

# 逐次干渉除去を用いたマルチコードセンス CDMA 車々間通信ネットワーク

永長 知孝<sup>†</sup>      長谷川孝明<sup>†</sup>

A Multicode Sense CDMA Inter-vehicle Communication Network Using Successive Interference Cancellation

Tomotaka NAGAOSA<sup>†</sup> and Takaaki HASEGAWA<sup>†</sup>

あらまし 本論文では、車々間通信ネットワーク (IVCN) において検討されているマルチコードセンス CDMA (MCS/CDMA) システムに逐次干渉除去システムを用いたときの効果について論じている。IVCN では受信車両は道路上に偏在しているため、ブロードキャスト型 CDMA 通信は本質的に遠近問題に直面してしまう。この問題を解決する手法として、本論文では逐次干渉除去システムを検討し有効性を示している。逐次干渉除去システムを用いた MCS/CDMA システムは安全航行に有効であるとされる受信車両から約 50 m の通信範囲において車々間通信を可能とすることが計算機シミュレーションにより示されている。

キーワード 高度交通システム (ITS), 車々間通信ネットワーク, マルチコードセンス, CDMA, 逐次干渉除去

## 1. まえがき

車々間通信ネットワーク (IVCN: Inter-Vehicle Communication Network) は、高度交通システム (ITS: Intelligent Transport Systems) の走行支援道路システム (AHS: Automated Highway Systems) や高度車両制御・安全システム (AVCSS: Advanced Vehicle Control and Safety Systems) の実現に重要な役割をもっている。この IVCN 実現のために、これまでに多くの研究・開発が行われている。このネットワークでは、各車両は周期的に速度、加速度、位置などの航行制御情報を互いに交換する。その通信には高信頼性とリアルタイム性、安定性が望まれている。図 1 に IVCN の一例を示す。

IVCN は特殊な自律分散型ネットワークであり、道路上に偏在する複数の車両で構成される。したがって既存のセルラネットワークに用いられてきた通信プロトコルをそのまま IVCN に適用することは困難であり、IVCN に適した新しいプロトコルの開発が必要と

なる。

これまでに IVCN のための通信プロトコルがいくつか提案されている [1]~[7] が、そのほとんどが R-ALOHA などの時分割チャネルアクセス方式に基づいた通信システムである。これらの通信システムは、時間フレームやスロット同期を必要とするシステムであり同期用パイロット信号が必要となる。これに対して非同期 CDMA は各ユーザがランダムなタイミングで多元接続が可能であり、パイロット信号を必要とするシステムに対して有利であると考えられる。また、各ユーザの信号をスペクトル拡散することにより、狭帯域通信システムを用いた ALOHA などのコンテンショ

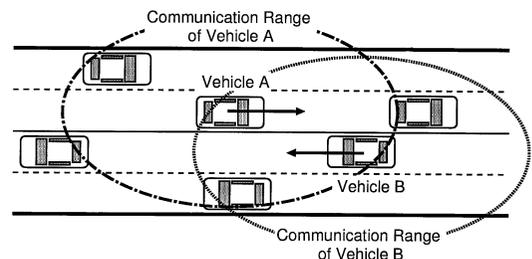


図 1 IVCN の一例  
Fig. 1 An example of IVCN.

<sup>†</sup> 埼玉大学工学部電気電子システム工学科, 浦和市  
Department of Electrical and Electronic Systems Eng.,  
Saitama University, 255 Shimo-okubo, Urawa-shi, 338-8570  
Japan

ン方式に比べ、チャンネルロードが低い場合などには高いスループットが期待できる。

非同期 CDMA を IVCN に適用する際に問題となるのは拡散符号の通知と割当である。この問題に対して、筆者らは各々の車両が共有する複数の符号のなかから自車両の周囲で使用されていない符号を選択し、送信するマルチコードセンス CDMA (MCS/CDMA: Multicode sense CDMA) [8] システムを提案している。

一方、本論文で検討するような各車両が等電力で送信を行うブロードキャスト型 CDMA 通信ネットワークでは、本質的に遠近問題に直面してしまう。従来の CDMA システムで遠近問題を解決する手法としては送信電力制御と干渉除去があげられる。しかしながら、ブロードキャストを行う IVCN では、道路上に偏在するすべての受信点で受信信号電力が等しくなるように制御を行うことは困難であり、遠近問題が本質的に存在すると考えられる。

