

安全運転支援を目的とした二周波チャネル併用路車間通信方式

前島 治[†] 浦山 博史[†] 蔡 晟蔚[†] 本多 輝彦[†] 小坂 哲也[‡] 平 明德[‡]

[†] 株式会社トヨタ IT 開発センター 〒107-0052 東京都港区赤坂 6-6-20

[‡] 三菱電機株式会社 情報技術総合研究所 〒247-8501 神奈川県鎌倉市大船 5-1-1

E-mail: [†] {maeshima, urayama, cai_sw, te-honda}@jp.toyota-itc.com,

[‡] Kosaka.Tetsuya@cw.MitsubishiElectric.co.jp, Taira.Akinori@cs.MitsubishiElectric.co.jp

あらまし 安全運転支援を目的とした路車間通信システムにおいて緊急通信に求められる要求条件を整理し、複数種別のアプリケーションに対応しつつ緊急通信を優先しうるメディアアクセス制御方式を提案する。本方式は、従来の DSRC 用周波数である 5.8GHz 帯の他、より回折しやすい VHF/UHF 帯の二周波の通信チャネルを併用することにより周波数ダイバーシチ効果をもたせ、かつ各通信チャネルにおいて緊急通信を優先的に送信させるメディアアクセス制御方式とした。緊急情報の送信完了までに要する時間を評価項目として、想定サービスエリア内の車両台数、発生トラヒックをパラメータにしたシミュレーションにより本手法の有効性を評価したので報告する。

キーワード 狭域通信、高度交通システム、路車間通信、安全運転支援、メディアアクセス制御

A roadside to vehicle communication system for vehicle safety using dual frequency channels

Osamu MAESHIMA[†] Hirofumi URAYAMA[†] Shengwei CAI[†] Teruhiko HONDA[†]
Tetsuya KOSAKA[‡] and Akinori TAIRA[‡]

[†] TOYOTA InfoTechnology Center Co., Ltd 6-6-20 Akasaka, Minato-ku, Tokyo, 107-0052 Japan

[‡] Information Technology R&D Center, MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION
5-1-1 Ofuna, Kamakura, Kanagawa, 247-8501 Japan

E-mail: [†] {maeshima, urayama, cai_sw, te-honda}@jp.toyota-itc.com,

[‡] Kosaka.Tetsuya@cw.MitsubishiElectric.co.jp, Taira.Akinori@cs.MitsubishiElectric.co.jp

Abstract This paper addresses requirements for providing urgent communication in a roadside to vehicle communication system for vehicle safety and proposes a new media access control technique which meets both handling multi applications and prioritizing urgent communication. The proposed technique utilizes two channels, one uses 5.8GHz band assigned for DSRC (Dedicated Short Range Communication) system in Japan and the other uses VHF/UHF band expecting more diffraction around obstacles. This paper also presents some simulation results that explore the performance of the technique we have designed.

Keyword DSRC, ITS, Roadside to vehicle communication system, Vehicle safety, Media Access Control

1. はじめに

「環境・効率」、「快適・利便」とともにワイヤレス技術を活用した安全運転支援などによる「安全・安心」が今後の ITS 発展の重要なテーマとして掲げられており [1][2]、今後、道路と人と車が有機的に結合し、道路交通分野においても、「いつでも、どこでも、誰でも、何でも、特別な操作なく」情報をやり取りするユビキタス ITS の実現が期待されている。

ITS 情報通信技術のうち、路車間通信に関するもの

としては、5.8GHz 帯を用いた DSRC (Dedicated Short Range Communication: 狭域通信) 方式が主として ETC (ノンストップ自動料金収受システム) や駐車場の入退出管理システムに利用されている。今後、路車間通信システムはその利用シーンが大きく拡大して行くと思われている。

路車間通信をユビキタス ITS、特に安全運転支援に活用するためには、交通事故の主な原因となっている交通ルール違反、見落とし、認知ミス等に対処するた

め、想定サービスエリア内において、様々な情報の車両へ（または車両から）のリアルタイムかつ確実な情報送受のための技術が必要となる。ここで、安全運転支援用のサービスが、サービス種別により異なるエリアを取り得ること、サービスエリアを広くするに従い大型車両等による電波の反射、遮蔽等、通信品質の劣化を受けやすくなると考えられることから、これら品質劣化に対処する技術の確立が安全運転支援のサービス提供に不可欠となる。

