

IEEE 802.11n フレームアグリゲーションを用いた 動画音声端末の収容台数向上手法

若月 峻¹ 阪田 史郎¹

概要: IEEE 802.11n を利用したテレビ会議や音声通信といったマルチメディア通信の需要が高まり, 単一アクセスポイント (AP) に動画・音声通信を行う複数台の端末が接続されることが考えられる. しかし, 単一の AP に対し, 高い QoS (Quality of Service) 要求を持つ動画・音声通信を行う端末の収容可能台数に関する研究は少ない. また, IEEE 802.11n にて導入されたフレームアグリゲーションが動画・音声通信に与える影響に関する研究も少ない. 本稿では, フレームアグリゲーション手法の 1 つである A-MPDU (MAC Protocol Data Unit Aggregation) の最大サイズと動画通信の関係について評価する. 次に, 通信時のエラー率によって, トラフィックの生成レートの調節, 伝送レートの調節, そしてフレームアグリゲーションを組み合わせることによる収容台数向上手法を提案する. 提案手法をシミュレーションによって評価することで, 有効性を示す.

Capacity Improvement of Voice and Video Traffic using IEEE 802.11n Frame Aggregation

SHUN WAKATSUKI¹ SHIRO SAKATA¹

1. はじめに

無線 LAN 規格 IEEE 802.11 は様々な環境において広く利用され, 普及が進んでいる. 近年ではテレビ会議や音声通話といったリアルタイムアプリケーションの需要が高まってきた. 従来規格である IEEE 802.11a/b/g[1] における非効率な部分を改善した IEEE 802.11n[2] が 2009 年に規格化された. IEEE 802.11n では高速化により, 最大伝送レート 600 Mbps を目標とする. IEEE 802.11n の物理層では, MIMO (Multiple Input Multiple Output) とチャネルボンディング (マルチバンド) が新たに導入された. MIMO は複数のアンテナを用いて高速化, 高信頼化を可能とする. チャネルボンディングでは, 従来の 20 MHz に加え, 新しく 40 MHz を利用することによりさらなる高速化が可能となった. 一方, MAC 層では 3 つの主な機能が導入された. 複数フレームを 1 つのフレームにまとめるフレームアグリゲーション, 複数フレーム受信後に 1 つの ACK をまとめて送信するブロック ACK, および双方向通信に

おけるオーバーヘッドを削減するリバースディレクションである.

無線 LAN におけるリアルタイムトラフィックの性能に関する研究については, VoIP (Voice over IP) トラフィックの収容台数に関する研究例があるが, IEEE 802.11b におけるもので, IEEE 802.11b は IEEE 802.11n の 1/10 以下の速度の無線 LAN である. IEEE 802.11n については, 許容遅延の制約が厳しい VoIP トラフィックのフレームアグリゲーションを扱ったものなどがある. また, Video トラフィックは許容遅延の制約が厳しいために A-MSDU を使用せず, A-MPDU のみを使用することが有効との研究もなされている. 著者らは [3] において, 動画音声端末の単一 AP に対する同時収容可能台数について評価した. しかし [3] では Video トラフィックの生成レートのみを BER (Bit Error Rate) に応じて調節を行い, 伝送レートは固定であった.

本稿では, Video および data トラフィック混在環境における最大 A-MPDU サイズの違いによる性能を評価する. 次に [3] における Video トラフィックの生成レート制御に

¹ 千葉大学大学院 融合科学研究科

加え、伝送レートを BER の値に応じて調節することによる更なる収容台数向上手法を提案する。そして、シミュレーションによって提案手法の有効性を示す。

2. IEEE 802.11n の MAC 層における主な拡張

IEEE 802.11n では MAC 層においてスループット向上のために様々な改善がされた。概要を下記に示す。[1][4]

2.1 フレームアグリゲーション

IFS(Inter Frame Space) などのオーバーヘッド、および衝突やバックオフタイムによる冗長性のある時間を削減するために A-MSDU および A-MPDU の 2 つのフレームアグリゲーション手法が導入された。

