

動的にPN符号を割り当てる車両間通信プロトコル:DPA

屋代 智之<sup>†</sup>      松下 温<sup>†</sup>

The Inter-vehicle Communication Protocol Using Dynamic PN-Assignment:DPA

Tomoyuki YASHIRO<sup>†</sup> and Yutaka MATSUSHITA<sup>†</sup>

あらまし 本稿では、車々間通信を用いた自動車における車両ネットワークを制御するための方式を提案する。我々は、スペクトル拡散通信を用いることにより、周囲の車両との通信と、車間距離の測距を統合しつつ、各車両間で個別に、かつ独自にリンクを作成することにより、ネットワークを形成する方法を考案した。ここではCDMA (Code Division Multile Access) 通信を基本として用い、PN符号系列(コード)を各車両に割り当てることによって多重化を実現した。この場合、相手のPN符号系列を知ることによって相手に自分からの通信を渡すことが可能となる。しかし、自由に移動する車両に対して、有限な数のコードを固定的に割り振った場合に、同じコードを持つ車両が接近することによって起る通信の障害が問題となる。

そこで、本稿では、各車両が有限な範囲のPN符号系列を効率的に使用できるように、PN符号系列が同じ車両が接近した場合に、相互にPN符号系列を変更する通信方法を提案し、シミュレーションを用いて評価を行った。さらに、問題点および今後の改良の方向について述べる。

キーワード 車々間通信, CDMA, スペクトル拡散通信

1. はじめに

現在の自動車交通の問題点として、交通渋滞、事故、環境破壊などが挙げられる。これらの問題点に対して、個別にそれぞれの分野の技術を用いた対応がなされてきた。

交通渋滞に関しては、GPSを搭載したナビゲーションシステムや、それと連動するVICIS [1] [2] [3] [4], ATISなどのシステムによって、道路の利用効率を上げることにより、渋滞の緩和を目指す技術が実用化されている。また、事故に関しては、ABSやエアバッグの装着などによって、事故の回避、および人体への影響の軽減がはかられている。環境については、自動車の製造技術の向上による排気ガスの軽減などが行われている。

これに対して、近年、ITS (Intelligent Transport System) と呼ばれる研究が盛んになってきている [5]。これは、上記のような問題点を総合的にとらえ、その問題解決を図るものである。

現在、もっとも実現される可能性が高いITSシステムとして、路車間通信を用いた自動料金収受システムが考えられている [6] [7]。これは、路車間通信によって高速道路などの料金の収受を自動的にを行い、車両が停止せずに料金所を通過できるようにすることによって、料金所を原因とする渋滞を減らそうという試みである。

これに対して、主に事故防止や車群走行、自動走行車両のための技術として、複数の車両間で通信を行う、車両間(車々間)通信が提案されている [8] [9]。従来提案されている車両間通信では、多くがTDMA方式、またはR-ALOHA方式を用いているが [10] [11] [12] [13], その中であって、SS (Spread Spectrum) 通信を用いた方式は、その対ノイズ性および測距が同時にできるという利点から注目されている。

井上, 中川 [14] は、R-ALOHA方式を使用し、各車両が同期を取った状態と仮定し、MACプロトコルの性能を評価している。しかし、この方式では、各車両が個別にPN符号系列を持たなければならず、PN符号系列の数が車両数に対して不足しない状態でなければ通信が行えない。

また、前田, 中川 [15] は、同期を取らずに通信を行うために適応チャネルアクセスプロトコルを提案して

<sup>†</sup> 慶應義塾大学理工学部計測工学科, 神奈川県  
Department of Instrumentation Engineering, Faculty of Science and Technology, Keio University, Kanagawa-ken, 223 Japan

いる．この方式では、各車両が共通の Common Code を使用している．このため、タイムスロットが重なってしまい、通信に失敗する可能性がある．

ここでは、複数の PN 符号系列を各車両に個別に割り当て、同時に通信を行うことを可能にすることにより、通信対象車両を PN 符号系列によって識別しながら通信を行なう方式を提案する．単純にはすべての車両にユニークな PN 符号系列を割り当てる方法が考えられるが、日本、あるいは世界を走るすべての車両に個別に PN 符号系列を割り当てるには、非常に長い周期の PN 符号系列を使用しなければならなくなり、通信のための同期時間を考えると現実的とはいえない．そこで、本論文では、SS 通信を用いた方式に着目しつつ、ここで問題となる PN 符号系列の割り当てについて、動的な割り当て方法を用いることによって PN 符号系列を効率的に使用する方式を提案する．

以下、第 2 章では、本システムの基本となる車々間通信の方式、第 3 章では、2 章で述べた車々間通信を用いて、動的に PN 符号系列を割り当て、通信を行う方法、第 4 章で、評価のためのシミュレーションの結果とその評価について述べ、第 5 章でその結果をまとめ、今後の問題点について述べる．