本稿は、安全運転支援を目的とした路車間通信技術を対象として、車両の衝突防止支援など緊急を要する通信に求められる条件を明確化し、緊急通信を確実に優先して送信するメディアアクセス制御方式として異なる周波数帯の二チャンネルを併用する手法を提案する。さらに、シミュレーションにより提案方式の基本特性評価結果について報告する。

2. 安全運転支援路車間通信

道路とクルマが連携し、センサや路車間通信などを駆使して交通事故や渋滞の削減を目指すシステムについては AHS(Advanced Cruise-Assist Highway Systems)[3]などで検討が進められている。それら安全運転支援用途のサービス仕様を参照し、本稿で対象とする緊急通信に求められる条件と課題を整理する。

2.1. サービス仕様

AHS で検討されている安全運転支援用途のアプリケーションは、サービス種別に応じた情報提供範囲において所要量の情報を定期的（100 ms 周期の情報更新等）に路側機より配信することを想定しており、路車間通信システムの所要品質（AHS-i の場合）として 100 ms 以内にシステム全体で 99 %の成功率、そのうち通信への要求品質の配分として 99.9 %を暫定値として想定している[4]。

また、車両の急制動等の緊急情報については、後続車両の追突防止等を目的として車車間通信により情報送信するサービス等が検討されている[5]が、路側機が存在する場合は路側機を介して、車車間通信では届かない範囲の車両へ情報を即時に伝えることも有効と考える。以上を踏まえ、安全運転支援用のアプリケーションおよび緊急通信の特徴を表 1 のように整理した。

本稿では緊急通信は突発的に発生する通信を対象とし車両からの送信も含むものとして、従来の安全運転支援用アプリケーションと区別した。但し、緊急度の高さや低遅延で確実な伝送が要求される点は従来の安全運転支援用アプリケーションと同様である。

本稿で対象とする安全運転支援用アプリケーション例および緊急通信のサービス仕様を表 2 に示す。表中の緊急通信の仕様において、通信対象車両速度、情

報量、最大対象車両台数、許容通信遅延時間、通信達成度、サービスエリアは AHS における一般道での安全運転支援用途のアプリケーションでの検討内容[3]を参考にして仮定し、通信周期はアプリケーションの特性より規定なしとした。

表 1 路車間通信を用いた安全運転支援用アプリケーションと緊急通信の特徴

項目	従来の代表的な安全運転支援用アプリケーション	緊急通信
情報の内容	センサー等により得られる安全運転支援に寄与する情報	路側機、車両より不定期に特定のエリアに提供される情報
通信方向	下り（路側機→車載機）が主	上り（車載機→路側機）/ 下り
通信周期	定期的（100 ms 等）	不定期（突発的）
情報例	AHS 等で検討されるアプリケーション ・出会い頭衝突防止支援情報 ・前方障害物衝突防止支援情報など	下りリンク緊急通信 ・車載機からの緊急情報の配信等 上りリンク緊急通信 ・事故（エアバック作動等）に起因する情報 ・車、人等との衝突回避動作（急制動等）

表 2 サービス仕様

項目	従来の代表的な安全運転支援用アプリケーション	緊急通信
通信対象車両速度	0~120 km/h [4]	同左
サービスエリア	一般道片側 2 車線 路側機から 420 m の区間	100 m
最大対象車両台数	28 台/100 m （方路あたり最大車両密度 140 台/km より算出）	同左
情報量	50~1450 Byte(一般道) [4]	100 Byte [4]
通信周期	100 ms [4]	(規定なし)
許容通信遅延時間	100 ms [4]	同左
通信成功率	99.9 % [4]	同左

2.2. 課題

30 m 四方程度の比較的狭いエリアを対象とした既存の DSRC システムよりもエリアが広域化するに伴い通信車両台数が増加する。また、交差点など路車間通信の適用が想定される環境においては交通流及び車両種別が多様である。このような環境では路側機と自車両との間に存在する他の車両、建物がシャドウィングやマルチパスなどを生じさせ、通信品質を時間的、場所的に劣化させる。従って、伝搬環境に依存する通信品質劣化への対応が課題の一つとなる。

路車間通信システムが提供する情報種別を考えると、緊急通信や安全運転支援用アプリケーションだけでなく、ナビゲーション情報などの快適系やその他娯楽系情報など緊急度の低いものにも対応することが現実的である。その場合、アプリケーションの情報量や通信車両台数など主にアプリケーションに依存する通信容量不足、他のアプリケーションとの混在時における緊急度の高い通信の遅延抑制、などの課題が挙げられる。なお、通信品質の劣化、通信容量の不足は全アプリケーションに対して当てはまる項目であり、緊急度の高い通信についてはこれらの項目に加えて、他のアプリケーションより優先して通信できる機能が必要となる。

