

5.8GHz 帯車車間通信をベースとした マルチモーダル通信方式の実装と通信実験

神田 翔平^{†1} 内川 亜美^{†1}
原田 亮^{†1} 重野 寛^{†2}

近年 ITS(高度道路交通システム: Intelligent Transport System) に関する研究が盛んに行われている。ITS では現在、5.8GHz 帯の電波を利用した通信規格 RC-005 を用いた通信装置による ITS アプリケーションの実現が検討されている。しかし、5.8GHz 帯の電波は直進性が高く、見通しが障害物により遮られた場合、通信を行うことが困難となってしまうことが考えられる。本稿では 2.4GHz 帯通信装置が支援することで、5.8GHz 帯通信装置だけでは通信できない領域へデータを届ける手法を提案する。この提案を実装し実際の通信装置を用いて実験を行うことで 5.8GHz 帯通信装置のみで行った場合と、2.4GHz 帯通信装置により支援する場合とを比較し主にデータの到着率に関して評価を行う。評価により、見通し外の環境において通信を行う場合は他の通信装置による支援が有効であることを示す。

Implementation and Experiment of Multi-Modal Transmission Method based on 5.8GHz-band Vehicular Communication

SHOHEI KANDA,^{†1} AMI UCHIKAWA,^{†1} RYO HARADA^{†1}
and HIROSHI SHIGENO ^{†2}

Recently, there have been large number of research related to ITS. The major specification to realize ITS network is RC-005 using band frequency 5.8GHz. However it is difficult to connect when something disturbs line-of-sight between communication devices because of attribute of radio wave.

In this paper, we propose supporting system with using band frequency 2.4 GHz communication device in order to deliver information larger area than 5.8GHz communication device does. We implement this method on real communication devices, experiment with using them and evaluate packet arrival rate mainly. As the result, we conclude in case of non-line of sight communication, supporting with other communication device is valid.

1. はじめに

ITS アプリケーションを実現するために、車両や路地に設置された通信装置を用いる方式が検討されている。この通信装置の通信規格として現在提案されているものの一つとして RC-005¹⁾ がある。RC-005 規格を用いた通信装置では DSRC(5.8GHz 帯)²⁾ の電波を利用することを想定している。5.8GHz 帯の電波は、電波の特性上大容量のデータを送り届けることができる。その反面、通信装置同士の見通しが障害物により遮られると、通信を行うことが困難となる可能性がある³⁾。これは、高い周波数帯を用いた電波の直進性によるものであると考えられる⁴⁾。ITS アプリケーションの中には事故防止や危険回避などを行うための安全安心アプリケーションや、車両同士が協調して走行するための運転支援アプリケーションがある⁵⁾。しかし、これらのアプリケーションを実行している最中に、通信している装置同士の見通しが阻まれ、通信が困難となった場合、安全で円滑な車両交通を乱してしまうことが予想される。現在、ASV の目標値として、道路 A にいる車両 A が、見通し外 5m の道路 B にいる車両 B とと交差点前約 100m からのデータ到着率 80% の通信品質を確保することが挙げられている⁶⁾。しかし、2008 年に我々が行った 5.8GHz 帯通信装置を用いた路車間通信実験⁷⁾ では、基地局と車両の間に建物が存在する場合に、高い可能性で大量のデータをロスすることが分かった。このようなデータ到着率が低い問題を解決するために、本稿では 2.4GHz 帯通信装置が支援することで 5.8GHz 帯通信装置では通信できない領域へデータを届ける手法を提案する。

本提案の実現方法は、2 つの通信装置を並行利用する方法 Bicast と、切り替えて利用する方法 Switch が考えられる。

今回、この提案を実装し実験を行うことで、5.8GHz 帯通信装置のみで行った場合と、2.4GHz 帯通信装置により支援する場合とを比較し、主にデータの到着率に関して評価する。評価により、見通し外の環境において通信を行う場合は他の通信装置による支援が有効であることを示す。

^{†1} 慶應義塾大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Technology, Keio University

