

ITS 無線システムにおける隠れ端末対策

白 永 英 晃*・山 田 雅 也・浦 山 博 史
小 河 昇 平

Solution Method for Hidden Terminal Problem in New ITS Radio Communication System — by Hideaki Shiranaga, Masaya Yamada, Hirofumi Urayama and Syouhei Ogawa — The Japanese government has planned to operate a new radio communication system for improving vehicle safety. In this system, on-car units send packets including information of their location and speed to each other according to CSMA (Carrier Sense Multiple Access) procedures. However, when radio wave is blocked by buildings and some units cannot detect others, two or more units can send their packets simultaneously. This can cause a packet collision called “hidden terminal problem,” leading to a serious defect in the new ITS (Intelligent Transport System) radio communication system. The authors have developed a new method for improving the performance of receiving packets when the collision occurs by selectively receiving a packet with a stronger power, and have successfully verified the performance in a field experiment.

Keywords: ITS, radio communication, hidden terminal

1. 緒 言

2018年度に交通事故死者数2500人以下を目指す、政府の新たな情報通信技術戦略に則り、無線通信を用いた安全運転支援システムの実用化が計画されている。このITS無線通信システムでは、車両に搭載した無線機（車載器）同士の通信（車々間通信）や、路側に設置した無線機（路側機）と車載器との通信（路車間通信）により、各車両の位置や速度などの情報を送受信する。これにより、例えば死角から車両が来ている場合などに、音声などでドライバーに警告して事故を回避することを目的としている。車々間通信においては、車載器が、送信に先だって電波の使用状況を確認し、電波に空きが生じたと判断したときに自車位置などの情報を含むパケットを送信する、CSMA（Carrier

Sense Multiple Access）の手順が採用される。そのため、**図1**のようにビルなどで遮られてお互いが通信できない車載器同士が、それぞれ電波の空きがあると判断してパケットを送信し、受信機（**図1**の場合は路側機）において混信するため両方のパケットを正常に復調できなくなる、いわゆる「隠れ端末問題」が発生することが予想される。特に、都市部の混雑した道路においては200式以上の車載器が各々パケットを送信するため、この隠れ端末問題が深刻になることが懸念されている。そこで、複数のパケットをほぼ同時に受信した場合に、無線機のロジックを工夫し、より受信電力の高いパケットをできるだけ正常に復調することを試みた。受信電力の高いパケットは、受信機に近い車載器から送信されたものであるため、安全運転支援において重要である。以下に開発したロジックの詳細と、試作器を用いて行った実験の内容について述べる。

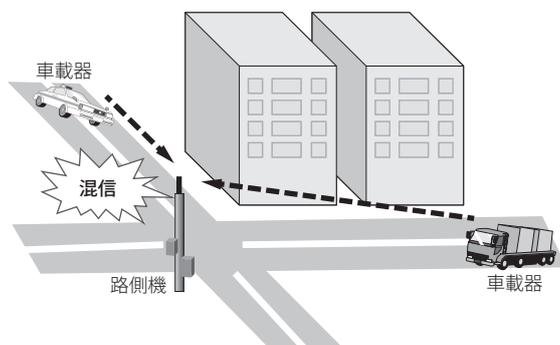


図1 隠れ端末問題によるパケットの混信

2. 無線通信の仕様と無線機の構成

2-1 無線通信の仕様 ITS無線通信システムでは、2011年に予定されているアナログ放送の停波により開放される700MHz帯のうち10MHzの帯域が用いられる。変調方法などの物理的な通信仕様はIEEE802.11に準拠し、通信手順などは現在一般社団法人電波産業会にて検討されている。パケットは、**図2**のようなフォーマットで構成され、データ内には車両の位置や速度などの情報が含まれる。このようなパケットを、各車載器が約100msごとに電波

プリアンブル*1	ヘッダ	データ	CRC*2
----------	-----	-----	-------

図2 フレームフォーマット

の空きを確認して送信する。携帯電話のように受信側とのリンクを形成してから送信するのではなく、すべてブロードキャストで行われる。受信する側では、多数の車載器から次々に送られ、時には時間的に重複するパケットを、できるだけ多数復調することが求められる。

