

車々間通信における周期的なビーコン送信電力増減による 車両位置情報通知の信頼性向上

岡本 圭右¹ 金原 辰典¹ 石原 進¹

概要:

周辺車両と協調し車両同士の衝突を回避する安全運転支援システムを車々間通信を用いて実現するためには、各車両が自身の位置、速度等を記載したビーコンパケット配信し、それを受信することによって互いの位置を正確に把握することが重要となる。特に、近接する車両同士は衝突の危険性が高いため、高頻度に高精度な位置情報が必要となる。本稿では、各車両が衝突リスクに応じて適切な頻度で周辺車両の位置情報を把握することに重点を置き、一定周期でビーコン送信電力を増減させるビーコン送信電力動的変更手法を提案する。本手法を用いることで、遠距離に位置する車両に関しては少ないものの十分な頻度でビーコンを到達させ、また、他通信への干渉を減少させる。一方、近距離に位置する車両には高頻度にビーコンを到達させることができると期待される。本稿では、提案手法を用いた場合のビーコン送受信間の距離とビーコン受信率の関係をシミュレーションにより評価した。シミュレーション結果より、車両密度が高い場合において、固定送信電力や動的送信電力制御手法の一つ DCC を用いてビーコンを送信するより、提案手法を用いた場合の受信率が高くなることを確認した。

Highly reliable data distribution scheme for location information in vehicular networks by cyclic beacon transmit power control

KEISUKE OKAMOTO¹ TATSUNORI KIMPARA¹ SUSUMU ISHIHARA¹

1. はじめに

近年、最先端の情報通信技術を用いて人と車と道路を連携させ、交通事故や渋滞、排気ガス等の環境問題などといった道路交通問題の解決を目的とした高度道路交通システム (Intelligent Transport Systems: ITS) に関する研究が行われている。ITS では、車々間通信を利用した研究が盛んに行われおり、特に、2012年7月以降 700MHz 帯を用いた車々間通信による運転支援システムの実現に向けての整備が活発に進められている。

安全運転支援を目的とした車々間通信では、各車両はビーコンパケットに自身の車両 ID、速度、位置等を記載し、それを周辺車両に定期的に配信する。周辺車両が送信するそれらのビーコンを各車両が受信し、周辺車両の位置を常に正確に把握することが、車々間通信を用いた安全運

転支援システムの実現において重要となる。

しかしながら、車両間で通信を行う場合、車両の位置関係が常に変化するため、車々間通信用の通信規格 IEEE802.11p を用いた場合でも、常に安定したビーコンパケットを受信することが難しいという問題がある。特に都市中心部のような車両が密集する地域では、各車両間における通信干渉によってビーコン受信率が大きく変化する。車両密度が高い場合において、IEEE802.11p を用いた場合、1km あたり 90 台の車両が存在するような時、交差点から 40m 離れている車両に送信されたビーコンの到着率が 5%未満となるという分析も示されている [1]。そのため、車両同士の通信干渉によるビーコン衝突を抑え、ビーコン受信率を向上させる方法が重要となる。

これまでに、周辺車両から送られたビーコンの受信率を向上させるために、ビーコンの送信周期を変更する方法 [2]、送信電力を変更する方法 [3][4][5][6]、その両方を変更する方法 [7] などが提案されている。ビーコンの送信周期を変

¹ 静岡大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Shizuoka University

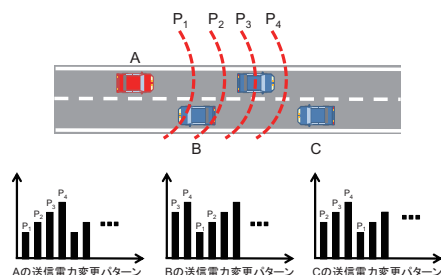


図 1 送信電力動的変更方式

更する方法では、車両速度が速い場合には送信周期を短くし、遅い場合には長くすることで、交差点のような車両速度の低い箇所での過剰なビーコン送信を抑制することを期待している。一方、送信電力を変更する手法では、各車両が周辺の車両密度等に応じた適切な送信電力を動的に決める。この手法では、周辺車両と送信電力を変更するまでの間に数回、ビーコン送信車両の送信電力等を記したビーコンを交換し、その情報をもとに送信電力を決定するため、その情報を得るまでのオーバーヘッド時間が大きくなってしまふ。またこれまでに、車両の密度、位置関係、速度等、それぞれの状態における車両同士の衝突を考慮した送信電力動的変更手法の提案および評価は行われていない。

本論文では、車両同士が衝突するリスクの高い車両同士がビーコンを高頻度かつ正確に交換することに重点を置き、ビーコン送信電力を一定周期で $P_1, P_2, P_3, P_4, P_1, \dots$ と段階的に増減させるビーコン送信電力動的変更手法を提案する(図 1)。提案手法では、各車両がビーコン送信毎に徐々に送信電力を増加させた後、送信電力を下げるという動作を周期的に繰り返す。このように送信電力を動的に変更することで、送信・受信車両間距離が長い車両、つまり衝突リスクが小さい車両に関しては少ない頻度でビーコンが到達し、送信・受信車両間距離が短い車両、つまり事故リスクが大きい車両に対してはビーコン到達頻度が向上することが期待される。また、定期的に小さい送信電力でビーコンを送信するので、他通信への干渉が減少すると考えられる。

