

ミリ波を用いた次世代 ITS のための路車間通信システムの検討

阿部紘士* 安達文幸** 小泉寿男†

* 秋田県立大学 システム科学技術学部 電子情報システム学科

** 東北大学 大学院 工学研究科 電気通信工学専攻

† 東京電機大学 理工学部 情報システム学科

本稿では、先ず想定される将来の高度道路交通システム(ITS)の要求条件を示し、それに該当するシステムの形態について検討結果を示す。次に、将来の ITS に向けて、無線基地局と車両との無線リンクで 45GHz のミリ波と CDMA システムを用いて見通し内通信を行う路車間通信システムを提案する。提案するシステムの評価として、無線リンクの伝搬特性が検討されたが、ここでは、見通し内通信ができる車間距離、および無線基地局の送信電力に車両との間の距離の n 乗に比例する電力制御を加えたときの伝送品質(ビット誤り率)、伝送速度、無線帯域と下り回線のチャンネル容量の関係性を明らかにする。

A Study on an Road-Vehicle Communication System for Future ITS Using Millimeter-wave Radio

Kohshi Abe*, Fumiuki Adachi** and Hisao Koizumi †

* Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University

** Graduate School of Engineering, Tohoku University

† College of Science and Engineering, Tokyo Denki University

This paper presents requirements of a supposed future intelligent transport systems (ITS) and the results of examination of the system configuration. Also, this paper proposes a road-vehicle communication system using 45GHz band millimeter-wave and CDMA system in the radio link between radio base station and vehicles for the future ITS. As an evaluation of the proposed system, propagation characteristics of the radio link were examined. Here, the vehicular interval for the line-of-sight communication, and in adopting the transmitting power control to be proportional to n -power of the distance between radio base station and vehicles, the relation between transmission quality (bit error rate), bit rate, bandwidth and channel capacity in down link is clarified.

1. はじめに

近年、情報処理技術とデジタル通信技術の進展により、自動車の機能向上と道路交通管制システムの構築が進んでいる。そして将来の輸送システムを支援するインフラストラクチャとして、高度道路交通システム(ITS)に関する数多くの調査・研究や実用化開発がなされている[1]。これらの個々のシステムは、それぞれ独自に開発されて来ており、このま

ま進めば、将来種々のシステムや装置が同時に存在し、ユーザーには不都合なこととなる。それで、これらの多くの ITS 関連情報通信システムは、将来いくつかの少数のシステムに統合されて行くものと予測され、既にその指針として「日本の ITS システムアーキテクチャー」が策定されている[2]。その統合されるであろう形態の一つとして、連続的に通信できる路車間通信システムが主流(用途の多い手段)になると期待される。

そこで筆者らは、次世代の ITS では、映像情報の活用は必至と考え、長距離走行を想定したハイウェイや高規格化道路での実現を狙いとする統合化大容量移動通信システムとして、ミリ波を用いる連続通信型の路車間通信システムを提案している[3]。藤瀬、原田らもマイクロ波やミリ波を用いる路車間マルチモード通信システム[4]を提案している。[3]のシステムは、筆者らの一人が 1997 年に鉄道における次世代の情報システムとして提案した鉄道情報通信システム[5]をベースに、新たに直接拡散変調のスペクトラム拡散通信方式を加えて検討したものである。即ち、路側に数 100m 程度の一定間隔で配置された無線基地局と車両上の移動局との間で、ハンドオフを繰り返しながら連続的に見通し内通信を行う方式である。個々の車両との通信は、セルラー方式と IP アドレスに基づく移動体通信制御方式で制御される。

このシステムは、いくつかの重要な特徴を有している。まず、ミリ波では広帯域が確保できるため、現在実用化されたり開発中の多くのシステムは、広い帯域の中で例えば藤瀬らの提案[4]のような形でいくつか少数のサブシステムに統合されることが期待される。また、多数のユーザーに対しても、走行中の車両の中で音声やテキスト信号のみならず疑似ビデオや映像信号を伝送することが出来る。次に、スペクトラム拡散通信方式を採用しているために、その方式の有する利点を取り込むことが出来る。

