

車車間通信におけるPN符号衝突回避 のための周波数割当に関する方式

Frequency Clearance System to avoid PN Code Collision in Inter-vehicle Communication

土橋健太郎^{1*} 田代裕和¹ 富永英義²
Kentaro DOBASHI¹, Hideyoshi TOMINAGA² and Hirokazu TASHIRO¹

¹ 早稲田大学国際情報通信研究科

¹ Graduate School of Global Information and Telecommunication Studies, Waseda University

² 早稲田大学国際情報通信研究センター

² Global Information and Telecommunication Institute, Waseda University

Abstract: This paper proposes a scheme that avoids PN code collision in simultaneous communication system for safety driving. When spectrum distributions are utilized in inter-vehicle communication, vehicles choose suitable PN codes by recognizing the neighboring PN codes already in use. However, due to the movements of vehicles, vehicles will come across unexpected vehicles passing through or oncoming. That causes PN code collision. To cope with the problem, the proposed scheme divides the carrier frequency according to the direction of vehicle movement. In this scheme, since the oncoming vehicles are assigned with different frequency, PN code collision can be avoided. Simulation result shows that the proposed scheme reduces the rate of PN code collision.

1 まえがき

自動車社会における安全性の向上, 渋滞緩和や新しいネットワークの創造を目的とした, ITS (Intelligent Transport System) は, 国内外において標準化が進められている [1]. 国際標準化は, ISO/TC204 を中心として, IEC, JTC1 および ITU などで行われている. また, 国内の標準化組織としては, この ISO/TC204 等への提案を目的とした ITS 標準化委員会がある. ISO/TC204 では, WG1 から WG16 まで分科会が分かれており, 走行制御や通信などに関して標準化が進められている. 中でも, 車両の走行制御については WG14, 路車間通信などの狭域通信については WG15 で, IP ネットワークによる広域通信については WG16 で検討が進められている.

ITS の標準化の課程において, 車車間通信ネットワーク (IVCN: Inter-Vehicle Communication Network) は, 走行支援道路システム (AHS: Automated Highway System) や高度車両制御・安全システム (AVCSS: Advanced Vehicle Control and Safety Systems) の実現のために

提案が進められている [2, 3, 4].

しかし, 車車間通信ネットワークにおいては, これらの目的以外にも, インターネットや携帯セルラーインターネットに続く新たなブロードバンドネットワークとしても利用されることも期待されている [5, 6]. つまり, 多様な使用目的に適応できる一斉同報通信型プロトコルについて標準化することが望まれる. 本論文では, 一斉同報通信に焦点を絞っていき, 以下車車間通信とは一斉同報通信による通信の事を示す. そして, この一斉同報通信は, 安全走行や協調走行のための通信が確実に行われ, その他のサービスへも利用可能な通信を目的としたものである.

これまで, 車車間通信に関する国内での標準化に向けた活動は, DSRC (ARIB STD-T75 準拠) を元に, つまりタイムスロットを割り当てることで通信する方式 [7] や TDMA, R-ALOHA を用いた方式がある. 車車間通信において, タイムスロットを割り当てるには, センター制御による割り当てる方法が, 自律分散的に互いの車両で同期を取る必要がある. どちらも, 車両の移動により頻繁に, 同期を取る必要が出てくる.

他にも, 2000 年 12 月に筑波において協調走行実車走行のデモ (Demo2000) の成果 [8] により, DOLPHIN

*連絡先: 早稲田大学国際情報通信研究科
〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 富永研究室
E-mail: doba@tom.comm.waseda.ac.jp

(Dedicated Omni-purpose inter-vehicle communication Linkage Protocol for Highway automatioN) という通信プロトコル [9] が検討された。このプロトコルは、Non-Persistent CSMA 方式を採用している。CSMA 方式は、各車両がキャリアセンスによる通信を行うので、車両環境変化に応じて通信を行うことができ、柔軟性に優れている。しかし、数十ミリ秒単位で周囲の車両へ自車両情報を一斉同報通信することを前提とした場合、逐一キャリアセンスするのは、車両数が増加するとともに無線利用効率が下がる。

そこで、スペクトル拡散技術により PN 符号を利用した通信方式が、車車間通信における定期的な一斉同報通信において、リアルタイム性に優れている。さらに、スペクトル拡散技術は一般的にマルチパスフェージングに対する耐性に優れている。PN 符号を用いた車車間通信方式には、従来、60GHz 帯のミリ波を用い、測距も同時に行うという方式が検討されている [10, 11, 12, 13]。しかし、本論文での対象は、多数の車両が同時に一斉同報通信できるプロトコルに焦点をあてる。

