

対象車で PN 符号を再生する双方向通信が可能な
スペクトル拡散方式を用いた車車間通信・測距統合システムの
マルチターゲットへの適用に関する一検討

水 井 潔

関東学院大学工学部電気・電子工学科 〒236-8501 横浜市金沢区六浦東 1-50-1
E-mail: mizui@kanto-gakuin.ac.jp

あらまし 本稿では、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（ブーメラン方式）の双方向通信化への改良方式として提案されている PN 符号再生型改良ブーメラン方式のマルチターゲットへの適用に関する一検討を報告する。PN 符号再生型改良ブーメラン方式は、B 車の指定 PN 符号を B 車情報の一部として A 車に送信し、A 車で復調された B 車指定 PN 符号を用いて A 車情報を B 車に送信、B 車で A 車情報を復調するとともに、B 車で逆拡散に用いる同期のとれた再生 PN 符号を使用して B 車情報を SS 変調し、A 車に送り返すことで、従来のブーメラン方式と同様な手法により車両 A においては車両 B 情報の復調と車間距離測定ができる、車両 B においては車両 A 情報の復調ができる双方向通信が可能な改良型ブーメラン方式である。この PN 符号再生型改良ブーメラン方式の対象車（ターゲット）を複数（二台）にした場合に使用可能な PN 符号再生型マルチターゲットブーメラン方式を提案する。シミュレーションの結果、提案方式は複数台の対象車両と耐干渉波特性に優れた双方向通信が可能なことが確認された。

キーワード ITS, 高度交通システム, 車車間通信, 測距, スペクトル拡散方式, ブーメラン方式

**A Study on Application of
Inter-vehicle Communication and Ranging System
using Spread Spectrum Technique
with Regeneration of PN Signal in Target Vehicle for 2-Way Communication
to Multi Targets**

Kiyoshi MIZUI

Department of Electrical and Electronic Engineering, Kanto Gakuin University
1-50-1 Mutsuura-Higashi, Kanazawa-ku, Yokohama-shi, 236-8501, Japan
E-mail: mizui@kanto-gakuin.ac.jp

Abstract This paper reports a study on application of Inter-vehicle Communication and Ranging System using Spread Spectrum Technique with Regeneration of PN Signal in Target Vehicle for 2-way communication called PN Regeneration Type Improved Boomerang Transmission System to multi targets. The PN Regeneration Type Improved Boomerang Transmission System uses synchronous PN signal that is regenerated in a target vehicle. Using this system, each vehicle can communicate with the other vehicle and Vehicle-A can measure the distance between two vehicles at the same time with robustness against interference wave. In this paper, we propose PN Regeneration Type Multi Target Boomerang Transmission System. In the proposed system, PN Regeneration Type Improved Boomerang Transmission System is applied to multi targets. From computer simulations, it is confirmed that Vehicle-A can communicate with Vehicle-B and Vehicle-C and can measure the distances of AB and AC at the same time even if a little interference wave exists.

Keyword ITS, Inter-vehicle Communication, Ranging, Spread Spectrum Technique, Boomerang Transmission System

1. はじめに

近年、交通事情の改善を目指して ITS (Intelligent Transport Systems : 高度交通システム) の研究・開発が国内外を問わず盛んに行われている[1]。ITS に関する研究・開発分野は多岐にわたるが、その中に車両間通信技術とポジショニング技術がある。

車両間通信と車間距離測定を同時に実行するシステムとして、ブーメラン方式と呼ばれるスペクトル拡散方式を用いた車両間通信・測距統合システムが提案されている[2]。ブーメラン方式はスペクトル拡散方式 (Spread Spectrum : SS 方式) [3]が通信にも測距にも利用できることに着目し、自車 (A 車) において自車の有する PN 符号を用いて、対象車 (B 車) の情報を得るとともに車間距離 AB を測定できる方式である。

さらに、ブーメラン方式にキャンセラの原理を適用することで、対象車両が B 車、C 車と複数台存在するマルチターゲットの場合でも A 車において B 車、C 車の情報復調と AB 間及び AC 間の車間距離が測定できるマルチターゲットブーメラン方式も提案されている[4], [5]。

