

氏 名	イ トウ ケン ジ 伊 藤 健 二
学 位 の 種 類	博士（工学）
学 位 記 番 号	論博第273号
学位授与の日付	平成23年9月28日
学位授与の条件	学位規則第4条第2項該当 論文博士
学位論文題目	インフラ協調車車間通信システムの設計及びQoS制御技術に関する研究

論文審査委員	主 査	教 授	田 坂 修 二
		教 授	岩 波 保 則
		教 授	石 橋 豊
		教 授	菊 間 信 良

論文内容の要旨

本論文では、車社会において、安全で環境に優しい円滑な交通環境と快適な乗車空間を目指す ITS を実現するため、インフラ協調車車間通信システムに着目し、電波伝搬特性の解析、QoS 制御技術、及び、複数レイヤにわたる QoS パラメータについて検討している。

第 1 章では、研究の背景、及び、関連技術について説明し、構成をまとめている。本論文は、二つのネットワークモデルに分けて議論している。一つは、車車間アドホックネットワーク環境を想定し、電波伝搬特性の解析、物理レベル、リンクレベル、アプリケーションレベルにおける QoS 制御技術、及び、QoS パラメータに関して検討している。もう一つは、インフラとの協調通信環境を想定し、インターネットにおけるリンクレベルの QoS 制御技術とアプリケーションレベル QoS との関係について議論している。

まず、車車間通信システムの回線設計を考える際には、伝搬損失特性を把握することが必要である。特に、送受信のアンテナ高が低いため、周辺車両による伝搬損失の影響が大きくなる。第 2 章では、車車間通信の周波数帯として、日本で検討されている 5.8GHz 帯と 700MHz 帯の二つの周波数帯を使用し、フィールド実験により、周辺車両による伝搬損失量と交通量との関係について検討する。また、送受信間に存在する車両台数と、伝搬損失量との関係を導出し、実際の交通環境におけるモデル化手法を提案している。

次に、交差点における衝突回避警告のような安全運転支援システムのための車車間通信では、物理レイヤにおける高信頼通信の実現が重要である。そこで、第3章では、物理レベル QoS を対象として、伝送品質を改善させる送信ダイバーシチ技術を、車車間通信へ適用することを検討し、交差点伝搬路特性に基づく新たな MIMO-STBC 方式を提案する。まず、レイトレース法を用いたシミュレーションにより MIMO の伝搬路特性を導出し、交差点伝搬路のモデル化を行う。この伝搬路の特徴を利用し、車両の移動速度情報を用いたチャネル推定法と判定帰還型チャネル推定法の2種類を提案し、計算機シミュレーションにより、それらの有効性を示す。

更に、MIMO の伝送特性は電波伝搬特性に大きく依存するため、具体的な状況を想定した評価が必要である。そこで、第4章では、交差点における右折時衝突防止支援を想定した評価を行う。まず、レイトレース法を用いたシミュレーション、及び、フィールド実験により電波伝搬特性を評価し、大型車両遮蔽時の伝搬路のモデリングを行う。このモデリングに基づき、MIMO-STBC の有効性を計算機シミュレーションにより明らかにする。

次に、車車間通信を用いた安全運転支援システムにおけるリンクレベル QoS に着目する。これまで、車車間通信環境では、CSMA/CA 方式が多く検討されてきているが、隠れ端末問題により、大きく通信品質が劣化することが懸念されている。そこで、第5章では、周期ブロードキャスト通信において、パケット衝突を回避するための送信タイミングを、自律的に予約する新しい MAC プロトコルとして PB-TRMA を提案する。そして、ネットワークシミュレーションにより、提案プロトコルが TDMA ライクな動作をしていることを示し、隠れ端末対策としての有効性を明らかにする。

更に、第6章では、パケットレベルの通信品質評価だけではなく、アプリケーションレベル QoS の観点から評価するため、車車間通信を用いた安全運転支援システムの新しい評価指標を提案している。

