

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330115

研究課題名(和文)階層間の影響を考慮した無線メッシュネットワーク技術の開発

研究課題名(英文)Development of WiFi Mesh Network technology considering multi-layer parameter

研究代表者

植原 啓介 (UEHARA, Keisuke)

慶應義塾大学・環境情報学部(藤沢)・准教授

研究者番号：30286629

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：イベントネットワークや災害時の避難所などでは、簡易に無線ネットワークを敷設することが期待されている。しかし、現在のメッシュネットワークは専門家なしに敷設することは難しい。本研究の目的は、簡単に無線メッシュネットワークを敷設するためのシステムを開発することである。特に階層の協調を重要視している。階層間のパラメータ調整はパフォーマンスの向上に必要不可欠である。本研究では、物理層からネットワーク層までのパラメータを考慮し、誰もが高性能なメッシュネットワークを構築できるシステムを提案した。

研究成果の概要(英文)：At an event network, an evacuation shelter of disaster and so on, it is needed to develop temporary network. However, it is difficult to build current mesh network technology without specialists. The purpose of this research is to develop a system which build mesh network easily. The important point is that the parameters must be adjusted among layers. Without this, the performance will be very bad. In this research, I have proposed a system which uses the layer 1-3 parameters to establish mesh network.

研究分野：コンピュータネットワーク

キーワード：メッシュネットワーク WiFi アドホックネットワーク

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 言うまでもなく、インターネットへの接続性は、生活において必要不可欠なものとなっている。それは、イベント時や災害時の避難所などにおいても例外ではない。しかし、イベント時や災害時の避難所のような場所において、仮想的にネットワークを敷設するには様々な困難があるのが現状であった。

(2) イベント時や災害時の避難所のような場所においては、メッシュネットワークと呼ばれる無線 LAN のアクセスポイント (AP) を無線でジュージュつなぎにする技術に期待が寄せられている。本技術を用いることによって、無線 LAN アクセスポイントをあちこちに設置することによって、自動的にそのアクセスポイント同士が無線で接続され、ネットワークを自動的に形成する。しかし、実際にはその敷設にはある程度専門的な知識が必要とされていた。

(3) また、多くの研究は、物理層 (無線通信部分)、データリンク層 (アクセスポイントと端末の間の通信プロトコル)、ネットワーク層 (経路制御を含むプロトコル) のそれぞれの階層での通信効率を上げることを目的としており、階層間の協調が不十分であった。

### 2. 研究の目的

(1) 本研究では物理層からネットワーク層までを考慮した、実用に耐えうる無線メッシュネットワーク技術を構築することを目的とした。

(2) 無線メッシュネットワークは、無線マルチホップネットワークの中の1つのカテゴリで、APの高い移動性をあまり考慮していない代わりに、安定した通信をエンドノードに提供することに注力した分野である。このため同じく無線マルチホップネットワークの分野の1つである Mobile Ad-hoc NETwork (MANET) などと比べると、時間をかけて物理層やデータリンク層の設定を追い込むことができる。このような利点を活かし、背景で述べたような環境下で、安定した通信を実現することを目的とする。

### 3. 研究の方法

(1) まずは、無線メッシュネットワークを構築する上で必要となる基礎データを収集した。無線通信は、アンテナの配置や通信チャンネルの配置等によりその性能が大きく変化する。このため、基礎データの収集として、バックボーンネットワークを形成する AP のアンテナの配置とチャンネルの位置による、通信性能の違いを明らかにした。

(2) 新たな無線 LAN 規格 (IEEE802.11n) の普及により、データリンク層のパラメータが

複雑化したため、SNR (シグナルとノイズの比) とそれらのパラメータの関係を明らかにした。

(3) 上記 2 つの基礎調査結果を考慮した、チャンネル割当アルゴリズムを開発した。

(4) 多くのメッシュネットワークでは MANET 向けの通信プロトコルが使われているが、MANET 向けの通信プロトコルはオーバーヘッドが大きいため、通常の経路制御プロトコルを利用したメッシュネットワーク構築システムを開発した。