2.1.1 A-MSDU(MAC Service Data Unit Aggregation)

A-MSDU は IEEE 802.11e にて導入された AC(Access Category) において同じ AC の複数 MSDU を結合させる技術である。IEEE 802.11n における最大 A-MSDU サイズは 3839 byte もしくは 7935 byte に設定されている。受信側は 1 つの A-MSDU を受け取ると 1 つの ACK を返す。したがって、従来方式と比べて ACK のオーバーヘッド削減が可能である。

しかし、A-MSDU は受信側でエラーが発生した際に A-MSDU 全体を再送しなければならないという問題点がある。また、A-MSDU の送信条件は A-MSDU 送信バッファ内のデータサイズが最大サイズに達する、もしくは A-MSDU 送信バッファ内の最も古いデータが遅延時間の閾値を越えると送信される。バッファ待機時間があるため許容遅延の厳しいアプリケーションには A-MSDU の適用は難しいと考えられる。

2.1.2 A-MPDU(MAC Protocol Data Unit Aggregation)

MPDU は A-MSDU、もしくは MSDU に MAC ヘッダと FCS(Frame Check Sequence) が付加された後に生成される。MPDU を複数結合させたものが A-MPDU である。IEEE 802.11n では最大 A-MPDU サイズは 65535 byte と設定されている。A-MSDU では全ての MSDU が同じ MAC アドレス宛である必要がある。しかし、A-MPDU にはそのような制限はない。

A-MPDU は受信側でエラーが発生した際にブロック ACK および各 MPDU に付加された FCS を用いることによりエラーが発生した MPDU のみを再送することができる。したがって、送信エラーや衝突が多く発生する環境であっても有効であると考えられている。各 MPDU 受信成功の真偽はブロック ACK フレーム内のブロック ACK ビットマップというフィールドに反映され、送信元に通知される。また、A-MPDU において A-MSDU のようなバッファ

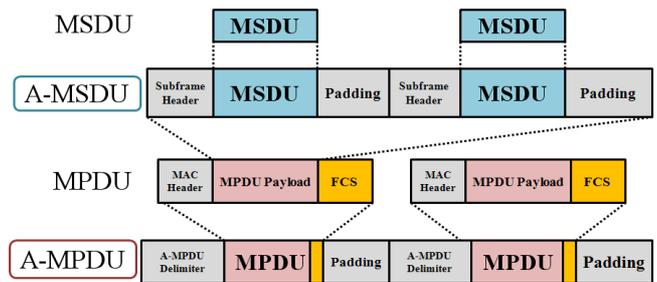


図 1 A-MSDU および A-MPDU の関係性

Fig. 1 Relationship of A-MPDU and A-MSDU

待機時間は設定されず、送信時にバッファ内に溜まっていたフレーム数によって A-MPDU のサイズは決定される。A-MSDU と A-MPDU の関係性を図 1 に示す。A-MSDU および A-MPDU の併用が可能である。

2.2 ブロック ACK

従来規格では 1 つのフレームを受け取る度に 1 つの ACK を返していた。IEEE 802.11n ではこの従来規格のオーバーヘッドを削減するためにブロック ACK を導入した。複数の MPDU を受信した際に個々の ACK をまとめ、1 つのブロック ACK を返す。A-MPDU を用いた時は正しく受信できなかった MPDU のみを再送するよう送信側に通知できる。したがって選択的再送が可能となり送信エラーの多い環境においては A-MSDU よりも A-MPDU がスループット向上に有効である。

3. 関連研究

[5] では、A-MSDU に MSDU レベルでの選択再送機能を付加し、さらにオーバーヘッドを削減したフレームアグリゲーション手法 mA-MSDU (minimized headers MSDU aggregation scheme) が提案された。[6] では、IEEE 802.11e の EDCA パラメータの最適化により VoIP 収容台数を向上する手法を提案している。この手法は物理層に IEEE 802.11b を使用している。IEEE 802.11b より高速である IEEE 802.11n を使用した性能評価が必要である。[6] では VoIP の収容台数についてのみ言及されている。[3] では本稿と同様に動画と音声の端末収容台数を評価し、Video トラフィックの生成レートを BER の値によって調節しているが伝送レートは固定されており、適切とは言えない。

