

WAVE・DSRC システムにおける隠れ端末 によるパケット衝突の影響理論値

坪井務[†] 山田出^{††} 市川広輝^{††} 吉川憲昭^{†††}

車載無線通信（WAVE/DSRC）において、問題となる隠れ端末に対する評価に関する検討を行い、隠れ端末によるパケットの衝突確率の計算式を作成し、パケットロス率を所定の確率以下で通信するための通信レートごとの送信電力の許容範囲を求めるシステムの最適化を図ることを目指す。

The Theoretical Model for Packet Data Collision by Hidden Terminals for WAVE and DSRC

Tsutomu Tsuboi[†] Izuru Yamada^{††} Hiroki Ichikawa^{††}
Noriaki Yoshikawa^{†††}

This pamphlet describes WAVE/ DSRC system optimization for each required data rate with appropriate transmission power and packet loss rate with hidden terminal condition. Authors provide theoretical analysis for packet collisions formulas by hidden terminal conditions.

1. はじめに

WAVE (Wireless Access in Vehicle Environment)や DSRC(Dedicated Short Range Communication)等における車載無線通信において、車車間通信では、干渉検出可能エリア外の車両（隠れ端末）からの干渉により、パケット誤り率が增大するため、伝送速度から算出できるパケット長と、許容のパケット誤り率を規定すると、許容可能な最大干渉車両数が算出できる。

一方、車載機の送信出力と伝送速度からセル半径が算出でき、車両密度を与えると干渉車両数が算出できる。

本論文では、隠れ端末を含む干渉車両数を算出するため、D/U（希望波／干渉波）の概念を導入し、干渉検出可能エリア外すなわちセル外の干渉車両数となる、隠れ端末数を、許容のD/Uから算出し、算出した結果を用いて、伝送速度が与えられた際の最大許容干渉車両数となるセル半径を算出する。

2. 計算フロー

車載無線通信における隠れ端末の影響を検討するための、全体の算出フローは図1に示すように、以下のステップで行った。

- ステップ1：送信出力と伝送速度から、変調方式と受信入力の関係を用いてセル半径を算出する。
- ステップ2：セル半径、車両密度から、セル内の車両数を算出し、所要D/Uと伝搬距離特性からセル外の干渉車両数を算出する
- ステップ3：伝送速度からフレーム長を算出し、フレーム長と信号の送信周期、信号再送回数、許容パケット誤り率から、最大干渉車両数を算出する。
- ステップ4：以上のステップから伝送速度が与えられた際、所要のパケット誤り率を満足するための、隠れ端末を含む干渉車両数に制限するためのD/Uを算出する。

[†] (株)日立製作所

Hitachi Ltd.

^{††} 日立情報通信エンジニアリング(株)

Hitachi Information and Communication Engineering Ltd.

^{†††} サイバー創研(株)

Cyber Creative Institute

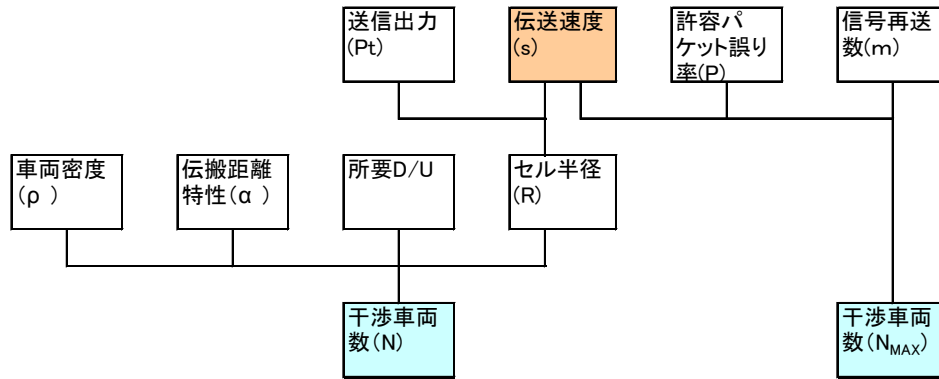


図 1. 全体計算フロー

3. セル半径の算出 (ステップ 1)