これまでに、セルラネットワークにおいて運用されることを前提とした様々な干渉除去システムが検討されているが、デコリレータ [9] や線形 MMSE 受信機 [10]、近年の適応ブラインド受信機 [11] までそのほとんどのシステムで復調希望ユーザの信号の到来タイミングの正確な推定が必須となる。セルラシステムの基地局におけるマルチユーザ検波のように、送信電力制御により受信信号電力がほぼ等しい場合には各ユーザのタイミングもおよそ獲得することができるが、IVCN のように常に受信電力差の生じている状況では、特に信号電力の低いユーザの正確なタイミング推定は難しくなる。したがって、受信電力の最も大きな信号より順次復調し、その干渉を除去して次のユーザの信号復調を行うという処理を繰り返す逐次干渉除去システム [12] は IVCN に適したシステムであるといえる。各信号の復調段階に直交分解を適用したり、あるいは逐次干渉除去で各受信信号のタイミングを獲得した後に相関行列の逆行列計算を行うことなどで、更に受信性能の向上が期待できるが、これらの処理の成否は信号処理の高速化に依存することであり、本論文での検討の次の段階に位置すると考えられる。

通信品質を向上させるもう一つの手法として、チャンネルアクセスの適応制御があげられる。その一つの手法として、車両密度に応じて適応的に送信間隔(オフロード)を変更するシステム [13] が提案されている。しかし実際に安全な航行を実現するためには、このオフロードは車両密度だけでなく、速度、

相対位置などのその他の要素を考慮して検討する必要があり、極めて微妙な制御が必要となる。したがって、このような複雑な処理を行わなくとも簡易に受信性能の向上を図ることのできるシステムが必要となる。

本論文では、MCS/CDMA システムに逐次干渉除去システムを用いることを提案し [14]、逐次干渉除去システムを受信点が道路上に偏在する IVCN 環境に適用したときの効果について検討する。以下、2. では提案する逐次干渉除去を用いた MCS/CDMA システムについて述べる。3. では検討するネットワークモデル、伝搬路モデルに関して述べる。このモデルを用いて 4. では計算機シミュレーションにより性能評価を行い、5. で結論と今後の課題について述べる。

## 2. 逐次干渉除去を用いた MCS/CDMA システム

### 2.1 MCS/CDMA システム [8]

MCS/CDMA システムの送信符号決定アルゴリズムは簡易である。すべての車両は使用される複数の共有符号に対応したマッチドフィルタをもつ。パケットが生起するごとにシステム内のすべての符号の使用状況を感じ知し、近接車両で使用されていない拡散符号を用いてデータを送信する。実際には、車々間通信ではどのような通信方式を用いても各々の車両は常に周囲の車両からのデータを受信するためにチャンネルを監視しなければならない。したがって、チャンネル監視に使用されるマッチドフィルタは受信システムと共用可能であり、従来の CDMA よりシステムの大きな拡張は必要ない。

MCS/CDMA システムの構成を図 2 に示す。MCS/CDMA システムは、すべての共有符号に対応するマッ

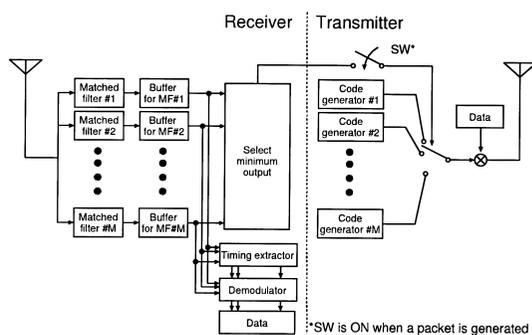


図 2 MCS/CDMA システムの構成  
Fig. 2 Structure of the MCS/CDMA system.

チドフィルタ, フィルタ出力を保持するバッファメモリ, タイミング抽出器, 復調器とすべてのフィルタ出力から最小出力を選択する回路からなる.

マルチコードセンスは, 判定の直前の数ビットのマッチドフィルタ出力を観測することで行われる. 生じた各送信パケットごとに, 観測時間における平均出力の最も小さいフィルタに対応する符号を選択して情報送信を行う. この単純なアルゴリズムでは, 各車両はそれぞれ自車両で観測されるフィルタ群の出力情報のみを用いて符号選択を行っている. 本アルゴリズムは符号をランダムに選択するよりも, 広範囲の情報に基づいた符号の最適配置に近い解を得られることが示されており, 結果として共有符号の準最適空間的再配置を実現している [8].

