

車々間通信を用いた車両ネットワークの構築に関する提案

屋代 智之[†] 松下 温^{††}

A Proposal of a Vehicle Network Using Inter-vehicle Transmission Method

Tomoyuki YASHIRO[†] and Yutaka MATSUSHITA^{††}

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、車間距離の測定を統合しつつ、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。さらに、ネットワークを効率良く利用するために、新たにゾーンという概念を定義し、導入した。

本稿では、このネットワークの形成方法を説明するとともに、このようにして形成されたネットワークの実用性についてシミュレーションを用いて評価した。

キーワード 車々間通信、車両ネットワーク、スペクトル拡散通信

1. はじめに

現在、自動車交通の利便性をあげるために、GPS システムを搭載したナビゲーションシステムや、即時的な情報提供メディアとして、VICS 等のシステムが実用化されている [1] [2] [3] [4]。しかし、これらのシステムは渋滞を避けるという意味では有効性が見られるものの、根本的に運転労力を軽減するという意味では、まだまだ機能的に不十分である。

また、近年になってさまざまな ITS システムが提案されるようになってきている [5] [6]。しかし現在のところ、実現の目処が立っているものは基本的には、ビーコンなどの路側通信施設と車載器などの車両側通信器が通信する、路車間通信が主体である。ここでは、この路車間通信システムによって得られる情報を広範囲からアクセスすることと、それをさらに進めて、自動運転を可能とするための通信システムとして、車両間（車々間）通信の提案を行い、さらに、その車々間通信を用いた自律分散型のネットワーク構築方法を提案する。

本論文で提案するシステムは、指向性の強いレーザを用いた車々間通信を車群に適用し、車両ネットワークを構築するものである [7]。車両ネットワークでは、周囲の車両とお互いの速度や加速度などの情報を通信することによって、事故を防ぐことが可能となる。また、自律分散型のネットワークを構築し、マルチホップで通信を行うことによって、局所的にしか得られないような情報をその周囲の車両が取得することを可能とする。このようなネットワークでは、複数の経路が存在するため、データが重複して流れてしまうことが考えられるが、これに対する解決方法も提案する。

これによって、今までは主として運転者の視覚によってしか判断できなかった周囲数台の情報を、自動車側で自動的に処理することが可能となる。この結果、玉突き事故のような大規模な事故を予防、回避することができるようになる。

また、例えば路車間通信によって、渋滞情報など広範囲にかかわる情報を通信する際に、本システムを併用することにより、他車両の影になってしまうなどの理由により、路側機器と通信できない位置の車両や、ビーコンの通信範囲にいないためにビーコンと直接通信を行うことのできない車両に対しても、車両間通信ネットワークを経由して情報を届けることが可能になる。すなわち、ビーコンなどの場所的制約にとらわれずに情報を取得することが可能となる。逆に、路側機器とは直接通信できない領域の車両の情報を道路管理

[†] 千葉工業大学情報ネットワーク学科, 千葉県
Department of Network Science, Chiba Institute of Technology, Chiba-ken, Japan

^{††} 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, Japan

者側が得ることも可能なため、渋滞の体系的な予防を行う上でも有効であると思われる。

従来提案されてきた車両間通信では、多くが TDMA 方式、または R-ALOHA 方式を用いている [8] [9] [10] [11]。しかし、チャンネルをスロット化するためには、全車両で分散的に同期をとるか、同期をとるためのビーコンなどの中央制御装置が必要となる。

日本にあるすべての車両で分散的に同期をとるのは、車両数とその全国的な分布を考えると、非現実的である。これに対して、ビーコンなどで同期をとる場合には、道路側施設に依存してしまうため、ビーコンのない場所では通信を行えないなど、通信の可能な場所に制約が加えられてしまうといった問題点がある。

本システムでは、通信時に通信を行う車両間のみで同期をとることによって、この問題を解決した。

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たネットワークの構築、第 4 章で、評価のためのシミュレーション結果とその評価について述べる。

2. 車々間通信方式

2.1 基礎となるシステム

スペクトル拡散 (SS: Spread Spectrum) を用いた通信には、一般にマルチパスなどのフェージングに対する耐性が高い [12]。また、DS (Direct Sequence) -SS 通信では、通信を行いながら測距を行えるという、車々間通信に非常に適した特性を持っている。この特性を利用するために、我々のシステムは [13] の方式を基礎とした (図 1)。