以下に、本稿では、次世代 ITS の一移動通信システムとして提案している路車間通信システムについて、主に 45GHz 帯のミリ波を用いた無線リンクの諸特性を検討する。

2. 想定される次世代 ITS の要件

次世代 ITS で連続通信型の統合化移動通信システムを実現するには、先ず次の情報通信の要件を満たす必要がある[6]。

- ・ 必要な区間に対し、走行中の全ての車両と通信リンクが構成できること。
- ・ 確実な情報伝達が可能な高い通信品質を実現できること。
- ・ 情報伝達の遅延が、車両の移動性能との比較において十分短いこと。

一方、ITS における情報通信サービスには、車両利用者に対する車両通行、安全、利便性・快適性サービス、歩行者に対する安全、利便サービスなどの各種情報通信と事業者の業務連絡用の通信などが含まれる[7]。その運用には実時間性、即時性、連続性、

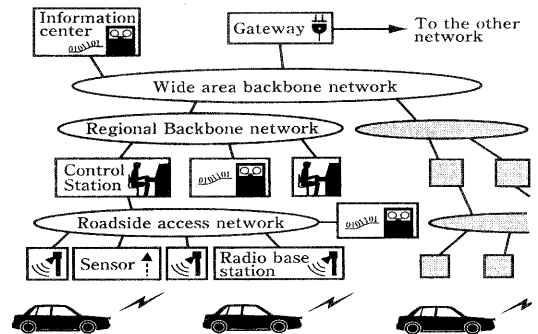


図1 次世代 ITS の情報通信システムのイメージ
(文献[8]の図1をベースに加筆)

信頼性、安全性が要求され、更にシステム運用コストの削減、システムの拡張性などが要求される。

そのため、次世代 ITS を実現するためのインフラストラクチャ設備には、道路輸送環境を検知するセンサー機能、車両の動きを制御する制御機能および各種の情報通信機能が必要である。これら諸々の要求を満足する将来の ITS のための情報通信システムは、図1のような構成が想定される。即ち、無線基地局やセンサーを含む路側設備との通信を行う路側ネットワーク、交通管制や網管理を行う制御局を接続する地域バックボーン網、および広域の管理を行う広域(WA)バックボーン網から構成される。センサーで得られた情報や車両から発信された情報は、基地局、路側ネットワークを介して制御局、情報センターに達し、そこで処理され、必要に応じ ITS サービス情報として無線基地局を介して車両に送られる。

以上のように想定される将来の ITS は、マルチメディア移動体通信プラットフォーム上で構築される道路交通に関するシステムと見なされ、その情報通信システムでは、路側ネットワークと車両との間の通信をどのように行うかは大きなテーマである。

3. 検討すべき課題とその結果

移動中の車両に上記のマルチメディアサービスや機能を提供することの実現性を明らかにするためには、無線リンクに関して、表1に示すような事項が検討されねばならない。以下に、その中の主な事項について、検討結果を述べる。

3.1 サービス内容と伝送速度および周波数帯域

現在の ITS では、通信システムとして、専用狭域通信(DSRC : Dedicated Short Range Communication)の路車間通信や車車間通信の実用化が図