## 2. 車々間通信方式

我々のシステムは、車々間通信部分については [16] [17] [18] の方式を基礎とし、双方向に通信できるように改良したものをういた [19] [20]．

ここでは、レーザー光を用いた DS-SS (Direct Sequence - Spread Spectrum) 通信 [21] [22] を使用する．各車両はそれぞれ固有の PN 符号系列、および ID (車両 id) を持っており、前方、後方それぞれに向いた放射角度/指向性が 90 度、通信範囲 100m の 2 台の送受信器を持っている．

通信はそれぞれの送受信器で独立して行われる．本システムでは、通信は二つのサイクルから構成される．一つは通信相手の PN 符号系列などの情報を取得し、全二重通信を開始するまでの通信リンク確立サイクルで、もう一つは全二重通信を行うデータ伝送サイクルである．

以下、それぞれについて簡単に説明する．

### 2.1 通信リンク確立サイクル

通信リンク確立サイクル (Link Establishment Cycle) は、未知の隣接車両と、車両 id、その車両の PN

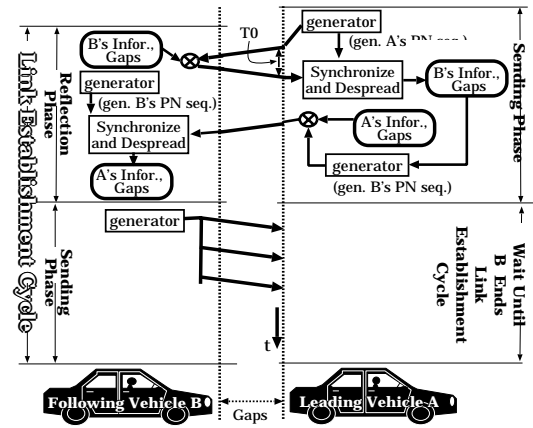


図 1 リンク確立サイクル  
Fig. 1 Link Establishment Cycle

符号系列、実際のデータ通信開始予定時刻を相互に交換することによって情報通信が可能な状態になることが目的である．

通信が行われるまでは、各車両は通信可能範囲内に車両が存在するかどうかすらわからないため、送受信器は、実際にデータ通信中の場合を除き、常にこの通信リンク確立サイクルを繰り返す．

通信リンク確立サイクルは、反射フェーズ (Reflection Phase) と PN 符号送出フェーズ (Sending Phase) の二つのフェーズから構成され、それらを交互に繰り返す (図 1)．

反射フェーズでは、受信器が受信した信号を他車両から送られてくる PN 符号だと仮定する．そこで、自車両の id、自車両の PN 符号系列、自車両が次に反射フェーズに入る予定時刻 (現在との時間差分) をパッケージ化し、受信信号で拡散して、反射フェーズが終るまで繰り返し送信する．また、同時に受信信号に対して、自車両の PN 符号系列で逆拡散を試みる．

PN 符号送出フェーズでは、自車両の PN 符号を繰り返し送出し続け、同時に受信信号に対してフェーズ中を通して、自車両の PN 符号系列で逆拡散を試み続ける．相手車両が存在し、その車両が反射フェーズであれば、相手車両は自車両の PN 符号を用いて情報を拡散し、自車両に向かって送信してくるので、受信信号を逆拡散すると、相手車両の情報が入ったデータを取り出すことができる．同時に、送信した信号と受信信号の時間遅れから、信号が車両間の往復にかかった時間もわかるため、この時点で車間距離を求めること

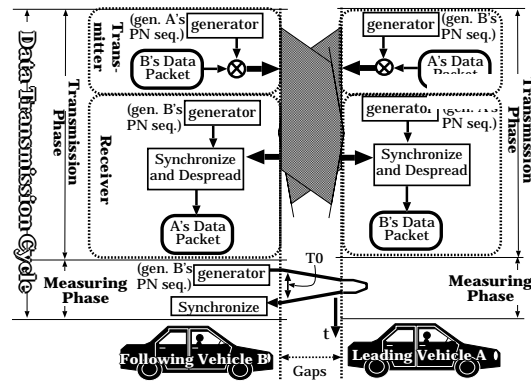


図2 データ伝送サイクル  
Fig.2 Data Transmission Cycle

が可能である。

車両は、ここで取得した情報を元に、相手車両が次に反射フェーズに移ると思われる時刻を計算し、その時刻に、自車両の車両 id, および, PN 符号系列をパケット化して、相手の PN 符号系列を用いて拡散し、相手車両に送信する。