本論文では、送信電力が固定の場合、他の送信電力制御手法である DCC[7] を用いた場合と、提案手法を用いた場合の受信率を比較した。シミュレーション結果より、送信・受信車両間距離が長い場合に、送信電力を固定した場合に比べて、提案手法は高い受信率を示した。また、DCC と比較すると、車両密度に関係なく提案手法の方が高い受信率を示した。また提案手法と DCC を組み合わせた手法を考え、送信電力が固定の場合、提案手法のみの場合における受信率を比較した。シミュレーション結果より、提案手法を用いる場合よりも、DCC と提案手法を組み合わせた手法の方が高い受信率を示した。

以下 2 章では、ビーコン送信電力変更に関する関連研究について述べる。3 章は提案方式の基本動作について述べる。4 章では、シミュレーションによって提案手法、送信電力が固定の場合、DCC を用いた場合、並びに DCC と提案手法を組み合わせた手法についてビーコン受信率の比較を行う。5 章で、提案手法を用いたビーコンの送信電力制御の応用例について考察する。最後に 6 章で本論文をまとめる。

2. 関連研究

送信電力制御手法は、大きく分けて二つのタイプに分けられる。一つ目は、各車両が、定期的に送信されるビーコンに自身の近隣車両の位置情報や、自身の送信電力等の情報を付加して周辺車両に配信するという手法である。二つ目は、定期的に送信されるビーコンに新たに情報を付加するのではなく、ビーコンを受信したときの受信電力を用いて、周辺の車両密度を推定し、その車両密度に適した送信電力を算出する手法である。

まず、ビーコンに新たな情報を付加する手法について述べる。Torrent-Moreno らは車両の密度に注目して送信電力を変更する FPAV(Fair Power Adjustment for Vehicular networks) と D-FPAV(Distributed-FPAV) を提案している [3][4]。FPAV[3] では、全ての車両位置が既知で、集中制御が可能であるという条件のもと、各車両が一定数以上のビーコン (MBL : Maximum Beacons Level) を受信しないように全車両の送信電力を平等に増加させて最終的な送信電力を決定する。しかしながら、現実には全ての車両位置が既知であることは不可能である。そこで彼らは FPAV を改良し、各車両が、分散処理で適切な送信電力を設定する手法 D-FPAV[4] を提案している。D-FPAV では、自身の近隣車両の情報 (位置、速度等) を付加しビーコンを定期的に送信し周辺車両の情報を取得し、各車両の最大送信電力で届く範囲内にいる車両内で FPAV を用いて送信電力を決定する。同手法では、車両密度が高い時ビーコンに付加する近隣車両情報が無視できない大きさとなるが、著者らはシミュレーションによって送信間隔 100ms の時 10 回に 1 度送信電力で近隣車両情報をビーコンに付加するのが良いと述べている。

D-FPAV において各車両は定期的にキャリアセンス可能な最大範囲に存在する車両に対して、自身の周辺車両の情報を送信する必要があった。車両密度が高い場合にはこれらオーバーヘッドが無視できない。そこで、Mittag らは車両の台数の分布のみで送信電力を変更する手法を提案している [6]。同手法では、車両密度ヒストグラムを作成し交換することで周辺車両の密度分布を作成し (DVDE : Distributed Vehicle Density Estimation), その密度分布に応じて MBL を超えないように送信電力を決定する (SPAV : Segment-based Power Adjustment for Vehicular environ-

ments) . DVDE/SPAV はシミュレーションによる評価により, D-FPAV でのビーコンに付加する近隣車両の情報のオーバーヘッドを減少させることを示している.

Lu らは ETPC(Efficient Transmit Power Control) を提案している [5]. ETPC では, 隣接車両リストをもとに定められた台数の車両にビーコンが届くように送信電力を計算し, ビーコンにその送信電力を付加する. 各車両は, 周辺車両の送信電力と自身の計算した送信電力の内, 最低台数の車両に届き, なおかつ最も小さい送信電力を自身の送信電力としてビーコンを送信する. しかしながら, 隣接車両リストを用いるため, 急激な車両密度の変化等に遭遇した場合, 最適な送信電力を決定するまで時間がかかるという問題がある.

次に, ビーコンに新たな情報を付加しない手法について述べる. 欧州電気通信標準化機構 ETSI では Decentralized CongestionControl(DCC)[7] を定めている. DCC では, 車両密度に応じて, 異なるビーコン送信周期と送信電力等をパラメータとして持つ状態を 3 つ (Relaxed, Active, Restrictive) 定義している. 各車両はビーコンを受信したときの受信電力を基に車両密度を推定する. 各車両が推定した車両密度が高い場合, DCC の状態は Restrictive となり, 長い送信周期, 小さい送信電力, 低い通信レートでビーコンを送信し, 車両密度が低い場合, 状態は Relaxed となり, 短い送信周期, 大きい送信電力, 高い通信レートでビーコンを送信する. 各車両は受信したビーコンの受信電力を各状態に対して決められた閾値と比較し, 閾値よりも高い場合は車両密度レベルが高い状態に遷移する. 逆に, ビーコンの受信電力が閾値より低い場合は車両密度レベルの低い状態に遷移する.

