

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：12612

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700071

研究課題名(和文)無線LAN環境におけるオーバヒアリングを用いた高速ダウンロード方式

研究課題名(英文)A Redundant Traffic Elimination Method with using Overhearing in Wireless LAN

研究代表者

大坐 畠 智 (Ohzahata, Satoshi)

電気通信大学・情報システム学研究科・准教授

研究者番号：30361744

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：無線LANにおいて同一のコンテンツを多数の端末が同時にダウンロードすると、同じ内容が各端末に宛ててそれぞれ送信されるため冗長であり、ダウンロードの速度も低下する。本研究では、他の端末宛ての無線フレームを互いにオーバヒアリングすることで信頼性のあるコンテンツ配信を行う方式を扱う。本研究では、まず、配信サーバにおける送信宛先端末や送信ピース、ネットワークコーディングの適用を決定するスケジューリング方式、実機を用いた実験による評価を行った、次に、スケーラビリティの評価の際に、分散エミュレータに問題があることが分かったため、改良を行い、スケーラビリティについても問題がないことを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In wireless LAN, since the bandwidth is shared with the terminals, the download speed is reduced even if the same content is downloaded. We have proposed a download acceleration method for content distribution by overhearing packets of the same content for other nodes in wireless LAN. Since parts of the content are obtained by the overhearing, the download time is reduced. In the method, the content is divided into pieces and the server distributes them. First, we show scheduling methods of pieces to send and destination with applying network coding, and evaluated these methods in testbed. Next, we evaluate scalability of the proposed method but we found that a distributed emulator has problems for modeling accuracy. We improve modeling of the emulator and evaluate scalability of the proposed method.

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：無線LAN オーバヒアリング

1. 研究開始当初の背景

携帯端末の無線通信インタフェースとして、無線 LAN (IEEE 802.11 規格) が広く普及し、無線 LAN の通信速度は、数百 Mbps となっている。しかし、会議資料の電子化などで、資料を携帯端末に無線 LAN を用いてダウンロードをする場合、会議の開始時にアクセスが集中し、ダウンロードができなくなる。

【問題 1】この問題は、有線 LAN のようにスイッチを介して物理的なケーブルの帯域をそれぞれの端末に対して割り当てる場合とは異なり、無線 LAN では、ブロードキャストメディア全体の帯域を CSMA/CA によって、それぞれの端末に割り当てるため、同時に通信するユーザ数が増加するとそれぞれのユーザの帯域幅が狭くなるためである。さらに同一のコンテンツを複数のユーザがそれなりの時間範囲内にダウンロードを始める場合、同じコンテンツが、何度もダウンロードされ、冗長な情報がやり取りされるためである。

無線 LAN はブロードキャストメディアを用いるため、その冗長な情報は、それぞれの無線端末の無線 LAN インタフェースまで届いているが、自端末宛でのフレームでないため、物理層、MAC 層よりも上位の層には、届けられることはない。これらの宛先が自分宛でないフレームの中身のデータを、有効活用できるのならば、同一のデータを複数回送る必要がなくなり、冗長トラフィックの削減が原理的には可能である (図 1)。

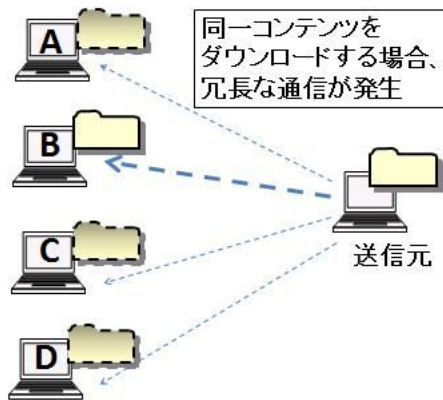


図1 端末B宛でも、無線のようなブロードキャストメディアでは、オーバヒアリングにより、端末A、C、Dでも受信できる

【問題 2】しかし、信頼性のある通信を提供する TCP は、ストリーム型のプロトコルであり、順番通りにデータを届けることが前提であり、オーバヒアリングにより、後に自端末にとっても必要となるデータを受け取ったとしても破棄しなければならず、さらに、各セッションに定められるシーケンス番号の順序制御では、どのデータが冗長なのかの判別ができず、有効活用することができない。信頼性のあるマルチキャスト、ブロードキャ

