

CDMA を用いた ITS 向け緊急車両の方位検出方式

杉 浦 彰 彦[†] 金 澤 剛^{††}

近年, ITS の実用化に向けて様々な方式の提案がなされている. 本研究では, スペクトル拡散 (SS) 方式を用いた距離測定により, 救急車や消防車などの緊急車両の位置検出を実現する. ここでは, 緊急車両側の 4 隅から符号の異なるスペクトル拡散信号を送信し符号分割多重接続 (CDMA) を行い, 他車両や信号機がその方位を検出できる方式を提案する. これにより緊急車両の接近方向が分かり, 通行路確保のための回避運転や, 信号機の制御が容易になる. 試作装置による実験の結果, 各チャネルの距離順位の比較から, 緊急車両のおおむねの方位を推定できることが分かった. これにより, 接触防止用コーナソナーのように, おおむねの接近方位 (約 45 度) の簡易検出も可能になった.

Direction Detector System of an Urgent Vehicle for ITS by Using Code Division Multiple Access

AKIHIKO SUGIURA[†] and TSUYOSHI KANAZAWA^{††}

Various methods are proposed for the practical use of ITS. We achieve the detection of urgent vehicles such as the ambulance and the fire fighting cars by the measurement which use spread spectrum. Here, we propose the method that another vehicle and the signal can detect the position of urgent vehicles. This method transmits the different code spread spectrum signal from the four corners of urgent vehicles. As a result, because the direction where an urgent vehicle approaches is understood, the evasion drive becomes easy for securing the traffic road, and the control of the signal becomes easy, too. As a result of the experiment with an experimental system, an excellent detection result was obtained.

1. ま え が き

近年, 高度道路交通システム (ITS) の実用化に向けて, 様々な方式について研究が進められている. 本研究では, スペクトル拡散方式^{1),2)}を用いた距離測定により, 救急車や消防車などの緊急車両の位置検出を行う手法を提案する. 本方式のモデルを図 1 に示す. ここでは, 緊急車両側の 4 隅から符号の異なるスペクトル拡散信号を送信し符号分割多重接続 (CDMA) を行い, この 4 波の到来時間差から他車両や信号機がその方位を検出できる方式を提案する. さらに逆 GPS 方式³⁾の原理も導入し, 受信する側の車両や信号機も 4 隅のアンテナで, それぞれのスペクトル拡散信号を受信し, 方位検出能力を向上させている. また, 4 波の到来順位を比較し, おおむねの方位を推定する手法についても検討を行う. これらの方式により緊急車両

の接近方向が分かれば, 通行路確保のための回避運転や, 交差点の信号機制御が容易になり, 緊急車両の安全も確保される.

逆 GPS 方式とは, 従来の GPS が自車位置を推定するために数点 (衛星) からの電波の到来時間を測定するのに対して, 逆に 1 点からの電波を自車の数点で受信することで位置を推定する手法である. たとえば自車の 4 隅のアンテナで, 位置の明確な基準点からの信号を受信し, 正確な到来時間が計測できれば, 基準点を中心に到来時間から計算した 4 つの半径の円を描き, 自車の 4 隅があてはまる場所・方位を求めればよい. しかし自車の大きさに限界 (数 m) があるため, この方法だけでは十分な精度が得られないのが現状である. 本研究では自動車など限られた大きさ (アンテナ間距離) で, 逆 GPS を適用する場合の改善方式を緊急車両の検出に利用する.

現在, 特定車両の位置検出方式は, 一部の宅配トラックやタクシーなどの運行管理に実用化されているが, これらは特定車両側に搭載された GPS により自車位置を測定し, 測量値をそのまま無線により自動報告する方式が主流である. この方式は, 基地局側で運行管

[†] 豊橋技術科学大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Toyohashi University
of Technology

^{††} 矢崎計器株式会社
Yazaki Meter Co., Ltd.

