

## 車車間・路車間通信統合によるデータ通信効率化の一検討

藤野 信次<sup>1</sup> 塩内 正利<sup>1</sup> 石原 進<sup>2</sup> 水野 忠則<sup>3</sup>

<sup>1</sup>株式会社富士通研究所

<sup>2</sup>静岡大学工学部

<sup>3</sup>静岡大学情報学部

車車間通信と路車間通信を組み合わせてデータ通信を効率化する検討を行った。車環境で実時間・広帯域通信サービスを提供する場合の課題として、使用できる路車間通信の帯域が比較的小さく、接続が安定しないことが挙げられる。それらが通信回線共有方式 SHAKE の適用により解決可能なことを示し、車環境に適用する場合に考慮すべき事項について述べる。また、SHAKE の導入による効果を確認するため、マクロレベルのシミュレーションを行った。車車間通信には 802.11b を、路車間通信は WiMAX を想定し、総合伝送速度と、他車のリンクを使用した場合の接続確率と接続可能時間を試算した。その結果、帯域拡大、接続性向上の効果があることを示す。

## A Study on Efficient Data Communications Using Combination of Vehicle-to-Vehicle and Vehicle-to-Roadside Communications

Nobutsugu FUJINO<sup>1</sup>, Masatoshi SHIOUCHI<sup>1</sup>, Susumu ISHIHARA<sup>2</sup> and Tadanori MIZUNO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fujitsu Laboratories Ltd.

<sup>2</sup> Faculty of Engineering, Shizuoka University

<sup>3</sup> Faculty of Information, Shizuoka University

We study and report on efficient data communications with combination of vehicle-to-vehicle and vehicle-to-roadside communications. Problems of real-time and broad-band communications services in vehicle environment are comparatively narrow bandwidth and unstable connection of vehicle-to-roadside communications. We will show that SHAKE (SHAKing multipath procedure for a cluster network Environment) can solve the problems and clarify things to consider when applying it to car environment. To confirm its effect, we estimated it with a macro-level simulation, where we assume to use 802.11b for vehicle-to-vehicle communications and WiMAX for vehicle-to-roadside communications, and we calculated total data transmission rate, and connection probability and duration time through communication link on other vehicle. As a result, we will show that effects on enhancing bandwidth and connectivity exist.

### 1. はじめに

ITS(Intelligent Transport Systems)の分野では、安全や快適性を目的として情報通信技術を用いた研究開発が盛んに行われている[1]。その一つとして、行き先の道路状況を走行中の車内で見るといった応用を想定し、動画伝送の要求がある。このような実時間・広帯域情報を車両に配信するにはデジタルテレビのような放送を使う方法も考えられるが、個々の車両の要求に対応する必要があるため、通信による実現手段が適している。車両の通信手段としては車同士の車車間通信と路側との通信を行う路車間通信がある。

情報源が近くの車の場合は車車間通信を利用すれば良いが、情報源が遠距離や固定の設備上にある場合は路車間通信を利用するのが一般的と考えられる。ここで言う路車間通信とは DSRC (Dedicated Short Range Communications)[2]や光ビーコン[3]のような狭域の路側通信だけでなく、セルラーのような広域通信も含むものとする。一般に路車間通信は比較的狭帯域で、シャドウイングやフェージングのために接続が安定しないという問題がある。そこで車環境で動画伝送を行うためには効率的なデータ通信を実現する必要がある。

表 1. 路車間通信メディア

通信メディア	周波数帯	伝送速度	到達エリア	備考
DSRC	5.8GHz	4Mbps	数m~30m	
VICS 電波ビーコン	2.5GHz	64kbps	60~70m	片方向
VICS 光ビーコン	赤外線	DL 1024kbps UL 64kbps センターとは2.4~9.6kbps	3.5m	
VICS FM	FM帯(76~90MHz)	16kbps	10~50km	片方向
PDC	800MHz/1.5GHz	9.6kbps	1~20km	
PHS	1.9MHz	32~256kbps	100~500m	
W-CDMA	2GHz	DL 384kbps/2Mbps UL 64kbps	1~20km	
cdma2000(1x EV-DO)	800MHz/2GHz	DL 2.4Mbps UL 144kbps	1~20km	
WiMAX(802.16e)	2.5/3.5/5.8GHz	~30Mbps/10MHz	1~5km	設計例:2Mbps/1.3km 18Mbps/500m