本車載無線通信の計算においては、国内での車車間無線通信を主体に採用を検討されている 720MHz 帯の無線通信周波数を条件として検討することにする。この 720MHz 帯の伝搬距離特性[1]を図 2 に示す。

図 2 において、伝搬距離 r がブレイクポイントを示しており、このブレイクポイントにおいてその前後で特性が異なることがこれまでの実証試験において明らかになっている。 $L_{bp}(=20\log(\lambda^2/(8\pi \cdot 1.5^2)))$ 以下の場合、概略 2.5 乗で伝搬距離と伝搬損失の関係[2]がなりたっており、 L_{bp} 以上の場合はその関係は概略 3 乗で伝搬損失は増大することが得られている。

この 720MHz 帯車載無線通信における回線設計諸元を表 1 に示す。さらに、伝送速度と所要受信入力との関係を表 2 のようにすれば、セル端での所要受信入力 P_s は

$$P_s = (P_t + L_t + G_t) + (G_r - L_r + M\sigma) - \text{許容損失}$$

で与えられ、表 2 の伝送速度に対する所要受信入力を用いて算出した送信電力とセル半径の関数が計算でき、その結果を図 3 に示す。

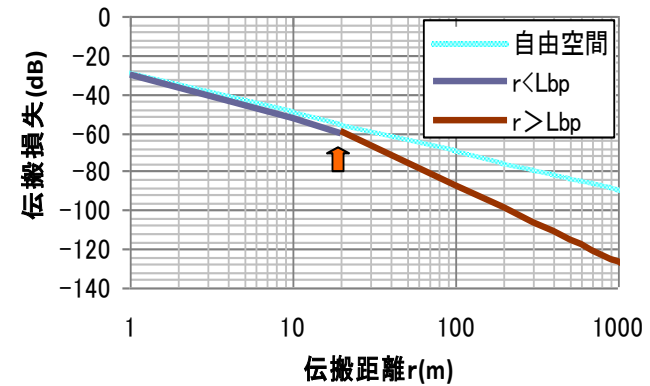


図 1 720MHz 帯の伝搬距離特性

表 1 回線設計諸元

	項目	記号	単位	仕様例	記事
送信側	送信出力	P_t	dBm	0-30dBm	パラメータ
	送信系ハード損失	L_t	dB	-3.0	
	送信アンテナ利得	G_t	dBi	3.0	
	送信eirp	P_e	dBm		$=P_t + L_t + G_t$
伝搬	送信アンテナ高	H_t	m	1.5	
	許容伝搬損失	L_d	dB		
	変動マージン	$M\sigma$	dB	9	$\sigma = 7\text{dB}, 90\% \text{値}(1.28\sigma)$
受信側	アンテナ利得	G_r	dBi	3.0	
	受信系ハード損失	L_r	dB	-3.0	
	所要受信入力	P_s	dBm		受信感度値を用いる
	受信アンテナ高	H_r	m	1.5	

表 2 所要受信入力 (P_s)

伝送速度 (Mbps)	所要受信入力 (dBm)	変調方式と符号化率
24	-74	16QAM, 1/2
12	-79	QPSK, 1/2
6	-82	BPSK, 1/2

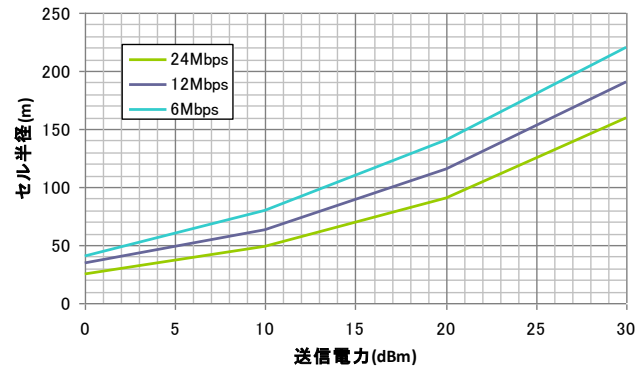


図 3 送信電力とセル半径

4. 隠れ端末数と D/U (ステップ 2)