3. 提案方式

表 2 に示す緊急度の高いアプリケーションに加えて、渋滞情報提供や音楽、映像配信等の快適、娯楽用途といった比較的緊急度の低いアプリケーションにも対応する路車間通信システムにおいて緊急通信および安全運転支援用途の通信を優先するアクセス制御方式を設計した。ここでは、シャドウイング等による電波伝搬環境劣化時においても緊急通信を可能とするため、より回り込みやすい性質を有する VHF/UHF 帯の電波を活用すること、ならびに緊急通信を優先確保することに主眼をおいた。

提案方式は、種々のアプリケーションの通信を行うチャンネル（通信 CH）と緊急通信に特化してシステム制御を行うチャンネル（制御 CH）の二チャンネルで構成する。通信 CH は既存の DSRC と同様に 5.8GHz 帯で使用し、通信容量の確保、緊急通信優先の観点から物理層に OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) による広帯域伝送、MAC 層には CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) を採用し情報種別に応じて送信待ち時間を制御するものとした。

一方、制御 CH では大型車両等の伝搬路遮蔽による通信 CH の品質劣化時においても回折性の点で緊急通信のリンクを確保し易いと考えられる UHF/VHF 帯を使用するものとした。また、緊急通信の手順を路側機が集中制御する TDM/TDMA 型のメディアアクセス方式とした。

緊急情報の送信については、他用途の通信よりも高い通信成功率が要求されることから以下の手順を含む。

- (1) 制御 CH および通信 CH の両チャンネルを同時に使用して送信する。
- (2) 通信 CH の下りリンクでは当該緊急情報を連送することにより通信の成功率を高める。Digital Beam Forming 技術（以下、DBF）などを用いて

異なるビームパターンを形成し、複数のビームパターンで連送することにも対応可能とする。

設計したアクセス制御方式の仕様を表 3 に示す。二種類のチャンネルに割り当てる周波数帯域幅の総和を従来の DSRC システムである ARIB STD-T75（ガードバンドを含む上り/下りリンク 1 チャンネル分の合計 10 MHz）と同等とし、制御 CH については物理層の仕様を規定せず表中に示す値を仮定した。

表 3 メディアアクセス制御方式の仕様

項目	制御 CH	通信 CH
周波数帯	UHF/VHF 帯	5.8 GHz 帯
帯域幅	1MHz	10MHz
変調方式	QPSK	OFDM (BPSK/QPSK/ 16QAM/64QAM)
多重化・多元接続方式	TDM/TDMA	CSMA/CA
伝送速度	600 kbit/s 程度	3~27 Mbit/s
通信の内容	<ul style="list-style-type: none"> ・接続制御（車載機登録）情報 ・緊急情報 	<ul style="list-style-type: none"> ・緊急情報 ・安全運転支援情報、その他の情報
備考	<ul style="list-style-type: none"> ・緊急通信に関わる接続制御用および通信用 	<ul style="list-style-type: none"> ・優先アクセス制御機能 ・アンテナビーム制御による連送機能

3.1. 制御チャンネル

TDM/TDMA 型の制御 CH では、1 つの通信フレームを車載機登録やスロット割り当て要求、データ送信などの用途に応じた複数のサブフレームに分割し、各サブフレームを複数のスロットで構成した。制御 CH フレームフォーマットを図 1 に示す。制御 CH のフレームは、路側機または車載機からの緊急情報の発生の有無により構成が異なる。通常時には「接続」モードとして緊急通信用の車載機登録（エントリー）を主に行う。一方、緊急情報発生時には「緊急」モードとして、エントリー処理を行うサブフレームが緊急通信処理を行うサブフレームに替わる。制御 CH による車載機登録および緊急通信の手順を以下に述べる。

1. 車載機登録

- (1) 路側機からのビーコンサブフレーム（「接続」モード）を車両が受信することにより、自車両が路側機のサービスエリアに進入したことを検知するとともに、エントリー要求サブフレームに関する情報（サブフレーム開始位置、登録要求用スロット数等）を取得する。
- (2) (1)の車両はエントリー要求サブフレームの中からランダムに選択した 1 スロットを用いてエントリー要求メッセージを路側機に送信する。
- (3) 自車両が正常に登録されると路側機から送信さ

