

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 28 日現在

機関番号：32407

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330111

研究課題名(和文) モバイルネットワーク仮想化に関する制御アルゴリズムの研究

研究課題名(英文) Study of control algorithm for mobile virtual network

研究代表者

平栗 健史 (HIRAGURI, Takefumi)

日本工業大学・工学部・准教授

研究者番号：90582817

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：次世代ネットワークでは、多様な通信方式を動的に構築する仮想ネットワーク技術の研究が進められている。有線と無線のネットワークを統合的に制御するモバイルネットワーク仮想化技術は、概念的なモデル提案が示されているのみで具体的なアルゴリズムは今後の検討課題とされている。申請者は、具体的な技術の先行研究として、無線LANのネットワーク仮想化制御アルゴリズムを提案し、基本特性の確認と実現性の高いアルゴリズムを確立するした。

研究成果の概要(英文)：A study of the virtual network technology which builds various communication method dynamically is advanced to a next generation network. A notional network model is proposed to the mobile network virtual technique which controls a network of a cable and a radio synthetically. However algorithm in detail is future's subject of investigation. The virtual network control algorithm for a wireless LAN is proposed control, then high algorithm of feasibility was established.

研究分野：無線通信工学

キーワード：MIMO 仮想ネットワーク アクセス制御

1. 研究開始当初の背景

次世代ネットワーク (NW) では、有線と無線ネットワークを統合的に扱い、NW 全体における資源の確保やサービス運用を動的に制御するモバイル NW 仮想化技術の検討が進められている。モバイル NW 仮想化技術の概要を図 1 に示す。無線トラフィックは、ユーザ数の増加などにより、数年後には約 18 倍に増加するとの予測がされ、無線リソースを最大限活用することが求められている。この課題を解決する技術として、MU-MIMO (Multi User-Multiple Input Multiple Output) による空間分割多重接続が、無線 LAN 標準規格 IEEE802.11ac で提案されている。またヘテロジニアス (HetNet) 技術や複数無線セル間協調技術などは 3GPP で標準化が進められ注目されている。

しかし、複数無線セル間協調技術は、物理層では実現可能な技術とされているが、データトラフィックのアクセス制御アルゴリズムやバックボーン NW との連携などの具体的な検討は進んでいない。またモバイル NW 仮想化技術においても、現在、NW 構成法の概念が提唱されて、具体的な制御方法や利用形態が模索されているところである。従来技術の無線基地局と端末は、無線区間のみの接続処理とアクセス制御を行っているが、図 1 に示すように、モバイル NW 仮想化技術では、無線基地局が NW 上で仮想化された基地局 (V-AP) として設置され、物理的な基地局 (P-AP) と端末の接続処理やアクセス制御を V-AP がネットワーク経由で制御する。すなわち、従来の無線区間のみに閉じた制御アルゴリズム (MAC プロトコル) を根本的に再構築する必要がある。

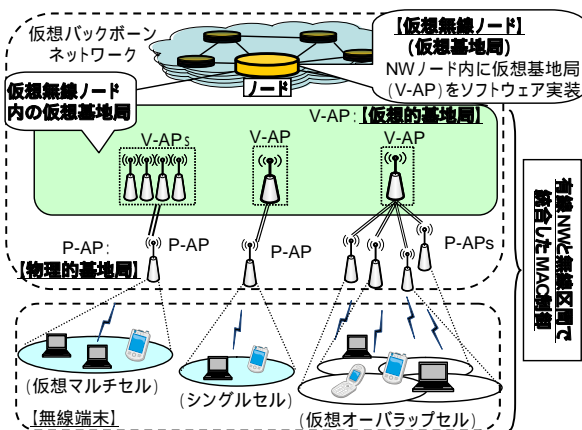


図1 モバイルNW仮想化の構成

2. 研究の目的

仮想 NW 技術に関する研究テーマは、様々な技術の組み合わせで、大きなテーマである。そこでこれらの課題の一つとして、無線の MAC プロトコルに着目し、申請者は、具体的な技術考案と先行研究を進めてきた。この考案技術は、複数の基地局セルがオーバーラップする環境を前提に、物理的基地局の機能を仮想 NW に移し、仮想無線ノード (仮想基地

局) へ実装する。物理的基地局は電波を送信するなどの基本機能のみとし、新たに考案した MAC 層以上のアルゴリズムは、仮想無線ノード内で処理を行う。すなわち基地局の機能が NW 内に実装されるため、申請者はこの技術コンセプトをワイヤレスクラウド NW として提唱した。対象システムは、無線 LAN IEEE802.11 をベースにし、無線伝送方式は MU-MIMO 技術を応用して複数無線セル間の協調制御を実現する。