一方、車両 A においては車両 B 情報の復調と車間距離測定ができる、車両 B においては車両 A 情報の復調ができる双向通信が可能な改良型ブーメラン方式が三種類提案されている[6]-[9]。CDMA の原理を利用して二種類の PN 符号を使用する方式 (Type1 : 2PN 符号使用型) と A 車で B 車指定 PN 符号を復調した後は A 車の PN 符号をその指定符号に切り替えることで従来のブーメラン方式と同様に一つの PN 符号で双方向通信が可能な方式 (Type2 : 1PN 符号使用型) 及び B 車で逆拡散に用いる同期のとれた再生 PN 符号を使用して B 車情報を SS 変調し、A 車に送り返す方式 (Type3 : PN 符号再生型) である。改良方式はいずれも、従来のブーメラン方式と同様な手法により A 車で B 車の情報を復調すると同時に車間距離 AB を測定するとともに、B 車の指定 PN 符号を B 車情報の一部として A 車に送信し、A 車で復調された B 車指定 PN 符号を用いて A 車情報を B 車に送信、B 車で A 車情報を復調する方式である。

本稿では、三種類の改良型ブーメラン方式のうち最も耐干渉特性に優れている PN 符号再生型 (Type3) に着目し、この方式で対象車が B 車、C 車と二台存在するマルチターゲットの場合に使用可能な PN 符号再生型マルチターゲットブーメラン方式を提案する。シミュレーションの結果、PN 符号再生型マルチターゲットブーメラン方式を用いることで、干渉波の存在する状況下でも、二台のターゲット (B 車、C 車) の情報復調と測距が A 車において行え、A 車の情報を二台のターゲットに送信できることが確認された。

本章に続き 2. では従来のブーメラン方式、マルチターゲットブーメラン方式、PN 符号再生型改良ブーメラン方式について簡単に説明する。3. で今回検討する PN 符号再生型マルチターゲットブーメラン方式を説明し、4. でシミュレーション結果について報告する。

2. 従来型ブーメラン方式

本章では、従来のブーメラン方式とマルチターゲットブーメラン方式及び PN 符号再生型改良ブーメラン方式を簡単に解説する。

2.1 ブーメラン方式

図 1 にブーメラン方式の概念図を示す。簡単にシステムの信号の流れを説明する。

A 車から送出された PN 信号 (PN_A) に B 車が自車両の速度やブレーキ、ステアリングなどの様々な情報 (DATA_B) を乗算 (SS 変調) し、A 車に送り返す。A 車は自車が所有する PN_A を用いて受信信号を逆拡散 (SS 復調) し、B 車情報 (DATA_B) を復調すると同時に、送受する PN 符号の位相差から信号の往復時間を測定し、車間距離を算出する。本方式では、A 車は自車の有する PN 符号のみで B 車の情報を得ることができる。言い替えれば、B 車は A 車の PN 符号に関わらず B 車情報を A 車に伝達できる。ブーメラン方式では情報の伝達は B 車から A 車への単方向通信であり、車間距離測定 (測距) は A 車のみの一端測距である。

2.2 マルチターゲットブーメラン方式

マルチターゲットブーメラン方式の概念図を図 2 に示す。

マルチターゲットブーメラン方式では A 車の所有する PN 符

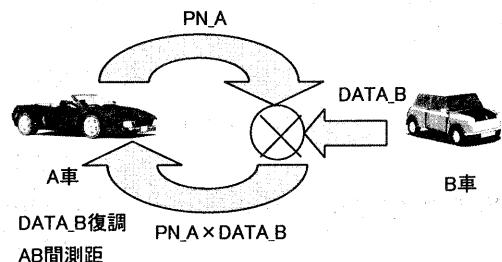


図1 ブーメラン方式の概念図

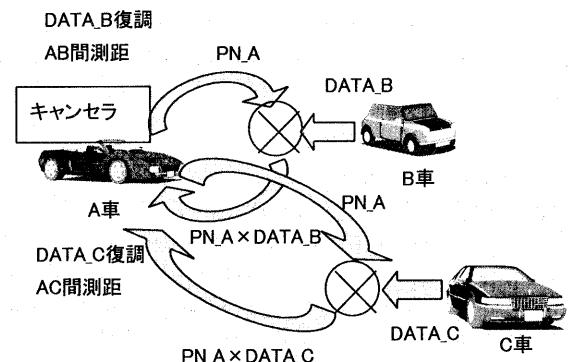


図2 マルチターゲットブーメラン方式の概念図

号 (PN_A) を用いて B 車と C 車が SS 変調を行い、それぞれ A 車に送り返す。A 車においては、まず、近い方の車両（近対象車）の情報復調と測距をブーメラン方式と同様な手法で行う。続いて、復調データと自車の PN 符号並びに測距データをもとにして近対象車から送られてきた信号のレプリカ信号を作成してキャンセル処理を行い、残信号から遠い方の車両（遠対象車）の情報復調と測距をブーメラン方式の手法で行う。