この方式では、レーザ光を用いた通信には DS-SS 通信を使用する。以下、この方式について説明する。

各車両はそれぞれ固有の PN (Pseudo Noise) 符号系列を持っているとする。前方を走行している車両を A とし、後方を走行している車両を B とする。後方 B 車は、前方 A 車に向かって自車両の PN 符号をそのまま送信する。A 車はこの信号を受信するが、当然ながら B 車の PN 符号を知らないため、この信号を逆拡散することも、信号が存在することを知らずともできない (ただの PN 符号なので、たとえ逆拡散できたとしても、情報を取り出すことはできない)。しかし、常に後方から何らかの符号を受信しているものと仮定し、受信した信号 (後方に車両がない場合にはノイズのみかもしれない) を用いて、自車両の情報を拡散し、後方へ送信する。

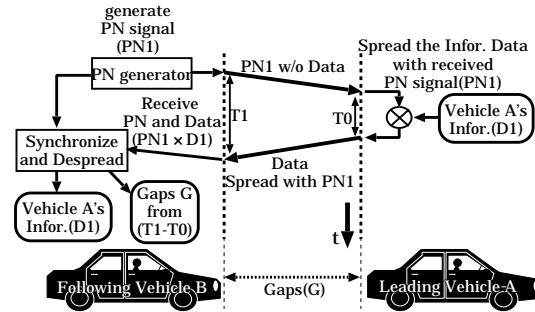


図 1 基本となるプロトコル
Fig. 1 Basic Protocols

後方にある B 車は、通信範囲内に A 車がいる場合には、自車が送信した PN 符号で拡散された A 車の情報を受信する。ここで、B 車は当然ながら、もともと自車が送信したその PN 符号系列を知っているため、これを用いて逆拡散することが可能となり、結果として A 車の情報を取得することが可能となる。同時に逆拡散時の同期状況によって、送信してから経過した時間 (T_1) を知ることが可能となる。A 車が信号を受信してから送信するまでの時間 (T_0) がすべての車両で一定であれば、B 車は T_0 と T_1 の差から、信号の往復にかかる時間が算出でき、この結果車間距離を算出することが可能となる。

すなわち、この方式では、測距を行いながら、同時に測距対象からの情報を取得することが可能となる。また、測距をしている対象と、情報を取得している対象の同一性を保証することが可能である。

しかし、この方法の問題点として、データ伝送が単方向であり、前方車両が後方車両の情報を知ることができないという点が挙げられる。

そこで、本論文では、この方式を全二重通信に拡張し、測距と情報取得が同時に可能である PN 符号系列交換方式を提案する。

2.2 PN 符号系列交換方式

本方式でも、各車両にそれぞれ固有の PN 符号系列を割り当てる。また、これとは別に各車両に固有の id (車両 id) を設定する。

本方式において、車両は通信を行うまで、周囲の車両の情報を得られない。このため、通信相手の情報を取得し、全二重通信の開始まで (リンクの確立) を行う部分と、その後の全二重通信に分けて考え、それぞれ、通信リンク確立サイクル、データ伝送サイクルと

した．以下，それぞれのサイクルについて説明する．

2.2.1 通信リンク確立サイクル

通信リンク確立サイクル（図 2）は，未知の隣接車両と，車両 id，その車両の PN 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．

基本的に，各車両は通信可能範囲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，反射フェーズと PN 符号送出フェーズ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．

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，相手車両はこの PN 符号を用いて情報を拡散し送信するので，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．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 符号系列をパッケージ化して，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，こちら側の車両が受信信号を用いて拡散し送った情報を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）．

