

[招待論文]

ITSとスペクトル拡散通信方式

水 井 潔

関東学院大学工学部電気・電子工学科

〒236-8501 横浜市金沢区六浦町 4834

TEL 045(781)2001 内線 2945 FAX 045(786)7098

E-mail mizui@kanto-gakuin.ac.jp

あらまし 自動車を中心とした道路交通などの交通システムは現代生活において必要不可欠な社会基盤である。より安全, より快適, より環境に優しい交通システムの構築を目指して, ITS (Intelligent Transport Systems: 高度交通システム) の研究・開発が日本をはじめ世界中で行われている。一方, 秘話性・秘匿性・耐妨害性に優れ, 距離測定も可能な通信方式として, スペクトル拡散通信 (Spread Spectrum Communications: SS 通信) が脚光を浴びている。本稿では, スペクトル拡散通信方式の ITS 無線技術への応用を概観する。

キーワード 高度交通システム ITS 車車間通信 路車間通信 レーダ スペクトル拡散通信

[Invited Paper]

ITS and Spread Spectrum Communication Technology

Kiyoshi MIZUI

Department of Electrical and Electronics Engineering, Kanto Gakuin University

4834, Mitsuura-cho, Kanazawa-ku, Yokohama-shi, 236-8501, JAPAN

TEL 045(781)2001Ext.2945 FAX 045(786)7098

E-mail mizui@kanto-gakuin.ac.jp

Abstract Recently, ITS (Intelligent Transport Systems) are studied and developed. They aim safe driving supports, optimum traffic management, and efficient road management, etc. On the other hand, Spread Spectrum (SS) Communication Technologies are also done because SS system has many advantages whose examples are it is robust against interference and it can measure a distance. This report surveys applications of SS Technologies to ITS.

key words ITS IVC RVC Radar Spread Spectrum Technology

1. はじめに

自動車を中心とした道路交通などの交通システムは現代生活において必要不可欠な社会基盤である。より安全、より快適、より環境に優しい交通システムの構築を目指して、ITS (Intelligent Transport Systems: 高度交通システム)の研究・開発が日本をはじめ世界中で行われている[1]。

ITS は「最先端の情報通信技術を用いて人と道路と車両とを一体のシステムとして構築することにより、ナビゲーションシステムの高度化、有料道路等の自動料金収受システムの確立、安全運転の支援、交通管理の最適化、道路管理の効率化等を図るものである」と日本においては定義されており[2]、「最先端の情報通信技術」が ITS の実現には欠かすことができない。中でも、道路上を高速に移動する車両との通信や車間距離測定を行うための無線技術は重要である[3]。

一方、秘話性・秘匿性・耐妨害性に優れ、距離測定も可能な通信方式として、スペクトル拡散通信 (Spread Spectrum Communications: SS 通信) [4]の研究開発が 1940 年頃から主に米国において行われてきた。その特徴から軍用目的の研究開発が主であったが、デジタル信号処理技術、LSI 技術などの進展により民需用としても注目を浴び、現在では携帯電話の標準規格の一つ (IS-95) となり、さらには第 3 世代移動通信システム (IMT-2000) の W-CDMA として脚光を浴びている。また、無線 LAN にも採用され、無線プリンタバッファなどで身近な存在となっている。

本稿では、耐妨害性に優れ、測距機能を有するスペクトル拡散通信方式の ITS 無線技術への応用を、車載用レーダ、路車間通信、車車間通信、車両位置計測システムへの適用検討例を中心に概観する。

2. ITS 無線技術の分類とスペクトル拡散通信の基礎

2.1 日本の ITS への取り組み[1]

ITS への取り組みは日本、米国、欧州を中心に各国、各地域で盛んに行われている。日本においては、IT 革命を推進する「情報通信技術 (IT) 戦略本部 (2000 年 7 月設置。本部長: 内閣総理大臣。1994 年設置の「高度情報通信社会推進本部」の決定等を引き継ぐ)のもと、5 省庁 (建設省、通産省、運輸省、郵政省、警察庁) と産学が連携して推進する体制で行われている。