PN 符号を用いた一斉同報通信に関する検討は、周囲の車両の通知情報を読み取り、空いている PN 符号を探索し自車両の情報を通信するという方式が検討されている [14]。この方式は、MCS/CDMA システムとして、一斉同報通信を行う車車間通信のためのプロトコルとして提案されている。他にも、周囲の車両との符号衝突を回避する手法が検討されている [15]。

しかし、各車両が空いている PN 符号を探索し、一斉同報通信を行っている間にも、道路における車両の状況というのは逐次変わっている。つまり、予測外の PN 符号が現れることによる符号系列の衝突という問題がある。安全走行や協調走行のようなサービスを前提とした場合、車両同士の間で一時的にでも通信が不能になることは致命的な問題である。そこで、本論文では、この予測外の PN 符号の衝突を根本的に回避するための手法について提案を行う。車両は、道路の上を走行しているので、同じ車線を走っている車両は暫く同じ方向を走行する。この特長を用いて、車両の進行方向ごとに周波数を割り当て、その中で PN 符号の割り当てを行うという方法について検討を行った。この場合、進行方向の異なる車両は、異なる周波数を搬送波として用いているため、すれ違いなどによる PN 符号の衝突を回避することができる。

以下、まず 2. では、すれ違いなどによる予測外の PN 符号の出現による衝突が現れるという問題点について説明する。そして、根本的な解決方法の必要性について述べる。次に、3. では、車両走行方向ごとに周波数を割り当てる基本的な方式について提案を行う。そして、4. で計算機シミュレーションについての説明と結果について紹介する。シミュレーションは、通常の自律分散的な CDMA 方式を用いた場合と本提案手法で

ある、車両方向ごとに周波数を割り当てる方法について、比較、最適なパラメータ導出を目的に行った。最後に、5. でまとめと今後のヴィジョンについて考察をする。

2 予測外の PN 符号出現による衝突

2.1 前提とする通信モデル

はじめに車車間通信における、各車両の通信モデルについて説明をした上で、PN 符号の衝突に関して考察する。図.1 は、MCS/CDMA により各車両が周囲の車両で利用されている PN 符号をセンシングしている様子を表す。そして、各車両が空いている PN 符号を用いて、定期的に自車両情報を周囲の車両へ一斉同報通信する。

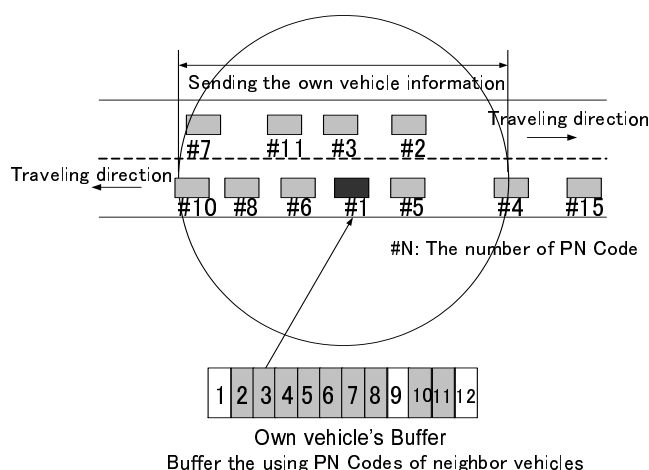


図 1: PN 符号の割当

2.2 PN 符号の衝突

図.2 に示すように、対向車両とのすれ違いや、交差点における一時的に異なる道路とのすれ違いなどにおいて、PN 符号の衝突が起きる。これは、あらかじめ各車両が周囲の車両で使われている PN 符号をバッファに貯めて記憶していたとしても、PN 符号のセンシングを行った距離よりも外から新たな車両が現れることにより発生する。図.2 において、当該車両は、周囲の PN 符号の中で #6 が利用されていないのを確認してから、自車両情報を伝達するのに、#6 という PN 符号を用いる。しかし、離れた対向車線上にも、同じ #6 という PN 符号を用いた車両が存在し、互いに車両がすれ違うときに、PN 符号の衝突が起きる。

同様に、交差点など複数の道路が交差する所におい

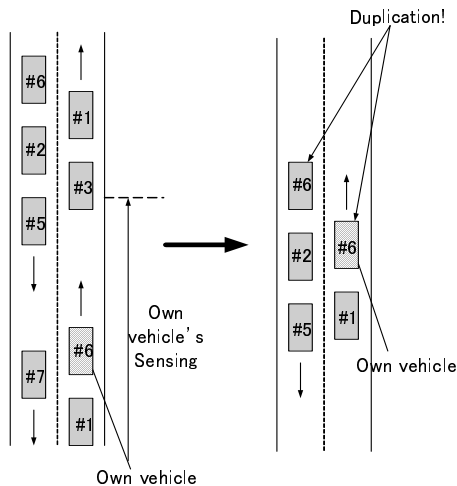


図 2: PN 符号の衝突

ても PN 符号の衝突が起きる。このような予測外での PN 符号の衝突を回避するために、通信範囲よりも数倍広い範囲で空いている符号系列を探索する方法も考えられる。しかしこの場合には、車両数の増加により利用できる PN 符号の数が不足するという問題があり根本的な問題の解決には至らない。