しかしながら, DCC を実際に用いた場合, 状態が 3 つ (Relaxed, Active, Restrictive) あるのにもかかわらず, 車両のほとんどが同一の状態を選択し, その状態のパラメータに従ってビーコンを送信するということが起きる. このように状態が 3 つしかない場合, 各車両が周辺の車両密度を正確に推測することは難しい. そこで, Subramanian らは DCC を改良した手法を提案している [8]. この手法では, DCC で定義された 3 つの状態をより細かくし, 状態を 6 つに増やし, 各状態で異なる送信電力を決定している. シミュレーションの結果, DCC を改良した手法 (状態が 6 つ) は, 3 つの状態しかない DCC に比べ, ビーコン受信率が大きく向上している.

以上に示したように, これまでの送信電力制御手法は, アクティブ, またはパッシブな方法で周辺車両密度に適した通信条件の把握を行い, 送信電力を調整する. 一方, 本論文での提案方式では, 周期的に送信電力を変えることで, 通信条件の把握を必要とすることなく, 車両間距離に応じたビーコンの受信成功率を達成することを目指す. また, 提案方式は通信条件の把握を用いた方法と併用することも

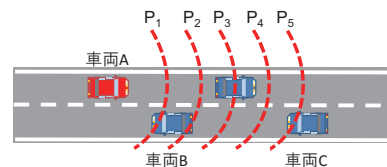


図 2 ビーコン送信電力の段階的変更による衝突防止

可能である.

3. 段階的な送信電力制御手法の提案

本章では, パケットの衝突頻度を減らしつつ, 車両間の距離が短い場合に高いビーコン受信率を得るために, 各車両がビーコン送信毎に送信電力を増加させ, 一定回数ビーコンを送信すると送信電力を下げるという動作を周期的に繰り返す手法の概要について述べる.

3.1 概要

車両同士の衝突を防ぐためには, 車両の衝突の危険性が高い車両間の距離が短い時ほど, 高頻度に精度の高い車両位置情報が必要となる. 本稿では, パケットの衝突頻度を減らしつつ, 車両間の距離が短い場合に高いビーコン受信率を得るために, 各車両がビーコン送信毎に送信電力を増加させ, 一定回数ビーコンを送信すると送信電力を下げるという動作を周期的に繰り返す手法を提案する.

図 2 に示すように, 車両 A が送信電力 P_n でビーコンを送信すると, 点線の内側にいる車両のみ, 車両 A からのビーコンを受け取ることができる. 車両 B は車両 A から送られたビーコンが頻繁に届くため, 車両 A の位置を高い精度で把握することができ, 衝突の危険性を低くすることができると考えられる. また, 車両 A は一定の周期で小さい送信電力でビーコンを送信するため, 他車両が送信するビーコンとの衝突を防ぐことができ, 周辺車両に高い確率でビーコンが届けることができると考えられる. 一方, 車両 C は, 車両 A との距離が長いいため車両衝突の危険性は低い. そのため, 車両 C は車両 A が送信したビーコンを頻繁に受信する必要はないと考える.

3.2 基本動作

提案方法では, 各車両はビーコン送信毎に送信電力を増加させ, 一定回数ビーコンを送信すると送信電力を下げるという動作を周期的に繰り返す. ビーコン送信電力の段階的な変更の例を図 3 に示す. 各車両は, 送信電力変更周期 T [サイクル] 中の時刻 t に, ビーコン送信電力の組 $\mathbf{P}=(P_1, P_2, P_3, \dots, P_T)$ から順に送信電力 P_t を選択する. 図 3 に示す例では, 送信電力の組 $\mathbf{P}=(P_1, P_2, P_3, P_4)$ で周期が $T=4$ となっており, $P_1, P_2, P_3, P_4, P_1, \dots$ とビーコン送信毎に送信電力を変化させる. このとき, 各車両は送信電力の組 \mathbf{P} の中からランダムに最初の送信電力を決定する.

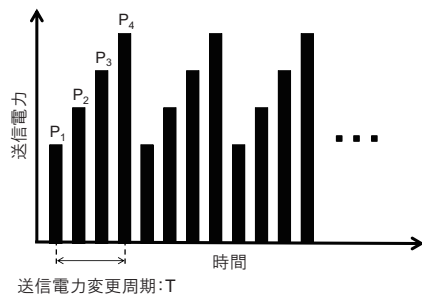


図 3 ビーコン送信電力の段階的変更方式

例えば、車両 A は $P_1, P_2, P_3, P_4, P_1, \dots$ と送信電力を変更させるが、車両 B は、 $P_3, P_4, P_1, P_2, P_3, \dots$ と送信電力を変更させる。このようにすることで、各車両のビーコン送信電力が異なるので、キャプチャ効果を利用してパケットロスを減少させることができると考えられる。さらに提案手法を用いることで、定期的に小さい送信電力でビーコンを送信するため、一定出力でビーコンを送信するよりも他通信への通信干渉を抑えることが期待される。