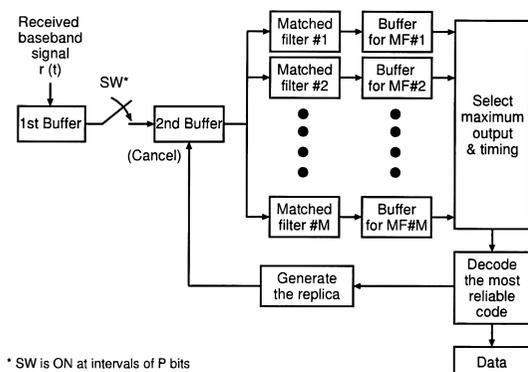
### 2.2 MCS/CDMA システムのための逐次干渉除去ブロック復調システム [14]

本論文で扱う逐次干渉除去方式は, 従来から広く検討の行われている方式を基本としており [15], 干渉除去アルゴリズムについては文献 [12] を参考としている.

ネットワーク内に  $K$  ユーザが存在していると仮定する. 各車両は MCS/CDMA システムにおいて  $M$  個の共有符号のなかの一つを用い DS/SS BPSK 変調により信号を送信するものとする.

逐次干渉除去を用いたブロック復調システムの構成を図 3 に示す. 逐次干渉除去は次のようなアルゴリズムに従って実行される.

(1)  $P$  ビット時間ごとに第一バッファに蓄えられた  $(P+1)$  ビット時間のベースバンド受信信号が第 2 バッファに移される.



\* SW is ON at intervals of P bits

図 3 逐次干渉除去ブロック復調システムの構成  
Fig. 3 Structure of a block demodulator using successive interference cancellation.

(2) 第 2 バッファに蓄えられているベースバンド受信信号がすべてのマッチドフィルタに入力され,  $(P+1)$  ビット時間のマッチドフィルタ出力を得る.

(3) ビット周期でモデュロをとったタイミングごとの平均フィルタ出力を求め, それらのなかで最も出力の高いタイミングを受信信号の復調ビットタイミングとして保持する.

(4) すべてのフィルタで同様にしてタイミングを保持したのち, 全フィルタ中出力最大となるフィルタを選択する.

(5) 選択したフィルタの出力と復調ビットタイミングによりデータの判定を行う. あらかじめ通信範囲として定めている距離より求められる自由空間伝搬による損失を考慮した受信信号レベル  $P_{th}$  をしきい値とし, 各ビットタイミングのフィルタ出力が  $P_{th}$  以上である場合にはそれぞれデータ判定を行う.

(6) 各データ判定値と各タイミングのフィルタ出力より推定した振幅情報をもとに信号のレプリカを作成し, 第 2 バッファより減ずる.

(7) (2)へ戻り処理を繰り返す. ただし, 干渉除去回数の制限がある場合には, 制限回数に達した後(2)の操作後処理が打ち切れ, データ判定が行われる.

図 4 にユーザ  $k$  の受信機における  $(P+1)$  ビットの受信信号の時間関係を示す. 干渉除去はバッファリングされた受信信号から, 受信信号電力の大きい順に各ユーザの信号を取り出すことで行われる. ここで,  $A_{kl}$  はユーザ  $k$  によって受信されたユーザ  $l$  の信号振幅,  $\tau_{kl}$  はユーザ  $k$  からユーザ  $l$  までの信号の伝搬遅延を含んだ時間遅延を表す. 推定された  $A_{kl}$  と  $\tau_{kl}$  をもと

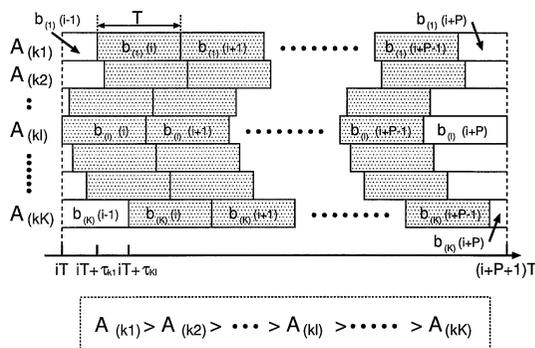


図 4 ユーザ  $k$  における受信信号の時間関係  
Fig. 4 Allocation of received signals in the  $k$ th user.

に選択された信号から順次復調, レプリカ作成, 干渉除去を行う. 最終的に復調された信号のうち  $P$  ビットの情報のみが復調結果として参照される. これは復調に使用された  $(P + 1)$  ビットの信号のうち, 情報が不完全であるビットを取り除くためである. またこの取り除く 1 ビットを考慮して, 第 1 バッファに記憶された受信信号は  $P$  ビットごとに第 2 バッファに移され, 干渉除去が行われる. この同時復調ビット数  $P$  を大きくとることにより復調結果の向上が望めるが, この受信性能は復調遅延とのトレードオフとなる.

