

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月31日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010～2011

課題番号：22800008

研究課題名（和文） 個別管理されたアクセスポイント群における WiFi エリア制御に関する研究

研究課題名（英文） Study on WiFi area control on distributed managed APs

研究代表者

妙中 雄三 (TAENAKA YUZUO)

東京大学情報基盤センター・助教

研究者番号：50587839

研究成果の概要（和文）：

設置が容易で安価、高速・広帯域で優れるという利点から、無線 LAN が私的利用に留まらず公共の場やビジネスなどあらゆる場所・目的で広く利用されている。一方で、それらの無線 LAN 群は密なオーバーラップエリアを持つため、電波干渉によりどの無線 LAN でも通信品質が低下するという問題が発生する。本研究では、任意の通信品質が得られる無線 LAN エリアを適切に検出するための品質指標を明らかにする。また、メッシュネットワークを実践的に構築する事でエリア重複の制御に対する知見を収集する。

研究成果の概要（英文）：

WLANs have been spread at private spaces as well as public spaces because of its ease of installation, low cost, and high bandwidth. On the other hand, because these WLANs are densely placed and overlap each other, every WLAN degrades its providing wireless communication due to mutual radio interference. This study presents a quality index that can detect where an user have predetermined communication quality in WLAN area. Also, we deploy a wireless mesh network and collect technical knowledge to control overlapped WLAN area.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,260,000	378,000	1,638,000
2011年度	1,140,000	342,000	1,482,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：工学

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：エリア制御、無線計測、品質管理、無線 LAN

1. 研究開始当初の背景

現在、我々の日常生活ではネットワークに接続する機会が急激に増加している。特に、設置が容易で安価、高速・広帯域で優れるという利点から、無線 LAN は私的利用に留まらず公共の場やビジネスなどあらゆる場所・目的で広く利用されている。今後も無線 LAN の利用は拡大し続け、都市部等の広い範囲内

に多数アクセスポイントが設置され、どこでも無線 LAN 接続できる環境が実現する。具体的には、現在の設置形態と同様に各無線 LAN が異なる所有者によって個別に設置され、それらの無線 LAN エリアがオーバーラップする事で全体としてどこでも無線 LAN に接続できる環境が構築できる。但し、無線 LAN は誰でも自由に設置できるため共通の

管理者は存在せず、各々が無関係に設置され、十分な設置密度を持つ状態となる。これをユビキタス WiFi ネットワークと呼ぶ。

無線 LAN の拡大の結果、ユビキタス WiFi ネットワークが社会基盤となり、様々な個人的/社会的活動がネットワークを通して頻繁に行われると想定される。つまり、ユーザーはあらゆる場所を移動しながらネットワークを使用する事となる。特に、日常的なコミュニケーション用途でネットワークを利用するため、使用するモバイルアプリケーションは継続的なネットワークの接続性だけでなく、リアルタイム性や広帯域性といった安定で良好な通信品質を要求するものとなる。

2. 研究の目的

上述の通り無線 LAN は容易な設置が可能であるため、どこでも自由に設置されアクセスポイントが密集した状態が発生する。密集したアクセスポイントは互いに無線干渉を引き起こし、移動している端末がどの無線 LAN を使用しても通信品質が低下する状態となる。既存研究では各無線 LAN のチャンネルを割り当てる事で干渉を減らす技術が検討されてきたが、チャンネル数の上限数以上のアクセスポイントが設置された場合には対応が出来なかった。

あらゆる場所で安定して良好な通信品質を提供する無線ネットワークを構築するためには、チャンネルの割当手法に加えて無線 LAN エリアの重複を必要最小限に抑える手法が必要となる。最新の研究[1]では、計画的にアクセスポイントが設置された(無線 LAN エリアの重複を避けた)環境を前提としたチャンネル割当て手法が提案されている。しかし、実際には異なる管理者によって大量のアクセスポイントが自由設置されるため、過度のエリア重複が発生する。そのため、この環境では多数の無線 LAN の混在による無線干渉が頻繁に発生し、移動端末の通信品質を低下させてしまう。このような品質低下を防ぐためには、品質低下を招く過度のエリア重複を避け、各無線 LAN エリアを適切に組み合わせる必要がある。しかし、無線 LAN は個別管理であることから、企業等で使用される無線 LAN コントローラによる集中管理型の無線 LAN のように共通の管理者が無線 LAN エリア内の品質を計測・調節し、品質低下を回避することは困難である。

そこで、本研究では個別設置された多数の無線 LAN によって、既存のチャンネル割当て手法が想定しているエリアの重複を避けた環境を、品質維持も考慮した上で実現を目指す。