2.3 PN 符号再生型改良ブーメラン方式

図 3 に B 車で PN 符号を再生する PN 符号再生型改良ブーメラン方式の概念図を示す。車両 A においては車両 B 情報の復調と車間距離測定ができる、車両 B においては車両 A 情報の復調ができる双方向通信が可能な改良型ブーメラン方式である。

第一段階では、図 1 に示す従来のブーメラン方式で A 車は A 車自信が所有する PN 信号 (PN_A) を用いて B 車情報復調と AB 間測距を行う。続いて第二段階として、A 車は使用する PN 符号を自車所有の PN_A から B 車指定 PN 符号 PN_B に切り替え、図 3 のシステム構成にする。A 車は B 車指定 PN 符号 PN_B 信号に自車情報 DATA_A を SS 変調し、 $PN_B \times DATA_A$ 信号を B 車に送る。B 車では自車が指定した既知の PN_B なので、PN 符号を同期・再生することが可能である。そこで、PN 符号を同期・再生し、SS 復調することで A 車情報 DATA_A を得る。さらに同期・再生された PN 符号で B 車情報 DATA_B を SS 変調し、A 車に送り返す。A 車では従来のブーメラン方式と同様に自車が使用する PN 符号 PN_B を用いて B 車情報を復調すると共に送受間の PN_B 信号の位相差から車間距離 AB を測定する。

PN 符号再生型改良ブーメラン方式はブーメラン方式では情報の伝達は A 車と B 車との間の双方向通信であり、車間距離測定（測距）は A 車のみの一端測距である。しかし、A 車情報の中に A 車で測定した車間距離情報を組み入れることで B 車も間接的に車間距離を把握できる。また、本稿では PN_B は B 車が指定することにしているが、各車共通の共通拡散符号を使用することも考えられる。

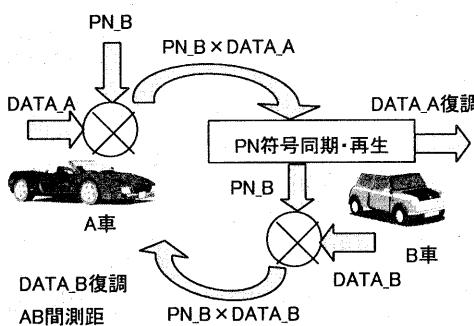


図3 PN 符号再生型改良ブーメラン方式の概念図

3. PN 符号再生型マルチターゲットブーメラン方式

図 4 に提案する PN 符号再生型マルチターゲットブーメラン方式の概念図を示す。

第一段階では図 4(a)のように、従来のブーメラン方式で A 車は A 車自信が所有する PN 信号 (PN_A) を用いて近距離にあるターゲット（近対象車）である B 車情報復調と AB 間測距を行う。続いて第二段階として、A 車は使用する PN 符号を自車所有の PN_A から B 車指定 PN 符号 PN_B に切り替え、図 4(b) のシステム構成にし、B 車とは PN 符号再生型改良ブーメラン方式と同様な手法で双方通信と A 車での AB 間測距を行う。一方、遠距離にあるターゲット（遠対象車）である C 車とは従来のブーメラン方式の PN_A の代わりに $PN_B \times DATA_A$ 信号を用いた手法で接続され、C 車情報復調と AC 間測距を行なう。そして第三段階では図 4(c) に示すように B 車指定 PN 符号 PN_B と C 車指定 PN 符号 PN_C を用いて PN 符号再生型改良ブーメラン方式と同様な手法で B 車及び C 車との双方通信と A 車での AB 間測距、AC 間測距を行なう。

