

歩車間通信における 700MHz 帯と 5.8GHz 帯の利用形態の検討

馬 場 秀 芳^{†1} 久 保 敦^{†1} 屋 代 智 之^{†1}

ITS(Intelligent Transport Systems)では，交通事故を削減する研究が行われている．その研究分野の 1 つとして車両と車両で直接通信を行う車車間通信がある．しかし，交通事故は車両だけの問題ではなく歩行者のことも考えなければならない．また，新たに ITS の分野に 700MHz 帯の周波数帯域が割り当てられることとなった．そこで本研究では，700MHz 帯と 5.8GHz 帯の 2 つの周波数帯域を利用して歩行者と車両を直接通信させる歩車間通信の方法を提案し，700MHz 帯と 5.8GHz 帯の周波数帯の利用形態について検討を行う．

Consideration of use of 700MHz and 5.8GHz band radio in Pedestrian and Vehicle communication

HIDEYOSHI BABA,^{†1} ATSUSHI KUBO^{†1}
and TOMOYUKI YASHIRO^{†1}

In ITS(Intelligent Transport Systems), many researches are done to reduce the traffic accidents . Some of those utilize inter-vehicle communication which is used to exchange data between vehicle directly . However, traffic accident must think about not only the vehicle but also the pedestrian . Moreover, 700MHz band radio is assigned to the field of ITS. In such situation, we propose a direct communication method between pedestrian and vehicle, using with of 700MHz and 5.8GHz band radio . And, in addition, use of 700MHz and 5.8GHz band radio is examined .

^{†1} 千葉工業大学

Chiba Institute of Tecnology

1. はじめに

現在，自動車という交通手段は日常生活においても必要不可欠なものとなっている．たとえ自分自身が自動車に乗るなどの直接的な関わりがなくとも，輸送手段として利用されるなど，間接的に関わっている．しかし，このように現代の生活と密接な関係にある自動車交通であるが，自動車の増加は交通事故の多発につながるというマイナスの側面も持っている．交通事故による死者数は年々減少傾向にあり，2010 年では 4,863 人となっている．しかし，多くの尊い命が交通事故によって奪われている状況は深刻である．また，2010 年の死傷者数は 89 万 9,144 人，交通事故件数は 72 万 4,811 件と高い水準で推移している¹⁾．これは、依然として大きな社会問題であるといえる．交通事故の要因として，自動車運転者または歩行者の不注意や認知不足，視野外からの飛び出し等が挙げられる．

近年，ITS(Intelligent Transport Systems :高度道路交通システム)の研究，開発が盛んに行われており、情報通信技術を用いて道路と人と車両で通信することで，交通事故や渋滞などの道路交通問題を解決することを目的とする様々な分野の研究が行われている²⁾．ITS の研究分野の 1 つに ASV(Advanced Safety Vehicle)があり，運転者の安全運転を支援することを目的としている．その内の 1 つに，車車間通信を歩行者との通信に応用して歩行者が保持している端末と車両が直接無線通信を行う歩車間通信が検討されている．歩車間通信を用いて車両が歩行者の位置情報を取得することで，運転者から見えない位置にいる歩行者の存在を把握することができる．これを利用し，衝突の可能性がある場合に運転者に対して警告を行うことにより，車両と歩行者の交通事故を減少させることができると考えられる．しかし，運転者が衝突の可能性を事前に認識しても，車両制御には限界があり，回避行動を行ったとしても事故を回避できない可能性が出てきてしまう．さらに，歩行者が車両に気づかずには運転者の意図しない行動を取ってしまうと，運転者の回避行動では事故を回避できない可能性が出てくることも考えられる．そのため，行動範囲が広い歩行者も回避行動を行う必要がある．