1996 年に ITS 関係 5 省庁が策定した「高度道路交通システム (ITS) における全体構想」により、9 つの開発分野と 21 の利用者サービスが決定され、続いて 1998 年 1 月から関係 5 省庁によりシステムアーキテクチャの策定が始まり、1999 年 11 月に完成した。これ

には、ITS が実現するサービスにおいて必要となる情報や機能を明確化するため、9 つの開発分野と 21 の利用者サービスを細分化して 56 の個別利用者サービス、172 のサブサービスが体系的に設定されている。

このように ITS は国家的事業として産官学の連携の下に進展している。

2.2 使用目的による ITS 無線技術の分類

ITS において使用される無線技術は、その目的からレーダ技術と無線通信技術に大別できる。レーダ技術は車間距離計測や相対速度検出など安全運転の支援に欠かすことのできない技術であり、無線通信技術は車両情報や制御情報、交通情報などの情報交換に欠かすことのできない技術である。

さらに、レーダ技術は各車両に搭載して車間距離測定や後方確認などを行う車載用レーダと、道路側 (インフラ側) に設置し、道路上の障害物検知などに使用されるインフラレーダに分類され、無線通信技術は道路側情報ネットワークと各車両との情報接続のための路車間通信、車両同士の情報接続のための車車間通信、各車両内での機器の情報接続のための車両内通信に分類される。

2.3 使用周波数による ITS 無線技術の分類

一方、使用周波数帯で無線技術の分類をすることもできる。ITS は新しい無線使用領域であるので、既存の無線システムに影響を与えないように周波数割り当てを行う必要がある。また、従来の「より遠くに」という無線通信の開発概念と異なり、「狭い範囲を高速かつ正確に」通信する必要がある。そこで、マイクロ波帯 (3GHz ~ 30GHz)、ミリ波帯 (30GHz ~ 300GHz)、レーザ光が使用周波数帯として検討されている。レーザ光は電波法の規制を受けない、電気的な高周波回路を必要としないので実現が容易、直進性が強く、指向性が鋭い、などの理由によりレーザレーダとして実用化され、使用されている。マイクロ波はアンテナ技術・半導体技術・情報処理技術共に実用化段間に達しており、電波の到達距離も比較的長めにとれることから自動料金収受システム (ETC) などの狭域通信分野に適用されている。これらに対しミリ波は開拓中な周波数領域である。しかし、霧や雨などの天候の影響が少ない、狭域通信に適しているなどの理由から、ITS 分野での実用化が期待されている。

2.4 スペクトル拡散通信方式の基礎

本節では、スペクトル拡散通信 (SS 通信) 方式の基礎について解説する[4]。

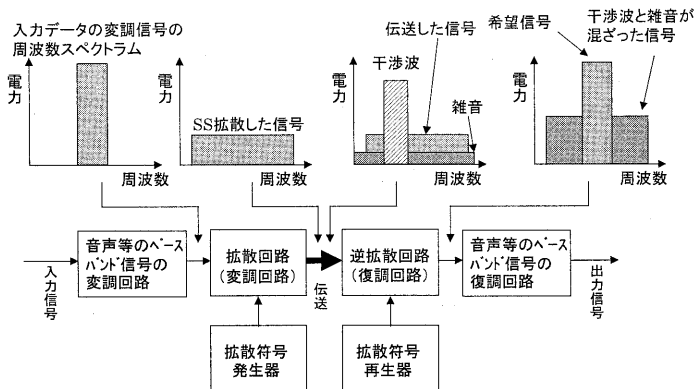


図1 スペクトル拡散通信方式の構成概略図。

図1にSS通信方式の構成概略図を示す。送信側では、音声信号やデータ信号をBPSKなどの通常の狭帯域変調を施した後、拡散符号により拡散変調(SS変調)を行い、送信する。通常、SS変調の帯域幅は狭帯域変調の帯域幅に比べ数百から数千倍に広がっている。受信側では、送信側で使用した拡散符号を同期再生し、逆拡散回路でSS復調した後、通常の狭帯域復調を行い、復調データ信号を得る。

