

車車間通信における音声配信方法の提案

板谷 聡子 長谷川 淳 近藤 良久 末廣 信哉 デイビス ピーター

鈴木 龍太郎 小花 貞夫

ATR 適応コミュニケーション研究所

〒619-0224 京都府相楽郡精華町光台 2-2-2

E-mail: {itaya, hasegawa, kondo, suehiro, davis, ryutaro.suzuki, obana}@atr.jp

あらまし 安全/安心運転や快適さの向上のため、ITS (Intelligent Transport Systems) へのアドホック通信技術の応用に期待が高まっている。本論文では、パケット集約技術で情報の冗長度を高めたフラディング方式を使用することにより、トポロジ変動の激しい環境下でも安定した VoIP 通信を実現する方法を提案する。提案方式を利用することにより、一般道における車両実験において、アドホックルーティングプロトコルを用いた場合に最大 80%以上あったパケット損失率を 5%以下に抑えることに成功した。

キーワード 車車間情報配信, VoIP, アドホックルーティング, フラディング, パケット集約

Proposal of voice delivery method for inter-vehicular communications

Satoko ITAYA, Jun HASEGAWA, Yoshihisa KONDO, Shinya SUEHIRO,

Peter DAVIS, Ryutaro SUZUKI, Sadao OBANA

ATR Adaptive Communications Research Laboratories

Hikariday 2-2-2, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto, 619-0224, Japan

E-mail: {itaya, hasegawa, kondo, suehiro, davis, ryutaro.suzuki, obana}@atr.jp

Abstract We propose a method for improving quality of real-time communications such as VoIP in multi-hop inter-vehicular communications. The method uses redundant data transmissions, packet aggregation and packet flooding. We present experimental results for a RTP stream which demonstrate a dramatic reduction in the maximum packet loss from over 80 percent with OLSR routing protocol to lower than 5 percent with the proposed method when traveling on open roads at traffic speeds from 40km/h to 60km/h.

Keyword Inter-Vehicular communications, VoIP, ad hoc routing, flooding, packet aggregation

1. はじめに

近年、無線 LAN や Bluetooth などの短距離無線技術の急速な発展と普及により、無線デバイスを有する端末のその場限りの即時的な無線通信網 (アドホックネットワーク) に関する研究活動が活発であり、様々なアプリケーションの開発が行われている [1]. その中で、車車間通信や路車間通信などの ITS (Intelligent Transport Systems) へのアドホック無線通信の応用による、安全/安心運転や快適さの向上に対する期待が高い。その中で、緊急車両の接近をいち早く伝えたり、複数の車両が協調して走行したりするために、車車間での安定した VoIP (Voice over IP) 通信実現が待望さ

れている。

多くの場合、VoIP ソフトウェアでは、SIP (Session Initiation Protocol) により通話を確立する [2]. このとき、無線アドホックネットワークにおいては、通話を開始する 2 端末間での通信経路の確保が必要となるため、アドホックルーティングプロトコルが使用されることが多い。しかし、IETF で標準化が進んでいるアドホックルーティングの AODV [3] や OLSR [4] や、マルチキャストルーティング [5-8] では、車車間通信のように急激なトポロジ変化に追従することが困難である。

本稿では、パケット集約技術で情報の冗長度を高め、トポロジ変化に強いフラディングを使って転送することにより、車車間で安定した VoIP 通信を行う方式を提

案する。また、提案方式をミドルウェアとして実装し、車両実験を行った結果を合わせて報告する。

2. フラディングを用いた車車間音声配信

本研究では、後方または前方から接近する緊急車両から発生される音声データを、直接受信できる場所に存在する端末が転送することにより、緊急車両接近情報の到達エリアを拡大し、緊急車両の進路確保を迅速に行うというモデルネットワークを想定している。

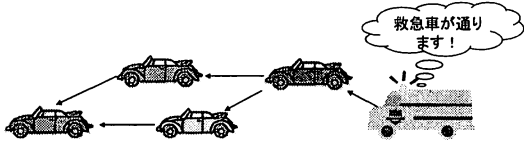


図 1. モデルネットワーク.

アドホックネットワーク上でマルチメディアを効果的に配信する方法として、AMRoute[5], ODMRP[6], AMRIS[7], CAMP[8]などのマルチキャストルーティングプロトコルが存在するが、Sung-Ju Leeらにより、これらのプロトコルと比較してモビリティに対して最も堅牢なのはフラディングであることが示されている[9]. これは、レイヤ3でのマルチキャストを行う場合は、いずれの場合もネットワークに参加するための手続きに所要する時間が存在し、特にトポロジの変動の激しい環境では頻りに端末のネットワークへの参加・離脱が発生するためと考えられる。本研究においては車車間通信というきわめてモビリティが高いネットワークを対象としているため、ベースプロトコルとしてフラディングを採用した。

3. ブロードキャスト通信の信頼性

音声データをフラディングで配信する場合、ユニキャストで送信されるべきデータをブロードキャストで送信することによるパケット到達率低下が懸念される。しかし、ブロードキャスト通信を用いても同一データを複数回送信することにより、一情報あたりのパケット損失を抑制することが可能である。

本節では、同時にCSMA/CAでメディアにアクセスしようとする端末数を N 、コンテンションウィンドサイズを C_W としたときの1ホップあたりのブロードキャストの損失率と送信回数との関係を考察する。各端末において、アプリケーション層で同時に送信しようとした場合でも、システム間に揺らぎがあり、いずれかのノードが最初に送信することになることが実験的に報告されている [10]. この状態を考慮すると、ある端

末がブロードキャスト通信を行った場合に、同一データを R 回再送するとき、衝突によりパケットが損失する確率 P_R は式 (1) のようになる。

$$P_R = 1 - \{1 + (N-1) \times [(C_W-1)/(C_W)]^{(N-2)}\} / N^{(N-1)} \quad (1)$$

ここで、記号“ \wedge ”は累乗を表している。図2は送信回数 R を変化させたときの、 P_R を示している。本稿では、802.11b/gを想定し、 $C_W=32$ とした。

実線が P_1 、点線が P_2 、一点差線が P_3 、太い実線が P_5 である。図2より、ブロードキャストで1度だけデータを送信する場合、10ノードで20%程度の衝突による損失が予測されるが、同じデータを3回送信することにより1%未満に、5回送信することにより 10^{-4} まで減少させることができることがわかる。この結果から、ブロードキャスト通信を用いる場合でも、同一データを複数回送信することにより、パケット損失を減少させることができることがわかる。

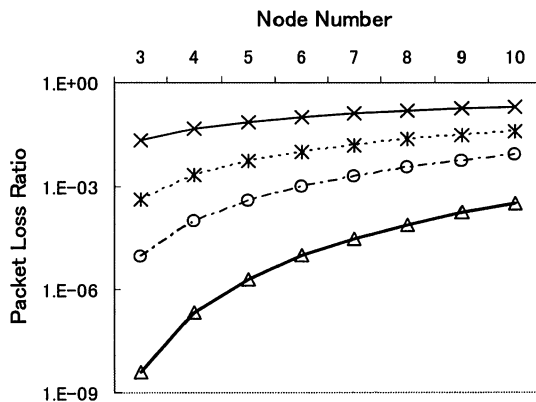


図 2. 衝突によるパケット損失率 (ブロードキャスト使用時).

4. フラディング通信における信頼性向上

3章で述べたように、ブロードキャスト通信の信頼性を向上する方法として、同一データを複数回送信する方法が考えられる。一方で、それらのデータを個別にフラディングすることにより、大量のパケット送信が発生し、衝突によるパケット損失が増加することが予想される。そこで、ネットワークを流れるパケット数を増やさず、同一データを複数回送信する方法として、冗長フラディング方式が有効であると考えられる。

冗長フラディング方式は、冗長ブロードキャスト方式[11]と同様に、アプリケーションが生成した過去のデータをミドルウェア内でバッファに格納し、新規データ生成時に1つのパケットに集約して送信する方法

である。具体的には、各端末において、長さ R の送信バッファを用意し、 $(R-1)$ 個のすでに送信したデータと新しく生成されたデータを1つのパケットに集約して送信する。また、アプリケーションが予定時間に次のパケットを生成しない場合は、現存するバッファの中身を送信、バッファ内が空になったら送信終了する。図4に冗長度が3の冗長フラディング方式の概要を示す。ここで、 n は生成されたパケットのシーケンス番号を表している。5番目のパケットに注目すると、7番目のパケットが送信されるまでに3回送信される。

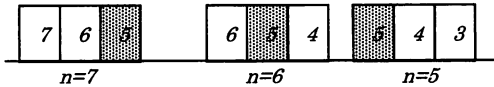


図 3. 冗長フラディング方式の概要。

5. フラディングミドルウェア~FloodVoice~

本研究では、汎用性を高めるため、VoIPアプリケーション自体に手を加えない形で、フラディングミドルウェア FloodVoice として実装した。具体的には、VoIP または他のアプリケーションから生成されたパケットをフラディングヘッダによりカプセル化して送信することにより、いかなるアプリケーションから生成されたパケットであっても、フラディングを用いて配信することを可能にした。

VoIP のようなリアルタイム性が要求され、インタラクティブなアプリケーションでは、情報が伝達されるまでの遅延時間をできるだけ短く保つことが品質を維持する上で重要である。そこで、プログラム内での処理遅延を最小限に抑えるため、ミドルウェア内でのキューイング等は行わず、新しいパケットが生成された場合、速やかにカプセル化して送信するものとする。また、フラディング方式は重複パケットチェックのみを行う Pure フラディングを実装した。

また、フラディングソフトウェアにおける処理遅延をできる限り削減するため、情報管理に関してはリングバッファ方式を採用している。リングバッファ方式では、初期設定時に、指定されたセッション数とリングバッファ数を元にフラディング制御用の領域を確保する。そして、データの受信または転送時にフラディングプロトコル独自ヘッダのシーケンス番号をリングバッファに登録し、登録数をインクリメントする。このとき、初期設定にて指定されたリングバッファの最大サイズに到達した場合は、新たに挿入せずに古いシーケンス番号のバッファデータに上書きする。また、送信元端末別に指定されたリングバッファのポイントによりシーケンス番号をキーに重複チェックを実施す

る。このとき、セッション情報で持つリングバッファの登録数により、登録数が少ない場合の無駄なチェックを抑える。リングバッファの最大サイズは、メッセージ送信間隔を考慮して決定する。

6. 実証実験

次に、3 台の車両が連なって走行中に、最後尾の車両から前方車両へ G711 コーデックを用いた VoIP 通信を行う場合を想定した実証実験を行った。実証実験では、ピュアフラディングと FloodVoice を比較した。また、AODV-UU version 0.9.3, OLSR Version 0.4.10 を使用して参考データを取得した。冗長フラディングのバッファサイズは3とし、各ルーティングプロトコルのパラメータはデフォルト値を使用した。通信端末には Red Hat Linux 9 (kernel version 2.6.9) がオペレーティングシステムとして搭載されている。

また、アドホックネットワーク用インターフェースとドライバの組み合わせについては、屋内環境では IEEE802.11b 準拠の PLANEX 製 GW-CF11H (Prism Chip 2.5) と orinoco_cs0.15rc2STA を、屋外環境においては NECWL54AG と Madwifi (madwifi_old_r1417) を使用した。テストトラフィックには RTP (Real-time Transport Protocol) を用い、以下の条件で実験を行った。

- ・ パケットサイズ 200 バイト
- ・ 送信間隔 20 ミリ秒
- ・ 1 試行 5000 パケット

実験は、屋内に3台の端末を両端の端末が1ホップで通信不可能なように設置し、各端末が静止した状態で両端の端末間で通信を行う静的実験と、3台の車にそれぞれ通信端末を乗せ、一般道を使用し走行コースを決めて時速 40Km~60Km 程度で走行しながら行う動の実験を行った。静的実験では、各試行の間を5秒置いて、10試行繰り返し、動の実験では、コースを走り終えるまで、試行を繰り返した。

表 1. 最大パケット損失率(%)。

	静的実験	動の実験
フラディング	1.66	17.62
冗長フラディング	0.71	5.2
AODV	0.44	19.58
OLSR	1.78	83.02

表1より、フラディング、冗長フラディング方式を使用する場合も、静止状態で他のアドホックルーティングプロトコルと同等の性能を示していることがわかる。しかし、動的実験においては、アドホックルーティング使用時に経路変更に追従できず、大きなパケット損失率を示すのに対し、冗長フラディング使用時には、数%のパケット損失率に抑えられていることがわかる。図4はフラディングを使用した場合、図5は冗長フラディングを使用した場合の、先頭車両におけるパケット到着時間間隔の時系列を示している。フラディングのみを使用した場合、パースト的にパケット損失が発生する場合があるが、冗長フラディングを使用することにより通信性能が大きく改善していることがわかる。

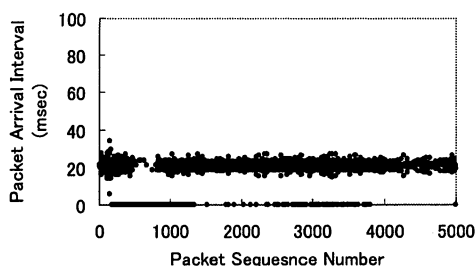


図 4. パケット到着時間間隔 (フラディング).

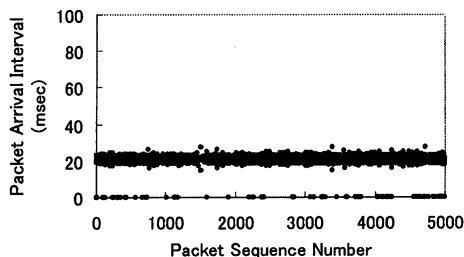


図 5. パケット到着時間間隔 (冗長フラディング).

また、アドホックルーティングを使用した場合には、最大 80%以上あったパケット損失率が、冗長フラディングを使用することにより 5%程度まで低減できることができた。

7. まとめ

本稿では、車車間での音声通信アプリケーションをサポートするために、経路構築の必要がなくパケット損失に対して堅牢な冗長フラディング方式を提案した。提案方式では、VoIP のようなリアルタイムアプリケーションにおいて、データパケットが小さいことを利用し、パケット集約方式により冗長性を高め、フラディングで情報を伝達する。提案方式を用いることにより、

オーバーヘッドを最小限に抑えながら、ブロードキャストに再送メカニズムを導入し、アドホックルーティング使用時に最大 80%以上であったパケット損失率を 5%程度に抑えることに成功した。提案方式は、VoIP アプリケーション、相互対戦ゲーム、ネットワークロボットなど、短いデータパケットが頻繁にやり取りされるような場合に極めて有効である。

今後はスケーラビリティに関する工夫を導入し、大規模ネットワークにおいて提案方式の有効性を示していく予定である。

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] 小菅昌克, 板谷聡子, Peter Davis, 梅田英和, “アドホックネットワークが開く新しい世界 (後編),” 情報処理, Vol. 44, No.11, 2003, pp.1060-1063.
- [2] Handley, M., Schooler, E., and H. Schulzrinne, “Session Initiation Protocol (SIP),” RFC3261, June 2002.
- [3] Charles E. Perkins, Elizabeth M. Belding-Royer, and Samir Das. “Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing,” RFC 3561, July 2003.
- [4] T. Clausen, P. Jacquet, “Optimized Link State Routing Protocol (OLSR),” RFC3626, Oct. 2003.
- [5] E. Bommaiah, M. Liu, A. McAuley, and R. Talpade, “AMRoute: Ad hoc Multicast Routing Protocol,” Internet-Draft, draft-talpade-manet-amroute-00.tct, Aug, 1998.
- [6] S.-J. Lee, M. Gerla, and C.-C. Chiang, “On-Demand Multicast Routing Protocol,” IEEE WCNC’99, 1999, pp. 1298-1304.
- [7] C. W. Wu, Y. C. Tay, and C. -K. Toh, “Ad hoc Multicast Routing protocol utilizing Increasing id-numberS (AMRIS) Functional Specification,” Internet-Draft, draft-ietf-manet-amris-spec-00.tct, 1998.
- [8] J. J. Garcia-Luna-Aceves and E. L. Madruga, “The Core-Assisted Mesh Protocol,” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol.17, no.8. Aug, 1999, pp.1380-1394.
- [9] S.-J. Lee, W. Su, J. Hsu, M. Gerla, and R. Bagrodia, “A performance comparison study of ad hoc wireless multicast protocols,” IEEE INFOCOM, 2000, pp.565-574.
- [10] P. Poupyrev, M. Kosuga, and P. Davis, Analysis of Wireless Message Broadcast in Large Ad Hoc Networks of PDAs, In proceedings of Forth IEEE conference on Mobile and Wireless Communications Networks, 2002, pp. 299-303.
- [11] S. Itaya, P. Davis, “Robust, low latency wireless transmissions for real-time interaction in small ad hoc groups,” The 6th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPNC’03), 2003, Vol. 2, pp. 497-501.