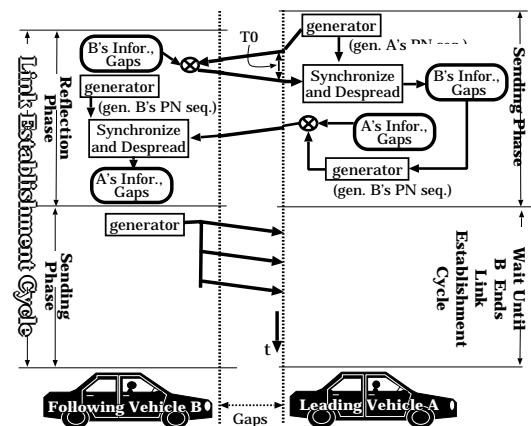


図 2 リンク確立サイクル
Fig. 2 Link Establishment Cycle

ここでは，具体的に，前方の A 車が PN 符号送出フェーズ，後方の B 車が反射フェーズの場合について，どのように相互に情報を交換するかを見ていく（図 2）．

最初の時点では，前方にいる A 車も，後方にいる B 車も，それぞれの通信範囲内に車両がいるかどうかを認識していない．

まず，A 車は，PN 符号送出フェーズにおいて，自車両の PN 符号を送出する．B 車では，反射フェーズにおいて，受信している信号を PN 符号であると仮定して，その信号によって自車両（B）の情報（B 車の車両 id，PN 符号系列，次のサイクルの開始時刻）を拡散し，送信する．ここでは，A 車の PN 符号を受信しているため，結果的に B 車の情報を A 車の PN 符号で拡散して，A 車に送り返していることになる．

PN 符号送出フェーズ中の A 車は，自車両の PN 符号を送出しつつ，同時に返ってきた信号を自車両の PN 符号で逆拡散する．もしも対面する車両がいなければ，ここでは，なにも情報が得られない．しかし，この場合では，B 車が A 車の PN 符号系列を使用して，情報を拡散して送り返してきているので，逆拡散すると B 車の情報を取得することができる．

この時点で，A 車は B 車の PN 符号系列，車両 id，B 車の次サイクルの開始時刻を取得する．そこで A 車は，今度は B 車の PN 符号系列を用いて，PN 符号を生成し，自車両の情報をこの PN 符号を用いて拡散し，B 車に向かって送信する．

各車両は，PN 符号送出フェーズ，反射フェーズに

かわらず、常に自分のPN符号系列を用いて受信した信号を逆拡散しようとする。この時点で、B車に送られた情報はB車のPN符号系列で拡散されているので、B車はこれを逆拡散することが可能である。この結果、ここでB車はA車のPN符号系列、車両id、次のサイクル（ここでは、データ伝送サイクルに移る）の開始時刻を取得することができる。

この結果、双方の車両は通信リンク確立サイクルで必要とする情報の交換ができたことになる。双方の車両は、相手の車両が次のサイクルに入る時間まで待ち、データ伝送サイクルに状態を変更する。

この方式を用いると、片側が反射フェーズで、もう一方がPN符号送出フェーズである状態にならないと、リンクは確立しない。このため、向かい合う送受信器のサイクルの長さによって、リンクが確立するまでにかかる時間が異なる。例えば、同じ長さのサイクル長だとすると、双方とも同時に反射フェーズになる場合などには、リンクを確立することができない。

例えば車両前方を向いた送受信器を反射フェーズのみにし、後方を向いた送受信器をPN符号送出フェーズのみにするという方法も考えられる。しかし、通信速度に比べて、車両の移動の速度は非常に遅いため、ネットワークのスループットに対する、リンク確立過程の負荷がそれほど大きくないことと、このような方式を用いた場合に、対向車などと通信を行うことが不可能になることから、本システムでは二つのフェーズを交互に繰り返す方式とした。

リンクが確立するまでにかかる時間を短くするために、車両の前方を向いた送受信器（前方送受信器）と、後方を向いた送受信器（後方送受信器）のサイクルの継続時間を異なる長さとした。簡単なシミュレーションを行った結果、この長さの比率として、1:1.5~3を用いると、良好な結果が得られることがわかった[14][15]。

さらに、対向車間での通信をある程度可能なものとするために、基本サイクル長に一定の変動を持たせた。これによって、対向する送受信器間でもある回数以上サイクルを繰り返すと、反射フェーズと送信フェーズが向かい合うようになるので、その時点でリンクを確立することが可能となる。

2.2.2 データ伝送サイクル

データ伝送サイクルは伝送フェーズと測距フェーズの二つからなり、それらを交互に繰り返す（図3）。

各車両は、通信リンク確立サイクルによって通信の

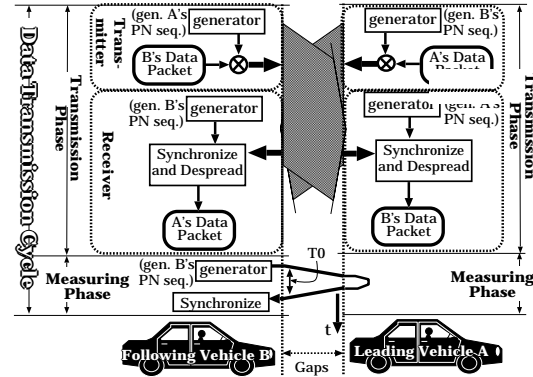


図3 データ伝送サイクル
Fig. 3 Data Transmission Cycle

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ことが可能である。

また、車間距離を測定するために、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、なにも信号を載せていないPN符号を送信する。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できる。

