

氏名(本籍)	ひら ぐり たけ ふみ 平 栗 健 史 (長野県)	
学位の種類	博 士 (情報学)	
学位記番号	博 乙 第 2372 号	
学位授与年月日	平成 20 年 3 月 25 日	
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当	
審査研究科	図書館情報メディア研究科	
学位論文題目	Studies on Communication Quality Enhancement Techniques for Wireless Local Area Network Systems (無線 LAN における通信品質向上化技術に関する研究)	
主 査	筑波大学教授	川原崎 雅 敏
副 査	筑波大学教授	石 塚 英 弘
副 査	筑波大学教授	田 中 和 世
副 査	筑波大学教授 (連携大学院)	小 林 聖
副 査	筑波大学教授	北 脇 信 彦

論 文 の 内 容 の 要 旨

本論文は、提案する無線トラフィック制御技術、アクセス制御技術、アンテナ偏波切換え技術により、無線 LAN システムにおける通信品質を向上できる可能性を示したものである。

近年、電子メールや Web アクセスサービスなどは、無線 LAN を用いて家庭、オフィス、公衆エリアなど至るところで利用できるようになってきている。一方、有線ネットワークでは、IP (Internet Protocol) 技術やマルチメディア技術の発展により、従来のベストエフォート型の電子メールや Web アクセスサービスよりも品質要求が厳しい音声・映像アプリケーションなどマルチメディア通信サービスが普及しつつある。今後、これらのマルチメディア通信サービスが無線 LAN を用いて提供される場合にも、同様の通信品質が求められることが想定される。

ベストエフォート型通信については、従来の無線 LAN でも十分なサービスを提供することが可能であったが、マルチメディア通信サービスを提供するには通信帯域 (スループット) の保証、遅延や遅延揺らぎの抑制、パケット損失の低減といった通信品質の向上と安定化を実現する技術が必要となる。しかし、無線 LAN には有線ネットワークの通信とは異なる無線特有の問題がある。第一は、通信に利用できる帯域が極めて狭く、有線区間では輻輳を生じない程度のトラフィックでも無線区間では輻輳が生じるため、映像ストリーミングなどトラフィック量が多いアプリケーションに対して安定した帯域を提供することが困難であるという問題である。第二は、無線 LAN のアクセス制御方式である CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) では、各端末が自律分散制御を行いユーザ間で通信帯域を競合するため、帯域の混雑時には過度の遅延やパケット損失が増加し、特にリアルタイム性の高い音声通信に対しては十分な通信品質を提供できないという問題である。第三は、無線 LAN で利用できる無線周波数は限られているため、多数の無線 LAN の通信エリアがオーバーラップする場合には同じ周波数を共有しなければならず、有線ネットワークと比較して一つの無線 LAN 基地局当たりで利用できる通信帯域が不足し、端末収容数やマルチメディアアプリケーションのサポート数が減少するという問題である。本論文では、マルチメディアサービスで代表

的な映像配信と音声通信を対象に、これら三つの課題を解決する方法として以下のような技術を提案している。

第一の問題、すなわち映像配信などのストリーミングがベストエフォートトラフィックと混在する状況で輻輳が発生するとスループットの保証が困難となる問題に対しては、無線区間で転送されるトラフィックを制御することにより輻輳を抑え、品質要求の厳しいアプリケーションに対しても十分なスループットを実現する無線トラフィック制御技術を考案した。この技術は、IP レイヤよりも上位のレイヤでトラフィック制御を行うため、無線 LAN デバイスの拡張を行う必要がない。本技術の効果を確認するため、背景負荷としてベストエフォートトラフィックを発生させ、UDP (User Datagram Protocol) および TCP (Transmission Control Protocol) トラフィックを本技術で制御する計算機シミュレーションを行い、所望のスループットを確保できることを確認した。

第二の問題に対しては、アクセス制御が分散型であることに起因して無線区間の混雑時に音声パケットの遅延が増大し、パケット損失が生じる問題を解決するために、従来の MAC (Media Access Control) レイヤにおけるアクセス制御方式を拡張して、動的に最適な優先制御を実施するアクセス制御技術を考案した。本技術は、長大なデータパケットと短い音声パケットが衝突した場合には、音声パケットを高い優先度で再送信して遅延を抑え、また音声パケット同士が衝突した場合には、連続した再度の衝突を避けるため音声パケットを低い優先度で再送信して再衝突率を低減する。本論文では、計算機シミュレーションにより音声パケットの遅延とパケット損失率を定量的に評価し、本技術の有効性を確認した。その結果、遅延時間は最大で 70% 改善され、パケット損失率は 3% 以下に抑えられることを示した。

第三の問題、すなわち有線ネットワークと比較して無線 LAN の通信帯域が不足する問題を解決するために、物理 (Physical) レイヤにおけるアンテナ偏波制御技術を考案した。本技術のアンテナは、スイッチを切替えることによって、1つのアンテナで3つの偏波 (右旋, 左旋, あるいは直線) の切替えを可能とする。すなわち異なる偏波を用いて周波数を重複使用することにより、通信帯域を 3 倍に増大できる。本論文では、計算機シミュレーションによって利得, 軸比, 放射パターンなどのアンテナ特性を評価すると共に、スイッチ回路を実装した試作アンテナを用いて実験的検証を行った。評価・検証の結果、アンテナ利得は 6.5dB_i が得られ、スイッチ切替え時にも良好な円偏波 (右旋, 左旋) と直線偏波の放射パターンを励振することを確認した。

審 査 の 結 果 の 要 旨

インターネットにおける品質制御は 90 年代後半から精力的に研究が行われて来たにも拘わらず未だに解決していない難問である。その難しさは、網リソースを共有した上で要求品質が異なる通信をどのようにして制御するかにある。インターネットへのアクセスに無線を使う場合、品質制御の問題はさらに難しさを増す。本論文は、こういった領域に切り込んだチャレンジングな内容になっている。