TABLE 1. 次世代 ITS のマルチメディア路車間通信システムにおける無線リンクの技術的課題

| 設計要求仕様 | 検討課題 | 評価すべき課題 |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ● 高速車両との通信 (例: ~200 km/h) ● 高ビットレートで大容量の通信 (例: 2~10 Mbps) ● マルチメディア通信 (テキスト, 音声, データ および映像信号) * ビットレートと品質の異なる信号の伝送 * ストリーム形信号とバースト形信号の伝送 ● セキュリティ, 保守性, 拡張性 および経済的な運用性 | <ul style="list-style-type: none"> ● 周波数帯 (多チャンネルの映像信号の伝送に十分な広帯域か?) ● セルサイズ (車と無線基地局間の伝搬は見通し内か?) ● アンテナ (単一指向性か?) ● ダイバーシティと合成方式 ● 多重アクセス方式 (FDMA/TDMA/CDMA?) ● 無線チャンネル制御 <ul style="list-style-type: none"> - 高速ハンドオフ - 高速移動車とのタイミング ● エラーコントロール (FEC/ARQ) ● 無線 ATM ● 変調/復調 ● 無線基地局へのフィードバック など | <ul style="list-style-type: none"> ● 受信電力レベル <ul style="list-style-type: none"> - マルチパスによる高速フェージング ● 雨による減衰と回線断 ● チャンネル干渉 (コチャンネル干渉, オーバリーチ波干渉) ● ビット誤り率 (BER) ● ダイバーシティ効果 ● CIR (無線リンクとフィードバック) ● 伝送損失 (無線リンクとフィードバック) ● 無線リンクでのハンドオフの遅延時間 ● 高速ハンドオフ ● コスト など |

られている。

一方、次世代 ITS では、上記の地域バックボーン網を構成し文献[7]に示されるサービスを提供する情報通信システムとして、広帯域のマルチメディア専用通信システムが役割を担うものと考えられる。つまり、次世代の ITS では、衝突などの危険警告や協調走行などのリアルタイムの情報交換にも音声、テキスト、静止画の他に映像は必須であり、またリアシートの情報にもインターネットなどの映像情報の伝送が必要条件として要求されるものとする。このため、1 無線ゾーン当り多チャンネルの映像伝送が可能のように、2~10Mbps 程度の伝送速度と 100 MHz 程度の周波数帯域を要する大容量移動通信システムを考える。

3.2 連続型の大容量情報移動通信方式

現在検討されている車車間通信は、衝突防止や協調走行など車車間のリアルタイムの情報交換を目的としたもので、道路外の一般情報網との通信は考慮されていない。また、道路外との通信が可能な路車間通信は、現在無線ゾーン方式のものと漏洩同軸ケーブルまたは漏洩導波管を用いる有線方式が検討されている。この中で、漏洩同軸ケーブルを用いる方式と漏洩導波管を用いる方式は、多チャンネルの映像情報など大容量情報の伝送するには、それぞれ難点があり、そこで、筆者らは道路外との通信を含む連続型の大容量移動通信には、適切な周波数が確保できれば、無線ゾーン方式の路車間通信が最も目的に適うと考える。

3.3 無線周波数

この検討では、様々な分野の多くのユーザーが映像信号の伝送に使えるように、100 MHz 以上の帯域を持つ 2~50 GHz の無線周波数を対象と

した。具体的には、IMT2000 用の 2GHz 帯、マイクロ波帯(例えば、5.8 GHz と 24.5GHz 帯)それにミリ波帯(例えば 45 GHz 帯)を比較検討した。一般に、周波数は高くなればなるほど、付随する技術的な課題は大きくなる。特に、ミリ波帯においては、高速ハンドオフ、高速フェージング、フェージングによる BER の影響、雨の影響など解決すべき多くの課題が存在する。ここでは、これらの無線周波数についてトレードオフを行った結果[3]から、一例として、以下に多チャンネルの映像伝送が可能な帯域を有する 45 GHz のミリ波のシステムを検討する。

3.4 通信方式

多重アクセス方式には、次のスペクトラム拡散方式の一般的な利点を有し、かつ IMT2000 方式で技術の進展した CDMA 方式を考える。

- ・干渉やマルチパスフェージングに耐性がある
- ・他のユーザーと同じ周波数帯域を共有する
- ・ある程度のプライバシーを確保でき、信号の傍受や妨害が難しい

また、CDMA 方式の採用により、高い周波数効率、送信電力の削減、ベースバンドで拡散率を変えるだけで効率よく上り・下りのトラフィックの非対称な通信ができるなどのメリットが得られる。

なお、道路の上り下り車線の情報分離には、FDD による方式や同じ周波数を用い個々の車両に割当てたコードで分離する方式が考えられるが、ここでは後者を採用する。

3.5 セルサイズ(無線基地局間距離)

