

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：12601
研究種目：基盤研究(C)
研究期間：2012～2014
課題番号：24500075
研究課題名(和文) 端末密集による無線LAN品質低下の改善に関する研究

研究課題名(英文) Study on quality of service in dense WLAN

研究代表者
 妙中 雄三 (TAENAKA, Yuzo)

 東京大学・情報基盤センター・助教

研究者番号：50587839
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：無線LANに接続する機器が急増しており、無線LANへの接続集中に伴う混雑が深刻な問題となっている。無線LANではチャンネル資源に物理的な上限があることから、適切な品質制御が必要である。これまでは音声や動画等のパケット単位の品質制御が主な研究対象であったが、本研究では、フロー単位で制御が必要なWEBブラウジングの通信品質管理を行った。具体的には、WEBページを開くまでに必要な時間を予測しながら、一定時間以内に通信を完了させる優先制御を行い、既存技術に比べて24%の性能向上を実現した。

研究成果の概要(英文)：Since the number of smart devices is rapidly increasing, they concentrate on a WLAN, thereby causing significant congestion. The channel resource is physically limited in WLAN so that it is necessary to prioritize a part of communication. So far, many studies focus on prioritization of communication but limited to audio or video communication, which only require packet level quality of service. In this paper, we focus on the quality of service for traffic on web browsing. Specifically, an AP estimates the remaining time until finishing to load a web page and then prioritizes the packet transmission toward a client according to the estimation result. As a result, comparing the existing method, the proposed method increase the number of flows that satisfies the requirement of quality of service by 24 percents.

研究分野：無線LAN

キーワード：端末密集 無線LAN

1. 研究開始当初の背景

現在、Internet of Things/Everything を支える小型デバイスやウェアラブル機器、スマートフォン等の普及が進んでいる。2020 年までにはセンサ機器やスマートフォン等を含むモバイル機器が約 500 億台まで増加すると予想されている。これらの機器は固定的に設置されるだけではなく、人と共に移動する。加えて、これらの機器は無線ネットワークを介してインターネット上の情報システムと通信することで、情報の収集や利用を行う。つまり、人の移動する範囲内のあらゆる場所から多数の機器が通信を行い、大量の通信トラフィックが生成されることとなる。

これらの通信を支える技術として、広域な携帯電話網が利用されている。一方で、大量のモバイル機器と個々のデータ通信量の増加によって、モバイル通信量の急増が予測されている。そこで、携帯電話網に加えて無線 LAN でモバイル通信を転送するために、無線 LAN の拡大が推進されている。無線 LAN は、個々のエリアが狭い一方で大容量通信を提供可能な無線ネットワーク技術である。また無線 LAN は、個々の機器がチャンネルアクセスを行うために、無線衝突を避けてチャンネル利用のタイミングをランダムに調整する分散制御を行う。

無線ネットワークでは一般的にチャンネル資源が有限であり、個々のチャンネルの通信容量は限られている。大量のモバイル機器が同一の無線 LAN に接続すると、その分散制御により個々の端末の通信性能が著しく低下し、ひいては通信が不可能な状態となってしまうことが問題となっている。

2. 研究の目的

無線 LAN では、チャンネル資源が有限なことから、混雑する場合には一部の通信を優先制御する必要がある。既存の研究では、パケット単位で優先制御を行う手法が主に研究されている。現在のインターネット上の通信は、HTTP (WEB 閲覧) がその多くを占めているが、これまでにその優先制御は行われていない。具体的には既存の研究では、制御対象となる混雑 (通信フロー数が増大) した場合の合計スループットは改善されるが、個々のフローの通信時間は保証されない。WEB 閲覧では、レスポンスタイムが閾値を越えるとユーザの満足度が著しく低下するため、ユーザ満足度の向上につながらないことが考えられる。そこで本稿では、混雑したネットワーク環境でも閾値以下のレスポンスタイムとなるフロー数を向上させるフロー間優先制御方式について検討を行う。提案する方式では、アクセスポイントで各フローの通信データ量と経過時間を記録し、一定時間内に通信を完了するのに必要となる帯域使用率を算出することで、閾値以下で通信可能なフローを動的に優先させる制御を行う。