□ Down Link □ Up Link ■ ガードタイム □ Don't care

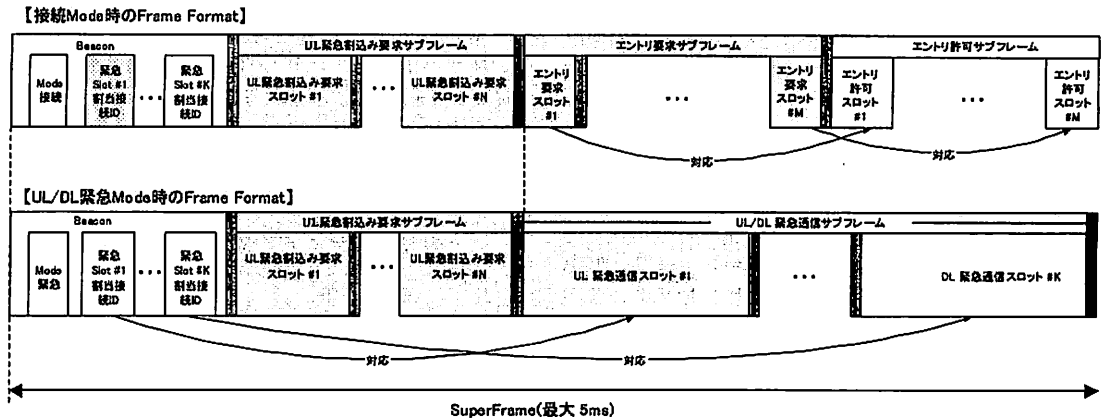


図 1 制御チャネルのフレームフォーマット

れるエントリ許可サブフレームにてその旨通知される。正常に登録されなかった場合、次の登録要求サブフレームにて再試行する。

2. 緊急通信（上りリンク）

- (1) エントリ済みの車両より緊急情報が生成されると、次フレームの上りリンク緊急割込み要求サブフレームの中から1スロットをランダムに選択し、緊急通信要求メッセージを送信する。
- (2) 上記要求メッセージを路側機が正常受信すると次フレームを「緊急」モードとし、ビーコンサブフレームにて緊急情報送信用スロットの情報（スロット位置等）を路側機が通知する。
- (3) 上記で通知されたスロット位置にて車両は上りリンク緊急情報を送信する。

3. 緊急通信（下りリンク）

- (1) 路側機は、エントリ済み車両からの緊急通信要求メッセージの受信、あるいは他の情報元（センサー機器等）からの緊急情報の受信を契機に、次フレームを「緊急」モードとする。
- (2) ビーコンサブフレームにて緊急通信スロットの情報を通知し、当該スロット位置にて路側機は下りリンクの緊急情報を同報送信する。

「緊急」モードのビーコンサブフレームを受信した車両は、「接続」モードのサブフレームを受信するまで、通信CHでの緊急度の低い情報の送信を停止する。

3.2. 通信チャネル

通信CHでは、緊急情報や安全運転支援用途の情報の他、娯楽用途等の緊急度の低い情報（一般情報）の通信（一般通信）および付随する認証、登録等をCSMA/CA型の通信手順に従い行う。

1. 一般通信

路側機または車両いずれもCSMA/CAによる動作手順に従って情報を送信する。

2. 緊急通信（上りリンク）

- (1) 緊急通信を他の通信より優先させるため、車側からの緊急情報送信時にはIEEE802.11規格におけるContention Windowの最小値を通常より小さくしてバックオフ時間を算出する。
- (2) 同時に2つ以上の上りリンク緊急通信が発生した場合はCSMA/CAにより調整される。
- (3) 通信CHの上りリンク緊急通信は「Ackの受信」または「Retryオーバ」まで再送を繰り返す。

3. 緊急通信（下りリンク）

- (1) 制御CHのModeが「緊急」になった時点で通信CH側は緊急通信を除く一般通信を停止させる。
- (2) 路側機から全車両（同報型）または個別の車両（ユニキャスト）に対し緊急情報を連送する。

4. 性能評価

表2をもとに、100ms以内に99.9%の確率で緊急情報の通信が完了することを評価指標とした。緊急情報の生成から通信完了までの送受間ラウンドトリップ数の多い制御CHの上りリンクが情報送信時間の点で条件が厳しいと考え、シミュレーションにより提案方式の上りリンクを以下の項目について評価した。