### 3. 性能評価のためのネットワークモデルと伝搬路モデル

本章では, 提案システムを評価するためのネットワークモデルと伝搬路モデルについて述べる.

#### 3.1 ネットワークモデル

本節ではネットワークを構成する車両配置モデルと, 各車両が通信を行う際の各種パラメータの設定を行う.

図 5 に IVCN の車両配置モデルを示す. ここでは 3 車線の直線道路上の 400 m の長さの独立したネットワークを仮定する. 各々の車線はそれぞれ 3.5 m の幅をもつとする. モデル内の各車両は各車線ごとにポアソン分布に従って生起すると仮定する [16]. このとき車頭間隔  $d_h$  は指数分布となる.  $d_c$  は通信の評価対象範囲を表す. 例えば  $d_c = 20 \sim 40$  m という場合は, 受信車両を中心とした半径 20 m 以上 40 m 未満のエリアにおいて生起した総パケットが評価の対象となる.  $d_{kl}$  は車両  $k$  と車両  $l$  の距離を表す. 表 1 はシミュレーション諸元を示している. 各車両は DS/SS BPSK 変調によりデータ送信を行う. 素データの伝送特性を得るために, 誤り訂正符号については考慮していない. 各パケットは各車両当りの正規化オフロード  $G_v$  に基づいてポアソン分布に従って生起することを仮定する. パケット長は 100 bits を採用している. 本論文では次のような理由から従来無線 LAN で設定されているものに対して大幅に短いパケット長で検討している.

送信する航行情報の内容について検討を行う. 特に車両位置情報の符号化について考える. 例えば, 最大解像度を 0.1 m とすると, 12 bits の情報があれば車両の前後約 200 m の範囲で直線上の位置を一意に判別できる. 車々間通信による位置情報の交換ではすべての車両が共通マップをもつことが前提となるため, 高度情報は共通マップより得られる. したがって送信すべ

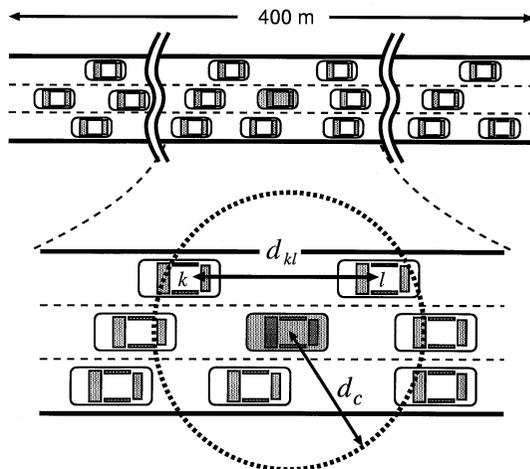


図 5 車両配置モデル

Fig. 5 A model of vehicles' arrangement.

表 1 シミュレーション諸元

Table 1 Simulation conditions.

Modulation	DS/SS BPSK
Code sequence	Gold Seq.31chips
Bit rate	100 kbps
Chip rate	3.1 Mcps
Number of codes	8
Packet length	100 bits
Iteration of cancel.	2
Number of bits $P$	5

き位置情報は 2 次元の情報となり 24 bits でよい. このとき車両のサイズと速度を考慮すると, 車両 ID を使用しなくても複数の位置情報から自車両周辺の車両位置を判別することができる. また, 各車両が航行情報を互いに交換する場合, 十分に短い間隔で情報交換が可能であれば位置情報の時系列情報のみで車両の速度, 加速度を得ることもできる. 誤り訂正の使用, また車両サイズなどの固定情報を含めるかたちで車両 ID を使用することになっても 100 bits のパケット長は十分な長さとなる.

伝送速度に関しては文献 [5] を参考としている. 文献 [5] では, ドライバが周囲の環境を認識するために必要とされる時間 (0.14~0.17 s) より短い周期の通信サイクルが必要であるとし, 更に送信による 1 サイクルの遅延を考慮して 50 ms 以下の周期が必要としている. 本論文でもこれに従い, 50 ms 周期以下で情報送信が可能となるように設定をしている. 具体的には,  $G_v = 0.02$  よりも高いオフロードであれば,

100 kbps の伝送速度でこの周期が達成される。

逐次干渉除去を用いたブロック復調器において、干渉除去の繰返し数は 2 に設定する。今回のシミュレーションにおける  $G_v$  では、自車両の極近接範囲で同時に送信を行う車両数は 2 台程度であることから、この繰返し数で十分であると判断した。干渉除去ブロック数  $P$  は受信性能と処理遅延を考慮して次のように決定した。