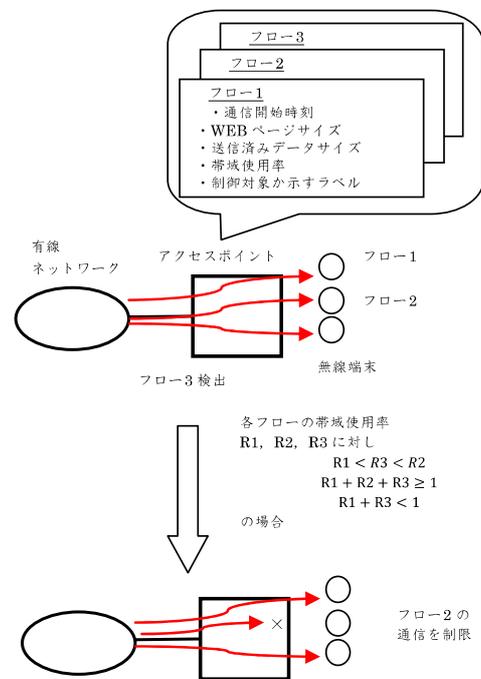


図 1 優先制御の概要

3. 研究の方法

3. 1. 提案手法の概要

ユーザの通信が一定時間内に完了するためには、通信されるデータ量に対して目標とする所要時間に応じた帯域をフロー毎に割り当てればよい。しかし、実際には無線 LAN の帯域には限りがあるため、同一のアクセスポイントに多数のユーザが接続される環境では、全てのユーザの通信フローに要求どおりの帯域を割り当てることはできず目標とする所要時間内で通信を終えることはできない。そこで我々は、各フローの通信が必要とする通信帯域の無線 LAN で利用できる通信帯域に対する割合 (帯域使用率と呼ぶ) を通信の発生毎に算出し、その合計が 1 以下となるフローを動的に選ぶ制御方式を考えることにした。

現在のインターネット利用の大半は WEB ベースのサービスであり、その多くは HTTP プロトコルが用いられていると考えてよい。そこで本稿では、ユーザがリクエストを送信してから、それに対するレスポンスの受信が完了するまでを 1 つのフローとして扱う。提案方式では、アクセスポイントを通過するユーザからのフローの開始毎に通信開始時刻 T_{start_i} と (WEB ページの) データ量 D_{web_i} をフローテーブル DB_i に記録し、その時点で各フローの送信済みデータ量 D_{sum_i} と現在時刻 T_{curr} を用いてフロー i が一定時間 (T_{goe}) 内に通信を終えるために必要な帯域使用率 R_i を算出し、フロー i が優先制御対象であるか示すラベル $FLAG_i$ を記録する。ここで R_i は、フロー i が送信すべき残りデータ量 ($D_{web_i} - D_{sum_i}$) を CSMA/CA 方式で転送するのに要する時間

(T_{theo_i}) を用いて式(1)で算出される。

$$R_i = \frac{T_{theo_i}}{T_{qoe} - (T_{curr} - T_{start_i})} \quad (1)$$

図 1 は、提案方式の優先制御方式の概要を表したものである。同図では、2 つのフローが同一のアクセスポイントを通過して通信を行っている状況で、3 つ目のフローをアクセスポイントが検出した時に、すべての帯域使用率の合計が 1 を越えた場合の優先制御対象の決定方法として、最も帯域使用率の大きいフローを除外対象として選択することで残りのフローの通信で必要となる通信帯域を確保することを示している。

3. 2. 具体的な制御手順

3.1 節で示した様に、アクセスポイントでは新たなフローを検知する毎にフローテーブル DB_i を生成する。ここで、フロー番号は通し番号として通信が開始された順に割振られる。新規の通信フローのデータ量 D_{web_i} は初めのレスポンス受信時に取得し、その時点での各フローの帯域使用率 R_i とその合計が計算され、合計が 1 を越える場合は R_i の値が大きなフローから $FLAG_i$ の値を 0 に変更して優先対象から除外していく。この時、 R_i が負の値となるフローは既に通信時間が T_{qoe} を越えていることになるため優先対象から除外する。

