

多数の近接した無線 LAN における コンテキストに応じたマルチレート制御による品質向上

理学専攻・情報科学コース 熊谷 菜津美

1 はじめに

近年、モバイルルータやテザリングなど移動無線 LAN システムが増加している。多くの移動無線 LAN を密集して使うことで、これまで想定していなかった干渉の影響が現れ、効率的に電波利用ができなくなり、QoS(スループット)が低下することが懸念される。しかしながら、QoS がどの程度低下するのかといった定量的な特性や低下を軽減するための方策については、明らかではなかった。

本研究では、このような状況での通信性能向上を課題と設定し、実機実験などを通して、次のようなことを明らかにした。まず、無線 LAN 同士の干渉がスループットに大きく影響を及ぼす。これは、干渉と競合を避けるような適切なチャンネル選択が行われず、チャンネル選択制御による干渉回避が困難になるからである [1][2]。また無線 LAN あたりの端末数がスループットを決める大きな要因となる。これは、キャプチャエフェクト、AP のバッファ量が無線 LAN 実効容量及び TCP 輻輳制御に影響するからである [3][4]。さらに、端末数が多い場合には、特に著しい性能劣化が引き起こされる現象 (Performance Anomaly, PA) が現れる。本稿ではこの現象に関して、原因である適応的マルチレート制御 (Auto Rate Fallback, ARF)[5] の問題点を指摘し、さらにこれに対して、提案する CARC(Context Aware multi-Rate Control) 方式がスループットを向上させることを示す。

2 CARC 方式

MAC フレーム送達時のエラーの原因には、コリジョンとノイズがある。コリジョンの場合は、バイナリバックオフ制御を、ノイズの場合はバックオフに加えてレートを低下させるべきである。しかしながら、エラー時に、このエラー原因を区別することは容易ではない。そのため、エラー回数などの情報を基にしてレートを最適に調整する機能である ARF では、どちらのエラーが発生しても、バイナリバックオフ制御とレートを低下させる制御が同時に行われる。しかしながら、コリジョンエラーの場合、ARF でレートを低下させても、同時送信を防げず、この不必要なレート低下により却って PA を引き起こす。本稿で想定しているような、AP と端末が高々数十 cm といった非常に近距離にある移動無線 LAN の場合、ノイズエラーよりもコリジョンエラーが発生する確率のほうが断然高い。コリジョンエラーは、1 つの無線 LAN 内の端末数が多い場合、あるいは他の近接する無線 LAN の端末数が多い場合、増加する。従って、多数の無線 LAN が存在する場合には、PA が引き起こされやすくなる。

これを回避するため、CARC を提案する。図 1 に示すように、CARC はコンテキストに応じて、ARF と本研究における提案方式である T-ARF(Throughput-based ARF) を使い分ける。テザリングやモバイル AP に接続するなど、

AP と端末間距離が近距離にある場合は、T-ARF を用いる。公衆ホットスポットにある AP に接続するなど、遠距離の場合には、ARF を用いる。T-ARF は、ARF が用いている MAC フレームの送信成功率ではなく、スループット値を基にして伝送レート調整を行う。そのため、スループットに大きな影響が出ないようなコリジョンエラーを無視して、最適な伝送レートを選択することができる。すなわち、PA を回避し、高スループットを達成できる。ただし、スループットを測定できないほど小さなトラヒックの場合は、ARF を用いる。コンテキストには、ノイズエラーの特性が異なる AP-端末間距離と、スループット計測の可否によるトラヒック量との 2 つの属性を用いている。

	トラヒック量	大きなトラヒック	小さなトラヒック (※※)
端末とAPの距離			
近距離: テザリング、モバイルAP		T-ARF(※)	ARF
遠距離: 公衆ホットスポット		ARF	ARF

