

平成 22 年 5 月 14 日現在

研究種目：若手研究(B)
研究期間：2008～2009
課題番号：20700056
研究課題名（和文）無線アドホックネットワークにおける電波干渉を考慮したチャネル利用方式
研究課題名（英文）An Enhancement of Channel Utilization Scheme Considering Interference Problems in Wireless Ad-hoc Networks
研究代表者 中村 直毅 (NAKAMURA NAOKI) 東北大学・大学院医学系研究科・助教 研究者番号：50447132

研究成果の概要（和文）：

本研究は、無線アドホックネットワークにおいて、Interference問題の誘発を軽減し、通信効率が高く安定したメディアアクセス機能を提案する。具体的には、Interference問題の誘発を軽減するための仕組みを分析し、フレーム結合方式およびチャネル予約方式が相補的に機能するメディアアクセス制御を開発する。ネットワークシミュレータns2上にフレーム結合方式およびチャネル再利用方式を実装し、評価を通して、提案手法の有効性を示した。

研究成果の概要（英文）：

In this research, we proposed a scheme to reduce the interference problem in mobile communication and provide media access function to keep the environment stable, and at the same time increase channel efficiency. We analyzed how to reduce the interference problem and developed a basic technique for media access function with frame aggregation and channel re-use scheme in a complementary method. We implemented frame aggregation scheme and channel re-use scheme into network simulator, ns2. Through performance evaluation, we verify the effectiveness of our proposed scheme.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,600,000	480,000	2,080,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：計算機システム・ネットワーク

キーワード：①移動体通信 ②ネットワーク③通信プロトコル④無線ネットワーク⑤電波干渉

1. 研究開始当初の背景

災害時などにおいて、即座に通信環境を用

意するための技術として、自律分散的にネットワークを構成することが可能な、無線モバ

イルアドホックネットワークが注目されている。国内外においては、通信の高度化・多重化を行う IEEE 802.11n や MIMO などといった無線 LAN に特化した通信方式の研究開発が盛んに行われている。このような取り組みは主に、無線 LAN の通信方式の性能を向上させるものである。一方、無線アドホックネットワークにおいては、これらの方式を適用した場合、性能が向上しないばかりか、逆に性能低下する問題が懸念されている。

本研究では、無線アドホックネットワークにおける性能向上に焦点をあて、通信効率が高く安定した通信環境を提供するメディアアクセス機能の実現を目指している。

我々は、無線アドホックネットワークにおけるチャンネル利用率を可能な限り向上するメディアアクセス機能を実現するため研究開発を推進してきた。メディアアクセス機能におけるチャンネル予約方式や送信方式を改良し、大幅なチャンネル利用率の向上を実現するとともに、チャンネル予約方式や送信方式をさらに発展させ、Interference（無線通信干渉）問題を軽減するチャンネル予約方式を検討し、さらなるチャンネル利用率向上を向上させてきた。無駄に予約されたチャンネルを効果的に再利用するチャンネル予約方式を提案し、大幅に性能を改善した。また、フレームの送信制御方式では、静的なネットワーク環境において、複数の送信フレームを適切にフレーム結合する方式を適用することにより、Interference 問題を軽減できることを明らかにしてきた。

本研究では、我々が今まで取り組んできた研究成果を発展させ、自律分散的に機能するフレーム結合方式を構成する仕組み実現し、動的な環境においても動作するような改良を構成するとともに、チャンネル予約方式とフレーム結合方式の改良とを組み合わせることで、Interference 問題を効果的に軽減し、さらなるチャンネル利用率が見込めるのではないかとこの着想に至った。

2. 研究の目的

我々は、チャンネルフレーム結合方式を導入、即ち、複数の送信フレームを効果的に結合し送信タイミングを調整し、Interference 問題を軽減することができることを明らかにしてきた。しかしながら、この方式は十分に調整された環境でのみ機能するという課題が残されていた。そこで、本研究では、より実用性のあるフレーム結合方式とするため、自律分散的に動作するフレーム結合方式について検討し、その効果を明らかにすることを目的とする。

また、無駄に予約されたチャンネルを積極的に再利用するチャンネル予約方式を適用すると、過度のネットワークトラフィックが流入

しまう問題が発生し、その結果、Interference 問題が誘発される問題が発生し、性能改善効果が抑制されてしまう場合がある。そこで、本研究では、これらの問題を明らかにし、Interference 問題の誘発を軽減する高いチャンネル利用率を実現するメディアアクセス機能の仕組みの実現を目指す。本研究では、特に、チャンネル予約方式とフレーム結合方式が相補的に機能する仕組みについて検討し、その効果を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、フレーム結合方式とチャンネル予約方式とフレーム結合方式が相補的に機能する通信方式を実現するための理論的な枠組み、および基礎技術要素を研究開発する。具体的には、以下の(1)～(5)の5項目について研究を推進する。

