

自動加減速制御における車車間通信 - 自律センサ連携技術*

Cooperation Algorithm of V2V Communication and Autonomous Sensor for Automatic Acceleration and Deceleration Control

奥谷 翼
Tsubasa OKUYA

松本 真聡
Masato MATSUMOTO

武藤 健二
Kenji MUTO

The development of CACC (Cooperative Adaptive Cruise Control) has become more active in recent years. CACC is a system of automatic vehicle acceleration and deceleration using preceding vehicle states obtained from V2V (vehicle-to-vehicle) communication and autonomous sensors such as millimeter-wave radar. The system must accurately detect preceding vehicle V2V information from surrounding vehicles when multiple vehicles are mounted with V2V devices. This paper describes an algorithm for such detection using the time variation of preceding vehicle velocity, and reports the results on vehicle data.

Key words :

Safety, Adaptive Cruise Control, V2V Communication

1. はじめに

近年、車車・路車間通信の標準化が世界的に進められ、米国¹⁾、欧州²⁾、日本³⁾を中心として、車車・路車間通信の実用化に向けた研究開発と実証実験が活性化している。米国では米国運輸省が進める Safety Pilot プロジェクトにて2012年8月より約2800台の車両への通信機搭載による大規模な実証実験が展開されている⁴⁾。欧州ではC2C-CC(Car to Car Communication Consortium)が主体となり、欧州地域内の道路交通における車車・路車間通信の実用化という目標に向け研究開発を加速させている⁵⁾。国内においても新交通管理システム協会が主体となり、安全運転支援システム(DSSS: Driving Safety Support Systems)の実証実験が実施されている⁶⁾。

一方、自動車の安全性へのニーズの高まりにより、予防安全技術を始めとした先進安全技術の開発が盛んである。先行車への衝突回避・軽減を行うAEB

(Automatic Emergency Braking, 衝突回避支援ブレーキ)、先行車との車間距離を計測し自動的に車速を制御するACC(Adaptive Cruise Control, 車間距離制御装置)、車線から逸脱を防ぐようステアリング操作を支援するLKA(Lane Keeping Assist)などがその代表例である。またその先を見据えた自動運転に関する研究開発もグローバルで盛んになっている。

これらの車車・路車間通信の実用化に向けた取り組みと、先進安全技術による運転操作の自動化の流れから、車車・路車間通信を車両制御に活用する研究開発が世の中で進められつつある。本書でとりあげる車車間通信をACCに応用する協調型ACC(CACC: Cooperative Adaptive Cruise Control)もその1つであり、2013年10月に開催されたITS世界会議東京においても完成車メーカー各社からCACCのデモンストレーションが公開されるなど注目を集めている。本書ではこのCACCを題材に、車車・路車間通信を車両制御に応用するシステムにお

*公益社団法人自動車技術会の了解を得て、「自動車技術」Vol.68, No.4 20144314 より一部加筆して転載

る弊社の研究開発の取り組みに関して紹介する。

2. 協調型 ACC(CACC)

2.1 システム概要と従来研究

CACC のシステム例を Fig. 1 に示す。CACC は ACC に車車間通信を応用する自動加減速システムであり、追従車はミリ波レーダ等の自律センサで取得した先行車との車間距離に加え、車車間通信で先行車の速度・加速度等を取得し車両制御に活用する。車車間通信を用いることで先行車の詳細な車両状態量や、さらにその前を走行する車両の情報も活用することが可能となり、従来の ACC より短い車間距離での走行や車間距離の変動の少ない安定した走行が実現できることから、渋滞削減・燃費向上などの効果が期待されている。

CACC の従来研究として、米国の PATH (Partners for Advanced Transportation Technology) から、通常の ACC と比較して交通量改善に協調型 ACC が有効であることが報告されている⁷⁾。欧州では 2011 年に GCDC (Grand Cooperative Driving Challenge) が開催され⁸⁾、15 の企業・大学が CACC の性能面で競い合い、多くの文献が発表されている⁹⁾¹⁰⁾。日本では NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization) が主体となり 2008 年から 5 年に渡り進められたエネルギー ITS 推進事業において CACC を搭載した複数の大型トラックによる隊列走行システムが開発され、車間距離 4m の隊列走行で平均 15.6% の燃費低減率が得られることが報告されている¹¹⁾。このように、CACC は車車間通信を応用した車両制御技術として実用化の期待が高まっている。