また、対向車からの干渉特性を解析することにより通信の誤りを回避する方法 [17] が検討されている。しかし、この手法を用いたとしても数十という車両群同士が会うような場面においては、逐一 PN 符号ごとに干渉を回避するのは困難な状態である。

そこで、各車両に限られた範囲の中で PN 符号をセンシングし、空いている PN 符号を利用したときに、対向車両や交差点などの離れた所からやってくる車両との PN 符号の衝突を回避する方法が安定した車車間通信を行うために必要不可欠である。

3 車両進行方向に応じた搬送周波数の割り当てによる DS-CDMA 方式

3.1 提案手法モデル

車両は、道路上をある一定の時間に同一方向に進むというモビリティの特徴を活かすことで、予測外の PN 符号の衝突を回避することができる。つまり、車両の走行する方向ごとに、異なる搬送周波数を割り当てることにより、走行方向の異なる車両同士は決して、PN 符号が衝突することがなくなる。

図.3 にある 3 つの図は、それぞれ車両走行方向を、2,4,8 に分類した例を示している。各車両は、自車両の

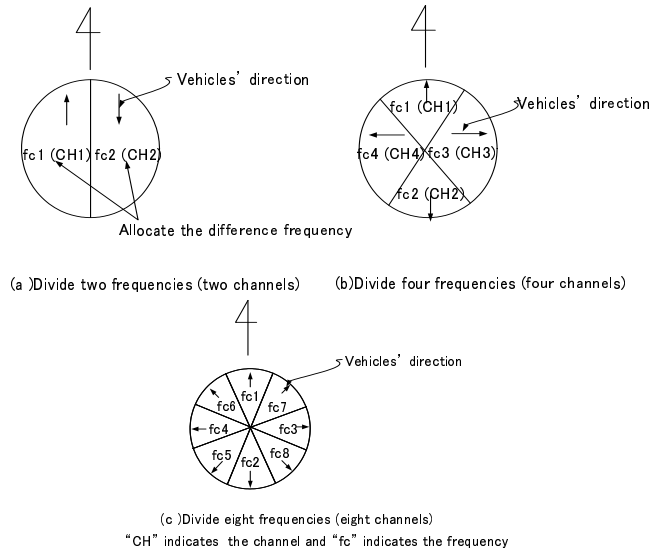


図 3: 車両進行方向による周波数割当

走行方向によって、図.3 にあるように、送信するための搬送波周波数を決定する。ただし、図.1 にあるように、各車両はある距離内にある全車両の PN 符号を受信している。そして、複数の搬送波周波数に分類するこの手法においては、全搬送波周波数における全 PN 符号を受信している。つまり、図.4 に示すように、全搬送波周波数における全 PN 符号の空き状態をバッファに蓄積しておいてある。そして、自車両の送信すべき搬送波周波数が決定すると、バッファ内からその搬送波周波数における空いている PN 符号を割り当てることができる。

fc1	PN1	PN2	...	PNk-1	PNk
fc2	PN1	PN2	...	PNk-1	PNk
fc3	PN1	PN2	...	PNk-1	PNk
fc4	PN1	PN2	...	PNk-1	PNk

PN1 PN1 is allocated by the other vehicle
 PN1 PN1 is not allocated

図 4: 提案手法における各車両の PN 符号蓄積データ

3.2 予測外の PN 符号衝突回避

図.5 に示すように、車両走行方向ごとに搬送波周波数を分類することによって、すれ違いによる PN 符号の衝突を回避することができる。図.5 では、当該車両が搬送波周波数 fc1 の PN 符号 PN#6 を割り当てている。

そして、対向車両の同じ PN 符号を PN#6 を割り当てられている車両は、走行進行方向から搬送波周波数が f_{c2} である。そこで、同じ PN 符号 #6 を割り当てられた車両同士がすれ違ってても、PN 符号の衝突を回避することができる。