このことから，歩行者も回避行動を行うことができる歩車間通信を検討する．本研究では，歩車間通信だけでなく歩行者間通信と車車間通信も行うことを考える．歩行者間通信と車車間通信を行うことで歩行者同士，車両同士で情報を共有し，その共有している情報を歩車間通信で更新することにより歩行者と車両が互いの存在を把握することができる．これによって歩行者も回避行動を行うことが可能となり交通事故を減少させることができると考えられる．また，国内の車車間通信では 5.8GHz 帯の周波数を利用した通信方法が一般

的に考えられているが、新たに 700MHz 帯の周波数帯が ITS 分野に割り当てられることとなった。この 700MHz 帯と 5.8GHz 帯の周波数帯域の特性を利用した通信システムを構築することで、より確実に通信を行うことができるのではないかと考えられる。本研究では、700MHz 帯と 5.8GHz 帯を用いたハイブリッド通信方式を提案し、既存の 5.8GHz 帯と新たに割り当てられた 700MHz 帯を歩行者と車両にどのように割り当てることが適しているか検討を行う。

2. 関連研究

通信方式の規格として、5.8GHz 帯を利用している ETC や DSRC の ARIB STD-T75 規格³⁾(以下 STD-T75)があり、すでにサービスが普及している。また、5.8GHz 帯を利用する車車間通信のための実験用ガイドラインとして ITS Forum RC-005 規格⁴⁾(以下 RC-005)があり、700MHz 帯を利用する実験用ガイドラインとしては、ITS Forum RC-006 規格⁵⁾(以下 RC-006)がある。

ETC や DSRC としてサービスが開始されている STD-T75 は、公共インフラと車両が通信を行う路車間通信の規格である。5.8GHz 帯の周波数を利用しており、5MHz 幅の無線チャンネルがアップリンクとダウンリンクとして、各 7 チャンネルずつ規定されている。変調方式には、ASK と $\pi/4$ -DQPSK の 2 種類が用いられている。

同じく 5.8GHz 帯を利用する RC-005 では、ITS に割り当てられている周波数を 14 チャンネルに分け、その 1 つのチャンネルを複数の車両で利用する車車間通信の規格である。変調方式は、 $\pi/4$ -DQPSK を用いている。基地局を利用せずに車両の自律分散によるアクセス制御が可能となっており、アクセス方式には CSMA/CA 方式が用いられている。

700MHz 帯を利用している RC-006 は、帯域 10MHz の単一チャンネルを複数の車両で共有する車車間通信の規格である。OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing; 直交周波数分割多重)を利用しているため、マルチパスや遅延スプレッドへの高い耐性と高速伝送に対応している。また、RC-005 と同様に、基地局を持たず自律分散によるアクセス制御が可能となっており、アクセス方式には CSMA/CA 方式が用いられている。レイヤ 1 とレイヤ 2 は、STD-T75 を参考としている。

表 1 に既存の規格と用途を示す。

現在、ITS では様々な研究が行われている。

文献 6) では、交差点での交通事故を回避できる信頼性の高い車車間通信の実現を図るために、複数の周波数帯域を利用した路車間通信の提案を行っている。5.8GHz 帯の周波数を

表 1 既存の規格と用途

Table 1 Existing standards and use

周波数帯	規格	用途
5.8GHz 帯	ARIB STD-T75	路車間通信
5.8GHz 帯	ITS Forum RC-005	車車間通信
700MHz 帯	ITS Forum RC-006	車車間通信

利用して車両からの情報を中継局に送信し、中継局からの情報は 700MHz 帯の周波数を利用して送信している。評価として、シミュレーションを用いて、車車間通信での平均パケット伝送成功率を求めている。結果として、建物などの遮蔽物によるシャドウイングが発生しても、ほぼ 100%の平均パケット伝送成功率を示している。

文献 7) では、5.8GHz 帯を用いた車車間通信の中継方式について調査を行っている。位置情報を利用した中継方式をシミュレーションを行い評価している。評価として、通信トラフィック量とパケットエラー率を求め、全車両を中継させたものと比較を行っている。結果より、位置情報を利用した中継方式の方が、中継車両を 1 台に限定できるため、トラフィック量を約 1/7 まで削減できている。パケットエラー率を比較すると、全車両中継と比べ位置情報を利用すると通信品質を改善できる可能性があることが示されている。