^{†2} 慶應義塾大学理工学部

Faculty of Science and Technology, Keio University

表 1 RC-005 の仕様

周波数帯域	5.8[GHz 帯]
伝送速度	4.096[Mbps]
アクセス制御	CSMA
変調方式	$\pi/4$ シフト QPSK
誤り訂正	Turbo 符号
受信感度	-96[dBm]
ダイバーシティ	選択ダイバーシティ
送信電力	+10[dBm]±50[%]
見通し内通信距離	200[m]
見通し外通信距離	5[m]

2. 関連研究と問題点

2.1 RC-005

RC-005 は、車車間で通信を行うための通信方式に関する仕様である。路側機のない任意の場所において車両同士が通信を行うことを目的として、あらゆる道路で ITS アプリケーションを実行可能とする¹⁾。表 1 は RC-005 の仕様を示す。

日本における車車間通信装置はこの RC-005 規格に準じ作成され、ライセンスバンドである 5.8GHz 周波数帯を利用する。

2.2 データ到着率低下の原因

データ到着率が低下する主な原因は 2 つある。1 つは通信装置同士が物理的に通信範囲外に存在する (通信距離外, 見通し外) 場合, もう 1 つは電波が混信する場合である。

文献⁸⁾ では、データ到着率の低下を防ぐために車両の周囲に複数アンテナを用いる手法を提案している。これは、複数の指向性アンテナを車両周辺に取り付け、通信相手によってどの方向へ電波を飛ばすかを動的に切り替えることで電波の混信を避けるものである。この方式は、同じ通信メディアを利用した手法であるため、電波の混信を避けることは可能であるが、通信範囲外の通信相手と通信を行うことはできない。

2.3 見通し外通信

図 1 は見通し内通信と見通し外通信のイメージを示す。本稿では見通し外通信を、通信装置のアンテナ同士を直線で結んだ際にその間に障害物が存在する通信と定義する。一方、見通し内通信を通信装置のアンテナ同士を直線で結んだ際に、その間に障害物が存在しない通信と定義する。そして、この見通し外通信と見通し内通信の境界を見通し外 0m とする。RC-005 では、表 1 に示した通り 5m の見通し外通信を可能とすることを見込み設計されて

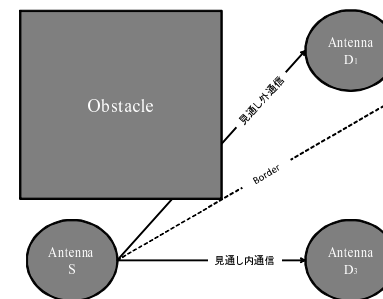


図 1 見通し内外の通信

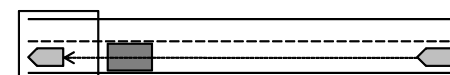


図 2 2008 年度実験

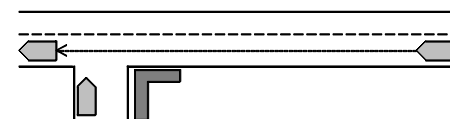


図 3 大規模実験

いる。

2008 年に我々が行った RC-005 規格の通信装置を用いた実験⁷⁾ では、基地局と宛先車両の見通しを阻む建物が存在する場合、データ到着率が 75% 程度まで低下する可能性があることが分かっている。一方、同実験を 2.4GHz 帯無線 LAN で行った場合、95% 以上のデータ到着率を満たす結果となった。これらの違いは、偏に通信メディアの違いによるものであると考えられる。

一方、ITS-safety2010⁹⁾ で実施された大規模実証実験では、交差点における見通し外車両同士の通信のデータ到着率を測定している。パケットを 5 連送した場合に、優先道路側走行車両が、見通し外 5m の非優先道路にいる車両と交差点前約 100m からデータ到着率 80% の通信品質を確保できている。このことから、交差点における ASV 要求の通信品質を満足していることが分かる。

2.4 Single Mode とその問題点

本稿では、上記の実験で用いられているような単一の通信メディアのみを用いて通信を行う方式を Single Mode と呼ぶ。

これらの実証実験から、見通し外環境において 5.8GHz 帯電波を用いた通信装置による Single Mode で通信を行う場合、仕様の如何に関わらず通信を行う環境によってデータ到着率が大きく左右されることが分かる。