処理遅延には処理の高速化で限りなく小さくできる遅延と処理方式上生じてしまう本質的な遅延があるが、後者は干渉除去のブロック数である  $(P+1)$  ビット時間となる。本論文では、予備実験により受信性能への影響が少ない状況でできるだけブロック数  $P$  を小さくするように検討した結果  $P=5$  とした。一方、通信速度は 100 kbps と設定しており、この場合の処理遅延は  $6 \times 10^{-5}$  s (= 0.06 ms) となる。この値は今回目標とする 50 ms を 1 サイクルとする情報送信に対して十分小さい値であり、安全性に著しく影響を与えることにはならない。したがって、干渉除去を行うための信号処理に伴う遅延が無視できるほど十分に短ければ処理遅延を考慮する必要はない。

### 3.2 伝搬路モデル

伝搬路は直接波のみを考える。また、フェージングや伝搬遅延を考慮しない。現在、車々間通信に用いられる帯域として最も可能性が高いのは、路車間通信やレーダ用の帯域として確保されているミリ波帯と考えられる。ミリ波帯は減衰が激しく、直接波以外での情報伝送はほとんど期待できない。このため、提案システムの有効性の検証は直接波による検討でよいと考えている。伝搬遅延については、今回のシステムが非同期 CDMA を採用しており本質的に影響がないため、シミュレーションの簡略化のために無視した。また、相対的な各車両の速度差の変化は伝送データ速度に対して十分に小さく、無視できると考えている。

車両  $k$  からの送信信号の車両  $l$  における受信電力は、伝搬損失を考慮して次のように表されるものとする [17]。

$$P_{R_l} = P_T G_T \left( \frac{\lambda}{4\pi d_{kl}} \right)^2 G_R \quad (1)$$

$P_T$  はすべての車両で等しい送信電力を表す。 $d_{kl}$  は車両  $kl$  間の距離を表し、 $\lambda$  は送信媒体の波長、 $G_T, G_R$  はそれぞれ送受信アンテナのゲインを表す。ここでは、それぞれ  $\lambda = cf$ ,  $c = 3 \times 10^8$  m/s,  $f = 76 \times 10^9$  Hz,

$G_T G_R = 1.0$  として計算している。また、送信アンテナから 1 m 離れた地点での送信信号の 1 ビット当りのエネルギー対雑音のパワースペクトル密度比  $E_{bT}/N_0$  は 91.6 dB に設定する。送信電力が大きい場合には非同期 CDMA では干渉が通信品質を決定する。逆に小さすぎる場合には減衰により信号が雑音に埋もれてしまうため、雑音が通信品質に影響を与える。本検討では約 50 m 程度の範囲での通信を考え、受信性能が近接範囲では干渉が、遠方では雑音が支配的となるように調整した結果、前述の SNR に設定した。しかしながら、すべての車両が送信電力を一律高くすることができれば雑音による影響をなくすることが可能であり、今回検討した SNR の値は絶対的なものではない。

また、シミュレーションはキャリア同期が獲得できるという前提のもと行われている。具体的な手法としては、I 相で情報変調を行うのに対して同期用に Q 相にて情報変調を行わない信号（コードセンスにより決定された送信用拡散符号）を小振幅で送信することにより同期問題は解決可能と考えている。

## 4. シミュレーション結果

本章では、逐次干渉除去を用いた MCS/CDMA システムと用いていないシステムについての性能比較を計算機シミュレーションにより行う。なお、以下で用いられる平均パケット成功率は次のように定義している。

ネットワークの総車両数を  $N_u$ 、ユーザ  $k$  の受信パケット成功率を  $p_{succ_k}$  とする。このとき、平均パケット成功率  $P_{succ}$  は

$$P_{succ} = \frac{1}{N_u} \sum_{k=1}^{N_u} p_{succ_k} \quad (2)$$

ただし、

$$p_{succ_k} = \frac{N_{p_{ksucc}}}{N_{p_{kgene}}} \quad (3)$$

$N_{p_{kgene}}$  はユーザ  $k$  の評価対象エリア内のパケット生起数、 $N_{p_{ksucc}}$  はユーザ  $k$  の評価対象エリア内で生起するパケットのうち、ユーザ  $k$  が受信に成功したパケット数を表している。