SS通信では、送信側で拡散操作によって送るべき狭帯域信号のスペクトルを広げ、受信側では、コヒーレントに全く同一の拡散操作(逆拡散)を行うことにより、狭帯域信号を復元する。狭帯域信号に一度拡散操作を施せばスペクトルが広がり、二度同じ操作を施せばスペクトルが狭まる。伝送途中で加わった干渉波や雑音は、受信側で拡散操作を一度だけ受けることによってスペクトルが広がる。従って、受信側の逆拡散出力では、希望信号スペクトルは狭帯域に圧縮(逆拡散)され、雑音スペクトルは拡散されているので、低域フィルタで信号を取り出せば雑音は抑圧される。このことより、SS通信は耐妨害性・耐干渉性に優れている通信方式であることが分かる。

また、干渉波を他のユーザによるSS信号と考えれば、拡散符号による多重化が行える。すなわち、SS通信は符号分割多重(CDMA)が可能な通信方式であることが分かる。

さらに、送信側の拡散符号と受信側の拡散符号の位相差から送受間の距離が算出できる。拡散符号のチップレートは高速であるため、高精度な測距が可能となる。

以上のように、耐妨害性・耐干渉性に優れ、CDMAが可能で、高精度測距ができるSS通信方式はレーダや車車間通信などのITS通信に適した通信方式と言える。

3. スペクトル拡散通信のITSへの適用例

本章では、スペクトル拡散通信方式のITSへの適用例を紹介する。

3.1 車載用レーダへの適用[5]

(1) ミリ波の特徴

雨や霧、背景光などの影響が少ないレーダの開発が必要であり、この観点からミリ波が注目を浴びている。

ミリ波レーダを実用化するためには、レーダ方式の検討も重要であるが、ミリ波で使用できるアンテナ技術や電子回路技術の発展が必要である。この点では、小型軽量の平面アンテナやMMIC(Monolithic Microwave IC)の開発、DSP(Digital Signal Processor)などの高速演算素子の進展などで実用化が可能となってきている。

ミリ波帯は新しい周波数領域であるので、電波の割り当てが新たに行われた。国内では郵政省令の改正により、60~61GHz帯及び76~77GHz帯がミリ波レーダ用に割り当てられている。

ミリ波は非常に周波数が高いため、次のような特徴を持つ。

- ①周波数帯域を広くとれるので、高速な通信、高分解能距離測定が可能
- ②波長が短い(周波数が高い)ので、回路素子の小型化、アンテナの高効率化・高指向性化が可能
- ③波長が短いので、大気中の酸素、水蒸気等の分子の吸収及び降雨散乱等による減衰が大きく、電波の到達距離が短い。
- ④路面等での反射の影響が大きい

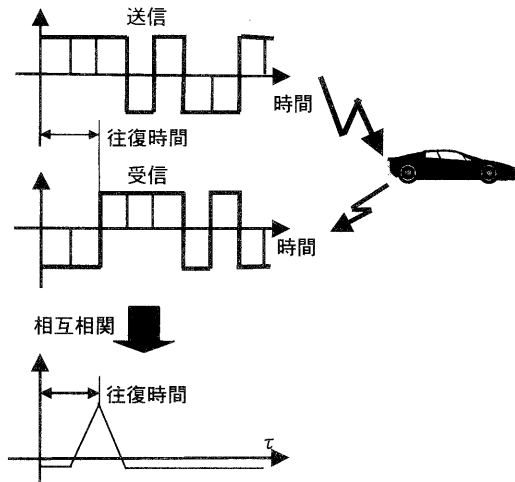


図 2 SS レーダの原理図。

①, ②の特徴によって ITS の分野にミリ波が積極的に導入されていると考えられる。③はレーダや通信の電波としては不向きな特徴と言えるが、車載用レーダや車車間通信のように電波の到達距離を長くする必要がない分野では問題なく、むしろ不要電波の放射が少なくなり、好都合とも言える。④の反射に関してはシステムの特性に影響を及ぼすので、十分な検討が必要である[6]。