また、アクセスポイントから無線端末にデータパケットが送信される際には、各フローの DB_i を参照して、優先制御の対象となるフローから帯域使用率 R_i に基づいた優先フローが決定される。この優先フロー決定法として以下の 2 種類の方式を検討した。

(a)方式 A

方式 A では、優先制御の対象となるフロー全体に対する各フローの帯域使用率の割合に応じた確率で優先フローを選択する。すなわち、フロー i が優先フローに選択される確率 P_i は、式(2)で算出されることになる。

$$P_i = \frac{R_i}{\sum_j R_j} \quad (2)$$

ここで j は、制御対象となっており、かつキュー内にデータパケットが存在しているフローを対象とする。

(b)方式 B

方式 B では、 R_i が最小となるフローを優先フローとして選択する。

各方式で、優先フロー k が決定すると、該当するフローのパケットをキューの先頭から探索してデータ転送が行われる。また、送出されたフロー k のフローテーブル DB_k の送信済みデータ量 D_{sum_k} が更新される。

探索の結果、制御対象となっているフローのパケットがキュー内に存在しなかった場合は、キューの先頭のパケットから通常の送信が行われる。

4. 研究成果

4. 1. シミュレーション条件

ネットワークシミュレータの QualNet を使用し、提案方式の評価を行った。シミュレーション諸元は表 1 の通りである。WEB ページサイズについては、HTTP archive において、2011 年 6 月 15 日の平均 WEB ページサイズとされている値を用いた。また、同一のアクセスポイントに接続するすべての端末が同時に通信を開始し、1 回のダウンロードを行うという条件を設定した。端末配置については、アクセスポイントからの距離による影響を小さくするため、アクセスポイントから 5m の距離に位置する端末を中心とし、各端末間の距離が 50cm となるよう設定した。また、既存研究において、WEB 閲覧の際のレスポンスタイムが 4 秒を上回るとユーザの満足度が著しく低下するという報告がなされていることから、帯域使用率の算出に用いる目標通信時間 T_{qoe} は 4 秒と設定した。また、比較対象として IEEE802.11e を適用した。このとき、公平な比較のため、4 秒以内に送信可能なフロー数と等しい数のフローを最も優先度の高いクラスにマッピングした。残りのフローについては、2 番目に優先度の高いクラスにマッピングした。

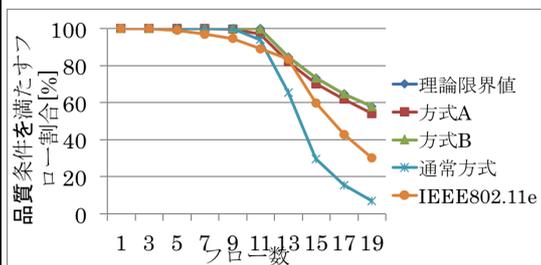


図 2 品質条件を満たすフロー割合

4. 2. 品質要件を満たすフロー数評価

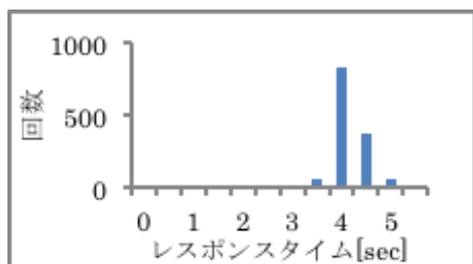
図 2 は、各方式において、レスポンスタイムが 4 秒以内となったフローの割合について 100 回の試行の平均を示している。図 2 より、優先制御を行わない通常方式の場合、フロー数の増加に伴ってレスポンスタイム 4 秒以内のフロー数は減少し、フロー数 15 の場合においては約 30%となっている。このとき、IEEE802.11e を適用することで割合は約 60%に増加しているが、方式 A/B を適用した場合さらに約 80%まで増加しており、より改善効果が大きい結果が得られた。