### 4.1 通信距離に対する性能評価

通信距離に対するシステムの性能比較を行う。図 6 (a), (b) はそれぞれ異なる平均車頭間隔、すなわち車両密度を変化させた場合の平均ビット誤り率対

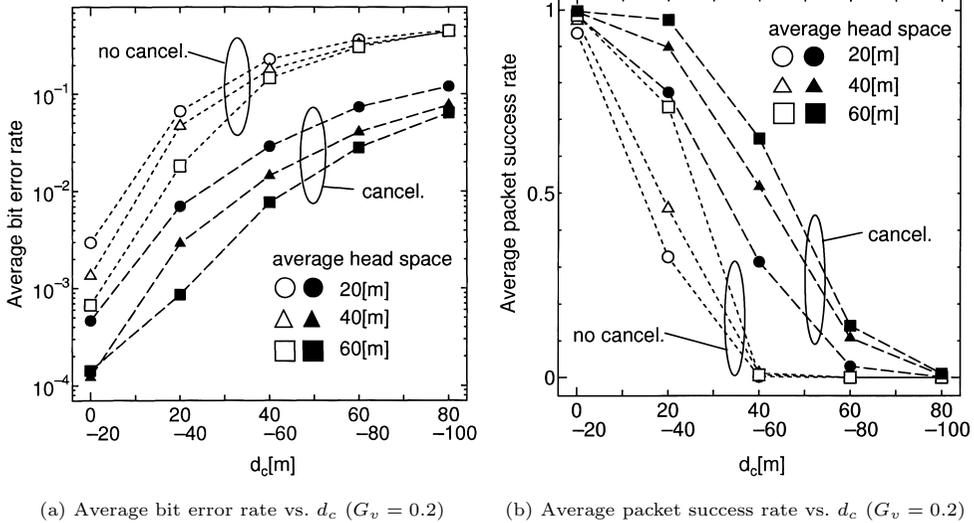


図6 車両密度 (平均車頭間隔  $d_h$ ) に関する性能評価  
 Fig.6 Performance evaluation about vehicular density.

$d_c$ , 平均パケット成功率対  $d_c$  を表している。双方のシステムともに, 車頭間隔が大きくなるに従って各通信距離における受信性能の向上が見られる。特に干渉除去を用いたシステムでは, 干渉除去を行わないシステム [8] ではほとんど受信不可能であった  $d_c = 40 \sim 60$  m において 50% 以上の受信成功率をあげており, 誤り率特性でも通信距離全般にわたって改善が見られる。車々間通信では, 車両の航行制御情報を周期的に送信することを重要である。しかし, その内容については多くの冗長性が含まれる。例えば, DOLPHIN プロトコル [19] では車両サイズ, GPS などから得られた緯度経度情報をもとにした絶対位置, 速度, 加速度, 車両の方向, ヨー角などが交換される情報としてあげられてる。これらの情報には, 一度車両が特定されてしまえば再度送る必要のない情報, 情報そのものに冗長が含まれているものなどがある。車々間通信はこれまでのデータ通信とは異なり, 1 回 1 回の送信データの利用だけでなくそれぞれのデータを時系列的に処理して利用することも考えられる。したがって, 従来の無線通信では棄却されてしまうようなパケット受信成功率であっても, 通信不可能な状態からの品質の大幅な向上が認められることは有効であると考えられる。

また図 6 (b) より, 提案システムは  $d_c = 20 \sim 40$  m において車頭間隔にかかわらず約 80%,  $d_c = 40 \sim 60$  m の範囲でも平均約 50% 超の平均パケット成功率を示している。筆者らは, 車々間通信を含めた交通流シミュ

レータを構築し, IVCN の効果について検討を行っている [18]。文献 [18] では, 本論文とほぼ同じモデルとなる 3 車線の高速道路で安全航行を実現するために必要となる通信範囲について検討を行っている。その結果, 安全航行に有効な通信範囲として約 50 m という値が得られており, 本論文で得られている通信範囲は安全航行に対して有効な範囲であると期待できる。

加えて, 本システムでは誤り訂正符号を用いていない基本伝送特性について検討を行っているので, 誤り訂正を行ったシステムでは更なる性能改善が期待される。

#### 4.2 オファードロードに対する性能評価

オファードロードに関する性能評価を図 7 に示す。(a), (b) はそれぞれ平均ビット誤り率対  $G_v$ , 平均パケット成功率対  $G_v$  を表している。平均車頭間隔  $d_h$  はそれぞれ 40 m に設定している。干渉除去の有無にかかわらず, オファードロードの増加とともに性能劣化が生じているが, 干渉除去を用いたシステムはその劣化の幅が極めて小さい。オファードロードの増大により受信性能が劣化するというこれらの結果は, 文献 [2] で述べられている考察と一致する。一方で, 図 7 (b) における  $d_c = 20 \sim 40$  m のときの平均パケット成功率を比較すると, 平均パケット成功率 80% を達成するためには従来システムでは  $G_v = 0.05$  までオファードロードを抑えなければならないが, 干渉除去を用いたシステムでは  $G_v = 0.4$  と約 8 倍の改善が得られてお

