

Wireless Internet ワーキンググループ 2014 年度活動報告

木本 瑞希

妙中 雄三

2014 年 12 月 16 日

1 はじめに

Wireless Internet ワーキンググループは、無線通信ネットワークを前提とした、より堅牢で柔軟なインターネット構成技術を研究している。2014 年度は、OpenFlow 制御型無線メッシュネットワークとマルチチャンネル環境下における無線マルチホップネットワークの性能検証実験を実施した。

2 OpenFlow 制御型無線メッシュネットワーク

本研究では、これから急増する通信需要の支えるため、無線メッシュネットワーク (WMN) の大容量化を目指している。無線通信ではチャンネル毎の通信容量は限られているため、ネットワーク容量の拡張には複数チャンネルの同時利用が必須となる。本研究では、複数のチャンネルを並列に利用できる WMN と OpenFlow を基にした制御フレームワーク、複数チャンネル資源を活用するチャンネル有効利用手法を研究している。

2.1 複数チャンネルを同時利用する仮想 AP

本節では、図 1 に示す仮想 AP (VAP) と VAP を用いた WMN を実現する。図 1 の様に、複数の AP を有線ケーブルでデジーチェーン型に接続し、AP それぞれが異なるチャンネルで WMN を構成する。この有線接続された AP 群を、複数チャンネルを利用する 1 つの VAP として制御する。それぞれの VAP は、AP を切替える事でチャンネル切換えを実現するが、AP 間は有線接続のため、無線資源の浪費を回避できる。この構成を用いると、理想的には各 VAP に AP を制限なく追加でき、追加する AP 数に応じて柔軟にチャンネル数を増やす事ができる。

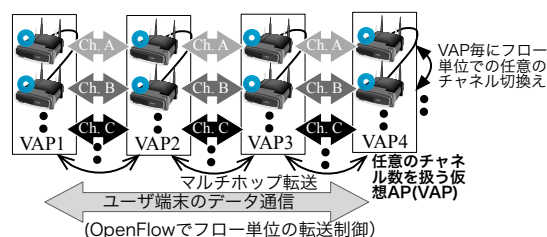


図 1: 仮想 AP の構成

2.2 OpenFlow によるチャンネル利用制御フレームワーク

本節では、2.1 節で述べた WMN (図 1) を活用するための、OpenFlow による制御フレームワークについて説明する。OpenFlow は一般的にネットワーク内で転送されるパケットをフロー単位で柔軟に制御できる技術である。OpenFlow による制御は、OpenFlow コントローラ (OFC) と OpenFlow スイッチ (OFS) の連携で実現する。OFC はそれぞれの OFS におけるフローの定義 (マッチングルール) と該当フローに対する制御内容 (アクション) を決定して、それらの対 (フローエントリ) を OFS のデータベース (フローテーブル) に必要に応じて登録する。OFS は、その後フローエントリに応じて実際にパケット処理を行う。

本研究の制御フレームワークでは、OFC は WMN に接続されたサーバで動作し、OFS は各 AP の機能として実装されている。OFS が起動直後にこの制御ネットワークを介して OFC に接続すると、OFC が (必要な場合は) フローエントリを OFS に送信する。OFS は受け取ったフローエントリを自分のフローテーブルに登録する。以降、OFS はフローテーブルの情報に従ってパケット処理を行う。ただし、どのフローエントリにも一致しない未知のパケットが届いた場合は、OFC にそのパケット到着を知らせ (packet_in と呼ぶ) OFC

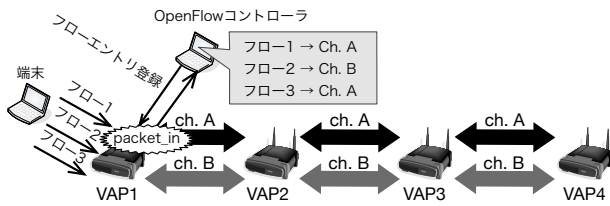


図 2: 均等フロー割当手法における新規フロー到着時の例

表 1: 提案手法のチャンネル利用例

	VAP1 ↔ 2	VAP2 ↔ 3	VAP3 ↔ 4
フロー 1		ch. A	
フロー 2		ch. B	
フロー 3		ch. A	

はそれに応じたフローエントリを OFS に登録する。

2.3 チャンネル有効利用手法

本節では、2.1 節の WMN 上で 2.2 節の制御フレームワークを用いて、全チャンネルを有効利用するチャンネル有効利用手法を実装する。本研究では、均等フロー割当手法を提案する。