※スループットレベルのARF

※※計測できないほど小さなスループットの場合

図 1: CARC における ARF 使い分け

3 スループット改善効果

CARC の制御効果を調べるために、4 種類の実験シナリオにて、「端末数」「無線 LAN 間距離」「AP-端末間距離」「ノイズ」の変化に対するスループット変動について、実機 (端末: Nexus S, AP: Planex MZK-MF300N (IEEE802.11g)) を用いた評価実験を行った。T-ARF における最適な伝送レートの選択制御については本研究では議論せず、本稿では、T-ARF の一部として用いられる伝送レート固定の場合に比べて、ARF がどのような特性を示すかを比較した。

図 2 に、AP と端末間距離が近距離通信かつトラヒック量が大きい場合の、無線 LAN あたりの端末数に対するトータルスループット特性を示す。AP と端末間の距離は 5cm とし、1 つの無線 LAN 内に接続する端末数を 1~8 と変化させた。複数無線 LAN の場合には、無線 LAN 間距離を 1m とした。トラヒックは、UDP で uplink 方向に送信させた。無線 LAN あたりの端末数が増えるほど、コリジョンエラーが増加するため、ARF では、レート低下が起こってしまい、PA によりトータルスループットが著しく低下した。一方、54Mbps 固定では、コリジョンエラーが起こってもレートを下げないため、PA を防ぐことができ、トータルスループットは高く、ARF に比べて、約 4 倍も高いスループットを獲得できた。また、無線 LAN 数が多くなると、無線 LAN あたりの端末数が同じでも、周辺からの干渉 (ノイズ) が大き

くなるため、キャプチャエフェクトが弱くなる。そのため、コリジョンエラーが起りやすくなり、ARF でトータルスループットが低くなった。

伝送レート固定の場合と ARF の場合それぞれに、コリジョンエラーが及ぼす影響を示すため、AP と端末間距離を固定し、無線 LAN 間距離を変化させた場合の、トータルスループット特性を図 3 に示す。AP と端末間距離は 5cm とした。無線 LAN は 2 セット用いた。無線 LAN あたりの端末数は、自無線 LAN 内ではコリジョンエラーによる PA が起りにくく、無線 LAN 同士が近づくときに起りやすいような台数 (今回の設定では 2 台) とした。

まず、レートを 54Mbps 固定にした場合と ARF を比較する。距離比が大きい (無線 LAN 間距離が大きい) 場合は、コリジョンが起きてても、キャプチャエフェクトが効くため、コリジョンエラーになりにくい。そのため、どちらも同程度のトータルスループットが得られた。距離比が小さくなる (無線 LAN 間距離が小さくなる) に連れて、キャプチャエフェクトが効かなくなるため、コリジョンエラーが増加する。そのため、ARF ではレートを低下し、PA が発生して、トータルスループットが低下する。54Mbps 固定は ARF に比べて、約 3 倍も高いトータルスループットを獲得できた。次に、固定する伝送レートを低くした場合 (24Mbps) と ARF を比較する。距離比が大きいときには、ARF に比べて、スループットが低くなってしまふ。従って、AP-端末間距離が小さいときには、T-ARF の制御としては 54Mbps 固定が望ましい。

図 4 に、ノイズ環境における ARF とレート固定を比較するため、無線 LAN 間距離を固定し、AP と端末間距離を変化させた場合の、トータルスループット特性を示す。無線 LAN 間距離は干渉が強すぎず、適度な近さである 50cm とした。距離比が大きい (AP と端末間距離が大きい) 状況では、信号とノイズの強度が同じくらいになるので、コリジョンの時にキャプチャエフェクトが効きにくくなるため、コリジョンエラーが増加する。さらに自然ノイズも大きくなるため、SN 比も劣化する。伝送レートを 54Mbps や 6Mbps に固定した場合は、SN 比の劣化により、スループットが劣化し、これは伝送レートが高いほど、距離比が小さい所で起る。ARF の場合は、SN 比劣化に加えて、コリジョンエラーにより、レートを低下させてしまうため、スループットの低下が大きくなる。そのため今回は、54Mbps 固定と ARF は、距離比 = 54 でスループットがほぼゼロになった。同距離で、6Mbps 固定は、スループットがゼロではなかった、つまり ARF よりもスループットが高かったことから、ARF はうまくレートを選択できていなかった、ということができる。すなわち、T-ARF において適度な伝送レートを選ぶことができれば、ノイズ環境でも ARF と同じ性能を得られる可能性がある。

