

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420358

研究課題名(和文) MAC・ルーティング・TCPの統合的制御によるMANETのためのQoS保証方式

研究課題名(英文) QoS Supporting Scheme for MANET by Integrating MAC, Routing and TCP Protocols

研究代表者

加藤 聡彦 (Kato, Toshihiko)

電気通信大学・その他の研究科・教授

研究者番号：90345421

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：無線チャンネル干渉、混雑、端末の移動などの原因により、モバイルアドホックネットワーク(MANET)においてQoS(Quality of Service, 通信品質)を保証することは困難な課題となる。本研究では、MANETにおける複数のレイヤにまたがった制御を用いたQoS保証方式を提案する。提案方式では、MACレイヤにおける帯域確保、ファジィ論理を用いた柔軟なルーティング方式、TCPにおける転送レートとMACレイヤの帯域確保の協調の3点の特徴とする。さらに本研究では、実際のアドホックネットワークを構築し、提案方式を評価しその実用性を明らかにする。

研究成果の概要(英文)：In mobile ad hoc networks (MANETs), it is difficult to support quality of service (QoS) of communication, because of wireless channel interference, congestion and terminal mobility. This research proposes a QoS supporting scheme for MANET through multiple layer control. Specifically, the proposed scheme adopts (1) the bandwidth allocation in MAC layer, (2) the flexible routing based on Fuzzy logic, and (3) the collaboration of TCP transmission rate and MAC level allocated bandwidth. This research also implements our scheme and shows the performance of our scheme.

研究分野：通信プロトコル

キーワード：アドホックネットワーク 通信プロトコル MACレベル ルーティング TCP

1. 研究開始当初の背景

MANET は、通信インフラの無い状況で自律分散的に通信を行う特性により、災害時の通信、センサネットワークに代表される低コストネットワークの構築などへの適用が期待されている。しかし、マルチホップ通信を行う MANET では、フェージングや電波遮断物などによる無線リンク通信品質の不安定性、端末の移動による安定した経路確立の難しさなどの原因により、信スループットの低下や通信の切断などが発生してしまう。このため、音声通信などのリアルタイムデータの転送や、災害時通信やセンサネットワークにおける重要情報の転送を実現するためには、通信に必要な帯域確保や、誤り率の低減などの QoS 保証が重要となる。

従来からも MANET における QoS 保証の研究は行われているが、十分な成果を挙げているとはいえない。これは QoS の保証を阻害する原因が複数レイヤにまたがっていることによる。まず MAC レイヤにおいては、通常の 802.11 手順に従うデータ転送がベストエフォートとなる。特に MANET ではマルチホップ通信を行うため、フレームの衝突や隠れ端末/さらし端末問題などにより性能が低下する。これに対し、802.11e (現在は 802.11 に統合) では帯域確保により QoS を保証する手順を規定している。しかしこの手順はアクセスポイントを用いる形態が前提であり、MANET には適用できない。また研究[1,2]では MANET における QoS 通信方式を提案しているが、発見的手法を採用しているため、確実な帯域保証は行われない。

また、MANET における通信経路の不安定さも QoS を低下させる要因となる。現在 IETF ではいくつかのアドホックルーティングプロトコルが標準化されているが、QoS の保証との関連は検討されていない。研究代表者の研究[3]では、ファジィ論理をベースとして、ネットワーク状況に適用して安定したフラッディングを行う方式を提案している。また研究[4]では、[3]のアプローチを IETF の提案する MANET のためのルーティングプロトコル OLSR (Optimized Link State Routing) に適用し、より安定した通信が可能な中継ノードを選択する方式を提案している。しかしこれらにおいても、帯域確保や TCP との関連は考慮されていない。

さらに、MANET 上においては、いかに安定した高性能の TCP 通信を実現するかが重要となる。この課題については、研究[5]において MANET を想定した TCP ウィンドウ制御や経路制御が提案されているが、TCP におけるデータ転送レートと MAC レイヤでの帯域との対応付けなどについては検討が行われていない。