(2) SS レーダ

車載用レーダ (Automotive Radar) は早くから実用化された ITS 技術の一つである。現在、実用化 (市販化) されているのは、レーザレーダやミリ波 FMCW レーダ[5]で、車間距離を維持するアダプティブクルーズコントロール (Adaptive Cruise Control: ACC) に適用されている[1], [7]。今のところ普及率が低く搭載車両台数が少ないので、干渉等の問題が発生していないが、この技術が一般化され、シートベルトやエアバックのように標準装備化されると干渉波対策が必要になると思われる。そこで、耐干渉性に優れた SS レーダが注目されるものと考えられる。

図 2 に SS レーダの原理を示す。広帯域な PN 信号 (擬似雑音信号) の反射波を受信する。PN 信号は鋭い自己相関特性を持つので、受信側で同期・再生した PN 信号と受信した反射波 PN 信号との相関を求め、反射波の伝播遅延時間 t を測定する。この t から車間距離 R 、その時間微分から相対速度 V が求まる。SS 方式は高速な相関器等が必要になるので構成が複雑であるが、PN 信号の低い相互相関特性から耐妨害性、耐干渉性に優れるという ITS に適

した特徴を持つ。

SS レーダの検討例は多く、例えば文献[8], [9]がある。また、FMCW レーダと SS レーダの比較の結果、SS レーダの方が良好な特性を有するという報告もある[10]。さらに、通信も行えるので、後述する車車間通信・測距統合システムも検討されている。

3.2 路車間通信への適用

(1) 路車間通信の分類[5]

路車間通信 (Road-Vehicle Communication: RVC) は道路側情報ネットワークと移動する車両との間を結ぶ無線技術であり、通信の形態で放送型、局所同報型、広域個別通信型、局所個別通信型の 4 つに分類できる。また、スポット通信型か連続通信型かでの分類方法もある。このように路車間通信は様々な形態が存在する。これはその伝達する情報の種類でその構成方法が異なってくるからである。

現在、実用化あるいは実用化に向けて検討されている代表的な路車間通信に、道路交通情報システム (Vehicle Information and Communication System: VICS)、自動料金収受システム (Electronic Toll Collection System: ETC)、走行支援道路システム (Advanced Cruise-Assist Highway System: AHS) の各システムに用いられる無線通信がある。VICS は高度化されたナビゲーションシステムであるので、厳密な意味でのリアルタイム性は要求されず、ある程度の情報伝達ミスも認められる。ETC はスポット通信なのでリアルタイム性が要求され、課金に関係するので情報伝達ミスも極力少なくする必要がある。AHS は安全や人命に直接的に関連するので、リアルタイム性、信頼性共に高度に要求される。

(2) スペクトル拡散路車間通信測距システム

路車間通信への SS 方式の適用例として、スペクトル拡散路車間通信測距システムがある[11]。

本システムは図 3 に示す通信路モデルを用いて検討している。車両→路側の通信に拡散符号 PN1 を使用し、同時にその路側からの反射波によって SS レーダの原理で路車間の距離を測定する。また、路側→車両の通信には拡散符号 PN2 を用いる。この場合、車両受信機においては路側からの PN1 の反射波と路側からの PN2 の直接波を同時に受信するため、干渉問題が生じる。そこで、干渉除去回路を導入して、ビット誤り率、距離検出誤り率の向上を図っている。シミュレーションの結果、干渉除去回路を適用することにより、路側から車両への PN2 による通信における干渉性分である路側からの PN1 の反射波を有効に除去できるため、ビット誤り率を劣化させずに優

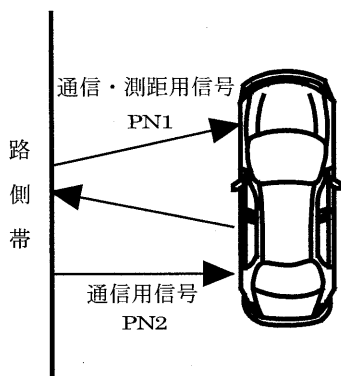


図3 SS路車間通信測距システムの通信路モデル。

れた距離検出誤り率を得ることが出来る」と結論付けている。また、複数車両を考慮に入れた通信路モデルでシミュレーションも行い、本システムの有効性を確認している[12]。