2-2 無線機の構成 開発した無線機の外観と、そのブロック図を写真1及び図3に示す。アンテナで受信したパケットは、RF回路にて増幅などの処理が行われ、データを含むIF信号と、パケットの受信電力の強さを示すRSSI信号が生成され、それぞれA/D変換後に復調処理部に取り込まれる。この際、復調処理部はRSSI信号の大きさに応じてRF回路内の増幅率を最適値に保つ。復調処理部は、受信したパケットの復調を試み、正常に復調できればアプリ処理部にデータを送る。

復調処理部は、次の①～⑤の手順でパケットを受信する(図4)。



写真1 無線機の外観

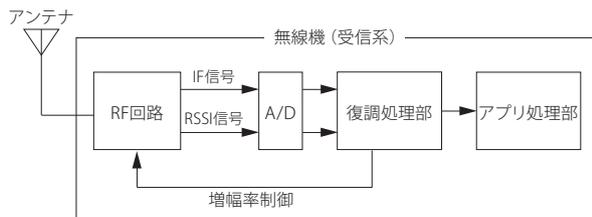


図3 ブロック図

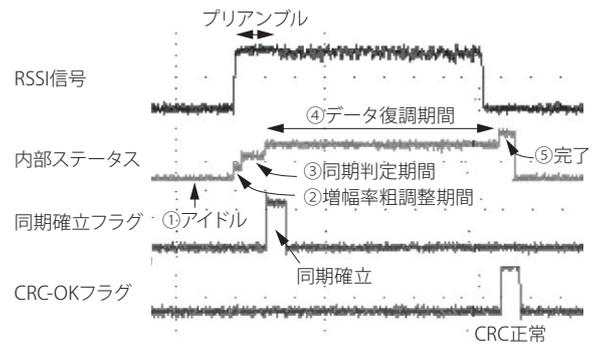


図4 復調処理部の動作

- ① アイドル状態では、RSSI信号を監視し、基準レベル以上の信号を受信したときには何らかの電波が到達したと判断する。
- ② RSSI信号のレベルに合わせて、RF回路の増幅率を粗調整する。
- ③ RF回路の増幅率を微調整しつつ、パケットの先頭に付加されたプリアンブルの検出を試みる。
- ④ プリアンブルが検出できたときは、正規のパケットを受信したと判断して同期を確立する。この後、RF回路の増幅率を固定してデータの復調を続ける。
- ⑤ 最後に、CRCを計算して正常であればアプリ処理部にデータを転送する。

3. 隠れ端末問題と対策

ここでは、隠れ端末状態にある複数の車載器から、ほぼ同時にパケットを受信した場合の動作について検証する。まず、図5のように、先に受信電力の高いパケットAが到達し、後で受信電力の低いパケットBが到達した場合には、パケットBがノイズに見えるだけなので、ノイズ(パケッ

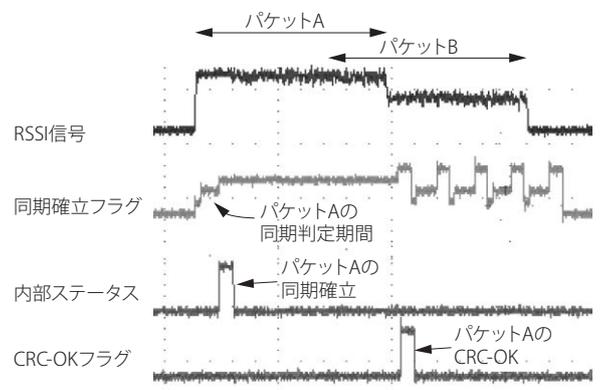


図5 先に受信電力の大きなパケットを受信する場合

トB) に対するパケットAの電力が十分に大きい場合には、従来通りの動作をすればパケットAを復調できる。尚、パケットBは、その前半がパケットAに埋もれてしまうため、同期を確立できず、復調できない。

一方、図6のように、先に受信電力が低いパケットAが到達し、後で受信電力の高いパケットBが到達した場合には、従来の手順ではパケットAの受信を続けてしまいパケットBを取り逃がしてしまう。さらには、パケットAもより強いノイズ(パケットB)の影響により正常に復調できない。

