

スマートフォンを利用した テザリング環境における輻輳制御方式

小松 洵¹ 阪田 史郎¹ 小室 信喜¹ 塩田 茂雄² 村瀬 勉³

概要: 近年, 従来の携帯電話よりも多機能で高性能なスマートフォンが普及してきている. 本稿では, 端末をスマートフォンでテザリングして Wi-Fi スポットへ接続する際に発生する輻輳を制御する方式を提案する. 提案方式では, スマートフォンが端末に対して MAC フレーム受信機会制御 (ROC) を端末に対して適用する. シミュレーションにより, 提案方式がスマートフォンでの輻輳を制御しエンド・ツー・エンドのスループットが向上することを示す. また, 端末数に応じた最適な ROC の受信拒否確率を求める.

Congestion Control Scheme for Tethering System using Smartphone

JUN KOMATSU¹ SHIRO SAKATA¹ NOBUYOSHI KOMURO¹ SHIGEO SHIODA²
TUTOMU MURASE³

1. はじめに

多様なアプリケーションを利用できるスマートフォンは急速に普及してきている. そのため, スマートフォンのトラフィックは従来の携帯電話よりも急増しておりセルラー網を圧迫している. そこで, Wi-Fi スポットを利用した無線 LAN ネットワークへ接続するデータオフロードの方法が注目を集めている. 一方, 端末の利用者としては, テザリング機能を備えたスマートフォンを通じたインターネット接続が可能となり利便性が向上する.

本稿では, 端末をスマートフォンでテザリングして Wi-Fi スポットとして携帯電話事業者が設置したアクセスポイント (AP) へ接続する際に発生する輻輳を制御する方式を提案する. 輻輳が発生する要因として, 端末の送信機会に対してスマートフォンの送信機会が相対的に少なくなることが挙げられる. 提案方式では, スマートフォンが端末に対して MAC フレーム受信機会制御 (ROC: Receiving-Opportunity Control in MAC Frame)[1]を行う. シミュレーションにより, 提案方式がスマートフォンでの輻輳を制御しエンド・ツー・エンドのスループットが向上するこ

とを示す. また, 1 台のスマートフォンに接続する端末数を増加させた場合, 1 台の AP に接続するスマートフォンの台数を増加させた場合についてシミュレーションを行い, それぞれの場合に応じた最適な ROC の受信拒否確率を求める.

2. 背景

2.1 テザリング

スマートフォンなど通信機能を持った機器をモデムのように用いて, 端末をインターネットに接続する機能をテザリングと呼ぶ. テザリングの種類は, 端末とスマートフォン間の接続の方法によって大きく 3 つの方式がある. 端末とスマートフォンの間を USB ケーブルによって接続するテザリングは USB テザリングと呼ばれる. また, Bluetooth を利用する場合は Bluetooth テザリング, 無線 LAN を利用する場合は Wi-Fi テザリングと呼ばれる. 外出先など端末がインターネットへ接続する環境が無い場合でも, テザリングによりインターネットへの接続が可能となる.

2.2 データオフロード

携帯電話からの通信を, 携帯電話以外のネットワークに流すことをデータオフロードと呼ぶ. そのことにより, セルラー網にかかる負荷を分散させることができる. 携帯電

¹ 千葉大学大学院 融合科学研究科

² 千葉大学大学院 工学研究科

³ NEC クラウドシステム研究所

話事業者がデータオフロードの方策として積極的に導入しているのが Wi-Fi スポットと呼ばれる、公衆無線 LAN の AP である。データオフロードが注目されるようになった背景として、携帯電話のトラフィックの増加が挙げられる。従来の携帯電話よりも多機能で高性能なスマートフォンの普及がその大きな要因となっている。スマートフォンは様々なアプリケーションを起動することができ、通話やメールのみならず、マルチメディアファイルの再生やゲームなど多様な用途で使われている。そのため、スマートフォンのトラフィックは従来の携帯電話よりも急増しており、セルラー網の大容量化も進んでいるが、対応が追い付いていない状態である。そこで、スマートフォンの通信を Wi-Fi スポットを経由して流すことにより、セルラー網の負荷を軽減させるデータオフロードの手法が注目を集めている。