提案する PN 符号再生型マルチターゲットブーメラン方式は三段階のステップを踏まなくてはならないが、第三段階では B 車用 PN 符号と C 車用 PN 符号での CDMA により B 車及び C 車と双方通信が可能となっている。また、B 車と C 車に干渉車両からの干渉波が混入する場合、従来型マルチターゲットブーメラン方式ではその影響が A 車での復調・測距に現れるが、提案する PN 符号再生型マルチターゲットブーメラン方式では対象車である B 車と C 車で PN 符号を同期・再生しているので、ある程度の干渉ならば A 車での復調・測距に影響が生じないことが期待できる。

4. シミュレーション

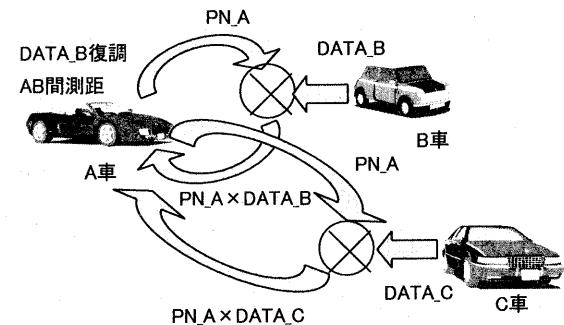
本章では、3. で提案した PN 符号再生型マルチターゲットブーメラン方式の有効性を確認するために行ったシミュレーション結果について報告する。

4.1 シミュレーション諸元

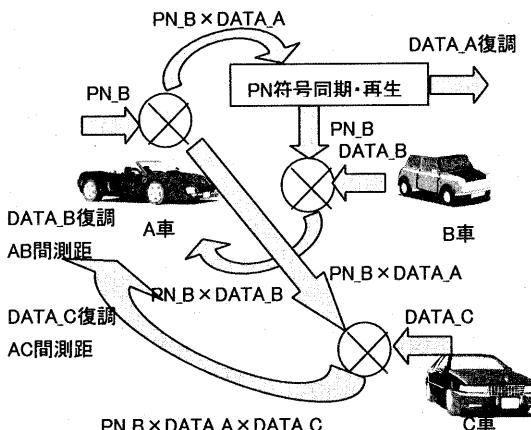
表 1 にシミュレーション諸元を示す。今回のシミュレーションは提案する PN 符号再生型マルチターゲットブーメラン方式の基本的な耐干渉特性を評価することを目的に行ったので、ベースバンド伝送を採用した。また、SS 復調（逆拡散）のための PN 信号の同期獲得は PN マッチドフィルタ出力で検出されたピーク点を用いる方法を使用した。さらに、B 車、C 車からの指定 PN 符号 PN_B と PN_C が A 車において正しく復調・識別されたとの仮定でシミュレーションを行った。また、送信電力は 1 に正規化した。

今回のシミュレーションでは簡単化のために、アンテナの指向性は考慮せず、無指向性アンテナの使用を仮定した。また、信号伝搬は自由空間伝搬とし、信号電力は距離の 2 乗に反比例した減衰を与えた。さらに、路面からの反射波や雑音は考慮せ