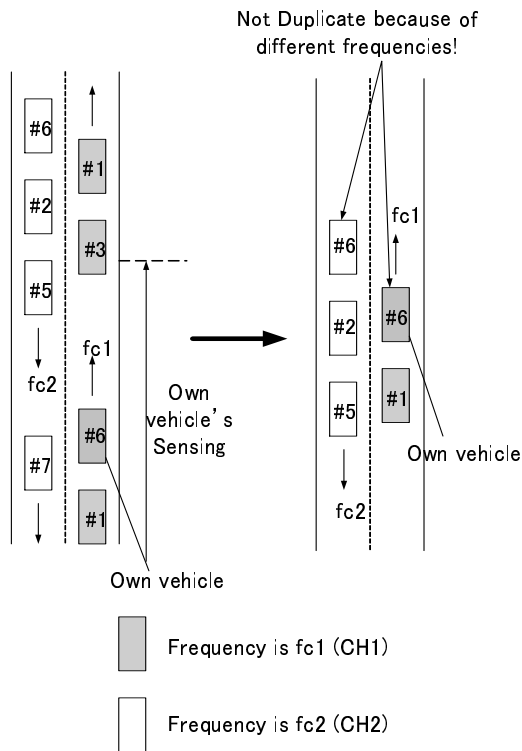


図 5: 予測外での PN 符号衝突回避

3.3 車両の進行方向ごとに搬送周波数を選択するシステム

図.6 に、車両の進行方向ごとに搬送周波数を選択する場合の、送信器および受信器について示す。

送信器は、はじめに車両方向を認識することで、送信すべき搬送周波数を決定する。その後、あらかじめ蓄積しておいたバッファから、空いている PN 符号を選択する。そして、それぞれの搬送周波数、PN 符号により拡散させ送信する。

ただし、送信器のはじめの車両方向を決定する方向は、ある一定時間以上監視をして最も多い方向を決定する。これは、車両の方向が、搬送周波数を分類する境近くにあるときに、周波数が頻繁に変更されることを防ぐためである。

受信機は、搬送周波数の分類の数だけ、アンテナがある。そして、それぞれのアンテナごとに PN 符号の Matched Filter が配置されている。この部分の Filter

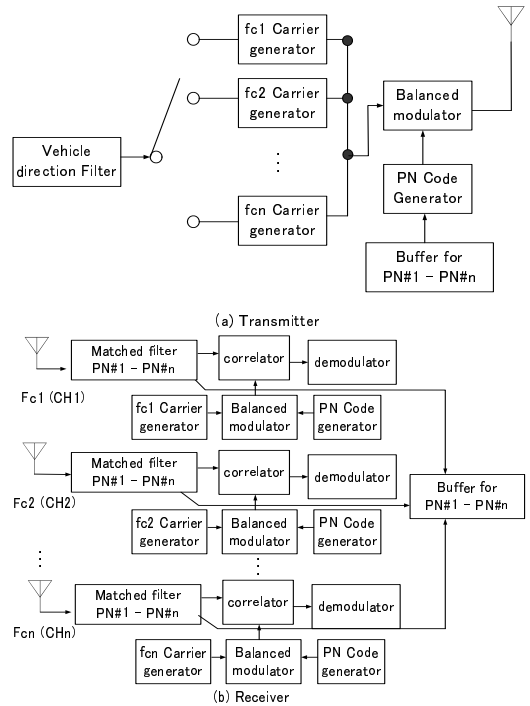


図 6: 提案システム図

により、各搬送周波数ごとの使用されている PN 符号をバッファに蓄積することができる。それぞれ、Matched Filter を通過したデータは、PN 符号、搬送波により逆拡散されデータが得られる。

4 計算機シミュレーション

4.1 予測外での PN 符号衝突に関するシミュレーション

はじめに、予測外での PN 符号衝突に関する計算機シミュレーションを行った。実際には、図.7 にあるようなネットワークモデルにおいて、PN 符号の衝突に関するシミュレーションを行った。対向車線ごとに、各車両群において PN 符号のセンシングが届かないだけ充分離れた位置に、それぞれ車両を配置し PN 符号の割り当てを行う。PN 符号の割り当てをそれぞれ行った後に、ある時間が経過しそれぞれの車両群がすれ違った場合の PN 符号衝突の割合について検証した。車両数は、図.7 における、下側の車両群の車両の数を 10 台、30 台、そして、図.7 における上側の車両群は、下側車両群の車両数に対して、0.1 倍から 1.0 倍で行った。その他のシミュレーション条件を、表.1 に示す。

この時、出会う車両割合 α における PN 符号の衝突についてシミュレーションした結果を、図.8 に示す。

表 1: シミュレーション条件 1

PN 符号のチップレート	10-35[Mchips/sec]
Bit Rte	500[Kbits/sec]
PN 符号数	16-64
PN 符号センシング距離	200 [m]

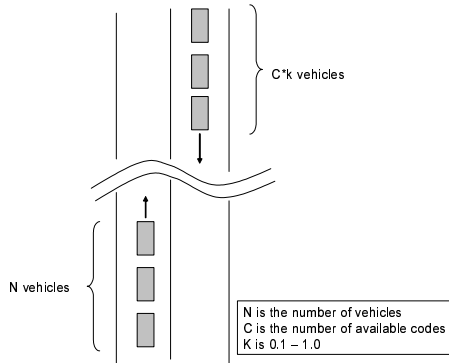


図 7: 予測外の PN 符号衝突に関するモデル

出会う車両割合 α とは,

$$\alpha = \frac{\text{出会う車両数}}{\text{利用可能な PN 符号数}} \quad (1)$$

である.