2.3 想定環境

本稿では、端末を Wi-Fi テザリングしたスマートフォンが Wi-Fi スポットへ接続する環境を想定している。想定する環境例を図 1 に示す。図 1 では、ノート PC やタブレット端末、ゲーム機といったインターネットへ接続したい端末が、スマートフォンをモデムのように用いて、Wi-Fi スポットとして事業者が設置した AP へ接続していることを示している。スマートフォンを介して AP へ接続する環境としては、端末が直接 AP へ接続できない場合が考えられる。具体的には、次のような場合が想定される。

- AP への接続に専用のアプリケーションが必要である場合
- AP へ接続できる会員が、接続できない非会員へ回線を共有する場合

また、複数の端末を所有する利用者が、それらの端末をテザリングをすることで AP への接続設定の手間を省くという利用も考えられる。例えば、映像を記録する端末や、心拍数などの生体情報を計測する端末といったウェアラブル端末を複数身に着けている場合に、それらの端末をスマートフォンにテザリングしておけば、AP へ接続する際に全ての端末に AP への接続設定を行わなくて済む。

2.4 課題

2.3 項のようなマルチホップする環境において、複数のトラフィックを中継する機器で輻輳が発生しやすいという課題がある。図 2 は、想定するネットワークにおいてバッファあふれが発生する様子を表した図である。端末 1 と端末 2 は、それぞれスマートフォンを経由して AP へ接続する。つまり、スマートフォンは端末 1 と端末 2 の中継を行わなければならない。従ってスマートフォンのバッファには中継パケットがたまりやすくなる。このように、端末の送信機会に対してスマートフォンの送信機会が相対的に少

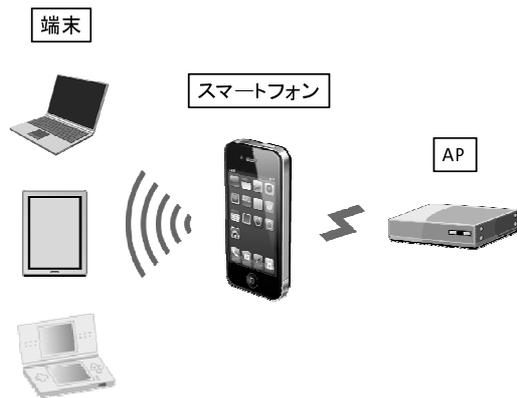


図 1 想定する環境

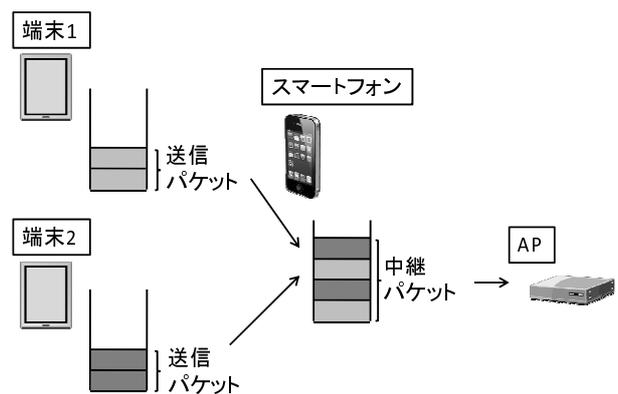


図 2 スマートフォンにおけるバッファあふれ

なくなつた場合、輻輳が発生しやすくなる。

3. 関連既存技術

3.1 IEEE 802.11 DCF (Distributed Coordination Function)

無線 LAN における標準規格である IEEE 802.11[2] では、自律分散制御型の DCF によるアクセス制御を基本としている。DCF の動作を図 3 に示す。DCF ではフレームの衝突を避けるため、無線チャンネルの使用状況を確認してからフレーム送信を行う CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) というアクセス方式が用いられている。CSMA/CA では、フレーム送信前に一定期間チャンネルが占有されていないことを確認する。これをキャリアセンスと呼び、キャリアセンスのための待ち時間のことを IFS(Inter Frame Space) という。DCF によるフレームの送信は、DIFS(DCF IFS) 時間の空きを見つけた後、さらにバックオフ時間という、0 から CW(Contention Window) の間のランダムに決定された値のスロット数分だけ待機してから行われる。受信者はデータ送信に対する応答として、DIFS よりも短い SIFS(Short IFS) 間隔待った後に ACK フレームを送信する。