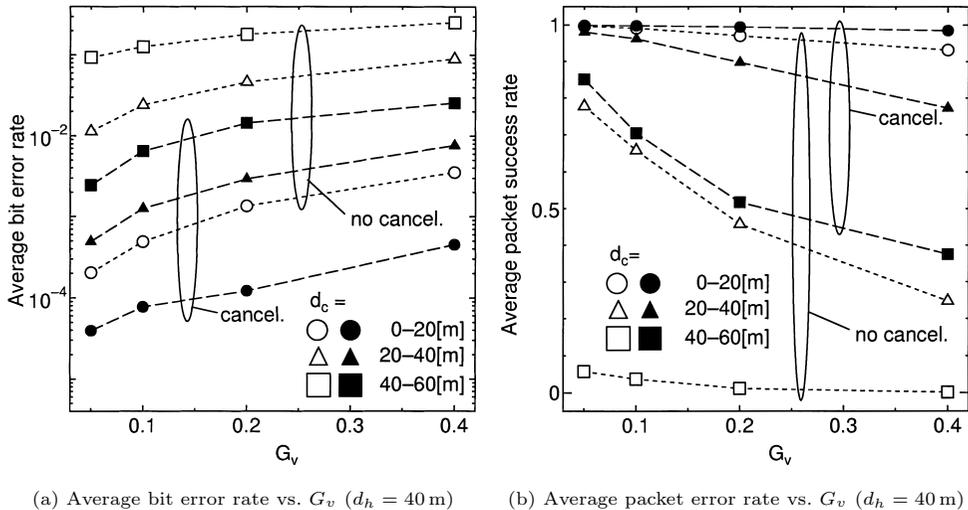


図7 オファードロード ( $G_v$ ) に関する性能評価  
Fig. 7 Performance evaluation about offered load.

り、IVCNにおける逐次干渉除去を用いたシステムの性能改善効果が大いことを示している。

## 5. む す び

本論文では、IVCNにおいて検討を行っているMCS/CDMAシステムに逐次干渉除去システムを用いたときの効果について検討を行った。計算機シミュレーションにより逐次干渉除去を用いたシステムと用いないシステムの性能比較を行った結果、提案するシステムは干渉除去を行わないシステムに対し、通信範囲全般でビット誤り率特性が大きく改善され、またパケット成功率では従来システムでは通信不可能であった範囲で50%以上の成功率を達成可能なことを示した。特にIVCNにおいて安全航行を行う際に有効となる通信範囲(約50m)において、逐次干渉除去を用いたシステムは車々間通信が可能となることを示した。また、提案システムは干渉除去を行わないシステムに対して、オファードロードで最大約8倍の改善が可能であることも示した。

本論文では、フェージングのない通信路での検討を行っている。しかし、提案システムでは受信信号の振幅推定を含めたシステムの構築と検証を行っており、短時間のレベル変動にも追従可能である。一方、車々間通信に割り当てられる帯域として路面などの反射波を考慮する必要のある周波数帯が採用される可能性もあることから、1チップ以上の遅延のあるマルチパス

環境での性能を新たに検討することも意義のあることであると考えている。この反射波を考慮した検討は今後の課題としたい。

謝辞 日ごろお世話頂く埼玉大学羽石操教授に深謝致します。

## 文 献

- [1] S. Tabbane and P. Godlewski, "Performance evaluation of the R-BTMA protocol in a distributed mobile radio network context," IEEE Trans. Veh. Technol., vol.41, no.1, pp.24-34, Feb. 1992.
- [2] W. Kremer, D. Hubner, S. Hoff, T.P. Benz, and W. Schafer, "Computer-aided design and evaluation of mobile radio local area networks in RTI/IVHS environments," IEEE J. Select. Areas Commun., vol.11, no.3, pp.406-421, April 1993.
- [3] 井上保彦, 中川正雄, "スペクトル拡散による車両間通信ネットワークのためのMACプロトコル" 信学論(B-II), vol.J77-B-II, no.11, pp.718-725, Nov. 1994.
- [4] Y. Kim and M. Nakagawa, "R-ALOHA protocol for SS inter-vehicle communication network using head spacing information," IEICE Trans. Commun., vol.E79-B, no.9, pp.1309-1315, Sept. 1996.
- [5] M. Aoki and H. Fujii, "Inter-vehicle communication: Technical issue on vehicle control application," IEEE Comm. Mag., vol.34, no.10, pp.90-93, Oct. 1996.
- [6] R. Verdone, "Multihop R-ALOHA for Intervehicle communications at millimeter waves," IEEE Trans. Veh. Technol., vol.46, no.4, pp.992-1005, April 1997.
- [7] T. Tank and J-P.M.G. Linnartz, "Vehicle-to-vehicle communications for AVCS platooning," IEEE Trans. Commun., vol.46, no.2, pp.528-536, May 1997.