各車両は反射フェーズにおいて、自車両の PN 符号系列で逆拡散を試みている。ここで、受信信号を逆拡散することができたならば、これは相手車両が自車両の PN 符号系列を既知であることを示している。すなわち、相手側の車両はすでに直前の反射フェーズで、自車両が相手車両に送った情報を正しく受信しているということがわかる。

ここで、自車両が受信したデータには、相手車両の情報が含まれているので、この時点で、双方の車両が相手車両の情報を取得したこととなる。この時点で、双方の車両はデータ伝送フェーズに移行する（これを本論文では、リンクが確立したとよぶ）。

## 2.2 データ伝送サイクル

データ伝送サイクル (Data Transmission Cycle) は伝送フェーズ (Transmission Phase) と測距フェーズ (Measuring Phase) の二つからなり、それらを交互に繰り返す (図. 2)。

各車両は、通信リンク確立サイクルによって通信相手車両の PN 符号系列を知っている。そのため、相手車両の PN 符号系列を用いて情報を送信することが可能である。このため、相手車両側では、自分の PN 符号系列で拡散された情報を受信することになる。この情報は逆拡散することが可能であるため、情報を取り

出すことができる。相互にこれらの処理を同時に行うことが可能であるため、ここでは全二重通信を行う。

全二重通信中は、信号が往復する時間を測定することができないため、車間距離が測定できない。そこで、適当な時間ごとに伝送フェーズを区切り、そこに測距を行うためのフェーズを追加する。ここでは、情報の伝達は行わず、測距のみを行う。このため、まず、通信リンク確立サイクルで、PN 符号送出フェーズにおいて相手車両を認識した車両の側から、パケットを使用せずに、なにも信号を載せていない PN 符号を送信する。この間、相手側の車両は単純に受信した信号をそのまま返し続ける。この返信してきた信号の往復にかかった遅延を測定することによって、車間距離を測定することが可能となる。

測距フェーズにおいて、PN 符号を出す側の車両は、一サイクルごとに交替する。これによって、どちらの車両も 2 サイクルに一回づつ測距を行うことが可能となり、車間距離情報を交換することなく、双方の車両とも車間距離の変化を常に監視することができる。

## 2.3 PN 符号系列の割り当て

この方法では、各車両は個別に PN 符号系列を割り当てられており、隣接車両と PN 符号が異なることにより、同時に通信する対象車両を区別することを前提としている。しかし、実際には PN 符号系列の長さは有限であり、これから得られる PN 符号系列の数も有限となる。また、PN 符号の長さにより、PN 符号系列の数も変わるが、通信時に PN 符号の同期をとることを考えると、同期を現実的な時間とるためには、PN 符号の長さを無制限に長くすることはできない。このため、PN 符号系列の数は実際の車両数（現在の日本で 6500 万台を越える）に対して圧倒的に少ない数しか確保できないという問題がある。

ここから、同じ PN 符号系列を複数の車両に割り当てるという必要性が発生する。しかし、いかに PN 符号系列の数を多くしても、実際に同じ PN 符号を持つ車両が存在する限り、それらの車両が接近するのは防ぎようがない。またいかにその確率が低くとも、接近してしまった車両がその間通信できなくなってしまう、事故を予防するという意味では車々間通信は役に立たないものになってしまう。

そこで、この有限である PN 符号系列を動的に車両に割り当て、同一の PN 符号系列を持つ車両が接近した場合には、相互に PN 符号系列を変更することによって同じ PN 符号系列を持つ車両が通信を妨害する

ことを防ぐ方法を考案した。

これを DPA (Dymaic PN-Assignment) と呼び、次章で説明する。

### 3. DPA (Dynamic PN-Assignment)

#### 3.1 DPA の概要

DPA では、DS-CDMA(Direct Sequence-Code Division Multiple Access) 方式を用いて通信を行う。CDMA では、時間や周波数帯域ではなく、拡散に用いる PN 符号系列を分けることによって複数の通信を同時に行なうことを可能とする。本方式では、車両ごとに別個の PN 符号系列を割り当て、通信相手車両の PN 符号系列を知ることによって、その相手車両からの情報を取り出すことを可能にするとともに、同時に複数の車両からの情報を受信することを可能とする。

DPA での通信は、2 章の方式と同様に二つのサイクルから成り立つ。通信リンク確立のための通信（リンク確立サイクル）と実際に情報を伝送するための通信（データ伝送サイクル）である。

リンク確立サイクルでは、すべての車両で共通の PN 符号系列を使用し、相互に車両の情報をやりとりするための短いメッセージを交換する。これにより、相互に相手車両の現在の PN 符号系列を知り、その後のデータ伝送サイクルにおける相手の PN 符号系列で通信を行うことを可能とする。また、このリンク確立サイクルによって周囲の PN 符号の重複を検出し、解消する処理を行うことにより、PN 符号系列が同じ車両が接近することによる通信不可能な状態を回避する。