このような不安定な状況において通信に車両交通上の安全を委ねることは非常に難しい。なぜなら、不安定な通信の影響により事故や渋滞を引き起こしかねないからである。このような理由から、建物が存在する交差点において安定して通信を行えることは重要である。そのためには、単一の通信メディアのみに依存する Single Mode ではなく他の通信メディアの利用も検討する必要があると考える。

3. 提 案

3.1 既存方式の問題点に対する解決のアプローチ

車両制御や衝突防止などの重要な情報は安定して宛先車両へ届けられることが要求される。しかし、1つの通信メディアのみに依存した通信を行うと、通信メディアの電波特性によりデータの伝搬が確実になくなってしまう。そこで、上記の重要な情報に対する要求条件を実現するためには、

- 1つの情報（データ）に対する信頼性を高めるため、1つの情報（データ）を複数回送信する
- 異なる通信範囲を統合することで、より広い通信範囲に対しデータを送信する

というアプローチが考えられる。これらを実現するために本稿では、1) 同一のデータを複数回繰り返し送信する方式である連送と、2) 複数の通信メディアを利用し、データを安定して伝達する手法である Multi Mode を提案する。以下では連送と Multi Mode について詳細を述べる。

3.2 連 送

連送とは、同一のデータを n 回複製し、次の情報が送信されるまでの間に定期的に繰り返して送信する手法である。

図4は $n = 5$ のときの連送のイメージを示す。まず送信元で seq.1 のデータが生成され、次の情報 seq.2 が生成されるまでの間送信元は seq.1 を 5 回等間隔で送信し続ける。

このように、連送を行う送信元は同一データを定期的に送信する。そのため、車両が移動

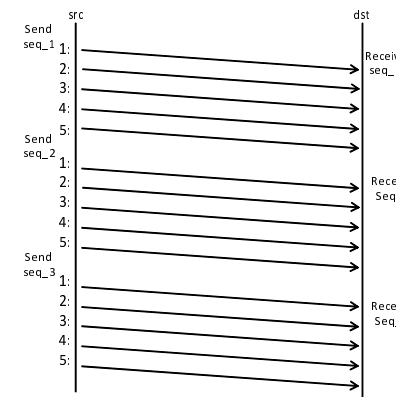


図 4 連送

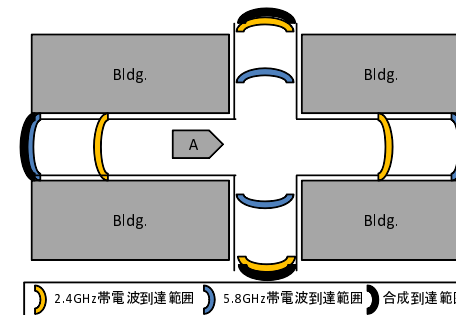


図 5 各電波の到達範囲

し環境が変化する状況においても、連送を行うことにより情報が宛先車両へ到着する確率を高めると考えられる。しかし、同一データを複数パケットに載せて送信することでトラフィック量が線形増加してしまう。

3.3 Multi Mode

3.3.1 通信範囲の合成

Multi Mode を用いる利点として、通信範囲を拡大できる点が考えられる。図5は、車両 A の位置から 5.8GHz 帯電波と 2.4GHz 帯電波を飛ばした際にそれぞれが到達する範囲、そしてそれらを合成したイメージを示す。5.8GHz 帯通信装置と 2.4GHz 帯通信装置における

通信範囲は異なっている．特に 5.8GHz 帯通信装置では電波の回折を苦手とすることから，付近の道路であっても建物の陰に存在する道路は通信範囲外となってしまうことが分かる．そこで，これら 2 種類の周波数帯域を合成すると，図 5 に示すようにより広い通信範囲をカバーできるようになる．本稿における Multi Mode では以下の 2 つの方式を検討する．

- 送信元車両が同一データを複製し，それぞれのデータを複数パケットに載せ，それぞれの通信メディアで同時にパケット送信を行う並行利用方式．
- 送信元車両が条件によって利用する通信メディアを選択し，切り替えを行う方式．

以下では，Multi Mode を実現するための 2 つの方式を示す．尚，今回 Multi Mode に対して，1 つの通信メディアのみを利用する方式を Single Mode と呼ぶ．