- (1) 通信品質に対する上りリンク緊急通信成功率
- (2) 通信負荷に対する上りリンク緊急通信成功率

4.1. 計算手順

一般道交差点から片側2車線100mの方路をサービスエリアとして、車両速度別の平均車頭間隔の情報[6]

に基づき時速 10km/h の場合の車両台数 22 台をランダムに配置した。通信 CH については、レイトレース法より算出した各車両位置の信号対雑音比および、車両速度や伝送情報量に応じて算出した通信品質特性（信号対雑音比に対するパケット誤り率特性）をもとにパケット誤り率を車両毎に設定した。制御 CH については通信 CH よりも確実に通信可能とすることを前提に全車両の通信品質を一律にパケット誤りなしと仮定した。なお、各 CH の評価においては他の影響を排除するため各々独立に評価した。

4.2. 通信品質に対する上りリンク緊急通信成功率

緊急通信車両 2 台が同時に緊急情報 130 Byte（オーバーヘッド 30 Byte 含む）を生成し、路側機にて受信完了するまでの遅延時間を両 CH について評価した。制御 CH では、試行回数を 1000 回、最大再送回数は設けず緊急通信が成功するまで再送するものとした。通信 CH については、試行回数を 232 回、最大再送回数を 7 回とした。ここで、通信 CH の負荷として緊急通信車両以外の全車両から一般情報（300、750、1500 Byte）を 50 ms 間隔でランダムに発生させた。また、通信 CH については、選択した 2 台の通信品質の組合せが異なる表 4 に示す 3 ケースを評価した。

表 4 車両の通信品質（通信チャネル）

	ケース A	ケース B	ケース C
車種	普通/普通	普通/大型	普通/普通
路側機との見通し (#1)	あり/あり	なし/あり	なし/なし
パケット誤り率	0.0/0.0	1.0/0.0	0.14/0.31

#1 見通しなしの要因は大型車両によるシャドウイングとした。

図 2(a)、(b)は制御 CH および通信 CH にて緊急通信成功までに要した時間の累積分布である。車両 2 台と

も通信 CH の通信品質が良いケース A では通信 CH において 100 ms 以内に 100 % の通信が完了した。また、制御 CH と比較して広帯域、高速な通信 CH の方が遅延時間 30 ms 以下の領域では通信成功率が高いことが確認できる。しかし、図 2(b)のケース B、C のように大型車によるシャドウイングの影響を受ける場合、通信 CH では最大再送回数まで試行しても送信失敗となり 99.9 % の評価指標を満たさない（ケース B、C における通信 CH での通信開始 100 ms 後の通信成功率は各々 99.6%、50%）ものの、制御 CH では同指標を満たせることが確認できる。

4.3. 通信負荷に対する上りリンク緊急通信成功率

サービスエリア内配置車両 28 台のうち、通信 CH のパケット誤り率が 0 となる車両を緊急通信車両として複数台（2、4、8 台）選択し、当該車両が同時に緊急情報を路側機に送信した場合の、各 CH における通信負荷に対する緊急通信の通信成功率と遅延時間の分布を評価した。ここでも、緊急通信車両以外の全車両から通信 CH 上に負荷トラヒックを送出した。図 3(a)、(b)に結果を示す。緊急通信車両が 2~4 台程度の比較的低負荷の状態では両 CH とも評価指標を満たすことが確認できる。緊急通信車両が 8 台の場合は制御 CH では評価指標を満足できなかったが、これは制御 CH において 5 ms 長の 1 フレーム当りに緊急通信として割当可能なスロット数が設計値（2 スロット）を超過したためである。一方、通信 CH については緊急通信以外の通信（一般通信）を行う車両より通信負荷を生成するため、緊急通信車両同士の輻輳、緊急通信と一般通信との輻輳、一般通信による使用帯域の終了待ち等により緊急通信の遅延などが予想されるが、制御 CH よりも高い通信速度ならびに緊急通信の優先制御機能により、短時間に制御 CH より高い通信成功率を得る傾向を示した。

