

## 複数周波数帯域を用いたマルチホップ通信プロトコルについて

玉置 健太<sup>†</sup>    Ari Raptino H.<sup>‡</sup>    木谷 友哉<sup>‡</sup>    萬代 雅希<sup>§</sup>    渡辺 尚<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<sup>‡</sup>    上智大学 理工学部 情報理工学科<sup>§</sup>

### 1 背景・目的

近年、無線マルチホップ通信に高送信レートに関する研究が多く行われている。無線通信では、送信レートを高くするには大きな受信電力が必要になる。受信電力は周波数により減衰が異なり、距離が長くなると減衰が大きくなる。これまでに距離を考慮したマルチホップネットワークに関しては研究 [1] がある。[1] ではリレーノードを用いることで電波の距離による減衰を抑え、高レートで通信することでスループットの向上を目指している。

本研究では、距離だけではなく周波数によって電波の減衰が異なることに注目し、高送信レートで短距離の高周波帯と低送信レートで長距離の低周波帯の二つの周波数帯域を利用してデータ衝突を避けつつ通信するマルチホップネットワークの通信プロトコルを提案する。この提案方式により、ネットワーク全体のスループットの向上を目指す。

### 2 周波数帯域による送信レート・送信距離

5GHz 帯と 2.4GHz 帯を用いた通信について、スループットに関する検討する。受信電力が高いと送信レートが大きくなる。802.11a(5GHz 帯)および802.11b(2.4GHz 帯)において、送信電力 15dBm で、1024bytes でパケットを送信した際に、Packet Error Rate が 10% 以下となる受信感度は 802.11a で -69dBm, 802.11b で -83dBm である [2][3]。

$$P_R = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 G_T G_R P_T \quad (1)$$

この受信感度で受信できる距離を式 (1) に示すフリスの伝達公式を用いて計算すると、802.11a の 54Mbps では 34m, 802.11b の 11Mbps では 272m であった。つまり、264m の距離を通信する場合には、802.11b では 1 ホップ, 802.11a では 8 ホップが必要である。

次に、802.11a と 802.11b のホップ数を考慮したスループットの比較を行うために、直線トポロジで 2.4GHz 帯の 1 ホップと 5GHz 帯の 8 ホップでのスループットを

Qualnet[3] により評価した (図 1)。横軸はパケット発生間隔 (msec)、縦軸はスループット (kbps) である。図 1

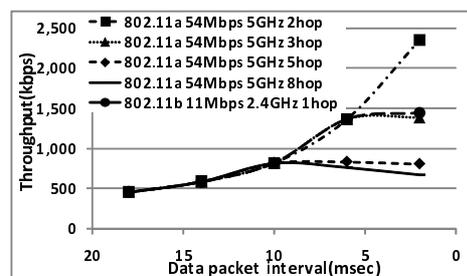


図 1: 基礎評価

より、802.11a(5GHz) の 2 ホップはパケット送信間隔が短い領域で一番高いスループットを示した。これはホップ数が少ないため、送受信によるオーバーヘッドが小さく、高い送信レートで通信できたためである。パケット送信間隔が短い領域で二番目に高いスループットを示したのは 802.11b(2.4GHz) の 1 ホップであった。これは低レートの 1 ホップの送信に比べ、3 ホップ以上の送受信のオーバーヘッドが大きいためである。5GHz の 2 ホップまでは 2.4GHz の 1 ホップよりスループットが高い。したがって、送信元と宛先が 802.11a の 2 ホップ以下の距離にある場合は、802.11a を利用し、802.11a の 3 ホップ以上の距離にある場合は、802.11b を利用したほうが、エンドツーエンドのスループットが高い。

### 3 提案方式

無線通信ではデータ衝突を避けるために、キャリアセンス (CS) し、キャリアを検出した場合、端末は通信規制する。異なる周波数帯域では衝突が起きないため、複数周波数帯域を利用する通信方式を提案する。各端末は送受信機を 2 ペア持っており、2.4GHz 帯と 5GHz 帯を同時に通信できると仮定する。提案方式では各周波数帯域ごとに CS を判定し、それぞれの周波数帯域ごとにルーチングテーブルを所持する。各周波数帯域のルーチングは DSR[4] に従い、利用する周波数帯を選択する。提案方式は経路取得フェーズ、優先度変更フェーズ、データ送信フェーズに分けられる。経路取得フェーズでは RREQ/RREP パケットにより、各帯域の経路、ホップ数を取得する。優先度決定フェーズで

Multi-hop Communication Protocol Using Multi Frequency Band  
<sup>†</sup>Kenta Tamaki, <sup>‡</sup>Ari Raptino H., <sup>‡</sup>Tomoya Kitani, <sup>§</sup>Masaki Bandai and <sup>‡</sup>Takashi Watanabe