[1] A. Dhananjay *et al.* Practical, Distributed Channel Assignment and

3. 研究の方法

本研究では上記の目的を実現する事を目指して、以下の2つのテーマを実施した。

(1) アクセスポイントによる自律的なエリア内通信品質計測

(2) 無線メッシュネットワークを用いた複数無線 LAN 混在環境の実験調査

まず、(1) ではアクセスポイントが無線エリア内のどの位置でどの程度の通信品質を提供できているかをフレーム単位で計測するための品質指標の検討を行う。本研究では、アクセスポイントが自律的に連携して無線 LAN エリアを制御するためには、アクセスポイントが (a) 要求品質を満たした無線 LAN エリアの検出、(b) 検出した無線 LAN エリア情報のアクセスポイント間での共有、(c) 品質低下エリアの検出、(d) エリア制御の実行、を継続的に繰り返し実行する事を想定している。そこで、(a) に対して、各アクセスポイントが無線 LAN エリア内の各地点における通信品質を調査するための品質指標の検討を。通信品質を計測するために、先行研究[2]で提案した品質計測基盤を実システム上に実装して使用する。実装には、Thinkpad X61 (CPU: Core 2 Duo 2.0 GHz, メモリ: 1 GB) を使用した。OS には CentOS 5.4 (カーネルバージョン 2.6.18) を使用し、無線 LAN ドライバとして madwifi 0.9.4 をインストールしている。実装ではフレーム単位での品質指標計測が必要となる。madwifi ドライバを用いてフレーム単位で計測可能な品質指標は PHY エラーの発生状態、CRC エラーの発生状態、フレームの再送状態、電波強度である。これらのパラメータをフレーム単位で取得する機構を madwifi ドライバに追加した。madwifi にはフレームの状態を保持する ath_stats 構造体がある。この構造体にはフレームを送受信したときの状態が保持される。この構造体には再送回数別の送信数やフレーム単位での電波強度は保存されない。そこでフレームごとの再送回数を保持する変数の追加と、その回数を保存する処理を追加した。この実装を用いて、図1に示すトポロジを構成して行った。アクセスポイントは無線インターフェースと有線インター

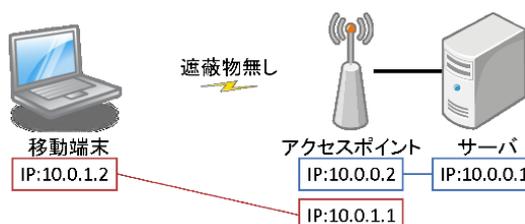


図1 実験トポロジ

表 1 レイヤ 2 メッシュ機材

機材名	役割
Cisco AIR-2125-K9	コントローラ 1 台
Cisco AIR-1262N-Q-K9	アクセスポイント 10 台
Cisco AIR-PWR1JN4	PoE アダプタ
Cisco WS-C3560CG-8PC-S	PoE スイッチ

表 2 レイヤ 3 メッシュ機材

機材名	役割
NTTPC コミュニケーションズ MR1200	無線 LAN アクセスポイント 10 台 (カスタマイズ済み OpenWRT)

フェースを1つずつ持つ。有線側には、サーバを Ethernet ケーブルで直接接続し、無線側では移動端末と無線接続する。無線 LAN 通信には RTS/CTS を有効にした IEEE802.11g を用い、送信レートは 54Mb/s に固定した。また、アクセスポイントは無線区間と有線区間で異なる IP サブネットに接続し、通信をルーティングする設定とした。なお、実験は周辺に遮蔽物の無い環境でおこなった。実験では、移動端末とアクセスポイントの距離を変化させることでスループットを変化させて計測をおこなう。つまり、移動端末をアクセスポイントから1メートル刻みで離し、その各地点でスループットの計測およびアクセスポイント上の実装機構による品質計測をおこなう。これを1試行とし、今回は4回の試行をおこない計測した。計測にはインターネット上で一般的に使用されている TCP と UDP トラフィックを使用した。

(2) では実際に無線メッシュネットワークの構築することで無線エリアの重複を再現し、実環境において無線エリアの調整をどのような基準で行うかや実記で調整可能な無線エリアの範囲の調査を行う。実験では、WIDE プロジェクト[3]が定期的開催している合宿形式の研究会で実施した。研究会は160名程度の研究者が参加し、各会議室でのネットワークアクセスが提供される。本実験ではこのネットワークを全てメッシュネットワークで構築する。

研究会ではレイヤ2とレイヤ3のメッシュネットワークのそれぞれに対して、異なる機材を利用した。表1に示す通り、レイヤ2はシスコシステムズ社製の無線 LAN コントローラによる制御を用いたもの、レイヤ3はNTTPC社製の OpenWRT (Linux) ベースでそれぞれの機器が独立して動作するものを利用した。