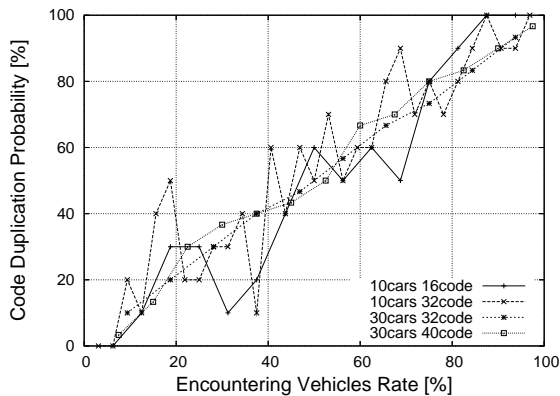


図 8: 車両数ごとの予測外の PN 符号衝突割合

図 8 から, 出会う車両の割合が多くなるほど, PN 符号の衝突の割合は大きくなる. それは, 割り当て可能な PN 符号の数に関わらず, PN 符号の衝突割合が変化していくのが分かる. 例えば, 割り当て可能な PN 符号の数が 32, 元の車両数が 10 台, 30 台の時に, どちらも出会う車両の数に応じて同じ傾きを持って, PN 符号衝突の割合が大きくなる事が分かる.

図 9 に, 利用可能な PN 符号の数ごとの符号衝突割

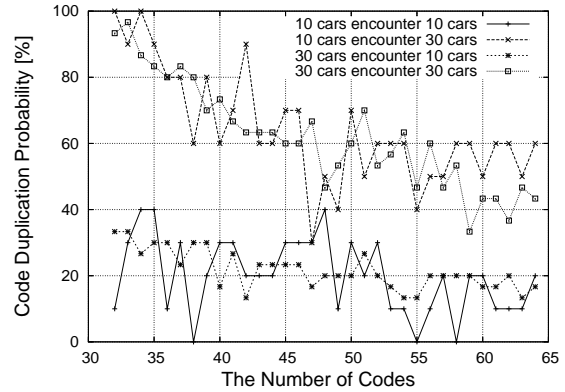


図 9: 利用可能な PN 符号数ごとの符号衝突割合

合の結果を示す. シミュレーションは, 元の車両群の数と出会う車両群の数について 4 種類のパターンについて行った. シミュレーションの結果は, 大きく二つに分かれることが示されている. 出会う車両群の数が 10 台の場合と 30 台の場合で大きく分かれている. つまり, 元の車両数に関わらず出会う車両の数によって, PN 符号の衝突割合が決まってくる事が分かる. さらに, 予測外の PN 符号衝突の割合は, 利用可能な PN 符号の数がある一定以上増やしても効果が上がらないことが図 9 から分かる. 例えば, 30 台の車両と出会う場合には, 利用可能な PN 符号が 40 以上の場合には符号衝突の割合に変化がないのが分かる. そして, 道路上での車両のモビリティの性質上, ある一定距離走行すると, 新しい車両とのすれ違いが起きるため, 符号系列の衝突が必ず起きることが分かる. また, 新たな車両とすれ違う度に, 新たな PN 符号を割り当てることもできるが, 常に対向車線や交差点を通過するたびに PN 符号が変わるプロトコルでは, リアルタイム性のある予約型 CDMA プロトコルを用いる利点が少なくなってしまう.

4.2 車両進行方向ごとに分割する搬送周波数の数と PN 符号衝突割合に関して

提案手法では, 車両のモビリティに関する特性を活かし, MCS/CDMA プロトコルにおいて車両進行方向ごとに搬送周波数を割り当てることで, 予測外の PN 符号衝突を回避する. これは, 車両が同一方向に暫く走行している間は, 他の方向を走行している車両との PN 符号衝突を回避することができる. これは, 様々な道路の方向に対応している程, PN 符号の衝突回避の割合が高くなっていく. つまり, ある周波数幅を分割する数が多いほど, 多くの車両方向に対応することが可能になっていく. しかし, 周波数幅は限られてい

るのでスペクトル拡散に用いる周波数幅を分割するほど、利用できるPN符号の数が少なくなってくる。図.10に示すように、周波数を分割すると利用できるチップレートが少なくなるの分かる。図.10(a)はある周波数幅を一つの拡散変調波のスペクトルで用いた場合、図.10(b)はある周波数幅を二つの拡散変調波のスペクトルで用いた場合の例である。二つで用いた場合、一つの場合に比べてチップレートが半分になっているの分かる。つまり、周波数幅を二つに分割した場合、一つのスペクトル拡散において利用可能なPN符号の数も半分になる。