3.3 車車間通信への適用

(1) 車車間通信の分類[5]

AHSでは周辺道路を走行している各車から得られた情報を路車間通信で伝達するが、これでは車両数の増加に伴い、情報処理を行う集中管理型の道路側ネットワークの負担が大きくなりすぎる危惧がある。従って、各車両を中心とした周辺各車との直接的な通信、すなわち車車間通信(Inter-vehicle Communication: IVC)を導入し、自車両を中心とし、各車両で独自に情報処理を行う自立分散型の車車間通信ネットワーク(Inter-vehicle Communication Network: IVCN)を構築する必要がある。

車車間通信は連続して走行する特定車両で構成される特定グループ車群通信と、参加車両も車群規模も不確定な不特定車群通信に分類される。特定グループ車群通信では、通信形態はシンプルであるが高速性と高信頼性が要求される。不特定車群通信では、基準となる通信局を持たないために、同期や通信手順をいかに確立するかが重要な技術的課題となる。

(2) SS方式を用いた車車間通信・測距統合

車車間通信へのSS方式の適用例として、SS方式を用いた車車間通信・測距統合システムがある[13]。

本システムのプロットを図4に示す。A車のPN符号が対象車両(B車)で情報(DATA)を乗算されて戻ってくる。その情報を復調することでB車の情報を

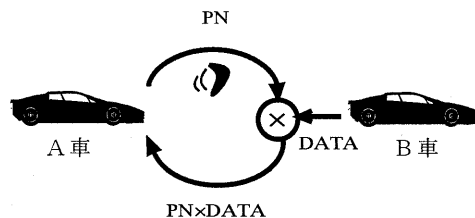


図4 ブーメラン方式の概念図。

A車を得る単方向通信と、送受されたPN符号の位相差から測距が同時に実行される。PN符号が対象車両で折り返されて戻ってくることから本システムはブーメラン方式と呼ばれている。本システムは、車車間通信の自立分散性を考慮した新しい方式である。シミュレーションの結果、ある程度の干渉が存在する環境下でも通信と測距が同時に行えることが確認されている。また、改良システムとして、測距だけでなく測位も可能にした測位ブーメラン方式[14]などが提案されている。また、PN符号の絶対数の不足に対応するため、ブーメラン方式を基本として動的にPN符号を割り当てる車両間通信プロトコルの提案[15]やブーメラン方式にコードホッピングの原理を適用したコードホッピングブーメラン方式の提案[16]もなされている。

(3) スペクトル拡散車車間通信ネットワーク

一方、車車間通信ネットワーク(IVCN)へのスペクトル拡散通信方式(CDMA)の適用も検討されている。

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。従って、従来のセルラ型ネットワークに用いられてきている通信プロトコルとは違ったIVCNに適した新しいプロトコルの開発が必要となっている。

IVCNへのSS方式の適用例として、ブーメラン方式を基本形としたSS方式によるIVCNのためのMACプロトコル[17]やSS方式による非同期車車間通信のための適応チャネルアクセスプロトコル[18]があげられる。また、マルチコードセンスCDMA車車間通信ネットワーク[19]もある。

3.4 車両位置計測システムへの適用

最後に、車両位置計測システムへの適用例を示す。道路上に埋め込まれた路上機を用いて、その上部を通過する車両が自車位置を計測するシステムである。路上機として磁気マーカーを用いるシステムと電波マーカーを用いるシステムをそれぞれ紹介する。

文献[20]にPN符号化磁気マーカを用いた車両ポジショニングシステムが提案されている。本システムでは、車両のラテラル制御に用いる磁気マーカを単純にSSSSやSNSNなどと埋め込むのではなく、M系列の“1”、“0”を磁気マーカの“S”、“N”に対応させ、SNSNNNのように埋め込む。磁気マーカ検出システム搭載車はその磁気マーカ上を通過することで、ラテラル制御だけでなく“S”、“N”のパターンを観測すれば車両位置を特定できるシステムである。