[7] では IEEE802.11n にて採用されたフレームアグリゲーション手法である A-MPDU および A-MSDU が Video および VoIP トラフィックに与える影響について評価し、QoS を考慮したフレームアグリゲーションスケジューラを提案した。Video トラフィックには A-MPDU を使用し、A-MSDU は使用すべきでないと結論付けている。理由として A-MSDU はアグリゲーションを行うためにバッファ待機時間を設けているので、許容遅延制約の厳しいアプリ

ケーションには不向きのためである．一方，A-MPDU にはバッファ待ち時間は設けられていないのでリアルタイムトラフィックにも有効とされている．そのため，本稿においても Video トラフィックに A-MPDU のみを使用する．

4. A-MPDU サイズの性能評価

A-MPDU には最大サイズが設定されている．A-MPDU サイズとスループットおよび遅延時間の関係性を QualNet シミュレータを用いて評価する [3]．シナリオは 1 台のアクセスポイント (AP) に周囲に等間隔で円状に端末を配置し，簡単化のため端末から AP に向けてのみ送信する．端末は Video トラフィック送信端末および通常の Data トラフィック送信端末，各 10 台の計 20 台を想定する．各トラフィックは CBR (Constant Bit Rate) にて疑似的に実装する．トポロジ例を図 2 に示す．端末および AP は移動しないものとする．また，通信時のエラーは考慮していない．シミュレーション諸元を表 1 に示す．

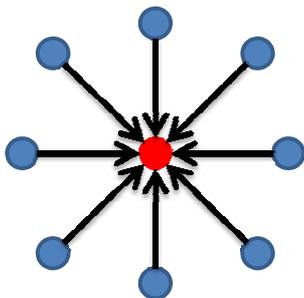


図 2 トポロジ
Fig. 2 Network topology

表 1 シミュレーション諸元
Table 1 Simulation parameters

シミュレータ	QualNet 5.1
プロトコル	IEEE 802.11n green-field
シミュレーション時間	20 s
Video トラフィック	2 Mbps(payload 1280 byte)
Data トラフィック	1 Mbps(payload 640 byte)
伝送レート	65 Mbps(MCSIndex 7)
ガードインターバル	800 ns
チャンネル幅	20 MHz
トラフィック開始時刻	0 ~ 1000 ms 間でランダム
端末-AP 間距離	10 m

本稿では MIMO は使用せずアンテナは 1*1 (SISO:Single Input Single Output) とする．MCSIndex (Modulation and Coding Scheme Index) とは 0 ~ 31 の数値によって空間ストリーム数，コーディングレートおよび変調方式を一括して決めるものである．MCSIndex, ガードインターバル (GI) およびチャンネル幅を決めることにより伝送レ

トが一意に決定する．フレームアグリゲーションは Video トラフィック, Data トラフィックともに A-MPDU のみを考慮する．通信はシミュレーション終了時刻まで行う．最大 A-MPDU サイズは 8, 16, 32, 64 Kbyte の 4 段階で評価する．評価項目は Video トラフィックおよび Data トラフィックそれぞれ 10 台の平均遅延および平均スループットである．図 3 に平均スループット, 図 4 に平均遅延時間を示す．