データ伝送サイクルでは、通信相手の PN 符号系列を用いて、データを相手に伝送する。

リンク確立サイクルとデータ伝送サイクルは一つの送受信器で同時に行なうことを可能とする。このため、ある車両との通信中に他の車両とリンクを確立することや、PN 符号系列を変更することが可能となる。

以下に具体的な手順を述べる。

#### 3.2 リンク確立サイクル

リンク確立サイクルでは、すべての車両は一意に定まる車両 ID を持っているものとする。また、通信を行う際に、わかっている範囲で周囲の車両の車両 ID とその車両の PN 符号系列を交換し、その対応表を保持する。ここでは、直接通信できる 1hop の車両についての対応表を PNmap1、2hop までの車両についての全ての車両についての対応表全体を PNmap2 とよぶ。PNmap1 は他車両と情報を交換するために、PNmap2

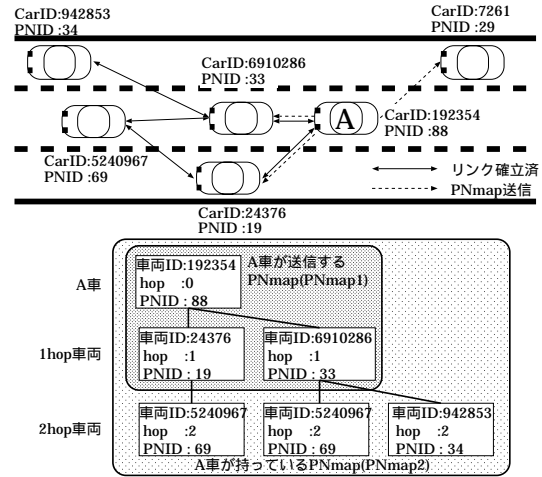


図 3 PNmap  
Fig. 3 PNmap

から 1hop 車両のみを抜き出して作成する。

図 3に PNmap の例を示す。この例は、車両 A がまだ通信リンクを確立していない CarID:7261 の車両に対して、自車の PNmap を送信する場合を示している。車両 A はまだ CarID:7261 の車両を認識していないため、自車両の PNmap には CarID:7261 の車両は存在していない。3hop 以上の車両についてはこの PNmap に保持しないものとした（図 3）。

これは、移動している車両で 3hop 以上のデータを保持しても、その変化が激しいために、更新するためのデータ量が多くなってしまうこと、および 2hop までの車両のデータを保持すれば周囲の車両の分布状況を把握しつつ、通信を行なうことが可能であると考えられるためである。

リンク確立サイクルの実際の手順を以下に示す。

(1) 各車両はエンジン始動時に乱数で自車両の PN 符号として、適当な PN 符号系列を選択する。

(2) 全車両共通の PN 符号系列（これを PNL とする）で拡散したパケットを流す。このパケットには PNmap1 を入れる。PNL における送信は、周期的に行うが、この周期はある時間を基準に各車両で個別にランダムに変化させる。

(3) PNL は全車両共通なので、ある車両が同時に 2 つ以上の PNL で拡散されたパケットを受信した場合には、有効な情報を受けとることができない可能性もある（信号の強度の差、同期のずれによっては受信可能）。このため、PNL による送信は、繰り返し行

うことにし、さらにその周期を各車両毎にランダムに変化させるようにして、連続して衝突が起こるのを避けるようにした。また、送信情報は送信間隔に比べて非常に短いので、複数の車両からの情報が重なる確率は低いと見做され、繰り返し送信されることとあわせて、ほぼ確実に受信できると考えられる。拡散した PN 符号系列は全車両共通なので受けとった車両は逆拡散して PNmap1 を受けとることが可能である。

(4) PNmap1 を受けとることで、相手車両および相手車両の 1hop (自車両から見て 2hop) の車両が使用している PN 符号系列を知る。

(5) 受けとった PNmap1 より、自車両の PNmap2 を更新する。

(6) 受けとった PNmap1 の自車両のデータとして、DUPLICATION フラグ (他車両と重複していることを表すフラグ) が立っていた場合には、PNmap2 の状態に関わらず自車両の PN 符号系列を変更する。

(7) 受けとった PNmap1 を調べて、自車両と同じ PN 符号系列を使用している車両がいた場合には、自車両の PN 符号系列を変更する。

(8) 自車両の 1hop と、相手車両または相手車両の 1hop の車両の PN 符号系列が重複していれば、重複した車両の PN 符号系列を変更する指示を自車両の 1hop の車両に PNL を用いて行う。変更指示は、送信する PNmap1 に DUPLICATION フラグを立てることで、相手車両に知らせる。