文献[21]にはSS電波マーカを用いた車両位置計測システムが提案されている。路上機としてSS送信機を用い、車両の全面両サイドに付けた二つのアンテナでこの電波を受信し、受信したPN信号の位相差から路上機と自車の相対位置を計測するレーダシステムである。試作基礎実験の結果、車両の位置計測が可能であることが確認されている。

4. おわりに

本稿では、耐妨害性に優れ、測距機能を有するスペクトル拡散通信方式のITS無線技術への応用を、車載用レーダ、路車間通信、車車間通信、車両位置計測システムへの適用検討例を中心に概観した。ITS無線技術への検討例の多様さから見ても、スペクトル拡散通信方式はITS無線技術に親和した方式の一つと言えると思われる。

ITS社会の早期実現のためには、個々の要素技術をさらに進展させることは当然必要であるが、それらを単純に組み合わせるだけでは不十分である。ITS独特の問題点や重要度、信頼性、関連性、親和性の度合いなどを考慮して、システムの統合やシステムの分担など、総合的な立場からの検討が必要である。通信工学や画像工学といった各専門分野の枠を超えた討論と協調が進むことを期待する。

【参考文献】

[1]建設省道路局 ITS ホームページ (<http://www.moc.go.jp/road/ITS/j-html/index.html>)。[2]警察庁、通産省、運輸省、郵政省、建設省：“高度道路交通システム(ITS)推進に関する全体構想について”(1996)。[3]水井 潔：“ITSにおける無線技術の現状と課題”，1999年電学会全会大，S21-3(1999)。[4]丸林 元 他：“スペクトル拡散通信とその応用”，電子情報通信学会(1998年)。[5]福井良太郎 他：“ミリ波のITS応用”，ミリ波技術の基礎と応用，リアライズ社(1998)。[6]R.Schneider 他：“Impact of Road Surface on Millimeter-Wave Propagation”，IEEE Trans. on

Vehicle Technology, Vol.49, No.4, pp.1314-1320 (2000年)。

[7]H.Kuroda 他：“Fully-MMIC 76GHz Radar for ACC”，ITSC2000, pp.299-304(2000)。

[8]H.Ishizu：“Millimeter-Wave Automotive Radar Using Spread Spectrum Technology”，MWE'97, pp.200-205(1997)。

[9]白木裕一 他：“76GHz帯SSレーダの基本性能評価”，1999年信学会ソ大，A-17-15(1999)。

[10]白木裕一 他：“SSレーダの耐干渉性評価”，1999年信学会総大，A-17-22(1999)。

[11]武田政弘 他：“干渉除去回路を用いたスペクトル拡散路車間通信測距システム”，信学論，J81-A, No.4, pp.483-489(1998)。

[12]武田政弘 他：“干渉除去回路を用いたスペクトル拡散路車間通信測距システム(3)”，信学ソ大，SAD-2-9(1998)。

[13]水井 潔 他：“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，J78-B-II, No.5, pp.342-349(1995)。

[14]水井 潔：“スペクトル拡散方式を用いた車車間通信・測位統合システム”，電学論D, Vol.120-10, No.10, pp.1111-1117(2000)。

[15]屋代智之 他：“動的にPN符号を割り当てる車両間通信プロトコル：DPA”，信学論，J81-A, No.4, pp.496-504(1998)。

[16]上田 篤 他：“コードホッピング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，ITS2000-2, pp.7-11(2000)。

[17]井上保彦 他：“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，J77-B-II, No.11, pp.718-725(1994)。

[18]前田三奈 他：“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ンネルアクセスプロトコル”，信学技報，SST97-4, pp.19-26(1997)。

[19]永長知孝 他：“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，J82-B, No.11, pp.2026-2033(1999)。

[20]長谷川孝明 他：“PN符号化磁気マーカを用いた車両ポジショニングシステムについて”，信学技報，SANE98-7, pp.33-40(1998)。

[21]猪又憲治 他：“スペクトル拡散を適応した車両位置計測システムの提案”，信学ソ大，SA-5-5(1997年)。