一方、通信回線共有方式 SHAKE (SHaking multipath procedure for a cluster network Environment) [4]は端末同士 のローカルな通信を經由して他の端末が持つ外部アクセスのための通信回線を共有し、利用帯域の拡大と信頼性向上のための仕組みを提供している。従って SHAKE を車環境に適用することにより、路車間通信の帯域拡大と接続性向上の効果が期待できる。ここで車車間通信および路車間通信の上位プロトコルとしては IP 通信を仮定する。

本稿では車環境に SHAKE を適用し、車車間通信と路車間通信を組み合わせてデータ通信を効率化する手法について述べる。そしてその効果を計算機シミュレーションにより確認したので報告する。まず車環境での実時間広帯域データ伝送の課題について述べ、次にその解決手段として SHAKE が適用できることを示す。この時、車環境で考慮すべき事項についても述べる。最後に計算機シミュレーションとその結果を示し、今後の課題についても述べる。

## 2. 路車間通信における実時間・広帯域データ伝送における課題

一般に車外から行き先の道路状況や天候を示す動画像データを受け取るには路車間通信が使われる。以下に路車間通信における実時間・広帯域データ伝送における課題を示す。

### (1) 伝送帯域不足の対策

表 1 に現状使用できると思われる路車間通信のメディアを示す。ここでは DSRC のような狭域の車専用通信メディアだけでなく、携帯電話網のような広域・公衆通信メディアも含めている。また参考のため、近い将来使用できると思われる WiMAX(802.16e)についても示す。

DSRC や VICS 電波ビーコン、光ビーコンの

ような専用路側通信メディアは通信エリアが極小なため、動画のような実時間データを伝送するには多くの送受信機の設置が必要で、かつ高速にハンドオーバーする必要がある。よって動画伝送には適していないと考えられる。一方 PDC や PHS は、通信エリアは大きいですが、伝送速度が低く、広帯域伝送には向いていない。W-CDMA や CDMA2000 等の 3G 携帯電話網は比較的伝送速度は速いが、高速走行時のデータ誤りによる実効伝送速度の低下を考慮すると十分とは言えない。また、路車間通信にも使用可能と期待されている WiMAX(802.16e)も、置局設計や周波数割当てにもよるが、1 チャネル当たりの最大伝送速度は 1~2Mbps 程度になると考えられ、やはり動画等の広帯域伝送にはやや不足すると思われる。そこで何らかの対策が必要になる。これについては次章で述べるように SHAKE の適用が有効と考える。

### (2) 通信の不安定さの解消

高速に移動する車環境ではフェージングやシャドウイングによる通信の不安定さが発生する。フェージングの影響は誤り率の増加となり、結果的には伝送速度の低下となるため(1)と同じ問題に帰着できる。しかし、トラック等の大型車両やビル、トンネル等の建造物によるシャドウイングの影響は、場合によっては長く続く通信不能状態を招く。従って何らかの対策が必要である。

これに対しては図 1 に示すように、シャドウイングの影響下でない他車の路車間通信で得た情報を、車車間通信を利用して取得するという対策が考えられる。つまり車車間通信と他車の路車間通信を利用して迂回経路を形成する。同様のことが SHAKE により可能と考えられる。