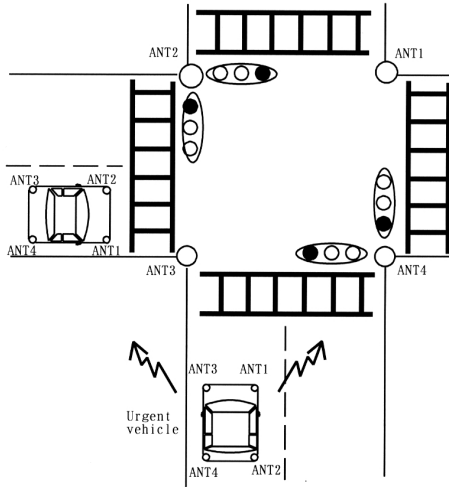


図1 本方式の概念
Fig. 1 Model of this method.

理を行う場合には有効だが、他車両に特定車両の位置を知らせるためには、これらの情報を基地局で編集し他車両へ再送信する必要がある。また、特定車両数が増えると自動報告用の無線チャンネルが飽和してしまう恐れもある。

本方式では自動報告無線などを利用することなく、複雑な車両間ネットワークの構築も必要ない。また今後、車両間ネットワークを設計する際に、情報通信方式として本方式の概念を導入することで、旧車両などネットワーク機器を搭載しない車でも、緊急（特定）車両の接近方位を簡易検出できる。また本格的な車両間ネットワークが完成するまでの間、簡易に緊急車両の検出を実現する。本研究では、簡易なスペクトル拡散測距法を応用した緊急車両の位置（方位）検出を提案する。さらに、緊急車両のおおむねの方位を推定し、接触防止用コーソナーのように、おおむねの接近方位（約45度）を簡易に検出する手法についても検討する。

2. スペクトル拡散方式の測距法

一般的な測距方式としては反射波レーダがよく知られているが、ここでは測定対象である緊急車両側がスペクトル拡散電波を出す方式を適用する。各種の電波測量方式において、測定対象である緊急車両が測距用の信号を送信した場合に、測定器側で受信される信号とLPF（積分）後の相関出力を同一条件下で比較すると図2のようになる。単パルス方式では、1測定に1つのパルスを送信し、その到達時間を計測することで

	Transmit signal	Receive signal	Correlation
Single pulse			
Plural pulse			
PN code			

図2 測距信号の概念
Fig. 2 Model of ranging signal.

対象物までの距離を測定する。このパルス幅が狭ければ時間分解能が向上し距離精度は高くなるが、パルスの電力減衰が大きく長距離の測定に向かなくなってしまう。また多パルス方式は、同じパルスを連続的に送信し、確率的に精度を高める手法で、パルス数の乗数に比例して精度は向上するものの、測定用パルスの間隔が狭くなるため、ダイナミックレンジ（距離測定幅）が低下してしまう。一方、スペクトル拡散方式では、符号相関が原点で1、その他の位相では極小（-1/符号長）になる符号系列（PN）を用いることで、単パルス方式と比べて、同じパルス幅でも相関出力が符号長倍だけ大きくなる。これは単パルス方式において、パルス振幅を符号長倍大きくしたと等しいが、実働回路では狭パルスの振幅だけを単純に増幅することは難しいため、スペクトル拡散方式が適用されることが多い。実際の回路（今回適用した同期検波）では、LPFにおいてデータ周期単位で積分した波形を出力する。つまり、データが正なら+がPN符号長分だけ積分され、図2のような出力波形が得られる。

また今回提案する方式のように、緊急車両側の4隅から測距信号を送信する場合、スペクトル拡散時の拡散符号に別々の系列を適用することで、符号分割多重が可能であるため、多チャンネル送受信系を容易に実現することができる。さらに、測定用のスペクトル拡散信号に情報（一次）変調をかければ、車両間の情報通信^{4),5)}にも適用が可能となる。また、スペクトル拡散通信方式は、自動車周辺の雑音環境への耐性⁶⁾も高く、微弱電波通信への適応性⁷⁾も良い。また、実働環境を想定した場合、ビル反射などのマルチパスの影響が懸念されるが、広帯域スペクトルを利用するため、遅延（スペクトル）歪みが平均化され影響を受けにくい。さらに暗号性の高い符号を用いれば、妨害や悪用を回避できる。我々はこれらのメリットに着目し、スペクトル拡散（符号分割多重接続）方式をITS^{8),9)}に適用することにした。