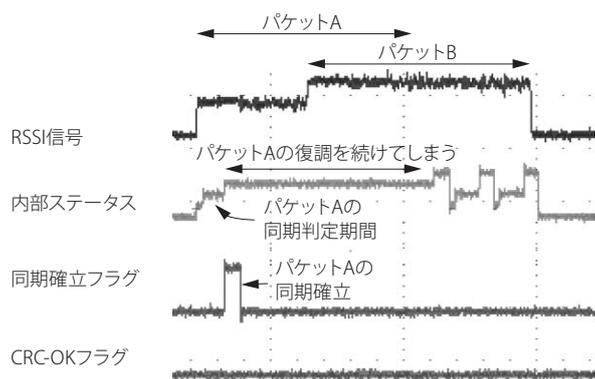


図6 後に受信電力の大きなパケットを受信する場合

このような場合にパケットBだけでも復調するために、パケットAの復調中にも、他のパケットを受信する可能性を考慮して、プリアンプルの到来を監視し同期検出を行うロジックを別途動作させる方法が考えられる⁽¹⁾。しかしながら、パケットAの復調中は、RF回路の増幅率がパケットAの受信電力に応じて高めに設定されるため、パケットBの同期判定においては増幅率が高すぎて、正しい判定が行えない場合がある。

そこで、後に受信した信号がパケットAより十分に強い場合には、例えそれがノイズであったとしてもパケットAの復調が不可能であるため、基準値以上のレベル差がある場合には直ちにパケットAの復調を諦め、後に受信した信号の受信電力にRF回路の増幅率を最適化させてしまう方法を試みた。つまり、パケットの復調対象の切り替えを、RSSI信号のみを手がかりに判断する方法であり、従来の新たなプリアンプルの検出を並行して行う方法より復調処理部の回路規模も小さくできる。図7に、この方法による復調処理部のステータスの変化を示す。パケットAのデータ復調中に、よりRSSI信号レベルの高い信号を受信すると、すぐにパケットAを破棄し、パケットBの受信電力に最適な増幅率で同期判定を行うことで、パケットBを正常に復調できていることが分かる。

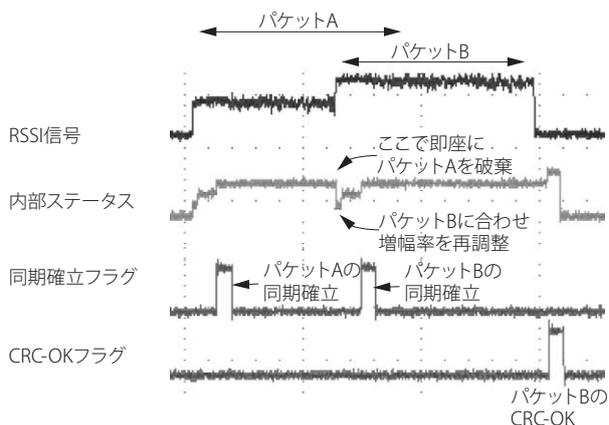


図7 実装した受信ロジック

次に、パケットAを受信中により強い信号を受信した際に、パケットAを破棄して復調対象を切り替えるか否かの判断基準について最適化を検討した。パケット受信中のRSSI信号は時間的な変動が大きいため、この変動を新たな電波の到来と見誤ってしまうと、不必要にパケットAを破棄してしまう結果になる。また、この変動の影響を軽減するために、RSSI信号の長時間での移動平均値を判断基準にすると、パケットB到達の感知が遅れ、結果として同期判定ができなくなってしまう。そこで、IEEE802.11に準拠したパケットのプリアンプルでは、RSSI信号が後続のデータ受信時より安定することに着目し、図8のようにパケットAの変動の少ないプリアンプル受信期間の平均RSSIレベルを記憶し、記憶したレベルより十分に高いレベルのRSSI信号を受信した際にパケットAを破棄する方針とした。この方法により、データ受信時のRSSI信号の時間変動により不要なパケット破棄をしてしまうことがなくなり、安定した動作が可能になり、より多くのパケットを復調することができるようになった。

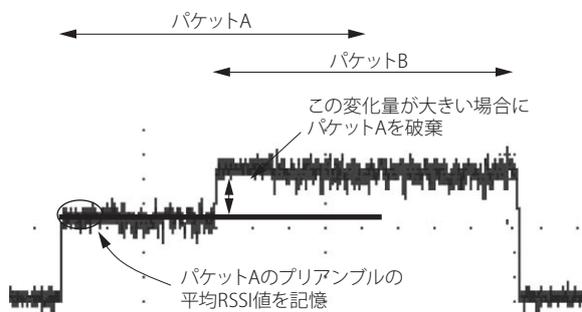


図8 パケット破棄の判断基準



写真2 フィールド実験

4. 検証実験

実装したロジックの効果を検証するため、愛知県豊田市で無線通信実験を行った。実験においては、データを効率よく取得するために、写真2の①と②の位置に送信用無線機としてそれぞれ路側機ア及び路側機イを設置して固定し、受信用無線機として車両に車載器ウを搭載して走行した。車載器ウは、走行時に各地点での路側機アが送信するパケットAの受信電力、路側機イが送信するパケットBの受信電力、及びパケットBのパケット到達率（復調に成功した割合）を取得した。表1に実験パラメータを示す。路