2. 研究の目的

上述のような既存方式を考慮して、我々は QoS フローを収容するためには TDMA (時

分割多重アクセス)の方式が有望であると判断した。しかしながら、これまでの研究では QoS フローとベストエフォートフローの双方を TDMA の構造に実現する方法のみが検討されてきた。我々は、QoS フローを転送するためには TDMA を使用し、ベストエフォートフローに対しては従来の 802.11 DCF (Distributed Coordination Function) のようなコンテンションベースの方法が適していると判断した。そこで、TDMA と DCF を組み合わせた QoS アドホックネットワーク方式を提案する。

3. 研究の方法

(1) 設計方針

- ・ アドホックネットワークのすべてのノードは、GPS などにより時間同期を行い、同一の時間間隔 (ビッグフレーム) の構造を保持する。

- ・ ビッグフレームは図 1 に示すように、TDMA 区間 (コリジョンなしのアクセス) と DCF 区間 (コンテンションベースのアクセス) に分けられる。TDMA 区間では、タイムスロットが QoS フローに割り当てられ、DCF 区間ではベストエフォートフローに対して DCF ベースのフレーム転送が行われる。

- ・ TDMA 区間のタイムスロットは QoS フローのデマンドにより予約される。チャンネルの利用効率を高めるために、互いに干渉しない場合には同じタイムスロットを複数のリンクに割り当てることとする。図 2 に例を示す。ここでは無線の平均転送範囲を超えた場合は、と で同じタイムスロットが利用できる。

- ・ タイムスロットの割り当ては、ルーチング情報を使用する。各ノードは 1 ホップ離れた隣接ノード、2 ホップ離れた隣接ノード、1 ホップ離れた範囲の送信の情報を持つ。QoS フローが起動されると、発信者がその経路を決定する。経路の各ノードは上記の隣接情報を考慮してタイムスロットの割り当てを行う。

- ・ タイムスロットの割り当ては、QoS フローのアドミッション制御と関連が深い。新たな QoS フローに対して、タイムスロットがフローに参加するすべてのノードで割り当て可能な場合は、そのフローが受付可能となる。

