

高信頼な無線ネットワーク化制御を可能とする

通信制御技術に関する研究

2023 年 8 月

岩井 孝法

主 論 文 要 旨

No.1

報告番号	甲	第	号	氏 名	岩井 孝法
主 論 文 題 名 :					
高信頼な無線ネットワーク化制御を可能とする通信制御技術に関する研究					
(内容の要旨) IoT (Internet of Things) の普及に伴い, 様々な分野で無線ネットワークを介したシステム制御技術である無線ネットワーク化制御の実現が望まれている. しかしながら, 従来の無線ネットワークでは, スループット等の通信サービス品質 (QoS : Quality of Service) に加えて, 通信サービスの満足度に関わるアプリケーション品質であるユーザ体感品質 (QoE: Quality of Experience) や制御性能品質 (QoP: Quality of Performance) を同時に担保することが難しい. そこで本研究では, IoT アプリケーション品質の向上を目指し, 高信頼な無線ネットワーク化制御を可能とする通信制御技術の提案と実証を目的とした. 第1章に, 本研究の背景と関連する研究を概説した. 第2章では, アプリケーションを考慮したネットワーク制御技術である「アプリケーションウェアネットワーク制御」の概念およびその実現アーキテクチャを提案した. 第3章では, アプリケーションウェアネットワーク制御の概念に基づき, IoT アプリケーションの一例である遠隔モータ制御を対象とした, 共有型無線チャネルにおける帯域確保送信レート制御手法を提案した. 提案手法では, 無線チャネルを共有する複数のモータの必要帯域幅やネットワークの残余帯域幅を考慮しつつ, QoP であるモータ応答の収束時間要件を満たすようにデータ送信レートを決定した. 従来手法である比例配分送信レート制御では達成困難であったネットワーク負荷条件における QoP の担保が, 提案手法を用いることで達成可能であることをシミュレーションおよび実機評価により明らかにした. 第4章では, IoT アプリケーションにおける無線ネットワーク化制御のユースケースとして自動運転車両の安全運転支援を想定し, 第2章で提案したアプリケーションウェアネットワーク制御の概念実証について述べた. 概念実証では, 見通し外の交差点において車両間で位置情報をリアルタイムに共有し, 車両同士の衝突を回避するシステムを構築した. MEC (Multi-access Edge Computing) サーバにおけるアプリケーションウェアネットワーク制御と, 基地局における無線アクセス制御である STABLE (Simultaneous Transmission Access Boosting Low-latency) を連携させた無線ネットワーク・アクセス制御システムを開発した. また, 開発した無線ネットワーク・アクセス制御システムを実装した MEC サーバおよび基地局と複数の車両を用いたフィールド実証実験を行った. フィールド実証実験では, 車両があらかじめ指定された交差点危険エリアに入ると, アプリケーションからの要求である 100 ms の許容通信遅延要件が MEC サーバから基地局に対して通知され, 許容通信遅延要件が満たされることを確認した. 提案したアプリケーションウェアネットワーク制御と無線アクセス制御を連携させることで, 見通し外の交差点において車両同士の衝突を回避できる高信頼な無線ネットワーク化制御が実現できることをフィールド実証により明らかにした. 第5章に, 結論として各章で得られた内容をまとめ, 本研究の成果を要約した.					

Thesis Abstract

No. _____

Registration Number	☒ “KOU” ☐ “OTSU” No. _____ *Office use only	Name	IWAI, Takanori
Thesis Title Communication Control Technologies Enabling Reliable Wireless Networked Control			
Thesis Summary Recent Internet-of-things (IoT) technologies accelerate wireless networked control in various fields. However, in conventional wireless networks, it is difficult to ensure not only the network quality of service (QoS) such as throughput but also the application-level quality such as quality of experience (QoE) and quality of performance (QoP), which are related to communication service satisfaction. In this study, communication control technologies that enable reliable wireless networked control were proposed and demonstrated to improve the quality of IoT applications. Chapter 1 summarizes the background and related studies. Chapter 2 describes a proposed concept of “application-aware network control,” which is a network control technology taking applications into account, and its feasible architecture. Chapter 3 describes a proposed bandwidth-reserved transmission rate control method in a shared wireless channel for remote motor control as an example of IoT applications, based on the concept of application-aware network control. The proposed method determines a data transmission rate so as to satisfy a convergence time requirement of the motor response as the QoP by considering required bandwidths of multiple motors sharing a wireless channel and a residual bandwidth of the network. Simulations and experiments confirmed that the proposed method could achieve the QoP under the network load conditions in which a conventional method could not achieve the QoP. Chapter 4 describes the proof of concept (PoC) of application-aware network control proposed in chapter 2 for safe-driving assistance of automated driving vehicles as a use case of wireless networked control in IoT applications. A collision avoidance system with real-time sharing of vehicle position information was configured in a non-line-of-sight intersection. A wireless network and access control system that combined the application-aware network control in multi-access edge computing (MEC) servers and simultaneous transmission access boosting low-latency (STABLE) wireless access control in base stations was developed. The field demonstration utilized the MEC server and base station with the developed system. Multiple vehicles were operated in the field demonstration. The field demonstration confirmed that the MEC server notified the base station of the permissible communication delay requirement of 100 ms when the vehicle entered a pre-designated intersection dangerous area, and that the requirement is satisfied. The coordination of the proposed application-aware network control and wireless access control enabled reliable wireless networked control avoiding collisions between vehicles at non-line-of-sight intersections. Chapter 5 summarizes the results of this study.			