3. 試作装置の製作と評価

本方式の装置の諸元を表 1 に、構成を図 3 に示す。符号分割多重接続方式では、拡散符号の波長以内の経路差では、符号間干渉の影響が出やすく、精度が低下してしまう可能性がある。拡散符号の波長が短いほど距離精度も向上するが、拡散帯域幅が広がるため、装置の製作が困難になり、適用する周波数帯域の確保も難しくなる。ここでは、緊急車両の全長程度の拡散符号波長を採用し、拡散符号速度を 48 MHz とした。また、符号長は 8 bit のシーケンサで構成できる 255

表 1 実験装置の諸元

Table 1 Condition of experiment system.

変調方式	直接拡散方式(BPSK)
拡散符号	255bit 長 PN 符号(m 系列)
拡散符号速度	48MHz
拡散帯域幅	96MHz
送信周波数	240MHz
復調方式	同期検波方式
受信部中間周波数	10.7MHz
送信電力	-43.4dBm

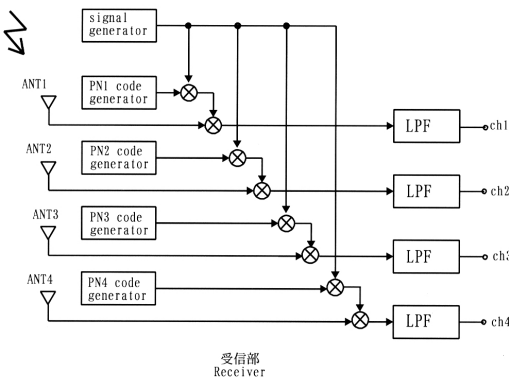
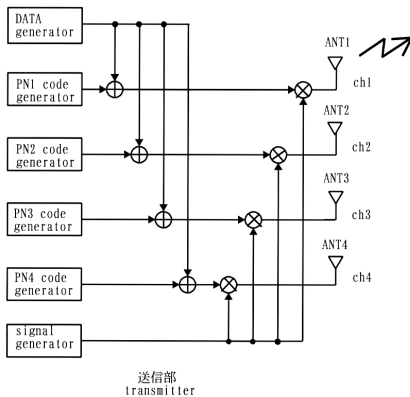


図 3 本方式の構成

Fig. 3 Block diagram of this method.

とし、帰還タップの異なる 4 種類の PN 符号 (m 系列) を適用した。また本方式を電波法の適用を受けずに利用する微弱電波通信の許容値は、3 m の距離における電界強度により規定されており、500 μV/m 以下でなければならない。これを λ/2 のダイポールアンテナに供給できる電力に換算すると、電界強度の近似式 (式 (1)) から約 -43.4 dBm (4.6 × 10⁻⁸ W) となる。

$$E = 7\sqrt{P}/r \text{ [V/m]} \tag{1}$$

ただし、E : 電界強度 [V/m] , P : 電力 [W] , r : 距離 [m]

たとえば受信局の受信許容感度を -100 dBm とした場合、自由空間伝搬ロス (見通) を考慮しても 2 km 程度の測定が可能になる。また、送出の絶対時刻は従来の GPS 方式と同様に、送信情報に送出時刻を重畳する方式を適用するが、本実験では簡略化して同期クロックにより代用した。受信時は 4 相関 (逆拡散) 後に、逆 GPS と同様に被変調パルス (DATA) の到来時間を測定し測距する。