### 4. 研究成果

(1) まずは、無線メッシュネットワークを構築する上で必要となる基礎データを実験により収集した。実験では、図 1 のような配置でアクセスポイントを配置し、「仮想的な 1 台のアクセスポイント」における有線で接続された 2 つの AP 間距離 (アンテナ間の距離) を変化させた。無線 LAN 機器としては 5GHz 帯のものを使用した。また、無線区間のチャンネルを、片方を 36 チャンネルと 40 チャンネルに固定 (チャンネルボンディングにより、2 つのチャンネルを使って高速通信ができるように設定した) した上で、もう片方を (a) 36/40 チャンネル、(b) 44/48 チャンネル、(c) 52/56 チャンネル、(d) 100/104 チャンネルと変化させた。ここでチャンネルは 4 の倍数のものだけを使用することができる。つまり上記の設定は、(a) 同一チャンネルを使ったとき、(b) 隣接するチャンネルを使ったとき、(c) 少し離れたチャンネルを使ったとき、(d) 十分離れたチャンネルを使ったとき、となる。

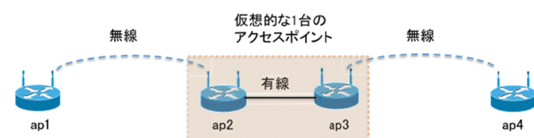
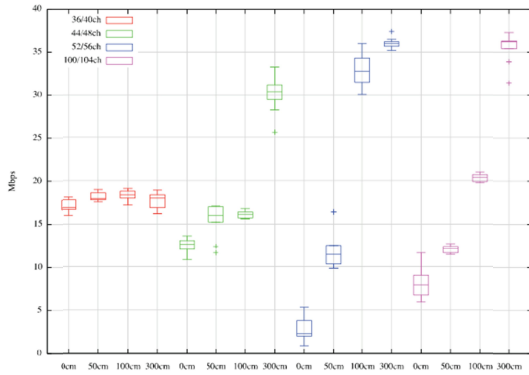


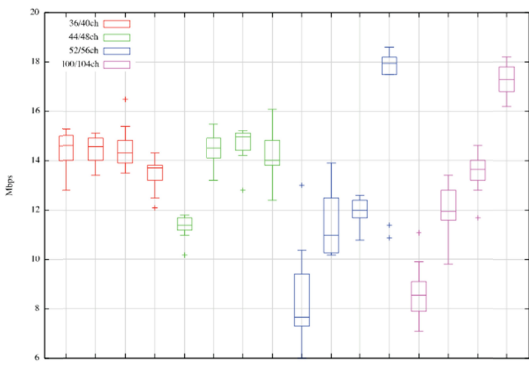
図 1. アクセスポイントの配置

図 2 に計測結果を示す。本計測結果では、同一チャンネルで通信を行っている場合は、最大通信速度の半分程度の通信速度が得られている。これは、同じチャンネルを使っているため 1 つの通信チャンネルを 2 つの無線区間で分け合って利用していることが原因と考えられ、理論通りの結果となる。しかし一方で、52/56 チャンネルや 100/104 チャンネルで通信をしている場合には、アンテナ間の距離が近いうちに著しい通信速度の低下が見られた。これは、チャンネルは十分離れているため、本来であれば TCP においては 35Mbps 程度の通信ができるはずである。しかし、互いの通信がノイズとなり、データリンク層による送信・再送信の仕組みがうまく働かないためアンテナ間の距離が近い場合には感度抑制がおき、本来の性能がでなかったものと考えられ