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る。

3. 車両ネットワーク

3.1 送受信器の数の考察

前章で述べた、双方向通信システム用の送受信器は、2台の送受信器が、相互に通信を行うことを可能とする。本システムを使用して、常に周囲の車両について認識するためには、直前、直後の車両と通信を行う以外に、自分の近傍の車両と通信を行うことを考える必

要がある。

前後に送受信器を設置した場合、自車両の左右に位置する車両とは直接通信が行えない。これに対処する方法として、左右にも通信器を設置する方法も考えられるが、その場合には死角や通信範囲の重複が起こるといった問題が新たに発生する。そこで本方式では前後のみに送受信器を設置し、左右の車両とは前または後ろの車両を経由して間接的に通信を行うように仮定した。このため、一台の車両に複数の通信器を設置し、それぞれの通信器が独立に通信を行う方法を考えた。

さらに、本方式では、通信器の通信範囲内に複数の車両が存在してしまった場合、相手の PN 符号で送るといったことが困難になるため、そのどちらの車両とも正しく通信を行うことができなくなってしまう。

これを避けるために、送信フェーズにおいて相手から戻ってきた信号を逆拡散する際に、その相関のピークを調べることによって、通信範囲内に複数の車両が存在することを検出する。本方式では、複数の車両が存在した場合には、通信範囲を小さくし、一台も車両が存在しなかった場合には、通信範囲を大きくすることによって、二分探索のように通信範囲内にある車両を常に一台に保つ。二分探索を行うため、初期状態では送信出力を 50% の距離に相当する出力にしておき、この状態における検出車両数に応じて動的に変更するようにした。

通信器の数は、同時に通信する必要性を考慮して、前後それぞれに三方向とした（図 4）、各通信器はそれぞれ 30 度の指向性を有し、その通信範囲内にある車両と通信を行う。

これによって、最大で前後合わせて同時に 6 台の車両との通信を行えるようにすることが可能である。

3.2 ゾーンの導入

車両ネットワークは、一台一台の車両によって構成される。それぞれの車両は、ドライバー個人の意志にしたがって制御され、移動するため、ネットワークはどんな瞬間にも分割や結合の可能性がある。このようなネットワークでは、時々刻々変化する構成ノードをダイナミックに認識し、切れたリンクの復旧、または代替パスの確保、新規パスの作成などを行わなければならない。

また、同報通信を考えた場合、隣接したすべての車両に対して情報を送信すると、複数の経路から同じ情報を複数回受け取ってしまい、ネットワークの容量を非常に無駄に消費してしまうことになる。そこで、周

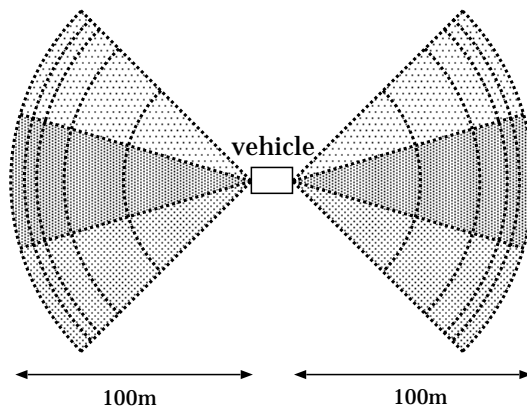


図 4 通信器の配置
Fig. 4 Configuration of Transceiver

囲の車両を認識することにより、無駄な情報伝送を極力抑えることが必要となる。

そこで、マルチホップで隣接車両につぎつぎとデータを渡すネットワークの構築方法を考案した。この方法を用いると、周囲の車両配置を、ダイナミックにとらえつつ、最新の状況に応じて、可能な限り多数の車両に、可能な限り無駄なパケットの複製を作らずに通信することが可能となる。

本論文で提案する車両ネットワークでは、個々の車両は、常に自車両を中心として、2hop 以内の車両をゾーンとして認識する。ゾーンは、各車両が、自車両を経由したパケットの今後の経路を制御するために使用する。図 5において、点線で囲まれた範囲が中心の A 車のゾーンとなる。