本研究では送受信系のハードウェアを製作し、受信機積分器 (LPF) の出力を 2 波同時に観測できる 2 現象デジタルオシロスコープのストレージ検出機能を用いて観測し、各波の到来時間差を測定する。実験に用いたデジタルオシロスコープの都合で、4 波同時に観測することができないため、2 波ずつ観測し、その時間差より緊急車両の位置を検出する。ここでは、緊急車両のアンテナ 1 (図 1 参照) 間の距離を基準とし、他の 3 アンテナ間距離 (到来時間差) を求め、緊急車両の方位を求める。各アンテナ間の到来時間は、緊急車両と測定側の方位や距離により変化し、車両の大きさにも依存する。本研究では、全長 5.5 m、車幅 2 m の緊急車両の接近を、同じ大きさの車両が測定する場合について評価した。なお本方式を実用化するには、緊急車両側のアンテナ間隔は固定値に設定する必要がある。三角測量の原理と同じで、これらの長さが大きければ精度は向上するが、本実験では目安として、この値を全長と車幅の長さ固定とした。距離 (各アンテナ 1 間) が 100 m の場合の、緊急車両の向きごとの方位と各アンテナ間の距離差の関係 (理想環境前提のシミュレーション結果) を図 4 に示す。横軸に緊急車両の方位角 (度)、縦軸にアンテナ 1 間の距離を基準とした他のアンテナ間の距離差 (m) を示す。ここでは図 1 に示した配置の送受信アンテナ間ユークリッド距離の差を、送信アンテナ 1 から受信アンテナ 1 までの距離 (アンテナ 1 間の距離) を基準 (0 m) に、前後左右 90 度ごとに示す。たとえば左上図中の

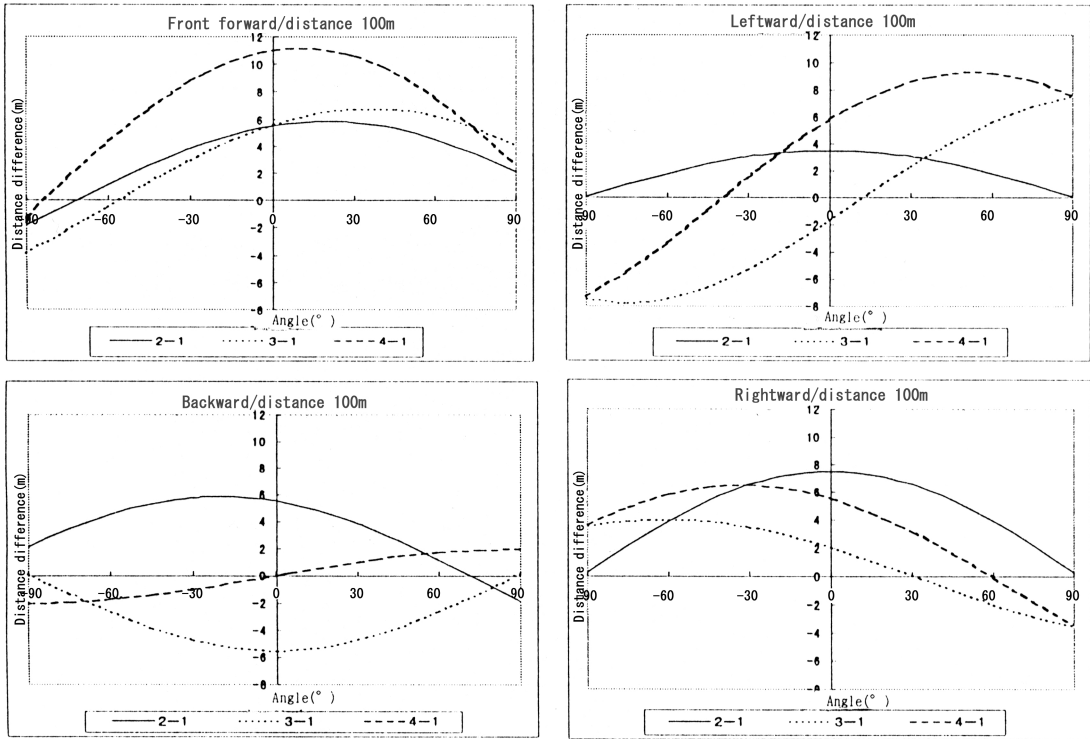


図4 方位と距離差の関係(被検出車両のアンテナ配置は図1に示すとおり)
 Front forward: 正面方向0度, Leftward: 左面方向0度, Backward: 後面方向0度, Rightward: 右面方向0度
 Fig. 4 Relationship between the direction and the distance difference.