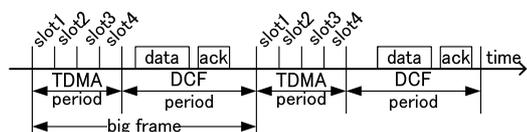


図 1 TDMA 区間と DCF 区間

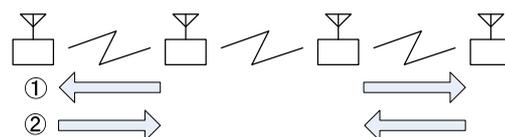


図 2 同一のタイムスロットの割り当て

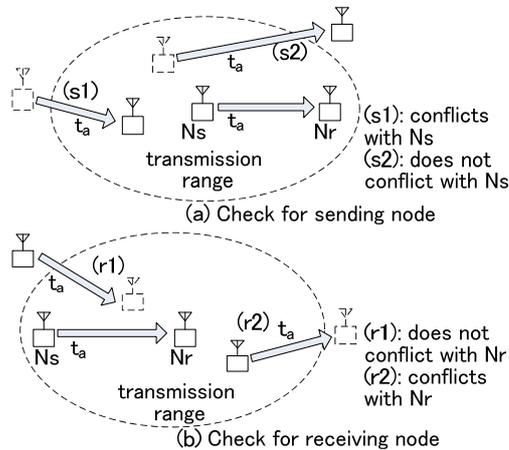


図3 タイムスロットの再利用可能性

そうでなければ、そのフローは拒否され、タイムスロットの予約はキャンセルされる。

(2) タイムスロットの選択アルゴリズム

図3にタイムスロットを再利用できるかどうかをチェックする方法のアイデアを示す。ここで、ノード N_s が QoS データをノード N_r にタイムスロット t_a で転送するとする。図3(a)はノード N_s でのチェックを示す。隣接の状態を調べ、タイムスロットに t_a よりデータを受信するノードを探す。1 ホップの隣接ノードが同じタイムスロットでデータを受信する場合は、 N_s で送信するデータと干渉する (s1)。一方、1 ホップ隣接ノードが送信者であっても、受信者が1 ホップの隣接範囲の外に存在する場合は、タイムスロット t_a は N_s とは干渉しない (s2)。したがって、送信者 N_s に対しては、1 ホップ隣接ノードが特定のタイムスロットの受信者かどうかをチェックする必要がある。そうでなければ、 N_s はこのタイムスロットを候補として選択できる。

一方受信者 N_r に対しては、1 ホップ隣接ノードがあるタイムスロットの送信者であるかどうかをチェックする必要がある。1 ホップ隣接範囲に送信者がいない場合は、はこのタイムスロットを使用できる(図3(b)参照)。

(3) アドミッション制御のためのメッセージ

タイムスロットの割り当て及びアドミッション制御のために、次のメッセージを使用する。

- **QREQ**: QoS 要求メッセージ。発信者が着呼者に向けて送信する。
- **QREP**: QoS 応答メッセージ。着呼者が発信者に QREQ メッセージが転送された逆順に送信される。
- **QREF**: QoS 拒否メッセージ。QREQ の応答となる。
- **QREL**: QoS 解放メッセージ。フローに参加するノードに割り当てられたタイムスロットを解放することを通知する。

- **QSYN**: QoS 同期メッセージ。アドホックネットワークのすべてのノードに新たに割り当てられたタイムスロットを通知する。ネットワーク全体にフラッディングされる。

(4) タイムスロット割り当てとアドミッション制御のための詳細アルゴリズム

ここでは、OLSR の使用を前提とする。OLSR の機能により、各ノードは自身の1 ホップと2 ホップの隣接ノードをの情報および MPR (Multipoint Relay) と呼ばれる転送ノードはネットワークの構成を知る。加えて、QSYN メッセージのフラッディングにより、すべてのノードはこれまでに割り当て済みのタイムスロットと対応するリンクの情報を知っている。

図4は10ノードから構成されるアドホックネットワークを示す。実線は通信可能な無線リンクを示す。この図では4つのQoSフローがタイムスロット t_1 , t_2 , t_3 により通信中であるとする。この段階でノード a がノード c に QoS フローを開始するとする。次のような手順で通信が行われる。

step1: ノード a は隣接ノード e がタイムスロット t_1 によりデータを受信することを検知する。そこで、ノード b に対してタイムスロット t_2 と t_3 を指定した QREQ を送信する。

step 2: ノード b は、QREQ により要求されたタイムスロット t_2 と t_3 に関して、自分の1 ホップ隣接ノードをチェックする。この場合、ノード f がタイムスロット t_2 を使用している。そこで、ノード b はタイムスロット t_2 候補のリストから外す。一方タイムスロット t_3 を使用する1 ホップ隣接ノードは存在しないため、ノード b は t_3 をノード a から b へのタイムスロットとして選択する。その後ノード b は b から c へのタイムスロットを選択する。この場合はタイムスロット t_1 と t_2 が利用可能である。ノード b は新たな QREQ メッセージをノード c に転送する。その際には、 a から b へのリンクにはタイムスロット t_3 を、 b から c へのリンクには $(t_1$ と $t_2)$ のスロットを候補とする。