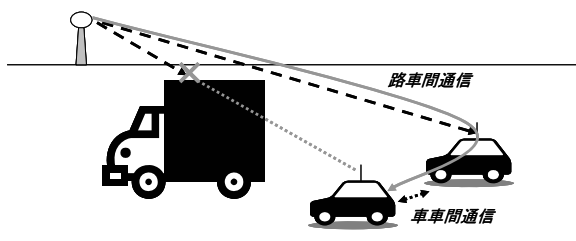


図 1. 車車間通信を利用したシャドウイング対策

### 3. 車環境への SHAKE の応用

図 2 に車環境への SHAKE の適用を概念的に示す。図で各車両（車載機）は車車間通信と路車間通信の両方を同時に使用でき、一方から他方にデータをルーティングできるものとする。車車間は無線 LAN 等の比較的高速な無線通信で接続され、路車間は携帯電話等の比較的低速な無線網で接続されるものとする。SHAKE ではアライアンス関係を結んだメンバ（車）間では外部とのリンク（路車間通信）を互いに共有する。このメンバをアライアンスメンバ（AM）と呼ぶ。アライアンスリーダー（AL）はメンバ間のローカルな通信（車車間通信）を経由して他の AM の外部リンク（路車間通信）を利用することにより、伝送速度の向上を図る。また自分の路車間通信が使用できない場合にも他車の路車間通信を利用できるので接続性、信頼性の向上が図れる。しかし、高速に移動し、通信環境も安定しないという車環境の特殊性から、考慮すべき事項も多い。以下に SHAKE を車環境に適用する場合に考慮すべき事項について述べる。

#### 3.1. データ分配・集約方式

SHAKE で伝送速度向上の効果を得るためにはネットワーク側および端末（車載機）側にデータパケットの分配・集約機構が必要になる。これにはいくつかの方式が提案されており、それ

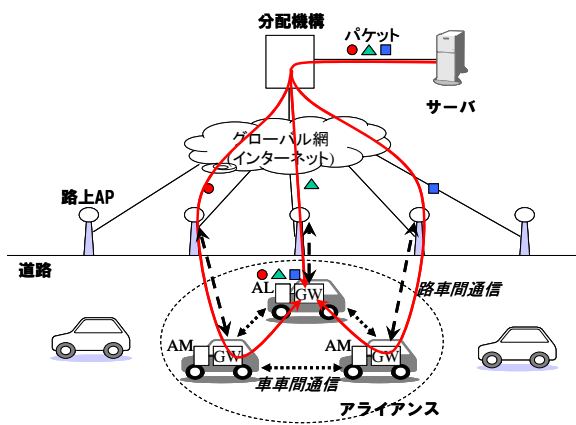


図 2. 車環境への SHAKE 適用

ぞれ利害得失がある。

データ分配・集約をアプリケーションレイヤで実現する Web SHAKE、レイヤ 4 で実現する TCP SHAKE、レイヤ 3 で実現する Mobile IP SHAKE[5]がある。Mobile IP SHAKE には Mobile IPv4 SHAKE と Mobile IPv6 SHAKE がある。

Web SHAKE は Web プロキシ上でデータの分配・集約をするので実装は比較的簡単だが、Web 以外のアプリケーションには適用できない。実装方法は、ネットワーク側に Web Proxy を、端末側にはローカルプロキシを置く。

TCP SHAKE は TCP スタック上にデータの分配・集約機構を実装するので TCP を使用する多くのアプリケーションに適用可能で、伝送効率に影響を与える再送制御をきめ細かくできる利点がある反面、全てのサーバと端末上の TCP スタックに修正を加える必要がある。

Mobile IP SHAKE は Mobile IP を拡張してデータの分配、集約を実現するもので、アプリケーションに依存しない。Mobile IPv4 SHAKE ではネットワーク側で Home Agent(HA)を改造すれば個々のサーバに手を入れる必要はない。ただし、大規模なネットワークでは HA に負荷が集中し、ボトルネックになる可能性がある。一方、Mobile IPv6 SHAKE では Mobile IPv4 と同様に分配・集約を HA に実装することも可能だが、IPv6 の仕組みを利用して個々のサーバに実装することも可能である。この場合には個々のサーバのスタックの改造が必要になるが、大規模化してもスケールし易いという特徴がある。

端末側では、下り通信の場合は各 AM は AL にデータを転送し、上り通信の場合は AL でデータパケットを分配し、各 AM に転送する。この時、HA で分配・集約を行う場合にはカプセル化およびデカプセル化が必要である[9]。

