

屋内環境におけるシングルホップ通信とマルチホップ通信の実測による比較検証

小寺 志保<sup>†</sup> 中川 翔<sup>†</sup> 西田 昇平<sup>†</sup> 猿渡 俊介<sup>†</sup> 渡辺 尚<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> 静岡大学情報学部 <sup>‡</sup> 静岡大学創造科学技術大学院

1 はじめに

無線通信の高速化が求められている中、通信距離が長くなった場合の電波の減衰を抑えるために、マルチホップ通信で無線通信を行う方法が着目されている。文献 [1] では、2.4GHz 帯での通信において伝搬損失が大きい環境下で、マルチホップ通信で通信した方が高速に通信できることが確認された。本稿では、文献 [1] よりも高速かつ高周波数帯の無線通信環境を想定し、5GHz 帯でシングルホップ通信とマルチホップ通信を実機実験により比較検証する。

2 実験構成

ノート PC4 台を用いてアドホックネットワークを構築してシングルホップ通信とマルチホップ通信を比較した。ノート PC としては、Let's note CF-B11QWCCS を使用した。無線 LAN には USB2.0 用無線子機である BUFFALO の WLI-UC-AG300N を使用した。WLI-UC-AG300N は、IEEE 802.11b/g/n/a に対応している。OS は Ubuntu 12.04 LTS 3.2.0-24-generic-pae を用いた。

それぞれのノート PC には IP アドレスを固定的に割り当てた。以降それぞれのノート PC は PC1, PC2, PC3, PC4 の略称で記載する。PC1 を送信機、PC2, 3 を中継機、PC4 を受信機として使用した。アドホックネットワークの構築には OLSR (Optimized Link State Routing) プロトコルを用いた [2]。OLSR プロトコルはアドホックネットワークにおけるプロアクティブ型のルーティングプロトコルである。通信する前に経路が確定しているため、経路構築のオーバーヘッド無しに計測することができる。OLSR プロトコルの実装としては、olsrd[3] を使用した。

スループットの計測には、iperf[4] を使用した。iperf は、LAN を含むさまざまなネットワークの性能を計測するベンチマークソフトである。2 台の PC 間のスループットとネットワーク遅延を計測することができる。1 つの計測につき 10 回の計測を行い、それぞれ結果の平均値を計測の結果とした。また、10 回の中に他の結果と明らかに異なる外れ値があった場合は外れ値を除外し、10 個の結果が得られるまで計測を行った。

3 シングルホップとマルチホップの比較

3.1 電波暗室で壁を迂回する通信の評価

図 1 に、電波暗室の壁を迂回するトポロジを示す。電波暗室のドアを開け、1 ホップの場合は PC1 から PC4 に、2 ホップの場合は PC1 から PC2' を経由して PC4 に、3 ホップの

場合には PC1 から PC2, PC3 を経由して PC4 にパケットを配送する。それぞれの PC の間隔はそれぞれ約 2 m である。

文献 [1] で示されている 2.4GHz 帯の計測では、電波の減衰の非常に大きい電波暗室の壁を迂回するマルチホップ通信 (図 1 の PC1 → PC2' → PC4 など) が、電波暗室の壁を隔てたシングルホップ通信 (図 1 の PC1 → PC4) よりも約 2 倍のスループットが得られた。5GHz 帯でも 2.4GHz 帯と同様にマルチホップ通信の方がシングルホップ通信よりも高いスループットを実現できるかどうかを確認するために、電波暗室の壁を迂回する通信の評価を行った。

図 2 に壁を迂回する場合の TCP スループットを示す。図 2 から、1 ホップが 58.3Mbps と、最もスループットが高くなっていることがわかる。2 ホップでは 47.4Mbps、3 ホップでは 22.7Mbps と、ホップ数が増えるたびにスループットが低下している。文献 [1] で示されている 2.4GHz 帯での計測では、1 ホップでは 3.7Mbps、2 ホップでは 9.5Mbps、3 ホップでは 5.8Mbps であり、シングルホップ通信のスループットが最も低かった。

3.2 リンクごとの評価

文献 [1] での 2.4GHz 帯での計測と異なり、3.1 においてシングルホップの方がスループットが高いという結果が得られた原因を検証することを目的として、図 1 と同じ環境で、各リンクごとのスループットを計測した。2 ホップの通信のリンクとして、図 1 の PC1 から PC2' 間、PC2' から PC4 間のスループットを、3 ホップの通信のリンクとして、図 1 の PC1 から PC2 間、PC2 から PC3 間、PC3 から PC4 間のスループットをそれぞれ計測した。