以上の手法でお互いに PNmap1 を交換し、自車両の PNmap2 を逐次更新する。こうして相手車両の使用している PN 符号系列を知り、また自車両が相手車両の PNmap1 に入っているのを確認することで、実際に相手車両と通信を行うことが可能となるので、この時点を確認してリンク確立とする。

### 3.2.1 2台のリンク確立の例

車両 A, B のリンク確立についての例を示す。

(1) 車両 A, B がお互いに通信範囲に入る。

(2) ここでは、車両 A が PNmap1 を送信した場合について説明する。車両 B は常に PNL で逆拡散を行っているため、この信号を受信することが可能である。

(3) 車両 B は車両 A の PNmap1 を受信し、車両 A の存在、車両 A の使用している PN 符号系列を認識。自車両の PNmap2 を更新 (車両 A の情報を加える)。

(4) 車両 B が PNmap1 を送信。

(5) 車両 A は車両 B の PNmap1 を受信し、車両



図 4 2台の場合  
Fig. 4 The Case Of 2 Vehicles

B の存在、車両 B の PN 符号系列、車両 B が自車両を認識したことを認識。自車両の PNmap2 を更新 (車両 B の情報を加える)。

(6) 車両 A が PNmap1 を送信。

(7) 車両 B は車両 A の PNmap1 を受信し、車両 A が自車両を認識したことを認識。この時点でリンク確立となる。

以降は、お互いが送る PNmap1 を見ることで、リンクを確認し、相手の PN 符号系列を確認する。

### 3.3 情報の送受信

リンクが確立した車両との情報の送受信について説明する。ここでの通信は、実際の情報伝送であり、このチャンネルをデータチャンネルとする。各車両は一つの自車両の PN 符号系列を保持し、データチャンネルについては、この PN 符号系列のみを使用する。ここでは、すべての車両について、PN 符号系列長は同じであるものとする。

(1) 各車両は選択した PN 符号系列で拡散した情報を、相手がいるいないにかかわらず常に流す。1つの情報を送信し終えた瞬間に次の情報の送信を開始する。

(2) (1) と同時に、受信した信号を自車両の PNmap2 中の 1hop 車両の PN 符号系列で逆拡散を行い、1hop の車両からの情報を取り出す。

(3) 情報を受けとっている相手車両からの PNL で拡散されている PNmap1 中に自車両があるのを認識することで、全二重通信が確立していることを確認する。

(4) PNL で拡散された情報を受信、逆拡散して、送信元の車両 ID と時間を登録。現在時刻から登録した時間を引いた値がタイムアウトのしきい値よりも大きければ、その車両を PNmap2 から削除する。

### 3.4 PN 符号系列重複時の処理例

使用している PN 符号系列が重複している場合の処理方法について例をあげて説明する。

#### 3.4.1 2台で PN 符号系列が重複している場合

図 4 のように車両 A, B が両方 PN x を使用している場合を考える。この場合、どちらが先に PNmap1 を送信しても処理は同じであるが、ここでは、まず車



図5 3台で両端の車両のPN符号系列が重複している場合  
Fig. 5 The Case Of 3 Vehicles



図6 4台で両端の車両のPN符号系列が重複している場合  
Fig. 6 The Case Of 4 Vehicles

両 A が先に送信する場合について考えてみる。

- (1) お互いに通信範囲内に入ってから車両 A が先に PNmap1 を送信する。
- (2) 車両 B は PN 符号系列が車両 A と重複しているのを認識する。PN 符号系列を PN<sub>x</sub> から PN<sub>y</sub> に変更, PNmap2 を更新する。
- (3) 車両 B が PNmap1 を送信する。
- (4) 車両 A は車両 B を認識。PNmap2 を更新する。
- (5) 車両 A が PNmap1 を送信, 車両 B が受信, 確認してリンクを確立する。

### 3.4.2 3台で両端の車両のPN符号系列が重複している場合

図 .5のように車両 A,B は既にリンクを確立しており, 車両 A は PN<sub>x</sub> を, 車両 B は PN<sub>y</sub> を使用しているとする。そして, PN<sub>x</sub> を使用している車両 C が接近して来た場合について考える。この場合, どちらが先に PNmap1 を送信するかで, 処理が違ってくる。まず, 車両 A が先に送信する場合について考える。

