

## 論文の内容の要旨

論文題目	Study on Relay-Assisted Inter-Vehicle Communication Techniques for Advanced Intelligent Transport Systems (和訳：先進ITSのための中継アシスト車車間通信技術の研究)
学位申請者	LE TIEN TRIEN

近年、先進的なITS (Intelligent Transport Systems: 高度道路交通システム) のための通信技術への期待が高まっている。車車間通信にブロードキャスト通信を用いることで、各車両では潜在的な交通事故を予測して運転手に警告し、さらには制動を行うことにより事故を未然に回避できる。さらにこの情報を利用して車両を自動制御することで、交通流を意識した協調型自動走行を実現することが可能になるものと期待されている。車車間通信を用いて安全運転支援およびより高度な自動走行システムを実現するためには、高信頼、かつ低遅延の無線通信技術が要求される。しかしながら道路上の移動通信では、多重波伝搬によるフェーディングや建物によるシャドウイング、さらに自律分散通信システム特有の問題である隠れ端末問題による干渉などの影響で、通信の信頼度が低下する。特に事故発生確率の高い交差点ではその影響が顕著である。

本論文では車車間通信の品質を改善することを目的として、交差点等の中継局 (Relay Station; RS) を設置し、車車間通信パケットを転送中継する中継アシスト車車間通信に関する諸技術が提案されている。

第1章では本研究で扱う分野および背景を説明し、従来研究との比較を通して課題を明確にして研究を位置付け、論文の構成と寄与について述べている。中継アシスト車車間通信システムでは中継局が交差点付近の信号機などに併設されて高いアンテナ高を有し、他の車載局に対して見通し内 (Line-of-Sight; LOS) 伝搬環境にあるため、シャドウイングやフェーディングの影響の軽減に有効である一方で、車両密度が高くなると、中継によるエアトラヒックも増加してエアでの輻輳が発生するため送信機会が減少し、中継効果が低下する課題があったことが示されている。

第2章では車車間通信技術の基礎となる事項として、車車間通信技術の用途とそれに対する要求条件、車車間通信に用いられるIEEE 802.11p物理層およびMAC層の概要、使用周波数帯、および市街地電波伝搬モデルについて概説している。

第3章では中継によるエアトラヒックの増加を抑える方法として、中継送信時に複数のパケットペイロードをまとめて1つのパケットに再構成して送信する

ペイロード合成中継(PCRL)法を提案している。本提案法により中継送信されるパケットのオーバーヘッドを削減して効率的な中継送信を可能にし、中継局送信時の輻輳問題を軽減してブロードキャストパケット配信率を向上できることを理論解析および交差点をモデル化したネットワークシミュレーションの結果から明らかにしている。

第4章ではPCRL法の性能向上のため、中継局受信時の隠れ端末問題の対策として、ペイロード合成中継法にセクタ化受信を組合せたセクタ化受信ペイロード合成中継(SR-V2VC/PCRL)法を提案し、その効果を理論解析およびシミュレーションにより示している。セクタ化受信によって交差点環境で顕著な隠れ端末問題の影響を少なくでき、中継局での受信成功率を改善することで中継効果を高めて平均パケット伝送成功率を大幅に向上できることを明らかにしている。

第5章では複数交差点からなる市街地環境におけるセクタ化受信ペイロード合成中継法の効果を、大規模ネットワークシミュレーションを用いてブロードキャスト配信成功率として総合的に評価した。他の車両および離れた中継局など干渉源が複数存在する市街地環境においても、提案法を用いることによって隠れ端末問題の影響が有効に回避できること、隣接する中継局間で互いに棲分け中継をすることで非常に高い中継効果が得られることを明らかにしている。

第6章では通信トラヒックがさらに高い環境に対処するため、中継パケットによるエアトラヒックをさらに圧縮できる方法として、複数ノード環境に適したネットワークコーディング法を用いたペイロード合成中継法を提案する。本提案法では、車車間ペイロードのソーティングと合成対象パケットの選択アルゴリズムによって複数ノード環境でのネットワークコーディングの弱点を抑えつつ、輻輳問題に有効に対処できることを示した。さらに本提案法をセクタ化受信と組合せることで、幅広い通信トラヒック条件においてブロードキャスト配信成功率が大きく向上することを明らかにしている。

