University of Mosul

College of Engineering

An Efficient and Secured Wireless Controller Area Network (WCAN) for Autonomous Electrical Vehicle

Ph.D. Thesis

submitted by

Zeina Ali Mohammed Shareif

Supervised By

Prof. Dr. Qutaiba Ibrahem Ali

2024 A.D. 1445 A.H.

Abstract

A Controller Area Network (CAN) bus, the most common intra-vehicle network (IVN) standard, has been used for over three decades despite its simple architecture for connecting different Electronic Control Units (ECUs). The weight, maintenance costs, promotion of unrestricted mobility, and the complexity of installing wired connections increase as the number of ECUs increases, particularly for Autonomous Vehicle (AV). This thesis's main objective is to replace wired CAN with wireless CAN (WCAN).

Our proposed solutions in this thesis include four pivotal components: First, an AV model design that includes external ECUs such as cameras, radars, Light Detection and Ranging (LiDAR), In addition to internal ECUs such as vehicle controller (V/C), Battery, inverter/motor controller (I/MC), brakes, Instrument panel display (Ins.) and transmission control (Trans) using CANoe/MATLAB simulation. Secondly, the traditional ECU architecture will be modified by expanding its communication capabilities to become wireless. CAN will be extended to wireless so that the same ECU only has an additional transparent wireless connection by attaching a Wireless CAN extension component to each ECU. IEEE 802.11b will be chosen, 11 Mbps, and the new ECU's architecture and proposed communication protocol will be described.

Thirdly, a hidden communication environment is implemented so that no one can listen to or detect the presence of this network. This is done by introducing a unique Complementary Code Keying (CCK) modulation equation for the ECUs operating in each AV, which differs from other AVs and traditional Wi-Fi. The effectiveness of this method will be tested using a MATLAB/SIMULINK model designed explicitly for this modified wireless enclosure. Fourthly, a strategy for dealing with

jamming signals is presented using two channels and switching between them according to channel conditions. The proposed WCAN is validated using OPNET analysis for performance and reliability.

The results of the resilient modulation showed that the Bit Error Rate (BER) and packet loss of the receiver ECU were stable between different CCK modifications. This indicates the robustness of the basic features of CCK modification and that the extent of modifications does not affect the CCK modification scheme with respect to orthogonality and correlation properties. On the contrary, there is a significant challenge in intercepting and decoding the signal by the eavesdropping ECU, which has shown packet loss ranging from 63% to 100% across different CCK states.

Regarding the anti-jamming where the channel is exposed to the signal-to-noise ratio (SNR) and jamming power simultaneously, the results showed that when the packet loss reaches 2% with a continuous period of 0.01 second, the passive channel will be automatically activated. Thus, the channel is recovered, and the data transmission is maintained securely.

Finally, OPNET results show that a single IEEE 802.11b network accommodated the internal and external ECUs and maintained the delay deadline requirements. The LiDAR ECU requires high bandwidth to accommodate 13,500 point cloud data (PCD) every 200 ms. The data rate provided by IEEE 802.11b was insufficient to transmit such massive data, leading to the choice of the IEEE 802.11a standard. However, the IEEE 802.11a standard also did not meet the deadline requirements for delay, which led to the implementation of 100BaseT Fast Ethernet with a data rate of 100 Mbps and throughput of 500,000 bytes per second, and latency of 8 ms.

جامعة الموصل

كلية الهندسة

شبكة متحكم لاسلكية كفوءة و مؤمنة للمركبة الكهربائية ذاتية القيادة

زينة علي محمد شريف

أطروحة دكتوراه فلسفة هندسة الحاسوب / هندسة الحاسوب

بإشراف

الأستاذ الدكتور قتيبة إبراهيم علي

1445 هـ

2024 م

الخلاصة

يعتبر ناقل شبكة منطقة التحكم (CAN) معيار الشبكة داخل المركبات (IVN) الأكثر شيوعًا .هذا الناقل متاصل في صناعة السيارات لأكثر من ثلاثة عقود على الرغم من بنيته البسيطة لتوصيل وحدات التحكم الإلكترونية المختلفة (ECUs) , لكن مع زيادة عدد وحدات التحكم الإلكترونية يزداد الوزن، تكاليف الصيانة، التنقل المقيد، وتعقيد تركيب الاتصالات السلكية خاصة بالنسبة للمركبات ذاتية القيادة (AV). الهدف الرئيسي لهذه الأطروحة هو استبدال ناقل شبكة منطقة التحكم (CAN) السلكي بناقل شبكة منطقة التحكم لاسلكي (WCAN).

تتضمن حلولنا المقترحة في هذه الأطروحة أربعة مكونات اساسية: أولاً، تصميم نموذج مركبة ذاتية القيادة يتضمن عدد من وحدات التحكم الإلكترونية الخارجية مثل الكاميرات والرادارات وكشف الضوء والمدى (LiDAR) بالإضافة الى وحدات التحكم الإلكترونية الداخلية مثل وحدة التحكم في السيارة (V/C)، البطارية والعاكس/وحدة التحكم في المحرك (I/MC) والفرامل وشاشة عرض لوحة العدادات (INS) والتحكم في ناقل الحركة (Trans) باستخدام محاكاة CANoe/MATLAB. ثانيًا، تعديل بنية وحدة التحكم الإلكترونية التقليدية لتصبح لاسلكية الاتصال عن طريق إضافة مكون امتداد Wireless يسمح باتصال لاسلكي سلس وشفاف. سيتم الاختيار لـ IEEE 802.11b، والذي يعمل بسرعة 11 ميجابت في الثانية. سيتم تفصيل بنية وحدة التحكم الإلكترونية الجديدة وبروتوكول الاتصال المقترح.

ثالثاً: تم تنفيذ بيئة اتصال لاسلكي خاص لكل سيارة ذاتية القيادة حتى لا يتمكن أحد من الاستماع أو اكتشاف وجود هذه الشبكة. ويتم ذلك عن طريق تقديم معادلة تعديل فريدة من نوعها لمفتاح الكود التكميلي (CCK) لوحدات التحكم الإلكترونية العاملة في كل مركبة ذاتية القيادة، والتي تختلف عن المركبات ذاتية القيادة الأخرى والشبكات اللاسلكية التقليدية. سيتم اختبار فعالية هذه الطريقة باستخدام نموذج MATLAB/SIMULINK المصمم خصيصًا لهذه ناقل شبكة منطقة التحكم (CAN) اللاسلكي المعدل. رابعا , تنفيذ استراتيجية للتعامل مع