

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：13801

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24650027

研究課題名(和文) 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

研究課題名(英文) Development of efficient location information notification algorithm based on the importance of data in car-to-car and car-to-pedestrian networks

研究代表者

石原 進 (Ishihara, Susumu)

静岡大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：10313925

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：車車間の衝突防止および歩車間の事故防止のために、車車間・歩車間の距離、相対的位置関係、密度に応じて各車両・歩行者が発する位置通知無線信号(ビーコン)の送信頻度、送信出力を動的に制御し、無線資源の効率的利用と安全性の確保を両立するアルゴリズムを開発した。開発したアルゴリズムでは、短い周期でビーコンの送信出力を段階的に変更することを繰り返す。これにより単純な制御で、様々な車両密度、車両間距離において良好なビーコン受信率、ビーコン到着間隔を達成できる。

研究成果の概要(英文)：We developed an algorithm that achieves both efficient use of wireless communication resources and safety by controlling the frequency and signal strength of location notification messages (beacons) from vehicles and pedestrians according to the distance or relative positions between them for avoiding car-to-car crashes and car-to-pedestrian accidents. With the algorithm, vehicles change the beacon transmission power every time when sending a beacon according to an assigned short cycle pattern. This simple algorithm achieves better beacon reception ratio and short beacon receive intervals in various vehicular density scenarios.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学 計算機システム・ネットワーク

キーワード：車々間通信 VANET ITS 位置情報 送信電力制御 周期的ビーコン送信電力変更方式 交通事故防止 送信頻度制御

## 1. 研究開始当初の背景

我が国では 700MHz 帯を利用した車車間通信の標準化に向けた整備が進められているが、この帯域の電波は今日 ETC 等で利用されている 5.8GHz に比べて回折が起りやすく、見通し外への通信が比較的行きやすいという利点がある一方で、より多くの端末どうしの通信による干渉が起きやすいという欠点がある。今井らは、IEEE802.11p による都市中心部での車車間通信を想定した評価を行い、700MHz 帯の電波を使用し、1km あたり 90 台の車両が存在する場合、交差点から 40m 先の車両からの定期的位置通知情報 (ビーコン) 到着率が 5%未満となることを示している[1]。事故防止の観点からは、事故を防ぐに十分な頻度で他の車両や歩行者の位置が把握できることが重要であり、ビーコン配信の信頼性を向上することが重要である。

ビーコンの無線通信路上での衝突を避けるためには、

- (i) ビーコンの出力を小さくする
- (ii) ビーコンの送信頻度を小さくする
- (iii) アクセス制御方式そのものを変更する (例 TDMA や CDMA を使用する)

等の方法が考えられる。

(i)のビーコンの送信出力に関しては、車両密度や車両間の距離に応じて動的に変更する方法が多く検討されている ([2][3]等)。ただし、これらは一連のビーコンの送信出力をまとめて段階的に変更することが想定されていた。評価は、システム全体における平均ビーコン受信率で評価されているにすぎず、事故防止の観点から必要なビーコンが適切に通知されていたかという観点での評価の取り組みは十分になされてはいなかった。

(ii)に関しては、車両が遅く移動するならばビーコン送信頻度が低くても他車両が把握する自車両の位置誤差は小さく保たれることから、日本での標準化のたたき台となっている実験用ガイドラインでは、車両速度に応じて頻度を小さくすることとしていた。

(iii)に関しては様々な取り組みがなされているものの、欧州、米国での方式が CSMA/CA に基づく IEEE802.11p を採用していることもあり、現実的には CSMA/CA 以外の方式が用いられる可能性は薄い。

[1] 今井他: 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] H. Lu and C. Poellabauer: Balancing

broadcast reliability and transmission range in VANETs, Proc. IEEE VNC 2010, pp.255-262, 2010.

[3] M. Torrent Moreno, P. Santi, H. Hartenstein: Distributed Fair Transmit Power Adjustment for Vehicular Ad Hoc Networks, Proc. IEEE SECON 2006, pp.479-488, 2006.

## 2. 研究の目的

車車間の衝突防止および歩車間の事故防止のために、車車間・歩車間の距離、相対的位置関係、密度に応じて各車両・歩行者が発する位置通知無線信号 (ビーコン) の送信頻度、送信出力を動的に制御し、無線資源の効率的利用と安全性の確保を両立することを目的として新たなアルゴリズムを開発した。

特に、数秒以内の短い周期内でビーコン出力の段階的変更 (小から大) を繰り返すことで、近い・あるいは見通しで直接事故の危険がある車両・歩行者どうしでは短い周期で確実に位置情報を通知し合い、事故発生リスクが少ないもの間での通信を控えて無線資源の消費を抑制するビーコン送信出力制御を実現することを目指した。

