

論文の内容の要旨

論文題目	Study on Wireless Ad Hoc Network Considering Hidden Terminal Problem and Intra-Flow Interference Cancellation (和訳 隠れ端末問題およびフロー内干渉キャンセルを考慮したワイヤレスアドホックネットワークに関する研究)
学位 申請者	Jingze DAI

自律分散無線ネットワークは携帯電話ネットワークのようにインフラ設備を必要とせず、柔軟かつ迅速な展開が可能であることから、ITSにおける車車間通信、センサーネットワークや災害対応ネットワークとして、社会の安全・安心を支える重要な技術になることが期待される。しかしながら自律分散無線ネットワークの性能は隠れ端末問題によって大きく低下する。本研究は4つのステップで自律分散ネットワークの性能を向上させる手法を提案している。まずフェージングおよびキャプチャ効果を含んだ実際の通信環境を考慮して、CSMA/CAユニキャスト通信に対する隠れ端末問題の影響を分析した。さらにこの分析をCSMA/CAマルチホップ通信に拡張し、その伝送特性を正確に評価できる解析法を提案してフロー内干渉の影響を分析した。次に、高負荷かつフェージング環境下においても高信頼・高効率にマルチホップ伝送を行えるフロー内干渉キャンセリング(Intra-Flow Interference Canceling)伝送法を提案しその効果を明らかにした。最後に、フロー内干渉とフロー間干渉の両者が発生する大規模自律分散ネットワークに対するIFIC伝送法の拡張およびその効果を検討している。

第1章では本研究で扱う分野および背景を説明し、従来研究の調査と比較を通して研究を位置付け、論文の構成および寄与を述べている。

第2章ではフェージングおよびキャプチャ効果を考慮した実際に近い無線通信環境を対象として、CSMA/CAユニキャスト通信に対する隠れ端末問題による通信成功率の劣化を分析している。隠れ端末の基本的な性質を把握するための解析モデルとして、データ送信ノード、データ受信ノード、干渉ノードの3つのノードから成るモデルを考え、フェージング環境下で起こり得る送受信状況を事象として分類し、それぞれに対応する通信成功率をまず計算する。次に各事象に対する通信成功率を事象発生確率の重み付け加算により得る。本解析によって隠れ端末が任意の2次元配置をとる場合の通信成功率の算出を可能とし、隠れ端末の

位置およびキャリアセンスレベルの影響を明らかにしている。さらに、フェージングありの場合となしの場合の通信成功率には無視できない違いが存在すること、送信ノードから見て干渉ノードが受信ノードの背後で隠れ端末問題の影響がもっとも深刻である距離を明らかにしている。

第3章では第2章で検討した解析法をマルチホップ通信に拡張してその伝送特性を正確に評価できる解析法を提案すると共に、フロー内干渉の影響を詳しく分析している。この解析法による理論計算結果と計算機シミュレーションによる結果はよく一致し、トラフィック負荷率 G が高くなるとスループットが大きく劣化すること、その原因は先行パケットと後続パケットとのホップ間隠れ端末干渉によるものであることを定量的に示している。

第4章ではトラフィックが高負荷状態においても高信頼・高効率なマルチホップ伝送を可能にするフロー内干渉キャンセリング (IFIC: Intra-Flow Interference Cancelling) 伝送法を提案している。本提案では希望信号と干渉信号のトレーニングシーケンスが重ならず受信され、受信ノードは適応信号処理でこの2つのシーケンスを利用してチャネル推定を行い、干渉信号をベクトル引算してキャンセルする。理論解析モデルおよびシミュレータを作って提案法の評価を行った結果、提案法によってネットワークのスループットを通常のCSMA/CAネットワークの数倍に向上させることができることを明らかにしている。またアンテナ2本を使用した最大比合成ダイバーシチを干渉キャンセル後に適用した場合、スループットがさらに向上し、フレームフォーマットとパケットサイズで決まる理論値に近いことを明らかにしている。最後に、フロー内干渉とフロー間干渉の両者が発生する大規模なアドホックネットワークに対するIFIC伝送法の拡張およびその効果を検討している。その結果から、ネットワーク全体のトラフィック密度が高くない場合、IFICによる性能向上の効果が大きいことを明らかにした。

第5章では各章で得た結果をまとめた上で、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 DAI JINGZE