図 3 に、各リンクごとの TCP スループットを示す。図 3 より、次の 2 つのことが分かる。

1 つ目は、PC1 から PC2 のリンクのスループットが他のリンクと比べて極端に低いことである。図 1 の計測トポロジを見て分かるように、PC1 から PC2 のリンクは扉が開いているものの依然として電波暗室の内部である。電波暗室という環境がスループットに影響していると予想される。

2 つ目は、それぞれのリンクでは高いスループットが出ていることである。例として 2 ホップの場合を検証する。2 ホップの通信では PC1 から PC2' を経由して PC4 へパケットが配送される。図 3 では、PC1 から PC2' のリンクは 150.7Mbps、PC2' から PC4 へは 125.1Mbps である。理想的には、2 ホップの通信では 2 つのリンクのスループットの平均の半分のスループットが出るため、約 69.0Mbps のスループットが出る

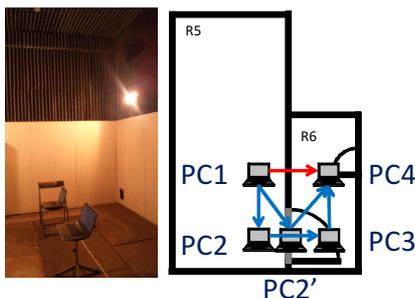


図 1: 電波暗室の写真・計測のトポロジ

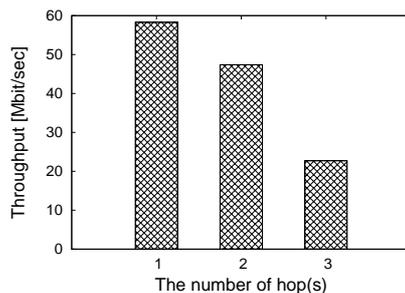


図 2: 電波暗室の壁を迂回する通信

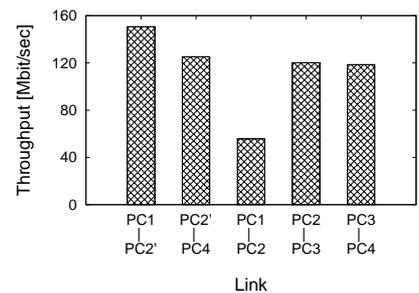


図 3: リンクごとのスループットの変化

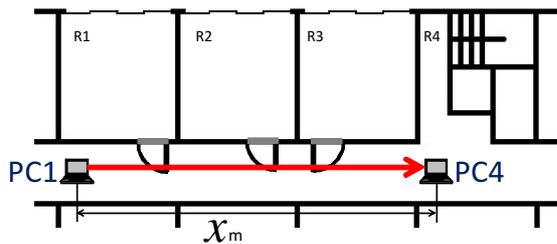


図 4: 廊下での計測のトポロジ

ことが望ましい。しかしながら、3.1 の評価では 2 ホップの通信では 47.4Mbps しか出ていない。同様に、3 ホップでは、図 3 の各リンクの計測結果からは 32.7Mbps 出ることが予想されるが、図 2 の実際の計測では 22.7Mbps しか出ていない。

### 3.3 廊下での計測結果との比較

3.2 の評価において、電波暗室内にある PC1 から PC2 間のスループットが低いという現象が見られた。スループットの低さが電波暗室という環境に依存するものであるかどうかを検証するために、静岡大学浜松キャンパス情報学部棟 1 号館 4 階の廊下と電波暗室での計測結果を比較した。図 4 に廊下での計測の状況を示す。図 4 内の  $x$  は 1, 3, 5, 7[m] であり、ノート PC を 2 台使用して、PC1 を固定し、PC4 を移動させた。電波暗室でも同様に、ノート PC を 2 台使用して、PC1 を固定し、PC4 を 1, 3, 5, 7[m] と移動させた。

図 5 に、電波暗室と廊下でのシングルホップの TCP スループットの比較を示す。図 5 から分かるように、電波暗室でのスループットの方が廊下でのスループットよりも小さい。具体的には、電波暗室では、1m では 104.8Mbps, 3m では 61.3Mbps, 5m では 50.6Mbps, 7m では 38.2Mbps であった。一方で、廊下でのスループットは、1m では 118.0Mbps, 3m では 119.3Mbps, 5m では 152.1Mbps, 7m では 120.4Mbps であった。電波暗室の方が廊下よりスループットが低くなった原因として、電波暗室では反射波が発生しないため、ビームフォーミング等の通信方式に影響を与えているのではないかと考えている。