- (1) お互いに通信範囲内に入ってから車両 A が先に PNmap1 を送信する。
  - (2) 車両 B は PN 符号系列が車両 C と重複しているのを認識する。PN 符号系列を PN<sub>x</sub> から PN<sub>y</sub> に変更, PNmap2 を更新する。
  - (3) 車両 B が PNmap1 を送信, 以降の手順はリンク確立時と同じ。
- これに対して, 車両 B が先に送信する場合は次のようになる。
- (1) お互いに通信範囲内に入ってから車両 B が先に PNmap1 を送信する。
  - (2) 車両 A は, 車両 B の使用している PN 符号系列が車両 C と重複しているのを認識する。この場合, リンクが確立している車両 C を優先し, 車両 B に変更要求を出す。つまり, 車両 A は PNmap1 の車両 B の部分に DUPLICATION フラグを立て, PNmap1 を送信する。

- (3) 車両 B は変更要求を出されている事を認識。PN 符号系列を PN<sub>x</sub> から PN<sub>z</sub> に変更し, PNmap2 を更新する。

- (4) 車両 B が PNmap1 を送信, 以降の手順はリンク確立時と同じ。

このように, 既に張られているリンクを優先して PN 符号系列の変更を行うことにする。

### 3.4.3 4台で両端の車両のPN符号系列が重複している場合

図 .6のように, 車両 A,B と車両 C,D はそれぞれリンクを確立しており, 車両 A,D は PN<sub>x</sub> を, 車両 B は PN<sub>y</sub> を, 車両 C は PN<sub>z</sub> を使用しているとする。

- (1) 車両 B と車両 C がお互いに通信範囲内に入ってから車両 B が先に PNmap1 を送信する。
- (2) 車両 C は車両 D の使用している PN 符号系列が車両 A と重複している事を認識し, この場合, 早く変更を伝えられる方に変更要求を行う, すなわち車両 C は PNmap1 の車両 D の部分に DUPLICATION フラグを立て, PNmap1 を送信する。

- (3) 車両 D は変更要求を出されている事を認識。PN 符号系列を PN<sub>x</sub> から PN<sub>w</sub> に変更し, PNmap2 を更新する。以降の手順はリンク確立時と同じ。

このように, 重複している車両に関して両方ともリンクが確立されている場合には, 最初に発見した車両から伝えやすい方に伝える。この場合だと, 車両 A に伝えるよりも車両 D に伝える方が速いので車両 D に変更要求を出した。

より複雑な場合においても, 車両は自車両が重複に気付いた場合にはなるべく早く PN 符号系列を変更し, 他車両同士の重複に気付いた場合にはそれぞれのリンク確立状況や変更要求を伝えられるまでの時間を考慮して変更要求を出す。

## 4. シミュレーション結果

DPA の性能を評価するためにシミュレーションを行った。シミュレーション条件として, 表 1 に示すパラメータを設定した。また, 適当な比率でさまざまな大きさの車両を生成し, それらによる遮蔽の影響を考慮した [23]。

図 .7 にデータ伝送サイクルにおける通信成功率を示す。横軸に道路上の車両台数, 縦軸にデータ伝送サイクルにおける通信成功率をとる。データ伝送サイクル

表 1 シミュレーション条件  
Table 1 Parameters of the Simulation

道路長	1000m, 3車線直線道路
車線幅	3.0m
放射角度	前後それぞれに 90 度
通信範囲	送信器から直線距離で 100m
伝送速度	2Mbps
拡散率	75
チップレート	150Mbps
車両 ID, PNid	各 4byte
共通チャネルデータサイズ	20 + 1hop の車両数 × 8bytes
共通チャネルの送信間隔	平均 8.3ms
データパケットサイズ	2048bytes
データチャネルの送信間隔	平均 8.3ms
PN 符号系列長	1023
PN 符号系列の数	60

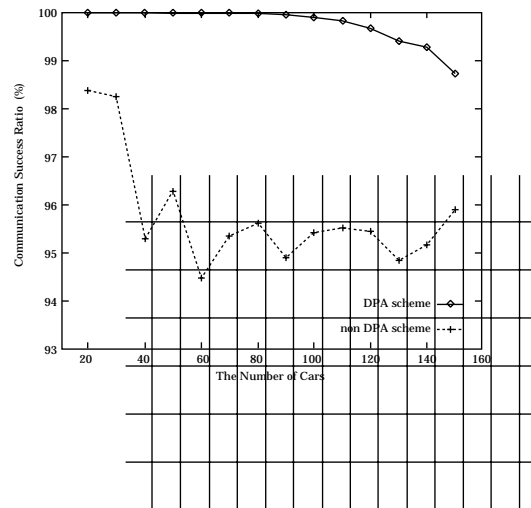


図 7 通信成功率  
Fig. 7 Communication Success Ratio

における通信成功率とは、全体の通信数に対して、同じ PN 符号系列の車両によって妨害されなかった通信の比率である。ここでは、他の車両による遮蔽や、車両の移動によって通信中に通信範囲の外に出てしまった場合の通信失敗についてはカウントしていない。