step 3: ノード c はタイムスロット t_1 と t_2 について1 ホップ隣接環境の使用状況を調べる。この例では両方ともノード b と c

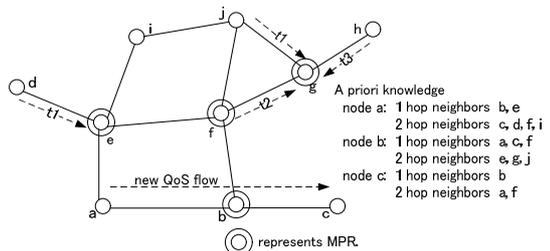


図4 タイムスロット割り当ての例

- の間のリンクで利用可能である。ノード c はタイムスロット $t1$ が2つのリンクで、 $t2$ が1つのリンクで利用されていることを知っている。このため、ノード c は b から c へのタイムスロットとして $t2$ を選択する。
- step 4:** 次にノード c は各リンクのタイムスロットとして $t2$ と $t3$ を指定した QREP メッセージを返送する。さらに、同じ情報を含む QSYN メッセージを MPR であるノード b にフラッドの依頼をする。
- step 5:** ノード b は QREP メッセージの情報に基づいて、 a から b および b から c のリンクのタイムスロットの割り当てを管理するとともに、ノード a にメッセージをフォワードする。ノード b は QSYN メッセージを他の MPR にフラッドする。
- step 6:** 同様にノード a は、QREP メッセージに指定された a から b および b から c のリンクのタイムスロットの割り当てを管理する。
- step 7:** QSYN メッセージは MPR の間でフラッディングされる。この図では以下のように転送される。

ノード b f e d および i
 g h および j

4. 研究成果

ここでは、提案する方式をシミュレーションにより評価した結果を示す。

(1) シミュレーション条件

我々は QualNet6.1 を用いて提案する方式のシミュレーションを行った。図5に使用したネットワークの構成を示す。具体的な条件は次の通り。PHY は 802.11a に従い、デー

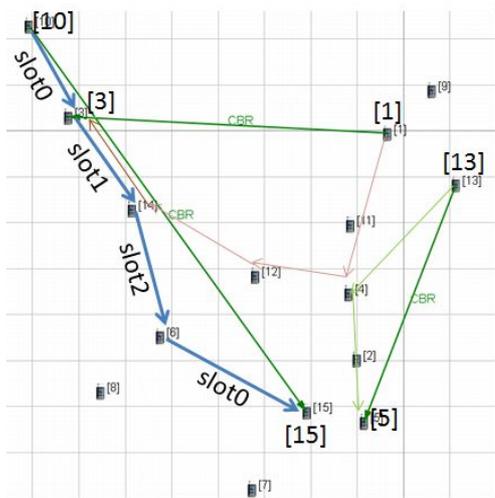


図5 タイムスロット割り当ての例

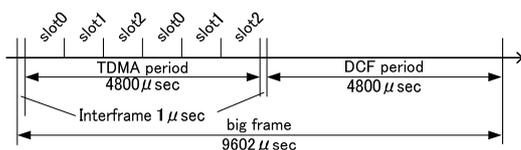


図6 ビッグフレームの構成

タレートは 6Mbps である。また無線伝搬範囲は 380 メートルである。15 個のノードが 1100 メートル×1100 メートルの領域にランダムに置かれている。この内ノード 10, 3, 14, 6, 15 を経由して QoS フローを割り当て、ノード 3 から 1, ノード 13 から 5 へ2つのベストエフォートを割り当てる。これらはすべて CBR (Constant Bit Rate) の通信で、そのパケットサイズは 512 バイト、送信速度は 16Kbps から 1000Kbps の範囲とする。ビッグフレームの時間割り当てを図6に示す。この図は6つのタイムスロットを導入している。

(2) パケット到達率とエンド間遅延の評価結果

図7にノード10から15への CBR フローに対して、CBR レートを変化させた場合のパケット到達率 (PDR) と遅延の結果を示す。評価の対象は、提案方式、IEEE802.11e をマルチホップに適用したもの、従来の 802.11 方式である。また図8に、ノード1から3への同様な結果を示す。これらから提案方式が QoS フローに対して高品質を提供していることがわかる。

