

## パケット到達周期測定による帯域混雑具合推定方式の提案

近藤 良久<sup>†</sup> 板谷 聡子<sup>†</sup> 山口 真司<sup>†</sup> デイビス ピーター<sup>†</sup>

鈴木 龍太郎<sup>†</sup> 小花 貞夫<sup>†</sup>

<sup>†</sup>ATR 適応コミュニケーション研究所

〒619-0228 けいはんな学研都市光台 2-2-2

E-mail: † {kondo, itaya, shinji-yamaguchi, davis, ryutaro.suzuki, obana}@atr.jp

あらまし CSMA/CA による無線通信においては、メディアに同時アクセスする端末数が多いほどフレームの衝突や送信待ちが起きる確率が上昇し、パケットの到達時間に変動が生じる。トラフィックの状態とブロードキャストパケットの到達時間の変動の関係をシミュレーションによって明らかにし、HELLO パケットの受信周期の計測によりチャンネルの混雑具合が推定可能であることを示す。また、実端末においても同様に推定が可能であることを実験により示す。

キーワード 無線メッシュネットワーク, マルチチャンネル, 帯域混雑具合推定

## Estimation of Wireless Channel Congestion Based on Fluctuation of Packet Arrival Interval

Yoshihisa KONDO<sup>†</sup> Satoko ITAYA<sup>†</sup> Shinji YAMAGUCHI<sup>†</sup> Peter DAVIS<sup>†</sup>

Ryutaro SUZUKI<sup>†</sup> Sadao OBANA<sup>†</sup>

<sup>†</sup>ATR Adaptive Communications Research Laboratories

Hikaridai 2-2-2, Keihanna Science City, Kyoto, 619-0228 Japan

E-mail: † {kondo, itaya, shinji-yamaguchi, davis, ryutaro.suzuki, obana}@atr.jp

**Abstract** Fluctuations of packet arrival intervals increase when wireless channels become congested. Our simulations show that congestion of wireless channels using CSMA/CA can be estimated by measuring the fluctuation of broadcast packet arrival intervals. Experiments confirm that the estimation is possible in a real environment using Linux note PCs with 802.11 devices.

**Keyword** wireless mesh network, multi channel, estimation of wireless channel congestion

### 1. はじめに

アクセスポイント間通信をアドホック無線通信で行う無線メッシュネットワークが、次世代通信のプラットフォームとして注目されている。また、複数のIEEE802.11無線インターフェースを搭載し、マルチチャンネルで動作可能な無線メッシュネットワーク用のアクセスポイントが一般的に利用可能となりつつあり、複数チャンネルで多重化された無線リンクを利用することで、高速・安定なネットワークが実現できると大きな期待が寄せられている。例えば、ルーティングに関して経路上の無線リンクのチャンネルが同じ場合に起こる干渉(Intra-flow Interference)の影響を確率的に考慮し経路選択を行う方式[1]など、複数チャンネルで構成さ

れるネットワークを前提とした研究も盛んであるが[2]-[4]、さらに高速・安定な通信を実現するためには、チャンネルの混雑具合を察知して、無線デバイスが自律的に適切なチャンネルの選択を行い、また自律的に適切なチャンネルに張られた無線リンクを使い分けるといった技術が期待される。本稿ではそのような自律的なチャンネルの選択を可能にする、チャンネルの混雑具合の推定方法について検討する。

### 2. チャンネルの混雑具合の推定方式の提案

全ての無線フレームを常に観察し、フレーム数やフレームサイズ、送信レートなどを詳しく調べれば、チャンネルの混雑具合を知ることができる。しかしこの方法では、自端末宛以外のフレームも処理することにな

り、決して小さくない処理負荷を負うことになってしまうため、少なくとも現在の 802.11 デバイスドライバにて実装するのは容易ではない。そこで簡易にチャンネルの混雑具合を推定する方法として、パケットの到達周期の揺らぎに着目する。板谷ら[5]によれば、衝突が多い環境においては CSMA/CA のメカニズムによって間欠的に UDP データフローの到達時間が揺らぐことが示されており、周期的に送出されるパケットの到達周期がチャンネルのトラフィック増大によって揺らぐことが予想される。OLSR など無線メッシュネットワークにおけるルーティングプロトコルの多くは HELLO パケットを周期的に交換しており、この HELLO パケットの到達周期の計測のみで混雑具合が推定できるのであるれば、処理負荷も小さく実装上のメリットも大きい。そこで以下では、HELLO パケットの到達周期の計測によってチャンネルの混雑具合を推定可能であるか否かを、シミュレーションおよび実験によって検証する。