3.3 キャプチャ効果の利用

無線通信では、複数の端末が同じ端末と通信を行うことを考えた場合、宛先の端末に信号が早く届いた端末が通信を行うことができる。また、同時に送られてきた複数のパケット間の受信電力差が大きい場合には、受信電力の大きなパケットの伝送は成功するというキャプチャ効果が得られ、衝突によるスループット低下を抑えることができることが知られている [9]。例えば、端末 A と端末 B が通信を行っている時に、端末 B が端末 A から受信した信号に対して、同程度の信号レベルを持つ信号が、端末 C から端末 B に送られてきた場合、つまり、端末 B における端末 A、C から送られてきた信号の受信レベルが同じ受信レベルであった場合の場合、端末 B は、端末 A、C から送られてきた両方の信号を復元することができず、信号の受信に失敗する (図 4 (a))。これが、パケット衝突によるパケットロスである。

しかしながら、端末 B が端末 A から受信した信号に対して、十分小さい信号レベルを持つ信号が、端末 C から端末 B に送られてきた場合、つまり、端末 B において、A から送られてきた信号の受信レベルの方が、C から送られてきた信号の受信レベルの方の場合よりも十分に大きい場合、端末 B は、端末 C から送られてきた信号を受信しないので、端末 A からの信号を復元できる (図 4 (b))。この現象をキャプチャ効果という。このキャプチャ効果により、端末 A と端末 B のように距離が短い端末間での通信は頻繁に成功し、一方で、端末 B と端末 C は距離が長いので、通信が成功する機会は少なくなる。

この現象を利用し、提案する手法の目的である事故が発生するリスクの高い近接車両間では、ビーコンパケットを

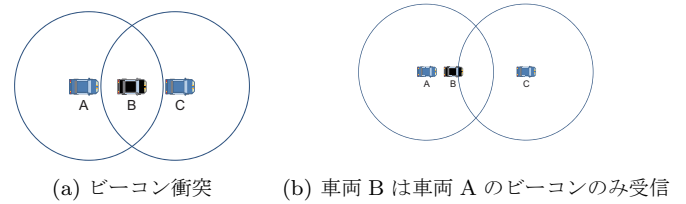


図 4 キャプチャ効果

高頻度に送信する一方、事故が発生するリスクの低い車両間では、ビーコンパケットを低頻度で送信することができると考えられる。

4. シミュレーション評価

提案手法の効果を評価するためにシミュレーションを行った。提案手法を用いた場合のビーコン受信率をビーコン送信電力が一定のときの受信率、および、従来型の動的な送信電力制御手法のひとつである DCC を用いた場合のビーコン受信率を比較する。

4.1 比較対象 : Decentralized Congestion Control (DCC) の動作

DCC はビーコンに周辺車両の情報を付加していないという点では、提案手法と同じであるが、周辺車両から受け取ったビーコンの受信電力に基づいて送信電力を変更するという違いがある。

ETSI の仕様 [7] では、DCC の動作ならびにパラメータは以下の様に定められており、各車両は三つの状態, Relaxed, Active, Restrictive の間を遷移する。状態が Relaxed のとき、1 秒間に各車両がビーコンを受信したときの受信電力が、Relaxed で定められたキャリアセンスレベル以上である時間が 0.4 秒以上であった場合に Active 状態に遷移する。同様に、状態が Active のとき、1 秒間に各車両がビーコンを受信したときの受信電力が、Active で定められたキャリアセンスレベル以上である時間が 0.5 秒以上であった場合に Restrictive 状態に遷移する。一方、状態が Relaxed のとき、5 秒間に各車両がビーコンを受信したときの受信電力が、Restrictive で定められたキャリアセンスレベル以下である時間が 0.2 秒以上であった場合に Active 状態に遷移する。同様に、状態が Active のとき、5 秒間に各車両がビーコンを受信したときの受信電力が、定められたキャリアセンスレベル以下である時間が 0.15 秒以上であった場合に Relaxed 状態に遷移する。

ビーコンを送信したときの電力は、距離長くなるに従って減衰するため、ビーコンを受信したときの受信電力が大きいということは、自身の近くに車両が存在すると考えられる。逆に、受信電力が小さいときは、自身の近くには車両が存在しないことが考えられる。自身が車両密度が低いと推定するとき、つまり Relaxed 状態のときは、ビーコ

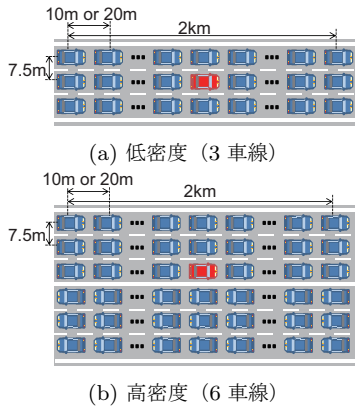


図 5 車両配置図 (高密度の車両群と低密度の車両群)

送信電力の組	P[dBm]
Case 1	(0, 0, 8, 8, 14, 14, 20, 20, 20, 20)
Case 2	(0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20)
Case 3	(0, 0, 0, 0, 4, 4, 10, 10, 16, 20)