4. 3. レスポンスタイムの分布

フロー数 13 の場合を例にとり、通常方式、方式 A、および方式 B のそれぞれにおけるレスポンスタイムの分布を図 3 に示す。方式 A では、通常方式および方式 B に比べレスポンスタイムの分散が小さい。これは、方式 A において帯域使用率の大きいフローにはより多くの送信機会が与えられるため、制御対象となったフロー間における通信時間の公平性が向上するためである。一方、方式 B を適用した場合、帯域使用率の小さいフローから

順に送信される挙動となるため、レスポンスタイムの分散が大きい。このように、フロー間の公平性の面では方式 B より方式 A の方が優れている。

(a) 標準の 802.11g
(b) 方式(A)



(c) 方式(B)

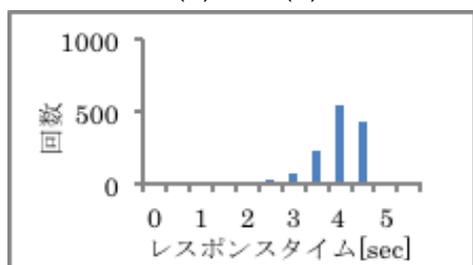
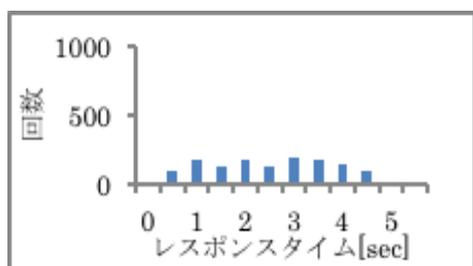


図 3 フロー数 13 での分布



4.4. まとめ

本研究では、混雑した無線 LAN 環境下で WEB 閲覧におけるレスポンスタイムが一定時間内となるフロー数の増加を目的とする方式を検討した。提案方式では、アクセスポイントにおいて各フローの通信データ量や通信経過時間を記録し、それらを用いて算出した帯域使用率に基づきフロー間の優先制御を行う。優先フローの決定法は、帯域使用率に基づく確率により決定する方式 A、および帯域使用率が最小となるフローを優先フローとする方式 B を検討した。シミュレーションによる評価の結果、優先制御を行わないと閾値以下のレスポンスタイムとなるフロー数が 50%以下となる場合でも、方式 B の適用によって 80%以上が閾値以下のレスポンスタイムで通信を終えることができることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

[1] Yuzo Taenaka, Shigeru Kashihara, Kazuya Tsukamoto, Suguru Yamaguchi, and Yuji Oie: "An Implementation Design of a Cross-Layer Handover Method with Multi-Path Transmission

for VoIP Communication," Elsevier Ad Hoc Networks, Volume 13, Part B, Pages 462--475, February 2014. [doi: http://10.1016/j.adhoc.2013.10.002]

[2] Yuzo Taenaka, Kazuya Tsukamoto, Shigeru Kashihara Suguru Yamaguchi, and Yuji Oie: "An Implementation Design of a WLAN Handover Method based on Cross-layer Collaboration for TCP Communication," IEICE Transactions on Communications, Vol.E96-B, No.07, pp.1716--1726, July 2013. [doi: http://10.1587/transcom.E96.B.1716]

〔学会発表〕(計 16 件)

[3] Yuzo Taenaka, Masaki Tagawa, and Kazuya Tsukamoto: "Experimental deployment of a multi-channel wireless backbone network based on an efficient traffic management framework," In proceedings of 5th International Workshop on Streaming Media Delivery and Management Systems, Guangzhou, China, November 9th 2014.

[4] Yuzo Taenaka and Kazuya Tsukamoto: "An adaptive channel utilization method with traffic balancing for multi-hop multi-channel wireless backbone network," In proceedings of International Conference on Software-Defined and Virtualized Future Wireless Networks (SDWN), Rome Italy, October 27th 2014.

[5] Masaki Tagawa, Yutaro Wada, Yuzo Taenaka, and Kazuya Tsukamoto: "Network Capacity Expansion Methods based on Efficient Channel Utilization for Multi-Channel Wireless Backbone Network," In proceedings of the 2014 International Workshop on Smart Complex Engineered Networks (SCENE), Shanghai China, August 7th 2014.