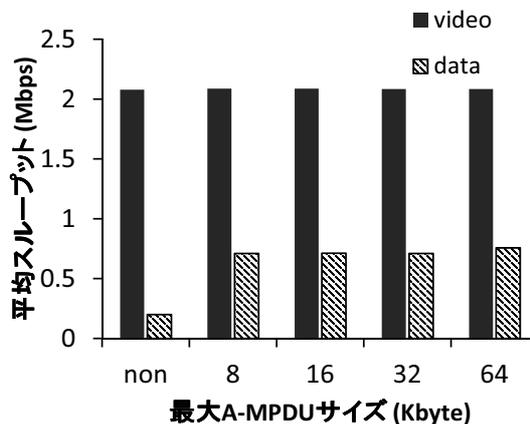


図 3 平均スループット
Fig. 3 Average throughput

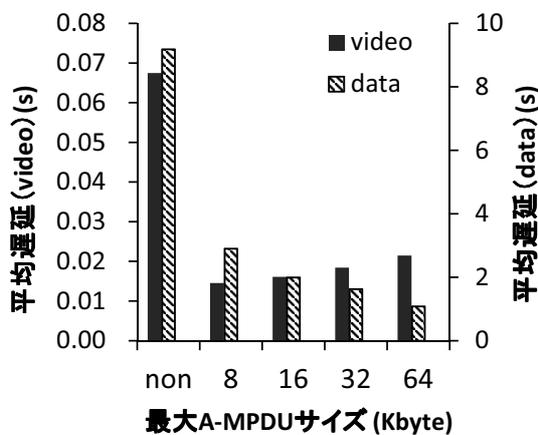


図 4 平均遅延時間
Fig. 4 Average End to End delay

A-MPDU サイズが増加した場合, Video トラフィックの平均スループットは変わらず, Data トラフィックの平均スループットはわずかに増加する．一方, Video トラフィックの平均遅延は増加し, Data トラフィックの平均遅延は減少する．Video トラフィックに関しては, アグリゲーションされたサブフレーム数は少ない．これは送信バッファ内にデータが入るとすぐに送信権を獲得し, バッファ内にデータが溜まりにくいいためである．

優先度の高い Video トラフィックのスループットが変化しないのは, 通信帯域に余裕があり, Data トラフィック

の送信が抑えられているためである。優先度の低い Data トラフィックは送信権が獲得しにくいいため、バッファ内に蓄積したより多くのデータをまとめて A-MPDU として送信できる。そのため、スループットが増加する。また、A-MPDU サイズが小さい場合は Data トラフィックの送信バッファ内のデータを単一 A-MPDU 内に収めることができず、A-MPDU を送信しても依然バッファ内に残るデータ量が多い。したがって、遅延時間は増加する。Video トラフィックの場合は Data トラフィックの 1 A-MPDU 当りのサイズが大きくなり、送信権獲得まで時間がかかる。そのため、わずかではあるが遅延時間は増加する。

5. 動画・音声混在環境における収容台数評価

5.1 混在環境におけるフレームアグリゲーションの影響

実際の環境を想定するとリアルタイムトラフィック通信が行われる際は音声通信および動画通信が混在することも考えられる。本稿では動画・音声トラフィックが混在した場合に、フレームアグリゲーションを用いることによる収容台数への影響を調べる。トポロジおよびシミュレーション諸元は 4. と同様であるが、VoIP トラフィックは 64 Kbps、ペイロードサイズ 160 byte、Video トラフィックは 1 Mbps、ペイロードサイズ 640 byte とする。BER は $1.0E-07$ で固定する。Video トラフィックを 0 台から 1 台ずつ増やし、VoIP 収容台数を求める。収容可能な基準は VoIP トラフィックは平均遅延 (150 ms)、Video トラフィックは平均遅延 (200 ms) を基に評価する。シミュレーション結果を図 5 に示す。

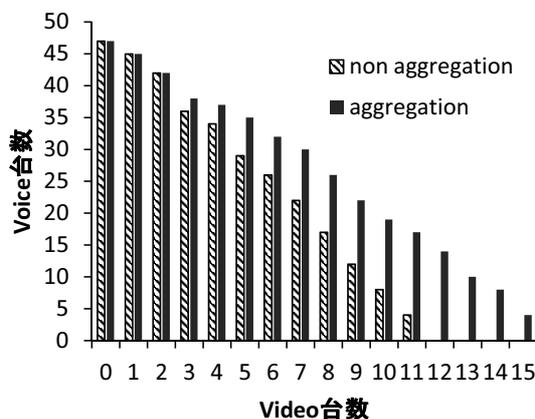


図 5 VoIP, Video 混在環境における収容台数

Fig. 5 Capacity in a mixed environment Video and VoIP

Video 台数を 3 台以上に設定した場合、収容台数が向上するためフレームアグリゲーションの有効性が示された。全トラフィックにおける Video トラフィックの占める割合が増加する程、アグリゲーションの効果が大きい。Video 台数が増加するに従い、1 トラフィック当りの A-MPDU 生成数は増加する。