3.3 ゾーンの構築

ゾーンはパケット伝送時に、自分の周囲 1hop の車両の車両 id を相互に知らせ合うことによって構築される。図 6を用いて、A 車のゾーンの構築を説明する。

B 車は A 車へ送るパケットのヘッダ部分に、ゾーン構成情報として、現在自分が通信している車両（1hop の車両）の車両 id を書き加える（図 6では、1, 2, 3 の車両）。

C 車も A 車へ送るパケットのヘッダ部分に 4, 5, 6, 7 の車両の車両 id を書き加える。

A 車はこれらのパケットを受信し、自車両を中心とした 1hop の車両とその 1hop 車両経由の 2hop 車両の組で構成されるテーブル（ゾーンマトリクス）を作成する。

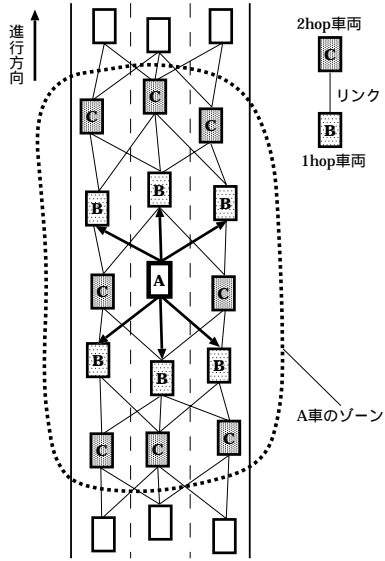


図5 ゾーン概念
Fig. 5 A Concept of Zone

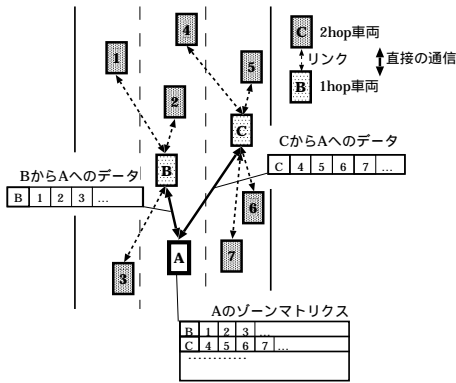


図6 ゾーン構築
Fig. 6 Constructing Way of Zone

これにより、図6において、A車は、B車経由で1, 2, 3の車両を、C車経由で4, 5, 6, 7の車両を認識することが可能である。

3.4 ゾーン情報を利用した同報通信

次に、各車両の有するゾーン情報を利用して、必要以上にパケットの複製がなく、かつその時点で通信可能なすべての車両にパケットを流布するパケット伝搬アルゴリズムを以下に説明する。

このアルゴリズムは、受信したパケットの経路情報と現在の自分のゾーン情報を比べ、そのパケットの次の伝搬予定車両を計算するものである。

パケットを送信する車両は、そのパケットに伝搬経路情報として、パケット送信車両 id, パケット受信車両 id, パケット伝送予定車両 id を書き加える。ここで、パケット伝送予定車両 id とは、パケットを受信した車両に対して、次にそのパケットを流す車両の id を指示するものである。この時点でパケットの経路を制御することにより、無駄なパケットの生成を抑制することが可能になる。

また、パケット受信車両は、受信したパケットが以前に受信しているものであるかどうかを自車両のパケット番号の履歴で調べる。もし、すでに受信したパケットであれば、そのパケットについてはそれ以降の伝搬に関する処理を行わない。

履歴に登録されていないパケットであったら、自分から 2hop の車両までのパケットの経路を以下のように計算する。

- 伝搬アルゴリズムの基本

受信車両は指定された伝搬予定車両（受信車両にとっては 1hop 車両）経由の 2hop 車両のすべてを次の伝搬予定車両とする。図 7-A は、車両 1 は車両 0 から、車両 2 へ渡す指示の入ったパケットを受信した場合をあらわしている。本論文では、これを (0) (1) (2) と表記する。この場合、車両 1 は自車両の 2hop の車両を考慮に入れて、パケットの次の伝搬経路情報を (1) (2) (3, 5) として車両 2 に伝送する。