携帯電話や無線 LAN といったワイヤレス通信は、アクセス区間に電波を利用するが、通信に利用できる帯域が極めて狭い上に、その狭い帯域を基地局傘下にある全ての端末が多様なアプリケーションで競合利用する方式であるため、アプリケーション毎の品質要求を満足することが難しい。本論文で扱っているのは、IP 電話や映像ストリーミングといった遅延や帯域に対する品質要求が厳しいリアルタイム系通信サービスを、電子メールや Web アクセスといった非リアルタイム系のサービスと共存させるための制御技術である。なお、無線アクセスでは基地局-端末間の距離・遮蔽物・フェージング等により伝送特性が大きく変動するが、それが品質に及ぼす影響は本論文では対象外としている。一方、無線 LAN の周波数は限られるため、広帯域通信を可能とするには物理的な通信容量を拡大する必要がある。本論文は、帯域拡大に偏波を利用す

ることを提案している。これは光ファイバ通信における波長多重のアナロジーであり、3つの偏波を用いることにより同一周波数で利用可能な帯域を3倍にするというものである。これが実現できれば画期的な成果であろう。

本論文は、上記のように独立な二つの問題を扱っている。一つは無線アクセスにおける品質制御の問題、もう一つは偏波を利用した帯域拡大の問題である。本論文を構成する6つの章の内、2, 3, 4章は品質制御に、5章は帯域拡大に充てられ、1章と6章はそれぞれ序章と結言になっている。以降、品質制御と帯域拡大について、さらに分析する。

1. 無線アクセスにおける品質制御について

無線パケット通信システムは1968年にハワイ大学で構築されたALOHAネットワークが始まりであるが、1990年頃までは方式規定は存在しなかった。1997年にIEEE802委員会において初の無線LAN規格であるIEEE802.11標準が制定され、その後、無線通信の高速化・高効率化を実現する各種の802.11シリーズ標準が制定され、実用化されてきた。現在普及している無線LANは802.11b(最大11Mbps)と802.11a(最大54Mbps)であるが、リアルタイム通信向けに品質向上を図る802.11eやセキュリティを強化した802.11i、100Mbps以上の高速通信を目指す802.11nなどの標準化が進行中である。さらに、移動端末をサポートする802.11rの標準化も行われている。このように無線LAN技術は国際標準の場で活発な検討が進んでおり、さまざまな方式提案がなされているが、本論文で取り上げている課題に対しては未だ完全な解は得られていない。

本論文は品質制御に関して、(a)品質要求が異なる複数トラヒック混在時の無線トラヒック制御技術、(b)音声通信の品質を保証するアクセス制御技術の2つを提案・評価している。

(a) 無線トラヒック制御技術

無線LANにおいて品質に最も影響するのは多重アクセス技術である。多重アクセス技術とは、有限の無線帯域を複数端末が共用するための技術であり、IEEE802.11a, bではCSMA/CA方式が採用されている。この方式は、ベストエフォートトラヒックとリアルタイムトラヒックを区別しないために、両者の品質要求の違いを制御できない。一方、品質制御を図ったIEEE802.11eではEDCAという優先制御方式を採用するが、本論文ではこの方式はあくまで相対的な制御であるため輻輳時にスループットを保証できないと位置づけている。提案方式は、多重アクセス制御を行うMACレイヤには手を加えず、上位レイヤであるIPレイヤ以上でトラヒック量を監視し、利用可能帯域を超えないように制御するというものである。提案方式によってベストエフォートとリアルタイムのトラヒックを適切に制御可能であることがシミュレーションにより示されている。シミュレーション結果から有効性は確認できるが、世界に普及したIPレイヤやTCPレイヤに手を入れる必要があり、実現性には問題が残る。

(b) アクセス制御技術

上述のように無線LANのアクセス制御にはCSMA/CA方式が用いられるが、実時間性が厳しい音声通信(IP電話)と大容量ファイル転送のようなデータ通信が混在すると、音声通信の遅延が問題になる。この問題に対して本論文では、短い音声パケットと長いデータパケットが衝突すると、音声パケットを優先的に再送し、さらにデータパケットを待機させる方式を提案している。提案方式により音声通信の遅延時間特性が改善されると共に、音声パケットのパケット損失率も大幅に低減できることが示されている。提案方式は有効ではあるが、CSMA/CA方式の拡張を行うMACレイヤでは音声パケットとデータパケットを区別できないため、この点は検討が必要である。

2. 帯域拡大技術について

無線LANで利用できる周波数帯は有限であり、利用可能な帯域は有線ネットワークに比べて極端に狭いという問題に対して、本論文ではアンテナ偏波制御技術により帯域を3倍にできることを主張している。提

案方式は、アンテナに偏波切り替え回路を装荷し、一つのアンテナで3つの偏波を送受信可能とするものである。このようなアンテナをシミュレーションによって設計し、良好な3つの偏波を励振可能であり、結果として1周波数で通信帯域の重複利用が可能であることをフィールド実験によって示したとしている。偏波を利用して帯域を3倍にできるとすれば画期的であるが、実際には各偏波間には伝搬環境によって干渉が生じるため、効果について多面的な検証を行う必要がある。

3. まとめ

以上、本論文の柱となっている3つの技術について分析を行った。総じて、論文内容は新規性、有効性において十分高いレベルに達していると考えられる。実現性には多少問題があると思われるが、それは国際標準として提案し、標準化の場で評価されるべきものであろう。学術的には価値のある論文であると考えられ、著者のこの領域における更なる成果が期待される場所である。

よって、著者は博士（情報学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。