3.2 MAC フレーム受信機会制御方式

MAC フレーム受信機会制御方式 (ROC : Receiving-

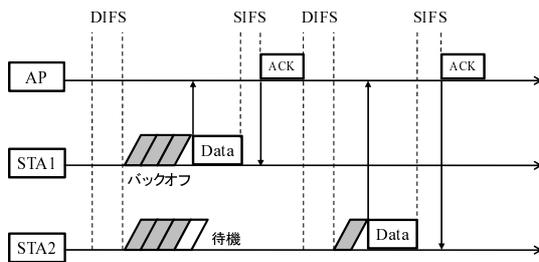


図 3 DCF の動作

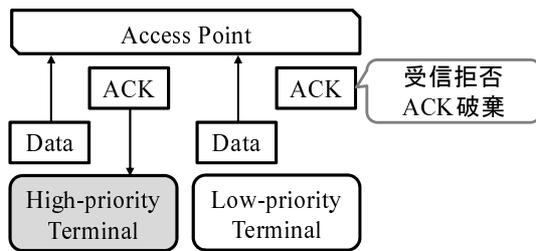


図 4 ROC の動作

Opportunity Control in MAC Frame)[1] は、DCF における ACK 制御とバックオフ再送制御を利用し、非優先端末のフレーム送信機会を減らし、優先端末のフレーム送信機会を相対的に増加させることで QoS(Quality of Service) 制御する方式である。DCF において ACK フレームを受信できなかった端末は、データフレームの送信が失敗したと判断し CW の範囲を広げる。この再送処理を利用して ROC は、図 4 に示すように、非優先端末からデータフレームを正常に受信したとしても、送信端末に対して意図的に ACK フレームを返信しないことによって優先制御を行う。この時の ACK フレームを返信しない確率を受信拒否確率と呼ぶ。ROC の利点として、端末の変更を必要とせず低コストで実装が可能であることが挙げられる。

4. 提案方式

本稿では、スマートフォンが端末に対して ROC を適用することで、スマートフォンで発生した輻輳を制御する方式を提案する。つまり、端末や AP への変更はせず、スマートフォンのみの変更で実装が可能である。ここでは、受信拒否確率を静的に与えることとする。スマートフォンは、ある受信拒否確率に応じて送信端末に対して ACK フレームを返信しない。そのことにより、端末は再送処理を行い、CW の範囲を広げる。従って、端末の送信までの平均待ち時間が増加し、その間にスマートフォンが AP に対して送信が可能となる。

5. 性能評価

5.1 シミュレーション条件

提案方式の有効性を確認するために、ネットワークシミュレータによる性能評価を行った。シミュレーション評

Parameter	Value
アプリケーション	CBR
データサイズ	1500 Bytes
物理層	IEEE 802.11a
データレート	54 Mbps
シミュレーション時間	30 s