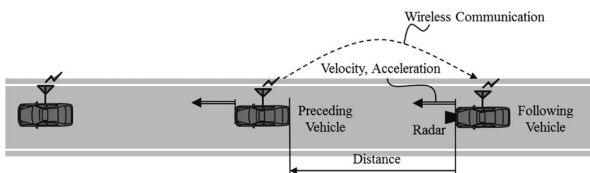


Fig. 1 CACC system

2.2 実用化に向けた課題

本節では CACC の実用化に向けた課題の 1 つである車両識別に関して示す。CACC では自律センサと車車

間通信を併用することで通常の ACC より多くの情報を活用できるという特長があるが、通信相手の車両が複数存在する場合、先行車の通信情報を確実に識別する必要がある。例えば Fig. 2 のように追従車の前方に複数の通信機搭載車が存在する走行シーンを想定する。この場合、追従車は複数受信される通信情報の中から先行車の通信情報を正確に識別しなければならない。ここで車車間通信では、車両に搭載した GPS (Global Positioning System) 等の受信機で取得した位置情報を送受信することで車両間の位置関係を把握することが一般的であるが、汎用 GPS の位置精度は受信機によっては最大数十 m の誤差が生じる場合があり、Fig. 2 のように車両間の距離が一般的な道路幅である 2.75 ~ 3.5m である場合、先行車の通信情報と他通信車の通信情報の区別がつかない状況が発生する。将来的には準天頂衛星システム (QZSS: Quasi-zenith Satellites System) などサブメータレベルの高精度測位システムの実用化に向けた取り組みも進んでいるが、都市部のマルチパス下やトンネル内など衛星が捕捉不可な状態は将来的にも存在する。我々はこの問題に対して自律センサと車車間通信を連携させる先行車識別アルゴリズムを提案する。

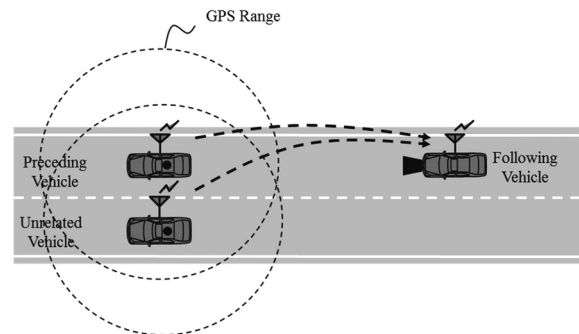


Fig. 2 Scenario with two communicating vehicles

3. 開発アルゴリズム

3.1 通信車両識別手法

本節では通信車両と自律センサ物標車両が同一か否かの判定を行うアルゴリズムについて説明する。本アルゴリズムでは、通信車両情報、自律センサ物標情報（本開発ではミリ波レーダを扱う）の一致指標を算出し、一致指標の大小によって双方が同一車両の情報か否かを判断する。一致指標の算出は Fig. 3 のように、走行状況に応

じて得られる i_{max} 台分の車車間通信情報と、レーダから得られる j_{max} 個分のレーダ物標情報から成るすべての組み合わせに対し行う。例えば $i_{max}=2, j_{max}=2$ の場合、4通りの通信車両情報とレーダ物標情報の組み合わせに対し一致指標を算出する。

次に一致指標について説明する。一致指標の算出には、通信、ミリ波レーダ双方で取得可能な速度情報を用いる。ただし通信で得られる速度情報は実際には車速センサで計測した値である。速度を使用する理由は、速度情報には各車両（ドライバ）特有の速度挙動が現れ、その速度挙動の特徴を車速センサ、レーダ双方で高精度に計測可能なため、通信情報とレーダ情報の一致指標の算出に使用できるためである。