- パケットの複製を減らす方法 1

図 7-B において、車両 1 は (0) (1) (2, 4) の経路を指定されたパケットを受信した状況である。ここで、車両 1 は、車両 2 と車両 4 経由の 2hop の車両を次の伝搬予定車両とするが、車両 3 へは車両 2 から、車両 5 へは車両 4 からパケットを伝搬させ、車両 2 から車両 5 への経路と車両 4 から車両 3 への経路でのパケットの伝搬は考えない。本システムでは、1hop の車両から見て、正面方向の（正面方向を向いた送受信器の通信範囲内にいる）車両を優先車両とする（車両 3 は車両 2 の優先車両、車両 5 は車両 4 の優先車両である）。

図 7-C は、車両 1 が (0) (1) (2) の経路を指定されたパケットを受信した場合をあらわす。そこで車両 1 は同様に、車両 2 経由の 2hop の車両を次の伝搬予定車両とするのだが、車両 4 が伝搬予定車両に入っていないということは、車両 4 には、違う経路でパケットが伝搬されるはずであり（もし、別の経路が存在しなければ車両 1 経由で車両 4 にパケットが伝搬

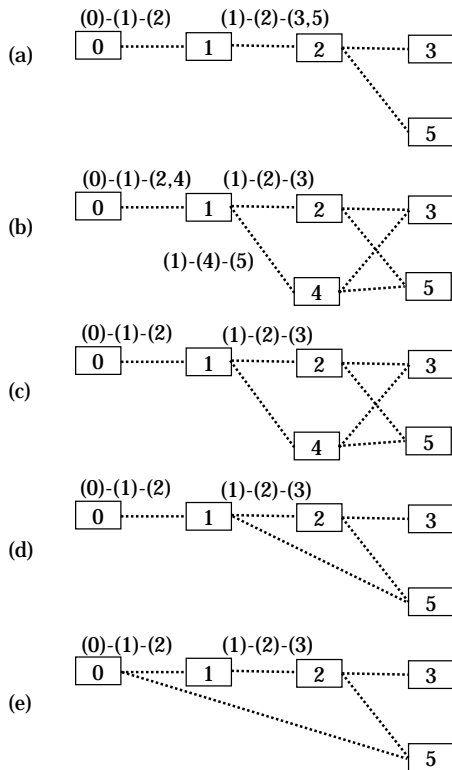


図7 パケットの経路指定
Fig. 7 Packet Routing

する経路指定をうけるはずである), その車両の優先車両である車両5には当然車両4から, パケットが伝搬されるはずである. したがって, 車両2から車両5の経路は考えない.

● パケットの複製を減らす方法2

図7-Dにおいて, 車両1は(0) (1) (2)の経路を指定されたパケットを受信した状況をあらわす. 車両1は車両2経由の2hopの車両を次の伝搬予定車両とするが, 車両5は車両1の1hopの車両であるため, 車両0の2hopの車両となるから, 車両0が伝搬予定車両を計算した時にすでに車両5にパケットが伝搬するように経路が計算されているはずである. この場合, (0) (1) (5)という経路が指定されていないので, 違う経路で車両5にパケットが伝搬されていると仮定し, 車両2経由で車両5への経路は考えない.

図7-Eにおいて, 車両1は(0) (1) (2)と経路を指定されたパケットを受信した. 車両1は車両2経由の2hopの車両である車両3と車両5を次のパ

表1 通信システムの仕様
Table 1 Parameters of transmission system

前方フェーズの基本長	1.5 (msec)
後方フェーズの基本長	4.5 (msec)
ミニパケット長	1.28 (msec) (32byte)
フェーズの振れ幅	5
伝送フェーズ長	20 (msec)
測距フェーズ長	1 (msec)
パケット長	512byte
伝送容量	256kbps

ケット伝搬車両とするが, 車両5は車両1から見て車両0経由の2hop車両であり, それは車両0の1hopの車両であることを意味している. この場合は車両0の時点ですでに車両5への経路は考えられていると仮定し, 車両2から車両5の経路は考えない.

このようにすることで, 複数の経路が存在する場合に, 限られた周囲の車両の情報を用いて, 必要ない経路を削除し, なおかつ, 可能な限りの車両にパケットを通信することが可能となる.

4. シミュレーション結果

本システムを評価するために, 全長1kmの3車線直線道路を想定したシミュレーションを行った. 車線の幅は, 3.5mとし, この仮想道路上を100台の車両が, 進行方向に対して右側の車線から順に80km/h, 100km/h, 120km/hの平均速度で走行するものとした. また, 通信システムのパラメータを表1のようにした.

