Wireless Control
Networks for Smart Home Applications**

D 290 (Diss. Technische Universität Dortmund)

Shaker Verlag
Aachen 2012

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Dortmund, Technische Univ., Diss., 2012

Copyright Shaker Verlag 2012

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-1413-6

ISSN 1863-9054

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Analysis and Optimization of Wireless Control Networks for Smart Home Applications

Abstract

This thesis investigates the usage of wireless control and home automation networks for smart home applications. All evaluations are carried out with regard to a detailed requirements analysis. This analysis is based on the role of smart homes within future smart grid energy systems, and it comprises and combines the applicable requirements from different representative sources. Besides that, realistic evaluation scenarios are defined that are derived from existing buildings.

First of all, the relevant technical and physical relationships of wireless data transmission are analyzed and mathematically described. Moreover, a realistic transceiver energy model is introduced that takes the characteristics of existing chipsets into account. This model is applied to derive an objective metric, which can be used to compare the performance of different wireless technologies and standards in realistic scenarios. Different channel models are investigated in order to model the propagation in indoor environments. Additionally, a modification is proposed that combines the parameters from different models. The accuracy of all models is compared with measurement results, and it is shown that the proposed model has a higher accuracy than the other models.

The main characteristics and parameters of state-of-the-art wireless control networks are summarized in the next step. A comparison of the electrical characteristics of existing transceiver chipsets shows that transceivers for sub GHz transmission frequencies can be implemented with better power efficiency than 2.4 GHz transceivers. Afterwards, the performance of the state-of-the-art standards is evaluated. They are compared with respect to their reliable indoor coverage range, their energy consumption, and their performance within the evaluation scenarios. It is concluded that currently there is no perfect solution among the available standards.

Therefore, different physical layer optimizations and enhancements are proposed, which are based on the obtained results. They can be applied in order to design an optimum wireless smart home network. The first proposal comprises several physical layer modifications of IEEE 802.11g systems, which increase the data rate scalability of existing wireless local area networks towards lower data rates. It is shown that the modifications significantly increase the robustness, whereas the implementation complexity is reduced. The second proposal is an optimized physical layer for low power smart home devices. The main idea is the introduction of a novel frequency hopping. This enhanced frequency hopping has a significantly lower energy consumption and latency than conventional frequency hopping mechanisms. The coverage range and the energy saving potential of this proposal are investigated in detail.

Kurzfassung

In dieser Arbeit wird der Einsatz von drahtlosen Steuernetzwerken und Hausautomatisierungsnetzen für Smart Home Anwendungen analysiert. Alle Untersuchungen werden auf Basis einer detaillierten Anforderungsanalyse durchgeführt. Diese berücksichtigt die Rolle von Smart Homes in zukünftigen Smart Grid Energiesystemen, und sie enthält und kombiniert die Anforderungen von verschiedenen repräsentativen Quellen. Zudem werden realistische Szenarien aus existierenden Wohngebäuden ausgewählt.

Zunächst werden alle relevanten technischen und physikalischen Zusammenhänge der drahtlosen Übertragung analysiert und mathematisch beschrieben. Des Weiteren wird ein realistisches Energiemodell für drahtlose Transceiver eingeführt, das die Eigenschaften aktueller Chipsätze berücksichtigt. Ausgehend von diesem Modell wird eine objektive Vergleichsmetrik hergeleitet, um die Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Standards und Technologien in realistischen Szenarien zu untersuchen. Zur Beschreibung der Dämpfung in Gebäuden werden verschiedene Inhouse Kanalmodelle vorgestellt. Zudem wird ein modifiziertes Modell vorgeschlagen, das die Eigenschaften mehrerer Modelle kombiniert. Ein Vergleich der Prädiktion der unterschiedlichen Ansätze mit Messergebnissen zeigt, dass der modifizierte Ansatz die höchste Genauigkeit aufweist.

Im nächsten Schritt werden die Eigenschaften und Parameter aktueller drahtloser Steuernetze zusammengefasst, die den aktuellen Stand der Technik repräsentieren. Zudem werden die elektrischen Eigenschaften drahtloser Chipsätze verglichen. Hierbei wird gezeigt, dass sub GHz Transceiver über eine bessere Energieeffizienz als vergleichbare 2.4 GHz Funkchips verfügen. Im Anschluss daran wird die Performance der verschiedenen Standards untersucht. Die Auswertung umfasst die zuverlässige Inhouse Reichweite, den Energieverbrauch und die Performance in den realistischen Szenarien. Die Ergebnisse zeigen, dass zur Zeit kein Standard die Anforderungen vollständig erfüllt.

Aus diesem Grund werden, basierend auf den gewonnen Erkenntnissen, Physical Layer Optimierungen vorgeschlagen, die für die Entwicklung eines zukünftigen Smart Home Netzwerks verwendet werden können. Der erste Vorschlag enthält verschiedene Physical Layer Modi für IEEE 802.11g. Diese Modi erhöhen die Datenraten Skalierbarkeit existierender WLAN Systeme für niederratige Übertragungen. Es wird gezeigt, dass dadurch die Robustheit signifikant erhöht, während die Komplexität verringert wird. Der zweite Vorschlag ist ein optimierter Physical Layer für Low Power Smart Home Geräte, der auf einem neuartigen Frequenzsprungverfahren basiert. Dieses hat einen deutlich geringeren Energieverbrauch und niedrigere Latenzen als konventionelle Verfahren. Die Reichweite und das Energiesparpotential werden im Detail analysiert