### 3. シミュレーション

#### 3.1. 概要

トラフィックによって HELLO パケットの到達時間がどのように変化するかを調べるためのシミュレーションを行う。シミュレータには ns-2(ver.2.30)を用いる。一台の端末から周期的に送出される HELLO パケットをもう一台の計測端末によって受信し、送信時間と受信時間の差分を計測する。シミュレーションの構成を図 1 に示す。トラフィックは UDP データフローによって発生させるが、パケットサイズの違いによって帯域が許容できる最大トラフィック量が異なること[6]を考慮し、ショートパケット (160byte) のみで全トラフィックが構成されている場合、ロングパケット (1472byte) のみで全トラフィックが構成されている場合それぞれについてシミュレーションを行う。また、CSMA/CA では同時にメディアアクセスするノード数によって衝突や送信待ちが発生する確率が変わるため、全体のトラフィック量が同じであっても一台の端末のみが全トラフィックを発生する場合と、複数の端末でトラフィックを分担する場合はトラフィックの性質が異なると考えられる。そこでトラフィックの全体量が同じ場合でも、それを分担するノードの組数を 1~10 と変えてシミュレーションを行う。

#### 3.2. 結果

トラフィックのデータレートが 1Mbps (ロングパケット, 1フロー) の場合と、5Mbps (ロングパケット, 1フロー) の場合の HELLO の到達時間を図 2 に示す。このようにトラフィックの影響で、最大 10msec ほどの到着時間の変動が発生することが分かる。トラフィックと HELLO の平均到達時間との関係を図 3 に示す。ショートパケットトラフィックの場合は、フローの数

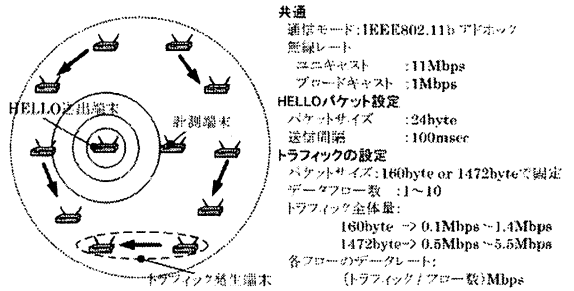


図 1 シミュレーション設定

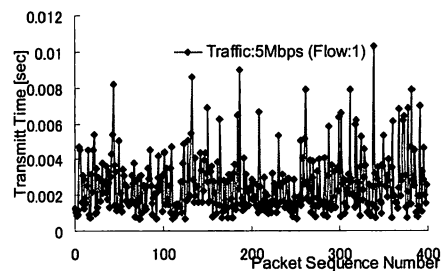
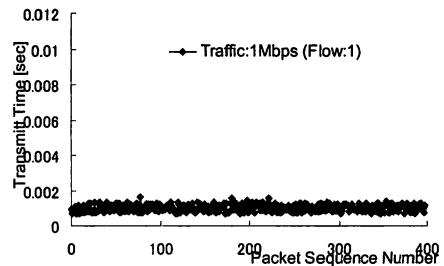


図 2 HELLO の到達時間

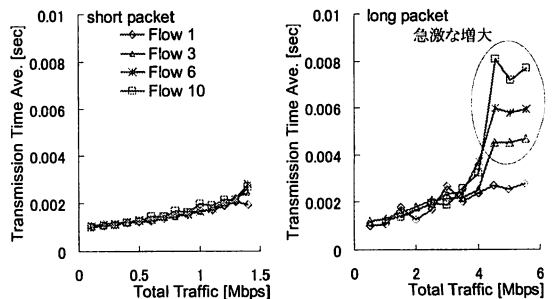


図 3 HELLO の平均到達時間

に関係なく、トラフィックのデータレートによって直線的に平均到達時間が増加する。ロングパケットトラフィックの場合は、4Mbps 付近までは直線的だが、それ以上になるとフロー数が 1 の場合を除き、到達時間が急激に増加する (点線部)。衝突なく理想的にフレームの送受信ができるとすれば、帯域が完全に飽和する

トラフィックのデータレートは、802.11b ならばショートパケットのみの場合でおよそ 1.4Mbps、ロングパケットのみの場合でおよそ 6.3Mbps と計算できるが、ロングパケットかつ複数フローのトラフィックの場合は、帯域が飽和する以前に急激な平均到達時間の増加が起きている。これは、ロングパケットトラフィックに関しては、1 パケットあたりの送信時間が大きく（およそ 1.5msec）、単位時間あたりの送信機会も少ないために、フロー数が多いと送信タイミングが重複しやすく衝突数が増大し、再送のオーバーヘッドによりさらに衝突数が増加するという連鎖が起きているためと考えられる。