図 .7において、上側の線が DPA を用いた車々間通信の場合の通信成功率であり、下側の線が DPA を用いなかった場合の通信成功率である。

DPA を用いなかった場合とは、DPA と同じ通信を行い、周囲の車両の PN コードを認識するが、PN 符号系列を変更する処理を一切行わない方式である。

これにより、DPA を用いた方が常に通信成功率が高い事がわかる。また、車両の台数が変化しても、あ

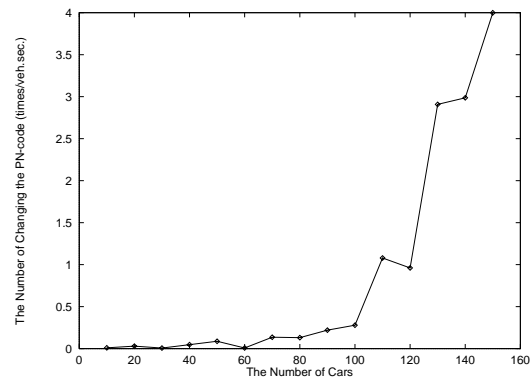


図 8 1秒間に PN 符号系列を変化させた回数  
Fig. 8 The Number of Changing the PN code

まり影響される事なく高い通信成功率を保っている。つまり、PN 符号系列の個数が有限でも、車両の多少にかかわらず、より確実な通信が行えることになる。

また、PNmap の内容は、2hop の車両に関する情報まで保持しているため、実際の車両配置の変化に追従するのに、時間的な遅延が生じるが、通信成功率をみる限り、これによるオーバーヘッドを原因とする通信失敗はほとんどないということがいえる。

ここで、車両の移動により、他の車両による遮蔽や通信範囲外に出てしまった場合の通信の失敗を考慮していないが、これらについては、直前や直後の車両に比して、位置的に重要でない車両と考えられるため、現在のところ考慮していない。

次に、図 .8に、DPA を用いた場合の 1 台当りの 1 秒間に PN 符号系列を変更した回数を示す。縦軸に変更回数をとる。

これより、車両台数が増える毎に、PN 符号系列を変化させた回数が増えるのは明らかである。車両台数が増えたと、近傍の車両と同じ PN 符号系列を持っていない確率が減ることからも、変更回数が増えるのは当然である。しかし、図 .8のように、PN 符号系列の変更によるオーバーヘッドはあるが、図 .7に示すように、DPA を用いた車々間通信の方が通信成功率が高い。これより、PN 符号系列の変更回数が増えることにより、通信のオーバーヘッドが生じても、結果として PN 符号系列を変更した方が通信の効率上がり、DPA が有効であるということがいえる。また、同じ PN 符号系列の車両が存在した場合、その車両は長い期間通信が行えない状態になってしまうが、DPA を

使うことにより、このようにある特定の車両が長い時間に渡って通信が行えなくなるという事態を避けることが可能である。

## 5. む す び

本論文では、車々間通信の方式として、レーザー光を用いたのスペクトラム拡散通信を用い、各車両が動的に PN 符号系列を変化させることによって、有限な数の PN 符号系列を効率的に用いる方法として、DPA を提案した。また、コンピュータシミュレーションを用いて、DPA の性能を評価し、車々間通信の通信品質が低下しないことを示し、その実用性について考察した。

このスペクトラム拡散通信の問題点として、ハードウェアコストが高価になりやすいこと、および機器が複雑になることがあげられるが、携帯電話や GPS などによって CDMA 方式がより一般化してきている現状で、このような装置の小型化や、量産化による価格の低下も十分可能であると考えられる。

また、CDMA 方式では一般に遠近問題が避けて通れない問題点としてあげられる。しかし、本方式のように車々間通信に適応した場合には、もっとも近い車両と通信を行うことが重要である。また、それより遠い車両との通信はマルチホップ型のネットワークを構成することにより、間接的に情報を得ることが可能となる。このため、本論文では、今のところ遠近問題については考慮していない。この点については、今後考慮し、より信頼性の高いネットワークを構築することを考えるべきであろう。マルチパスなどのフェージングが起こった場合の影響についても今後検討を行い、より現実的なプロトコルにすることも今後の重要な課題である。