3. 研究の方法

本研究は、仮想 NW における無線アクセス制御アルゴリズムの確立に関する研究である。先行研究で行ってきた NW 構成と考案技術であるアクセス制御アルゴリズムの見直しを行い、複数無線基地局と端末台数の変化に対して評価用計算機シミュレーションツールを構築する。また、実際に利用が想定されるアプリケーションの評価を進める。

(1) 端末数/基地局数をパラメータとした計算機シミュレーションツールの構築と評価

まず、先行研究で行ってきた計算機シミュレーションの NW モデルをベースに、新たに導入予定の高い処理能力を持つ専用ワークステーションへ考案技術を移行する。また計算機シミュレーションツールは、現在ライセンスを1本所有しているが、複数のライセンスを導入することにより並列で実行し、計算時間の短縮を図る。計算機シミュレーションツールでは、仮想無線ノードと複数の端末や複数の基地局の組み合わせを用いて評価する。

基地局 (AP-A, AP-B, AP-C) のセルがオーバーラップするように設置し、各 AP は仮想無線ノードと接続する。端末 (STA) は、AP を中心にランダムに分布したモデルとする。

本モデルは、無線 LAN 標準規格 IEEE802.11 で提案されているシミュレーションモデルをベースにしているため、得られた評価データは標準化への寄与としても容易に可能となる。

(2) 実験による評価データの取得

更に FPGA などのソフトウェア無線装置を導入し、考案技術を実装して実験を行う。FPGA は、現在、GNU Radio と USRP と呼ばれるソフトウェア無線装置を所有しており、これを利用する予定である。しかし、ソフトウェア無線装置は現在、1台のみの所有のため、4台以上の基地局による実験を行うためには追加で3台以上が必要となる。また、実験では無線 LAN をベースに実装する予定であるが、無線 LAN は免許不要の周波数を使用するので、外部からの干渉の影響が予想される。そこで、実験環境は所属大学で所有する電波暗室を利用することによって精度の高いデータを取得する。これらの実験による評価結果から実現性を確認する。これらの評価を進める上で、まず、初めに先行研究で考案技術の基

礎的な動作特性を計算機シミュレーションによって評価した。

4. 研究成果

(1) 端末数/基地局数をパラメータとした計算機シミュレーションツールの構築と評価に対する成果

先行研究で用いた評価・検証用の無線 NW モデルを図 2 に示す。複数の物理的基地局 (P-APs) のセルがオーバーラップしており、これらの P-AP から MU-MIMO 技術を応用して空間多重伝送によって複数のトラフィックストリームを同時に端末 (STA) へ伝送する。また、新たに考案したアクセス制御アルゴリズムの特徴として、従来では無線区間のみで伝送される MAC プロトコルなどが、考案技術では、有線 NW 上の V-AP から STA までの無線区間を含む伝送法である。また、これは有線 NW の遅延なども考慮した MAC プロトコルとした。図 3 は、図 2 の NW 構成において考案技術を用いた多重伝送 (P-AP を 4 台まで接続) により、受信端末のスループット特性を従来技術 (IEEE802.11n) と比較した基礎評価結果である。考案技術の受信スループットは従来技術と比べて約 2~4 倍の非常に高い効果が得られることが判る。

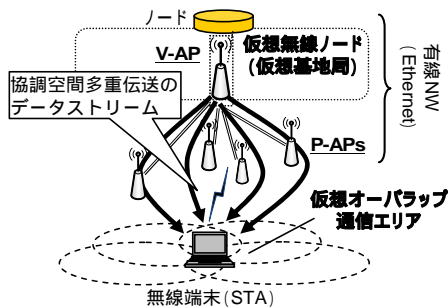


図2 考案技術のネットワーク構成

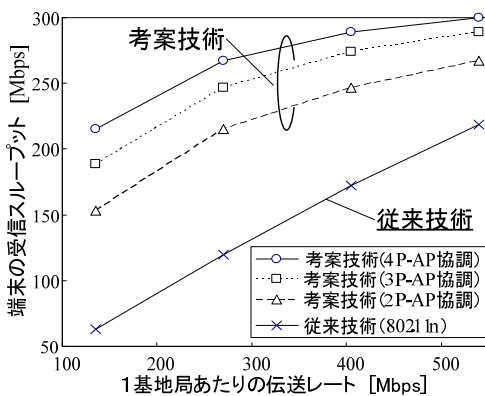
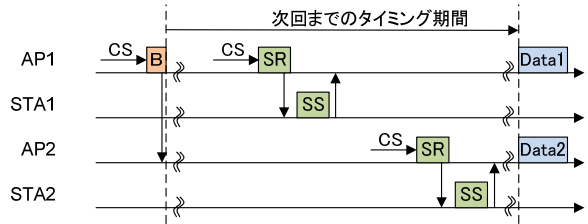


