

## 輻輳時における MAC レイヤ制御用フレーム割合の計測評価 Measurement Study on Ratio of MAC Control Frames in Congested Wireless LAN

宮崎 亮汰  
Ryota Miyazaki

村瀬 勉  
Tutomu Murase

名古屋大学  
Nagoya University

### 1. はじめに

無線 LAN では、利用者が多くなると、それらの利用者で帯域を共有するために、輻輳が発生し、スループットなどの品質が低下することが理論的な解析や実験などで示されている。さらに、輻輳の状況は、少数の端末が過負荷をかける場合と、多数の端末により過負荷になっている場合で異なることも明らかになっている。過負荷における研究の多くは、端末はデータフレームのみを送るという前提(あるいは設定)で評価を行っているが、実際の無線 LAN 利用に当たっては、無線 LAN の制御フレームなどが品質に大きな影響を及ぼしていると考えられる[1]。本稿では、[1]で述べられている実際のシステムで新たな計測を行い、制御フレームについてより詳細な分析を行ったので報告する。

### 2. 制御フレームとその送信頻度

制御フレームの定義について述べ、それが頻繁に送出される理由について述べる。

通常、アプリケーションなどが無線 LAN 通信を行う場合には、アプリが送信したい情報(データ)を載せたデータフレームが多く送出され、それ以外のフレームが送出される割合は、小さい。ここでは、それ以外のフレームのうち、MAC レイヤの制御に関わるフレームを制御フレームと呼ぶ。便宜上、ACK フレームと接続関連フレームなどは制御フレームから除外し、制御フレームは、ビーコン、アクセスポイント(AP)探索フレームおよびパワーセーブ制御フレームとする。接続関連フレームなどは、接続時に一度だけ交換されるものであるため、ハンドオーバを繰り返すような環境でない限り、送出頻度は小さい。

一方、AP 探索フレームは、場合により送出頻度が大きくなり得る。AP 探索フレームは、AP を発見するため、あるいは良い AP を発見するために必要になる。AP を発見する方法として、AP が発するビーコンを受信する方法もあるが、探索速度を優先する場合とステルス AP のように SSID を広告しない AP がある場合には、AP 探索フレームを用いる。AP 探索フレームは、probe request と probe response の応答ペアから成る。各端末は、ある SSID を記載した probe request をブロードキャストし、もし、該当の SSID を持つ AP(ステルス AP も含めて)がこれを受信すれば、probe response をユニキャストで返して、リクエストを行った端末にその存在を知らしめる(この後、必要に応じて、認証を含めた接続処理が行われる)。このとき、端末は、いつ、どこで、どの AP が近くにあるかを知ら

ない場合が多いため、的確な SSID を選ぶことが難しい。そこで、端末の戦略は次の 2 つの組み合わせになる。(1) 端末が記憶している  $N1$  個のステルス SSID をすべて試してみる。(2) どの SSID にもマッチするワイルドカード SSID を用いる。

1 回の AP 探索でチャンネルあたりに飛び交うフレーム数を概算する。端末の電波が届く範囲に(該当のチャンネルの) $N2 (< N1)$  個のステルス AP と  $N3$  個の通常の AP が存在する場合、(1)においては、 $N1$  個の probe request に対して  $N2$  個の probe response が飛び交う。(2)においては、1 個の probe request に対して  $N3$  個の probe response が飛び交う。従って、端末 1 台あたり、1 チャンネルあたり、 $1 + N1 + N2 + N3$  個の AP 探索フレームが飛び交う。

端末の AP 探索の頻度は、端末依存であるが、数秒～数十秒に 1 回、行っているようである。接続時のみならず、既に接続し、通信中にも関わらず、探索が発生するのは、より性能(品質)の良いチャンネルを使おうとの目的だと思われる。多くの端末が一カ所に集中し、さらに、テザリングやポケット WiFi などの AP が集まることで、AP 探索頻度のみならず、前記プローブフレームの個数が増加する。

パワーセーブ制御フレームは、端末からのみ發送され、ヘッダのみのフレームである。このフレームは、パワーセーブを行う実装メカニズムおよび通信するデータ特性に応じて、端末毎の差異がある。

### 3. 輻輳時の無線 LAN トラヒック

多くの端末により輻輳が引き起こされるとき通信状況についての仮説[1]について簡単に述べる。

仮説[1]においては、上下トラヒックの不公平性と TCP 通信における TCP 輻輳ウィンドウ制御により、各端末の受信スループットは非常に小さくなってしまふ[2][3]。そのため、自動的に(TCP 輻輳制御が意図するように)輻輳は解消されていき、適当なスループットで平衡すると考えられる。

一方、定期的な AP 探索に関するプローブフレームのやりとりについては、バッファオーバーフローとは無関係である。さらに、制御フレームの送信は、データフレームの送信よりも優先して行われる可能性が高いと思われる。すなわち、輻輳度合いに関係なく、制御フレームは飛び交うと考えられる。この結果、AP 探索フレームやビーコンフレームは、輻輳度合いが大きくなるほど、相対的に多くなるものと思われる。