2-1(実線)は、前方方向から接近してくる緊急車両について、方位角ごとの送信アンテナ2から受信アンテナ2の距離差の変化を指す。また、Front forwardは前方から対向車が近づく状態、Backwardは後方から同じ向きの車が近づく状態を示す。同様に Leftwardは緊急車両が左側方位、Rightwardは右側方位から直角する向きで接近する状態を示す。たとえば図1の場合なら、Rightward約+45度となる。この値と測定値を合わせることで、正確な方位を検出することができる。

次に、一般車両の接触防止用コーナソナーのように、緊急車両の接近方位を示すことを目的に、4波の到来順位だけを単純なコンパレータ回路により比較するだけで、おおむねの接近方位を推定する手法について検討する。これにより、デジタルオシロスコープのストレージ機能なしに、簡易な受信装置(コンパレータ)によりおおむねの接近方位を検出できる。多数の一般車両への搭載を考慮すると、受信側の簡略化は重要な要素であると考えられる。各チャンネルの送信アンテナを、図5に示すように変化させた場合の距離順

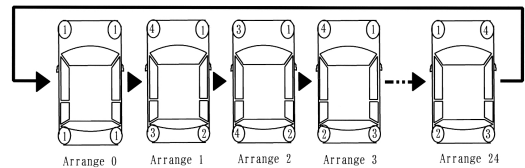


図5 送信チャンネルの切換え方式
 Fig. 5 Switching system of transmitting antenna.

位と方位角の関係を図6にまとめる。距離順位とは、距離差の大きいチャンネルの順番を示し、たとえば図4左上図(前方方向から緊急車両が接近)で方位角0度(真正面)の状態なら、図縦軸の交線を上から見て4(111m),3(105.519m),2(105.5m),1(100.02m)chの順番で距離差が大きいので、距離順位は「4321」となる。ここで図1の緊急車両と同じアンテナ配置のアレンジ番号は図5中の Arrange 2なので、図6中の Arrange 2 前方0度の結果を合わせると、「4321」の距離順位になっていることが分かる。図よりアレンジごとに、単に順番が変わるだけではなく、距離差が変化することが分かる。

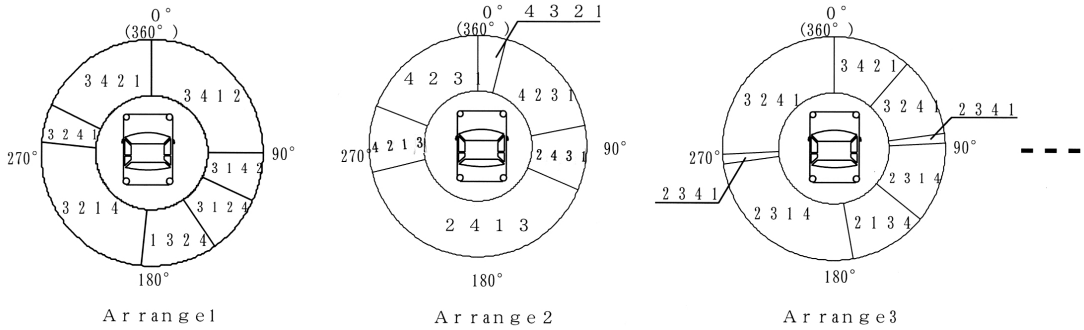


図 6 方位と距離順位の関係

Fig. 6 Relationship between the direction and the distance sequence.