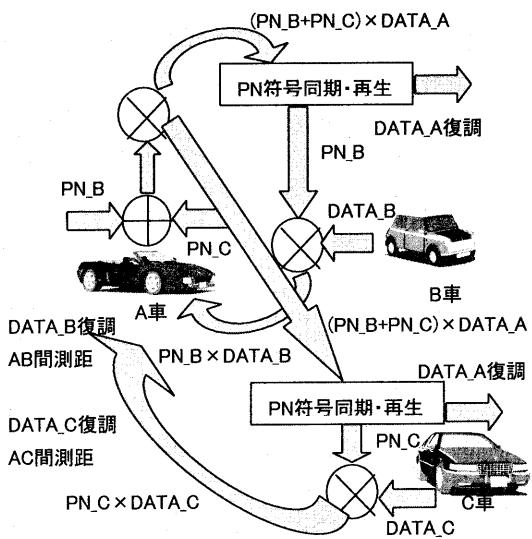
すシミュレーションをした。



(a) 第一段階



(b) 第二段階



(b) 第三段階

図4 PN符号再生型マルチターゲットブームラン方式の概念図

表1 シミュレーション諸元

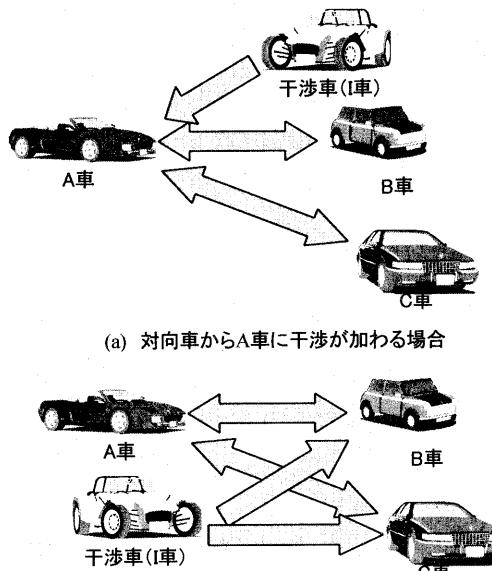
項目	仕様
チップレート	15 [Mchip/sec]
ビットレート	118 [kbit/sec]
拡散率	127
PN 符号	127 chip M 系列
伝送方式	ベースバンド伝送
電波伝搬	自由空間伝搬
車間距離 AB	33 [m]
車間距離 AC	33[m], 36[m], 45[m], 60[m]
距離分解能	1 [m]
最大距離表示	150 [m]
干渉波	他の PN 信号
データ数	10000 [bit]
サンプリングレート	300 [MHz]

干渉波は図5に示すようなモデルでA車またはB車、C車に加えた。(a)は対向車からA車に、(b)は併走車から干渉波がB車とC車に加わった場合をそれぞれ想定している。

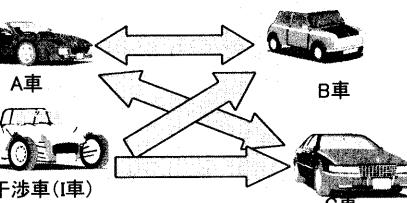
4.2 シミュレーション結果

4.2.1 対向車からの干渉の場合

対向車からA車に干渉が加わったモデル(a)の場合の結果を図6に示す。A車とB車との車間距離が33m、A車とC車との車間距離がそれぞれ33m、36m、45m、60mの場合である。モデル(a)の場合、B車とC車でのA車情報の復調は干渉に関係なく正しく行えた(BER = 0)のでグラフにしていない。横軸はA車と干渉車(I車)との車間距離AIである。(a)は干渉車距離AI対S/I特性である。ここで、SB及びSCはA



(a) 対向車からA車に干渉が加わる場合



(b) 併走車からB車、C車に干渉が加わる場合

図5 干渉波モデル

車受信信号中のB車からの信号電力とC車からの信号電力を意

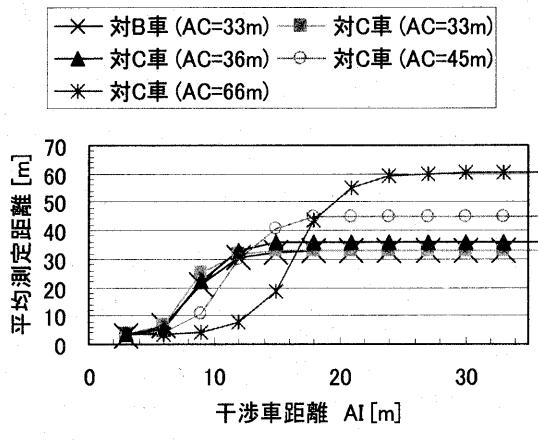
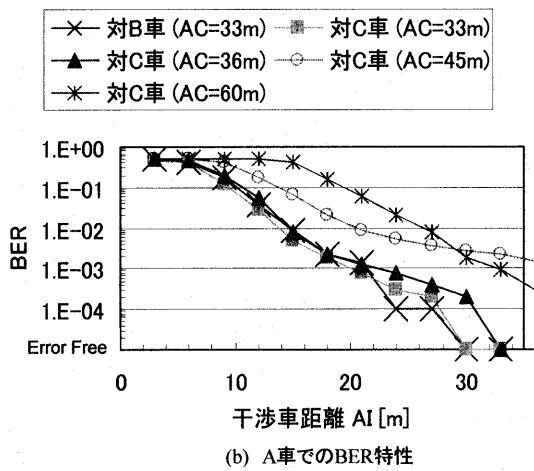
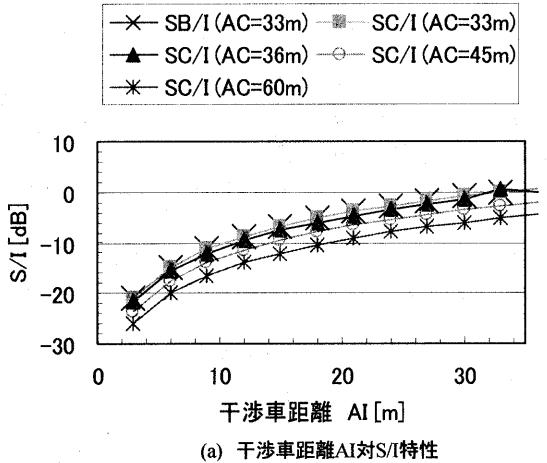