3.3.2 Bicast

図 6 は Bicast のイメージを示す．本稿では Multi Mode の中で，2 台の通信メディアを並行利用する方式を Bicast と呼ぶ．Bicast では，送信元 On Board Unit (OBU) が送信元 Application Unit (AU) からのデータを受信すると，送信元 OBU はデータの複製を行い，複製されたデータはパケットに載せられ 5.8GHz 帯無線通信装置と，2.4GHz 帯無線 LAN を通じて宛先 OBU へと送信される．宛先 OBU はパケットを受信すると，パケットに含まれる識別子を確認し，前の識別子よりも大きい番号であればデータを宛先 AU に転送する．それ以外であればパケットを破棄する．

3.3.3 Switch

図 7 は Switch のイメージを示す．本稿では，2 台の通信メディアを条件により切り替えて利用する方式を Switch 方式と呼ぶ．Switch は，Bicast と比べて利用する通信装置を必ず 1 台に制限するため，トラフィック量の抑制が期待できる．本提案における Switch の送信元 OBU は主として 5.8GHz 帯無線通信装置を利用してパケット送信を行う．宛先 OBU は，送信元 OBU の 5.8GHz 帯通信装置の電波が切断されたことを検知すると，通信装置を切り替えるためのパケット不到達通知を 2.4GHz 帯電波を通じて送信元 OBU へ送信する．送信元 OBU はこの不到達通知を受信すると，5.8GHz 帯無線通信装置の通信を停止し，2.4GHz 帯無線 LAN による通信を開始する．2.4GHz 帯無線 LAN で通信している際に，宛先 OBU は新しいデータを受信する度に復旧通知を送信元 OBU へ向けて 5.8GHz 帯電波を通じて送信する．送信元 OBU は，この復旧通知を受信すると再度 5.8GHz 帯無線通信装置による通信を開始し，2.4GHz 帯無線 LAN を停止させる．

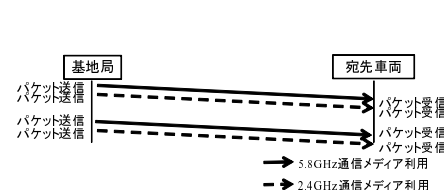


図 6 Bicast シーケンス図

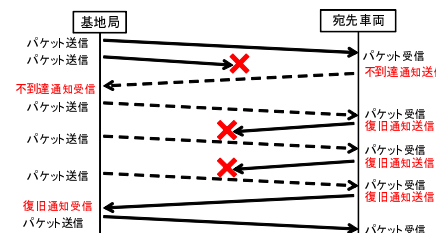


図 7 Switch シーケンス図

表 2 ハードウェアとソフトウェア

5.8GHz 帯無線通信装置	Oki Electric Industry:intervehicle communication function Ver2.2
2.4GHz 帯無線 LAN	Buffalo:WLI-CB-G54S
2.4GHz 帯無線 LAN 外部アンテナ	Buffalo:Air Station
GPS 受信機	Topcon:LEGACY E+
AU&OBU	Lenovo:Thinkpad X200
Operation System	Linux kernel 2.6.29
車両	Toyota Body:COMS

4. 実測実験

4.1 システム構成

図 8 は実験を行う際に構成したシステムを，表 2 はシステムの構築に利用したハードウェアやソフトウェアをそれぞれ示す¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾．本実験では，送信元車両，宛先車両は共に AU と OBU の 2 つのユニットで構成されている．まず，送信元車両の AU がデータを Δt 秒毎に生成し，実際にデータの送信を行う OBU へとデータを受け渡す．送信元車両の OBU では，コントローラアプリケーションの指示に応じてデータをパケットに載せ宛先車両の OBU へと送信する．宛先車両の OBU では，データを取り出し，新しいデータであれば宛先車両の AU へとデータを受け渡す．

4.2 実験環境

本稿における提案では，基地局と車両の見通し間に障害物が存在することにより電波が遮断される可能性のある環境を想定している．本実験は，基地局と車両の見通しが建物によって阻まれる環境で行った．図 9 は実験環境の俯瞰図¹⁵⁾，図 10 は実験道路について，図 11 は実験に用いた車両と装置の設置について，それぞれ示す．以上の条件で，実測実験を