審査委員主査 山尾 泰

委員 唐沢 好男

委員 藤井 威生

委員 小島 年春

委員 石橋 功至

自律分散無線ネットワークは携帯電話ネットワークのようにインフラ設備を必要とせず、柔軟かつ迅速な展開が可能であることから、ITSにおける車車間通信、センサーネットワークや災害対応ネットワークとして、社会の安全・安心を支える重要な技術になることが期待される。しかしながら自律分散無線ネットワークの性能は隠れ端末問題によって大きく低下する。本研究は4つのステップで自律分散ネットワークの性能を向上させる手法を提案している。まずフェージングおよびキャプチャ効果を含んだ実際の通信環境を考慮して、CSMA/CAユニキャスト通信に対する隠れ端末問題の影響を分析した。さらにこの分析をCSMA/CAマルチホップ通信に拡張し、その伝送特性を正確に評価できる解析法を提案してフロー内干渉の影響を分析した。次に、高負荷かつフェージング環境下においても高信頼・高効率にマルチホップ伝送を行えるフロー内干渉キャンセリング (Intra-Flow Interference Canceling) 伝送法を提案しその効果を明らかにした。最後に、フロー内干渉とフロー間干渉の両者が発生する大規模自律分散ネットワークに対するIFIC伝送法の拡張およびその効果を検討している。

第1章では本研究で扱う分野および背景を説明し、従来研究の調査と比較を通して研究を位置付け、論文の構成および寄与を述べている。

第2章ではフェージングおよびキャプチャ効果を考慮した実際に近い無線通信環境を対象として、CSMA/CAユニキャスト通信に対する隠れ端末問題による通信成功率の劣化を分析している。隠れ端末の基本的な性質を把握するための解析モデルとして、データ送信ノード、データ受信ノード、干渉ノードの3つのノードから成るモデルを考え、フェージング環境下で起こり得る送受信状況を事象として分類し、それぞれに対応する通信成功率をまず計算する。次に各事象に対する通信成功率を事象発生確率の重み付け加算により得る。本解析によって隠れ端末が任

意の2次元配置をとる場合の通信成功率の算出を可能とし、隠れ端末の位置およびキャリアセンスレベルの影響を明らかにしている。さらに、フェージングありの場合となしの場合の通信成功率には無視できない違いが存在すること、送信ノードから見て干渉ノードが受信ノードの背後で隠れ端末問題の影響がもっとも深刻である距離を明らかにしている。

第3章では第2章で検討した解析法をマルチホップ通信に拡張してその伝送特性を正確に評価できる解析法を提案すると共に、フロー内干渉の影響を詳しく分析している。この解析法による理論計算結果と計算機シミュレーションによる結果はよく一致し、トラヒック負荷率 G が高くなるとスループットが大きく劣化すること、その原因は先行パケットと後続パケットとのホップ間隠れ端末干渉によるものであることを定量的に示している。

第4章ではトラヒックが高負荷状態においても高信頼・高効率なマルチホップ伝送を可能にするフロー内干渉キャンセリング (IFIC: Intra-Flow Interference Cancelling) 伝送法を提案している。本提案では希望信号と干渉信号のトレーニングシーケンスが重ならず受信され、受信ノードは適応信号処理でこの2つのシーケンスを利用してチャネル推定を行い、干渉信号をベクトル引算してキャンセルする。理論解析モデルおよびシミュレータを作って提案法の評価を行った結果、提案法によってネットワークのスループットを通常のCSMA/CAネットワークの数倍に向上させることができることを明らかにしている。またアンテナ2本を使用した最大比合成ダイバーシチを干渉キャンセル後に適用した場合、スループットがさらに向上し、フレームフォーマットとパケットサイズで決まる理論値に近いことを明らかにしている。最後に、フロー内干渉とフロー間干渉の両者が発生する大規模なアドホックネットワークに対するIFIC伝送法の拡張およびその効果を検討している。その結果から、ネットワーク全体のトラヒック密度が高くない場合、IFICによる性能向上の効果が大きいことを明らかにした。

第5章では各章で得た結果をまとめた上で、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、本研究では大規模自律分散ネットワークにおける隠れ端末問題を実際の通信環境を考慮して詳細に分析して有用な結果を得ると共に、その解決に向けた干渉キャンセル技術の提案および効果の検証がなされ、かつその実現に関する詳細な研究がなされており、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。