図6 対向車から干渉が加わった場合の
シミュレーション結果

味している。 (b)はA車でのB車情報及びC車情報のビットエラー(BER)特性、(c)は測距特性である。各図においてA車とB車との車間距離ABを33mに固定しているため、A車における対B車のBER特性、測距特性はともにA車とC車との車間距離ACが33m~60mのいずれの場合でも大きな違いがなかったため、AC=33mのときの結果のみを示している。

これらの図より、対向車からA車に干渉が加わる場合、遠対象車であるC車のBER特性、測距特性が近対象車であるB車のそれらに比べて劣ることが分かる。これは、A車で受信されるC車電力がB車電力に比べて低いためであり、C車とA車との車間距離が大きくなるほどA車でのC車受信電力が小さくなるので対C車の特性が劣化する。また、AB=AC=33mとB車とC車がA車から等距離に存在する場合、従来のマルチターゲットブームラン方式ではB車、C車が同一のPN符号を用いてSS変調しているので、互いに干渉しあい、復調、測距ともに困難であったが、提案するPN符号再生型マルチターゲットブームラン方式では、B車とC車が異なるPN符号を用いてSS変調しているので、復調、測距ともに同じ特性で行われていることも確認できる。

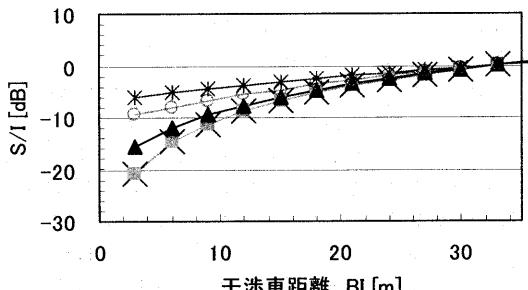
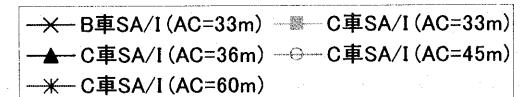
4.2.2 併走車からの干渉の場合

対向車からB車とC車に干渉が加わったモデル(b)の場合の結果を図7に示す。A車とB車との車間距離が33m、A車とC車との車間距離がそれぞれ33m、36m、45m、60mの場合である。横軸はB車と干渉車(I車)との車間距離BIである。なお、C車と干渉車(I車)との車間距離CIは距離BIとB車とC車との距離BCを加えた値とした。(a)は干渉車距離BI対S/I特性である。ここで、B車SA及びC車SAはB車受信信号中のA車からの信号電力とC車受信信号中のA車からの信号電力をそれぞれ意味している。(b)はA車でのB車情報及びC車情報のビットエラー(BER)特性、(c)は測距特性、(d)はB車及びC車でのA車情報のBER特性である。各図において対向車からの干渉の場合と同様、A車における対B車のBER特性、測距特性とB車における対A車のBER特性はともにA車とC車との車間距離ACが33m~60mのいずれの場合でも大きな違いがなかったため、AC=33mのときの結果のみを示している。