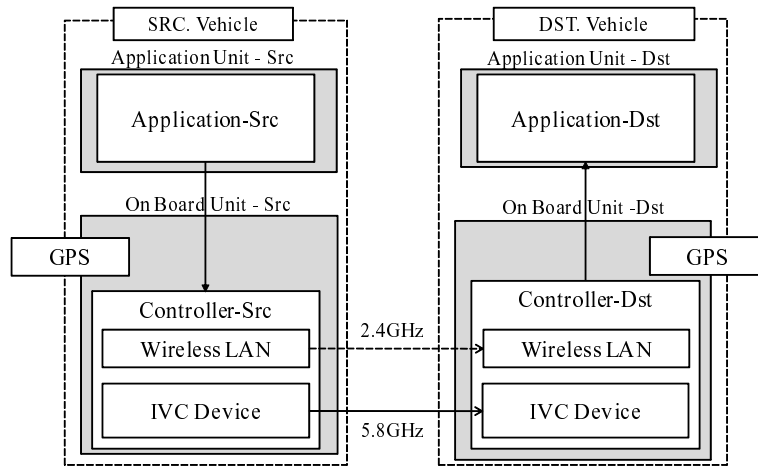


図 8 システム構成

表 3 実験条件

送信車両と実験道路間距離	8.5[m]
アンテナ高	4.8[m]
車両速度	0-4[km/h]
データ生成周期	100[msec]
連送回数	1,3,5[回]
データサイズ	256[bytes]
転送プロトコル	UDP
2.4GHz 帯通信規格	802.11g
5.8GHz 帯通信規格	RC-005
場所	慶應義塾大学 新川崎タウンキャンパス

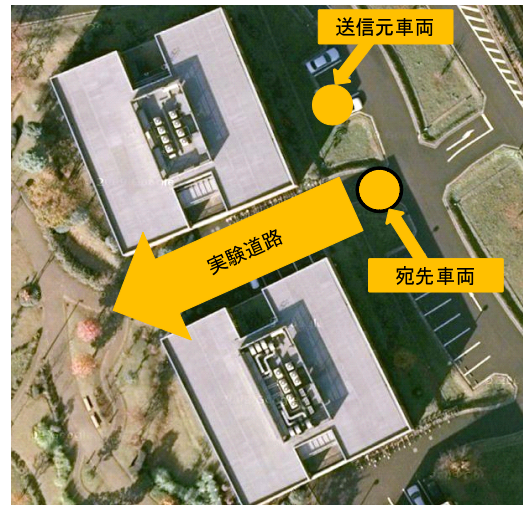


図 9 実験環境

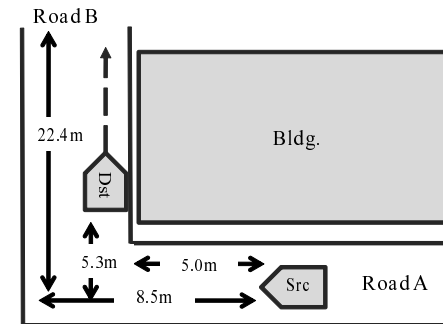


図 10 実験環境

行った。

4.3 比較対象および評価項目

4.3.1 比較対象

以下の通信方式を評価対象とし、比較した。

- Bicast - Multi Mode(Proposal)
 本稿の提案方式の一つであり、常時異なる周波数帯域を利用する 2 台の通信装置を用いて通信を行う。
- Switch - Multi Mode(Proposal)