この環境下における, シミュレーションの結果を以下に示す.

4.1 トラフィックとディレイの関係

すべての車両に車載器を搭載し, 各車両におけるパケット発生間隔を変化させ, パケットの到達台数と伝搬遅延を調べた. この関係を図8に示す.

この結果, 本シミュレーションの条件である, 伝送容量が256kbpsの場合であれば, 一車両あたり, 毎秒0.5個程度のパケット発生までは十分に処理できることがわかった. 毎秒0.5個以下のパケット発生の場合には, いずれの結果でも, 30hopでの遅延は1000ms程度であり, 遅延の増加はほぼ線形である. このため, 1hop単位での遅延は約30msであり, 十分実用的であると思われる. 但し, 実際の環境では, 道路長が長いため一つのパケットが伝わる車両の数が本シミュレーションよりも多くなることが予想される. このため, このままの手法を使用すると, 同じパケット発生間隔

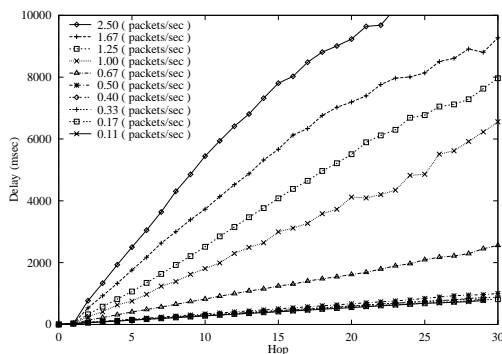


図8 パケット到達台数と伝搬遅延
Fig.8 Transmission Delay per Hops

でも、ネットワークの負荷は高くなると思われる。このような環境では、パケットが非常に広範囲へ流れてしまうことを防止するために、パケットの伝搬を停止するための制限を設ける必要がある。また、データの種類に応じて、パケットの伝搬すべき範囲は異なることが予想される。例えば、自車両の速度などの情報は近傍の車両だけに伝搬されれば十分であるが、事故情報などはより広く伝搬する必要がある。本シミュレーションでは実装していないが、この方法としては、

- (1) hop 数をカウントし、一定 hop 数を越えた時に、そのパケットを他の車両に渡すのを停止する。
- (2) 伝搬された車両の車間距離を加算していき、それが一定距離を越えた時に、そのパケットを他の車両に渡すのを停止する。

の、2通りを考えている。

4.2 車両密度とパケット到達確率の関係

車載器を全車両が搭載している環境における、車両数とパケットの到達確率（全車両の数に対するパケットの伝搬台数の割合）の関係を図9に示す。この図において、車両密度が15台/km以下になると急激にパケットの到達確率が低下する。これは車両密度の低下に伴い、車載器の伝送距離限界よりも車間距離の方が大きくなるために、各車両が周囲の車両とリンクを張ることが困難になるためである。

また、パケットが毎秒0.33個発生しているものと、毎秒1.0個発生しているものを比較すると、ほとんどの部分で、若干ではあるが、毎秒1.0個発生しているものの方が性能が低くなっている。パケットの発生数が大きくなると、各車両内でパケットの待ち

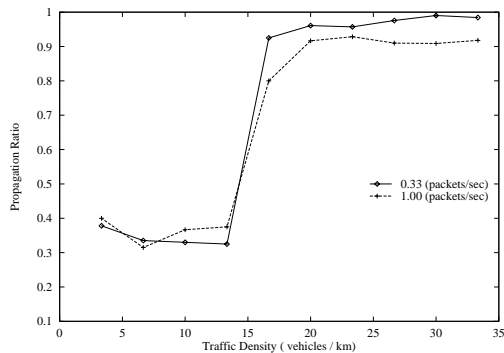


図9 車両密度とパケット到達確率
Fig.9 Traffic Density and Propagation Ratio

列が発生し、パケットが到着してから次の車両に通信されるまでの待ち時間が大きくなる。このため、予定していた伝送対象車両が移動し、伝送できなくなることによる、パケット到達確率の低下が起きているものと推察される。

4.3 車載器搭載率とパケット到達確率の関係

車両密度を一定（全長1kmの3車線直線道路に100台）にして、車載器の搭載率（普及率）を10%から100%まで順次変えた場合の搭載率とパケット到達確率の関係を図10に示す。