他の評価も行っているが、TDMA と DCF を組み合わせることにより、QoS フローに対

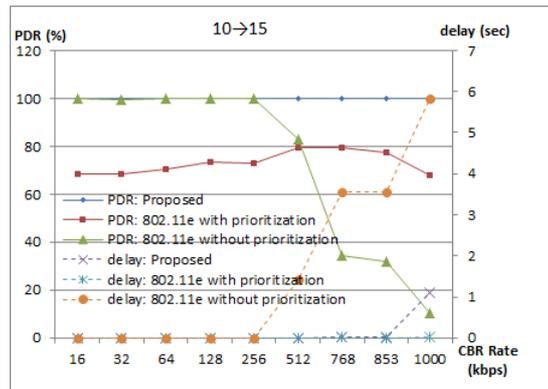


図7 ノード10から15へのパケット到着率と遅延

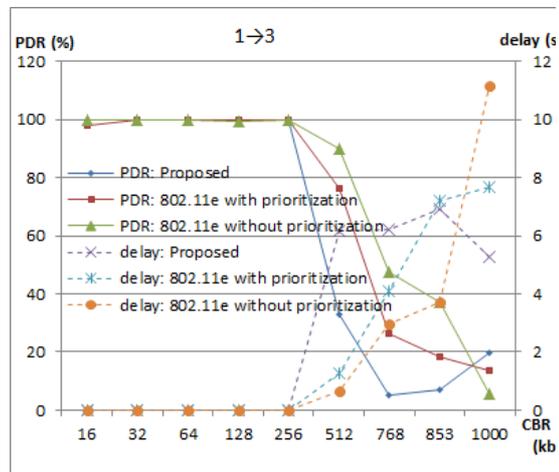


図8 ノード1から3へのパケット到着率と遅延

して優先度を与え、またベストエフォートフローに対しては許されている範囲で高いスループットを与えていることを確認している。

<引用文献>

- [1] Jeffery P. Hansen et al. Adaptive Quality of Service in Ad Hoc Wireless Networks, IEEE WCNC, pp.1749-1754, 2012.
- [2] Szu-Lin Su et al. A Novel QoS Admission Control for Ad Hoc Networks, IEEE WCNC, pp.4193-4197, 2007.
- [3] C. Wu, Satoshi Ohzahata and Toshihiko Kato, “VANET Broadcast Protocol Based on Fuzzy Logic and Lightweight Retransmission Mechanism,” IEICE Transaction on Communication, Vol.E95-B, No.2, pp.415-425, 2012.
- [4] N. Dashbyamba, C. Wu, S. Ohzahata and Toshihiko Kato, OLSR におけるファジィ論理に基づく MPR 選択方法, IEICE CQ 研究会, 2012.
- [5] K. Nahm et al., Cross-Layer Interaction of TCP and Ad Hoc Routing Protocols in Multihop IEEE 802.11 Networks, IEEE Transactions on Mobile Computing, vol.7, no.4, pp. 458-469, 2008.

5 . 主な発表論文等

[学会発表](計 4 件)

Jing Lin, Celimuge Wu, Satoshi Ohzahata, Toshihiko Kato, “Performance Evaluation of Time Slot Based QoS Aware Ad Hoc Network Scheme for CBR and TCP Flows,” in Proceedings of Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS), Busan, Korea (2015.8)

Jing Lin, Celimuge Wu, Satoshi Ohzahata, Toshihiko Kato, “A QoS Supporting Ad Hoc Networks Combining Admission Based TDMA and 802.11 DCF,” in Proceedings of Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS), Hsinchu, Taiwan (2014.9)

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

加藤 聰彦 (KATO, Toshihiko)

電気通信大学・大学院情報システム学研究科・教授

研究者番号：90345421

(2) 研究分担者

策力木格 (Celimuge)

電気通信大学・大学院情報システム学研究科・准教授

研究者番号：90596230