## 3. 研究の方法

(1) 車車, 歩車間の距離・位置関係, 速度において各事故類型にたいしてビーコンに求められる通知範囲、通知頻度を検討し、必要とされるビーコン到達基準を再整理する。また、ビーコン送信出力制御に取り組む独カールスルーエ大、米ゼネラルモーターズ、米ノートルダム大等の成果を整理し、本研究での戦略との組み合わせの可能性についても検討した。

(2) 車両の位置関係, 速度から基準となる送信出力を動的に変更するとともに、周期的に送信出力を変えていくためのアルゴリズムを開発し、そこで使用すべきパラメータ値の目安を調べた。このために、シミュレーションによって、多様なシナリオにおける車両毎の他車両の位置把握状況を調べ、事故防止の観点からの安全性と通信資源利用の観点からの効率性を調べた。

## 4. 研究成果

(1) 周期的ビーコン送信電力変更方式の設計

車両間の距離 (=事故リスクの低さ) に対応したビーコン受信率、ビーコン受信間隔分布を達成することを目指して、各車両が送信するビーコンの送信電力を図 1 のように短い周期で段階的に変更することを繰り返す方式

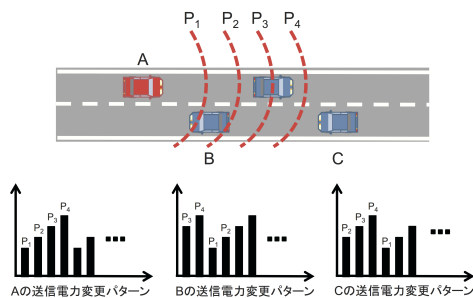


図 1. 周期的ビーコン送信電力変更方式

を設計した。

ビーコンの送信電力が大きければ、そのビーコンはより遠方の車両にも到達しやすくなるが、一方で多くの電波信号が広範囲に到達することになるので、これらの相互干渉による受信エラーの発生を誘発する。ビーコンの送信出力が小さければ、送信車両からビーコンを受信できる車両までの距離は短くなるが、電波干渉は発生しづらくなり、受信率の低下は置きにくい。短い周期で低い送信電力と高い送信電力によるビーコン送信を取り混ぜると、短い距離に位置する車両、つまり衝突の危険性が高い車両には高い頻度でビーコンが到達し、遠方の車両、つまり衝突の危険性が低い車両に関しては、低い頻度でビーコンが到達することが期待できる。

## (2) 周期的ビーコン送信電力変更方式の特性評価

周期的ビーコン送信電力変更方式の効果を評価するために、無線ネットワークシミュレータ Scenargie を用いてシミュレーション評価を行った。図 2 に示すような車両の配置において、以下の項目に着目して IEEE802.11p ベースの MAC、5.8GHz 帯の様々なビーコン出力パターンについて、様々な車両密度における車両間距離とビーコン受信率、ビーコンの受信間隔の分布を調べた。

- ・ ビーコンパターンの周期
- ・ パターン内の最大送信電力
- ・ パターン内の最小送信電力
- ・ パターンでの平均送信電力
- ・ パターンの周期
- ・ パターン内での電力の出現順序（単調増加 or シャッフルしたもの）

これらの方式と、固定送信出力を用いる方式、欧州電気通信標準化機構 (ETSI) が定めている車両密度に応じて送信電力を動的に調整する方式 Decentralized Congestion Control (DCC) を比較した結果、以下の知見が得られた。

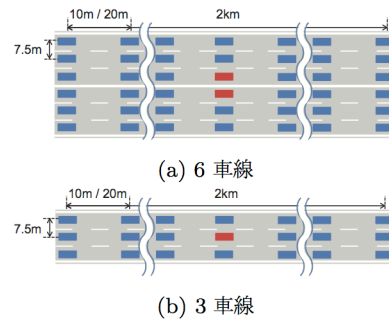


図 2 シミュレーションでの車両配置

いずれの場合も送受信車両間の距離が短いほど単位時間あたりのビーコン受信数は大きくなり、距離が長いほど受信数は低下する。固定出力の場合、出力が大きいと車両密度が高い場合に送受信車両間距離が短い場合の受信数が悪化する。一方で出力が小さい場合、送受信車両間の距離が長くなると、出力が大きい場合に較べて受信数が悪くなる。DCC の場合は、送受信車両間の距離が短い場合に高い受信数が得られるが、距離が大きくなった場合の受信数の悪化が顕著である。

周期的ビーコン送信電力変更方式では、短距離、長距離いずれも他の方式と比べて比較的良好な受信数を達成する。ただし、その送信パターン内の最大の送信出力を用いる固定送信電力方式に較べ、特に長距離の場合に受信数が小さくなる。ビーコンの受信間隔の分布を調べると、特に長距離の場合、周期的ビーコン送信電力変更方式ではビーコン受信間隔が短い方に分布しており、衝突事故防止の観点からは良好な性質が得られる。