本手法では、転送フロー数に着目してフロー単位でのチャンネル割当を行う。図 2 にチャンネル利用制御の概要を示す。本手法では、送信元・宛先の IP アドレスとポート番号の組み合わせをフロー定義に用い、送信元・宛先が入れ替わったトラフィックも含めて 1 フローとして扱う。各チャンネルを利用するフロー数を均等とするため、バックボーンネットワークに繋がる AP のいずれかにフローが到着する順番で、チャンネルを順番に割当てていく。具体的には、いずれの AP に対して新規フローが到着したかに関わらず、packet_in の度に OFC に届いた順番で使用チャンネルを順次割当てていく制御を行う。図 2 では、VAP1 に接続する端末が新たに 3 つのフローを送信する場合の例を示しており、到着の順番で、チャンネル 1、2 を順番に割当てている。この手法では、転送するフロー数が利用チャンネルに対して均等に割当てられる事で、ネットワーク容量の増量並びにチャンネル有効利用をはかる。

各フローは無線リンクを複数回ホップするため、ホップ毎のチャンネル切り替えが可能である。しかし本手法

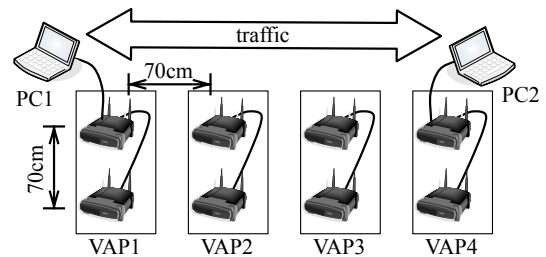


図 3: 実験トポロジ

では、packet_in 時に確定したチャンネルをマルチホップ転送でも常に利用し続ける方法を採用する。表 1 に、VAP1 と VAP4 間でのチャンネル利用の例を示す。このように、本手法ではフローの到着順 (packet_in の順番) でチャンネルを選択し、それぞれのチャンネルで WMN のマルチホップ区間を経由する手法である。

2.4 実装・実験環境

本実験では図 3 に示す通り、VAP および各 AP をそれぞれ 70cm 離して設置した。実装に使用する AP は Buffalo 製 WZR-HP-AG300H を用い、OpenWrt ファームウェアをインストールした。また、OFS ソフトウェアとして、OpenWrt 上に OpenvSwitch をインストールした。なお、無線干渉が無い環境を調査した上で 36 と 44 チャンネルの 2 チャンネルを WMN のために用意し、IEEE802.11a で構成した。実験では、Linux をインストールした PC1 と PC2 を用意し、それぞれ VAP1 と VAP4 に接した。その上で PC1 と PC2 の間で iperf を用いたトラフィック送受信を行う。なお、端末と AP 間の接続区間は本研究の対象ではないため、有線接続とする。

2.5 複数チャンネル利用の有効性評価

WMN に対して複数チャンネルを並列利用した際の有効性を確認するために、本節では、2 チャンネルの並列利用の有効性評価を行う。比較対象として、既存の WMN の構成と同様に 1 チャンネル構成の WMN を構築する。具体的には、図 3 の上段の横一列のみを利用し、経路制御はスタティックルーティングで設定した。

実験では、PC1 から PC2 へ伝送レート 10Mbps の UDP (パケットサイズ 1500 バイト) を 1 本ずつ、10

表 2: 合計のスループットの計測結果 (Mbps)

WMN 種類	最大値	中央値	最小値
既存 WMN (1ch)	9.90	9.87	9.72
提案手法 (2ch)	19.65	19.36	18.99

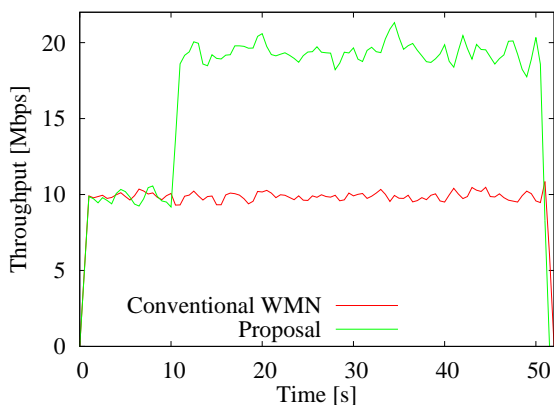


図 4: 合計スループットの時間変化

秒間隔で合計 2 フローを送信する。実験の開始から終了まで PC2 で tcpdump を用いて全てのフローをキャプチャし、2 フロー目の通信開始 10 秒後から 30 秒間の平均スループットを算出する。この実験を 9 回繰り返した結果について、平均スループットの最大値と中央値、最小値を表 2 に示す。これらの結果より、1 チャネルのみ利用する既存 WMN に比べて、提案手法が 2 チャネル利用する事で、ほぼ 2 倍程度の結果を得られており、2 チャネル並列利用の有効性が確認できる。