本稿の提案方式の一つであり、異なる周波数帯域を利用する 2 台の通信装置のうち、条件により 1 台を選択して利用し、通信を行う。

- Single Mode
 既存方式であり、1 台の通信装置 (5.8GHz) で通信を行うものである。

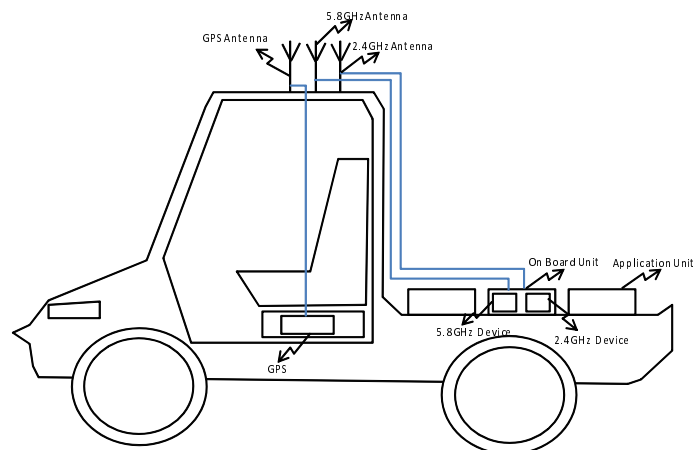


図 11 実験車両

5. 結果

以下にそれぞれの結果を示し、考察を行う。

5.1 パケット到達率

5.1.1 Single Mode

図 12 は Single Mode の連送数を 1, 3, 5 と変化させたときのデータ到着率の結果を示す。Single Mode では全体を通してデータ到着率が安定していないことが分かる。特に連送数 1 のときは 80% のデータ到着率を実現できる位置が 2% 程度となっている。これに比べると連送数を増加させた連送数 3, 5 の場合は 80% 以上のデータ到着率を実現できる位置がそれぞれ 9.5%, 10.4% まで増加している。これは、連送を行うことにより車両が電波を受信しにくい地点にいたとしても、電波を受信し易い位置に移動してからデータを受け取ることができる可能性が高まるからである。尚、連送数が 3 のときと 5 のときで大きな到着率の変化は見受けられない。これは、連送数 3 の時のパケット送信間隔が $100[msec]/3 = 33[msec]$ であるのに対し、連送数が 5 のときのパケット送信間隔が $100[msec]/5 = 20[msec]$ と送信間隔に大差なく、その間に車両の移動する距離が小さいためであると考えられる。また、見通し外 5m 地点以降はほぼデータを届けることができないことが分かる。見通し外 5m 地点以降は 5.8GHz 帯通信装置でデータを届けることは困難であり、他の通信装置により支援す

ることが有効であると期待できる。

5.1.2 Multi Mode - Switch

図 13 は、Multi Mode - Switch の連送数を 1, 3, 5 と変化させたときのデータ到着率の結果を示す。Switch では、全体を通して安定したデータ到着率が得られている。連送数に関わらず、97%以上の地点で 80% 以上のデータ到着率を実現できている。連送数 1 のデータ到着率が 90% から 100% のを上下している原因は切り替えによるものであると考えられる。今回不到達通知を送信する指標をパケットロスに依存しているため、パケットロスが生じなければ通信装置の切り替えを行うことができない。連送数が 1 の場合、1 つパケットを失うことは同時にデータを失うことになってしまうためデータ到着率が上下していると考えられる。また、連送数を 3, 5 と増加させるとデータ到着率の上下が減ることが分かる。さらに、Single Mode ではデータを届けることが困難であった見通し外 5m 以降の地点にも高い確率でデータを届けることが可能となっている。これは、5.8GHz 帯より低い周波数帯を利用した 2.4GHz 帯無線 LAN を利用しているため電波が見通し外地点にも回り込むことが可能になったためであると考えられる。

5.1.3 Multi Mode - Bicast

図 14 は、Multi Mode - Bicast の連送数を 1, 3, 5 と変化させたときのデータ到着率の結果を示す。Bicast では、全体を通して安定したデータ到着率が得られた。連送数にかかわらず、どの地点においても 100% に近い結果が得られた。このことから Bicast を用いると安定したデータ到着率を実現できることが分かる。

5.2 トラフィック量

図 15 は連送数を増加させたときの、1 つのデータを送信する際に生じた各手法毎のトラフィック量の変化を示す。Bicast では 1 つのデータにつき $2n$ 回パケットを送信している。そのため、Single Mode に対して、トラフィック量が $2n$ 倍近くになっている。また Switch では、同じ連送数 n の Bicast と比較すると低いトラフィック量となった。これは、2 台の通信装置を並行利用する Bicast に比べ、Switch では利用する通信装置を必ず 1 台に制限しているためであると考えられる。本稿では、Switch のトラフィック量をなるべく Single Mode の際と変わらないことを目的としたが、不到達通知や復旧通知などを発生させなければならぬため Single Mode よりも高いトラフィック量を示した。Multi Mode の Bicast と Switch を比較すると、同じ連送数 n であれば Bicast が Switch よりも最大で 2 倍近いトラフィック量となる。しかし、到着率の面では Bicast が連送数 n に関わらず、どの地点でも 100% 近いデータ到着率を達成している。このため、トラフィック量と到着率双方の観