図3 先行研究による評価

次に、複数無線セル間協調技術として、無線区間のみならずフォーカスし、協調伝送の MAC プロトコルを評価する。オーバーラップセル環境 (OBSS) におけるアクセス制御方式を図 4 に示す。本方式の特徴は、各アクセスポイント (AP) が予め定められたタイミング周期でデータを送信することであり、タイミング周期はマスターとなる AP (AP1) が Beacon 信号に付加して送信する。Beacon に

付加された情報をもとに周囲の AP (AP2) は送信タイミングを管理し、そのタイミングに合わせてデータの送信を開始する。また、空間多重のためのチャネル推定は次回送信タイミングまでに行うことで、各タイミングで即座に送信することが可能となる。これはデータ送信開始のための呼び出しフレーム送受信手順を省くことが可能となり、帯域の利用効率を向上させる効果が得られる。

データ送信周期はアプリケーションが要求する通信品質を考慮して設定することで、VoIP や映像配信などの通信品質要求毎に適した制御を行うことが可能となる。



B: Beacon信号 CS: キャリアセンス (DIFS+Backoff) RS: Request Signal SS: Sounding Signal

図4 協調伝送のタイムチャート

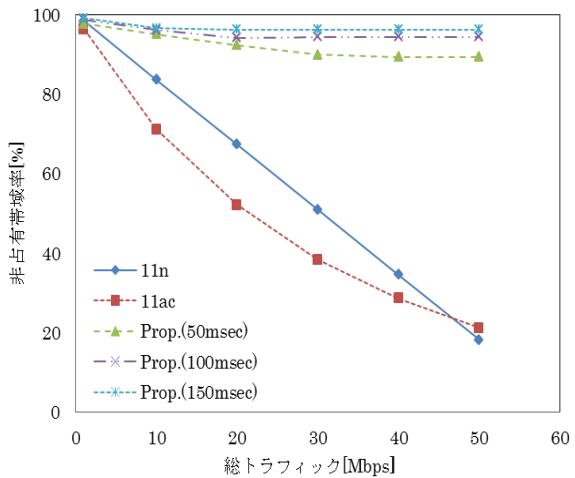


図5 非占有帯域率

本構成は、AP を 1 台、端末 (STA) を 4 台配置した BSS 環境としている。また、各 STA はそれ像れ無相関となる理想的な環境を想定している。AP は各 STA に対して下りトラフィックをポアソン分布に従って発生させた。また、AP のストリームは 8、STA のストリームは 2 とし、伝送レートは 65Mbps としている。なお、提案方式の有効性を評価するために、従来の IEEE802.11n および 11ac 規格との比較評価を行った。11ac 規格における評価は、MU-MIMO 伝送のみを行うものとし、宛先が 2 端末以上となる場合に送信を開始するよう制御した。提案方式の送信周期の間隔は、50ms、100ms、150ms としている。なお、各方式ともバッファに溜まったパケットをアグリゲーションにより送信するように制御しており、アグリゲーションのサイズは 11n 規

格の最大値 65535byte としている。

図 5 に下りトラフィックに対する AP の非占有帯域率を示す。横軸は各 STA に対する下りトラフィックの合計、縦軸は AP の非占有帯域率としている。図 5 から、11n および 11ac ではトラフィックが増加するほど非占有帯域率が低下することがわかる。提案方式では、いずれの場合も高い非占有帯域率であり、帯域の利用効率が向上することが明らかとなった。また若干ではあるが、送信周期が長いほどその効果が高まることもわかる。

(2) 実験による評価データの取得に対する成果

実験による成果として、当初、GNU Radio と USRP と呼ばれるソフトウェア無線装置を用いて、評価をする予定であった。しかし、実装に着手したところ、MIMO を構築するのに複数の USRP の同期を取る必要があるが、提案方式を想定した場合、ハードウェア的に実装が難しいことが判明した。そこで、PHY 層だけでは無線システムとしてのパフォーマンスを十分に評価することは困難であるため、PHY 層の伝搬状況から得られた情報を MAC 層のアクセス制御にフィードバックし動作する、PHY と MAC を融合した評価をソフトウェアのみで行うこととした。PHY 層と MAC 層を同時にシミュレーションし、評価結果が得られるシミュレータを開発したので解説する。PHY 層は一般的には MATLAB が用いられており、アンテナ伝搬特性や信号処理の解析を行うことができる。一方、MAC 層以上では、様々なシミュレータが存在し、NS3 や Qualnet、Riverbed Modeler (旧名 OPNET) であり、本節では馴染みのある OPNET の名称を扱うがある。特に OPNET は、MAC 層のシミュレーションだけでなく、大規模なネットワークの構成や、サンプルで用意されたアプリケーション (VoIP、動画ストリーミング、HTTP など) が充実しており、また vent Driven Architecture (EDA) を採用しているため、状態遷移から時間軸でのシミュレーションが可能である。