無線周波数にミリ波を用いると、伝搬損失が大きく、また天候や周囲環境による伝搬路の影響を大きく受ける。そのため、確実に高品質な通信を行うために、送受間の伝搬距離は見通し内の数 100m 程度

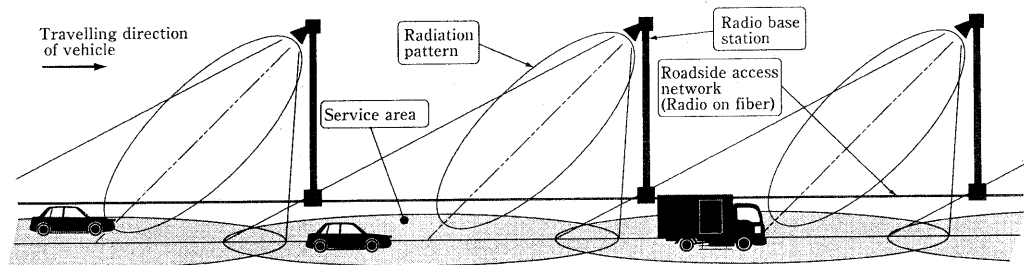


図2 指向性アンテナを用いた無線ゾーンの構成

にする必要がある。

3.6 アンテナ

45GHz のミリ波であると、300m の伝搬距離で約 115dB の伝搬損失が生じ、また天候や周囲環境による伝搬路の影響を大きく受けるため、受信レベルには相当のマージンを要する。この方式では送信受信の関係は道路に沿った線上で考えればよいので、送信・受信アンテナは通常の携帯電話と異なり、20～30 dB 程度の高い利得を有し、かつ所定の指向性を持つアンテナを使用する。

3.7 無線ゾーンの構成

無線基地局のゾーン構成は、図2に示すように1方向の指向性を有する1つのアンテナで車両の1進行方向のみをカバーし、例えば近づいてくる(或いは遠ざかる)車両とだけ送受信する方法を採る。これにより、送受信信号の方向を限定し、併せて2つのゾーン間でのハンドオーバーの際、制御局より両基地局を介して車両へ伝わる信号の遅延時間差が小さくなるように図る。

4. 提案する次世代 ITS の RVC システム

提案する路車間通信システムのアウトラインは、次の通りである。

- 1) 各種の情報の中で、リヤシートの情報で、かつ放送に該当するニュース、スポーツ、映画およびその他の即時性の映像情報は、通信衛星や放送衛星による多チャンネル衛星TV放送から受信する。山間部やトンネル内の道路では、問題の地域に設けた受信設備で衛星放送を受信し、ブーストして再送信する。
- 2) 1)以外のビデオ映像を含む情報伝送には、無線リンクにミリ波と DS・スペクトラム拡散通信方式を用い、また路側ネットワークを構成するフィーダリンクに光ファイバによる SCM(Sub-carrier Multiplexed) 光通信方式[9]を用いる新たな路車間通信ネットワークを構成する。そして、無線リンク

では、音声やビデオ信号は連続的に送信され、ビット誤りの厳しいデータ信号は、無線基地局(以下、BS)の近くでバースト的に送信される。

3) 制御局(以下、CS)は、道路の沿線に 20～30km 毎に配置され、路側に数 100m 毎に配置される BS との間は光ファイバによる路側ネットワークで接続される。路側ネットワークでの上り回線無線信号は、低い周波数に変換されたのちサブキャリアとして伝送される。

4) BS と車両間の無線リンクは、道路に沿って一連の楕円のセルをならべたマイクロセル方式を採用し、通信方式にはミリ波を用いた DS・スペクトラム拡散方式を適用する。ミリ波の周波数には、一例として移動通信に広い帯域が割当てられている 45GHz 帯を考える。

また、BS が数 100m 毎に配置されることより、基本的には見通し内通信が行われ、伝搬条件も直接波と地面反射波の2波が支配的であり、他の周囲の反射による非直接波は比較的小さい成分となる。