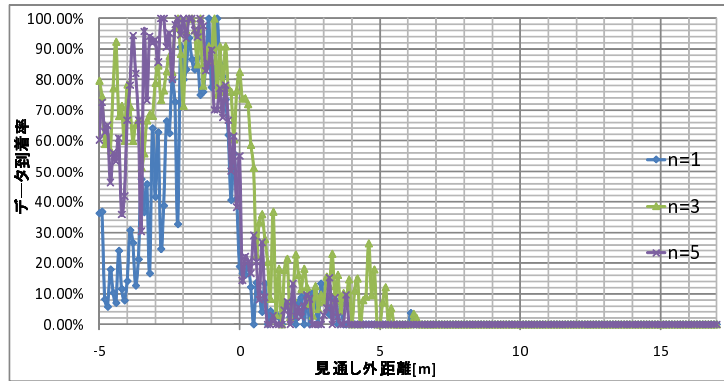


図 12 Single Mode データ到着率

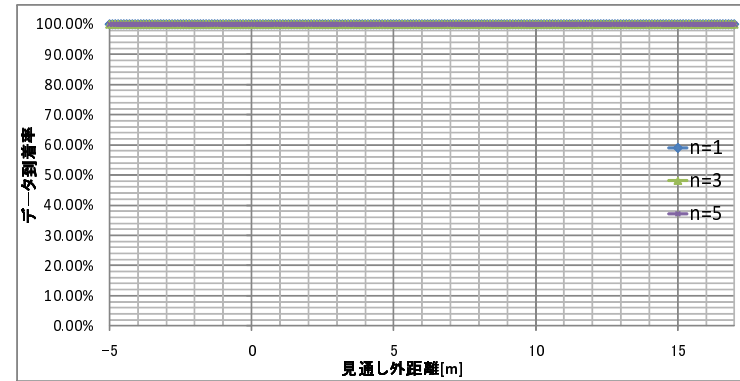


図 14 Multi Mode データ到着率

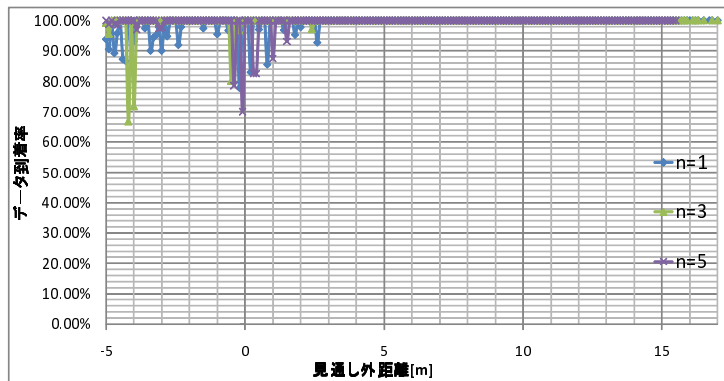


図 13 Multi Mode データ到着率

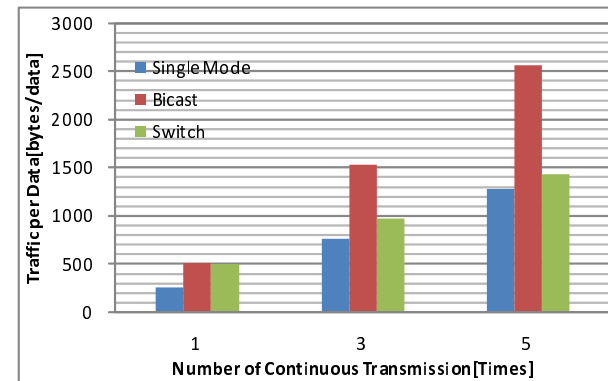


図 15 トラフィック量

点では Bicast の連送をしない場合が最もパフォーマンスが良いと考えられる。

6. 結 論

ITS の通信規格として現在提案されているものの一つとして RC-005 がある。RC-005 規格を用いた通信装置では 5.8GHz 帯の電波を利用することを想定しているが、RC-005 の電波は、周波数帯の高さが原因で見通し外通信が困難となるケースが想定される。

