

フリガナ	マトバ アキヒサ
氏名（本籍）	的場 晃久（大阪府）
学籍番号	H12001
学位（専攻分野の名称）	博士（総合情報学）
学位記番号	第 H10009 号
学位授与の日付	平成 27 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規程第 5 条該当
学位論文題目	IEEE802.11 アドホックネットワークにおける通信制御に関する研究 Research for Communication Control of IEEE 802.11 Ad Hoc Networks

論文審査委員	主査 金 武完
	副査 平野 正則
	副査 井関 文一
	副査 宇野 新太郎

#### 論文内容の要旨

無線 LAN は今現在最も普及している無線データ通信技術であり、標準規格の IEEE 802.11 も 2009 年に 11n, 2013 年に 11ac が策定され高速化、大容量化を遂げている。タブレットやモバイル PC などでは無線 LAN 以外にデータ通信手段を持たない機器も増えており、スマートフォンでも省電力やモバイルネットワークのオフロードの観点から無線 LAN が使える状況では無線 LAN の使用が推奨されている。今後はイーサネットによる有線ネットワークを代替していく可能性がある。また現時点ではこれまでの歴史的な経緯から有線ネットワークの拡張を目的としたアクセスポイントを使うインフラストラクチャ型の無線 LAN の導入が主流である。しかし今後は自動車のような移動体や家電製品にも標準的に搭載されることが期待され、端末同士が直接通信を行ない有線インフラストラクチャに依存しないアドホック型やその発展系であるメッシュ型の無線 LAN も重要な適用領域となる。

このような流れの中で無線 LAN の通信制御のメカニズムは 1997 年に策定された最初規格 IEEE 802.11-1997 から基本的に変更されていない。このため最近や今後の用途や通信環境を考えた場合、最適化されているとは言えない状況が生じている。広く普及し、今後も重要性を増す無線 LAN であるが通信制御の仕組みは完成されたものではなく、改善の余地を残している。

無線 LAN において利便性を損なわず、増大しているスループットに対する要求を満たす技術の開発は重要である。特に通信制御はマルチレート化など最新の物理層の改良に対して最適化されていない。通信制御を最適化することでスループットを向上し、限られた電波資源を有効活用することが一つの重要な課題となる。本研究の目的は、最新の物理層の技術の進展にも対応した通信制御の仕組みを提案することにある。通信制御は広範囲にわたる課題であるが、まずマルチレート化への対応と QoS から検討を行う。具体的にはアドホック型の無線 LAN について、マルチレート化へ対応したさらし端末対策、及びスループット実績を反映した QoS 割り当て技術の二つの研究

目標を設定した。各目標と研究の結果、得られた知見についての概要を以下に示す。

マルチレート化へ対応したさらし端末対策について説明する。マルチレートによる送信を前提とした場合、データフレームと制御フレームでの送信速度に差異が生じる。送信速度の差異は到達距離の差異としても表れるため、送信速度を意図的に変更することで到達距離を制御する事が可能になる。まず、この技術をさらし端末の解消に適用する。提案したRTSとCTSの送信速度を非対称とする方式 (ARMRC)がシミュレーションを通して、さらし端末を削減してネットワークのスループットを向上させる効果があることを確認した。シミュレーションした条件では標準方式に比べ20%から50%のスループット向上が見られた。また提案方式は個々の端末のスループットを平準化させる効果があり、標準方式でスループットが低い端末ほど、向上率が高くなるという結果が得られた。提案方式のスループット向上率を簡易に見積もる方法を考案したが、シミュレーション結果とよく合致し、見積方法として有効であることが確認できた。

スループット実績を反映した QoS 割り当て技術について説明する。標準方式(DCF/EDCA)では衝突ウィンドウ(CW)の大きさは衝突の発生や送信成功によってのみ増減するが、提案方式では端末の要求スループットと実績スループットに応じて増減する。標準方式ではトラフィックが飽和状態になると各端末のスループットの達成率について公平性が損なわれる。標準規方式の場合、全ての端末がほぼ同じ実スループットになるため、端末毎に異なる要求スループットが反映されず端末間で達成率に大きな差が出るためである。提案方式では個々の端末の達成率が標準方式よりも公平になり、シミュレーションでは Jain's Fairness Index にておよそ 0.9 から 1.0 へ向上するという結果が得られた。また提案方式ではネットワーク全体の総スループットについても標準方式と比べて 10%前後の向上が見られ、達成率の公平化に伴うトレードオフが見られなかった。