ここで想定しているのは動画のような広帯域のストリームデータの伝送である。IP 上でこのようなデータを伝送するには RTP や UDP が使用される。従って、このような応用には Mobile IP SHAKE が適すると考えられる。また、膨大な数の車を対象にするため、Mobile IPv6 SHAKE が望ましいと考えられる。

#### 3.2. データ配分方法

データの配分の仕方が帯域拡大効果に影響を与えることが知られている[5]。これは各経路の帯域と遅延が異なる場合、TCP の再送制御により、データ伝送効率が変わるためである。

車環境では高速移動に伴うフェージングやシャドウイングの影響により通信が安定しない。これらは通信メディアの下位層での再送制御を招き、上位レイヤには帯域や遅延量の変動に見える。従って、たとえ単一の路車間通信や車車間通信を使用しても状況により帯域や遅延が変動し、データ配分の方法が与える影響は大きい

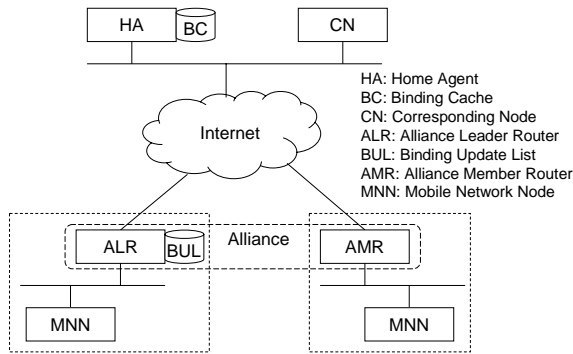


図 3. NEMO-SHAKE

と考えられる。

一般に帯域遅延積に比例してデータパケットを配分するのが最も効率が良いことが分かっている。しかし、帯域と遅延をリアルタイムに計測するにはオーバーヘッドがかかることが予想される。車載機への搭載を考慮すると、なるべく軽い実装にする必要がある。例えば ping による遅延量のみを使用する方法も考えられる。これについては今後、車載機構成等も合わせて検討する必要がある。

### 3.3. ネットワークの移動透過性

一般に車内の機器はネットワークで接続され、車車間通信、路車間通信とは車載の GW を介して接続されると考えられる。ユーザは車内のネットワークに接続された端末を通して画像データを見ることになる。この時、他の端末も同様に車内ネットワークに接続される。すなわち、車環境ではネットワーク全体が移動することになる。これは NEMO(Network Mobility)[6]の想定する状況である。この場合には車載 GW が NEMO でいう Mobile Router(MR)になると考えることができる。この場合も車載 GW すなわち MR が AL または AM とみなせば SHAKE が適用できる[7]。

この場合のシステム構成を図 3 に示す。図で ALR は AL の MR、AMR は AM の MR である。MNN(Mobile Network Node)は移動ネットワーク上の端末で、車内ネットワークに接続された端末である。

このような環境では車載ネットワークに接続される端末数が新たなパラメータとして考慮すべき事項に加わる。ALR は各 AMR の端末数、車速、路車間通信の品質等を考慮して AMR の選択、データ分配を決定する。そのための機構を検討する必要がある。

### 3.4. アライアンス構築

車環境では車同士が頻繁に近づいたり、遠ざかったりするため、アライアンスの構築方法をよく検討しておく必要がある。アライアンスの

構築は以下のような手順になる。これについては[7]で検討されている。

- (1) 車車間通信可能な車両の発見
- (2) 認証
- (3) 車車間接続
- (4) AM の HA への登録

アライアンスの解消についても検討しておく必要がある。頻繁に相対距離が変動したり、間にトラック等の障害物が入ることにより、突然車車間通信が途絶えることがある。このような場合、すぐにアライアンスを解消するとアライアンス再構築のオーバーヘッドが上昇する。すぐに通信が回復する場合もあるので、アライアンス寿命を設定し、その間はアライアンス関係を維持する必要がある。この最適値は環境により変わるため、今後の検討課題としたい。