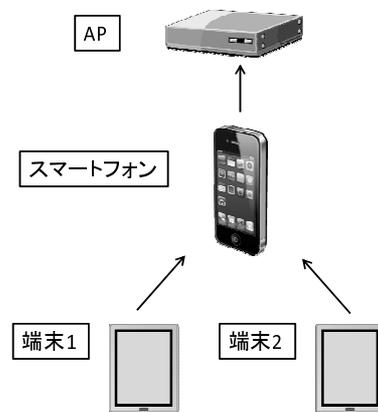


図 5 シナリオ 1

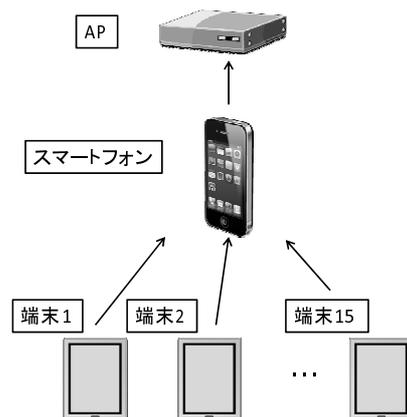


図 6 シナリオ 2

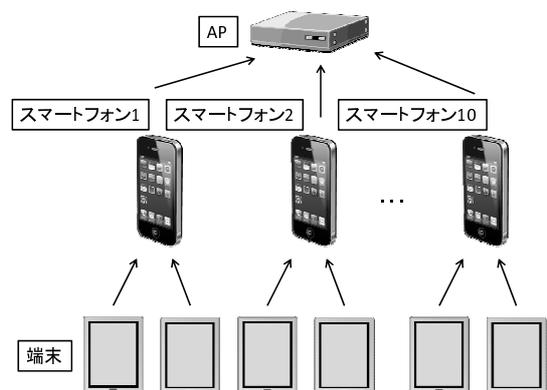


図 7 シナリオ 3

価には、図 5 から図 7 に示す 3 つのシナリオを用いた。3 つのシナリオにおいて共通のシミュレーション諸元を表 1 に示す。アプリケーションは CBR とし、データサイズは 1500 Bytes とする。物理層では IEEE 802.11a を使用し、

データレートは 54 Mbps とする。また、シミュレーション時間は 30 s とする。

5.1.1 シナリオ 1

シナリオ 1 を図 5 に示す。図 5 は、2 台の端末が 1 台のスマートフォンを介して AP へ接続することを示している。CBR の送信レートを 54 Mbps にした場合と、5 Mbps から 10 Mbps まで 1 Mbps ごとに変化させた場合についてシミュレーションを行う。

5.1.2 シナリオ 2

シナリオ 2 を図 6 に示す。シナリオ 2 は、1 台のスマートフォンに接続する端末の台数を 2 台から 15 台まで変化させた場合についてシミュレーションを行う。CBR の送信レートは 10 Mbps とする。

5.1.3 シナリオ 3

シナリオ 3 を図 7 に示す。シナリオ 3 は、1 台の AP に接続するスマートフォンの台数を 1 台から 10 台まで変化させた場合についてシミュレーションを行う。スマートフォン 1 台に接続する端末は 2 台とする。CBR の送信レートは 10 Mbps とする。

5.2 シミュレーション結果

5.2.1 シナリオ 1

シナリオ 1 の結果を図 8 と図 9 に示す。

図 8 は、CBR の送信レートが 54 Mbps の場合に、受信拒否確率を 0% から 100% まで 1% ごとに変化させた時のスループットの結果である。スループットは端末から AP までの、端末 1 台あたりのスループットである。受信拒否確率が 0% の時は、ROC の制御をしなかった場合と同等である。2 台の端末に同じ受信拒否確率で ROC を適用している。図 8 を見ると、受信拒否確率に応じてスループットが変化することがわかる。図 5 のトポロジの場合は、受信拒否確率が 17% の時が最大のスループットとなった。この時、ROC の制御をしなかった場合と比較して約 34% スループットが向上した。これは、端末に対して ROC を適用することにより、スマートフォンの送信機会が増加したためと考えられる。

図 9 は、CBR の送信レートが 5 Mbps から 10 Mbps のそれぞれの場合について、受信拒否確率を 0% から 100% まで 1% ごとに変化させた時の端末 1 台あたりのスループットの結果である。9 Mbps と 10 Mbps の場合については、図 8 と同様な結果になった。このシナリオのシミュレーション条件においては、送信レートが 9 Mbps でネットワークが完全に飽和していることがわかる。7 Mbps と 8 Mbps では、受信拒否確率が高くなるに連れて一度スループットが低下する。これは、端末とスマートフォン間ではドロップが発生しているためであると考えられる。ROC は通信が成功していても意図的に ACK フレームを破棄する