図 4 に表 2 の中央値のスループット性能について、時系列の結果を示す。既存 WMN と提案手法どちらも安定したスループットを示しており、OpenFlow 制御によるスループット低下の影響は少ない事がわかる。

3 マルチチャネル環境下における無線マルチホップネットワークの性能検証実験

無線マルチホップ通信において、帯域を増やすために複数のチャネルを使ってノード間の無線リンクを構築することは有効的だと考えられきた。しかし、過去の研究事例においては使用する周波数帯同士の近さや、ノード間の近隣性に着目した実験は行われていない。

本実験ではマルチチャネル環境下においてノード 4 台を直線上に並べたライトポロジの無線マルチホップネットワークを構築し、バックホールで使用するチャネルと、ノード間の距離を変更しながらスループット計測を行った。

図 5 と図 6 は TCP 及び UDP のスループットの計測結果を示したものである。グラフは各チャネルごとに色分けされており、横軸がノード間の距離を示している。

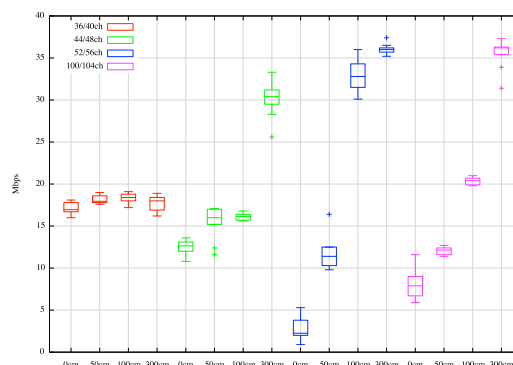


図 5: バックホールリンクスループット (TCP)

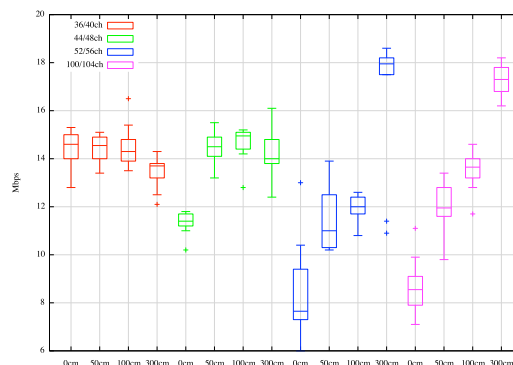


図 6: バックホールリンクスループット (UDP)

TCP と UDP 共に 36 チャネルを使用した場合、アクセスポイント間の距離を変えてもスループットの差に大きな違いは見られなかった。今回変更したアクセスポイント間の距離は最大でも 300cm であったため、CSMA/CA のキャリアセンスの閾値を下回ることはなく、スループットに差が見られなかったと推測出来る。

TCP と UDP の両プロトコル共に、52、100 チャネ

ルのように 36 チャンネルとのチャンネル間の距離が離れた場合には、アクセスポイント間の距離が近い場合スループットが極端に悪くなることが観測できた。これは感度抑圧とスプリアス干渉が影響していると考えられる。ある与干渉側の信号が強い場合、例え周波数が異なったとしてもノイズを発生し感度抑圧として被干渉側に影響してしまう。またスプリアス干渉は、ある無線送信機において所定の周波数帯域の信号以外に出してしまう不要な信号成分が、被干渉側に影響を与えてしまう干渉である。この干渉における影響でフレームの再送が起こり、結果としてスループットが落ちると推測することが出来る。

本研究では、実機を用いた無線マルチホップの基礎的なパフォーマンス計測を行うことで、物理層で起こる現象がスループットに影響を与えるということを示唆した。

4 まとめ

2014 年度は既存の WiFi プロトコルに変更を加えることなくいかにメッシュネットワークの性能を向上させることができるかに着目した活動を実施した。WiFi のチャンネル間干渉は多くの人を経験している性能劣化原因のひとつであるが、チャンネルやアンテナのギャップに応じた劣化を客観的に検証した事例はなく、本活動で得られた成果は今後のネットワーク設計に大きな貢献を与えるものと思われる。

また、OpenFlow を用いた SDN が注目される中、無線メッシュネットワーク内部でチャンネル選択のための仕組みとして利用した例は過去になく、実験結果から無線メッシュ構成時の理論値に迫る性能がでていたことがわかった。今後、細かな網制御が可能になれば、無線メッシュネットワークの運用範囲を飛躍的に拡大できる技術であり、これまで課題とされてきた無線メッシュネットワークの問題を根本的に変える可能性がある。

Wireless Internet ワーキンググループはネットワークプロトコルだけでなく、幅広い層における無線インターネット技術の発展を目指して活動している。ご興味のある方はぜひ本ワーキンググループにご参加いただき、自身の活動を共有してもらえれば幸いです。