またアライアンスの構築に当たっては無条件に他車に通信リソースを使わせるわけにはいかない。そのために何らかのポリシーを持って運用する必要がある。いずれにせよ、実際の運用に当たってはプライバシーやセキュリティといった複雑な問題を扱わねばならない。これについては今後の検討課題としたい。

### 3.5. 効果の見積もり

以上で述べたように SHAKE を適用することにより、路車間通信の実効的な帯域を広げることができる。理想的には  $n$  個のリンクを使えば  $n$  倍になるはずだが、実際には様々な要因により理想値よりは小さくなる。特に高速に移動するという車の特性を考えると、車車間距離の変動による車車間通信の帯域変動、マルチパスフェージングやシャドウィングによる路車間通信の帯域変動の影響が考えられる。従来 SHAKE では AL-AM 間の通信は高速で変動しないという前提で設計されているため、車車間通信の帯域変動が与える影響を評価することは意味がある。

また、先に述べたように車環境ではシャドウィングにより接続性が悪化すると考えられるが、SHAKE を適用することで、接続性の向上が期待できる。

次章でこれらの効果を確認するためのシミュレーションについて説明する。

## 4. 計算機シミュレーション

以上で述べた車環境での SHAKE の効果を確認するために計算機シミュレーションを行った。ここでは車車間の帯域変動が存在する環境での効果の存在を確認することを目的とし、マクロレベルのシミュレーションを行った。SHAKE におけるデータの分配方法やその他の要因の影響は無視して、ほぼ理想状態にあるものとした。

シミュレーションは交通流シミュレーションと通信シミュレーションからなる。以下に

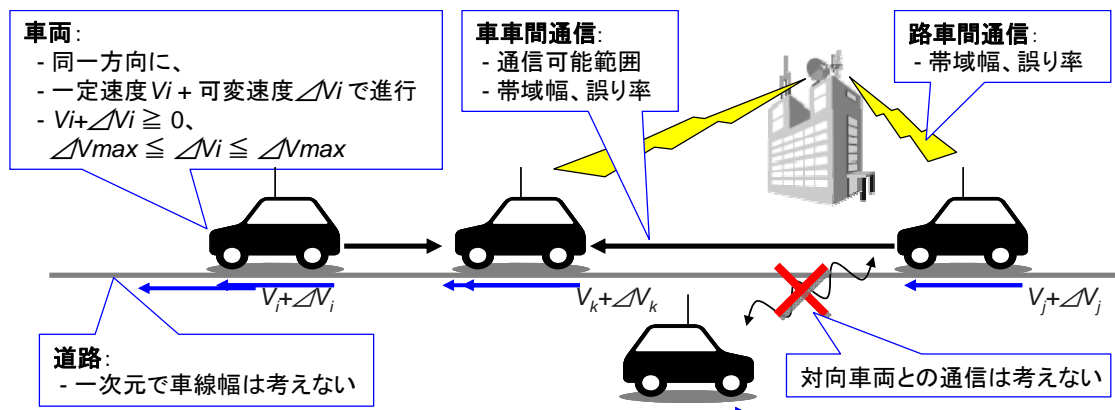


図 4. 交通流モデル

各々の計算モデルと条件、計算方法等について述べる。

#### 4.1. 交通流シミュレーション

図 4 に交通流モデルを示す。本稿では [8] を参考にして以下のようなモデルを適用した：

- ・道路は一次元とする
- ・各車両は同一方向に速度  $V_i + \Delta V_i$  で走行 ( $V_i + \Delta V_i \geq 0$ ,  $-\Delta V_{max} \leq \Delta V_i \leq \Delta V_{max}$ )

ここで  $V_i = 30\text{km/h}$ ,  $\Delta V_{max} = 30\text{km/h}$ , すなわち、速度は  $0 \sim 60\text{km/h}$  でほぼ一様に分布するものとした。図 5 にこの時の 2 車間の相対位置変動の一例を示す。