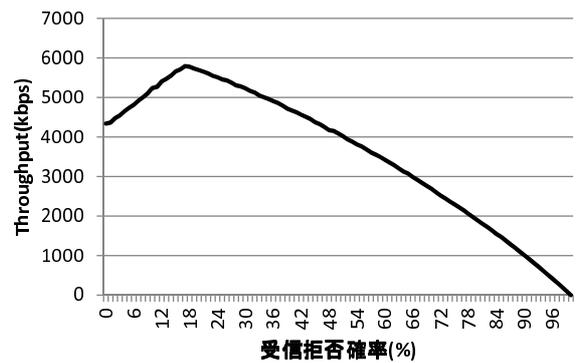


図 8 シナリオ 1 : 送信レート 54 Mbps

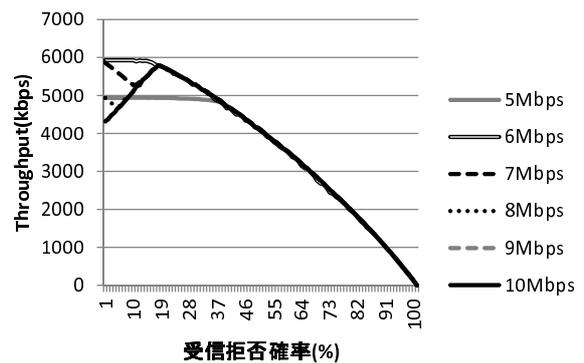


図 9 シナリオ 1 : 送信レート 5 Mbps~10 Mbps

ため、その分帯域に無駄が生じる。その影響で受信拒否確率が上がるとスマートフォンと AP 間のスループットは低下する。その後更に受信拒否確率を上げていくことにより、9 Mbps と 10 Mbps の場合と同様に、端末の送信機会に対してスマートフォンの送信機会が増加し、エンド・ツー・エンドのスループットが向上する。5 Mbps と 6 Mbps については、ROC を適用していない場合でも輻輳することなくエンド・ツー・エンドで通信できていることがわかる。ネットワークが飽和していない場合は、ROC の適用によるスループットの向上は見られない。

5.2.2 シナリオ 2

シナリオ 2 の結果を図 10 と図 11 に示す。

図 10 は 1 台のスマートフォンに接続する端末の台数に対する、エンド・ツー・エンドのスループットが最大となった時の受信拒否確率の結果である。図 10 を見ると、端末台数の増加に伴って、受信拒否確率も増加していることがわかる。これは、1 台のスマートフォンに対する端末の接続台数が増えるほど、スマートフォンの送信機会が相対的に減少するためであると考えられる。そのため、スマートフォンの送信機会を増加させるために必要となる受信拒否確率は、端末台数が増えるほど高くなると考えられる。

図 11 は 1 台のスマートフォンに接続する端末の台数に対する、ROC を適用しなかった場合と最適な受信拒否確率で ROC を適応した場合の端末 1 台あたりのスループットの結果である。ここで最適な受信拒否確率とは、図 10