3. 提案手法

700MHz 帯と 5.8GHz 帯の割り当て方法を検討するために歩車間通信の提案を行う。

各端末が保持するデータとして、端末 ID(車両 ID、歩行者 ID)、位置情報、データの取得時刻を扱う。端末 ID とは、各端末を ID を区別するためのものである。位置情報とは、端末が GPS などによって取得した現在位置の情報のことである。データの取得時刻とは、受信端末が送信端末からのデータを取得した時刻のことである。また、端末 ID では、車両と歩行者の区別も行えるものとする。

車両に関するデータ(車両データ)として、車両 ID、位置情報、進行方向を扱う。同様に、歩行者に関するデータ(歩行者データ)として、歩行者 ID、位置情報を扱う。車両データには、歩行者が回避行動を行いやすくするために進行方向の情報を付加している。

車両、歩行者はそれぞれ各端末の情報を保持するためのリストを作成する。車両データを扱うものは車両リストと呼ぶ。同様に、歩行者の場合は歩行者リストと呼ぶ。

各送信の間隔は、車車間通信が 100ms、歩行者間通信が 1~5s、車両から歩行者への通信が 100ms とする。さらに、歩行者から車両への通信では、車両からデータを受信した歩行

表 2 送信間隔
Table 2 Transmission Interval

	送信間隔
車両から車両	0.1 秒
車両から歩行者	0.1 秒
歩行者から車両	車両から送信があった場合
歩行者から歩行者	1 ~ 5 秒

者が、送信車両の位置情報と歩行者リストにある位置情報を比較し、自身が送信車両との距離が最も近い歩行者であると判断した場合のみ送信を行う。

表 2 に各通信の送信間隔を示す。

歩行者は、歩行者間通信を用いて周囲の歩行者へ自身の歩行者データを 1~5 秒のランダムで送信する。これを受信した歩行者は、送信してきた歩行者の ID が自身が保持する歩行者リストに存在するか確認を行う。送信してきた歩行者の ID がある場合は、一致した ID の歩行者データを更新する。存在しない場合は送信してきた歩行者データを新たにリストに追加する。リストにある各端末のデータは、一定時間更新がされない場合は、その端末が通信範囲外に出たと見做し破棄する。

車両からデータが送信されてきた場合、送信車両の位置情報と歩行者リストに存在する各端末の位置情報の比較を行い、一番近い歩行者が自身が保持する歩行者リストを送信車両へ応答する。

図 1 に歩行者の処理を示す。

車両は車車間通信を用いて一定間隔で周囲の車両へ自身の車両データと保持している歩行者リストを送信する。他の車両から車両データを受信した車両は、歩行者の処理と同様に ID を確認し、車両リストに追加、更新を行う。また、車両から受信した歩行者リストは、更新時刻が新しい場合は、更新する。これと平行して、各車両は、一定周期で周辺の歩行者へ車両リストを送信する。応答として歩行者リストを受信した車両は、保持している歩行者リストを破棄し、受信した歩行者リストを更新する。車両データは歩行者データと同様に一定時間更新がされなければ破棄する。

図 2 に車両の処理を示す。

3.1 評価方法

提案方式である歩車間通信と歩行者間通信、車車間通信に 700MHz 帯と 5.8GHz 帯をそれぞれ割り当て、通信成功率、データ受信率を求めて評価を行った。歩車間通信では、歩行