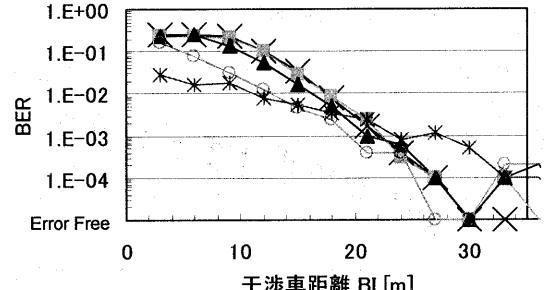
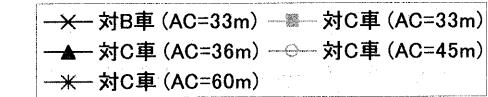
これらの図より、遠対象車であるC車がA車から遠くなるほどA車での対C車BER特性、測距特性、C車での対A車BER特性ともに向上していることが確認できる。これは、C車がA車から遠くなるほどC車は干渉車両I車からも遠くなり、C車でのSAIが大きくなるためである。しかし、近対象車のB車と遠対象車のC車の距離差が大きくなるとA車での受信電力に大きな差が生じ、遠近問題が発生する。干渉車距離BIが大きくなり、干渉の影響が小さくなてもA車での対C車BER特性があまり良くないのはそのためである。

5.まとめ

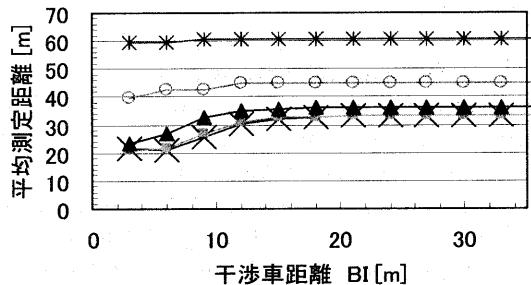
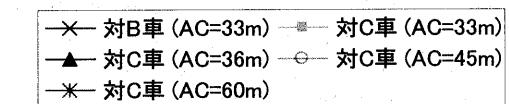
本稿では、PN符号再生型改良ブームラン方式で対象車がB



(a) 干渉車距離BI対S/I特性

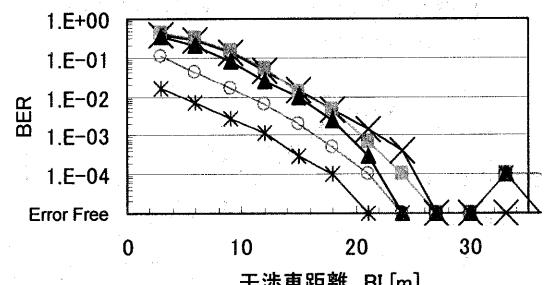
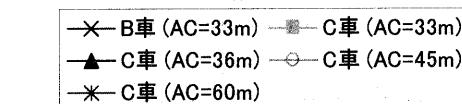


(b) A車でのBER特性



(c) A車での測距特性

図7 併走車から干渉が加わった場合のシミュレーション結果



(d) B車, C車でのBER特性

車、C車と二台存在するマルチターゲットの場合に使用可能なPN符号再生型マルチターゲットブームラン方式を提案した。シミュレーションの結果、PN符号再生型マルチターゲットブームラン方式を用いることで、干渉波の存在する状況下でも、二台のターゲット（B車、C車）の情報復調と測距がA車において行え、A車の情報を二台のターゲットに送信できることが確認された。

今後の課題としては、三台以上のマルチターゲットでの特性評価、キャンセラの適用、車車間通信ネットワーク化への対応等が考えられる。

参考文献

- [1] 国土交通省道路局 ITS ホームページ。
- [2] 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両間通信・測距統合システム”，信学論（B II），J78-B-II,5, pp.342-349, 1995-5.
- [3] 丸林 元、中川正雄、河野隆二：“スペクトル拡散通信とその応用”，（社）電子情報通信学会，1998.

[4] 水井 潔、中川正雄：“スペクトル拡散方式を用いた車両間マルチターゲット通信・測距統合システム”，1997年信学総大，SA-4-3, 1997-3.

[5] K.Mizui and M.Nakagawa : “Vehicle-to-vehicle multi-target communication and ranging system using spread spectrum technique”, 1998 IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE'98), pp.425-428, Waterloo, Ontario, CANADA, 1998-5.

[6] 水井 潔：“スペクトル拡散方式を用いた車両間通信・測距統合システムの双方向通信化への改良”，信学技報, ITS2002-7, pp.37-42, 2002-5.

[7] 水井 潔：“対象車でPN符号を再生する双方向通信が可能なスペクトル拡散方式を用いた車両間通信・測距統合システム”，信学技報, ITS2002-27, pp.35-40, [2002-9].

[8] 水井 潔：“双方向通信が可能なスペクトル拡散方式を用いた車両間通信・測距統合システム”，第1回ITSシンポジウム2002, pp.91-98, 2002-12.