次に HELLO のシミュレーションと同様のトラフィックの状態では、VoIP セッションを 1 セッション追加し、この VoIP セッションがどのような影響を受けるかを調べる。VoIP のパケットサイズは 160byte、送信周期を 20msec、無線区間の送信レートを 11Mbps とし、片方向の VoIP パケットの到達時間の変動を計測する。VoIP はユニキャストで送信され再送のメカニズムがあるため、ロスはほとんど発生していないが、平均到達時間に関しては HELLO の平均到達時間とほぼ一致する傾向がみられる(図 4)。これらの結果から、HELLO の到達時間を計測することで、新たな VoIP セッションを追加した場合の通信品質を予測することが可能であることがいえる。

## 4. 実験

### 4.1. 概要

既存の 802.11 デバイスやデバイスドライバを使って、もチャネルの混雑具合の推定が可能であるかを検証するための実験を行う。実験構成はシミュレーション(ロングパケットトラフィック) とほぼ同様とするが、トラフィックを分担するフロー数は 1~5 とする。実験端末は Linux (kernel2.6) PC で、無線 LAN カードには NECWL54AG を用いる。また、無線 LAN デバイスドライバとして Madwifi (madwifi\_old\_r1417) を用いる。トラフィックの UDP データフローは D-ITG によって生成し、また 24byte のブロードキャストパケットを 100msec 間隔で送出することで擬似的な HELLO パケットとする。シミュレーションでは送信時間と受信時間の差分を計測したが、実端末では送信側と受信側で正確に同期を取ることが困難である。一方で、パケット到達時間の変動は受信時間インターバルの変動に直結するため、受信時間インターバルにも到達時間同様の傾向を見ることが出来る。そこで本実験では、HELLO パケットの送信時間と受信時間の差分の計測の代替手段として受信時間インターバルを計測する。Linux (kernel2.6) のタイマ割り込み周期は 1kHz であり、今回の実験で計測できるのは 1msec 刻みの時刻で

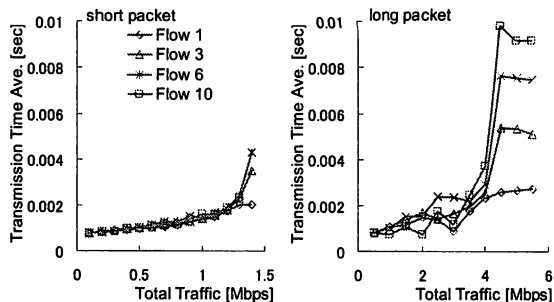


図 4 VoIP パケットの平均到達時間

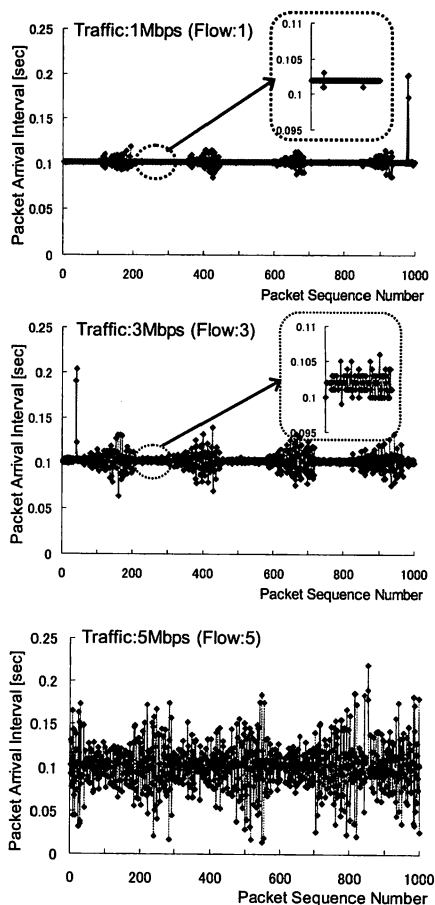


図 5 HELLO の受信時間インターバル

ある。

### 4.2. 結果

実験の結果得られた、HELLO パケットの受信時間のインターバルを図 5 に示す。今回の実験は ATR 内のテストベットを用い、他の無線 LAN が動作していないチ

チャンネルを選択し実験を行っているが、他のチャンネルは通常通り無線 LAN が利用されているため、何らか干渉を受けた可能性が否定できず、周期的に大きな乱れがみられるのはこのためだと考えられる。一方で、外的な影響を受けていないと考えられる連続的に安定している部分（図の拡大部分）もあり、この部分のみを分析の対象とする。