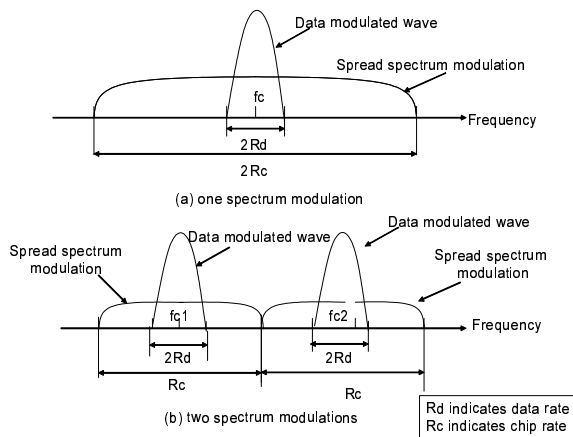


図 10: スペクトル拡散

そこで、車両方向ごとに分割する搬送周波数の分割数とPN符号衝突の割合に関して計算機シミュレーションを行った。そして、実際の道路形状をモデルとして、図.11に示すような3種類の道路形状を用いた。一つ目の道路形状は、まっすぐな道路に対向車線にそれぞれ一車線ある形状である(Scene1 とする)。つぎに、まっすぐな道路に45度傾いた道路が2本交差している形である(Scene2 とする)。そして、最後に8差路の形状である(Scene3 とする)。それぞれの道路形状において、ある方向の道路が青の信号を示しておりその道路上にいる車両のみが移動した場合についてシミュレーションを行う。

車両の配置方法は、それぞれのシミュレーションごとに平均車両間隔を決定し、平均車両間隔から車両数を割り出し、図.11上にランダムに配置する。シミュレーション開始後に、周囲200[m]以内の車両のPN符号使用状況から当該車両のPN符号を割り当てる。車両進行方向ごとの搬送周波数の割り当ては、図.3に示した方法で行った。

表.2にシミュレーションパラメータについて示す。

また、車両走行方向によって分割する搬送周波数の分割数と、拡散幅、Chip rate, Code数について表.3

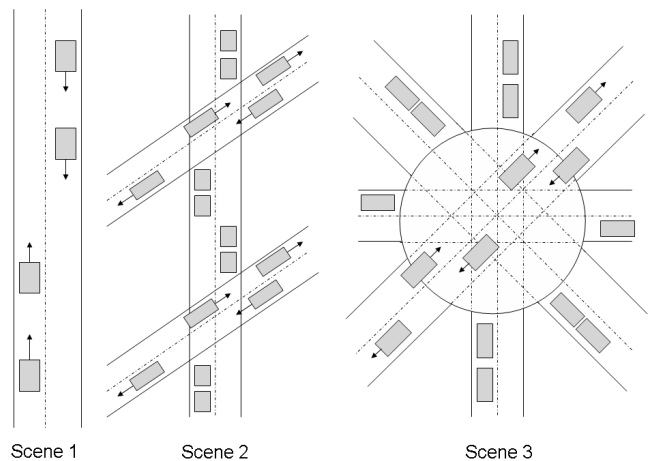


図 11: 道路モデル

表 2: シミュレーション条件 2

変調方式	DS/SS
Bit rate	500kbps
搬送周波数	5.8Ghz 帯
道路長	2000[m]
車両密度	1,50[m]
PN符号センシング距離	200 [m]

に示す。

図.12,13,14にそれぞれの道路モデル(Scene1, Scene2, Scene3)についてのシミュレーション結果を示す。それぞれのシミュレーション結果は、以下に示す3種類のPN符号衝突率を表している。

1. 初期段階でのPN符号衝突率
車両数に対して、車両方向に割り当てられたPN符号数が不足した場合、PN符号を重複して割り当てる。この時の、全車両での重複の割合。
2. すれ違いによるPN符号衝突率
青信号になっている道路の各車両が、シミュレーション上のマップを全て動いたときに起きるすれ違いによるPN符号衝突の割合。
3. PN符号衝突合計
移動した車両に対して、(1)と(2)の両方の衝突数を合わせた割合。搬送周波数に関する分割数とPN符号の衝突の関係はこの合計の割合を見て判断する。

図.12のScene1道路モデルにおける分割数とPN符号衝突率は、平均車両間隔が1[m], 15[m]どちらの場合も搬送周波数分割数が分割した方が削減しているこ

表 3: 搬送周波数分割数と関連パラメータ

分割数	拡散幅 [MHz]	Chip Rate [Mchips/sec]	Code 数
1	80	40	80
2	40	20	40
4	20	10	20
8	10	5	10