本方式では、同期捕捉を容易にするために、切換え 1 周期ごとに全アンテナから 1ch を送信し、バースト同期をとり、アレンジ番号を識別することにする。バースト同期方式では何らかのバースト信号でいったん通信を中断（バースト）して同期時刻調整を図る。ここでは全アンテナから 1ch を送出し、一時的に符号間干渉が最大の状態を発生させ、これをバースト信号として利用する。また、このタイミングはアレンジ番号の切換え周期と一致しているため、アレンジ番号識別と相対時刻同期を同時に検出することができる。そのため同期捕捉回路を各チャネル分準備する必要がなく、回路構成を簡素化できる。なお本方式では、走行中の緊急車両を想定しているため、アレンジごとで車両位置の変位が少ないように、送信側で短い時間内に各チャネルの送信アンテナを切り換える必要がある。ここでは緊急車両が 100 m 遠方から向かってくることを想定し、全チャネルを切り換えた場合の 24 通りについて距離順位を比較する。図 6 より、各アレンジ 1 つ 1 つでは方位角の最も粗い部分で 90 度以上の方位角精度しか得られないことが分かる。さらに、全 24 アレンジの距離順位の合成値をとり、距離順位が重ならない方位角を区切ると図 7 の精度が得られる。これを見ると、各方位で順位が重なる部分が最大でも 35 度程度であるため、受信波の到来順位をコンパレータにより比較するだけで、10 方向程度の精度であれば方位を推定することができ、受信機側の簡略化が可能であることが分かる。この簡易方位検出に限っては、各アンテナ間の距離測定なしに（距離順位だけで）推定するため緊急車両の向きは不明で、自車向きに近づいてくる（自車が円の中心におり緊急車両は円弧の中心向き垂線ベクトル）向きであることが前提となるが、原理的には距離に関係なくおおむねの接近方位を推定できることが分かった。たとえば前述の状態において最も推定方位精度が低い状態（35 度程度）で、緊急車

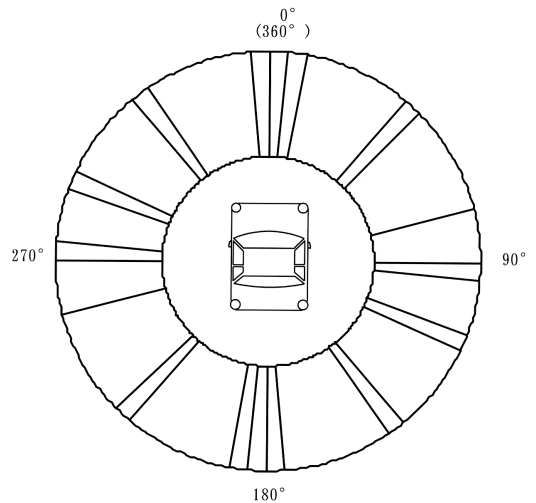


図 7 方位と距離順位の関係（合成）

Fig. 7 Relationship between the direction and the distance sequence (hybrid).

両が自車方向（0 度）向きから ±45 度向きの場合を想定すると距離順位が逆転する部分が生じ、それぞれ 2 つ前後の距離順位範囲まで誤認してしまう。この誤差も含めて接近方位の推定精度を計算し、最悪で 75 度程度の精度で推定が可能であることが確認された。

試作した実験装置の外観を図 8 に、試作受信機相関（積分器 LPF）出力波形の例を図 9（条件：図 1，Front forward +0 度，距離 100 m より接近，アレンジ 2）に示す。横軸が時間（ns）で縦軸が振幅値（mV）である。図 2 に示した測距信号モデルの実測値が図 9 の波形になる。ここでの受信機帯域幅は送信側と同値（96 MHz）である。実験室の都合で、広いエリアの無線実験ができないので、実験では経路差分の同軸ケーブルを自由空間に見たてて、各チャネルを同時に給電して実験を行った。そのためチャネル間干渉は存在するものの、マルチパスなどの影響はほとんどない見通

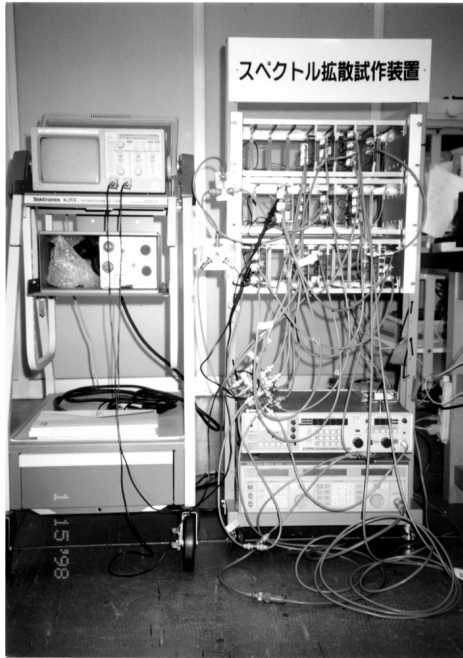


図8 実験装置の外観

Fig. 8 Outside view of the experimental system.