5) CS は、制御スイッチ、変調器、復調器、E/O 変換器、O/E 変換器などで構成される。また、BS は、送受共用アンテナ、Duplexer、下り回線が O/E 変換器、up Converter、SS 送信機で構成され、上り回線が SS 受信機、down Converter、E/O 変換器で構成される。回線の制御を司る制御スイッチを CS に一括設置することにより、BS の構成が極めて簡易なものとしている。

6) BS から送信される信号電力は、移動局(以下、MS)での受信レベルがセル端で微弱にならないように、例えば上り回線の BS での受信レベル(包絡値)を一定とする AGC 出力に従属して制御される。また、BS には、約 20～30dB の利得と 30dB 以上の前方後方(F/B)比を有する楕円ビームの指向性を持つアンテナが使われ、例えば路側の街灯柱の頂上などにビームを下方に傾けて設置される。これは、セル端と BS

の直近で高い送受信レベルを確保し、道路外への電波の漏れを少なくするなどの目的で採るもので、楕円ビームはその長軸が道路に沿うように設置される。また、MSのアンテナは、少しでも地面からの反射を削減するために垂直面で3~5度の半値幅、水平面で約20度の半値幅で30dB以上のF/B比を有するファンビームアンテナを用いる。両アンテナは、図2に示すように車両が前進するにつれて互いに近づく形で対向するよう設置される。このようなアンテナ配置により、非直接波の受信レベルが軽減し、かつ曲がった道路でも安定した受信が確保される。

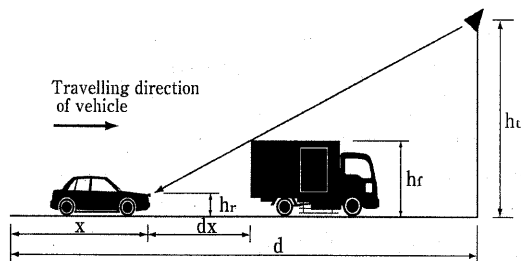


図3 見通し内通信のための車間距離概念図

5. 提案するシステムの無線リンクの評価

ここでは、提案するシステムの無線リンクの特性の中から、見通し内通信のできる車間距離と周波数帯域とチャンネル数の関係性を評価・検討する。なお、ミリ波の電波伝搬に係るフェージングを伴う受信電力レベルや雨による減衰や回線の断に関する評価については、紙面の関係で稿を改めて報告する。

5.1 見通し内通信のできる車間距離

走行中の車両と同一車線内の前方に大形のバスやトラックが走っている場合、車間距離が短いと見通し内通信はできない。

車上のMSアンテナからBSを見通せる車間距離は、前方の車両がBSとMSのアンテナを結ぶ線上にある場合、図3を参照して次の式から求められる。

$$d_x = \frac{h_f - h_r}{h_t - h_r} \cdot (d - x) \quad (1)$$

ここで、 h_t はBSの送信アンテナの高さ、 h_r はMSの受信アンテナの高さ、 h_f は前方の車両の高さ、 d はセルの直径であり、 x はセル端からMSまでの距離である。

図4に、パラメータが $h_r=0.5\text{m}$ 、 $h_f=3.8\text{m}$ 、 $d=400\text{m}$ のときの見通し内通信のできる車間距離を示す。この図から、BSのアンテナ高が12mで、走行車両よりBSまでの距離が300mのところでの車間距離は86.1m必要であることが分かる。しかし、実際は周囲の反射などにより、もう少し短い距離でも交信できるものと推測される。

5.2 帯域と伝送容量(チャンネル数)

DS-SSシステムでは同じキャリア周波数が使われる。そのため、複数のチャンネルで同時に通信されるとき、長距離の信号は短距離の信号によりマスクされるいわゆる遠近問題が起り、セルラーシステムのチャンネル容量はコチャンネルの干渉によって制限