また、このような車々間通信を用いた効果的なアプリケーションの開発も今後、研究を進めていく上で必要なことであると思われる。

## 文 献

- [1] (財)道路交通情報通信システムセンター. VICS の挑戦. VICS センター, 1996
- [2] Shinsaku Yamada. The Strategy and Deployment Plan for VICS. IEEE Communications, Vol. 34, No. 10, pp.94-97, 10 1996.
- [3] K.Takada, Y.Tanaka, A.Igarashi, and D.Fujita. Road/automobile communication system(racs) and its economic effect. IEEE Vehicle Navigation and Information System Conference, Sep. 1989.
- [4] Hiroyuki Okamoto and Masahiro Hase. The progress of amtics —advanced mobile traffic informati and communication system. *Vehicle Electronics in the 90's Society of Automotive Engineers,Inc.*, 1990.
- [5] 警察庁交通局 警察における ITS の取組み. 月刊交通, 4 1996.
- [6] イメージ工学研究所 ITS のすべて. 日本経済新聞社, 1995.
- [7] Christian Wietfeld and C.H. Rokitansky, Performance of Vehicle-Roadside Communication Systems supporting Multiple RTI-Applications. IEEE Vehicle Navigation and Information Systems Conference, pp. 133-138, 1994.
- [8] Tushar Tank, Nathan Yee, and Jean-Paul Linnarts, Vehicle-to-vehicle Communication For AVCS Platooning. IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 44, pp. 448-451, 1994.
- [9] Masayoshi Aoki, Inter-Vehicle Communication: Technical Issues on Vehicle Control Application. IEEE Communications Magazine, Vol. 34 Iss. 10, pp. 90-93, Oct. 1996.
- [10] Te-Kai Liu and John A. Silvester and Andreas Polydoros, Performance Evaluation of R-ALOHA in Distributed Packet Radio Networks with Hard Real-time Communications. CENG Technical Report 94-31, University of Southern California, pp. 554-558, 1994.
- [11] Wern-Ho Sheen and CHin-Ta Shih, On the Performance Evaluation, Selection, and Design of Unique Words for Time-Division Multiple Access Systems. IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 44, pp. 111-120, 1994.
- [12] Simon Hoff, Dirk Hübner, and Frank Reichert. Protocols for mobile short range communication based on transponders. *IEEE 41st Vehicular Technology*, pp. 636-641, 1991.
- [13] 鶴井省三, 藤本卓也, 黒川正幸. 512kbit/s tdm/tdma 方式による路車間通信装置の開発. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 49, , 1 1990.
- [14] 井上保彦, 中川正雄 スペクトル拡散による車々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, 1994
- [15] 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々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(SAT97-16), 1997
- [16] 水井潔, 内田雅敏, 陰山興史, 中川正雄. スペクトル拡散方式を用いた車々間通信・測距統合システム. 信学技報, SST91-20, 1991.
- [17] 水井潔, 内田雅敏, 中川正雄. スペクトル拡散方式を用いた車々間通信・測距統合システム (その 2). 信学技報, SST92-11, 1992.
- [18] Mizui K., Uchida M., Nakagawa M., Vehicle-to-Vehicle Communication And Ranging System Using Spread Spectrum Technique (Proposal of Boomerang Transmission System), IEEE 43rd Transactions on Vehicular Technology Conference, pp.335-338, 1993.



- [19] 近藤天平, 屋代智之, 矢込宏敬, 樋口雅文, 松下温. SS 通信を利用した車々間通信システムにおける通信方式の提案. 情報処理学会第 46 回全国大会, 1993
- [20] 屋代智之, 近藤天平, 松下温. 車々間通信を基本とした車両間通信方式と車両ネットワークの構築. 第 13 回交通工学会研究発表会論文集, pp.101-104, 1993.
- [21] H.M. マンチェリアン著, 高木 相訳. レーザ技術の原理と実際. 朝倉書店, 1982.
- [22] 横山光雄. スペクトル拡散通信システム. 科学技術出版社, 1988.
- [23] 斉藤孟, 佐藤武. 自動車工学全書 別冊 自動車に関する法規, 規格, 統計. 山海道, 1980.

(平成 9 年月日受付)

#### 屋代 智之 (正員)

平 2 慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業. 平 4 同大学理工学研究科修士課程修了. 現在、同大学院理工学研究科後期博士課程計測工学専攻に在学中. マルチメディアネットワーク, 高度道路交通システムなどの研究に従事. 情報処理学会会員.

#### 松下 温 (正員)

昭 38 慶大・工・電気卒. 昭 43 イリノイ大大学院コンピュータサイエンス専攻了. 平 1 より慶應義塾大学理工学部計測工学科教授. 工博. マルチメディア通信および処理に関するコンピュータネットワーク, 分散処理などの研究に従事. 情報処理学会学会誌編集担当理事, マルチメディア通信と分散処理研究会委員長, 電子情報通信学会情報ネットワーク研究会委員長, パーチャルリアリティ学会仮想都市研究会委員長などを歴任. 「やさしい LAN の知識」(オーム社) など著書多数. 1993 年度情報処理学会ベストオーサー賞, 1995 年度情報処理学会論文賞. 情報処理学会, 電子情報通信学会, 人工知能学会, ファジィ学会, IEEE, ACM 各会員.