トラフィックのデータレートが 1Mbps (1 フロー) と 3Mbps (3 フロー) の場合を比較すると、1Mbps では受信時間インターバルがほぼ同じ周期であるのに対し、3Mbps のケースでは 1~4msec 程度のインターバルの乱れが生じており、二つのケースで明らかに傾向が異なることがわかる。同じ 3Mbps のケースのシミュレーション結果では平均で 2msec 程度の受信時間の遅延が発生しており、シミュレーション結果からも妥当な数値であると考えられる。また、データレート 5Mbps (5 フロー) の場合は、シミュレーションでは急激に平均遅延の増大したケースに相当するが、やはり他の二つのケースと比較して非常に大きな受信時間インターバルの乱れが発生しており、特徴的な傾向を示している。

今回の実装方法で取得できるのは 1msec 刻みの時刻であり、シミュレーション同等の精度で時刻を計測することはできない。しかし実験結果からは、実端末においても HELLO パケットの受信周期の揺らぎが計測可能であり、チャンネルの混雑具合を少なくとも三つに分類する程度であれば推定することが可能であることがいえる。

## 5. 考察

本稿では実装の簡便さに重点を置き、HELLO パケットに焦点を当てた。しかし HELLO の送信周期は OLSR の通常設定の場合で 2 秒であり、十分なサンプルを得るには、複数の端末からの HELLO を測定したとしても数十秒から 1 分間程度の計測時間が必要である。しかし HELLO に限らず周期的に送信されるものであれば受信インターバルを測定できるため、Beacon や専用の計測用パケットを短周期で交換することで、短時間でサンプルを収集すれば、より動的な混雑具合の推定が可能になる。また、VoIP などリアルタイムアプリケーションはパケット送信間隔が決まっているものも多く、これを利用することも考えられる。

この混雑具合の推定方法の応用の具体例のひとつとして、無線メッシュネットワークにおけるトラフィックの分散方式に利用することが考えられる。マルチチャンネルで動作する無線メッシュネットワーク AP がセッションごとに使用する隣接 AP とのリンクを決定し、新たなセッションを中継する場合は、空いているチャンネルのリンクを使用することで、自律的なトラフ

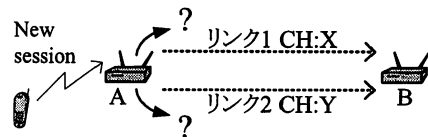


図 6 応用例

フィックの分散が可能であると考えられる(図 6)。ただし、今回のシミュレーションおよび実験ではトラフィックを定常的なものとして与えており、非定常的なトラフィックに対してどの程度追従できるかは明らかでなく、この点は応用にあたっての今後の課題である。

## 6. まとめ

トラフィックと HELLO パケットの到着時間を計測するシミュレーションを行い、トラフィックのデータレートと HELLO の平均到達時間が比例の関係にあること、ただしトラフィックがロングパケットかつ複数フローで構成される場合は、高データレート部分で急激な平均到達時間の増加があることを示した。また VoIP パケットの平均到達時間に関しても HELLO と同様にトラフィックとの依存関係があることを示し、HELLO の到達時間の計測により VoIP 通信の品質が予測可能であることを示した。実験により実環境においてもシミュレーションと類似する現象が計測され、実端末を用いたチャンネルの混雑具合の推定が可能であることを示した。今後は、提案方式の応用に向け評価を行う予定である。

## 謝辞

本研究は情報通信機構 (NICT) の研究委託により実施したものである。

## 文 献

- [1] R. Draves, J. Padhye, and b. Zill, "Routing in Multi-radio, Multi-hop Wireless Mesh networks," ACM MobiCom 2004.
- [2] P. hsiao, A. Hwang, H. Kung, D. Vlah, "Load-Balancing Routing for Wireless Access Networks," Proc. of IEEE INFOCOM 2002.
- [3] A. Tzamaloukas, J. J. Garcia-Luna-Aceves, "A Receiver- Initiated Collision-Avoidance Protocol for Multi-channel Networks," Proc. of IEEE INFOCOM 2001.
- [4] 溝口栄一, 池永全志, 尾家 祐二, "マルチホップ無線網のための複数インタフェースを用いたアクセスポイント構成法," IEICE 情報ネットワーク研究会, IN2005-220, pp.377-382, 2006.
- [5] 板谷聡子, 小菅昌克, デイビスピーター, "アドホックな無線端末郡における UDP パケットの交換の限界," IEICE, NS2003-83, pp85-88, 2003.
- [6] 近藤良久, 板谷聡子, 長谷川淳, デイビスピーター, 伊藤哲也, 松本晃, "無線マルチホップネットワークにおける送信レートとパケットサイズに関する基礎実験," IEICE 総合大会 2007.