隠れ端末の検討を行うモデルとして、図 4 に示すようなシステム構成を想定する。図 4 のセル構成で、P 点にいる車両がキャリアセンスを行う場合、キャリアセンス可能な位置の上限を Q 点とする。この場合 Q 点はセル端に相当する。

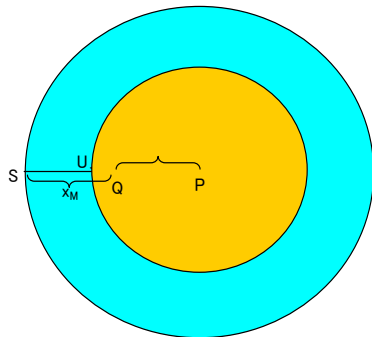


図 4 隠れ端末検討のセル構成

P 点の車両が Q 点の車両と通信する際に、Q 点から X だけ離れた U 点にいる車両が干渉を与える際、点 Q の D 波 (希望波) は点 P の車両から、U 波 (干渉波) は、点 U の車両から到来する波と考えて、伝搬の減衰係数を α とすれば、

$$\frac{D}{U} = \frac{x^\alpha}{R^\alpha}$$

となる。

D/U が所要値 β を満足する位置の上限値を S 点とすると、干渉局がセル端 Q から干渉を与える限界 S まで移動した際の干渉局数すなわち、隠れ端末数を算出する。

車両 P の所要の D/U を β 、伝搬の距離特性を $r^{-\alpha}$ とし、隠れ端末数は、車両密度を ρ 、円環 PR から PS に含まれる車両数 N_C とし

$$N_C = \rho \int_{x=0}^{x=x_M} 2\pi(R+x)dx = \rho(2\pi R x_M + \pi x_M^2) \quad (1)$$

で与えられる。

ここで、

$$\frac{D}{U} = \beta = \frac{x_M^\alpha}{R^\alpha} \quad (2)$$

となるので、

$$x_M = R\beta^{1/\alpha} \quad (3)$$

となる。

(1),(3)から、

$$N_C = \rho(2\pi R^2 \beta^{1/\alpha} + \pi R^2 \beta^{2/\alpha})$$

一方、セル内の端末数 N_{C0} は、

$$N_{C0} = \rho\pi R^2$$

となるので、干渉車両数は $N_C + N_{C0}$ となる。

干渉車両数と所要 D/U に関係を図 5 に示す。

同図より、所要の D/U を大きくするほど干渉車両数が減少する。たとえばセル半径

が 300m の場合、所要の D/U を 0dB から 10dB に変化させると、干渉車両数は 221 台から 121 台になる。これは、所要の D/U を大きく制限するほど X_M が小さくなり、隠れ端末数が減少するためである。これは希望波が干渉波に対して干渉波の影響力が少なくなることで、セル内における干渉車両数が減少することを意味していることに他ならない。

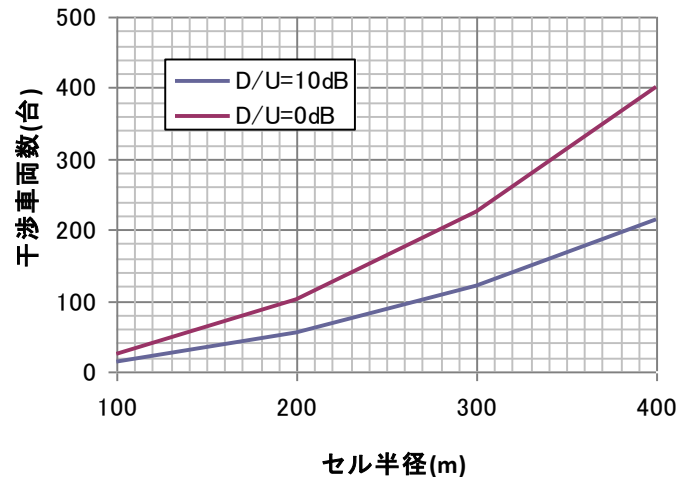


図 5 所要 D/U と干渉車両

5. 伝送速度と衝突確率 (ステップ 3)