本研究では無線LANの通信制御方式の改良策として、制御フレームとデータフレームの送信速度の乖離に注目しRTS/CTSから生じるさらし端末の低減または排除方法を考案した。マルチレートを活用しRTSとCTSの送信速度を非対称とする方式 ARMRC (Asymmetric Range by Multi-Rate Control) を提案し、その効果、有効性をシミュレーションにより検証した。またもう一つの改良策として現行のQoSの仕組みであるEDCAが優先順位の割り当てのみを提供する点に着目し、それとは異なるスループット実績を反映した QoS 割り当て技術を考案した。シミュレーションにより検証しその効果、有効性が確認できた。これらの状況を踏まえ、今後はより広いパラメータや前提条件を検証し、本方式の改良、発展を目指したい。またこれらに加えて他の改良方法も考案しより包括的な通信制御方式の確立を目指したい。

## Abstract of Thesis

WLAN is the most dominant wireless data communication technology of today, and its standard IEEE 802.11 has been enhanced to support very fast and high capacity with ratification of 11n in 2009 and 11ac in 2013. Devices such as tablets and mobile PC which do not have other communication options are increasing, and even with mobile phones it is recommended that WLAN should be used as much as possible for traffic offload and power saving points of view. WLAN has possibility to completely replace wired connection via Ethernet. Today infrastructure mode with access point is commonly deployed because WLAN has been considered to be an extension of wired network infrastructure. From now on any mobile entities such as automobile and home electronics appliances are expected to be equipped with WLAN. Ad-hoc mode and even mesh type WLAN which allow direct communication among terminals and do not rely on wired infrastructure will be important application.

In this movement communication control mechanism of WLAN has not been updated since it was ratified at IEEE 802.11-1997. Therefore it is can be said that it is no longer well optimized for recent and future usage and environment. Though WLAN is widely spread and has increasing importance, its communication control is not completed mechanism and still it has room for improvements.

It is important to develop technology to support increasing required throughput without losing convenience of WLAN. Communication control has not caught up with the latest physical layer advancement. By optimizing it to increase throughput and to utilize limited radio resource can be an important research object. The object in this research is to propose appropriate communication control mechanism for the latest physical layer development. Communication control covers broad range of subjects, and we decided to focus on to multirate and QoS support in this research. We defined two concrete research objects with WLAN ad-hoc mode, exposed node mitigation by multirate support and QoS allocation based on achieved throughput. Brief summary of these research and their outcomes are explained below.

Regarding exposed node mitigation by multirate support, assuming multirate transmission there is substantial difference of transmission rate between data frame and control frame. This difference is observed as difference of transmission range, therefore we can utilize transmission rate to intentionally control transmission range. First application of this mechanism is mitigation of exposed node. We proposed asymmetric transmission rate for RTS and CTS and named this proposed method as ARMRC. We could confirm the effect of exposed node reduction and improvement of throughput by simulation. With the simulated condition we observed 20 to 50% better throughput than the standard method. Also the proposed method has effect to level throughputs among nodes. Low throughput nodes with standard method have higher improvement ratio. We figured out simple estimation model of throughput improvement by the proposed method, and this fits to the simulation result well and is confirmed as effective estimation model.

Regarding QoS allocation based on achieved throughput, standard method (DCF/EDCA) increases/decreases size of Contention Window (CW) only when collision occurs or transmission succeeds.

Our proposed method increases/decreases size of CW based on required/achieved throughput. When traffic is saturated standard method cannot provide fairness of throughput achievement because all nodes achieve almost the same throughput even if each node has different required throughput. Thus the achievement ratio of each node may differ largely. We had simulation and the result showed that the proposed method improved from 0.9 to 1.0 with Jain's Fairness Index for throughput achievement among each node compared to standard method. Also the proposed method has several to over 10% better entire network throughput. There is no trade-off between the better fairness of achievement ratio and better throughput.

As an improvement of WLAN communication control, we devised mitigation or elimination of exposed node caused by RTS/CTS focusing difference of transmission rate between data and control frames. We utilize multirate and make transmission rate of RTS and CTS asymmetric. We named this method as ARMRC (Asymmetric Range by Multi-Rate Control), and conducted simulation and confirmed its effect and validity. As another improvement, we devised QoS allocation mechanism based on throughput achievement considering that standard QoS mechanism EDCA uses only fixed priority. We conducted simulation and confirmed its effect and validity. Following up these outcomes, I would like to expand simulation to cover more extensive parameters and conditions, and enhance these proposed methods. Also I would like to devise other improvements of communication control in addition to these, and aim to establish more comprehensive communication control mechanism.