今、ある時刻 t において受信した通信車両 $i=1$ の通信情報に対し、各レーダ物標との一致指標を算出することを考える。まず一致指標の算出の前段階として、式(1)のように通信で得られた速度を各レーダ物標速度で除した値 $R^{i,j}(t)$ を算出する。

$$R^{i-j}(t) = \frac{V_c^i(t)}{V_m^j(t)} \quad (1)$$

$V_c^i(t)$: 時刻 t における通信車両 i の速度

$V_m^j(t)$: 時刻 t におけるレーダ物標 j の速度

$R^{i,j}(t)$: 時刻 t における通信車両 i とレーダ物標 j の速度から算出される速度比

算出した $R^{i,j}(t)$ の時系列での変動量を利用して、通信車両とレーダ物標の速度の一致指標が算出可能となる。具体的には、実環境での車速センサの値はタイヤ外形の違い等によるバイアスを持っており、実際の速度との間に差が生じる。そのため、通信車両とレーダ物標車両が同一であったとしても通信、レーダ双方から得られる速度値が異なるため、誤差関数で比較する等の方法で双方が同一か否かを判断することが難しい。しかし速度の時系列での変動を考慮した $R^{i,j}(t)$ の値を扱うことで、通信車両とレーダ物標が同一車両の場合、Fig. 4のように $R^{i,j}(t)$ を一定値として扱うことができる。従って、任意の区間における $R^{i,j}(t)$ の分散を評価することで通信車両とレーダ物標が同一か否かを判断することができる。よって、式(2)のように $R^{i,j}(t)$ の分散 $V^{i,j}(t)$ を時刻 t より区間 $T[s]$ 分の過去情報を用いて算出し、 $V^{i,j}(t)$ の値が小さ

い通信車両 i とレーダ物標 j が同一車両である可能性が高いと判断できる。

$$V^{i-j}(t) = \frac{1}{T} \sum_{n=0}^{T-1} \{R^{i-j}(t-n) - \bar{R}^{i-j}\}^2 \quad (2)$$

\bar{R}^{i-j} : 時刻 t から T 区間過去までの区間における速度比の平均

よって $V^{i,j}(t)$ を通信車両とレーダ物標の一致指標として使い、 $V^{i,j}(t)$ の大小によって双方が同一か否かの判断を行う。

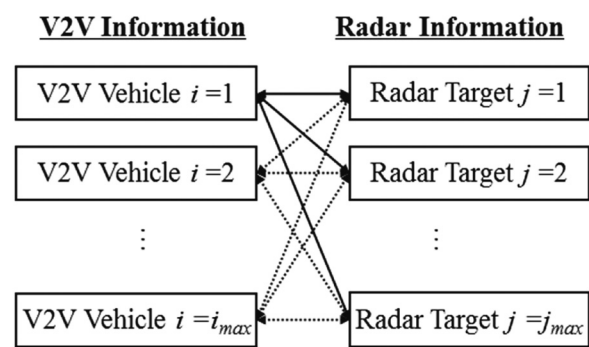


Fig. 3 Pairs of coinciding V2V vehicles with radar targets

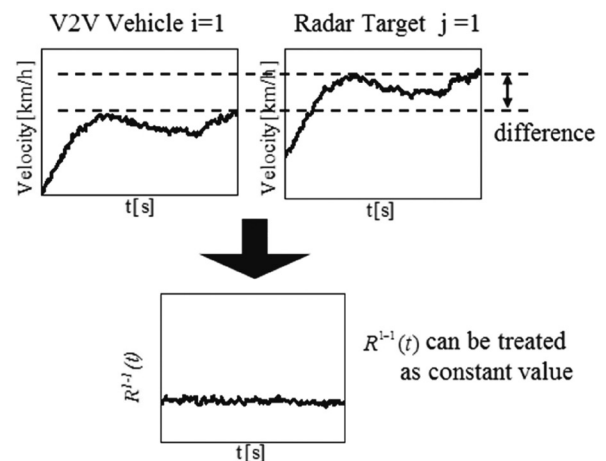


Fig. 4 Calculating the velocity ratio

3.2 通信車両識別の処理フロー

続いて先行車の通信情報識別アルゴリズムの処理フローを Fig. 5 に示す。本アルゴリズムでは車車間通信及びミリ波レーダによって周辺車両情報を取得した後 (Step.1), 車車間通信で得られた通信情報とミリ波レーダで捕捉した物標情報の各組み合わせに対し同一車両情報か否かを判定するための一致度指標を算出する (Step.2). その後、算出した指標値に基づき通信車両とレーダ物標