車載無線通信では、IEEE802.11p[3]が一般的に採用されとり、国内の 700MHz 帯 WAVE システムにおいても使用する周波数帯は異なるものの、OFDM 方式における CSAM/CA アクセス方式を用いている。

この方式における伝送速度とフレーム長を図 6 に示す。フレーム構成は最初

に同期のためのプリアンブルデータに続き PHY (Physical) ヘッダが構成され、続いて MAC (Media Access Control) ヘッダと WSM (Wave Short Message) のヘッダが付加され、最後にデータペイロードによって構成されている。

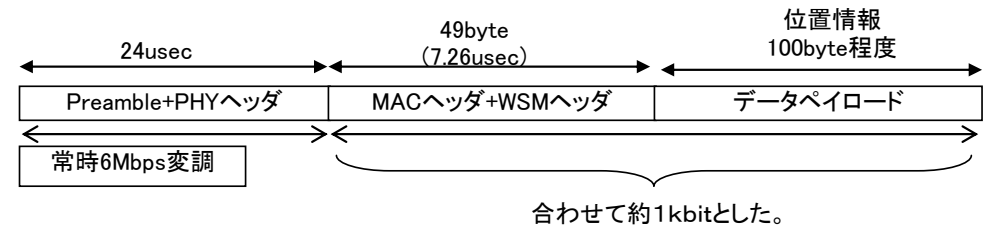


図 6 伝送速度とフレーム長

この関係から、各伝送速度に対するパケット衝突確率の関係を求める。

まず、伝送速度を SMbps としてパケット長 T_p は、

$$T_p = 24 + 1000/S \quad (\mu s)$$

で求める。

干渉車両数を N 、フレーム送信間隔を T_f 、再送回数を n として、各車載端末はビーコンパケットを周期的に送信して、信号が衝突すると再送するモデルで考える。

最初の車載機の送信の成功確率を $p(1)$ とすれば $p(1)$ は、最初の車載機がパケットを送信している時間内に、他の全ての車載機が、送信しない確率として

$$p(1) = (1 - T_f \cdot T_p)^N$$

で与えられる。

これから、 $(n-1)$ 回失敗して n 回目に成功する確率は、

$$p(n) = (1 - \sum_{m=1}^{n-1} p(m)) \times p(1)$$

で与えられる。

再送回数が 2 回の場合の伝送速度をパラメータにした干渉車両数とパケット誤り率の関係を図 7 に示す。

図7より伝送速度が大きくなるほどパケット長が小さくなるため、パケット誤り率は小さくなる。たとえば、パケット誤り率を0.9とすれば、伝送速度6、12、24MHzと変化させると、許容できる車両数は200、340、570台と変化する。

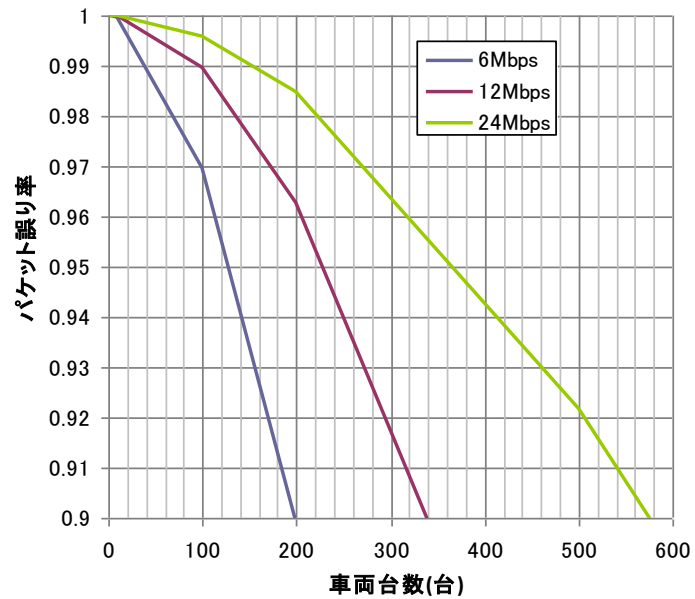


図7 パケット衝突誤り率と車両台数の関係

6. 最大干渉車両の算出 (ステップ4)