- (1) フレーム結合方式とチャンネル再利用方式の既存研究について調査を行う。
- (2) 自律分散的な機能するフレーム結合方式のプロトタイプの実装と評価を行う。
 - ①フレーム結合方式をもとに、自律分散的に調整可能な制御方式の仕組みの検討およびその設計を実施する。
 - ②①のプロトタイプをns2上に実装する。
 - ③②を用いて性能評価を実施する。
 - ④③の性能評価の結果に基づき、プロトタイプを修正する。
 - ⑤性能評価を繰り返し行い、制御方式を改良する。
- (3) チャンネル予約方式とフレーム結合方式が相補的に機能する通信方式のプロトタイプの実装と評価を行う。
 - ①チャンネル予約方式をもとに、(2)のプロトタイプと相補的に機能するチャンネル予約方式の仕組みの検討および設計を実施する。
 - ②①のプロトタイプをns2上に実装する。
 - ③②を用いて性能評価を実施する。

- ④③の性能評価の結果に基づき、プロトタイプを修正する。
- ⑤性能評価を繰り返し行い、制御方式を改良する。
- (4) (2)(3)の改良・拡張
 ①(2)(3)で構成したプロトタイプを用いて、パラメータ調整や、制御方式の改善点・拡張を検討し、方式の問題点などを明らかにする。
 ②①の検討に基づき、チューニングや機能拡張を行う。
 ③移動モデル、トラフィックパターン、ルーティングプロトコルなどのさまざまな側面からシミュレーションを実施する。
- (5) 総合評価
 (1)~(4)の開発項目を総括し、総合評価を行い、提案手法の有効性を確認する。

4. 研究成果

- (1) Interference(電波干渉)を軽減するための仕組みの検討と分析

Interference(電波干渉)を軽減するため、マルチホップ通信のフレーム転送制御について分析・検討を行った。検討の結果、予測可能型 Interference を軽減することを想定して、フレームを転送する場合、送信するフレーム数が、経路の1/4ホップ数になるように、送信タイミングあるいは送信単位を調整する仕組みを導入することが必要であるという結論に至った。

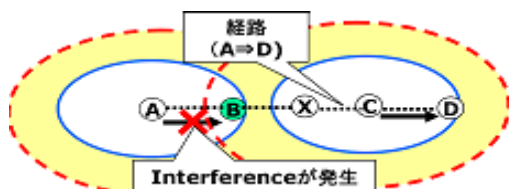


図1：予測可能型 Interference

フレーム結合方式においては、フレームを結合する、もしくは、送信タイミングに遅延を与えることで、フレームの送信単位を軽減し、Interference を軽減することができる。また、チャンネルを再利用する方式では、チャンネルが利用されない期間にキュー中にある別のフレームを送信するため、送信単位が増加するが、チャンネルを再利用することによって得られる効果の影響が大きいことから、同一経路のフレームとして扱わずに制御することとした。

- (2) フレーム結合形式

フレーム結合方式では、Interference を軽減するため、同一の経路を通るフレーム同士を結合することで、経路内のフレーム数を削

減する。また、バックオフタイムを延長することで、フレームの送出タイミングを調整し、予測可能型 Interference の発生を抑制する。これらの仕組みは、フレーム送信のペーシングを行い Interference の発生を抑制するものであり、Interference が発生しないようなネットワークの負荷の低い状況で用いると、逆にパフォーマンスが低下する可能性がある。よって、Interference が発生する場合にのみこれらの仕組みを用いることが効果的である。そこで Interference の発生の度合いを測るパラメータとして、MAC 層におけるフレームの平均再送回数を用いる。

フレーム結合が過度に行われる場合、フレーム長が増大することにより Interference によるフレームの損失率が高くなりパフォーマンスが低下する。そこで、本方式では、マルチホップ通信時の予測可能型 Interference を考慮し、IEEE 802.11 で規定されたバックオフタイムに加えて、結合したフレーム長に相当を基にしたバックオフタイムを付加する。これにより、経路中のフレーム数や送信タイミングを調整し、予測可能型 Interference の発生を抑制する。

なお、フレーム長の最適値は、チャンネルのエラー率が影響を与えるため、問題を簡単化するため、本方式では、フレーム長の理想値はあらかじめ与えることにした。

- (3) チャンネル予約方式とフレーム結合方式の融合方式

チャンネル予約方式とフレーム結合方式を融合する際の動作を分析した。フレーム結合方式を用いる場合、フレーム長が長くなる。この時、フレームを送信する際には、周囲のチャンネルを予約するためチャンネルの占有時間が増加する。一方、フレーム長が長くなることによって、フレームの失敗回数が増加し、フレーム結合を行ったノードの周辺では、チャンネル利用率が低下する。以上の分析から、フレーム長が増加するフレーム結合方式を適用した場合には、積極的にチャンネルの再利用を行うように2方式を融合することとした。