ストプロトコルを用いたとしても、シーケンス番号の処理により、確認応答を行うため、ACK、NACK のオーバーヘッドが大きく、スケラビリティに欠け、順番通りに処理をしなければならない制限がある。有線環境いるが、通信ルートのレイヤ間の不整合解消するにとどまっている。逆に、無線環境では、冗長トラフィックの影響が大きくなるため、並列ダウンロードの利点を生かせない。

2. 研究の目的

携帯端末が、無線 LAN や無線アドホックネットワークを介して、同一コンテンツを複数端末がある時間範囲内にダウンロードをする場合の冗長通信削減方式を明らかにする。他端末宛であるが、自端末もダウンロードしているコンテンツの一部分をブロードキャストメディアである無線リンクのオーバヒアリング(overhearing)により、自らはその部分のダウンロード要求をせず有効活用し、冗長な通信を削除する。オーバヒアリングを実現するため、シーケンス番号による TCP の信頼性制御の制限を開放する必要があるが、P2P ファイル共有ソフトで用いられた、ハッシュマップによる信頼性の制御を用いる。マルチホップ環境に拡張し、コンテンツの各ノードへのキャッシュによるさらなる冗長な通信の削減方式を明らかにする。

3. 研究の方法

まず、1 ホップ無線通信環境で、オーバヒアリングを実現するための機能、各層で必要な制御の検討を各層の制御に整合性を持たせるクロスレイヤ設計で行う。アプリケーション層の制御として、Bittorrent ベースに方式を検討し、冗長トラフィックが発生しないセッション制御を加える。そして、ビットマップを用いて信頼性を提供するため、サーバ側でのピース配信・クライアント側でのダウンロードピース選択戦略を明らかにする。

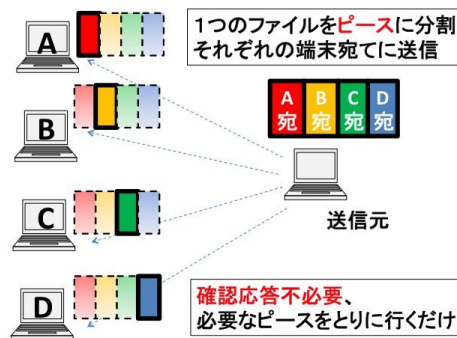


図2 他端末宛のピースも、自端末に届いており、それぞれにユニキャストする場合と比べ、帯域を消費しない。

課題 1 クロスレイヤ設計によるオーバヒアリング手法:

通常、MAC 層で他端末宛でのデータフレームは、破棄されてきたが、見えそうなデータフレームのデータ部分を上位層に上げ、有効利用するためのオーバヒアリング機能と必

要な各層で必要な制御を明らかにする。

機能設計を行い、既存のプロトコルのどこを改良すると実現可能なのかを明確にする。それぞれの層での制御の整合性を保つためにクロスレイヤ制御を行う。必要に応じてマルチキャストアドレス・グループを用いて通信を行う方式を明らかにする。

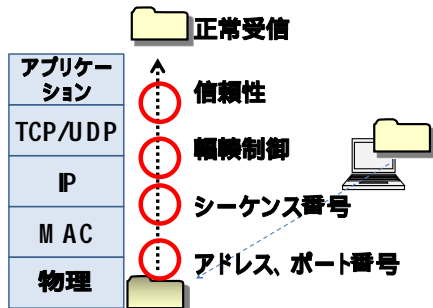


図3 オーバヒヤリングのためのクロスレイヤ設計

課題 2 ハッシュマップによるチャンク収集手法：

順番通りに来るとは限らないオーバーヒアしたデータを有効活用する P2P 通信で用いられるビットマップを用いる方式の詳細を検討する。このピースのサーバ側、クライアント側の配信・収集戦略を検討し、効率のよい通信方式を実現する。