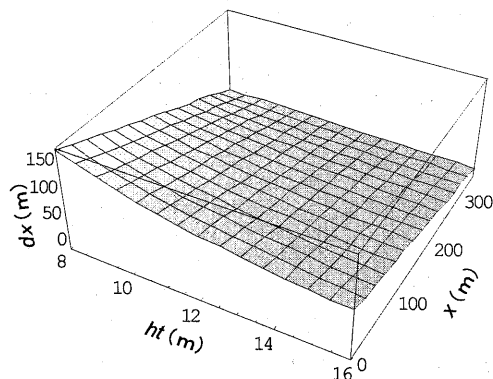
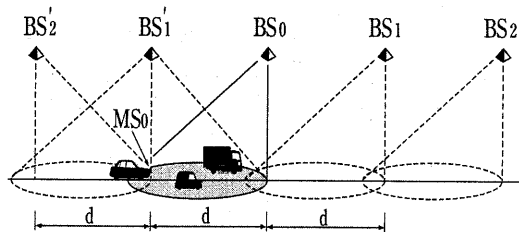


図4 見通し内通信ができる車間距離



◀ or ▶ : Directional antennas BS : Radio Base Station
 (▶ Antennas for facing traffic lane) MS : Mobile Station (Vehicle)

図5 無線リンクでの電波の放射方向

される。そのため、このシステムでは、送信電力を上記4.の6)に示すように(解析上は、BSとMS間の距離の n 乗に比例するように[10])制御することによってチャンネル数を増すように図られる。ここでは、SS方式の帯域 W と情報伝送のビットレート R_b との関係を下り回線について検討する。

このシステムでは、セルラー方式の移動無線システムが採られ、路側に一樣な距離に設置されるBSが図2に示すように一方向に動く車両上のMSと通信する。BSアンテナとMSアンテナは指向性を持ち、それぞれのアンテナは図5に示す方向に信号を

放射する。図5でMS₀がBS₀と交信するとき、ダッシュ線で表わされるアンテナからの放射電力は干渉波電力として受信される。

電力制御を施さないシステムでは、MS₀がセルの中でBS₀から最も遠い位置、すなわちセルの境界にいるとき、MS₀のキャリア対雑音電力比(C/I)は最も低い値となり、式(13)のように表される。ここでは、BSから送信される電力はすべてのMSに対し等しく、また電界強度はBSとMSの間の距離の*n*乗に比例して減衰すると仮定している。

$$\frac{C}{I} \cong \frac{\alpha \cdot d^{-n}}{\alpha(M-1) \cdot d^{-n} + \alpha M \cdot N \cdot d^{-n} + \alpha M \cdot (2d)^{-n} + \alpha M \cdot (3d)^{-n}} \quad (2)$$

$$N = (\beta_1 \beta_2)^{-1} \left(\frac{t_h}{d} \right)^{-n} + (\beta_1 \beta_2)^{-1} \left(\frac{t_h}{d} \right)^{-n} + \beta_3^{-1} \quad (2-1)$$

ここで、*M*はセルの中で同時に信号を放射するトラフィックチャネル数であり、 α は定数である。式(2)で、分母の第1項はBS₀のセル中の希望信号を除く(*M*-1)チャネルの信号による干渉ファクターであり、分母の第3項、第4項はそれぞれBS₁とBS₂からの*M*チャネルの信号による干渉ファクターである。また、分母の第2項はBS₁'とBS₂'からの信号による干渉ファクターで、その係数*N*を表す式(2-1)で β_1 はBSアンテナの前方側方(F/S)比、 β_2 はMSアンテナの前方側方(F/S)比、 β_3 はMSアンテナの前方後方(F/B)比、*t_h*はBSアンテナの高さである。ここで、 β_1 と β_2 が20dBであり、 β_3 が30dBである場合は、MSアンテナの側方や後方から到達する干渉波信号は極く小さく、そのため式(2-1)の*N*は非常に小さくなり、式(2)の分母の第2項は無視できる。よって、この場合、式(2)は次のように表される。

$$\frac{C}{I} = \frac{1}{(M-1) + M \cdot 2^{-n} + M \cdot 3^{-n}} \quad (3)$$

次に、電力制御システムを導入した場合のMSのC/I比は次のようにして得られる。BSの送信電力*P_T*がBSとMS間の距離の*n*乗に比例して制御されると、*P_T*は式(4)で表される。