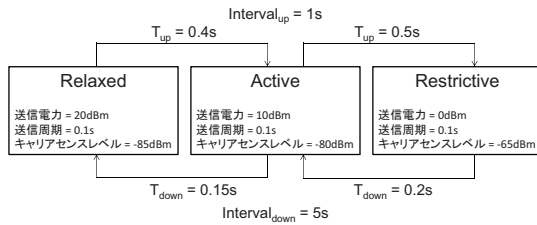


図 6 DCC の状態とそのパラメータ

ンが衝突する可能性が低いいため、短い周期、大きい送信電力、低い通信レートでビーコンを送信する。逆に、車両密度が高いと推定するとき、つまり Restrictive 状態のときは、ビーコンが衝突する可能性が高いため、長い周期、小さい送信電力、高い通信レートでビーコンを送信する。なお DCC では、状態によって異なる送信周期と通信レートを設定することが可能であるが、本稿では、ビーコンの受信率向上のために、動的に送信電力制御を行う手法について考えているため、それぞれの状態のビーコンの送信周期、通信レートを一定として、提案手法との比較を行う。

4.2 シミュレーションシナリオ

2km の直線道路に車両間隔 10m または、20m で車両を配置し、車両密度の高い車両群 (6 車線) と車両密度の低い車両群 (3 車線) を形成した (図 5)。それぞれの車両群における中心の車両が周辺車両が送信したビーコンをどの程度受信できたかを評価した。送信電力の組には表 1 を使用し、その他のパラメータは表 2 の通りである。DCC を用いてビーコンを送信する場合、文献 [8] の設定に従うと、固定値を用いた場合よりも悪くなるケースがほとんどなので、実験的に求めた良好な性質が得られたパラメータセットを用いる。DCC の状態とその状態におけるパラメータを図 6 に示す。シミュレータには Space-Time Engineering

表 2 シミュレーションパラメータ

中心周波数	5.8 GHz
帯域幅	10 MHz
通信レート	3 Mbps
最低受信可能電力	-85 dBm
キャリアセンスレベル	-65 dBm
ビーコン送信間隔	100 ms
電波伝搬モデル	ITU-RP.141-1 勧告 [11]
ペイロードサイズ	200 bytes
ヘッダーサイズ	86 bytes
シミュレーション時間	100 s

社の Scenargie[10] を利用した。

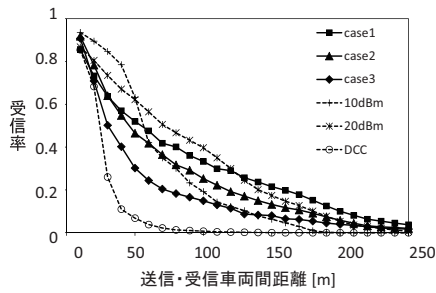
4.3 シミュレーション結果

固定送信電力 (10dBm および 20dBm) でビーコンを送信した場合、DCC を用いてビーコンを送信した場合、提案手法を用いてビーコンを送信した場合の受信率を調べた。ここで受信率とは、毎秒 10 回送信されるビーコンに対する受信成功率である。本章での評価では、送信・受信車両間の距離と受信率との関係について評価する。

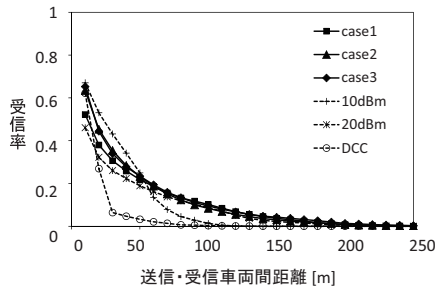
本シミュレーションの中で、車両密度が一番高いのは、6 車線で車両間隔が 10m のケース (図 7 (b)) であり、最も低いのは、3 車線で車両間隔が 10m のケース (図 8 (a)) である。図 7 (a) 図 8 (b) は上記の二つのケースの間の車両密度である。

提案手法を用いてビーコンを送信した場合と送信電力を 10dBm に固定した場合の受信率を比較すると、車両密度が高い場合、送信・受信車両間距離が長いときに提案手法の方がより高い受信率を示している。図 7 (b) に示すように、送信・受信車両間距離が 50m より短い場合は、提案方式を用いた方が 10dBm 固定の場合より受信率が低い、50m より長い場合では、提案方式を用いた方が 10dBm 固定の場合より受信率が高い。一方、車両密度が低い場合は、送信・受信車両間距離が短いとき、提案手法は 10dBm 固定の場合より受信率は小さくなった。しかしながら、図 8 (a) に示すように、送信・受信車両間距離が 200m より長い場合において、提案手法が 10dBm 固定の場合より受信率が高い。また、図 8 (a) の場合と同じ車両間距離で車線数が 6 車線に増えた場合 (図 8 (b))、では、送信・受信車両間距離が 70m より長い場合、提案手法を用いた場合と 10dBm の場合の受信率はほぼ同程度を示し、150m より長くなると提案手法の方が高い受信率を示している。

提案手法と送信電力を 20dBm に固定した場合を比較する。車両密度が最も高い場合、送信・受信車両間距離にかかわらず提案手法の方が高い、あるいは、同程度の受信率を示した (図 7 (b))。この理由としては、提案手法を用いることで定期的に小さい送信電力でビーコンを送信するため、他の車両同士の通信への干渉が軽減できたためだと考