る。一方で、アンテナ間の距離が十分に取れる場合には、理論通り 35Mbps 程度の通信速度を確保できることがわかった。



(a) TCP

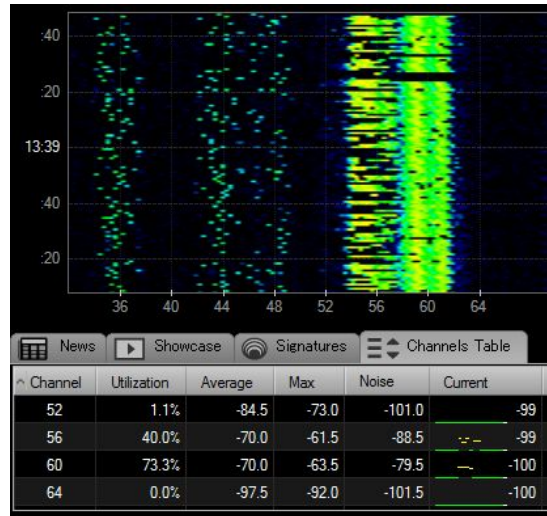


(b) UDP

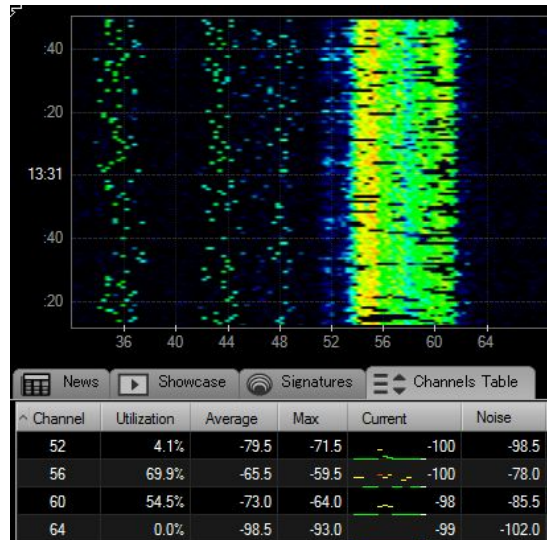
図 2. バックホールリンクの通信速度

(2) また、スペクトラムアナライザを用いてアンテナ間の距離が近いときと遠いときで、電波の送信状況がどのように異なるのかについて計測をおこなった。2つの無線区間を 56 チャンネルと 60 チャンネルに設定したとき、つまり隣接するチャンネルで通信を行ったときの、アンテナ間の距離を 30cm としたときと 300cm としたときの結果を図 3 に示す。

この結果より、アンテナ間距離が 30cm の場合は、片方の無線区間で電波があまり出ていないことが見て取れる。これは、片方の区間がもう片方の区間をノイズとして捉え、電波の送信を抑制しているためと考えられる。



(a) アンテナ間距離が 30cm の場合



(b) アンテナ間距離が 300cm の場合

図 3. 電波の送信状況

(3) 次に新たな無線 LAN 規格である IEEE802.11n を使ったパラメータと通信速度の関係について調査をおこなった。IEEE802.11n には Modulation and Coding Scheme (MCS) と呼ばれるパラメータがあり、SNR によって適切な通信速度(変調)が選ばれるような仕組みとなっている。逆に言うと、MCS を任意に変化させることによって、通信速度を犠牲にはするものの、到達距離を伸ばしたり、周囲のノイズに強い安定したネットワークを構成することが可能となる。この関係を明らかにするため、MCS と通信速度の関係を実験により調査した。実験では、同軸ケーブルを使った有線接続で無線部分を接続し、その間にシグナル・ジェネレータからノイズを発生させ、通信速度を計測した。計測結果を図 4 に示す。

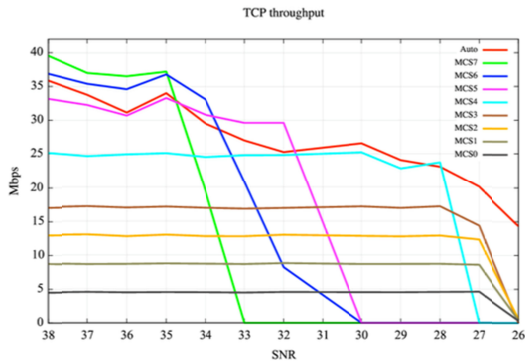


図 4. MCS と通信速度

結果では、SNR が高いうちは MCS が高いほうが高い通信速度が得られているが、その場合は SNR の悪化により急速に通信速度が低下することが見て取れた。逆に、MCS を 4 程度に設定しておけば 27dB 程度の SNR までは安定して通信できることがわかった。更に、これはチップセットにも寄るところではあるが、Auto 設定でも十分に SNR に追従して MCS が変化し、SNR に対して十分に良い性能で通信が可能であることがわかった。