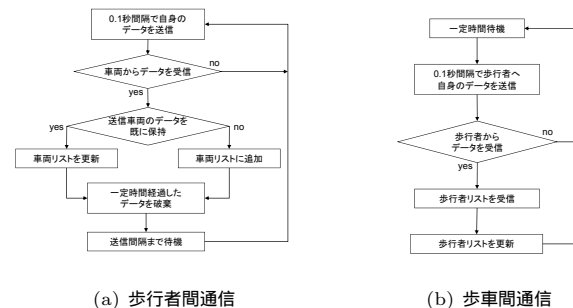


図 1 歩行者の処理
Fig. 1 Pedestrian's Process

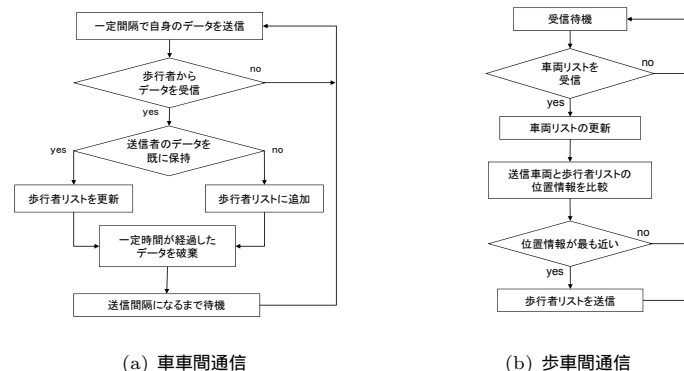


図 2 車両の処理
Fig. 2 Vehicle's Process

者から車両への通信、車両から歩行者への通信の 2 種類がある。なお、車車間通信に利用する周波数帯は、5.8GHz 帯に固定した。

評価として、シミュレーションを用いて車両台数と歩行者数を変化させて歩行者間通信、車車間通信、車両から歩行者への通信ではデータ受信率、歩行者から車両への通信では通信成功率を求めた。車両台数、歩行者数は 200, 500, 800 とし、端末台数の合計が 1,000 台となる組み合わせでシミュレーションを行った。シミュレーションは、各 2 回ずつ行い通信

成功率，データ受信率の平均を求めた．車車間通信，歩行者間通信，車両から歩行者への通信ではデータ受信率を求め，歩行者から車両への通信では，通信成功率を求めて評価した．データ受信率とは，送信端末の通信範囲内に存在する端末が送信端末のデータをどのくらいの割合で受信できているかという割合である．データ受信率を求める式 (1) を以下に示す．

通信範囲内端末台数とは，送信端末の通信範囲内存在する端末の台数を示し，受信端末台数とは，その通信範囲内でデータを受信した端末の台数を示す．通信範囲は，直線距離で 5.8GHz 帯は半径 100m，700MHz 帯は半径 250m とした．

$$\text{データ受信率 (\%)} = \frac{\text{受信端末台数}}{\text{通信範囲内端末台数}} \times 100 \quad (1)$$

また，歩行者から車両への通信にはユニキャストを用いているので，通信成功率を求めて評価を行った．通信成功率を求める式 (2) を以下に示す．

$$\text{通信成功率 (\%)} = \frac{\text{車両の受信回数}}{\text{歩行者の送信回数}} \times 100 \quad (2)$$

3.2 シミュレーション環境

シミュレータは Space-Time Engineering 社製の Scenargie Ver.1.3 を用いて行った．シミュレーション環境は，500m 四方のマンハッタンモデルとし，100m 間隔で交差点が存在する片道 2 車線の道路構造を想定した．車線幅は 3.5m とし，歩道を 2m とした．車両は車道を時速 0～60km でランダムに走行し，歩行者は RANDOM-WAYPOINT で歩道を時速 0～6km で歩行する．

700MHz 帯，5.8GHz 帯の通信方法については，RC-005，RC-006 に準拠した．アクセス方式は 700MHz 帯，5.8GHz 帯共に CSMA/CA 方式とした．変調方式は，700MHz 帯は，QPSK-OFDM とし，5.8GHz 帯は， $\pi/4$ -DQPSK とした．通信速度は，700MHz 帯が 6Mbps，5.8GHz 帯が 4,096Kbps とした．利用周波数は，ITS に割り当てられた 720MHz 帯 (10MHz 幅) と RC-005 で示されている U6 の 5.82GHz 帯 (5MHz 幅) を利用した．