5.2 提案手法とその評価

[3] において、通信環境が悪くエラー率が高い状況においても、フレームアグリゲーション手法 A-MPDU が収容台数の向上に有効であることを示した。さらに、Video トラフィックの生成レートを低下させることによって通信帯域に余裕を生み、収容台数が向上することも示した。しかし、実環境においてはエラー率の時間変化が想定される。動画・音声混在環境ではエラー率が上昇した際に、通信を切断するのではなく Video トラフィックの生成レートを低下させることで通信中の台数を維持する制御が必要と考えられる。BER の値に関係なく、生成レートを低下させるほど収容台数は向上するが、BER が低い場合においては、可能な限り高品質を維持する必要がある [3]。また、伝送レートにおいても BER が高い場合には低い伝送レートで、BER が低い場合には高い伝送レートでの通信が効率が良い。

ここでは取得したエラー率に応じて Video トラフィックの生成レートと伝送レートを変化させ、加えてフレームアグリゲーションを用いることによる収容台数向上手法を提案する。エラー率を BER で表す。Video トラフィックの生成レート制御に関しては [3] と同様とする。伝送レート制御フローを図 6 に示す。伝送レートを BER の値に応じて動的に選択する。まず、SNR (Signal-to-Noise Ratio) を取得し、対応する BER に変換する。BER の値により伝送レートを変更する。BER と伝送レートの対応は以下のように定めた。

(1) BER= $1.0E-04$, MCSIndex=0 に設定

(a) Video 端末が 0 台の時の Voice 端末収容台数を評価

(b) Video を 1 台ずつ増やし、その時の Voice 端末収容台数を評価

(c) 収容可能な Voice 端末が 0 台となったら (a),(b) の収容台数を合計する

(2) MCSIndex=1~7 において (a),(b),(c),(2) を行う

(3) BER= $1.0E-05$, $1.0E-06$, $1.0E-07$ においてを行う

(4) それぞれの BER に対して最も収容台数の多い MCSIndex を選択

以上の方法により、取得した BER の値から適切な伝送レートを選択し、通信台数の低下を抑える。本稿では単純化のために BER をシミュレーション時間内に 4 段階に分けて変化させる。伝送レートと BER の変化を図 7 に示す。伝送レート制御として一般的に利用される ARF (Auto Rate Fallback) と Video 生成レート制御を用いた手法、伝送レートを 65 Mbps に固定し Video 生成レート制御を行う [3] の手法、および伝送レート制御と Video 生成レート制御を行う提案手法の 3 手法を比較する。いずれの手法もフレームアグリゲーションとして A-MPDU を用いる。結果を図 8 に示す。