周期的ビーコン送信電力変更方式では、送信電力変更周期を長めにとること (2 秒程度) が、ビーコン受信間隔の分布を短くする方向に働く。これは周期を長くすることで、複数の車両から到来する信号の強度のばらつきが大きくなり、これらの SINR の低下による受信失敗を防ぐためと考えられる。

送信パターン内の送信出力の使用順序のシャッフルの影響はわずかである。

## (3) 周期的ビーコン送信電力変更方式の DCC との組み合わせ方式の開発と評価

本研究での開発した周期的ビーコン送信電力変更方式に、DCC が用いている車両密度に応じた電力変更方式を組み合わせた場合の効果をシミュレーションにより調べた。この方式では、DCC における 3 つの状態 (車両密度低、中、高) 間の状態遷移モデルを用い、この 3 つの状態に応じて平均送信電力が高、中、低の 3 つの周期的送信電力パターンを使い分ける。

シミュレーションの結果、DCC と組み合わせた方式は、車両密度の違い、距離に関わらず、単一の周期的送信パターンを用いたものよりも、パケット受信率が高くなる傾向があることが確かめられた。

#### (4) 周期的送信電力変更方式のランダム手法に対する優位性の確認

本研究期間中に、ドイツ航空宇宙センターのKloiberらにより周期的ビーコン送信電力変更方式に近い考え方をもち方式（ランダム方式、Dice the TX power 方式）が提案された。通常、位置関係を維持している複数の車両が連続して同じ送信電力を用いてビーコンを送信すると、これらからのビーコンをそれぞれほぼ同じ電力で受信している車両は、両者の受信電力の信号対干渉雑音比が悪いため、そのビーコンの受信を連続して失敗することになる。ランダム方式では、各車両が与えられた確率に従って、いくつかの異なる送信電力からランダムに値を選んでビーコンを送信する。このため、複数の車両から連続して同程度の受信電力でビーコンを受けることが避けられる。

周期的ビーコン送信電力変更方式においてもランダム方式と同様に同一車両から連続して送信されるビーコンの送信電力を変更するので、同様の効果が期待できる。

ランダム方式のシミュレーションモデルを実装し、周期的ビーコン送信電力変更方式と比較したところ、車両密度が低い場合には、周期的ビーコン送信電力変更方式では、ビーコン受信間隔はより短い方に分布し、この傾向はビーコン送受信者間の距離が長いほど顕著になることが確かめられた。これは、純粋なランダム方式では連続して低い送信電力が使われ続けたり、同一車両から同程度の受信電力が続くような状況を避けきれないからと考える。

#### (5) 今後の展望

本研究で検討した周期的ビーコン送信電力変更方式に関する論文は、車々間アドホックネットワークに関する国際会議（採択率1/3程度）でも採択され、Kloiberらのランダム手法と並んで、ビーコン送信の度に送信電力制御を変更するという戦略を切り開いたと言う点で価値がある。

しかしながら、本研究での一連の評価は車両が停止した場合におけるシミュレーションにとどまっている。また、事故リスクとそれに見合ったビーコン受信率やビーコン受信間隔に関しては明確な関連性を示すに至っていない。今後は以下の項目に関した検討、

方式の拡張を進めていく予定である。

- ・移動車両の移動を含めた評価
- ・車両密度に偏りがある場合の挙動の評価
- ・DCC以外の方式との比較、組み合わせ。
- ・周期的ビーコン変更方式に関する数理モデルの考案とそれを用いた分析
- ・ビーコン以外の情報配信への応用。

#### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 1 件）

1. Keisuke Okamoto and Susumu Ishihara, Highly Reliable Data Distribution Scheme for Location Information in Vehicular Networks Using Cyclic Beacon Transmission Power Patterns, in proc. of 2013 IEEE Vehicular Network Conference, pp. 55-62 (2013).

〔学会発表〕（計 4 件）

1. 岡本圭右, 石原進: 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事故リスクに応じた車両位置情報通知手法の評価, 情報処理学会モバイルコンピューティングユビキタス通信研究会, Vol.2014-MBL-71, No.23, pp.1-8 (2014/5/16).
2. 石原進: 車々間アドホックネットワークによる位置依存情報の配信, 電子情報通信学会技術研究報告, 知的環境とセンサネットワーク研究会, ASN2013-85, vol. 113, no. 132, pp. 207-212 (2013/7/17, 浜松市, アクトシティ浜松).
3. 岡本圭右, 金原辰典, 石原進: 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, 情報処理学会マルチメディア、分散、協調とモバイル DICM02013 シンポジウム, pp. 375-382 (2013/7/10, 北海道河東郡音更町).
4. 岡本圭右, 金原辰典, 石原進: ビーコン送信出力の段階的変更による信頼性の高い車々間位置情報配信手法の提案, 情報処理学会第 75 回全国大会, 2V-4 (2013/3/6, 仙台).

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ishilab.net/>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

石原 進 (SUSUMU ISHIHARA)  
静岡大学工学研究科・准教授  
研究者番号：10313925