



|              |   |
|--------------|---|
| Title        | STUDIES ON PER-FLOW FAIRNESS IN IEEE 802.11 WIRELESS LANS                         |
| Author(s)    | Baddegama, Arachchige Hirantha Sithira Abeysekera                                 |
| Citation     | 大阪大学, 2010, 博士論文  |
| Version Type | VoR   |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/1663">https://hdl.handle.net/11094/1663</a> |
| rights       |   |
| Note         |   |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

|            |   |
|------------|---|
| 氏 名        | バッデガマ アラッチギー ヒランタ シティラ アベーセー カラ<br>BADDEGAMA ARACHCHIGE HIRANTHA SITHIRA ABEYSEKERA                               |
| 博士の専攻分野の名称 | 博士(工学)  |
| 学位記番号      | 第 23839 号   |
| 学位授与年月日    | 平成22年3月23日  |
| 学位授与の要件    | 学位規則第4条第1項該当<br>工学研究科電気電子情報工学専攻   |
| 学位論文名      | Studies on Per-Flow Fairness in IEEE 802.11 Wireless LANs<br>(IEEE 802.11無線LANにおけるフロー間の公平性に関する研究)                 |
| 論文審査委員     | (主査)<br>教授 滝根 哲哉<br>(副査)<br>教授 北山 研一 教授 小牧 省三 教授 馬場口 登<br>教授 三瓶 政一 教授 井上 恭 教授 河崎善一郎<br>教授 鶩尾 隆 教授 溝口理一郎 准教授 松田 崇弘 |

### 論文内容の要旨

本論文は、学位申請者が大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻在学中に行ったIEEE 802.11無線LANにおけるフロー間の公平性に関する研究成果をまとめたものである。

無線LAN (Local Area Network) は、その名の通りケーブルによる配線を使わずに無線でデータ通信を行うローカルエリアネットワークのことであり、ノートパソコンなどの無線端末に設置された無線LANカードからアクセスポイントと呼ばれる中継端末を経由してインターネット上のホストとの通信が行われる。無線LANは、有線LANに比べてネットワークの構築や変更に手間がかからない上、有線LANと大差のない伝送速度が実現できていること等から駅構内、大学キャンパス内、バスターミナルや空港までその導入が広がりつつある。

IEEE 802.11標準規格の無線LANでは、データを送信する全ての端末がMAC (Medium Access Control) 層においてCSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) と呼ばれるメディアアクセス制御手法を用いて無線媒体にアクセスする。CSMA/CAでは、端末が一定期間キャリアセンシングを行い、さらにランダム時間待機してからデータ送信を開始する仕組みになっている。IEEE 802.11標準規格では、全ての端末が同じパラメータ値を用いてCSMA/CAを実施するため、各端末の平均アクセス確率は等しい。つまり、標準規格準拠の無線LAN上ではアクセス権獲得においては全ての端末が公平に扱われる。これは、無線LANのper-station fairness性質と呼ばれる。

無線LAN上の全ての端末が同質の際は、上記のper-station fairnessは有効であるが、異なる性質を持つ端末が存在する場合、例えば、端末毎に収容するフロー数が異なる場合やデータを送出するのにかかる時間が異なる場合は、per-station fairness実現によってトラヒックフロー間で不公平が生じたり、また、システム全体の性能が著しく劣化したりする。本研究では、IEEE 802.11標準規格の無線LANのper-station fairness実現により生じる3つの性能劣化問題について考えた。そして、各端末が収容するトラヒックフローに着目し、フロー間に公平になる高効率な無線LANシステムの設計法を提案した。

本論文は、以下に示す5章により構成される。

第1章では、まず、本研究の背景及び本論文の概要を述べた。そして、IEEE 802.11標準MACプロトコル及びIEEE 802.11e EDCAプロトコルの概要を説明し、本研究で用いるmax-min fairness及びproportional fairnessの概念を

簡単に述べた。

第2章では、IEEE 802.11標準MACプロトコルにおける上下フローの不公平問題に着目し、この問題の発生原因を明らかにした上で、上下フローが公平となるウインド制御方式を提案した。最後に、シミュレーション実験を用いてUDP及びTCPトラヒックにおける提案方式の性能評価を行った。

第3章では、トラヒックのQoS保証を実現するために規格化されたIEEE 802.11e EDCA規格における上下フローの不公平について論じた。そこでは、IEEE 802.11e EDCAで提案されている優先機構を維持しつつ上下ベストエフォート型トラヒックの公平性を改善する仕組みを提案した。提案方式の有効性をIP電話トラヒック、ビデオトラヒック及びベストエフォート型トラヒックを用いたシミュレーション実験により検証した。