対向車との通信はストリームデータの伝送を考えると実用的ではないため、行わないものとした。

車両密度は  $5 \sim 30$  台 /  $1\text{km}$  とし、アライアンスを組めるメンバの最大数は 4 とした。

#### 4.2. 通信シミュレーション

##### (1) 車車間通信

一般に使用されている無線 LAN として、802.11b[9]を想定して、距離減衰による誤り率から伝送速度を計算した。ここで路面反射の影響は無視し、減衰モデルは自由空間モデルを用いた。

802.11b ではエア上の最大伝送速度 11Mbps (拡散-変調方式は CCK-QPSK) より、電界強度により変復調方式を変えながら、5.5Mbps

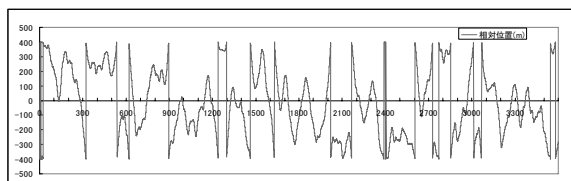


図 5. 2 車間の相対位置変動の一例

(CCK-DQPSK)、2Mbps (DS-DQPSK)、1Mbps (DS-DBPSK) とフォールバックする。この時の最大伝送速度は無線フレーム上のオーバーヘッドと TCP/IP のオーバーヘッド等を考慮して各々、5.10Mbps、3.38Mbps、1.55Mbps、0.84Mbps とした [10]。図 6 にここで用いた誤り率特性 ( $E_b/N_0$  対 BER) を示す。

アライアンスを組む車両が近づくと自動的かつ瞬時に接続するものとする。また、AL の無線 LAN 装置がマスターモードとなり、他の車両と直接通信し、車両間のデータのホッピングは行わないものとする。また各車両間のチャネル衝突は無いものとする。

##### (2) 路車間通信

広域無線 LAN として WiMAX(802.16e)[11]を想定し、エンド-エンドの最大伝送速度は 2Mbps とした。フェージングの影響は無いものとした。802.16e ではシンボル毎にパイロット信号を挿

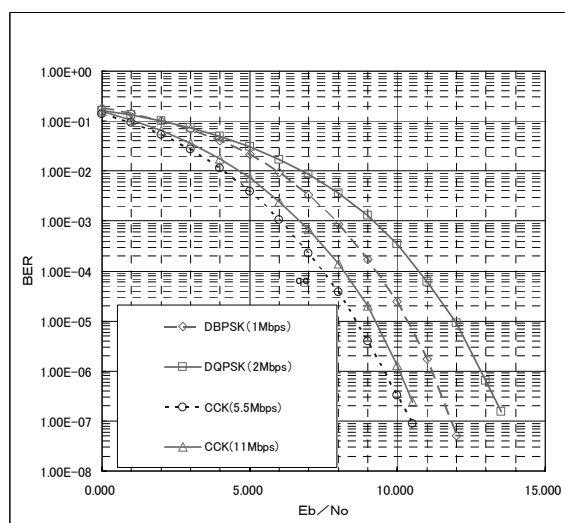


図 6. IEEE802.11b の誤り率特性 ( $E_b/N_0$  対 BER)

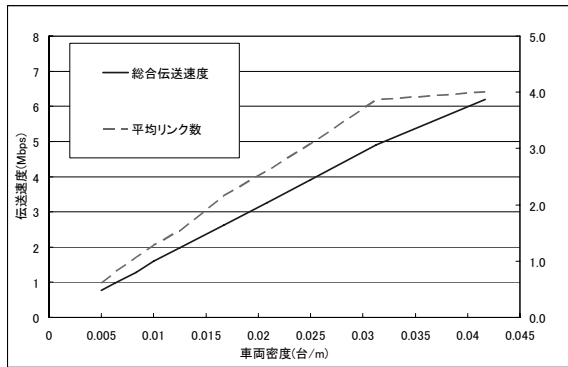


図 7. 車両密度対総合伝送速度

入ることによりマルチパス耐性は高いと言われている。ビル等のシャドウイングによる伝播損失変動モデルは、今回は適用していない。また通信チャンネルは十分にあり、チャンネル衝突は無いものと仮定した。