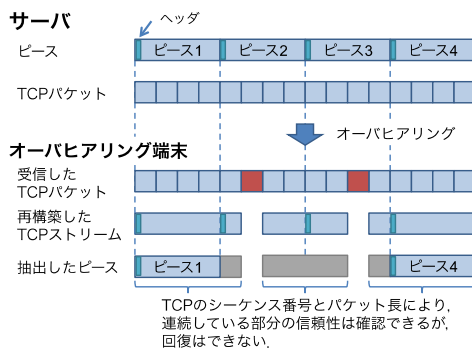


図4 オーバヒヤリングピースの取り出し

4. 研究成果

4.1 オーバヒヤリングを用いた通信制御方式

提案方式は、コンテンツをピースに分割し、TCP を用いて端末に送信する。ピースの宛先となった端末以外はこれをオーバーヒヤリングにより入手する(図2)。これまでは、複数の端末に対して同時にコンテンツを送信する場合は、ブロードキャストやマルチキャストが用いられてきたが、本方式では、無線がブロードキャストメディアであることを利用し、ユニキャストプロトコルをベースにして、複数の端末に対してより高速に信頼性のある通信をすることを旨とする。以下に、コンテンツ配信に要求される事項と、本方式におけ

る実現手法を示す。

通信環境が異なる端末に対する配信：

無線 LAN 環境下では、配信サーバと端末との距離や障害物の影響などにより端末ごとに通信の品質が異なる。1 度の送信を複数の端末で受信する場合、配信サーバは各端末の通信状況を考慮して送信レート制御や再送制御などを行う必要がある。本方式ではデータの送信にユニキャストである TCP を用いるため、既存の MAC 層の再送やオートレートフォールバック (ARF)、TCP 層での輻輳制御や再送制御が有効となる。したがって、ユニキャストの宛先端末を選択することでその宛先端末に対する信頼性が確保され、それ以外の端末のうち宛先端末より通信状況がよい端末のオーバーヒヤリングにおいても TCP のバイトストリームとしては信頼性を確認できる。よってどの端末に対してどのピースをユニキャストで送信し、他の端末にオーバーヒヤリングさせてより冗長トラフィックを減らすかというスケジューリングが重要になる。

非同期的なダウンロードの開始と進行：

コンテンツ配信においては、複数の端末がそれぞれのタイミングでダウンロードを開始し、それぞれのダウンロード進行状況に応じたデータが配信されることが望ましい。しかし、これまでのトランスポート層でバイトストリームをマルチキャストする配信方式は全端末に同じデータを同時に送信するものであり、それぞれのタイミングでダウンロードができない。そのため、本方式ではコンテンツをアプリケーション層レベルでピースに分割し、非同期的な配信を実現する。配信サーバは端末のピース所持状況と要求を管理し、ピースを送信する。これにより、端末は順番を問わず全てのピースを受信すれば元のコンテンツを得ることができ、コンテンツを先頭から受信する必要がなくなる。また、配信サーバはピースの送信順をスケジューリングし、端末が異なるタイミングで配信に参加した場合や進行状況が異なる場合も、端末ごとの要求に応じたデータを配信することができる。

信頼性の制御：

MAC 層や TCP では信頼性制御手法として再送制御や輻輳制御が用意されているが、これらはマルチキャストでは端末毎の通信状況が異なり、用いることが難しい。また、受信端末が全てのフレームに対して ACK 応答を返すことは大きなオーバーヘッドとなる。しかし、MAC 層で信頼性が提供できない状況で、上位層で TCP を用いると、TCP の輻輳制御が働き、大幅な性能低下が起きる。本方式では、データの転送に TCP を用い、これをオーバーヒヤリングする端末では受信したバイトストリームについてシーケンス番号とチェックサムによるデータの信頼性の確認を行う。こ