この仮説を調べるために、実際の無線 LAN の通信を観測し、また、AP 数も調査した。

#### 4. 計測対象

今回も前回と同一条件で計測を行った。場所は、名古屋大学内の「南部生協2階の学食」(350席以上の広さ)。お昼時には、ガラス張りの学食の外に行列する人を含めて、500人弱が目視で計測された。授業の有る平日である2019年6月17~20日の11:40~13:20に、パケットキャプチャを約10分おきに5分間行なった。今回は、学食利用者のほとんどを占める学生がメインで用いると想定される6chを主に計測した。多くの学生は、スマートフォンを用いて、大学が提供する学内共用無線LANを用いている。この、ほとんどの学生が利用する学内共用無線LANのAPは、該当フロアに2カ所あり、同じSSIDで6chと11chで運用されていた。また、近隣の建物には、講義室や事務室・研究室が存在しているが、ビーコンから推定して、この6chで競合するAPは、仮想APも含めて30台程度観測された。なお、負荷のピーク時は、12:10ごろと思われ、この時間付近は、メール(POP3)、LINE、webの画像などは、ほとんど送受信できない状況であった。

#### 5. 混雑時間帯と制御フレーム割合の関係

非混雑時刻から混雑時刻に遷移する時間帯の制御フレームの全体のフレームに対する割合についてフレーム数を解析した。割合は、AP毎に算出したが、以下では6chにおける学内共用無線LANのトラヒック分析結果について述べる。

図1において、横軸は計測した時刻、左の縦軸は、Probe Request, Probe Response, Beacon, null function(パワーセーブフレーム)の4種類の制御フレームとそれらの合計を、全体のフレーム数に対する割合で示している。また右軸には、異なる端末数(MACアドレス数)を示しており、接続人数の目安を示している。計測した3日間とも同様の傾向であり、6月18日のデータを用いている。

図1より、12:00ごろから端末数が増加するとともに、3種類の制御フレームの割合が増加している。また、昼食時間帯前の11:50以前や昼食時間終了時の13:00付近では割合が低い。すなわち、仮設通り、端末数が多くなるほど、全パケット中に存在する制御フレーム数の割合が増加しており、最大で30%を超えるという結果を得た。

また、図2に示すように、AP数は、常時25台以上観測された。多少の変化は、利用者が持ち込むテザリングやモバイルWiFi機器だと推定される。AP数は、probe response数に大きく関わってくるため、この多さが、制御フレーム割合の最高値を押し上げる原因になっていると思われる。

また、パワーセーブ制御フレームも一定の割合で存在しており、5%弱ではあるが、このオーバーヘッドも輻輳に貢献しているといえる。

これらの結果から、混雑時には、MAC制御フレームなどのオーバーヘッドの割合が大きくなることが確認できた。オーバーヘッド割合を抑制するためには、テ

ザリングの抑制、仮想AP機能の抑制(あるいは仮想AP数の抑制)、などの実施によるbeaconとprobeの抑制が望まれる。

今後、beacon送信間隔を短くすることで、probe request頻度を低下させられるかなど、効果を試してみたい。

#### 6. まとめ

無線LANにおけるMACレイヤの制御フレーム(beacon, probe request/response)の実測を行い、端末増加による輻輳時にこれらのフレームの割合が相対的に大きくなることで、輻輳時の通信品質低下を助長していることを再度確認した。人数がピークの時に最大で、30%を超える制御フレームが飛び交っていた。制御フレームの抑制のための方策実施が必要であろう。

#### 謝辞

名古屋大学 安食拓海氏には、実験と解析で支援を頂き、深謝いたします。

#### 参考文献

- [1] 戸田佳成, 村瀬勉, “輻輳時におけるMACレイヤ制御フレーム割合の計測評価,” 2019年電子情報通信学会総大会, BS-5-5, Mar. 2019.
- [2] S. Pilosof, R. Ramjee, Y. Shavitt, and P. Sinha, “Understanding TCP fairness over Wireless LAN,” in *Proc. IEEE INFOCOM 2003*, April 2003.
- [3] Yumi Hirano, Tutomu Murase, “Traffic Control of Uplink TCP Flows with Monitoring Downlink Buffer for Throughput Fairness over IEEE 802.11 Wireless LANs,” *IEEE (PIMRC)*, 2009.

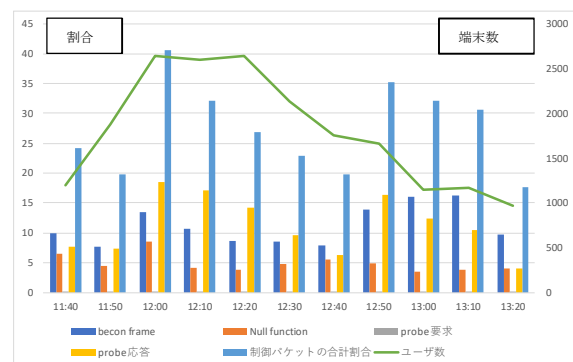


図1 制御フレーム割合と端末数の時刻変化

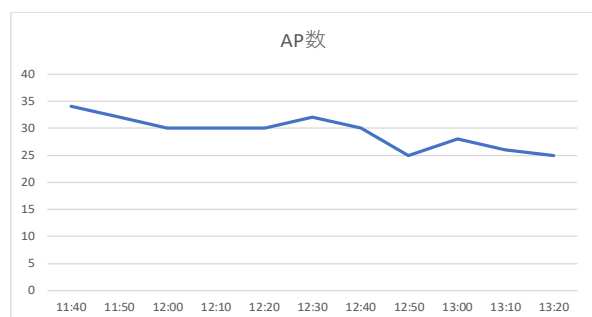


図2 AP数の時刻変化