## 5. シミュレーション結果

前章で述べたシミュレーションを使用して、まず SHAKE による路車間通信の帯域拡大効果を求めた。次に他の車両の路車間通信を用いた迂回経路による接続安定化の効果を求めた。

### 5.1. 帯域拡大効果

図 7 に平均車両密度に対する、AL-サーバ間の平均伝送速度と AL-AM 間の平均リンク数の関係を示す。図より車両密度にほぼ比例して伝送速度が高くなるのがわかる。これは車両密度が高くなるほど他の AM とのリンク数が増加するためと考えられる。図でリンク数が 4 で飽和しているのはアライアンスの最大設定数に達したからである。

図 8 に平均リンク数と平均伝送速度の関係を示す。図よりリンク数と伝送速度はほぼ比例しているのがわかる。リンク数 4 付近で特異点があるのは飽和したリンク数の影響である。1 リンク当たりの伝送速度は約 1.2Mbps と最大伝送速度の約 60% になっているのは、車両間の距離変動による帯域変動の影響と考えられる。

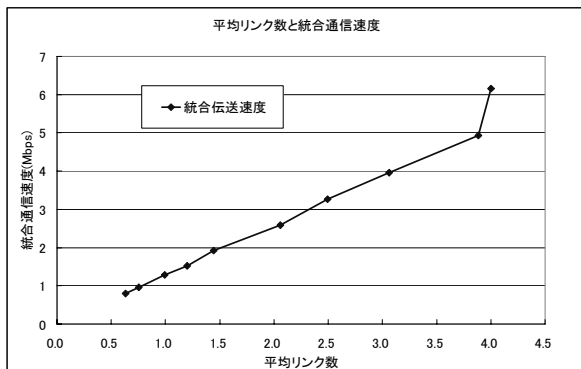


図 8. 平均リンク数対総合伝送速度

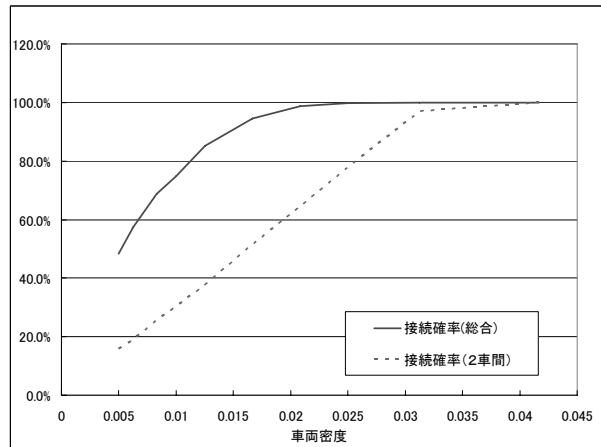


図 9. 迂回接続確率

以上より、静的な環境よりも効果は小さいが帯域拡大効果があると言える。

### 5.2. 接続性向上効果

図 9 に AL が他車の路車間通信を使用してサーバに接続できる確率を示す。横軸は平均車両密度、縦軸は接続確率を示す。比較のために 2 車間で迂回経路を形成した場合の接続確率を同じグラフ上に示す。図より SHAKE を適用した場合の接続率の向上が見られる。

図 10 に平均車両密度に対する、サーバとの接続可能時間を示す。図より車両密度が 25 台/km 以上で急激に接続時間が長くなるのがわかる。3600 秒で飽和しているのはシミュレーション上、常時接続可能になったことを示す。以上より、接続性向上の効果もあると言える。

## 6. 今後のシミュレーションの課題

本検討では効果の存在を確認するためにマクロレベルのシミュレーションを行ったが、効果の度合いをより正確に見積もるためにはマイクロレベルのシミュレーションを行う必要がある。特に無線リンク上の誤りがある場合の TCP の振舞いは、再送間隔の増加等のプロトコルに依存し、誤り率から算出した統計的なスループット