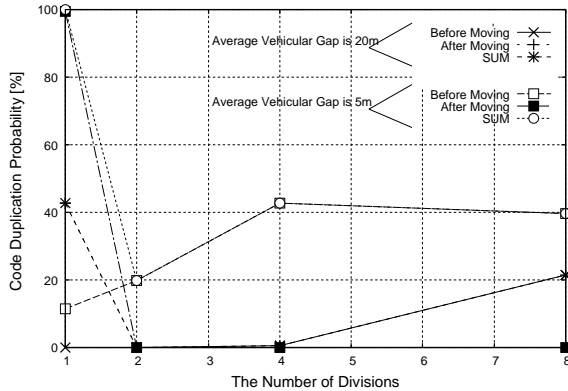


図 12: Scene1 道路モデルにおける分割数と PN 符号衝突率

とが分かる．分割数は，この道路モデルの場合 2 が最も PN 符号衝突率が低くなっている．これは，4 分割や 8 分割に分割した場合は，利用していない搬送周波数が存在し，初期状態の割り当てのときに PN 符号の不足が増えているからである．

図.13 の Scene2 道路モデルにおける分割数と PN 符号衝突率は，平均車間距離が 1m と渋滞時には 4 分割に搬送周波数を分けた時が，最も PN 符号衝突が低くなっている．一方，平均車間距離が 15[m] の時には，4 分割と 8 分割の時に PN 符号衝突率が低くなっている．これも同様に，道路モデルが 4 方向の道路であるので，対応した搬送周波数の分割数のときに PN 符号を最も効率よく使えているからである．図.14 の Scene3 道路モデルにおける分割数と PN 符号衝突率は，4 分割のときに最も PN 符号衝突率が低く抑えられている．これは，それ以上分割した 8 分割では一つの方向に割り当てられた PN 符号数が不足しているためである．

以上から，全ての場合において，搬送周波数を分割することで予測外の PN 符号衝突を削減することが確認できた．また，搬送周波数を分割する数は道路モデルの道路方向の数に類似している方が，搬送周波数の分割をすることで PN 符号衝突を削減することができる．

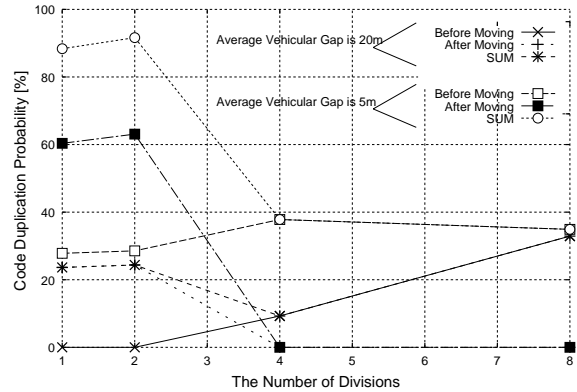


図 13: Scene2 道路モデルにおける分割数と PN 符号衝突率

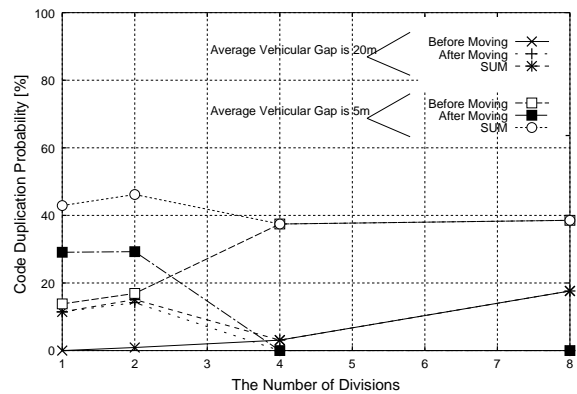


図 14: Scene3 道路モデルにおける分割数と PN 符号衝突率

5 むすび

本論文では，車車間での一斉同報通信において，車両の移動に伴う PN 符号衝突を回避するための手法について提案した．さらに，スペクトル拡散を用いた広域通信の国際標準 ISO/TC204 への提案のための検討として，DSRC の 5.8GHz 帯においてシミュレーションを行った．

車車間通信において，自立分散ネットワークを構成する際に，根本的にある課題として，車両のモビリティがある．車両が高速で移動することにより，短時間に多くの対抗車両や交差点での他の車両とのすれ違いが起きる．車車間通信において，PN 符号等を用いた CDMA 通信を分散的に行う場合，各車両が隣接車両において使われていない PN 符号を探索し，空き符号を使うことになる．しかし，一度空き符号と判断した符号も全ての車両が動くことにより，符号の衝突が起きてしまう．シミュレーションにより，出会う車両数に応じて PN 符号衝突の割合が大きくなることが分かった．