し状態を想定した結果となっている．図中の観測点はデジタルオシロスコブのストレージ機能を用いて各上段 ch の立ち上がり（または立ち下がり）点に同期をとりサンプルしている．時間幅はストレージ精度を向上させるため，できるだけ短い時間（100 ns）に設定している．図より，2ch と 3ch は同時（上段）に到来しており，1ch と 3ch，4ch それぞれの時間差は約 40 ns（中段），20 ns（下段）で，距離差に換算して約 12 m，6 m となる．この距離差を図 4 と合わせると，おおむね正しい到来時間差が検出されていることが分かる．また，到来順位は明確に判定でき，図 5 に示した方式も有効であることが確認された．さらに，緊急車両が 100 m 遠方から向かってくる場合について，100 回の測定を行ったところ，1ch の距離誤差は 0.5 m 以内，1ch との相対誤差は図 4 の方位角度の最も敏感な部分でおおむね ± 5 度であった．前述のシミュレーション結果（方位角精度 35 度）に実働実験結果を合わせると，到来順位を比較することでも数方向（45～75 度）程度の精度で方位を推定できることが分かる．また，この誤差（0.5 m）はデジタルオシロスコブのストレージ精度に起因する部分がほとんどであることが確認された．さらに実働環境においては，マルチパスなどの影響が誤差を増加させることが考えられる．一般的にマルチパスの影響は測定対象と

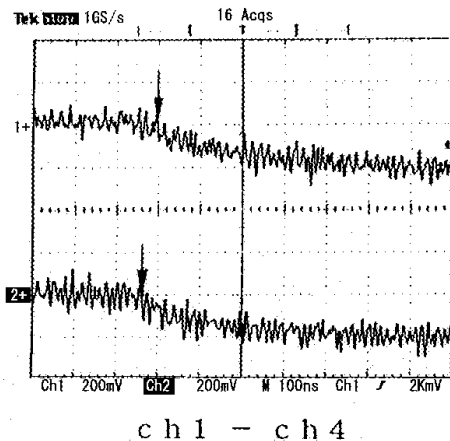
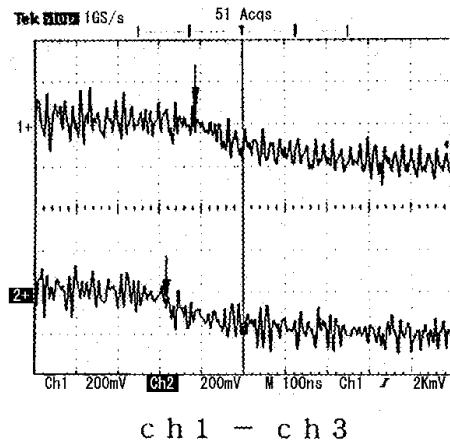
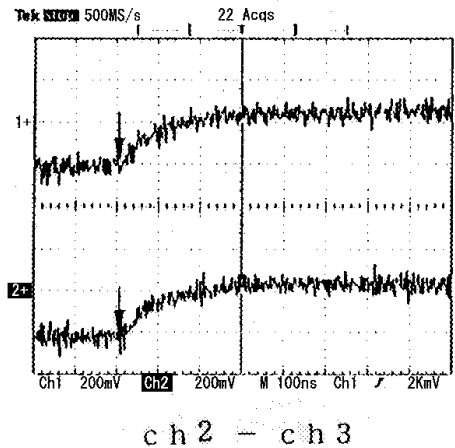


図9 測定信号

横軸：時間（100 ns），縦軸：電圧（200 mV）

Fig. 9 Observation signal.