以上のことから、多数の移動無線 LAN が存在するような状況における品質の向上には、MAC フレーム単位で伝送レートを変動する ARF ではなく、ある程度固定する T-ARF が有望だと考える。

4 おわりに

多数の近接した移動無線 LAN においては、適当なチャネルを選択し、適当な端末数を維持し、適当なレート制御方法 (CARC) を用いることが全体のスループット向上につながることを示した。提案する CARC は、従来の ARF に比べ

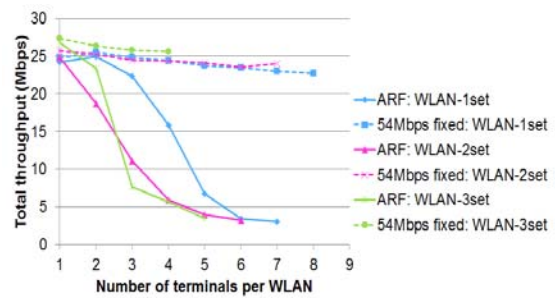


図 2: ARF と伝送レート固定のスループット比較

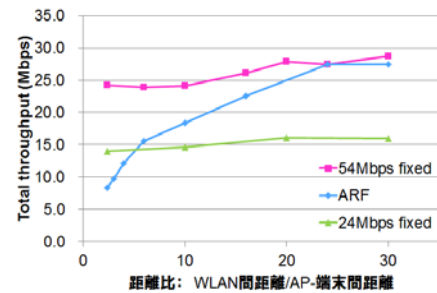


図 3: 距離比とスループット (AP-端末間距離固定)

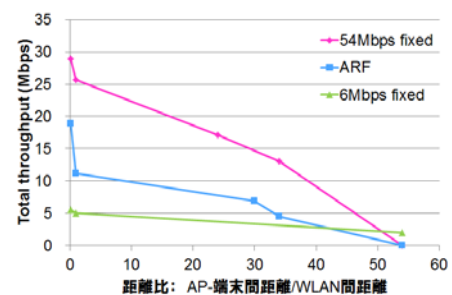


図 4: 距離比とスループット (無線 LAN 間距離固定)

て、最大で約 4 倍もの性能向上があることを実機実験により示した。

参考文献

- [1] 熊谷菜津美, 村瀬 勉, 小口正人, "多くの AP が近接する場合の通信品質評価," 信学技報, NS 研究会, NS2012-94, Oct. 2012.
- [2] 熊谷菜津美, 磯村美友, 村瀬 勉, 小口正人, "無線 LAN アクセスポイントのチャネル内競合とチャネル間干渉を同時に考慮したチャネル割当手法," 信学技法, CQ 研究会, CQ2012-68, Nov. 2012
- [3] 熊谷菜津美, 村瀬 勉, 小口正人, "トラヒックの方向が異なる複数無線 LAN の多重特性," DEIM2013, E6-3, Mar. 2013.
- [4] 熊谷菜津美, 磯村美友, 村瀬 勉, 小口正人, "近接する多数の無線 LAN におけるマージ方法と特性評価," DICO2013, 8B-2, July. 2013.
- [5] Saad Biaz, Shaoen Wu, "Rate Adaptation Algorithms for IEEE 802.11 Networks: A Survey and Comparison," IEEE Symposium on Computers and Communications 2008 (ISCC 2008), pp.130-136, July. 2008.