れにより、TCP で直接通信している端末では信頼性が確保され、オーバヒアリングしている端末では信頼性制御のためのトラヒックを発生させることなくデータの一部を入手することができる。オーバヒアリングにより得られた TCP パケットからバイトストリームを再構築する場合、シーケンス番号が連続している部分のバイトストリームの信頼性は確認でき、シーケンス番号に抜けがある部分はバイトストリームが途切れていることを判別できる。また、各端末がオーバヒアリングによるピースの受信状況を定期的に配信サーバに報告することにより、配信サーバは端末のピース所持状況や通信品質を把握する事ができる。

評価結果：

実験には配信サーバを含め 7 台の端末を用い、端末番号 1 番を配信サーバ、2~7 番を受信端末とした。端末 2,3 は配信サーバの付近(1~2m 程度)に配置し、端末 4~7 は別室の離れた位置(10~12m 程度)に配置した。実験は、各スケジューリング方式について、全ての端末が同時にダウンロードを開始する状況で行った。

スケジューリング方式 A(ラウンドロビン)、スケジューリング方式 B(低スループット優先)、スケジューリング方式 C(方式 B にくわえネットワークコーディング)の方式について、端末ごとのスループットを図 5 に示す。一般に使用されている HTTP によるダウンロードと比較して、提案方式のスループットは方式 C において同時開始の場合 4.2 倍に向上した。また、スケジューリング方式 A から C まで変更を加えることで、スループットが改善した。端末ごとのスループットに注目すると、スケジューリング方式の変更により、スループットが最も低い端末 7 の速度が改善された。方式 B では、スループットが低い端末のスループットを改善するため、他の端末ではスループットが一部低下する場合もあった。

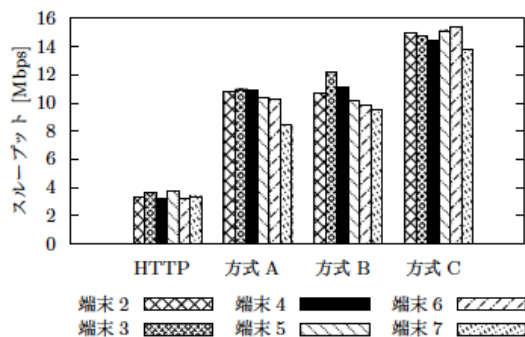


図 5 スループットの比較

スケジューリング方式ごとの各端末の受信済みピース数推移を図 6 に示す。同時開始の状況では、方式 A で他の端末より低かった

端末 7 のスループットが方式 B により 12%改善された。また、方式 A, B ではダウンロード開始 40 秒頃以降のスループットが低下していたが、ネットワークコーディングを導入した方式 C により向上し、平均スループットが 35%向上した。