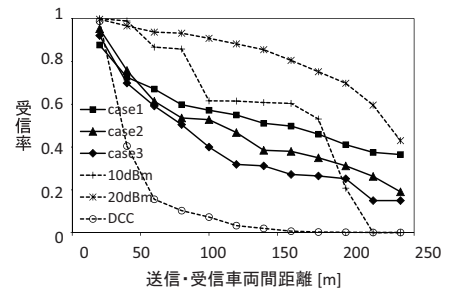


(a) 3車線

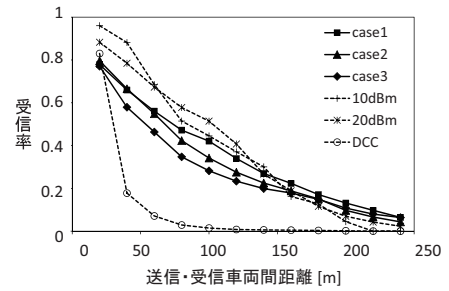


(b) 6車線

図7 車両間距離が10mの場合のビーコン受信率



(a) 3車線



(b) 6車線

図8 車両間距離が20mの場合のビーコン受信率

えられる。一方、車両密度が低い場合は、図8(a)に示すように送信・受信車両間距離にかかわらず提案方式を用いた方が20dBm固定の場合より受信率が低い。しかしながら、図8(a)の場合と同じ車両間距離で車線数が6車線に増えた場合(図8(b))では、送信・受信車両間距離が150mより長い場合に、提案手法を用いてビーコンを送信した場合は20dBmの場合より同程度、または少し高い受信率を示した。

提案手法と各状態の送信周期を変更しないDCCの受信率を比較すると、送信・受信車両間距離が50mより長くなると、車両密度に関係なく提案手法の方が受信率が高い。この理由としては、本稿のように車両が動かないことを想定した場合、ビーコンを一定の送信電力で送ると、ビーコンの受信電力がビーコン送信車両と受信車両の距離によって、ほぼ一定の値となってしまふ。そのため、各車両が同じ状態(Restrictive状態)であることが多くなり、ビーコンを0dBmという小さい送信電力で送ったためと考えられる。

提案手法での送信電力パターンの違いによる影響を比較する。車両密度が高い場合には、提案手法の平均送信電力が小さいパターン(case3)の受信率が高い一方、車両密度が低い場合には、提案手法の平均送信電力が大きいパターン(case1)の受信率が高くなっている。提案手法のcase1は周期の大部分を大きい送信電力が占めるため、平均送信電力は大きくなる。一方、case3は周期の大部分を小さい送信電力が占めるため、平均送信電力は小さい。このことより、車両密度が高い場合には、平均送信電力が小さくなるような送信電力の組を選択し、逆に、車両密度が低い場合には、平均送信電力が大きくなるような送信電力の組を

選択することで受信率の向上が見込めると考えられる。

4.4 提案手法の改良

シミュレーション結果より車両密度が低い場合には、提案手法を用いてビーコンを送信するより、10dBmや20dBmのように固定送信電力でビーコンを送信した場合の方が、送信・受信車両間距離が短い場合において受信率が高い。しかしながら、車両密度が高い場合には提案手法の効果が見られた。そこで、車両密度に関係なく高いビーコン受信率を得るために、提案手法の改良を考える。

4.4.1 固定送信電力と提案手法の併用

提案手法を改良する手法として、固定送信電力と提案手法を併用する方法が考えられる。

高い送信電力でビーコンを送ると遠くまで届くため、遠くの車両の位置を把握できる。しかしながら、車両密度が高い場合には、他通信との干渉が起き、ビーコンの受信率が下がってしまう可能性がある。車両はそれぞれ移動するため、本シミュレーションのように車両密度が一定ということは考えにくい。各車両が周辺車両から送られてくるビーコンの受信数の変化から、車両密度が変化してきたことを各車両が判断し、車両密度が高くなってきた場合に、提案手法を使ってビーコンを送信する方法に切り替えることで、より高いビーコン受信率を見込める。

4.4.2 既存の送信電力制御手法と提案手法の併用

提案手法と他の送信電力制御手法を併用する方法として、既存の送信電力制御手法と提案手法を併用する方法も考えられる。既存の送信電力制御手法では、ビーコンに新たな情報を付加し、その情報を利用して周辺車両密度に適した送信電力を算出する手法と、ビーコンに新たな情報を

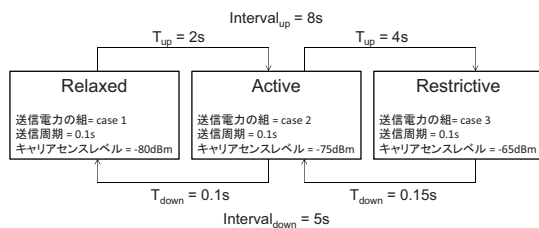


図 9 DCC の状態とそのパラメータ

付加しない手法がある。前者には、ビーコンを送る際に自身の周辺にいる車両の位置情報をビーコンに含める手法 (D-FPAV) や、自身の送信電力をビーコンに含める手法 (ETPC) などが挙げられる。この手法では、ビーコンに新たな情報を付加するため、ビーコンに付加される情報が多くなりオーバーヘッドが大きくなると考えられる。これらの手法と提案手法を組み合わせることも考えられるが、本稿では、ビーコンに情報を付加しない場合のみ検討する。