そこで、本論文では車両の方向に応じて、異なる搬送波周波数を割り当てることで、車両のすれ違いによる PN 符号の衝突回避を行った。すれ違う車両同士は、進行方向が異なるため、搬送波周波数が異なり PN 符号が同じでも衝突することはない。そして、搬送波周波数の分割を多くするほど、あらゆる道路の向きに対応することができ、すれ違いによる予測外での符号衝突は削減される。しかし、搬送波周波数の分割数を多くするほど、一つの拡散幅が小さくなるので符号利用効率率が低下する。

シミュレーションでは、3つの道路モデルにおいて、搬送波周波数の分割数と PN 符号衝突数の関係について調べた。全てのモデルを見ると分割数は2つか4つの場合が最適で、分割しない場合や8つに分割する場合に比べて良い結果が得られた。

今後は、搬送波周波数分割によって拡散幅が小さくなることによる、利用可能な PN 符号数の不足についても合わせたシステムを検討する必要がある。つまり、同一の PN 符号に対して複数の車両が割り当てを行い、自律分散環境においてなるべく簡易なシステムを構成する必要がある。さらに、ここまでの初期検討を実際に実現していく上で、マルチパスフェージングなどの実現可能性についても検討していく必要がある。また、実際の地図を分析することにより、必要な道路モデルというものをモデル化し、提案手法の妥当性についてさらに検討する必要がある。

参考文献

- [1] ITS 標準化委員会ホームページ, <http://www.its-jp.or.jp/ISODB/>
- [2] 津川定之, "ここまで来た日本の ITS 技術," 自動車技術, Vol.58 No.1 pp.75-80 2004
- [3] 津川定之, "車車間通信とその応用," 自動車技術, Vol.58 No.2 pp.26-31 2004
- [4] Enkelmann, W, "FleetNet - applications for inter-vehicle communication," IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2003
- [5] 砂原秀樹, 佐藤雅明, 植原啓介, 青木邦友, 村井純, "IPCar: インターネットを利用した自動車ブローブ情報システムの構築," 信学論 (B), Vol.J85-B No.4 pp.431-437 2002 年 4 月
- [6] 渡辺茂道, 辻ゆかり, "IMT-2000 をベースとした ITS ネットワークにおける基地局配備法の提案と評価," 信学論 (B), Vol.J82-B No.11 pp.1974-1982 1999 年 11 月
- [7] 平岩賢志, 坂本敏幸, 森光正, 野明俊道, "DSRC (ARIB STD-T75 準拠) システムの実装及び評価," 信学論 (A), Vol.J86-A No.12 pp.1382-1393 2003 年 12 月
- [8] Sadayuki Tsugawa, Shin Kato, Kiyohito Tokuda, Takeshi Matsui, Haruki Fujii, "A Cooperative Driving System with Automated Vehicles and Inter-Vehicle Communications in Demo 2000," Proc. IEEE Intelligent Transportation Systems, 2001
- [9] Kiyohito Tokuda, Masami Akiyama, Haruki Fujii, "DOLPHIN for Inter-Vehicle Communications System," Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2000
- [10] 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車間通信・測距統合システム," 信学論 (B-2), Vol.J78-B2 No.5 pp.342-349 1995 年 5 月
- [11] 井上保彦, 中川正雄, "スペクトル拡散による車車間通信ネットワークのための MAC プロトコル," 信学論 (B-2), Vol.J77-B2 No.11 pp.718-725 1994 年 11 月
- [12] 屋代智之, 松下温, "車車間通信を用いた車車間ネットワークの構築に関する提案," 信学論 (B), Vol.J82-B No.1 pp.9-18 1999 年 1 月
- [13] 上田篤, 水井潔, 井原俊夫, "コードホッピングスペクトル拡散方式を用いた車車間通信・測距統合システム," 信学論 (A), Vol.J86-A No.12 pp.1394-1403 2003 年 12 月
- [14] Tomotaka Nagaosa, Takaaki Hasegawa, "An Autonomous Distributed Inter-vehicle Communication Network Using Multicode Sense CDMA," Proc. Int. Symp. on Spread Spectrum Techniques and Applications, 1998
- [15] 塚本晃司, 藤井雅弘, 伊丹誠, 伊藤紘二, "車々間・路車間統合システムを用いた単一方向巡回ネットワークの提案と評価," 信学論 (A), Vol.J87-A No.9 pp.1236-1244 2004 年 9 月
- [16] 永長知孝, 長谷川孝明, "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," 信学論 (B), Vol.J82-B No.11 pp.2026-2033 1999 年 11 月
- [17] マイケルロックラン, 中川正雄, "車々間通信における対向車からの干渉特性," 信学論 (B), Vol.J82-B No.11 pp.2034-2042 1999 年 11 月