側機アは、隠れ端末としてほぼ切れ目なくパケットを送信し続けるように設定し、図9のようにパケットBが必ずパケットAの受信中に到達するようにした。この条件で、パケットBのパケット到達率を評価することを目的とした。

図10に実験結果を示す。尚、図10の横軸は路側機イの位置を0mとしている。また、積算パケット到達率は、70km/h走行において5mの区間でのパケット送信のうち少なくとも1回は受信できる確率を示しており、次式により算出したものである⁽²⁾。

$$1 - (1 - P_x)^{N_x}$$

P_x : X[m] 区間における1回送信当りのパケット到達率

N_x : X[m] 区間における平均送信パケット数

(X = 5、70km/h 走行の場合、 $N_x = 2.6$)

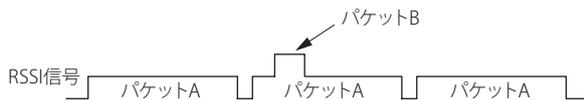


図9 路側機イ付近で受信するRSSI信号

表1 実験パラメータ

項目		パラメータ
路側機ア	送信電力 (EIRP)	19dBm
	パケット長	1000B
	変調方式	QPSK (符号化率 1/2)
	送信間隔	1.5ms
路側機イ	送信電力 (EIRP)	19dBm
	パケット長	100B
	変調方式	16QAM (符号化率 1/2)
	送信間隔	5ms
車載器ウ	アンテナ種別、高さ	無指向、1.5m

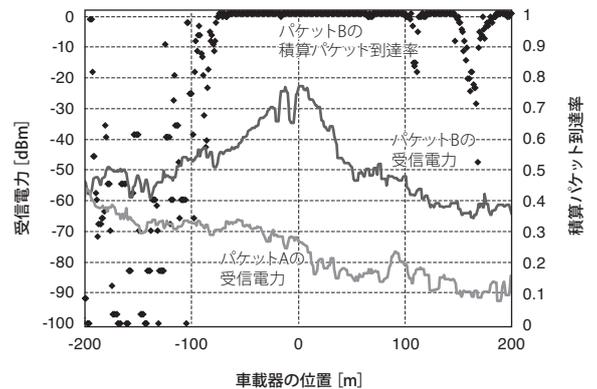


図10 実験結果

図10が示すように、パケットAの受信中にパケットBを受信した場合にも、パケットBの受信電力の方が十分に高ければ、提案した方法によりパケットBを復調可能なことがフィールド実験によっても示された。

5. 結 言

厳しい隠れ端末問題にさらされる ITS 無線通信システムに必要な、隠れ端末対策のロジックを実装し、実験にてその効果を実証した。これにより、多数の車載器からほぼ同時にパケットを受信してしまう場合においても、とりわけ重要度の高い自機に近い車載器から送信されたパケットの受信率が向上し、安全運転支援に活用できることが期待できる。

用語集

※1 プリアンブル

Preamble：フレームの先頭に付加される既知の信号であり、通信相手はこの信号を検出してタイミング同期を確立する。

※2 CRC

Cyclic Redundancy Check：送信側が規則に従って計算して付加した値に対し、受信側で同じ規則に従って計算した結果が正しい値になることを確認することで、データに誤りがあるか否かを判定するための信号。

参 考 文 献

- (1) Kamin Whitehouse, Alec Woo, and Fred Jiang. Exploiting The Capture Effect For Collision Detection And Recovery. EmNets '05 Proceedings of the 2nd IEEE workshop, pp.2-3 (May 2005)
- (2) ITS無線システムの高度化に関する研究会、「ITS無線システムの高度化に関する研究会 報告書」、pp.43-44 (June 2009)

執 筆 者

白永 英晃*：情報通信研究所 主席
安全運転支援システム用無線機の開発に
従事



山田 雅也：情報通信研究所 グループ長

浦山 博史：情報通信研究所 主査

小河 昇平：情報通信研究所

*主執筆者