図 3 にシミュレーション環境の例を示す．また，表 3 にシミュレーションパラメータを示す．シミュレーション環境の黄色いオブジェクトは建物を示す．

4. 結 果

車車間通信に利用する周波数帯域を 5.8GHz 帯に固定し，その他の歩行者間通信，車両から歩行者への通信，歩行者から車両への通信にそれぞれ 700MHz 帯と 5.8GHz 帯を割り当てた 8 パターン (表 4) について車両台数，歩行者数を変化させた 3 パターンの合計 24 パター

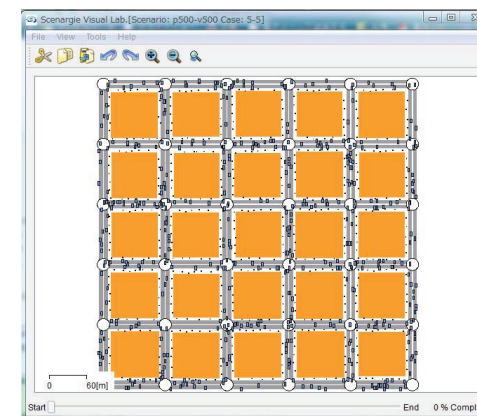


図 3 シミュレーション環境
Fig. 3 Simulation Environment

表 3 シミュレーションパラメータ
Table 3 Simulation Parameter

項目	パラメータ
アクセス方式	CSMA/CA
変調方式	QPSK-OFDM(700MHz), $\pi/4$ -DQPSK(5.8GHz)
通信速度	6Mbps(700MHz), 4096kbps(5.8GHz)
送信電力	10dB
受信電力	-85dBm
利用周波数	720MHz 帯 (10MHz 幅), 5.82GHz 帯 (5MHz 幅)
電波伝搬モデル	2 Ray モデル
車両走行速度	0～60km/h
歩行者歩行速度	0～6km/h
車両の大きさ	全長 3m, 幅 2m, 高さ 1.5m
歩行者の大きさ	全長 1m, 幅 1m, 高さ 1.7m
アンテナの高さ	車両 1.5m, 歩行者 1m
シミュレーション時間	600 秒

ンのシミュレーションを 2 回行い，歩行者から車両への通信では，通信成功率，その他の通信ではデータ受信率の平均を求めた．

シミュレーション結果を図 4，5，6，7 に示す．

これらの結果から 700MHz 帯を利用した通信の方がデータ受信率が高いことがわかる．

表 4 周波数利用形態
Table 4 Use of frequency

シナリオ	歩歩	歩車	車歩	車車
1	5.8GHz	5.8GHz	5.8GHz	5.8GHz
2	700MHz	5.8GHz	5.8GHz	5.8GHz
3	5.8GHz	5.8GHz	700MHz	5.8GHz
4	700MHz	5.8GHz	700MHz	5.8GHz
5	5.8GHz	700MHz	5.8GHz	5.8GHz
6	700MHz	700MHz	5.8GHz	5.8GHz
7	5.8GHz	700MHz	700MHz	5.8GHz
8	700MHz	700MHz	700MHz	5.8GHz

5.8GHz 帯が 700MHz 帯に比べてデータ受信率が低くなっている原因として、5.8GHz 帯は、700MHz 帯と比べて直進性が高く、伝送距離が短いためであると考えられる。そのため、遮蔽物が存在すると通信範囲内に受信できる端末が存在しても電波が届かないこと（シャドウイング）が考えられる。また、5.8GHz 帯は 700MHz 帯に比べて通信範囲が狭いため通信範囲内に受信できる端末が少ないことも考えられるので、データ受信率が低くなっていると考えられる。

また、700MHz 帯の周波数を 2 箇所で行っているシナリオ 4, 6, 8 の通信の方が、データ受信率が高い結果となっている。これは、利用できる周波数帯域が限られているため、700MHz 帯か 5.8GHz 帯の周波数を片方だけを利用することで、同じ周波数帯のなかに複数の端末が存在してしまうため、通信範囲外から送られてきた電波と衝突が発生してしまうこと（隠れ端末問題）が原因として考えられる。