本稿では、安定した通信の実現を目的とし、同一データを複数回送信する連送と、複数通

信メディアを同時に利用する Multi Mode を提案した。連送は各データに対する信頼性を高め、Multi Mode は各通信メディアごとに異なる通信範囲を合成しより広い範囲へデータを届けられると考えられる。Multi Mode は複数通信装置を切り替えて利用する Switch と常時複数通信装置を利用し続ける Bicast の 2 通りで実現可能である。

上記提案を実際のシステムに実装し、1 つの通信装置だけを用いる Single Mode と Multi Mode - Switch, Multi Mode - Bicast と比較するため実測実験を行った。その結果、Single Mode は不安定なデータ到着率を示したのに対し Multi Mode - Switch は 80% 以上のデー

夕到着率を示す地点が 97% 以上存在し, Multi Mode - Bicast は全地点において 100% 近いデータ到着率を示した. トラフィック量は同じ連送数であれば Switch が Bicast より優勢な結果であったが, 到着率との兼ね合いを考えると連送を行わない Bicast が到着率が 100% 近く, トラフィック量が Single Mode の連送をしなかった際の約 2 倍程度に抑えられているため最も良い結果を示していると考えられる.

このことから, 見通し外の相手と通信を行う際は他の周波数帯域を有する通信メディアにより支援を行う手法が有効であると言える.

謝 辞

本研究の一部は, 文部科学省科学技術振興調整費による委託業務「先端融合領域イノベーション創出拠点の形成コ・モビリティ社会の創成」により実施されたものです.

参 考 文 献

- 1) ITS Info-communications Forum, Experimental Guideline for Vehicle Communications System using 5.8GHz-Band. 2007/5/18.
- 2) Jiang, D.; Taliwal, V. Meier, A. Holfelder, W. Herrtwich, R. , "Design of 5.9 ghz dsrc-based vehicular safety communication," Wireless Communications, IEEE , vol.13, no.5, pp.36-43, October 2006 doi: 10.1109/WC-M.2006.250356
- 3) Kaoru Seki, Characteristics of inter-vehicle information transmission using a 5.8GHz frequency band, ITS, vol.2004-11-11, 79-86",
- 4) 慶応義塾大学環境データ学部武藤研究室, 図解 そこが知りたい 無線アクセスのすべて 多様化する無線ネットワークの全貌に迫る, 翔泳社, 2000/08/10
- 5) Mihail L. Sichitiu, Maria Kihl, Inter-Vehicle Communication Systems a Survey, IEEE Communications Surveys & Tutorials 2nd Quarter 2008
- 6) 濱口雅春, 筒井英夫, 徳田清仁, 車々間通信実用化に向けた大規模実証実験への取り組み, OKI テクニカルレビュー, 2009.10. 第 215 号 Vol.76 No2
- 7) Ryohei Hatori, Tomoya Kuroki, Ami Uchikawa, Yojiro Okada, Hiroshi Shigeno, " Development of ad hoc network for vehicle-to-vehicle communication and triage, " Keio Technomall 2008, December 2008.
- 8) Wai Chen, Guha, R., Lee, J., Onishi, R., Vuyyuru, R., A Multi-Antenna Switched Links based Inter-Vehicular Network Architecture, Vehicular Networking Conference (VNC), 2009 IEEE
- 9) ITS-Safety 2010 公開デモンストラレーションの結果 (速報版), http://www.soumu.go.jp/main_content/000011807.pdf
- 10) Toyota Auto Body Co.Ltd, <http://www.toyota-body.co.jp/products/life/ev/coms/index.html>

- 11) Topcon Corporation, <http://www.topcon.co.jp/>
- 12) Fedora project, <http://fedoraproject.org/>
- 13) Buffalo INC., <http://buffalo.jp/>
- 14) Lenovo Corporation, <http://www.lenovo.com>
- 15) Google Map <http://maps.google.co.jp/>