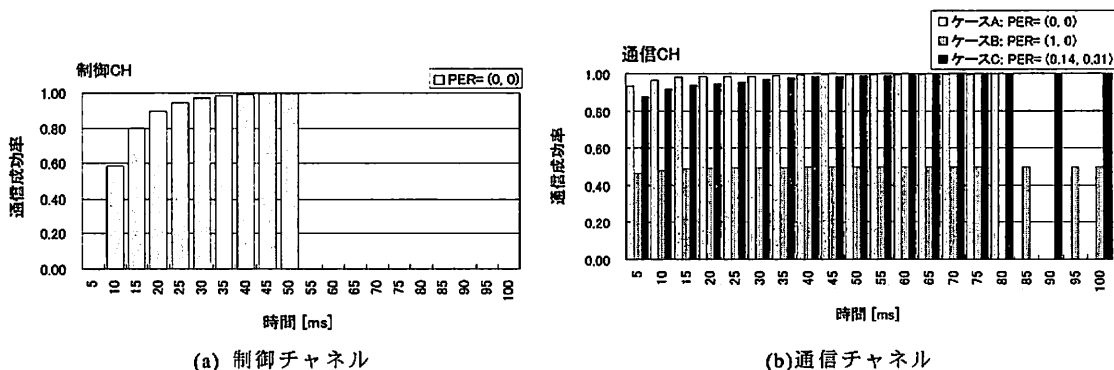
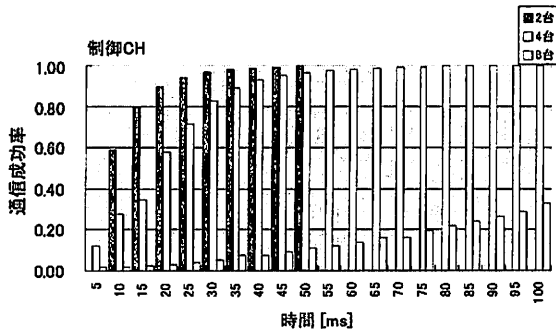
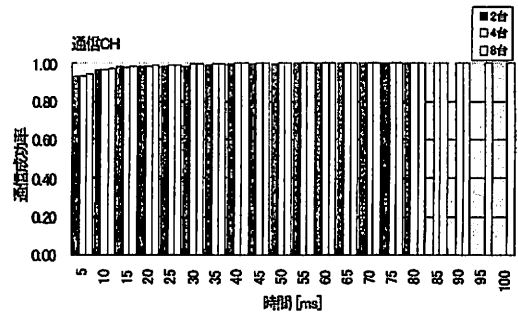


図 2 通信品質と緊急通信成功時間の累積分布（車両速度 10 km/h）



(a) 制御チャンネル



(b) 通信チャンネル

図 3 同時送信台数と緊急通信成功時間の累積分布 (車両速度 10 km/h)

5. むすび

安全運転支援を目的とした路車間通信システムにおける緊急通信のサービス仕様を検討し、同仕様に基づき複数のアプリケーションに対応しつつ緊急通信を優先しうるメディアアクセス制御方式を提案した。具体的には、シャドウイング等による電波伝搬環境劣化時においても緊急通信を可能とするため、より回り込みやすい性質を有する VHF/UHF 帯の電波を活用すること、ならびに緊急通信を優先確保することに主眼をおき、異なる周波数の二チャンネルを併用するメディアアクセス制御方式とした。

シミュレーションにより上りリンクの緊急通信遅延時間を評価した結果、本方式のように、低速としつつも緊急通信に特化したチャンネルを具備することにより、システムの高負荷時や 5.8GHz 帯通信品質の劣化時においても、確実に所定の時間内に通信を完了させる点で有効であることを確認した。今後は二週波チャンネルの連携を考慮した MAC 特性や下りリンク特性をシミュレーション評価し、フレーム構成の最適化、方式改良、試作機を用いた実機検証をする予定である。

本研究は、独立行政法人情報通信研究機構からの委託研究「ユビキタス ITS の研究開発」に基づき実施したものである。

文 献

- [1] 総務省「ワイヤレスブロードバンド推進研究会」最終報告書
http://www.soumu.go.jp/s-news/2005/pdf/051227_1_4.pdf
- [2] IT 戦略本部, “IT 新改革戦略,” pp.19-20, 2006.
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/060119ho_nbun.pdf
- [3] 技術研究組合 走行支援道路システム開発機構

<http://www.ahsra.or.jp/>

- [4] (社)電波産業会, “自動車通信システムにおける周波数有効利用技術の調査検討報告書,” 参考資料-3, 1999
- [5] 国土交通省 先進安全自動車推進検討会
<http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/asv/index.html>
- [6] (社)交通工学研究会, “交通工学ハンドブック,” 2005