### 3.4 電波暗室で壁を迂回する場合の packet loss rate

3.2 の評価において、それぞれのリンクでは高いスループットが出ているにも関わらず、マルチホップ通信時には想定よりも低いスループットが出るという現象が見られた。マルチホップ通信時のスループットの低下を検証するために、packet loss rate の検証を行った。3.1, 3.2, 3.3 では TCP で計測を行ったが、今回の実験では図 1 と同じ電波暗室で UDP を用いて計測した。UDP は TCP と異なり、パケットが送られなかった場合の再送を行わないため、どの程度パケットがロスしたのかを計測することができる。

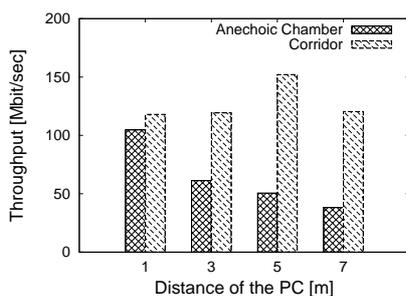


図 5: シングルホップでのスループット

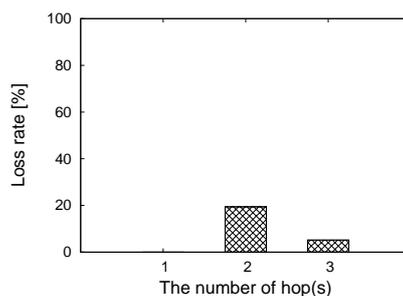


図 6: 5GHz 帯でのパケットロス率

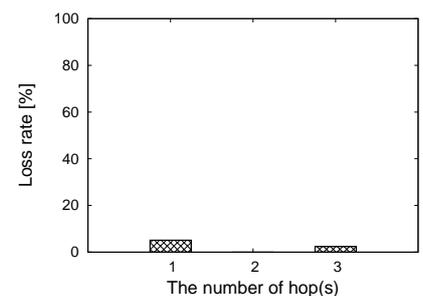


図 7: 2.4GHz 帯でのパケットロス率

図 6 に、5GHz 帯において UDP で計測した電波暗室の壁を迂回する通信の packet loss rate を示す。図 7 に、同じ環境で 2.4GHz 帯での packet loss rate を示す。図 6 から、5GHz 帯の通信では、マルチホップ通信の方がシングルホップ通信より packet loss rate が大きいことがわかる。具体的には、1 ホップの packet loss rate は 0.0 %、2 ホップは 19.4 %、3 ホップでは 5.2 % であった。一方で、図 7 から、2.4GHz 帯の通信では、シングルホップ通信の方がマルチホップ通信よりも packet loss rate が大きいことが分かる。具体的には、1 ホップの packet loss rate は 5.2 %、2 ホップは 0.0 %、3 ホップでは 2.4 % であった。

5GHz 帯の通信においてマルチホップ通信の方がシングルホップ通信よりも packet loss rate が大きかった原因として、ビームフォーミングによって deafness 問題 [5] が発生しているのではないかと考えている。ビームフォーミングとは、各アンテナから送信される電波の位相をずらすことで、受信側で合成される信号が最大になるようにする技術である。ビームフォーミングを用いることで、受信側での SNR が良くなるのと同時に、受信側以外への干渉は小さくなる。しかしながら、マルチホップ通信でビームフォーミングを用いた場合、送信端末が宛先端末の通信を検出できずに送信してしまうことで、衝突が発生しやすくなることが起こりうる。例えば、図 1 の電波暗室の環境での 2 ホップの通信時には、PC2' から PC4 への送信を PC1 が検出できずに PC2 へフレームを送信する状況が発生しうる。

## 4 おわりに

本稿では、5GHz 帯におけるシングルホップ通信とマルチホップ通信の比較実験を行った。その結果、2.4GHz 帯と比較して、5GHz 帯ではマルチホップ通信の packet loss rate が大きくなることがわかった。現在、5GHz 帯での計測の結果を踏まえて、マルチホップ通信における MAC プロトコルの検討を進めている。

### 参考文献

- [1] 中川 翔, 小寺 志保, 西田 昇平, 杉山 佑介, 猿渡 俊介, 渡辺 尚, “マルチホップ通信による無線 LAN 高速化の実験的評価,” 電子情報通信学会技術研究報告, アドホックネットワーク研究会, vol. 112, no. 405, AN2012-53, pp. 51-56, 2012.
- [2] T. Clausen, P. Jacquet, and Project Hipercom, “Optimized Link State Routing Protocol (OLSR),” IETF RFC3626, 2003.
- [3] “An Adhoc Wireless Mesh Routing Daemon,” <http://www.olsr.org/>.
- [4] “iperf,” <http://iperf.sourceforge.net/>.
- [5] R. R. Choudhury, X. Yang, R. Ramanathan, and N. H. Vaidya, “Using Directional Antennas for Medium Access Control in Ad Hoc Networks,” Proceedings of the 8th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'02), pp. 23-28, 2002.