(4) 以上のような実験結果をもとに、MCS は Auto 設定でよく、一方でアンテナの物理的な距離とチャンネルについては明確な関係があることがわかった。アンテナ間の距離については実際のプロダクトでは、その形状によって制約が生まれるため、実際にはチャンネルの選定が大きな役割を示すことが明らかとなった。また、あまりにも近接した AP 同士は、片方を除外することによって性能低下を軽減できる可能性があることも明らかとなった。このことを鑑み、本研究ではチャンネル選定に下記のような戦略をとることとした。すなわち、1) RSSI を計測して AP 同士が近接していることがわかった場合は片方の AP をメッシュネットワークから除外する、2) 予め利用する無線チャンネルをチャンネルが隣接しないように選択しておいてその中からチャンネルを割り当てる、3) 始めに同一のチャンネルでネットワークポロジを構成してその経路に応じてチャンネルを改めて割り振る。こうすることによって、無線の性能を低下させることなく、メッシュネットワークを構築することが可能となる。

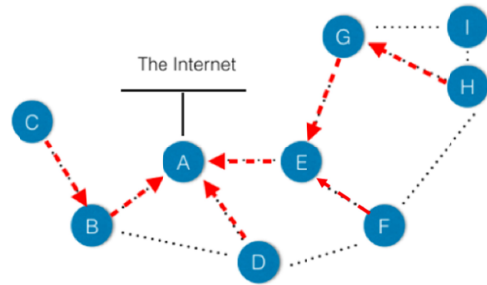


図 5. 構成例

例えば、図 5 のような物理配置があった場合、I と H は近接しているため、まずは、I を AP として除外する。その後、経路制御プロトコルによって赤い点線で示されたような経路を構築し、インターネット接続ノードである A からチャンネルの割り当てを始める。チャンネルを割り当てる場合、A を根とした木を構築し、その枝でチャンネルを割り当てる幅優先アルゴリズムを、深さでチャンネルを割り当てる深さ優先アルゴリズムの 2 つを比較した。シミュレーションによるランダムに AP を配置した場合の 10 回の試行結果の平均した結果を図 6 に示す。

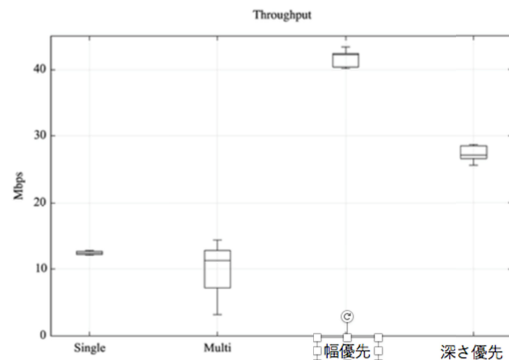


図 6. チャンネル割り当てアルゴリズムの比較

この結果からわかるように、深さ優先アルゴリズムに比べ、幅優先アルゴリズムの方が平均的によい性能を示すことがわかった。

(5) 結論として、性能のよい無線メッシュネットワークを簡単に構成するためには、無線チャンネルの割り当てと物理的な配置が重要であり、これをうまく自動で設定することによって、簡単に性能の良い無線メッシュネットワークを構築できることが明らかになった。

## 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 0 件)

特になし

〔学会発表〕(計1件)

木本瑞希、植原啓介、村井純、”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の報  
告”、Internet Conference 2014、2014  
年11月4日(査読あり)(アステールプ  
ラザ(広島県 広島市))

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

特になし

〔その他〕

特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

植原 啓介 (UEHARA, Keisuke)

慶應義塾大学・環境情報学部・准教授

研究者番号：30286629