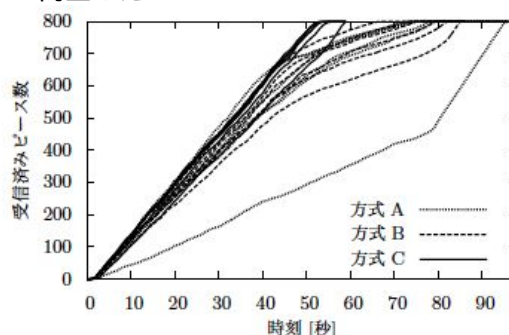


図 6 ピース数の推移

4.2 分散エミュレーション環境の構築

前節の提案方式のスケラビリティを評価するために、分散ネットワークエミュレータ EMANE を用いたが、エミュレータの動作に問題があったために、改良を行った。

通信システムの評価を行う際には、システム間のメッセージ送信、受信などの瞬間の事象(イベント)に着目し、イベントにともなうシステムの振る舞いを再現する離散事象シミュレーション(DES: Discrete Event Simulation)がよく用いられる。DES では、イベントをタイムスタンプ順に処理する事を前提に対象システムのモデル化を行う。DES を並列化する際には、対象とするモデルをいくつかのシミュレーションタスクとして論理プロセス(LP: Logical Process)に分割して並列に実行する。並列離散事象シミュレーション(PDES: Parallel Discrete Event Simulation)では、複数の LP を並列実行することにより処理速度を改善する。しかし、LP 間で互いに影響を及ぼす可能性のあるイベントの実行を誤った順番で処理すると因果関係に矛盾が生じる。そこで、PDES では各 LP(端末、ネットワーク機器)間で同期を行う必要がある。

LP 間のイベント実行順序の管理手法には、保守的手法と楽観的手法があり、保守的手法がある。LP 間で影響を及ぼす可能性のあるイベントの実行順序関係に常に矛盾が生じないように同期を行うため、並列処理の恩恵を受け難い。そこで、楽観的手法では、イベントの実行順序に矛盾が起こる事を許容し、投機的にイベントを実行する。実行順序に矛盾が生じた場合には、イベントの再実行などにより矛盾を解決する。

しかし、シミュレータではシミュレーション時間の中での LP のイベント実行順序の矛盾を解決すればよいが、エミュレータではパケットを実時間内に処理して実システムに処理を渡す必要があるため、同期が頻繁に発生する保守的手法の適用は難しい場合がある。ま

た、エミュレータでは実システムに処理を渡してしまうため、矛盾が生じたことがわかった後に対処する楽観的手法の適用はできない。

本研究では、LP の並列処理の効率の為に無線 LAN のプロトコルである CSMA/CA の簡易モデリングにおいて、1 ホップの隣接端末 (LP) 間で影響のあるイベントの実行時に同期を行わないため、同一フレームであっても端末間のエミュレーション結果が異なるという問題を改善する手法を提案する。ネットワークエミュレータ EMANE を用いて提案方式の実装し、有効性の評価を行った。

提案方式：

分散エミュレータの因果関係の矛盾の問題は、通信の受信側で乱数を用いて確率的に動作を決定するために生じる。この問題を改善するため、乱数を用いて確率的に動作を決定する場合でも、送信端末側で動作を決定させた後にその情報を送信フレームに付加させ、かつ、付加した情報を用いた動作決定の際に必要な情報を事前に共有しておくことで、LP 間の矛盾の問題を改善する手法を提案する。提案手法を、1 ホップ無線環境で CSMA/CA が用いられる場合に適用し、LP の並列実行性能を落とさずに実現できることを示す。

これにより、MAC プロトコルの簡易モデル化ではスループット、遅延、パケットロスなどの統計的な評価しかできなかったが、提案方式では、1 つ 1 つのパケット単位の振る舞いまで正確になるため、LP の並列処理を用いても、無線ネットワークにおける MAC プロトコルのより正確なモデリングが可能になり、評価環境をより実環境に近づけることが可能にする。

評価結果：

提案方式 A は、送信側のみの対応をした方

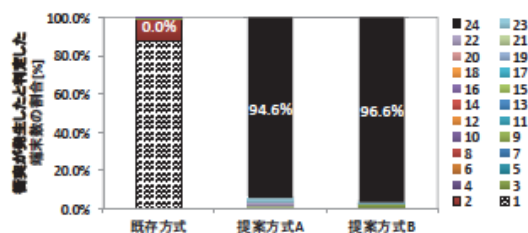


図 7 端末間のフレーム衝突の因果関係の改善

式、提案方式 B は、送信側と受信側で対応をした方式とした。フレームの受信時に、衝突が発生と判定した端末数の割合を図 7 に示す。あるフレームの受信時に、衝突が発生と判定した端末数を色別に示している、実験では、全端末を干渉範囲内に配置しているため、最大で 24 台の端末で衝突が発生したと判定する。衝突の因果関係を統一していない既存方式では、5 台以上の端末で同時に衝突が発生したと判定しなかった。提案方式 A では、