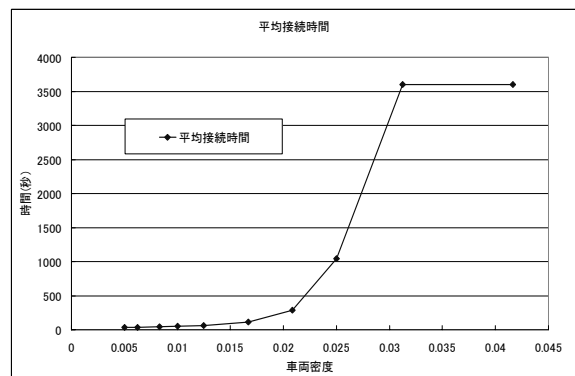


図 10. 接続可能時間

トよりもかなり悪くなる可能性がある。

車両の移動モデルは単純な1次元モデルとしたが、今後、より現実的なモデルにしたい。特に、車速の影響を受ける要因を評価する場合には車速分布モデルを見直す必要がある。

通信モデルでは他の車両による呼の発生やチャンネル衝突はないものとして効果を見積もったが、今後はこれらの与える影響も検討したい。この場合、対向車や交差点での他の車両の影響も考慮する必要がある。また今回はアライアンス可能台数を最大4としたが、より多くの台数で確認する必要がある。

路車間通信に関しては、フェージングやシャドウイングの影響は無いものとしたが、今後はこれらの影響も検討したい。特にシャドウイングに対しては通信の接続性への影響を検討する必要がある。

車車間通信については今後、路面反射やフェージングの影響も考慮して検討したい。また接続時のセットアップ時間を考慮し、移動速度の影響について検討する必要がある。

## 7. まとめ

車車間通信と路車間通信を組み合わせ、SHAKEを適用できることを示し、その場合の路車間通信の帯域拡大効果と接続性向上効果を見積もった。シミュレーションにより総合伝送速度と、他車のリンクを使用した接続確率と接続可能時間を計算した。伝送速度については静的な環境よりも効果は小さいが、車両密度にほぼ比例して伝送速度が高くなり、帯域拡大効果があることを示した。接続確率、接続可能時間も向上し、接続性向上効果もあると言える。

今後は6章で述べたような課題を検討し、より正確なシミュレーションによる評価を行う予定である。また本検討では路車間通信にWiMAX、車車間通信に802.11bを想定したが、他の通信メディアについても検証を行いたい。また、実システムでの実験を行い、その実用性を検証していきたい。

## 文 献

- [1] 松下, 屋代, “ITS の通信基盤の展望と課題,” 電子情報通信学会論文誌 A Vol.J82-A No.8, pp.1-8, 1999年8月
- [2] DSRC, ARIB STD-T75, ARIB TR-T17.
- [3] 光ビーコン, [http:// www.vics.or.jp/](http://www.vics.or.jp/)
- [4] H.Mineno, S.Ishihara, K.Ohta, M.Aono, T.Ideguchi and T.Mizuno, "Multiple paths protocol for a cluster type network," International Journal of Communication System, vol.12, pp.391-403, 1999.
- [5] Kenji Koyama, Yosuke Ito, Hiroshi Mineno, Susumu Ishihara, "Evaluation of TCP on Mobile IP SHAKE," IPSJ Journal, Vol.45, No.10, pp.2270-2278, Oct. 2004
- [6] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, P. Thubert, "Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol," RFC 3693, IETF, 2005.
- [7] 舛田, 石原, “複数 Mobile Network による経路アグリゲーションの提案,” 第4回情報科学フォーラム FIT2005, L-028, pp.67-68, 2005年9月
- [8] 斎藤, 他: “インターネット ITS における車両間 P2P 通信のための通信メディア切替評価装置の開発と評価,” 電子情報通信学会論文誌 A Vol.J88-A No.2, pp.196-207 (2005 ITS 技術論文特集)
- [9] IEEE Std 802.11b-1999, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band"
- [10] 守倉, 松江, “802.11 高速無線 LAN 教科書,” ISBN4-87280-490-2, IDG ジャパン, 2003年3月
- [11] WiMAX Forum, WiMAX's Technical Advantage for Coverage in LOS and NLOS Conditions, Aug 2004