第4章では、マルチレート無線LANにおける性能劣化問題に着目した。無線LAN環境内に伝送速度が異なる無線端末が存在すると、システム全体の性能が著しく劣化することをシミュレーション実験及び数学モデルにより示し各無線端末の伝送速度及び収容されているフロー数に応じてそれらのCWmin値を制御する動的ウインド制御法を提案した。最後に、提案方式の有効性をシミュレーション実験により検証した。

第5章では、本研究で得られた成果の総括を行った。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、IEEE802.11 無線 LAN におけるフロー間の公平性に関する研究成果をまとめたものであり、主な成果は以下の通りである。

(1) 単一の送信レートを用いてパケット転送が行われるシングルレート無線 LAN 環境では、無線 LAN 基地局であるアクセスポイントから無線端末への通信トラヒックである下りフローと、無線端末からアクセスポイントへの通信トラヒックである上りフロー間のスループットに不公平が生じ、下りフローに十分な無線帯域資源が与えられないという問題が発生する。この問題を解決し Max-Min Fairness を達成するため、IEEE802.11MAC プロトコルの制御パラメタである衝突ウインドに注目し、衝突ウインドサイズを下りフロー数に応じて変更する動的衝突ウインド制御方式を考案した。衝突ウインドサイズを変更することによりアクセスポイントおよび無線端末の送信権獲得率を変更することができ、公平性を達成するための最適な衝突ウインドサイズを理論的に導出した。また、シミュレーション実験により UDP トラヒックおよび TCP トラヒックが存在する環境において、提案方式が適切に動作し公平性が改善されることを確認した。

(2) リアルタイム性を要するリアルタイム型とリアルタイム性を要しないベストエフォート型の異なる通信品質 (Quality of Services : QoS) が要求されるトラヒックの混在を可能とする IEEE802.11e 標準規格に基づく QoS 指向型無線 LAN システムでは、シングルレート無線 LAN 環境と同様に、ベストエフォート型の下りフローと上りフロー間で不公平が生ずる。そこで、上記で提案した衝突ウインド制御および最適衝突ウインドサイズの理論解析結果を拡張し、IEEE802.11e 環境でも適用可能となる衝突ウインド制御方式を提案した。本方式は、リアルタイム型トラヒックの通信品質に対する要求条件を維持しつつ、ベストエフォート型トラヒックの公平性を改善することが可能である。リアルタイム型トラヒックとして音声トラヒックと映像トラヒック、ベストエフォート型トラヒックとしてデータトラヒックが混在する環境でシミュレーション実験を行い、提案方式によりリアルタイム型トラヒックの通信品質を維持した状態でベストエフォート型トラヒックの公平性が改善されることを示した。

(3) アクセスポイントおよび無線端末の送信レートが異なるマルチレート無線 LAN 環境では、低い送信レートで転送されるフローと高い送信レートで転送されるフロー間で不公平が生じ、低レートフローにより高レートフローのスループットが抑えられるという問題が発生する。この問題を解決し、異なる送信レートを有するフロー間で Proportional Fairness を達成するための動的衝突ウインド制御を考案している。この方式では、送信レートに関わらず各フローが無線帯域を占有する時間が等しくなるようにフロー数に応じて衝突ウインド制御を変更する。送信レー

トが異なるフローが異なる環境においてシミュレーション実験を行うことにより提案方式の有効性を明らかにした。

IEEE802.11 標準規格に基づく無線 LAN システムでは、3 つの異なる無線 LAN 環境であるシングルレート無線 LAN 環境、QoS 指向型無線 LAN 環境、マルチレート無線 LAN 環境において、それぞれ異なる原因によりフロー間の公平性の問題が発生する。本論文では、これらの無線 LAN 環境において、IEEE802.11MAC プロトコルの制御パラメタである衝突ウインドを動的に制御することにより公平性を実現するための方法を提案している。いずれの方法もシミュレーション実験による性能評価により有効性が確認されている。これらの方程式は異なる方程式であるが、いずれも衝突ウインドという共通のパラメタを制御することにより実現されており、動的衝突ウインド制御が IEEE802.11 無線 LAN 環境におけるフロー間の公平性を実現する上で極めて汎用性の高い方程式であることが示されている。

以上のように、本論文は IEEE802.11 無線 LAN におけるフロー間の公平性に関して多くの知見を得ており、通信工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。