<sup>†</sup>Faculty of Informatics, Shizuoka University, <sup>‡</sup>Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University, <sup>§</sup>Faculty of Science and Technology, Sophia University

は2章より、5GHzの3ホップ以上のホップ数の通信は2.4GHz帯のスループットが良いことがわかっているため、5GHz帯のホップ数を参照し、3ホップ以上であれば2.4GHz帯を高優先度帯域、そうでないならば、5GHz帯を高優先度帯域とする。データ送信フェーズ(図3)では高優先度のルーチングテーブルを参照する。そして、CSをし、キャリア未検出ならば送信し、キャリア検出されれば、低優先度の帯域のルーチングテーブルを参照後、CSをする。このときキャリア未検出ならば送信し、検出された場合は高優先度の周波数帯域でバックオフ(BO)する。

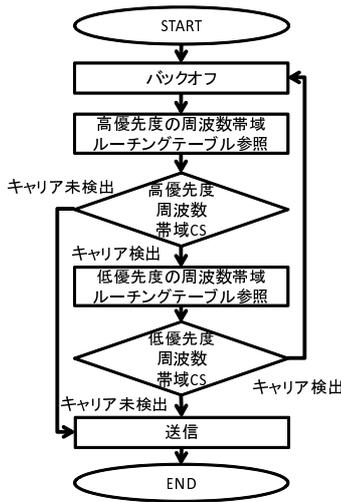


図2: データ送信フェーズアルゴリズム

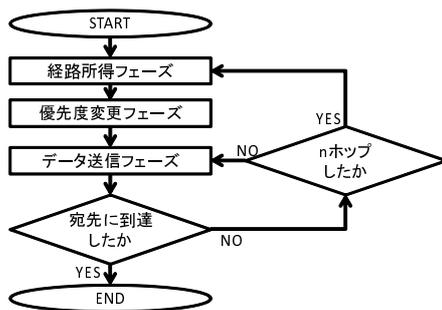


図3: フェーズの遷移アルゴリズム

フェーズの遷移を図2示す。各フェーズは経路取得フェーズ、優先度変更フェーズ、データ送信フェーズと遷移する。データ送信フェーズの後、宛先に到達していなければ、 $n$ ホップごとに経路取得フェーズへと戻る。そうでなければ、データ送信フェーズへ遷移する。 $n$ は1から宛先までのホップ数までの範囲の整数で決定される。 $n$ が少ない場合、スループットの高い帯域を利用できる可能性が高くなるが、RREQ/RREPや

CSによるオーバーヘッドが大きくなる。 $n$ が多い場合、RREQ/RREPやCSによるオーバーヘッドが小さくなるが、スループットの高い帯域を利用できる可能性が低くなる。

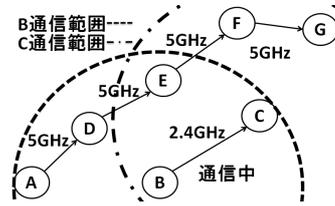


図4: 提案方式

図4を例に動作を説明する。 $n$ は宛先までの5GHz帯のホップ数とする。AはBを経由してGへ送信したいが、BC間で2.4GHz帯で通信中のため、他の端末はNAVにより通信できない。

1. Aは送信するデータがある場合、2.4GHz帯のルーチングテーブルを参照する。AはCSによりBへと送信できない。通常はBOするが、2.へと進む。
2. Aは5GHz帯のルーチングテーブルを参照する。AはCSし、キャリア未検出ならば、Dへ送信する。キャリアが検出されれば、Aは2.4GHz帯でBOする。
3. 5GHz帯でDは受信後、CSをし、同帯域を使いEへと送る。EはDと同様にF、Gへと送信する。

#### 4 まとめと今後の課題

本稿では、周波数帯域の違いによる性質の違いについて、2.4GHz帯と5GHz帯のホップ数を変化させ、スループットの比較をした。また、性質から異なる帯域で衝突を避けつつ並列して通信をする方式を提案した。今後、提案方式について計算機シミュレーションにより評価し、経路取得フェーズへ遷移するホップ数 $n$ について検討する。

#### 参考文献

[1] L. Marie Feeney, B. Cetin, D. Hollos, M. Kubisch, S. Mengesha and H. Karl, "Multi-rate Relaying for Performance Improvement in IEEE 802.11 WLANs," WWIC 2007, pp201-212, May 23-25, 2007.  
 [2] M. Gast. 渡辺 尚 (監訳), 小野 良司 (訳): 802.11 無線ネットワーク管理 第2版, (株)オライリー・ジャパン (2006).  
 [3] QualNet Developer 4.5, Scalable Network Technologies, Inc., <http://www.scalable-networks.com>.  
 [4] D. B. Johnson, D. A. Maltz, and Y-C. Hu. "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)," draft-ietf-manet-dsr-09.txt, April 2003.