

## 車群走行の安定性を考慮したショックウェーブ抑制手法の検討

鈴木理基† 徳田大誠† 重野寛†

†慶應義塾大学大学院理工学研究科

## 1 はじめに

近年の交通改善の取組において、渋滞の低減への期待が高まっている。渋滞は一時的な交通容量の増加による突発渋滞と地理的なボトルネックにより発生する自然渋滞に分類される。高速道路上の突発渋滞発生時の多くの場合、前方を走行する車両の減速動作が後方に伝播するショックウェーブ現象 [1] が起こり、渋滞を回避するために、その発生や伝播を抑制する手法 [2, 3] が多く検討されている。

本稿の目的は、代表的なショックウェーブ伝播抑制手法である拡張ビーコンによる速度制御と、ショックウェーブ発生抑制手法である CACC を併用することで、効果的にショックウェーブを低減することである。高車両密度時に両手法を併用すると無線帯域の輻輳によりパケットロスが発生し、各車両で走行制御を行うための情報が不足し、ショックウェーブ抑制効果が低下してしまう場合がある。提案手法では交通状況と通信状況に応じて、拡張ビーコンと CACC の通信周期をそれぞれ動的に変更することで、効果的にショックウェーブを抑制する。また、その性能をシミュレーションにより評価したので、以下に報告する。

## 2 関連研究

ショックウェーブ抑制手法は伝播抑制手法と発生抑制手法に分類される。伝播抑制手法である拡張ビーコン [2] では、各車両が車間距離と速度を付加したビーコンメッセージを周期的に交換することでショックウェーブ発生情報と見込み伝播速度を算出する。ショックウェーブが発生した場合、後方車両に発生情報を伝達し、後方車両はショックウェーブが到達前から速度調整を始めることで、伝播速度を抑制する。一般的にショックウェーブ伝播抑制手法は地理的に広い範囲で抑制効果が得られる一方で、その発生を防ぐことはできない。

発生抑制手法である CACC [3] では、車両は短周期通信を用いて前方車両に追従走行し、複数車両が一定の速度や車間距離を保つことで車群を形成し、ショックウェーブ発生を防ぐ。しかし、通信要件の厳しさより車群に参加可能な車両台数が限られてしまう。

以上の特徴から、両手法を併用すると広い範囲で高い効果が期待されるが、双方が短周期の通信を利用しているため、車両密度が高い場合、通信が干渉し走行制御に必要な情報交換ができない可能性がある。拡張ビーコンが損失した場合は、事前の速度調整が不足し、ショックウェーブが抑制できないまま伝播する、車群内通信が損失した場合は、各車両が安定した CACC を維持できず、加減速動作の増加によりショックウェーブを引き起こす [4]。したがって突発渋滞の回避には、通信損失の影響を考慮した、ショックウェーブの発生と伝播を抑制する手法の確立が重要である。

## 3 提案方式

本稿では拡張ビーコン手法と CACC 手法の併用により、ショックウェーブの伝播と発生を同時に抑制する。輻輳が発生する場合には、見込みショックウェーブ伝播速度ができる限り小さくなるように、それぞれの通信性能を制御することで、輻輳の影響による性能劣化を低減する。そのため、まず見込みショックウェーブ伝播速度を算出し、各手法の通信周期を設定する。

## 3.1 ショックウェーブ伝播速度の算出

見込みショックウェーブ伝播速度  $w$  [2] を式 1 により算出する。

$$w = \frac{q_d - q_u}{k_d - k_u} = \begin{cases} 0 & \left(\frac{|N_d|}{L_d} - \frac{|N_u|}{L_u} = 0\right) \\ \frac{\frac{1}{L_d} \sum_{l \in N_d} v_d(l) - \frac{1}{L_u} \sum_{l \in N_u} v_u(l)}{\frac{|N_d|}{L_d} - \frac{|N_u|}{L_u}} & (\text{otherwise}). \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $q$  は交通スループット、 $k$  は密度、 $u$  は観測地点の上流、 $d$  は観測地点の下流、 $v$  は車両の速度、 $L$  は道路長、 $N$  は車両台数をそれぞれ示す。

特に CACC 通信損失時には、車群先頭車両と最後尾車両の相対位置の変化を考慮して、式 1 から見込みショックウェーブ伝播速度を算出する。

## 3.2 通信周期設定

各手法で算出される見込みショックウェーブ伝播速度ならびにパケットロス率から、式 2 により手法  $a$  (拡張ビーコンあるいは CACC) の通信周期  $W_a$  を算出する。

$$W_a = B_a \times (1 + \alpha \times \beta \times C_a), \quad (2)$$

表 1: シミュレーションパラメータ

Communication	
Simulator	Scenargie 1.5
Packet size	78Bytes(CACC) 128Bytes(Ex-Beacon)
Initial transmission cycle	20msec(CACC) 100msec(Ex-Beacon)
PHY layer	802.11p
Modulation scheme	OFDM (QPSK 1/2)
Transmission power	20dBm
Band frequency	5.9GHz
Bandwidth	10MHz
Bit rate	6.0Mbps
Propagation model	ITU-R_P.1411
Traffic	
Simulator	MATES
Size of vehicles(W, L, H)	1.8, 12, 1.5
Number of platoon members	10 vehicles
Road length	10 km
Number of lanes	2 lanes
Expected speed	60 to 120 km/h