$$P_T = P_r \left(\frac{l}{d} \right)^n \quad (4)$$

ここで、*P_r*は距離*l*が*l*=*d*のときの送信電力である。1つのセルの中で、*M*個のMSが一様に

分布していると仮定すると、道路に即したセルを線状と見なして、BSからの距離*l_q*での移動局の数*M_q*の確率分布は次のように表される。

$$p(M_q) = k \quad (0 \leq l_q \leq d) \quad (5)$$

ここで、 $M = \sum_{q=1}^Q M_q$ であり、*k*は定数である。

BSによって送信されるトータルの電力*P_T*は次式で表される。

$$P_T = \sum_{q=1}^{M_1} P_1 + \sum_{q=1}^{M_2} P_2 + \sum_{q=1}^{M_3} P_3 + \dots + \sum_{q=1}^{M_Q} P_Q \\ = P_r k \left[\left(\frac{l_1}{d} \right)^n + \left(\frac{l_2}{d} \right)^n + \left(\frac{l_3}{d} \right)^n + \dots + \left(\frac{l_Q}{d} \right)^n \right] \quad (6)$$

よって、*l_Q* = *d*での*P_T*の限界は次のようになる。

$$P_T = P_r k \int_0^d \left(\frac{l}{d} \right)^n dl = P_r k \cdot \left(\frac{d}{n+1} \right) = P_r \cdot \left(\frac{M}{n+1} \right) \quad (7)$$

もし、全電力*P_r*が全てのチャネルに等しく供給されるならば、*P_T* = *M**P_r*となる。つまり、電力制御システムを用いると、全送信電力*P_T*は1/(*n*+1)に削減される。同様に、セルの境界で距離が*d*のときのMS₀のC/I比は、式(14)の(*M*-1)に(*M*-1)/(*n*+1)を、*M*に*M*/(*n*+1)を代入して得られる。よって、式(14)は次のようになる。

$$\frac{C}{I} = \frac{n+1}{M(1+2^{-n}+3^{-n})-1} \quad (8)$$

一方、デジタル信号のC/I比は無線周波数の帯域幅*W*と情報の伝送速度(ビットレート)*R_b*との関係で次のように表される。

$$\frac{C}{I} = \left(\frac{E_b}{I_0} \right) \cdot \left(\frac{R_b}{W} \right) \quad (9)$$

ここで、*E_b*はビット当たりのエネルギーであり、*I₀*は1Hz当たりの干渉電力である。よって、式(8)、(9)より、次式が導かれる。

$$M = \frac{1}{(1+2^{-n}+3^{-n})} \cdot \left[(n+1) \cdot \left(\frac{I_0}{E_b} \right) \cdot \left(\frac{W}{R_b} \right) + 1 \right] \quad (10)$$

また、DS-SS方式が用いられ、PSK変調、同期検波が採られるとき、必要な伝送品質、すなわち1ビット当りの信号の誤り率(BER)*P_e*は、フェージングのない通信路の場合、次のように表される。

$$P_e = \frac{1}{2} \cdot \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{I_0}} \right) \quad (11)$$

よって、必要な伝送品質、すなわち誤り率 P_e が与えられたとき、式(11)より求まる E_b/I_0 を式(10)に代入して、所望の帯域幅と伝送速度 R_b とチャンネル数 M の関係が求められる。図6に $n=2$ 、 $P_e=10^{-4}$ のときの W 、 R_b および M の関係を示す。図6より、システム構成上の帯域マージンを考えず、また誤り制御を行わない場合には、例えば W が 30MHz なら、384Kbps のビットレートで、 M がセル当たり 25 チャンネルであることを示している。また、同様に例えば 2Mbps の映像信号 5 チャンネル、384Kbps の疑似映像信号 10 チャンネルおよび 42Kbps の音声信号 20 チャンネルを同時に送信するには、約 41MHz の帯域が必要であることを示している。次に、同じく式(10)より $n=2$ のとき、誤り率 P_e をパラメータにして求めた R_b と M/W の関係を図7に示す。図7から、帯域当りの伝送容量は伝送速度が大きくなると帯域幅により若干の差違 ($P_e=10^{-4}$ のときの実線 ($W=50\text{MHz}$) と点線 ($W=100\text{MHz}$) の差を参照) は生じるが概ね誤り率 P_e (伝送品質) に依存する(図では示していないが、 n にも依存する)ことが分かる。