[6] 水山一輝, 和田祐太郎, 田川真樹, 妙中雄三, 塚本和也: "OpenFlow を用いたマルチホップ無線ネットワークにおける制御トラフィック削減手法の検討," 電気情報通信学会 ネットワークシステム研究会, 信学技報, vol. 114, no. 477, NS2014-221, pp. 257-262, 沖縄コンベンションセンター (沖縄県宜野湾市) 2015 年 3 月 2 日.

[7] 妙中雄三, 塚本和也: "[依頼講演] キャパシティオンデマンド無線メッシュネットワーク実現に向けた SDN に基づくチャネル制御手法," 電気情報通信学会 ネットワークシステム研究会, 信学技報, vol. 114, no. 371, NS2014-151, pp. 25-30, 伊勢市観光文化会館 (三重県伊勢市), 2014 年 12 月 18 日.

- [8] 妙中雄三, 塚本和也: "[依頼展示] 無線バックボーンネットワークの多チャンネル有効利用技術," 電気情報通信学会スマート無線研究会, 信学技報, vol. 114, no. 44, SR2014-1, pp. 1-8, 東芝研修センター(神奈川県横浜市), 2014年5月22日.
- [9] 和田祐太郎, 田川真樹, 塚本和也, 妙中雄三: "無線バックボーンネットワークにおける複数チャンネル有効利用を目的とした通信制御手法の評価," 電子情報通信学会術研究報告書, vol. 113, no. 472, NS2013-271, pp. 549-554, フェニックス・シーガイア・リゾート(宮崎県宮崎市), 2014年3月7日.
- [10] 田川真樹, 妙中雄三, 塚本和也: "無線メッシュバックボーンネットワークにおける複数チャンネルを用いたアップ・ダウンストリーム分離と均等フロー割当手法の設計・実装," 電子情報通信学会術研究報告書, vol. 113, no. 443, IA2013-97, pp. 165-170, 山代温泉 瑠璃光(石川県加賀市), 2014年2月28日.
- [11] 妙中雄三, 塚本和也: "無線メッシュバックボーンネットワークのための複数チャンネル有効利用手法の検討," 電子情報通信学会術研究報告書, vol. 113, no. 443, IA2013-96, pp. 159-164, 山代温泉 瑠璃光(石川県加賀市), 2014年2月28日.
- [12] 妙中雄三, 松井加奈絵, 山形与志樹: "都市のレジリエンス向上を目指したすれ違い通信基盤(SABA)の試作・動作実験," 情報処理学会インターネットと運用技術研究会, 弘前大学(青森県弘前市), 2013年5月9日.
- [13] 石川圭也, 妙中雄三, 中山雅哉: "レスポンスタイムを一定時間内とするための帯域使用率に基づくフロー間優先制御方式の提案と評価," 電子情報通信学会技術研究報告書, vol. 112, no. 489, IA2012-97, pp. 127--132, 東大寺総合文化センター(奈良県奈良市), 2013年3月14日.
- [14] 大西淑雅, 山口真之介, 西野和典, 坪倉篤志, 伊藤研, 妙中雄三: "メディアコンテンツを用いた分散型相互評価の試み," 大学 ICT 推進協議会年次大会講演論文集, 神戸国際会議場(兵庫県神戸市), 2012年12月18日.
- [15] 石川圭也, 妙中雄三, 中山雅哉: "端末密度の高い無線 LAN 環境における通信品質低下の改善に向けた検討," 信学技報, vol. 112, no. 28, IN2012-21, pp. 55--60, 東京工業大学(東京都目黒区), 2012年5月17日.
- [16] 島慶一, 坂根昌一, 妙中雄三: "WIDE 合宿研究会での WiFi メッシュ無線ネットワークサービス運用実験を通じた課題

定義," 第 13 回 インターネットテクノロジーワークショップ, 湯の川プリンスホテル渚亭(北海道函館市), 2012年6月1日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

妙中 雄三(TAENAKA, Yuzo)

東京大学・情報基盤センター・助教

研究者番号: 50587839

(2) 研究分担者

中山 雅哉(NAKAYAMA, Masaya)

東京大学・情報基盤センター・准教授

研究者番号: 90217943