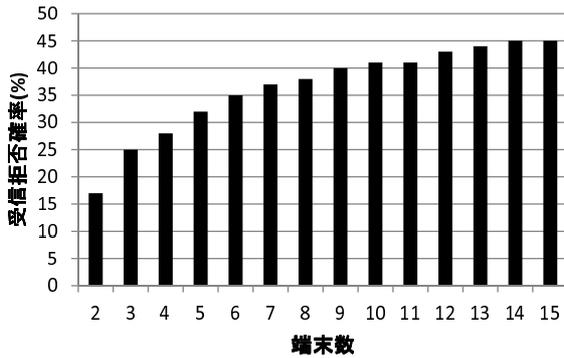


図 10 シナリオ 2：受信拒否確率

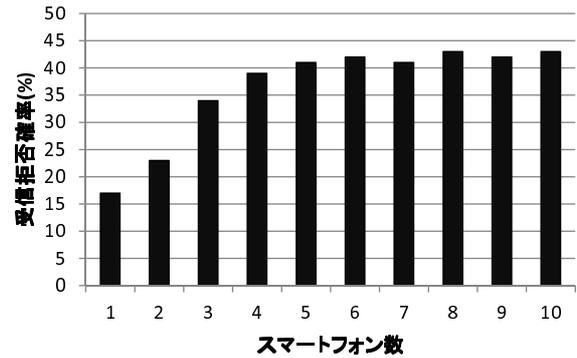


図 12 シナリオ 3：受信拒否確率

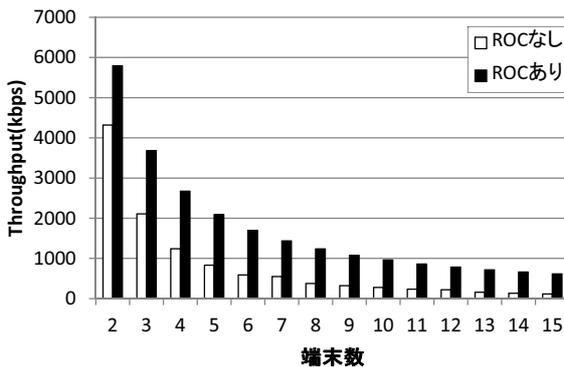


図 11 シナリオ 2：スループット

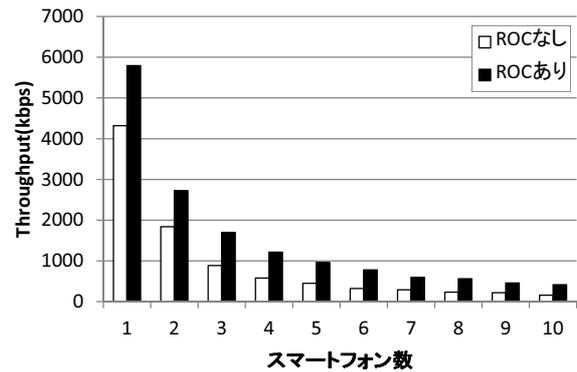


図 13 シナリオ 3：スループット

で示したエンド・ツー・エンドのスループットが最大となる時の受信拒否確率である。図 11 を見ると、端末台数が多いほど、ROC の制御をしなかった場合と比較して ROC を適応した場合のスループットの増加の割合が大きいことがわかる。1 台のスマートフォンに対する端末の接続台数が増えるほど、スマートフォンの送信機会が相対的に減少するため、その分 ROC を適用した場合に向上するスループットの割合は大きくなる。

5.2.3 シナリオ 3

シナリオ 3 の結果を図 12 と図 13 に示す。

図 12 は 1 台の AP に接続するスマートフォンの台数に対する、エンド・ツー・エンドのスループットが最大となった時の受信拒否確率の結果である。スマートフォンの台数が増えるほど、スマートフォンの送信機会が減少するため、受信拒否確率が高くなると考えられる。

図 13 は 1 台の AP に接続するスマートフォンの台数に対する、ROC を適用しなかった場合と最適な受信拒否確率で ROC を適応した場合の端末 1 台あたりのスループットの結果である。図 11 のシナリオ 2 の場合と比較して、向上するスループットの割合はスマートフォンの台数の増加によらず大きな変化は見られない。これは、スマートフォンに接続している端末の台数が全て同じで、端末とスマートフォンの相対的な送信機会がスマートフォンの台数の変化によらないため、向上できるスループットの割合は大きく変化しないと考えられる。

6. まとめ

本稿では、スマートフォンを利用したテザリング環境において輻輳を制御する方式を提案した。端末をスマートフォンでテザリングして Wi-Fi スポットへ接続する環境において、スマートフォンが端末に対して ROC を適用することにより、スマートフォンでのバッファあふれを抑え、エンド・ツー・エンドのスループットを向上させることができる。シミュレーション評価により、提案方式が ROC による輻輳制御をしなかった場合と比較して高スループットであることを示した。また、1 台のスマートフォンに接続する端末数を増加させた場合、1 台の AP に接続するスマートフォンの台数を増加させた場合について、最適な ROC の受信拒否確率を求めた。

今後は、マルチレート環境や双方向での通信を考慮したシミュレーションを行う。また、輻輳の状況に応じた動的な受信拒否確率の導出について検討する。

参考文献

- [1] T. Murase, K. Uchiyama, Y. Hirano, S. Shioda, S. Sakata, "MAC-Frame Receiving-Opportunity Control for Flow QoS in Wireless LANs," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E92-B, no. 1, pp. 102-113, Jan. 2009.
- [2] IEEE Standard 802.11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications, IEEE 802.11 Std., 1999.