車載器搭載率が50%以下では、パケット到達確率は、ほぼ10%近辺で一定しているが、50%を越えると、搭載率に比例して、パケット到達確率は上昇している。車載器搭載率が100%になると、99%の車両にパケットが到達している。

搭載率が低い場合には、非搭載車両が搭載車両の光路を遮蔽することによって、搭載車両同士が、相互に見えないことが到達確率低下の原因である。現状ではこのように車載器の普及率が十分でない環境では、本システムを使用するメリットはあまりない。今後、このような環境下でも有効なアプリケーションを考えることが本システムの実用化にとって重要である。

5. むすび

本論文では、車々間通信の方式として、レーザ光のスペクトル拡散通信を用い、分散環境下で、向かい合う送受信器のみでリンクを確立する方法について論じ、この通信方式を用いた車両ネットワークの効率的な構築方法を提案した。また、この車両ネットワークについて、コンピュータシミュレーションを用いて評価し、

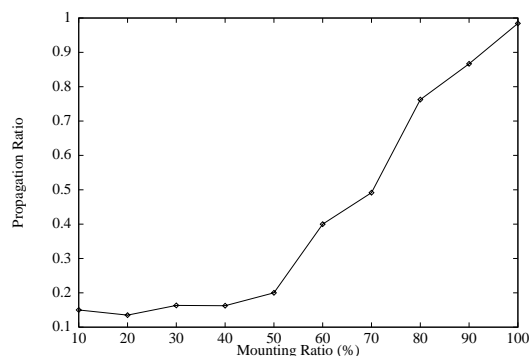


図 10 車載器搭載率とパケット到達確率
Fig. 10 Mounting Ratio and Propagation Ratio

その実用性について考察した。

現時点でのシミュレーションは必ずしも現実的な環境でのシミュレーションとは言えないが、少なくとも現実よりも厳しいと思われる環境でのシミュレーションを行ってある。今後は、実際の車両の挙動、および発生するデータを考慮して、より現実的な環境における評価を行う必要があると考えられる。

現在の方式の問題点として、機器が複雑であり、ハードコストが高い点が挙げられる。そこで、今後の問題点として、このハードコストをどのように安くし、一般に普及可能なものにするかを考えなければならない。また、普及過程において、十分に周囲の車両と通信が行えない場合についても、有意義な利用方法（アプリケーション）の開発を行わなければならない。

さらに、現在のところ、通信できる車両は前後方向の車両だけであるが、交差点や並走状態などを考慮し、横方向にも通信を行えるような方式を検討する必要がある。

現在本論文で述べた通信方式を基に、より単純で、安価なハードで通信が行える方式を検討し、また、より効果的なアプリケーションの検討を行っている。

文 献

[1] (財)道路交通情報通信システムセンター. 「VICIS の挑戦」. VICIS センター, 1996

[2] Shinsaku Yamada. “The Strategy and Deployment Plan for VICIS”. *IEEE Communications*, Vol. 34, No. 10, pp.94–97, 10 1996.

[3] K.Takada, Y.Tanaka, A.Igarashi, and D.Fujita. “Road/Atomobile Communication System(RACS) and its Economic Effect”. *IEEE Vehicle Navigation and Information System Conference*, pp. A–15–21,

Sep. 1989.

[4] Hiroyuki Okamoto and Masahiro Hase. “The Progress of AMTICS —Advanced Mobile Traffic Information and Communication System”. *Vehicle Electronics in the 90's Society of Automotive Engineers, Inc.*, pp.217–224, 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] 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.

[8] 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.

[9] 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, 1995.

[10] Simon Hoff, Dirk Hübner, and Frank Reichert. “Protocols for mobile short range communication based on transponders”. *IEEE 41st Vehicular Technology*, pp. 636-641, 1991.

[11] 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, SANE89-49, pp.39–44, 1 1990.

[12] 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.

[13] 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」. 電子情報通信学会技術研究報告, SST91-20, pp.29–34, 8 1991.

[14] 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, Vol.1, pp.407–408, 1993

[15] 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.

(平成 8 年月日受付)

屋代 智之 (正員)

平 2 慶大・理工・計測卒. 平 10 慶應義塾大学理工学研究科計測工学専攻後期博士課程単位取得退学. 平 10 より千葉工業大学情報ネットワーク学科講師. 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。著書に「C/C++教科書」。電子情報通信学会，情報処理学会各会員。

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。