歩行者から車両への通信では、ユニキャストを行っているため通信成功率を示している(7)。この結果では、どの周波数帯を利用して通信を行っても高い通信成功率を示しているが、700MHz 帯を利用した方がより高い結果となっている。

歩行者数、車両台数を変化させた場合の歩車間通信を比較してみると、歩行者と車両が同数または、車両より歩行者が多い場合に比べて、歩行者数が車両より少ない場合の方が若干ではあるが、通信成功率が低くなっている(図 6)。

これは、車両が歩行者に向けて通信を行っても、受信する歩行者が周囲に存在しない場合があるため、車両への返信がなかったと考えられ、通信成功率が他と比べて低くなってしまうと考えられる。

歩行者間通信と車車間通信に同じ周波数帯を利用して通信を行うと歩行者間通信の方がデータ受信率が高いことがわかる(図 4, 6)。これは、歩行者と車両の大きさが関係すると

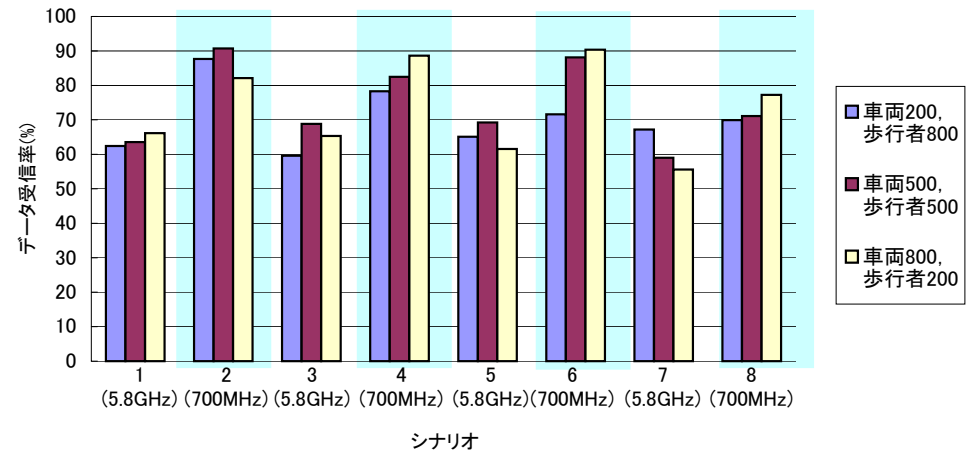


図 4 歩行者間通信

Fig. 4 Inter-Pedestrian communication

考えられ、車両の方が歩行者より大きいと車両自身が遮蔽物になってしまう。そのため、車車間通信の方がデータ受信率が悪くなっていると考えられる。

しかし、歩車間通信の通信方法に、700MHz 帯の周波数を 2 箇所に割り当てることで、データ受信率を高くすることができ、約 90%の通信成功率を示すことができた。よって、700MHz 帯と 5.8GHz 帯は、2 箇所で行うことが望ましいといえる。また、車車間通信と歩行者間通信では、近距離で通信を行えばよいと考え、歩車間通信のデータ受信率と通信成功率がもっとも高い、シナリオ 7 が周波数帯の割り当て方として良いといえる。

5. ま と め

新たに 700MHz 帯の周波数帯域が ITS に割り当てられることとなった。本研究では、歩車間通信の通信方法を提案し、700MHz 帯と 5.8GHz 帯の周波数の割り当てについて検討した。提案した通信方式は、歩行者同士で位置情報などのデータを把握しリストを作成する。送信車両から車両データが送信されてきた場合のみ、歩行者情報に含まれている位置情報と送信車両の位置情報を比較し、最も近い位置に存在する歩行者が送信車両へ保持している歩行者リストの送信を行う。この通信方式を Space-Time Engineering 社製の Scenargie