あるフレームの受信時に全端末 24 台で衝突が発生したと判定した割合は 94.6%であり、提案方式 B では 96.6%であった。次に、全端末で衝突が発生し、かつフレームを衝突させた端末が一致した割合は提案方式 A で 1.0%、提案方式 B で 94.7%となった。提案方式 B では、フレームを衝突させた端末がほぼ一意に決定するため、各端末が受けるノイズ強度を正確にエミュレーションすることができる。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 10 件)

[1] Hiroaki Yokose; Satoshi Ohzahata; Toshihiko Kato, An Efficient Overhearing Strategy for Content Distribution in Wireless LAN, ASIAN INTERNET ENGINEERING CONFERENCE (AINTEC) 2013, pp. 33-40, 2013.11, タイ。

[2] Hiroaki Yokose, Satoshi Ohzahata and Toshihiko Kato, "An Efficient Contents Distribution Method Using Overhearing and File Piecing in Wireless LAN," Proc. of APSITT 2012, 2012.11, チリ。

[3] 新田幸司, 大坐皇 智, 加藤聰彦, 無線分散ネットワークエミュレーション環境における 1 ホップ隣接端末間の因果関係改善方式, 信学技報, vol. 113, no. 495, MoNA2013-77, pp. 125-130, 2014.3, 神奈川。(電子情報通信学会 MoNA 研究会 H25 年度優秀発表賞)

[4] 新田幸司・大坐皇 智・加藤聰彦, 分散ネットワークエミュレーション環境における因果関係の改善方式に関する検討, 信学技報, vol. 113, no. 129, NS2013-66, pp. 173-178, 2013.7, 静岡。

[5] 横瀬広明, 大坐皇 智, 加藤聰彦, 無線 LAN におけるピース分割とオーバヒアリングを用いた冗長トラフィック削減方式へのネットワークコーディングの適用, 信学技報, vol. 112, no. 350, NS2012-140, pp. 139-144, 2012.12, 愛媛。

[6] 新田幸司, 横瀬広明, 大坐皇 智, 加藤聰彦, 無線 LAN 環境におけるピース分割とオーバヒアリングを用いた冗長トラフィック削減方式のネットワークエミュレータによる評価, 信学技報, vol. 112, no. 405, AN2012-49, pp. 31-36, 2013.1, 仙台。

[7] 横瀬広明, 大坐皇 智, 加藤聰彦, 無線 LAN 環境におけるピース分割とオーバヒアリングを用いたコンテンツ配信方式の送信スケジューリング方式, 信学技報, vol. 11, no. 463, NS2012-169, pp. 25-30, 2013,3, 沖縄。

[8] 横瀬広明, 大坐皇 智, 加藤聰彦, 無線 LAN におけるピース分割とオーバヒアリングを用いた冗長トラフィック削減方式のピース送信スケジューリング方式の評価, 信学技報, vol. 112, no. 230, IN2012-109, pp. 191-196, 2012.10, 東京。

[9] 横瀬広明, 大坐畠 智, 加藤聰彦, 無線 LAN におけるピース分割とオーバヒアリングによる冗長トラフィック削減方式の異なる通信環境での評価, 信学技報, vol. 112, no. 131, NS2012-45, pp. 1-6, 2012.5, 沖縄.

[10] 横瀬広明, 大坐畠 智, 加藤聰彦, 無線 LAN におけるピース分割とオーバヒアリングを用いた冗長トラフィック削減方式, 信学技報, vol. 112, no. 44, MoMuC2012-9, pp. 45-50, 2012.1, 三重.

[その他]

ホームページ:

<http://www.net.is.uec.ac.jp/~ohzahata/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大坐畠 智 (OHZAHATA, Satoshi)

電気通信大学・大学院情報システム学研究
科・准教授

研究者番号: 30361744