University of Mosul
College of Engineering

Analysis and Design of Reliable and Secured Hard Real Time Performance Wireless Communication Infrastructure for Smart Grid applications

Firas Sami Haseeb Sami

Ph.D. Thesis in Computer Engineering

Supervised by

Prof. Dr. Qutaiba Ibrahem Ali

March/ 2023 A.D. Sha`ban / 1444 A.H.

ABSTRACT

The communications network of smart grid is a wide area infrastructure that should assimilate the requirements of various types of applications. Wireless communications technologies are charming solutions from the communications network point of view. It upgrades the conventional power grid into the fashion of smart grid to take the advantages of handling new applications, exploiting the renewable energy, minimize the maintenance works, flexibility, and expansion.

This thesis proposes two wireless communications networks (WCNs) for two case studies to serve the smart grid applications. In the context of the first case study, this work suggests WCN including switched-access point (S-AP) devices to address the requirements of real time protection for the substation automation system (SAS). Furthermore, this work suggests cybersecurity model consisting of WiFi protected access 3 (WPA3) and cooperative hybrid intrusion detection system (CHIDS) based on a new architecture design to provide a robust level of protection against the threats and lightweight security schemes as possible to overcome the challenges of system performance requirements. The results of the first case study indicated that the suggested secured WCN of electrical substation can handle the real time requirements of protection from latency and data reliability points of view in the case of basic capacity of 802.11n standard at the level of 2.75 ms and high received data reliability up to 99%.

In the second case study, this thesis suggests a self-powered WCN infrastructure based on WiMAX technology for smart grid applications to

address the features of resilience, expansion, and reliability. The suggested WCN is enhanced by decentralized data processing based on edge computing to compensate the various types of smart grid applications (real time and non-real time applications) such as wide area monitoring and control (WAMC), distributed energy resources (DER), video surveillance, metering, tariffs, alarm, and demand side management (DSM). Furthermore, this work compares among the proposed infrastructure with two other cases: wireless scenario without edge computing, and hybrid scenario includes WiMAX BSs connected to the control center by cables. The enhanced wireless scenario offers a privilege compared to other scenarios from latency (about 20ms). In addition, the current work adopts a robust cybersecurity model for the suggested wireless network. The results of the second case study explained that, the wireless scenario based on decentralized processing could handle the various types of smart grid applications in terms of data reliability, capacity, and latency. In addition, the ciphering technique of cybersecurity model never breaks the requirements of real time applications system performance of smart grid. The analytical approach and OPNET modeler are chosen by this thesis to design and collect the results of the WCNs suggested models.

جامعة الموصل

كلية الهندسة

تصميم و تحليل شبكة اتصالات لاسلكية كفوءة و امينة و ذات وثوقية عالية لتطبيقات الزمن الحقيقي الحرج لشبكات الطاقة الذكية

اطروحة تقدم بها

فراس سامي حسيب سامي

الى

مجلس كلية الهندسة في جامعة الموصل كجزء من متطلبات نيل شهادة الدكتوراه فلسفة في

(هندسة الحاسوب)

بإشراف

الاستاذ الدكتور قتيبة ابراهيم علي

شعبان / 1444 اذار / 2023

الملخص

شبكة الاتصالات للشبكة الكهربائية الذكية هي بنية تحتية واسعة النطاق يجب أن تستوعب متطلبات أنواع مختلفة من التطبيقات. تعد تقنيات شبكة الاتصالات اللاسلكية (WCN) حلولًا جذابة لتعزيز شبكة الكهرباء التقليدية للتحول الى الشبكة الذكية مثل التعامل مع التطبيقات الجديدة واستغلال الطاقة المتجددة ومستوى الصيانة اقل صعوبة اضافة الى المرونة وامكانية التوسع.

تقترح هذه الأطروحة شبكتي اتصالات لاسلكيتين لحالتين دراسيتين لخدمة تطبيقات الشبكة الذكية. في سياق الحالة الأولى، يقترح هذا العمل شبكة اتصالات لاسلكية تتضمن نوع خاص من اجهزة نقاط الوصول اللاسلكية لتلبية متطلبات الحماية في الزمن الاني لنظام التشغيل الآلي للمحطات الفرعية (SAS). علاوة على ذلك، يقترح هذا العمل نموذج الأمن السيبراني المكون من الوصول اللاسلكي المحمي 3 (WPA3) والنظام التعاوني الهجين للكشف عن التسلل (CHIDS) المستند إلى تصميم معماري جديد لتوفير مستوى رصين من الحماية ضد التهديدات بمخططات الأمن السيبراني الخفيفة الوزن قدر الإمكان للتغلب على تحديات متطلبات أداء النظام. أشارت نتائج الحالة الدراسية الأولى إلى أن شبكة الاتصالات اللاسلكية المؤمنة المقترحة للمحطة الفرعية الكهربائية يمكن أن تعالج متطلبات الحماية في الزمن الاني بما يتعلق بموثوقية البيانات في حالة السعة الأساسية للمعايير (802.11n) عند مستوى 2.75 ملي ثانية وموثوقية بيانات مستلمة عالية بنسبة تصل إلى 99 %.

فيما يتعلق بالحالة الدراسية الثانية، تقترح هذه الأطروحة بنية تحتية ذاتية الطاقة لشبكة الاتصالات اللاسلكية تعتمد على تقنية الواي ماكس لخدمة تطبيقات الشبكة الذكية للاستفادة من ميزات المرونة وامكانية التوسع والتوافر. دعمت شبكة الاتصالات اللاسلكية المقترحة بقدرة معالجة البيانات بشكل لامركزي القائمة على الحوسبة المتطورة لاحتواء تطبيقات الشبكة الذكية (تطبيقات الزمن الاني وتطبيقات الزمن غير الاني) مثل رصد ومراقبة المنطقة الواسعة (WAMC)، وموارد الطاقة الموزعة (DER)، والمراقبة بالفيديو، والقياس، والتعريفات، والإنذار، وإدارة جانب الطلب (DSM). علاوة على ذلك، يقارن هذا العمل بين البنية التحتية المقترحة بحالتين أخريين: سيناريو لاسلكي مع معالجة مركزية، وسيناريو هجين يتضمن

WiMAX BSs متصلة بمركز التحكم بواسطة الكابلات. علاوة على ذلك، يوفر السيناريو اللاسلكي المحسن امتيازات مقارنة بالسيناريوهات الأخرى من وجهة نظر التاخير الكلي (20 ملي ثانية). بالإضافة إلى ذلك، يعتمد العمل الحالي نموذجًا للأمن السيبراني للشبكة اللاسلكية المقترحة. أوضحت نتائج الحالة الدراسية الثانية أن السيناريو اللاسلكي القائم على المعالجة اللامركزية يمكن أن يتعامل مع الأنواع المختلفة من تطبيقات الشبكة الذكية من حيث موثوقية البيانات والسعة والتاخير الكلي. بالإضافة إلى ذلك، فإن تقنية التشفير لنموذج الأمن السيبراني لا تكسر متطلبات أداء نظام التطبيقات في الزمن الاني للشبكة الذكية. تم اعتماد النهج التحليلي ونمذجة الاوبنت لتصميم وجمع النتائج لشبكات الاتصالات اللاسلكية المقترحة.