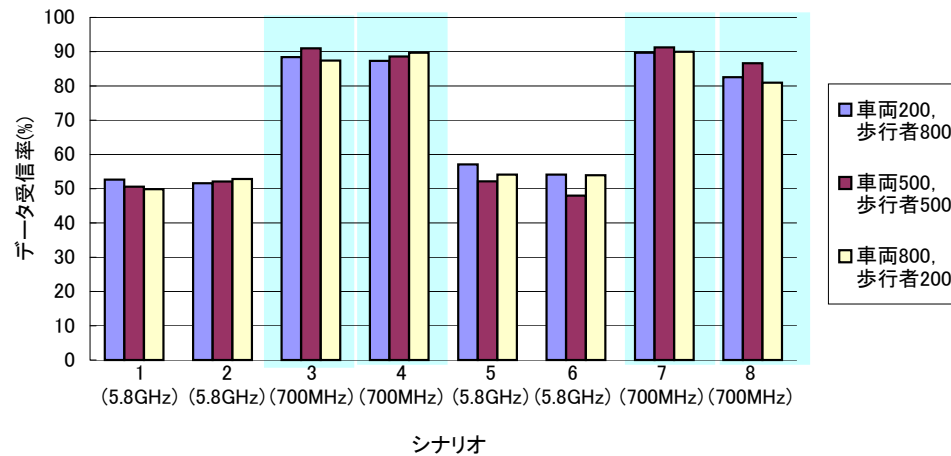


図 5 歩車間通信 (車両から歩行者)

Fig. 5 Pedestrian and Vehicle communication (Pedestrian from Vehicle)

Ver.1.3 を用いてシミュレーションを行った。車車間通信には、5.8GHz 帯の周波数を固定で割り当て、その他の歩車間通信、車両から歩行者への通信、歩行者から車両への通信には、それぞれ 700MHz 帯か 5.8GHz 帯の周波数帯を割り当てた。評価には、車両台数、歩行車数を変化させ、合計 24 パターンのシミュレーションを 2 回行い、歩行者から車両への通信では通信成功率、その他の通信ではデータ受信率の平均を求め評価を行った。

結果、歩行者から車両への通信では約 80% の通信成功率を示すことができた。このことによって、提案した通信方法の有効性を示すことができた。また、5.8GHz 帯と 700MHz 帯の通信を比較すると、700MHz 帯の方がデータ受信率が高いことがわかった。これは、5.8GHz 帯は、700MHz 帯に比べて直進性が高いため、シャドウイングが発生していることが原因として考えられる。

周波数の割り当てについては、5.8GHz 帯と 700MHz 帯の片方だけを利用する場合、多くの端末が利用する環境では隠れ端末問題などによって電波の衝突が発生していると考えられるため、データ受信率が低下したと考えられる。そのため、新たに割り当てられた 700MHz 帯を 2 箇所ですべて利用の方が、データ受信率が高いことが分かった。