送信出力とパケット衝突確率を与えて伝送速度を変化させた場合の処理可能な干渉の対象になる車両数をセル半径の関係と DU を制限した際のセル半径と隠れ端末を含む車両数の関係を求めると図8のようになる。

図8から。伝送速度を変化させた場合の、処理可能な干渉対象になる車両の関係は右下がりの曲線であることが判る。これから伝送速度が速いほど処理できる車両数は増えるが、その対象となるセル半径は狭くなる。

次に、D/U を制限した際のセル半径と隠れ端末を含む車両数の関係は右下がりの曲線となり、D/U 比が大きくなればなるほど、処理できる車両数も大きくなる。

以上から、送信出力 30dBm でパケット衝突確率を 0.99 以下にするには車両数は右下がりの実線の値以下にすることが必要で、D/U が 0dB まで許容する場合の干渉車両数は右上がりの実線となるので、上記の2曲線の交点の点 A に対応する 160 台が最大処理可能な車両数になり、その際のセル半径は 250m となる。

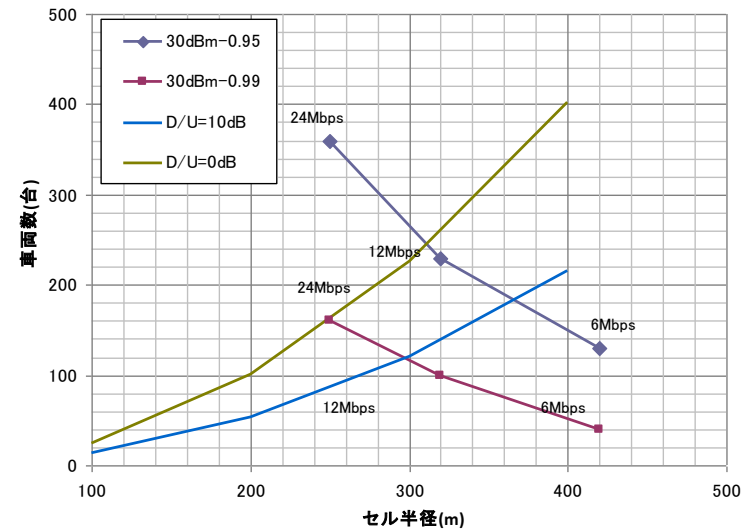


図8 セル半径と車両数 (出力 30dBm)

7. おわりに

所要 D/U の概念を導入することで、車載無線通信における隠れ端末を含む干渉車両数を制限し、与えられた伝送速度に対するパケット誤り率を満足させるための D/U を考慮してセル半径（送信電力）を求める方法を明らかにした。これにより、WAVE/DRSC 等における ITS 無線通信でのシステム最適化に向けた検討のガイドラインを策定する上での指標として検討ができることになる。

詳細検討に関しては、今後車載無線システムの試作とその実証試験によりシステムの最適化に関しての具体的なデータを積み上げる。

謝辞 本テーマにおけるコメント示唆いただいた千葉工業大学の屋代智之教授に謹んで感謝の意を表す。

参考文献

- 1) ITU-R P.1441-, "Propagation Data and Prediction Methods for the Planning of Short-range Outdoor Radio communication Systems and Radio Local Area Networks in the Frequency range 300MHz to 100GHz," ITU-R Recommendations, Volume 2005 P Series, ITU, Geneva, 2005
- 2) ITS Forum report RC-006 version 1, Feb.2009
(http://www.itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p34/ITSFORUMRC006V1_0.pdf)
- 3) IEEE802.11p (<http://www.ieee802.org/11/>)