第7章では以上の結果を総括するとともに、結論と今後の課題を述べている。

# 論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名      LE TIEN TRIEN

審査委員主査      山尾 泰

委員      小花 貞夫

委員      藤井 威生

委員      唐沢 好男

委員      石橋 功至

近年、先進的なITS (Intelligent Transport Systems: 高度道路交通システム) のための通信技術への期待が高まっている。車車間通信にブロードキャスト通信を用いることで、各車両では潜在的な交通事故を予測して運転手に警告し、さらには制動を行うことにより事故を未然に回避できる。さらにこの情報を利用して車両を自動制御することで、交通流を意識した協調型自動走行を実現することが可能になるものと期待されている。車車間通信を用いて安全運転支援およびより高度な自動走行システムを実現するためには、高信頼、かつ低遅延の無線通信技術が要求される。しかしながら道路上の移動通信では、多重波伝搬によるフェージングや建物によるシャドウイング、さらに自律分散通信システム特有の問題である隠れ端末問題による干渉などの影響で、通信の信頼度が低下する。特に事故発生確率の高い交差点ではその影響が顕著である。

本論文では車車間通信の品質を改善することを目的として、交差点等の中継局(Relay Station; RS)を設置し、車車間通信パケットを転送中継する中継アシスト車車間通信に関する諸技術が提案されている。

第1章では本研究で扱う分野および背景を説明し、従来研究との比較を通して課題を明確にして研究を位置付け、論文の構成と寄与について述べている。中継アシスト車車間通信システムでは中継局が交差点付近の信号機などに併設されて高いアンテナ高を有し、他の車載局に対して見通し内(Line-of-Sight; LOS)伝搬環境にあるため、シャドウイングやフェージングの影響の軽減に有効である一方で、車両密度が高くなると、中継によるエアトラヒックも増加してエアでの輻輳が発生するため送信機会が減少し、中継効果が低下する課題があったことが示されている。

第2章では車車間通信技術の基礎となる事項として、車車間通信技術の用途とそれに対する要求条件、車車間通信に用いられるIEEE 802.11p物理層およびMAC層の概要、使用周波数帯、および市街地電波伝搬モデルについて概説している。

第3章では中継によるエアトラヒックの増加を抑える方法として、中継送信時に複数のパケットペイロードをまとめて1つのパケットに再構成して送信する

ペイロード合成中継(PCRL)法を提案している。本提案法により中継送信されるパケットのオーバーヘッドを削減して効率的な中継送信を可能にし、中継局送信時の輻輳問題を軽減してブロードキャストパケット配信率を向上できることを理論解析および交差点をモデル化したネットワークシミュレーションの結果から明らかにしている。

第4章ではPCRL法の性能向上のため、中継局受信時の隠れ端末問題の対策として、ペイロード合成中継法にセクタ化受信を組合せたセクタ化受信ペイロード合成中継(SR-V2VC/PCRL)法を提案し、その効果を理論解析およびシミュレーションにより示している。セクタ化受信によって交差点環境で顕著な隠れ端末問題の影響を少なくでき、中継局での受信成功率を改善することで中継効果を高めて平均パケット伝送成功率を大幅に向上できることを明らかにしている。

第5章では複数交差点からなる市街地環境におけるセクタ化受信ペイロード合成中継法の効果を、大規模ネットワークシミュレーションを用いてブロードキャスト配信成功率として総合的に評価した。他の車両および離れた中継局など干渉源が複数存在する市街地環境においても、提案法を用いることによって隠れ端末問題の影響が有効に回避できること、隣接する中継局間で互いに棲分け中継をすることで非常に高い中継効果が得られることを明らかにしている。

第6章では通信トラヒックがさらに高い環境に対処するため、中継パケットによるエアトラヒックをさらに圧縮できる方法として、複数ノード環境に適したネットワークコーディング法を用いたペイロード合成中継法を提案する。本提案法では、車車間ペイロードのソーティングと合成対象パケットの選択アルゴリズムによって複数ノード環境でのネットワークコーディングの弱点を抑えつつ、輻輳問題に有効に対処できることを示した。さらに本提案法をセクタ化受信と組合せることで、幅広い通信トラヒック条件においてブロードキャスト配信成功率が大きく向上することを明らかにしている。

第7章では以上の結果を総括するとともに、結論と今後の課題を述べている。

以上の論文を総括すると、本研究では先進ITSに向けた車車間通信の高信頼度化・高性能化に有用な技術として、いくつかの中継アシスト車車間通信技術が提案され、その性能を詳細に分析して有効性が示されており、学術的価値が高く、かつ論文の構成も適切で明瞭である。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値を有するものと認める。