- [8] T. Nagaosa and T. Hasegawa, "Code assignment and the multicode sense scheme in an inter-vehicle CDMA communication network," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E81-A, no.11, pp.2327-2333, Nov. 1998.
- [9] R. Lupas and S. Verdu, "Near-far resistance of multiuser detectors in asynchronous channels," IEEE Trans. Commun., vol.38, no.4, pp.497-507, April 1990.
- [10] Z. Xie, R.T. Short, and C.K. Rushforth, "A family of suboptimum detectors for coherent multi-user communications," IEEE J. Select. Areas Commun., pp.683-690, May 1990.
- [11] M. Honig, U. Madhow, and S. Verdu, "Blind adaptive multiuser detection," IEEE Trans. Information Theory, vol.41, no.4, pp.944-960, July 1995.
- [12] P. Patel and J. Holzman, "Analysis of a simple successive interference cancellation scheme in a DS/SSMA system," IEEE J. Select. Areas Commun., vol.12, no.5, pp.796-807, June 1994.
- [13] 前田三奈, 中川正雄, "スペクトル拡散通信を用いた非同期車両間通信のための適応チャネルアクセスプロトコル;" 信学技報, SST97-4, pp.19-26, June 1997.
- [14] T. Nagaosa and T. Hasegawa, "An inter-vehicle CDMA communication network using the multicode sense scheme and successive interference cancellation," Proc. Int. Symp. Information Theory and its Applications (ISITA '98), vol.2, pp.580-583, Oct. 1998.
- [15] S. Verdu, "Adaptive multiuser detection," Proc. Int. Symp. Spread Spectrum Techniques and Applications (ISSSTA '94), pp.43-50, July 1994.
- [16] 竹内伝史, 本多義明, 青島縮次郎, 交通工学, 鹿島出版会, April 1986.
- [17] 横山光雄, 移动通信技術の基礎, 日刊工業新聞社, Dec. 1994.
- [18] A. Widodo and T. Hasegawa, "Possible impacts prediction of AVCSS on safety and efficiency by an autonomous traffic flow and inter-vehicle communication simulator," Proc. ITS America 9th Annual Meeting and Exposition (CD-ROM), April 1999.
- [19] (財)自動車走行電子技術協会, 車々間通信等の協調走行・環境対応自動車利用システムへの応用に関するフィージビリティスタディ報告書, March 1999.

(平成 11 年 4 月 7 日受付, 6 月 25 日再受付)



長谷川孝明 (正員)

昭 56 慶大・工・電気卒・昭 61 同大学院博士課程了。同年埼玉大・工・電気助手。現在, 同電気電子システム工学科助教授。平 7-8 カナダ・ビクトリア大客員研究員。工博。人から人へ, 人から機械への本質的な情報通信を行うための技術及び人の移動

のための技術に興味をもつ。これまでスペクトル拡散通信システム, CDMA, ニューラルネットとその情報通信システムへの応用, 画像入力マイクロホンなどの人間の意思伝達を含む情報通信の方式・情報と信号の処理の研究に携わる。近年は, ITS 実現のための新しい情報通信パラダイムやポジショニングシステム, 意思伝達を含む新しい情報通信工学を模索している。平 2 年度本会篠原記念学術奨励賞受賞。著書「スペクトル拡散技術の基礎と応用」(分担執筆), 「プライマリー C 言語ノート」, 「モバイル・コンピューティング教科書」(分担執筆)など。IEEE, 情報理論とその応用学会, インテリジェントエージェント研究会各会員。



永長 知孝 (学生員)

平 6 埼玉大・工・電気卒。平 8 同大学院博士前期課程了。現在, 同博士後期課程在学中。ITS における車々間通信ネットワークに関する研究に従事。平 10 年度本会学術奨励賞受賞。IEEE 学生員。