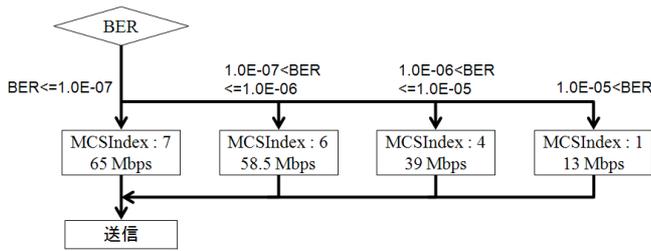


図 6 伝送レート制御フロー
Fig. 6 Control flow of the datarate

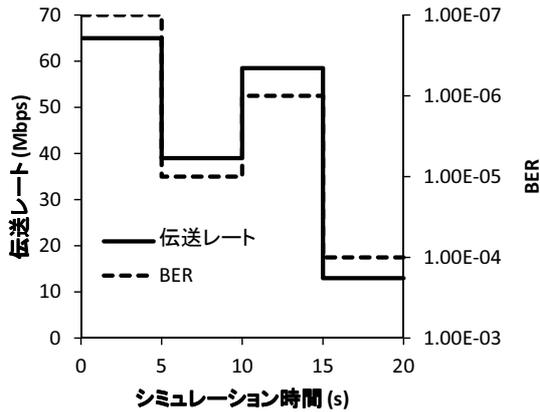


図 7 BER および伝送レート
Fig. 7 datarate and BER

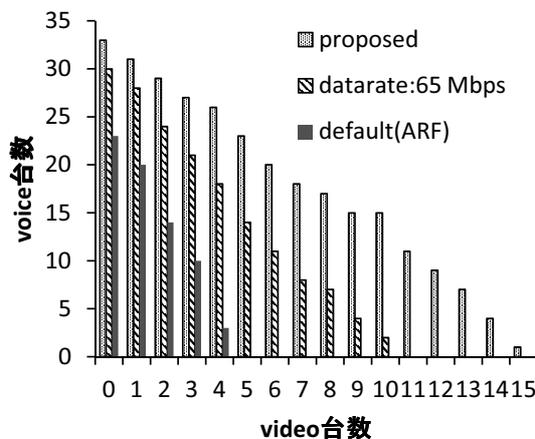


図 8 提案手法評価
Fig. 8 Evaluation of the proposed method

ARF を用いた手法が最も収容台数が少ない．Video トラフィックの遅延時間が大きく増加したためである．これは BER が高い値の時に MCSIndex=0 となる時間が長いためである．また，A-MPDU を生成することによってフレーム長が長くなり，送信失敗が起こり易かったことも原因である．伝送レートを 65 Mbps で固定した場合は BER が高い場合には非効率となり収容台数が低下している．提案手法は収容台数を最大化するように伝送レートを選択するため収容台数が維持される．このように IEEE 802.11n のフレームアグリゲーションを適用する際には従来の ARF の機能を変更する必要があると考える．

6. まとめ

本稿では，IEEE 802.11n におけるフレームアグリゲーション手法 A-MPDU の最大サイズが通信に与える影響を評価した．

Video，VoIP トラフィック混在環境においては，A-MPDU の使用により通信収容台数が増加したが，Video トラフィックの生成レートと伝送レートを BER の値に応じて変化させることにより収容台数を維持する手法を提案し，その有効性をシミュレーションにより示した．今後は双方向性と本稿にて得られた A-MPDU の最大サイズを考慮した制御手法に関して検討する予定である．

御指導頂いた小室助教に感謝致します．

参考文献

- [1] G. R. Hiertz, D. Denteneer, L. Stibor, Y. Zang, X. P. Costa, and B. Walke, "The IEEE 802.11 universe," *IEEE Communications Magazine*, vol. 48, no. 1, pp.62-70, Jan. 2010.
- [2] IEEE 802.11n, Part 11: Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 5: Enhancements for Higher Throughput, Sept. 2009.
- [3] 若月峻, 阪田史郎, "IEEE 802.11n フレームアグリゲーションにおけるトラフィック特性を考慮した動画・音声通信性能評価," *信学技報*, vol. 112, pp. 77-82, Mar. 2013.
- [4] D. Skordoulis, Q. Ni, H. H. Chen, A. P. Stephens, C. Liu, and A. Jamalipour, "IEEE 802.11n MAC Frame Aggregation Mechanisms for Next-Generation High-Throughput WLANs," *IEEE Wireless Communications*, vol. 15, no. 1, pp.40-47, Feb. 2008.
- [5] A. Saif, M. Othman, S. Subramaniam, N. AbdulHamid, "Impact of Aggregation Headers on Aggregating Small MSDUs in 802.11n WLANs," *Proc. ICCAIE*, pp.630-635, Dec. 2010.
- [6] 五十嵐圭, 山田暁, 藤原淳, 杉山隆利, "EDCA パラメータ最適化による無線 LAN VoIP 収容台数向上に関する検討," *信学総大*, B-5-172, Mar. 2006.
- [7] N. Hajlaoui, I. Jabri, M. Taieb, M. Benjemaa, "A Frame Aggregation Scheduler for QoS-sensitive Applications in IEEE 802.11n WLANs," *Proc. ICCIT*, 2012.