シスコシステムズ社製のメッシュネットワークは無線 LAN コントローラの設定を行う事で、無線 LAN コントローラがすべてのアクセスポイントの設定を行う形となる。レイヤ2メッシュネットワークではバックホール側のチャンネルを IEEE802.11a の 5Ghz 帯を用い、

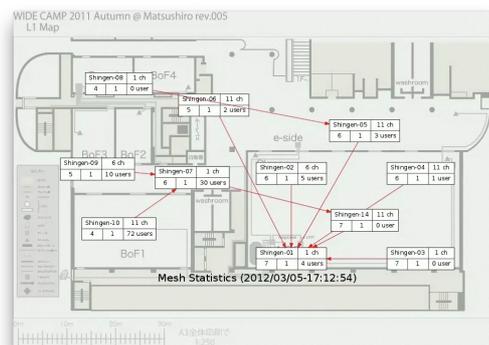


図 2 レイヤ 2 メッシュトポロジ

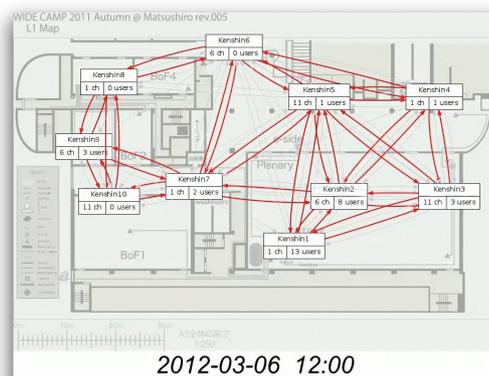


図 3 レイヤ 3 メッシュトポロジ

シングルバンドの場合は 36ch、チャンネルボンディングを利用する場合は 36 と 40ch を利用した。レイヤ 2 メッシュネットワークを構築維持するためのプロトコルはシスコシステムズ社独自開発の AWPP (Advanced Wireless Path Protocol) を用いた。なお、利用者が接続する無線 LAN は IEEE802.11g の 2.4Ghz 帯を用い、コントローラによる自動設定とした。

NTTPC 社製の機材は、OpenWRT によるメッシュネットワークであり、各アクセスポイントへの設定作業が必要であった。バックホール側のチャンネルは IEEE802.11n の 5Ghz 帯で 36ch を使用した。レイヤ 3 メッシュネットワークを構築位時するためのプロトコルはオープンソースで開発されている OLSRv2 を用いた。なお、利用者が接続する無線 LAN は IEEE802.11g の 2.4Ghz 帯を用い、アクセスポイント設置時に隣接アクセスポイントで同一チャンネルを利用しない様に割り当てた。実験のトポロジはレイヤ 2、レイヤ 3 メッシュそれぞれ図 2, 3 に示す通りである。

- [2] Yuza Taenaka *et al.* Wireless Measurement Framework to Survey an Area with Required Communication Quality, PAEWN 2009.
- [3] <http://www.wide.ad.jp/>

4. 研究成果

- 4.1. 「アクセスポイントによる自律的なエ

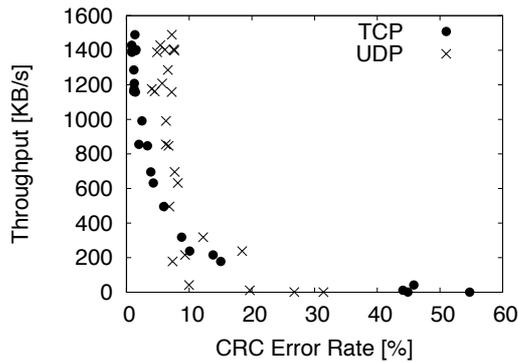


図 4 CRC エラー率とスループットの散布図

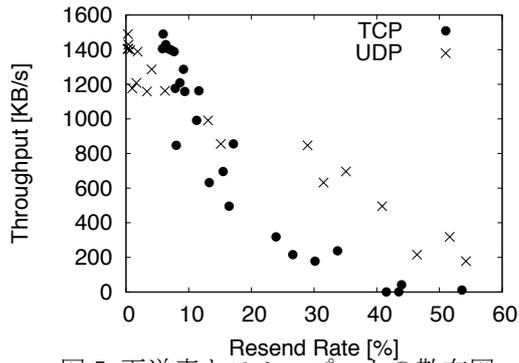


図 5 再送率とスループットの散布図

リア内通信品質計測」の成果

予備実験の計測結果に対して、計測パラメータとスループットの相関を取り、TCP 通信では CRC エラー率と平均電波強度、PHY エラー率、再送率、UDP では CRC エラー率と再送率がスループットと強い相関があることが得られた。しかし、TCP で相関の強い PHY エラー率と平均電波強度は UDP 通信において相関が低くどの程度の通信性能（スループット）かを推定することが困難である。TCP と UDP のように全く違う通信方式をとる端末がいた場合を想定すると、同じ尺度でスループットの推定をする必要がある。このような場合では PHY エラー率での推定は困難であるため、CRC エラー率を用いて推定することが考えられる。一方、送信においては再送率が TCP および UDP のどちらの通信方式であっても強い相関がみられたため、スループットの推定に用いることができる可能性がある。