また、近距離で通信が行えればよい歩行者間通信に 5.8GHz 帯の周波数を割り当て、歩車

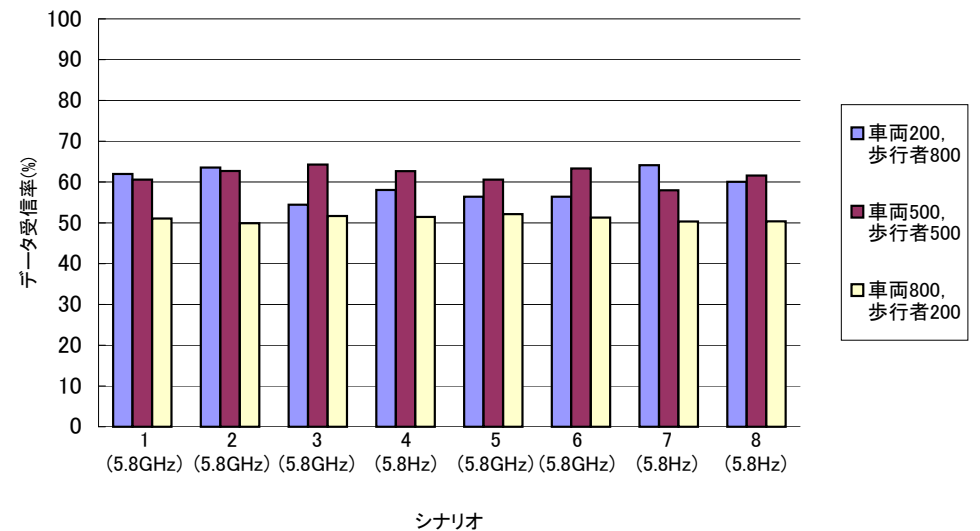


図 6 車車間通信

Fig. 6 Inter-Vehicle communication

間通信に 700MHz 帯の周波数を割り当てることで、より確実に歩行者と車両のやり取りが行うことができたと考えられる。

今後の課題として、今回のシミュレーションでは、歩行者数と車両台数を 200, 500, 800 として合計 1,000 となるような組み合わせだったので、より細かいシミュレーションを行う必要がある。また、交差点での右左折時などより実環境に近い状況でシミュレーションを行う必要がある。

参 考 文 献

- 1) 警察庁 平成 22 年中の交通事故死者数について
<http://www.npa.go.jp/index.html>
- 2) 国土交通省道路局 ITS
<http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/index.html>
- 3) 狭域通信 (DSRC) システム 標準規格 ARIB STD-T75
http://www.arib.or.jp/tyosakenkyu/kikaku_tushin/tsushin_std-t075..html

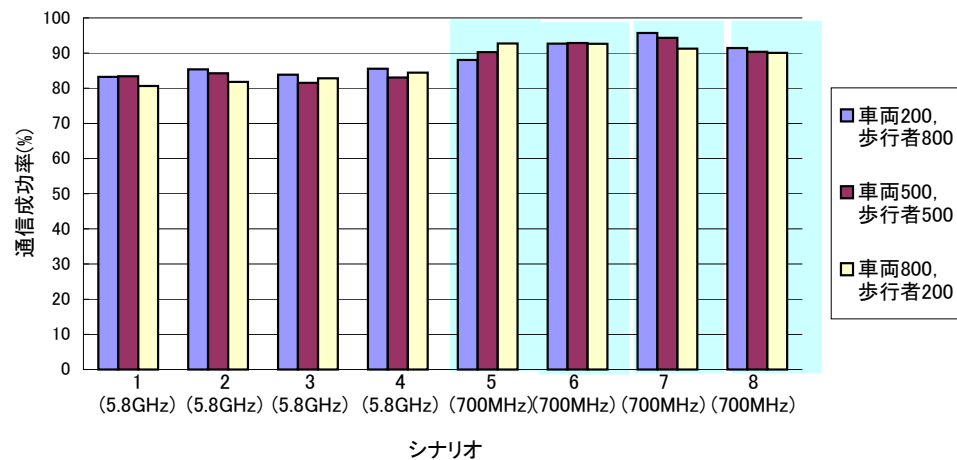


図 7 歩車間通信 (歩行者から車両)

Fig. 7 Pedestrian and Vehicle communication (Vehicle from Pedestrian)

- 4) 5.8GHz を用いた車々間通信システムの実験用ガイドライン
<http://www.itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p32/P32.html>
- 5) 700MHz 帯を用いた運転支援通信システムの実験用ガイドライン
<http://www.itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p34/P34.html>
- 6) 湊和也, 山尾泰, “ 複数周波数帯を用いた車路車間中継 ITS 通信ネットワーク ” 電子情報通信学会技術研究報告, RCS, 無線通信システム, Vol.109, No.130, pp.41-46, 2009 年 7 月.
- 7) 関馨, 浜口雅春, 前田忠彦, “ 安全運転支援のための車車間通信中継方式の検討 ”, 情報処理学会研究報告. ITS, pp.23-30, 2008 年 6 月.