チャンネル再利用方式では、RTS/CTS 交換に用いられる RTS フレームを受信した際に、今後受信することが予想される、CTS や DATA フレームの受信の有無をデータリンク層の信号強度などの変化などから確認する。その後、信号強度に変化があった場合には、RTS/CTS 交換が正常に行われた判断し、通常通りに制御する。一方、データリンク層において信号強度に変化が無い場合には、RTS/CTS 交換が失敗したと判断し、チャンネルを再利用する。チャンネルの再利用方式は、3種類あり、Extra Frame および Reverse Extra Frame を送信する方式と RTS によって予約されたチャンネルをキャンセルする Cancel RTS 方式から構成される。Extra Frame 方式では、RTS フレーム

を送信したノードがチャンネルを Extra Frame を送信する。また、Reverse Extra Frame 方式では、RTS を受信したノードの一部が Reverse Extra Frame を送信する。また、Cancel RTS 方式は、Reverse Extra Frame を送信することができないノードにチャンネルの再利用を許可する。

また、過度のネットワークトラフィックが流入することを防止するため、フレーム結合方式の頻度およびMAC層におけるフレームの平均再送回数に応じて、チャンネル再利用の利用頻度を制御する。

(4) 実験評価

ネットワークシミュレータ ns2 上に(1)(2)機能を実装し、性能評価を行った。フレーム結合方式とチャンネル再利用方式の融合方式のパラメータを変化させて、パフォーマンスを計測し、性能改善効果を確認した。

フレーム結合方式に関しては、Interference の影響が比較的強い場合には、フレーム結合する割合を高くすることによって、大幅なスループットの改善効果が得られることが明らかにした。また、バックオフタイムに関しては、遅延を与えない場合、パフォーマンス低下を引き起こす問題を引き起こし、安定したスループットを実現するためには、適度なバックオフタイムを与えることが必須であることが確認した。特に、フレームの結合割合が高い場合に、高いスループットを実現しており、フレーム結合は積極的に適用することが効果的であることが明らかにした。

また、フレーム結合方式とチャンネル再利用方式の融合方式においては、フレーム結合方式を積極的に利用する場合、フレーム結合するフレーム長が長くなるとフレームの送信失敗の頻度が増加し、利用されることのない無駄なチャンネルが増加することが明らかにした。この場合、チャンネルの再利用を積極的に行うことで、フレーム結合方式とチャンネル再利用方式が相補的に機能することが可能とし、スループットの改善効果が得られることを確認した。

以上の実験を通じて、提案手法の有効性を示した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 5 件)

1. **Naoki Nakamura**, Debasish Chakraborty, Norio Shiratori, “An Intelligent Way to Reduce Channel Under-utilization in Mobile Ad hoc Networks”, in Mobile Intelligence, pp.43-60, 2009, 査読有
2. Mostafa Mjidi, Debasish Chakraborty, **Naoki Nakamura** and Norio Shiratori,

“The impact of dynamic RTS Threshold adjustment for IEEE 802.11 MAC protocol”, Mobile Information Systems, Vol.5, pp.5-20, 2009, 査読有

3. **Naoki Nakamura**, Kazuhide Koide, Takafumi Maruyama, Debasish Chakraborty, Glenn Mansfield Keeni, Takuo Suganuma, and Norio Shiratori, “Network Mobility Management based on NEMO/MobileIPv6-MIB”, International Workshop on Informatics, pp.71-78, 2009, 査読有
4. **Naoki Nakamura**, Gen Kitagata, Debasish Chakraborty, David Wei, Shuhei Watanabe and Norio Shiratori, “An Effective Pacing Scheme for MANET with Frame Aggregation and Extra Backoff”, Fourth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking, pp.124-131, 2008, 査読有
5. **Naoki Nakamura**, Gen Kitagata, Debasish Chakraborty, David Wei, Shuhei Watanabe and Norio Shiratori, “Mitigating Interference Problem with Frame Aggregation in Wireless Ad Hoc Network”, IEEE VTS Asia Pacific Wireless Communications Symposium, p04, 2008, 査読有

[学会発表] (計 2 件)

1. 丸山 貴史, **中村 直毅**, 北形 元, 菅沼 拓夫, 白鳥 則郎, “モバイルネットワークにおける監視トラフィックの流量制御方式”, 電気通信学会MoMuC研究会, 平成 21 年 9 月 24 日 - 25 日, 沖縄
2. **Naoki Nakamura**, Kazuhide Koide, Takafumi Maruyama, Debasish Chakraborty, Glenn Mansfield Keeni, Takuo Suganuma and Norio Shiratori, “Management Framework for Network Mobility Environment”, 情報処理学会第 17 回マルチメディアと分散処理ワークショップ, 平成 21 年 10 月 7 日 - 9 日, 北海道

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 直毅 (NAKAMURA NAOKI)

東北大学・大学院医学系研究科・助教

研究者番号：50447132

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし