

路車間通信における同報・個別通信混在時の 安定したサービス提供のための制御方式

服部 有里子^{1,a)}

受付日 2011年4月7日, 採録日 2011年10月3日

概要: 道路に設置した路側無線装置 (基地局) と車両に搭載された車載器 (移動局) との間の路車間通信において, 1つの基地局が複数の移動局に対して同報通信 (放送型) の情報提供サービスと個別通信 (双方向型) のアップリンク情報サービスを同時に提供するシステムが考えられる. このような同報・個別通信混在環境では通信帯域を効率良く利用し, 複数の移動局が限られた通信領域内で所望の同報データ, アップリンクデータを同時に受送信することにより安定したサービスが提供できる. 本稿では, 移動局が基地局と通信リンク接続し, サービス提供のために必要とされる通信接続時間を確保する, 通信接続管理方式を提案し, さらに, 同報・個別通信のスロット配置を改良し, 基地局が通信領域内の複数の移動局と所望のデータ量の情報交換を可能とする, 通信帯域制御方式を提案した. 実証試験の結果, 提案方式の適用により, 複数の移動局が限られた通信時間内に所望の情報量を同時に受送信完了することを確認し, 提案方式の有効性を評価した.

キーワード: 路車間通信, 同報通信, 個別通信, 狭域通信

Control Methods for Providing Steady Services under Mixed Traffic of Broadcast and Individual Links on Road to Vehicle Communication

YURIKO HATTORI^{1,a)}

Received: April 7, 2011, Accepted: October 3, 2011

Abstract: Road to vehicle communication where a base station provides multiple mobile stations with both broadcast and up-link individual communications at the same time is assumed. In this paper, we propose the control methods whereby multiple mobile stations receive required broadcast data and transmit required up-link data in the restricted communication area at the same time by efficiently using the communication zone. As the result of the feasibility test, it is confirmed that both receiving and transmitting of required information volume are completed within the restricted communication time, and the effectiveness of the proposed methods are confirmed.

Keywords: road to vehicle communication, broadcast communication, individual communication, DSRC (Dedicated Short Range Communication)

1. はじめに

道路に設置した路側無線装置 (基地局, RSU: Road Side

Unit) と車両に搭載された車載器 (移動局, OBU: On Board Unit) との間で通信を行う路車間通信を利用した, 車両への様々なサービスが実用化され, 路側から車両への情報提供に加えて, 走行履歴や性能データ等の車両情報を路側に吸い上げ, それを活用するサービスへと拡大している. これまでは同報通信 (放送型)・個別通信 (双方向型) 専用のサービスが提供されてきたが, 今後は同報・個別通信混

¹ 三菱重工業株式会社
Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., Kobe, Hyogo 652-8585,
Japan

^{a)} yuriko_hattori@mhi.co.jp

在環境でのサービスが本格化し、受送信する情報量は多くなると予想される [1]。ここで、移動局が受信する同報情報量は 25 kbyte 以下、移動局が送信するアップリンク情報量は 4 kbyte 以下とすることが規定されている [2], [3]。また、本研究で対象とする通信方式では、移動局から基地局へのアップリンクは、通信リンク接続によるコネクション型の個別通信によりデータ送信することが規定されている [6]。

このような 1 つの基地局が複数の移動局に対して、同報通信の情報提供サービスと個別通信のアップリンク情報サービスを同時に提供するシステムでは、複数の移動局が限られた通信領域内で所望の同報データ、アップリンクデータを同時に受送信することにより安定したサービスが提供できる。この場合、通信手段における課題は以下の 2 点である。

- 移動局は、基地局と通信リンク接続し、通信回線状況悪化による通信不安定時においても、サービス提供のために必要とされる通信接続時間を確保すること（通信接続に関する課題）
- 基地局は、通信帯域を効率良く利用し、通信領域内の複数の移動局と所望のデータ量の情報交換を可能とすること（通信帯域に関する課題）

本研究では、路車間通信として ETC (Electronic Toll Collection System) 等に用いられている 5.8 GHz 帯 DSRC (Dedicated Short Range Communication, 狭域通信) [4], [5] を対象とする。DSRC は ARIB 標準 STD-T75 [6], STD-T88 [7] に準拠し、通信領域が比較的狭いこと、伝送速度が速いこと等を特長としている。本稿ではこれらの ARIB 標準を前提として既存の標準規格の拡張により通信特性を改善する制御方式を提案する。

通信接続に関する課題については、通信領域の入口・出口付近でスムーズな通信リンク接続・切断が実現できることが必要である。また、高速で移動する車環境ではシャドウイング等により通信回線状況が悪化した場合、通信領域内の移動局が連続して回線断となり、通信不能な状況になることがある。本稿では移動局の通信接続管理に着目し、移動局の通信接続管理タイマによる通信リンク切断判定を改良した。通信不安定になった場合も再接続により接続可能時間を確保する制御方式を提案する。

また、DSRC は通信領域が狭域なため、通信帯域に関する課題を解決するために、本稿では基地局の通信帯域制御に着目し、基地局の移動局に対する通信接続維持動作を改良した。占有する通信帯域を開放することにより通信効率を向上させ、基地局が通信領域内の複数の移動局と所望のデータ量の情報交換を可能とする方式を提案する。

実証試験の結果、提案方式による通信接続管理改善および通信帯域制御の効果を確認し、提案方式の適用により複数の移動局が限られた通信時間内に所望の情報量を同時に受送信完了することを確認し、提案方式の有効性を評価

した。

以下、2 章で先行研究、3 章で問題設定と要求条件について述べたのち、4 章で課題の整理を行い、5 章で課題解決のための制御方式を提案する。6 章で実証試験について説明し、最後に 7 章で本稿をまとめる。

2. 先行研究

2.1 受信信号強度制御

文献 [1] において受信信号強度 (RSSI: Received Signal Strength Indicator) 制御を適用することが規定されている。これまで基地局と移動局とが安定した通信リンク接続を行うため、RSSI 制御について研究されている [8]。RSSI 制御を適用しない場合、通信領域の入口付近で通信リンク接続・切断が繰り返し発生するという問題が生じる。リンク接続用 RSSI 閾値、リンク切断用 RSSI 閾値を選定し、リンク接続・切断のタイミングを判定することによりリンク接続・切断のばたつき現象が解消し、スムーズなリンク接続・切断が実現できることが確認されている。RSSI 制御を適用したリンク接続・切断例を図 1 に示す。

RSSI 制御を適用した、移動局におけるリンク接続手順とリンク切断・周波数選定移行手順の一例を以下に記す。

- ① 移動局が基地局のエリア進入時、周波数選定状態から連続して RSSI 値が正しく検出された場合にリンク接続手順への移行を判断する。
- ② 次に、リンク接続が完了して移動局が正常動作状態に移行すると、RSSI 値検出時のエラーの発生状況に応じて状態が遷移する。ここで、連続してエラーが発生すると、異常動作状態と判断し、リンク切断手順への移行が判断される。
- ③ 移動局は RSSI 値によってリンク切断手順への移行を判断する。いったんリンクが切断されると、周波数選定状態に移行し、以後繰り返しの動作を行う。

上記のリンク切断判定では、基地局と移動局が通信リンク接続後にシャドウイング等により通信回線状況が悪化し、基地局が移動局からデータ受信できなくなった場合、

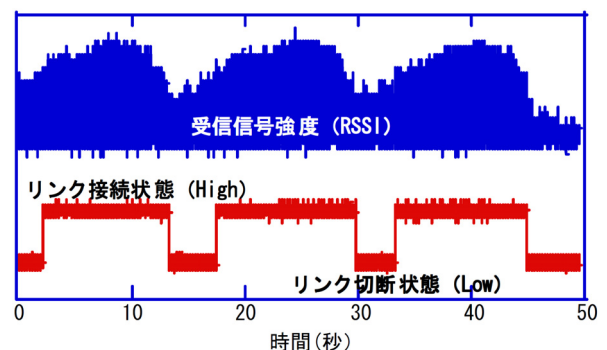


図 1 RSSI 制御を適用したリンク接続・切断例

Fig. 1 Example of link connected/disconnected applied RSSI control.

移動局は基地局からデータを受信できると、通信継続状態と判断するため、基地局と移動局のリンク切断判定が行われず、移動局はリンク切断手順に移行することができない。その結果、移動局は通信領域に存在するにもかかわらず個別通信が行えなくなり、再接続する機会を逸することから通信不能な状況となる。

2.2 ARIB 標準における通信接続管理

ARIB STD-T88 では、基地局の通信接続管理タイム (CTR: Connection Timer for RSU) および移動局の通信接続管理タイム (CTO: Connection Timer for OBU) により基地局と移動局間の通信接続の状態を監視することが規定されている。CTR は移動局との通信接続ごとに生成し、当該移動局からデータ受信できずに CTR がタイムアウトした場合は、リリースを移動局に送信して CTR を終了させる。CTO は基地局との通信接続時に生成し、基地局から有効なデータ着信の通知を受けるごとに CTO をリセットする。基地局から有効なデータ着信がなく CTO がタイムアウトした場合は、CTO を終了させ、新たな接続通知もしくは同報受信を待ち受ける。

上記の通信接続管理では、基地局が移動局からデータ受信できなくなった場合、基地局において CTR によるタイムアウトが発生するが、移動局では基地局から同報データを受信できる場合がある。同報データ受信により CTO のリセットを続けると、移動局は基地局との通信接続を継続しているものと見なし、再接続する機会を逸することから通信不能な状況となる。

2.3 ARIB 標準における通信帯域制御

ARIB STD-T88 では 1 つの通信フレームを時分割して複数スロットに分け、それぞれのスロットに各移動局向けのデータを割り付けることが規定されている。基地局においてデータ分割、移動局で組み立てを行う通信制御により、通信フレーム中の複数スロットを同一移動局に多重化して割り付け、通信スロットを有効利用することで実効伝送速度の向上を図っている。通信フレームは、路車間通信に必要な制御情報等を格納する制御スロットと複数の移動局とデータ交換を行うための複数のデータスロット、および移動局が基地局に通信接続を要求するためのスロットから構成される。通信フレームのスロット配置例を図 2 に示す。

基地局のアプリケーションサブレイヤ (ASL) はアプリケーションからサイズの大きいデータを受け取った場合、データを通信フレームの 1 スロット容量内に収まるサイズに分割し、順次レイヤ 7 (アプリケーションレイヤ) へ渡すように操作する。分割されたパケットはレイヤ 2 (データリンクレイヤ) の送信キューに積み上げられ、空スロットに順次割り付けられる。これにより移動局は 1 フレーム中の複数スロットを占有することが可能となる。ARIB

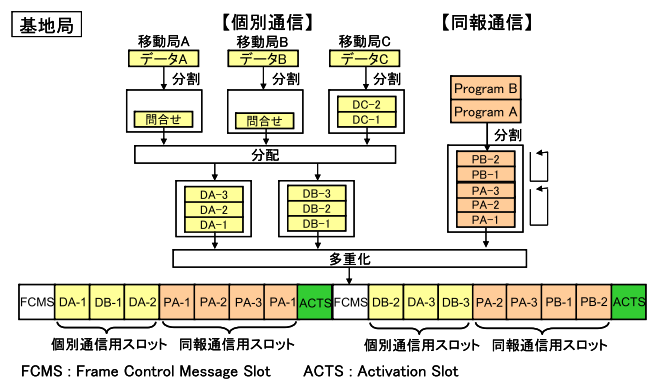


図 2 通信フレームのスロット配置例
 Fig. 2 Example of slots arrangement on communication frames.

STD-T88 では、同報・個別通信混在時には、同報通信用のスロットを 1 フレームに 1 スロット以上を確保することが規定されている。

3. 問題設定と要求条件

3.1 路車間通信のゾーン構成

本研究で対象とする路車間通信では、1 つの基地局が複数の移動局と同時に通信を行う構成とする。基地局位置を中心とした直径 20~30 m の範囲を通信領域として安定した通信ゾーンを構成するが、シャドウイング等により通信回線状況が悪化し、通信不安定になることがあるものとする。ここでシャドウイングとは、基地局と移動局の間の電波伝搬路に他の車両や障害物が存在することで電波が遮られて、通信に影響を与える現象である。図 3 に通信ゾーン構成を示す。

3.2 同報通信

同報通信では、移動局が通信領域に入ると、基地局から移動局へ同報データを送信する。データ送信は単方向であり、移動局は基地局へ確認応答を送信しない。基地局は通信領域内の不特定多数の移動局を対象に、誤り率を改善するためにデータを複数回繰り返して送信する「連送処理」を行う。同報通信では、たとえば渋滞情報や規制情報等の道路交通情報を画像や音声で提供する。

3.3 個別通信

個別通信では、基地局と移動局との通信リンク接続後、通信を開始し、移動局または基地局からデータを送信すると相手局から確認応答を受信する。個別通信では、たとえば車両位置や車速等の車両の走行履歴データを基地局が収集する。基地局は、移動局への転送データがない場合に移動局に対して送信有無を問い合わせる「送信問合せ」を周期的に行う。移動局は送信データを保持している場合、この問合せに応えることでデータを送信できる。移動局に送

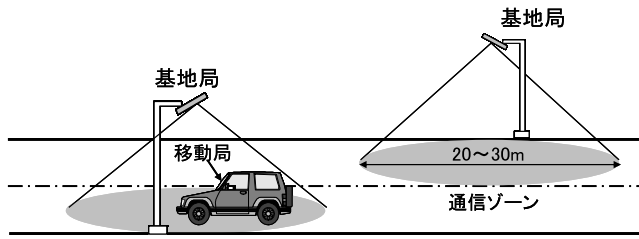


図 3 通信ゾーン構成

Fig. 3 Configuration of communication zone.

信するデータがない場合は、データがないことを基地局に通知する。基地局は応答の有無によって移動局の存在を監視することになり移動局との通信が継続可能かどうかの判定が可能である。

3.4 通信方式と要求条件

本研究で対象とする通信方式と要求条件を以下に示す。5.8 GHz 帯 DSRC は、ARIB STD-T75, STD-T88 に準拠し、通信領域が比較的狭いこと、伝送速度が速いこと等を特長としている。片側 4 車線道路を走行する車両に対応するため、移動局の同時接続台数を 4 台としている。走行速度 100 km/h で通信領域 20 m を通過する通信時間 720 ms 内に、同報 50 kbyte, アップリンク 4 kbyte の受送信が完了することを要求条件とする。同報情報量は伝送途中のエラーを考慮し、25 kbyte × 2 回分のデータ量とする。ここで、走行速度 100 km/h は高速道路の制限速度であり、20 m は 5.8 GHz 帯 DSRC の最小通信領域である。同時接続台数 4 台、同報情報量 25 kbyte, アップリンク情報量 4 kbyte は、文献 [1], [2], [3] に規定されている数値を根拠とする。

- 通信方式：5.8 GHz 帯 DSRC (ARIB STD-T75/T88 準拠)
- 伝送速度 4 Mbps (QPSK : Quadrature Phase Shift Keying)
- 空中線電力 (移動局) 10 mW 以下, (基地局) 300 mW 以下
- 1 スロット容量：(同報) 181 byte, (個別) 183 byte
- 1 フレーム通信時間：7 ms
- 1 フレーム利用可能スロット数：7 スロット
- 同報情報量：50 kbyte (25 kbyte × 2 回)
- アップリンク情報量：4 kbyte
- 最小通信領域：20 m
- 同時接続台数：4 台
- 移動局の通信時間：720 ms (走行速度 100 km/h での通信領域 20 m の通過時間)
- 送信問合せ周期：4 フレームに 1 回

4. 課題の整理

4.1 通信接続に関する課題

ARIB STD-T75 では、移動局の空中線電力を 10 mW 以

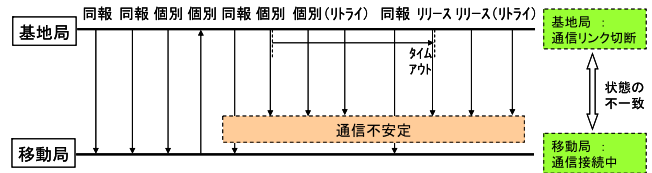


図 4 基地局と移動局の通信状態が不一致となるシーケンス例

Fig. 4 Example of sequence wherein communication state of base station and mobile station become non-corresponding.

下、基地局の空中線電力を 300 mW 以下と規定しており、移動局の空中線電力は基地局の空中線電力よりも小さいため、シャドウイング等により通信回線状況が悪化した場合、移動局は基地局からデータ受信できるが、基地局は移動局からデータ受信できなくなるケースが生じる。この場合、基地局が通信切断状態、移動局が通信継続状態となり、基地局と移動局の通信状態が一致しなくなることがある。基地局は個別通信途中に移動局が通信領域から抜けた (通信エリアアウト) と判断する。移動局は通信領域に存在するにもかかわらず個別通信が行えなくなり、また、再接続する機会を逸することから通信不能な状況となる。

図 4 に基地局と移動局の通信状態が不一致となるシーケンス例を示す。移動局の空中線電力が基地局の空中線電力よりも小さいため、通信が不安定な場合、基地局が個別通信の確認応答を移動局から受信できないことにより、基地局からの個別通信が届かず、基地局が通信切断状態となることがある。移動局は基地局から同報データを受信できると、通信継続状態となる。

以下に、課題となる具体的ケースについて整理する。

4.1.1 個別通信が途中で終了するケース

ARIB STD-T88 では、基地局が移動局からデータを受信できなくなった場合、通信接続管理タイム CTR によるタイムアウトが発生する。同報・個別通信混在時に CTR がタイムアウトした時点で基地局から送信されるリリースを通信回線状況悪化により移動局が受信できず、一方で同報データ受信により通信接続管理タイム CTO のリセットを続けると、移動局は通信領域に存在するにもかかわらず途中で個別通信が終了し、個別サービスを提供できないケースがある。

文献 [9] のシミュレーション結果によると、片側 2 車線で車両速度が第 1 車線 80 km/h, 第 2 車線 100 km/h, 車両密度が 100 台/km の場合、シャドウイングが発生する確率は 0.08 である。ここで、車両密度は 1 つの車線で 1 km に何台の車両が存在するかで表す。実際の通信では、個別通信は受信できず、同報通信だけ受信できるケースは、10 回に 1 回の頻度で発生すると考えられる。通信が不安定な場合、基地局が個別通信の確認応答を移動局から受信できないケースがあるが、個別通信は受信できて同報通信だけが受信できないケースは、ほとんど発生しないと考える。

4.1.2 個別通信が開始できないケース

基地局と移動局との通信リンク接続において、移動局は基地局から接続通知を受信したが、基地局は移動局から確認応答を受信できない場合、移動局は同一通信領域において個別通信を開始できず、個別サービスを提供できないケースがある。ARIB STD-T88 では、移動局は接続通知受信時点で CTO をリセットするが、基地局は確認応答を受信できないため、CTR による通信接続監視が開始されない。この場合、移動局は同報データを受信することができる。

4.1.3 通信再接続遅延

移動局において通信切断が発生した場合、再接続までにリリスタイムで規定される時間と周波数選定時間を加算した時間だけ必要となる。その結果、いったん通信が切断されると、再接続することなく通信領域から抜けてしまい、通信不能な状況となり、移動局が所望のサービスを提供できないケースがある。この場合、移動局は同報データも受信することができない。

4.2 通信帯域に関する課題

個別通信において、基地局は移動局への転送データがない場合に、移動局に対して送信問合せを周期的に行う。基地局は応答の有無によって移動局との通信が継続可能かどうかの判定が可能である。この送信問合せによって一定の通信帯域が占有され、移動局の同時接続可能台数を制限したり、同報通信で利用可能な通信帯域を制限したりする。以下に、課題となる具体的ケースについて整理する。

4.2.1 個別通信の接続維持動作

ARIB STD-T88 では、個別通信の通信接続を維持するために、基地局・移動局間で送信問合せが周期的に行われる。この送信問合せには、それぞれ 1 スロットを占有することから、複数の移動局との同時通信等により同報通信帯域を圧迫する要因となり、1 フレームに割り当てられる同報通信用スロット数が少なくなる場合、所望の同報データを移動局が受信できなくなるケースがある。

4.2.2 複数移動局の同時接続が制限されるケース

走行中の車両に対するサービスにおいて複数の移動局が通信領域に存在する場合、先行する移動局が通信領域から抜けるときに先行車への再送処理が発生し、後続車が利用可能な通信帯域が減少すると考えられる。渋滞等により先行車が静止している場合、先行車によって通信帯域が占有され、隣接車線を走行する後続車が個別通信を開始できず、個別サービスを提供できないケースがある。図 5 に走行中の車両に対するサービス例を示す。この場合、同報通信で利用可能なスロット数が少なくなり、所望の同報データを移動局が受信できなくなる。

- ① 車両 A, B, C が通信領域から抜けるときに、車両 A, B, C への再送処理が発生し、通信帯域が占有される。

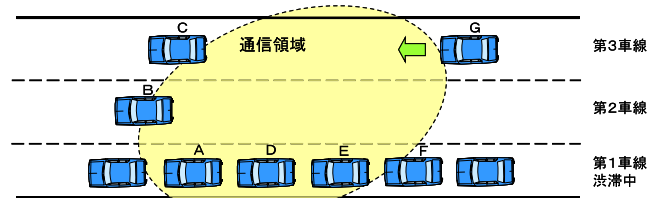


図 5 走行中の車両に対するサービス例

Fig. 5 Example of services to running vehicle.

- ② その結果、後続車との個別通信が開始できず、車両 G のように第 3 車線を走行する車両に対するサービスの提供が行えなくなる。

5. 課題解決のための制御方式の提案

前章に示したように、現行システムでは通信接続に関する課題と通信帯域に関する課題がある。本章ではこれらの課題を解決するために移動局の通信接続管理と基地局の通信帯域制御に着目し、同報・個別通信混在時の通信特性を改善する制御方式を提案する。

5.1 移動局の通信接続管理の改良

ARIB STD-T88 では、同報・個別通信を問わず、基地局から有効なデータ着信の通知を受けるごとに移動局の通信接続管理タイマ CTO をリセットする。そのため、基地局が個別通信の確認応答を移動局から受信できずに通信接続管理タイマ CTR がタイムアウトした場合、移動局は基地局との通信接続を継続しているものと見なし、基地局と移動局の通信状態が不一致となる。個別通信が通信不能な状況を解消するためには、移動局が個別通信の双方向データ未受信を検知し、通信リンク切断判定により通信リンクを切断し、再接続する必要がある。

そこで本稿では、同報・個別通信混在時の CTO による通信リンク切断判定を改良し、移動局が同報データを受信し、かつ個別通信を開始している場合、同報データ受信時の CTO リセットを抑制する。同報・個別通信混在時に、個別通信開始以降は、双方向データ受信時のみ CTO をリセットすることにより、CTO タイムアウトを制御する方式を提案する。

ARIB STD-T88 では、基地局において CTR タイムアウトを検知した場合、リリースを移動局に送信することで通信リンクを切断し、再度周波数選定からやり直すことができる。本稿では、CTO の値を「再送回数 × 1 フレーム通信時間」以下に短縮することを提案する。ここで、再送回数は基地局から移動局への再送回数であり、基地局のアプリケーションの送信モジュールで再送するごとにカウントする。移動局は変数により基地局から渡される。現行システムでは CTO の値は、0~4,095 ms の定数で設定されていた。CTO が短くてすぐにリンク切断と判定すると何度も

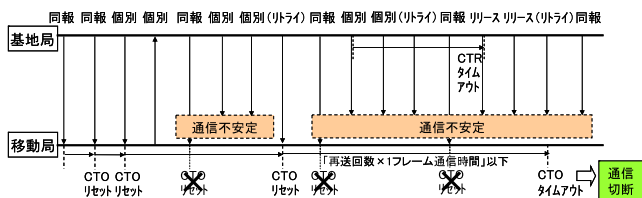


図 6 同報と個別の CTO 別管理のシーケンス

Fig. 6 Sequence wherein broadcast and individual CTO are controlled separately.

リンク接続を試みなければならず、逆に長くするとリンク切断の検知が遅くなる。通信が不安定なほど通信に時間がかかるため、CTO を長くする必要があり、通信の不安定性と再送回数は比例していると考えられるため、CTO を再送回数に比例する式で与えた。

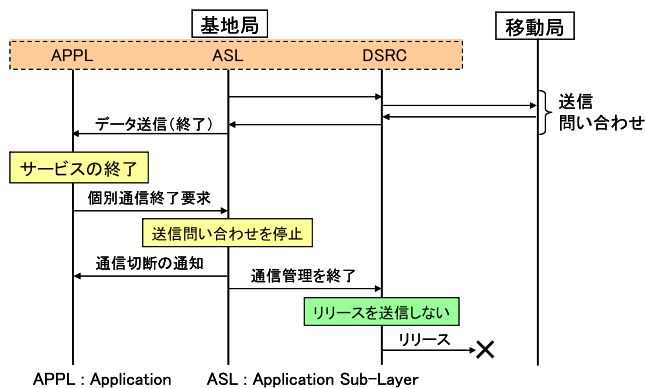
通信回線状況悪化により移動局がリリースを受信できない場合、CTO の値を「再送回数 × 1 フレーム通信時間」以下に短縮することによって、同一通信領域において CTO タイムアウトにより通信リンクを切断し、通信接続をやり直すことができる。移動局がリリースを受信できない場合、同報データも未受信と想定することができ、移動局において CTO タイムアウトにより通信切断し、再度周波数選定からやり直すことで通信不能な時間を短縮し、通信領域内で通信可能な状況となる。

図 6 に同報と個別の CTO を別管理する通信シーケンスを示す。

- ① 個別通信開始以降は、個別通信の双方向データ受信時のみ CTO をリセットする。同報データ受信時は CTO をリセットしない。CTO の値を「再送回数 × 1 フレーム通信時間」以下とする。
- ② 移動局の空中線電力は基地局の空中線電力よりも小さいため、通信が不安定な場合、基地局が個別通信の確認応答を移動局から受信できないことにより、基地局からの個別通信が届かなくなることがある。
- ③ 双方向データ受信時のみリセットされる CTO がタイムアウトした時点で、基地局と移動局の通信リンクを切断し、再度周波数選定からやり直す。

提案方式は、基地局と移動局の通信リンク切断判定を改良することができ、4.1.1 項で述べた個別通信が途中で終了するケースに適用できるとともに、基地局が移動局から応答を受信できず、CTR による通信接続監視が開始されない、4.1.2 項で述べた個別通信が開始できないケースにも適用できる。双方向データ受信時のみリセットされる CTO がタイムアウトした時点で基地局と移動局の通信リンクを切断し、再度周波数選定からやり直すことで、通信領域内で移動局が通信可能な状況となり、接続可能時間が長くなると予測できる。

また、4.1.3 項で述べた通信接続遅延に対応する通信再接続時間を短縮する方法として、リリースタイマの設定を行



APPL : Application ASL : Application Sub-Layer

図 7 基地局アプリケーションからの個別通信終了シーケンス

Fig. 7 Sequence of individual communication close by base station application.

わない手法が考えられる。リリースタイマを抑制すると、移動局が通常の通信エリアアウト時に同一基地局と再接続する可能性があるが、通信再接続を迅速に行える手法として使えるものとする。

5.2 基地局の通信帯域制御の改良

現行システムではサービスが終了した移動局に対しても、基地局から送信問い合わせを送信し、通信領域から抜けるときに再送処理が発生する。複数の移動局が通信領域に存在する場合、先行車によって通信帯域が占有され、後続車が個別通信を開始できないケースがある。同報・個別通信混在時には、複数の移動局との同時通信により、1 フレームに割り当てられる同報通信用スロット数が少なくなり、所望の同報データを移動局が受信できなくなるケースがある。

そこで本稿では、基地局からサービスが終了した移動局への送信問い合わせを停止することにより、4.2.1 項で述べた個別通信の接続維持動作を改良する制御方式を提案する。基地局においてアプリケーションの移動局との通信終了条件を定めることにより、移動局に対するサービスの終了を検知すると、同報通信を継続したまま、サービスが終了した移動局への個別通信のみ終了させる。移動局に送信する送信問い合わせを停止することで、占有する通信帯域を開放することができる。基地局アプリケーションは、移動局との双方向のデータ通信の終了を判定する手法により、移動局に対するサービスの終了を検知する。

図 7 に基地局アプリケーションから個別通信のみ終了させるシーケンスを示す。ARIB STD-T88 では、基地局において、DSRC プロトコルとアプリケーションの間に ASL を介在させ、DSRC の通信機能を補完する拡張 DSRC プロトコルとして階層構造を持つ。移動局に対してリリースの送信を抑制することによって移動局は継続して同報データを受信することができる。下記に個別通信の終了手順を記す。

- ① 基地局アプリケーションは移動局とのデータ通信の終

了条件を判定する。

- ②基地局アプリケーションは移動局に対するサービスの終了を検知すると、個別通信の終了をASLに要求する。
- ③ASLは該当する移動局の通信管理を終了し、送信問合せを停止する。
- ④DSRCレイヤ7は該当する移動局へリリースを送信しない。
- ⑤ASLは移動局への同報データの送信を継続する。

上記処理手順に基づいて個別通信のみ終了することにより、移動局への送信問合せが通信領域内で終了するため、先行車への通信エリアアウト後の送信問合せの再送処理がなくなり、通信帯域の占有を抑えることができる。これにより通信効率が向上し、後続の移動局が個別通信を開始することができ、4.2.2項で述べた複数移動局の同時接続が制限されるケースが解消される。また、同報通信で利用可能なスロット数を増やすことにより、通信領域内の複数の移動局と所望のデータ量の情報交換が可能となる。

6. 実証試験

6.1 提案方式による通信接続管理の評価

前章で提案した制御方式による通信接続管理の有効性を評価するため、「個別通信時のみCTOをリセットする」方式、加えて「CTOの値を短縮する」方式を適用したシミュレーションを行った。提案方式を適用すると、通信リンク接続後に通信不安定になった場合、通信リンクを切断し、通信領域内で当該移動局が基地局と再接続することにより、現行システムと比較して接続可能時間が長くなると予測できる。通信不安定になった場合、通信接続管理タイムCTOのタイムアウトにより通信リンクを切断し、周波数選定後に再接続するものとした。

文献[9]によると、片側2車線で前後車両によるシャドウイングと隣接車両によるシャドウイングが発生すると考えられ、表1のシミュレーション条件でシャドウイングが発生する確率は0.08であることから、個別通信の応答のうち、10%が基地局に届かないように設定した。ここで、通信領域を20m、通信不安定は通信領域内で一様に発生すると仮定し、移動局の周波数選定時間はARIB STD-T75に規定されている9フレーム(63.28125ms)、リリースタイムの設定は行わないとした。CTOの値は、現行システムの設定値500msと提案方式の再送回数×1フレーム通信時間の2ケースについて評価した。

表1 シミュレーション条件
Table 1 Condition of simulation.

| | |
|-------|-------------------------|
| 車線数 | 2車線 |
| 車両速度 | 第1車線80km/h, 第2車線100km/h |
| 車両密度 | 100台/km |
| 車両の流れ | ボアソン流 |

図8に提案方式を適用した場合の接続可能時間を走行速度別に示す。比較のため、「個別通信時のみCTOをリセットする」方式、加えて「CTOの値を短縮する」方式、および現行システムにおいて通信不安定になった場合の接続可能時間を同じグラフ上に示す。図より提案方式を適用した場合の接続可能時間の向上が見られ、走行速度が高速なほど通信時間が短いことから「CTOの値を短縮する」方式の効果が大きい。「個別通信時のみCTOをリセットする」方式、加えて「CTOの値を短縮する」方式を適用することにより、通信接続管理改善の効果があるといえる。

6.2 提案方式による通信帯域制御の評価

6.2.1 シミュレーション結果

提案方式による通信帯域制御の有効性を評価するため、「サービスが終了すると問合せを停止する」方式を適用したシミュレーションを行った。提案方式を適用すると、サービスが終了した移動局に対する個別通信の接続維持動作を停止するため、接続維持動作フレームはゼロに近くなると予測できる。DSRCは基地局のアンテナと移動局のアンテナの距離が比較的短く、見直しによる安定した電波伝搬路を確保することができる。指向性アンテナと最低受信レベルの設定により安定した通信ゾーンを構成すると仮定した。

表2のシミュレーション諸元に基づきシミュレーションを行った結果、走行速度100km/hの場合、通信領域20mの通過時間720ms内に伝送可能なスロット数は714、伝送可能な情報量は1スロット容量が183byteであることから、130kbyteとなる。

通信領域を通過する際に伝送可能な情報量から、同報・

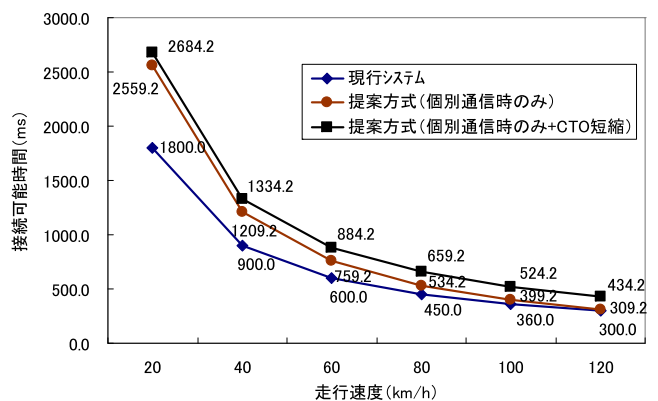


図8 提案方式による走行速度別接続可能時間
Fig. 8 Connectivity time of each running speed by proposed methods.

表2 シミュレーション諸元
Table 2 Simulation parameters.

| | |
|---------------------|----------|
| 同報情報量(KB) (25KB×2回) | 50 |
| アップリンク情報量(KB) | 4 |
| 同時接続台数 | 4 |
| 送信問合せ周期 | 4フレームに1回 |

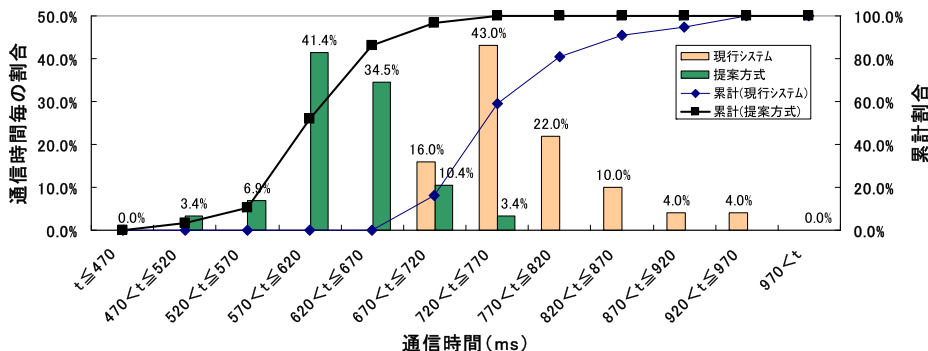


図 10 現行システムと提案方式の通信試験結果

Fig. 10 Communication test results by present systems and proposed methods.

表 3 シミュレーション結果
Table 3 Simulation results.

| 走行速度(km/h) | 80 | 100 | 120 |
|--------------------------------|------|-----|-----|
| 通信領域 20m の通過時間(ms) | 900 | 720 | 600 |
| 通信フレーム数 | 128 | 102 | 85 |
| 伝送可能なスロット数 | 896 | 714 | 595 |
| 伝送可能な情報量(KB) | 163 | 130 | 108 |
| 同報通信で使用するスロット数 | 277 | 277 | 277 |
| 個別通信で使用するスロット数 (4台) | 316 | 316 | 316 |
| 余剰スロット数 (1台あたり) | 75 | 30 | 0 |
| 余剰フレーム数 | 49 | 23 | 6 |
| 余剰情報量(KB) (1台あたり) | 13.7 | 5.5 | 0.0 |
| 余剰のうち個別通信で使用可能な情報量(KB) (1台あたり) | 6.6 | 3.1 | 0.0 |

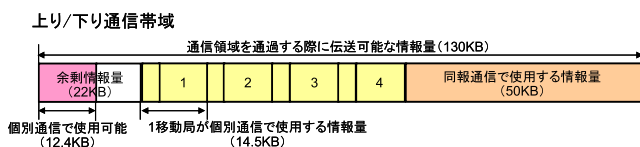


図 9 走行速度 100 km/h の場合の通信帯域占有図

Fig. 9 Figure of communication zone occupation for 100 km/h running speed.

個別通信で使用する情報量を差し引いた余剰情報量 (1台あたり) は 5.5kbyte, そのうち個別通信で使用可能な情報量は 3.1kbyte (1台あたり) となる。したがって、アップリンクはシミュレーション諸元の 4kbyte に 3.1kbyte を加算した 7.1kbyte の情報量を送信することができる。通信時間 720ms 内の 1台あたり通信容量は同報 50kbyte, アップリンク 7.1kbyte となり, 所望の情報量を同時に受送信完了することができる。以上より, 通信帯域制御の効果があるといえる。

表 2 にシミュレーション諸元, 表 3 にシミュレーション結果, 図 9 に走行速度 100 km/h の場合の通信帯域占有図を示す。

6.2.2 通信試験結果

通信試験により, 提案方式による通信帯域制御の効果を確認した。屋外テストコースで 1 台の基地局と 4 台の移動局を用いて, 同報 50kbyte, アップリンク 4kbyte を 4 台の移動局が受送信完了する通信時間を計測した。現行システムでは, 複数の移動局との通信接続を維持するために, 通信フレームのスロット割付けにおいて, 個別通信の接続維持動作フレームが挿入されると考えられる。この接続維

持動作フレームによって個別通信帯域が占有されることから, 個別通信で使用可能な情報量が少なくなり, 通信時間 720ms 内で送信可能なアップリンク情報量が限定される。

現行システムと提案方式の通信試験結果を図 10 に示す。現行システムでは, 4 台の移動局が 720ms 内に同報 50kbyte, アップリンク 4kbyte を同時に受送信完了する割合は 16% である。提案方式は現行システムと比較して, 通信時間が 150ms 程度短縮され, 4 台の移動局が 720ms 内に同報 50kbyte, アップリンク 4kbyte を同時に受送信完了する割合はほぼ 100% である。以上より, 通信帯域制御の効果が確認できた。

7. おわりに

本稿では, 路車間通信において, 1 つの基地局が複数の移動局に対して同報通信の情報提供サービスと個別通信のアップリンク情報サービスを同時に提供する, 同報・個別通信混在環境で安定したサービスを提供するために, 5.8GHz 帯 DSRC を前提として既存の標準規格の拡張により通信特性を改善する制御方式について研究した。

通信接続に関する課題を解決するために移動局の通信接続管理に着目し, 移動局の通信接続管理タイムによる通信リンク切断判定を改良した。通信不安定になった場合も再接続により接続可能時間を確保する制御方式を提案した。さらに, 通信帯域に関する課題を解決するために基地局の通信帯域制御に着目し, 基地局の移動局に対する通信接続維持動作を改良した。占有する通信帯域を開放することにより通信効率を向上させ, 基地局が通信領域内の複数の移動局と所望のデータ量の情報交換を可能とする方式を提案した。

実証試験の結果, 提案方式による通信接続管理改善および通信帯域制御の効果を確認し, 提案方式の適用により 4 台の移動局が 720ms 内に同報 50kbyte, アップリンク 4kbyte を同時に受送信完了することを確認し, 提案方式の有効性を評価した。

今後は, 走行試験により通信不安定や高速走行での電波環境において提案方式の有効性を評価するとともに, 受送

信する情報量に応じて同報・個別通信双方の通信帯域利用効率を向上させるスロット配置についてさらに改良し、通信帯域の損失を解消、安定したサービスを提供するシステムを構築する所存である。

参考文献

- [1] 国土交通省国土技術政策総合研究所：路側無線装置 (DSRC：スポット通信) 仕様書 (2009).
- [2] 財団法人道路新産業開発機構：DSRC-A07400 電波ビーコン 5.8GHz 帯路車間インタフェース仕様書 (2008).
- [3] 財団法人道路新産業開発機構：DSRC-A07320 電波ビーコン 5.8GHz 帯データ形式仕様書 アプリリンク編 (2008).
- [4] 平岩賢志, 坂本敏幸, 森 光正, 野明俊道, 西澤隆彦：DSRC (ARIB STD-T75 準拠) システムの実装及び評価, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J86-A, No.12, pp.1382-1393 (2003).
- [5] 伊川雅彦, 後藤幸夫, 熊澤宏之, 津田喜秋, 岡賢一郎：DSRC の多目的利用を実現する路車間通信の環境に適した通信プロトコルの設計と実装, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J88-A, No.2, pp.218-227 (2005).
- [6] 社団法人電波産業会：ARIB STD-T75 狭域通信 (DSRC) システム標準規格 (2008).
- [7] 社団法人電波産業会：ARIB STD-T88 狭域通信 (DSRC) アプリケーションサブレイヤ標準規格 (2007).
- [8] 通信・放送機構：平成 14 年度走行支援システム実現のためのスマートゲートウェイ技術の研究開発報告書 (2003).
- [9] 福井良太郎, 柿田法之, 屋代智之, 重野 寛, 松下 温：道路照明を用いた連続無線ゾーン構成法による路車間通信システムの実用性の評価, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.12, pp.3931-3938 (2002).



服部 有里子 (正会員)

1979 年津田塾大学数学科卒業。同年より三菱重工業株式会社に勤務, 現在, 交通・先端機器事業部 ITS 部主席技師。ITS 無線情報システムの研究開発に従事。FIT2011 第 10 回情報科学技術フォーラム船井ベストペーパー賞

受賞。技術士 (情報工学)。電子情報通信学会の会員。