第6章までは、車車間アドホックネットワーク環境を対象に検討している。一方で、インフラ協調車車間通信システムにおいては、インフラ側の QoS 制御技術についても QoS パラメータに大きな影響を及ぼす。そこで、第7章では、インターネットにおけるリンクレベル QoS 制御技術とアプリケーションレベル QoS との関係について検討する。ここでは、四つのパケットスケジューリングアルゴリズムが、音声・ビデオストリーミングなどの連続メディア同期品質に及ぼす影響を明らかにしている。

最後に、第8章では、本論文の結論、及び、今後に残された課題をまとめている。

このように、本論文では、様々なレイヤにわたる QoS パラメータを対象として、高品質な通信を実現する QoS 制御技術について検討し、インフラ協調車車間通信システムを設計するための指針を提供することを最終目標としている。

論文審査結果の要旨

本論文は、高度道路交通システム(ITS: Intelligent Transport System)におけるインフラ協調車車間通信システムを対象として、物理層からアプリケーション層にわたる各層におけるサービス品質(QoS: Quality of Service)と QoS 制御技術の研究を行ったものである。車車間アドホックネットワーク環境と、インフラとの協調通信環境との2種類のネットワークモデルを研究している。

本論文は、8章から構成される。第1章から第6章までは、車車間アドホックネットワーク環境を対象とし、第7章はインフラとの協調通信環境を考察している。

第1章では、研究の背景と関連技術を説明している。

第2章では、車車間通信の周波数帯として、日本で検討されている5.8GHz帯と700MHz帯の二つの周波数帯を使用し、フィールド実験により、周辺車両による伝搬損失量と交通量との関係を検討している。また、送受信間に存在する車両台数と、伝搬損失量との関係を導出し、実際の交通環境におけるモデル化手法を提案している。

第3章では、物理レベル QoS を対象として、伝送品質を改善させる送信ダイバーシチ技術を、車車間通信へ適用することを検討し、交差点伝搬路特性に基づく新たな MIMO-STBC 方式を提案している。まず、レイトレース法を用いたシミュレーションにより MIMO の伝搬路特性を導出し、交差点伝搬路のモデル化を行う。この伝搬路の特徴を利用し、車両の移動速度情報を用いたチャネル推定法と判定帰還型チャネル推定法の2種類を提案し、計算機シミュレーションにより、それらの有効性を示している。

第4章では、交差点における右折時衝突防止支援を想定した評価を行っている。まず、レイトレース法を用いたシミュレーション、及び、フィールド実験により電波伝搬特性を評価し、大型車両遮蔽時の伝搬路のモデリングを行っている。このモデリングに基づき、MIMO-STBC の有効性を計算機シミュレーションにより明らかにしている。

第5章では、周期ブロードキャスト通信において、パケット衝突を回避するための送信タイミングを、自律的に予約する新しい MAC プロトコルとして PB-TRMA を提案している。そして、ネットワークシミュレーションにより、提案プロトコルが TDMA ライクな動作をしていることを示し、隠れ端末対策としての有効性を明らかにしている。

第6章では、パケットレベルの通信品質評価だけではなく、アプリケーションレベル QoS の観点から評価するため、車車間通信を用いた安全運転支援システムの新しい評価指標を提案している。

第7章では、インフラ協調車車間通信システムにおいて、インターネットにおけるリンクレベル QoS 制御技術とアプリケーションレベル QoS との関係を研究している。ここでは、四つのパケットスケジューリングアルゴリズムが、音声・ビデオストリーミングなどの連続メディア同期品質に及ぼす影響を明らかにしている。

第8章は、結論である。

本論文の内容は、電子情報通信学会論文誌をはじめとするジャーナル論文6編と国際会議論文4編として発表されている。

本論文は、様々な階層にわたる QoS パラメータを対象として、高品質な通信を実現する QoS 制御技術を考案し、インフラ協調車車間通信システムを設計するための指針を提供するものであり、この分野の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分価値あるものと認める。