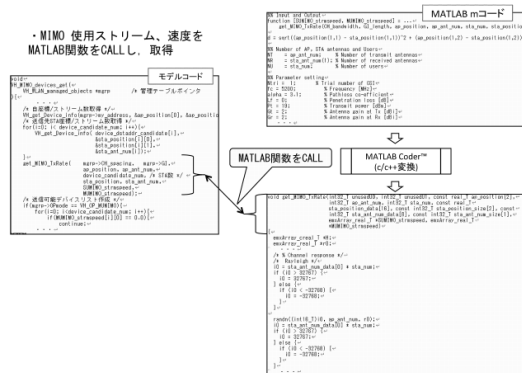


図 6 MATLAB API-IF

また、インターフェースもビジュアル的に作られているため、プログラミングなども初

心者には容易に扱うことができる特徴を持つ。開発したシミュレータは、MATLAB で伝搬情報の計算をし、たとえば MIMO で使用可能なストリームと伝送速度の選択を行い、OPNET では、MATLAB 関数を CALL して取得する。図 6 に MATLAB の API-IF を示す。MATLAB では m コードを c/c++に変化することが可能であるため、今回は c 言語に変化された MATLAB 関数で示されている。シミュレータの作り方によっては、直接 m コードを呼び出したり、OPNET 上から直接、MATLAB を操作するような API を作成することが可能である。API の作成は今後の開発であるが、MATLAB と OPNET の連結が可能であることは、今回の開発で確認できた。

OPNET 上では、図 7 に示すようなシミュレーションモデルを構築する。OPNET では、ネットワークが階層となっており、ネットワークモデルで、実際の無線局の配置をし、各無線局の中にはそれぞれノードモデルが構築される。ノードモデルの中にはプロセスモデルがあり、これは状態遷移によって動作する。各プロセスの中には、C 言語をベースとした OPNET 専用のカーネル関数を用いてプログラミングを行うことが可能である。今回は MU-MIMO 伝送のシミュレーションモデルを構築したが、基地局と端末は同じノードモデルを用いており、動作や昨日は、OPNET に用意された設定項目 (属性) で基地局 (AP) が端末 (STA) を切り替えることが可能である。また、ネットワークモデルでは、無線局の配置位置 (座標) が無線の伝送距離として設定でき、座標情報は MATLAB に渡され、伝送距離から選択される伝送速度 (MCS など) が計算される。

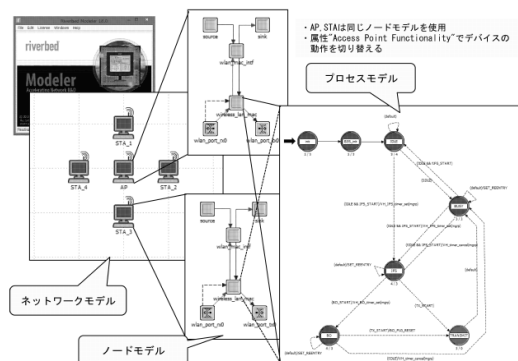


図 7 シミュレーションモデル

評価シナリオとして、基地局と端末の距離を 10~50m に変更した際のスループットを求めた。CSI フィードバックなどのフレームは固定の MCS index : 7 とし、データの伝送速度とストリームは、MATLAB で計算された距離に応じた最適な MCS とストリーム数を選択する。ネットワークモデルは、図 8 に示す。OPNET の GUI 上では、端末の座標情報が MATLAB へ渡される。

評価シナリオ の計算結果を図 9 に示す。距離が広がるにつれ、スループットは低下し

ている。この結果より、MATLAB からの最適な MCS が選択され、その値を用いたスループット評価が確認できた。これらの結果より、OPNET と MATLAB を融合させたシミュレーションツールの動作が確認でき、今後、このようなツールを用いて MIMO 伝送の解析や評価を行っていくことができる。