の距離（たとえば 100 m）に依存するが，今回の例では 48 MHz（符号波長 6.25 m）の拡散符号を用いてい

るため、6.25 m 以上の経路差 (パス) の影響は 1/符号長 (1/255) となり、微小に抑えられることが予想できる。さらに実働環境を想定した場合、チャンネル間干渉、遠近問題、付加雑音など様々な影響が考えられる。ここでは 1 台の緊急車両 (送信局) を想定しており、4 チャンネルの送信アンテナ間距離は数 m なので遠近問題は通常のチャンネル間干渉の枠で考えられる。また、異なる PN (擬似雑音) 符号を各チャンネルに適用しているため、チャンネル間干渉は雑音が付加されたことと同等で、結果として S/N の低下につながる。このチャンネル間干渉は、数台の緊急車両が同時に本方式を適用した場合も同様である。さらに緊急車両との距離や付加雑音の影響も S/N の低下で近似できる。スペクトル拡散通信において S/N が低下すると相関低下をまねき、信号検出が難しくなり、結果として測定誤差が増大してしまうため、低 S/N が想定される実働環境下では諸妨害の影響低減が不可欠であるといえる。

4. む す び

本研究では、緊急車両側の 4 隅から符号の異なるスペクトル拡散信号を送信し符号分割多重接続を行い、他車両や信号機がその位置を検出できる方式を提案した。また、各チャンネルの距離順位だけから、緊急車両のおおむねの方位を推定できる手法について検討した。これにより、他車両や信号機側の検出装置を簡易な比較器により構成できる可能性を示した。汎用部品を用いた試作装置による実験の結果、簡易な装置においても良好な検出結果が得られた。

今後の課題として、運用周波数帯域や送信電力など実用面での問題点について検討を進めている。さらに、スペクトル拡散信号に緊急車両の予定進路情報を重畳し一般車両や信号機側に進路を知らせることで、より高速で安全な緊急車両運行が実現されると考えている。また今回の実験では同一平面上を想定したが、実際には高低差も存在することが考えられる。たとえば 100 m の距離において 10 m の高低差がある場合、5 cm 程度の誤差が生じる。今後は高精度化と合わせて、これらの問題にも取り組みたい。

謝辞 本研究は文部省科学研究費、テレコム先端技術研究支援センター、電波産業会から補助を受けて行われた。ご援助いただいたことを感謝いたします。

参 考 文 献

1) Cooper, G.C.: *Modern Communications Spread Spectrum*, McGraw-Hill Book Com-

- pany (1986).
 2) Dixon, R.C.: *Spread spectrum system*, John Wiley and Sons (1976).
 3) 長谷川孝明, 栗原和芳: 逆 GPS を用いた車車間測距システム, 信学技報, SST97-23 (1997).
 4) 武田政弘, 花田由紀子, 河野隆二: 干渉除去回路を用いたスペクトル拡散路車間通信測距の一検討, 信学技報, SST96-102 (1996).
 5) 増田幸絵, 永井 潔: スペクトル拡散方式を用いた車両間通信・測位統合システム, 信学技報, SST97-20 (1997).
 6) 杉浦彰彦, 稲津 稔: スペクトル拡散通信における各種妨害の影響, テレビ学会誌, Vol.47, No.10, pp.1383-1390 (1993).
 7) Sugiura, A. and Inatsu, M.: An amplitude limiting CDM by using majority logic, *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol.E80-A, No.2, pp.346-348 (1997).
 8) 交通工学研究会 (編): インテリジェント交通システム, 丸善 (1997).
 9) 杉浦彰彦: ITS の基礎技術とナビゲーションシステムの開発, 日本テクノセンター (1997).
 10) 金澤 剛, 杉浦彰彦: SS 測距法を用いた ITS 向け緊急車両等の位置検出方式, 信学技報, RCS97-171 (1998).

(平成 12 年 4 月 18 日受付)

(平成 12 年 9 月 7 日採録)



杉浦 彰彦 (正会員)

1990 年東京農工大学大学院工学研究科修士課程修了。同年豊田工業大学制御情報工学科助手。1998 年豊橋技術科学大学大学院工学研究科知識情報工学系講師。1999 年同助教授。工学博士。マルチメディア情報通信, スペクトル拡散通信, 符号分割多重接続, 携帯電話方式, デジタル放送方式, 動画像の高エネルギー符号化, 画像計測, 画像応用, ITS 基盤技術等の研究に従事。IEEE, 電子情報通信学会, 電気学会, 映像情報メディア学会各会員。



金澤 剛

1998 年豊田工業大学制御情報工学科卒業。同年矢崎計器 (株)。在学中, スペクトル拡散通信方式, ITS 基盤技術等の研究に従事。