ここで  $B_a$  は基本通信周期,  $\alpha$  は見込みショックウェーブ伝播速度の絶対値に依存する重み係数,  $\beta$  は見込みショックウェーブ伝播速度の手法間差に依存する重み係数,  $C_a$  はパケットロス率をそれぞれ示す.

この式により算出された通信周期に従って両手法を併用することで, ショックウェーブの伝播速度が大きい方の通信性能を優先するように, 通信周期を変化させることで両通信間の干渉を低減する.

#### 4 評価と考察

提案手法をコンピュータ・シミュレーションにより単位時間当たりのパケット到達数とショックウェーブ伝播速度の観点から評価する. シミュレーション環境には Scenargie ならびに MATES を用い, 主なシミュレーション条件を表 1 に示す. 高速道路を想定した直線相互通行道路上を端点から流入する車両が通行し, その一部が車群を形成する. 特定の車両をあらかじめ指定した時刻に大きく減速させ, 後続車両に与える影響を測定する. 提案手法を拡張ビーコン, CACC ならびに両者を制御なく組合せた手法と比較する.

車両流入量に対する単位時間当たりのパケット到達数を図 1 に示す. 車両流入量が多い場合にパケット到達数が改善していることから, 通信周期を変えることでスループットを完全することを確認した. ショックウェーブ伝播速度を図 2 に示す. まず, 各手法の単独の性能に比べ, 併用時の性能が高い. また, 車両密度が高い場合に, 通信周期の制御無く 2 手法を併用するよりも提案手法は伝播速度を低減する. 以上より, 提案手法がスループットを改善することで, 効果的にショ

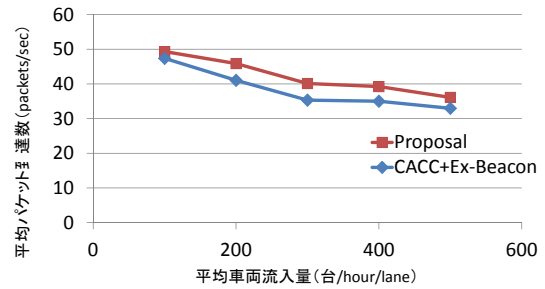


図 1: 単位時間当たりのパケット到達数

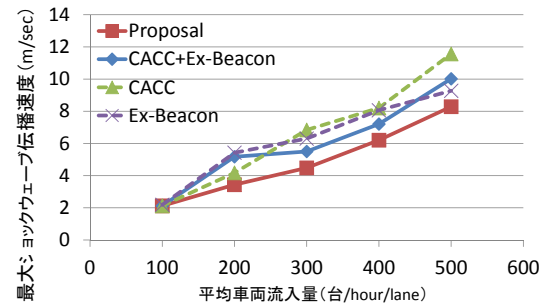


図 2: ショックウェーブ伝播速度

ックウェーブ伝播速度を低減しているとわかる.

#### 5 まとめ

本稿では伝播速度抑制手法と発生抑制手法を併用することでショックウェーブを効果的に抑制するため, 通信混雑時に各手法の通信周期を制御することで通信輻輳発生時の抑制効果劣化を低減した. シミュレーション評価により, 通信混雑時にパケット到達数を改善したことでショックウェーブ伝播速度を抑制した.

#### 参考文献

- [1] S. Ahn and M. Cassidy. Freeway traffic oscillations and vehicle lane-change maneuvers. In *Transportation and Traffic Theory*, pp. 691–710, Aug. 2007.
- [2] D. Huang, S. Shere, and S. Ahn. Dynamic highway congestion detection and prediction based on shock waves. In *ACM VehiculAr InterNETworking*, pp. 11–20, Sept. 2010.
- [3] S.C. Calvert, T.H.A. van den Broek, and M. van Noort. Modelling cooperative driving in congestion shockwaves on a freeway network. In *IEEE Intelligent Transportation Systems*, pp. 614–619, Oct. 2011.
- [4] C. Lei, E. M. van Eenennaam, W. Klein Wolterink, G. Karagiannis, G. J. Heijenk, and J. Ploeg. Impact of packet loss on cacc string stability performance. In *ITS Telecommunications*, pp. 381–386, Aug. 2011.