6. 結論

本稿では、先ず想定される将来の高度道路交通システム(ITS)の要求条件を示し、それに該当する無線リンクのシステム形態について検討した結果を示した。次に、将来のITSに向けて提案している無線リンクで 45GHz のミリ波と CDMA システムを用いて見通し内通信を行う路車間通信システムを示した。提案するシステムの評価として、見通し内通信ができるための車間距離と伝送品質(ビット誤り率)、帯域、伝送速度とチャンネル容量の関係を評価した。

参考文献

- [1] 1998年ITSに関する情報通信技術シンポジウム講演論文集、電子情報通信学会、1998年9月、「高度道路交通システムシンポジウム'98」予稿集、情報処理学会ITS研究会、1998年12月、など。
- [2] 五省庁連絡会議、VERTIS「日本のITSシステムアーキテクチャ」、平成11年11月。
- [3] K.Abe, et al., "A Study on a Road-Vehicle Multimedia Communication System for the Intelligent Transport Systems in Next Generation Using Millimeter-wave Radio", Proc. of ICT2000, pp.542-547, May 2000.

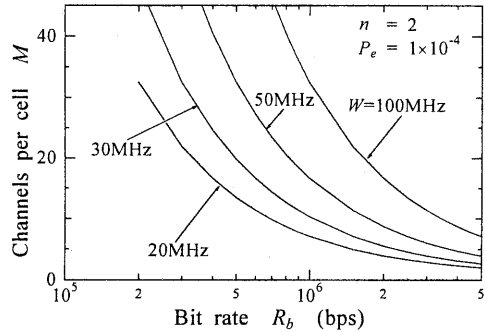


図6 帯域、伝送速度と伝送容量の関係

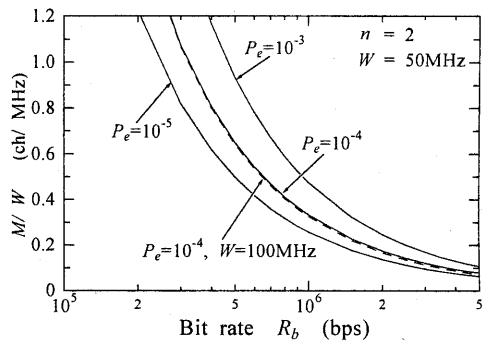


図7 伝送速度と帯域当りの伝送容量の関係

- [4] 藤瀬雅行, 原田博司「Radio on Fiber 路車間マルチモード通信の一形態について」、1998年ITSに関する情報通信技術シンポジウム講演論文集、SAD-2-8、電子情報通信学会、1998年9月、など。
- [5] 阿部紘土, 石渡厚「サブキャリア多重・光伝送方式を用いた対列車ミリ波無線通信システムの検討」、電学誌、Vol.117-C, No. 9, pp. 1308-1316, 1997年9月。
- [6] 福井良太郎「Dedicated Short Range Communication」、情報処理学会 高度道路交通システムシンポジウム'99、招待講演7、1999年12月。
- [7] 警察庁, 通産省, 運輸省, 郵政省, 建設省「高度道路交通システム(ITS)推進に関する全体構想」、平成8年7月。
- [8] 井上, 似鳥, 森本, 山谷「AHSにおける路車間通信の品質と安全性」、1998年ITSに関する情報通信技術シンポジウム講演論文集、SAD-2-7、電子情報通信学会、1998年9月。
- [9] W.I.Way, "Subcarrier Multiplexed Lightwave Systems Design Consideration for Subcarrier Loop Application", J. Lightwave Technol. Vol. LT-7, No. 11, pp.1806-1818, Nov. 1989.
- [10] W. C.Y. Lee, "Overview of Cellular CDMA", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol.VT-40, No. 2, pp.291-302, May 1991.