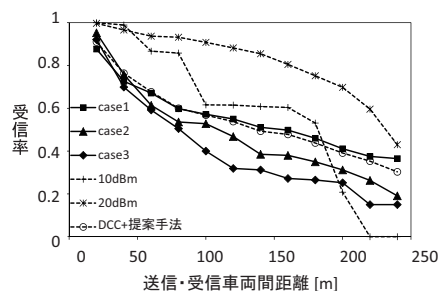
4.5 DCC 利用した改良提案手法の評価

車両密度に関係なく高いビーコン受信率を得るために、本稿では DCC と提案手法を組み合わせる手法を考えた。この手法では、DCC の各状態で定義されている固定送信電力を、平均送信電力が異なる送信電力の組に変更する。送信電力の組は、表 1 に示したものを利用する。

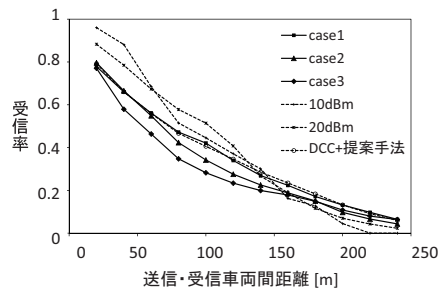
状態が Relaxed の場合、DCC では周辺の車両密度が低いと推定するため、提案手法の case の中で平均送信電力が最も大きいものを選択する。逆に、状態が Restrictive の場合、DCC では周辺の車両密度が高いと推定するため、提案手法の case の中で平均送信電力が最も小さいものを選択する。シミュレーションは、図 5 の車両間距離 20m の場合のみ行った。使用したパラメータは表 2 の通りである。なお、4.2 節に示した ETSI の設定に従った DCC のパラメータセットでは、シミュレーション時間中のほとんどで DCC の状態が Restrictive になってしまったため、Relaxed あるいは Active 状態にいる時間を長くし、できるだけ提案手法の平均送信電力の高い case でビーコンを送信するために、以下のようにパラメータの調節を行った。まず、Relaxed と Active のキャリアセンスレベルを高く設定し、また車両密度が高い状態に遷移するまでの時間を長く設定した。さらに、Relaxed から Active、Active から Relaxed、Restrictive から Active に遷移する際の閾値を小さく設定し、Active から Restrictive に遷移する際の閾値を大きく設定した。DCC 改良提案手法での状態遷移に用いたパラメータを図 9 に示す。

4.5.1 シミュレーション評価

シミュレーション結果を図 10 に示す。ここで想定した条件の下では、改良提案手法での各車両の状態は Relaxed あるいは Active のいずれかであった。従って、各車両は送信電力の組の case1 と case2 を用いてビーコンを送信して



(a) 3 車線



(b) 6 車線

図 10 車両間距離が 20m の場合のビーコン受信率

いた。

改良提案手法と case1 のみを用いてビーコンを送信した場合の受信率を比較すると、送信・受信車両間距離が 50m より長い場合において、改良提案手法の方が受信率が高い。この理由として、改良提案手法では case1 と case1 よりも平均送信電力の低い case2 を用いてビーコンを送信したため、送信・受信車両間距離が短い場合において他通信への干渉が減少したことが考えられる。

改良提案手法は、case1 よりも平均送信電力の低い case2 や case3 より高い受信率を示したが、10dBm と 20dBm の固定送信電力でビーコンを送った場合よりも受信率は低くなった。しかしながら、改良提案手法は車両密度によって適切に送信電力の組を変更することで、一つの送信電力の組でビーコンを送る場合より受信率の向上が見込められるということが確かめられた。

4.6 提案手法の応用

提案手法を用いたビーコンの送信電力制御の応用として、送信電力パターンを周辺の状況に応じて変更することが考えられる。ここでは、右折時衝突の可能性のある交差点でのシナリオを取り上げ、図 11 中の車両 A に注目し、交差点での隣接車両把握を行うための送信電力パターンの選択方法を考察する。

衝突防止の観点で考えた場合、車両 A が右折しようとする際、反対車線側から高速で交差点に進入してくる車両 B の存在を車両 A が把握することは、衝突防止の為に重要である。一方、車両 A にとって交差点で停止している車両 C の情報は重要ではない。ところが、車両 C に注目すると、衝突防止のために、車両 A の後方から来る車両の位置を車