次に、CRC エラー率及び再送率によるスループット推定への有効性を調査する。CRC エラー率とスループットの関係性をさらに調べるため、散布図を作図した。スループットに対する CRC エラーの散布図を図 4 に示す。スループットに対する再送率の散布図を図 5 に示す。図 4 より TCP および UDP のどちらも同じ CRC エラー率のときに、同程度のスループットが計測されている。そのため CRC エラー率はスループットを推定する品質指標として使用することが可能である。一方、送信の品質指標として再送率が有力である。図 5 より再送率が 15%までは TCP および UDP のどち

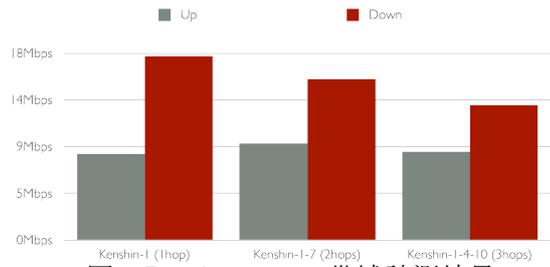


図 6 L2 メッシュの帯域計測結果

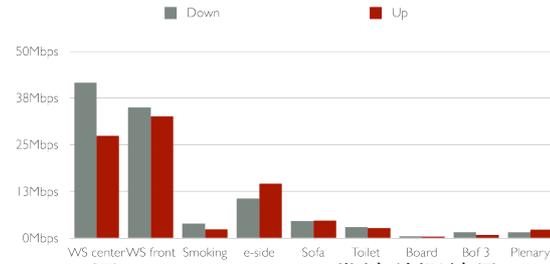


図 7 L3 メッシュの帯域計測結果

らも同程度のスループットが観測されている。しかし、再送率が 30%を超えると TCP と UDP の間でスループットに乖離がみられる。そのため再送率から一様にスループットを推定することは困難といえる。以上より、無線エリア内品質を検出するには、CRC エラー率が適している事が明らかになった。

4.2. 「無線メッシュネットワークを用いた複数無線 LAN 混在環境の実験調査」の成果
構築したメッシュネットワーク上で、iperf を用いた TCP 性能計測を実施した。図 6 はレイヤ 2 メッシュネットワーク上での結果を示したものである。レイヤ 2 メッシュネットワークでは、メッシュノード単体での計測ができなかったため、2 台のクライアント端末を用いて計測している。1 台を無線 LAN コントローラが接続しているスイッチと同じスイッチに有線にて接続し、もう 1 台を移動させ

ながら計測した。たとえば、7 の右端の値は、2 台目のクライアント端末を AP-10 に接続して計測した場合を示している。図中の UP はメッシュネットワークの末端方面からインターネットゲートウェイに向かう方向に iperf を実行(末端方面が iperf クライアント、ゲートウェイ方面が iperf サーバ)した場合で、DOWN は逆方向を意味する。

レイヤ 2 メッシュネットワークでは、メッシュネットワークを運用したときに見られる、ホップ数の増加に伴う性能の低下も確認できる。ただし、図 6 の AP-9-8-5-1 の例のように、例外的に想定される性能よりも高い性能がでていることもある。これは環境的な要因ではないかと考えている。

図 7 にレイヤ 3 メッシュネットワークの帯域測定結果を示す。レイヤ 3 メッシュネット

ワークの測定では、レイヤ2の場合と異なりクライアントノードは利用していない。メッシュルータ自体 iperf を実行しているため、レイヤ2の場合と若干環境が異なる。具体的には AP-1 と他のアクセスポイントの間で iperf を実行している。図中の UP はメッシュの末端で iperf クライアントを、AP-1 で iperf サーバを実行した場合の値、DOWN はに対して iperf に対してそれぞれ図からわかる通り、レイヤ2で用いた技術と比較して、ホップ数が増えた場合の帯域の現象度合いが急激であることがわかる。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計3件)

- ① 森久和昭, 妙中雄三, 檜原茂, 山口英. 無線 LAN アクセスポイントにおける要求品質を満たしたエリア検出のための品質指標の調査. 電子情報通信学会技術研究報告, MoMuC2010-18, pp. 1-6, 北海道大学 工学部, 2010年7月.
- ② 妙中雄三, 勝間田賀章. 無線メッシュルータ試作機のフィールド実験の報告. 電子情報通信学会 2012 総合大会, B-7-62, 岡山大学, 2012年3月.
- ③ 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5月.

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