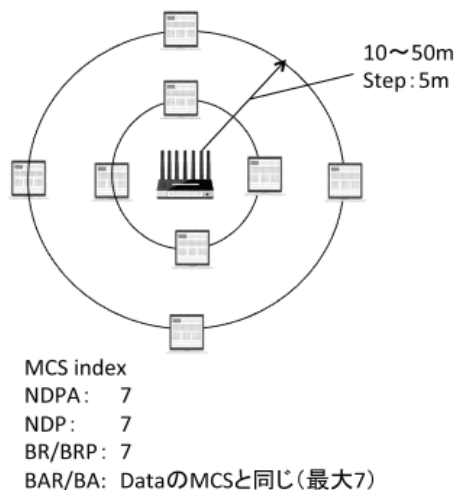


図 8 評価シナリオの配置モデル

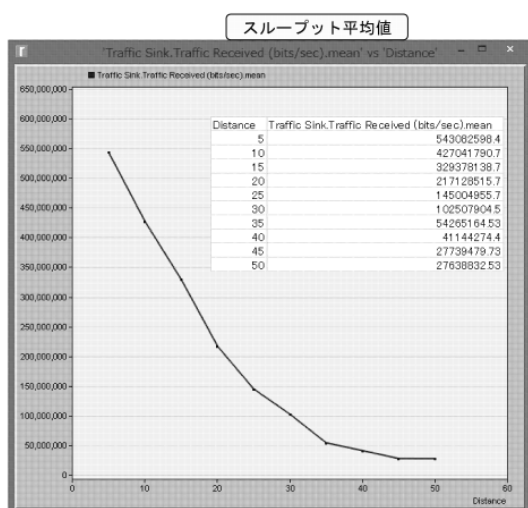


図 9 評価シナリオのスループット特性

これらの結果より、擬似的に実験環境を作り、PHY と MAC の評価を行うための環境が整った。今後は、本シミュレータを用い、実機と接続して、提案方式の実験による評価を予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 4 件)

西森 健太郎, 平栗 健史, [招待論文] マルチユーザ MIMO の通信効率とその改善手法, The journal of the Institute of Image Information and Television Engineers, Vol.70, No.1, pp.11-16, Jan. 2015, 査読有。

Takefumi Hiraguri, Kentaro Nishimori, [Invited Paper] Survey of Transmission Methods and Efficiency Using MIMO Technologies for Wireless LAN Systems, IEICE Trans. on Communications, Vol. E98-B No.7, pp.1250-1267, July 2015, 査読有。

Yoshiaki Morino, Takefumi Hiraguri, Toshiyuki Ogawa, Hideaki Yoshino, Kentaro Nishimori, Theoretical analysis of collision detection scheme utilizing MIMO frame structure, IEICE Communications Express, Vol. 4, No. 2, pp61-66, Feb. 2015, 査読有。

Takefumi Hiraguri, Kentaro Nishimori, Toshiyuki Ogawa, Ryochi Kataoka, Hiroshi Takase, Hideki Yoshino and Hideo Makino, Access control scheme for collision detection utilizing MIMO transmission, IEICE Communications Express, Vol.2, No.4, pp.129-134, April 2015, 査読有。

[学会発表](計 3 件)

西森 健太郎, 平栗健史, [招待講演] Massive MIMO 伝送の基本概念と実際の特性, 電子情報通信学会, 信学技報 IT 研究会, vol. 115, no. 321, IT2015-47, pp. 21-26, 2015 年 11 月 24 日, 下電ホテル(岡山県・倉敷市)。

平栗健史, 西森健太郎, [招待講演] コミュニケーションクオリティ: 無線通信品質の課題と新しい技術の提案, 電子情報通信学会, CQ 研究会, 信学技報, vol. 114, no. 131, CQ2014-30, pp. 83-88, 2014 年 7 月 10 日, 大阪大学基礎工学国際棟セミナー室(大阪府・豊中市)。

平栗健史, 西森健太郎,

[特別招待講演] 無線 LAN の動向と要求される新しい技術, 電子情報通信学会, CS 研究会, 信学技報, vol. 113, no. 465, CS2013-103, 2014, pp. 1-6, 2014 年 3 月 6 日, 大阪市立大学(大阪府・大阪市)。

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]

ホームページ等

とくに無し。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平栗 健史(HIRAGURI, Takefumi)

日本工業大学・工学部・准教授

研究者番号: 9 0 5 8 2 8 1 7

(2) 研究分担者

吉野 秀明(YOSHINO, Hideaki)

日本工業大学・工学部・教授

研究者番号: 0 0 6 4 4 8 1 6

(3) 研究分担者

神野 健哉 (JINNO, Kenya)

日本工業大学・工学部・教授

研究者番号：50286762