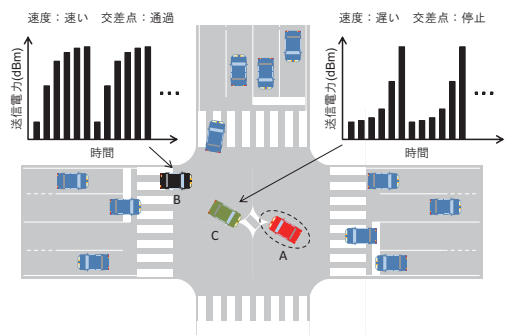


図 11 右折時衝突防止への応用

両 C は正確に把握しなければならない。車両 A の右折時衝突を防ぐためには、車両 B は車両 A に自身の存在を伝えるだけでなく、車両 C が対向車両から送られてくるビーコンの受信を妨げないようにするべきである。そこで、車両 B は交差点に進入するため自身の情報を通知する必要性が高いとし、周期の大部分を大きい送信電力を占め、定期的に小さい電力でビーコンを送るような送信電力パターンを設定するようにする。

車両 C は交差点で停止しているため、自身の情報を通知する必要性が低いとし、他通信への干渉を極力減らすため、周期の大部分を小さい送信電力が占めるように送信電力の組を選択するべきである。ただし、車両 C は、衝突を未然に防ぐために遠方車両に対して自身の存在の通知を行う必要があるため、少ない頻度ではあるが、大きな送信電力でビーコンを送る。車両 C は上記の特徴を持つような送信電力パターンを設定する。以上のように、事故防止の観点からは、車両の移動速度や位置から推測される交通状況に応じて送信電力パターンを変更することが有用と考えられる。

5. まとめ

車々間通信を用いて安全運転支援システムを実現するために、パケット衝突を減らしつつ、車両同士が衝突するリスクの高い車両同士がビーコンを高頻度かつ正確に交換することに重点を置き、一定周期でビーコン送信電力を増減させる手法を提案した。

本稿では、提案手法を用いてビーコンを送信した場合と、他の送信電力制御手法である DCC、送信電力を固定した場合の受信率を比較した。シミュレーションにより、車両密度が高い場合において、提案手法を用いることで、送信・受信車両間距離が長い場合に、固定送信電力の場合に比べて、高いビーコン受信率を示すことを確認した。また、提案手法と DCC の受信率を比較すると、車両密度に関係なく提案手法の方が高い受信率を示すことを確認した。

また、本稿では、提案方式を用いた場合のビーコン受信率を向上させるために、DCC と提案手法を組み合わせる手法について検討した。シミュレーションにより、一つの送

信電力パターンを用いてビーコンを送信する場合よりも、DCC と提案手法を組み合わせ複数のパターンを使い分ける手法の方が平均的に高い受信率を示すことを確認した。

今後、車両の移動ならびに様々な交通状況を考慮した評価、他の手法と提案手法との併用、よりパケット受信率の高い送信電力の組の選択方法の検討を行う予定である。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金基盤研究 B「リアルタイム画像カーナビのための効率的車々間データ配信技術（課題番号 23300024）」および挑戦的萌芽研究「歩車・車車間通信におけるデータ重要性に応じた効率的な位置情報通知アルゴリズムの開発（課題番号 24650027）」の助成によるものである。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- [1] 今井悟史, 宇式一雅, 藤野信次, 町田 守, 森谷正義, 蔡晟尉, 間瀬公太, 丹羽栄二, 車車間通信サービスにおける CSMA/CA 通信品質の解析, 情報処理学会論文誌, Vol.51, No.3, pp.914-929 (2010).
- [2] ITS 情報通信システム推進会議: 5.8GHz を用いた車車間通信システムの実験用ガイドライン, ITS FORUM RC-005 (2007).
- [3] Torrent-Moreno, M., Santi, P. and Hartenstein, H., Fair Sharing of Bandwidth in VANETs, Proc. of the 2nd ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks, pp.49-58 (2005).
- [4] Torrent-Moreno, M., Santi, P. and Hartenstein, H., Distributed fair transmit power adjustment for vehicular ad hoc networks, Proc. of the IEEE communications society on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks (SECON'06), Vol.1, pp.39-48 (2006).
- [5] Lu, H. and Poellabauer, C., Balancing Broadcast Reliability and Transmission Range in VANETs, Proc. of IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), pp.247-254 (2010).
- [6] Mittag, J., Schmidt-Eisenlohr, F., Killat, M., Harri, J. and Hartenstein, H., Analysis and Design of Effective and Low-Overhead Transmission Power Control for VANETs, Proc. of the fifth ACM international workshop on Vehicular Inter-NETworking, pp.39-48 (2008).
- [7] ETSI TS 102 687: Decentralized Congestion Control Mechanisms for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz range: Access layer part (2011).
- [8] Subramanian, S., Werner, M., Liu, S., Jose, J., Lupoiaie, R., and Wu, X., Congestion Control for Vehicular Safety: Synchronous and Asynchronous MAC Algorithms, In Proc. the ninth ACM international workshop on Vehicular inter-networking, systems and applications (VANET'12), pp.63-72 (2012).
- [9] 土屋慶紘, 関屋大雄, 小室信喜, 阪田史郎: 直線上片方向マルチホップネットワークにおけるシグナルキャプチャ効果に関する考察, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.109, No.449, pp.211-216 (2010).
- [10] Space-Time Engineering, [http://www.spacetime-eng.com/\(2013.05.17\)](http://www.spacetime-eng.com/(2013.05.17))
- [11] Recommendation ITU-R P.1411-6: Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300MHz to 100GHz (2012).