が同一車両情報であるか判定し (Step.3), その判定結果を CACC アプリに送信する (Step.4). CACC アプリ側では, ミリ波レーダ物標情報から先行車と判定した先行車判定結果と, 通信車両識別アルゴリズムから得た同一判定結果に基づき, 先行車の通信情報を取り出すことが可能となる.

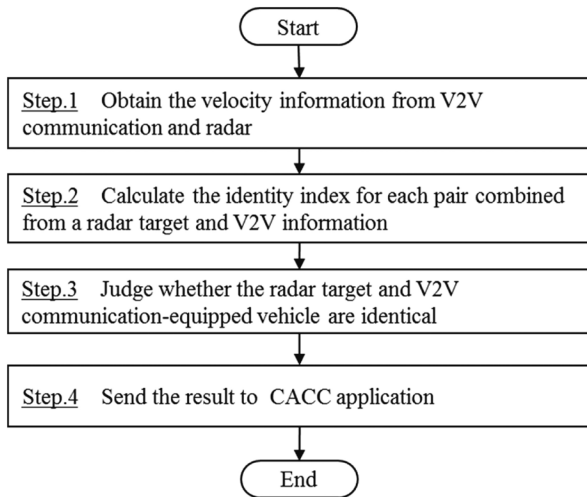


Fig. 5 Algorithm for calculating the identity index

4. アルゴリズム検証

本章では開発アルゴリズムの実車データによる検証結果を示す. まず検証で用いる試験車両のシステム構成を Fig. 6 に示す. 本システムでは内製の車載通信機である WSU(Wireless Safety Unit) を使用し, 周囲車両と速度等の車両情報を送受信する. ミリ波レーダでは自車前方を走行する車両の自車に対する相対速度等を取得する. また車載 LAN を介して自車の速度等の車両状態量を取得する. 走行条件は直線路にて前方車両 2 台の速度が 85km/h 一定となるようドライバが運転し, 追従車両は車間距離約 80m にて追従した. この走行条件はレーダで測定する前方車 2 台の速度の差が小さいため, 速度挙動の差を利用する本アルゴリズムにとって通信車両とレーダ物標を同一判定することが困難な条件となる. この条件において受信側で既知である先行車両 (車両車両 $i=1$) の通信情報に対し, 前方車両 2 台を捉えたレーダ物標情報に対する $V^{ij}(t)$ を算出した. 尚ここでは $V^{ij}(t)$ の算出区間時間 $T=6$ [s] とした.

取得した各速度情報を Fig. 7 に示す. Fig. 7 からレー

ダ物標 $j=1$ の速度 $V^{ij}(t)$ 及びレーダ物標 $j=2$ の速度 $V^{ij}(t)$ の挙動に差があることが確認できる. これは車両を同一速度に維持しようとしてもドライバ固有のアクセル/ブレーキ操作によって速度挙動に差が生じてしまうことを示している. この時, 先行車両から通信で得られる速度 $V^l_c(t)$ と $V^l_m(t)$ の挙動が近いことが確認できる.

次に式 (1) により算出した各レーダ物標速度に対する $R^{ij}(t)$ の算出結果を Fig. 8 に示す. また, $R^{ij}(t)$ より式 (2) を用いて算出した $V^{ij}(t)$ の算出結果を Fig. 9 に示す. Fig. 8 より, 先行車両から通信で得られる速度 $V^l_c(t)$ と $V^l_m(t)$ より算出される $R^{1-1}(t)$ はほぼ一定値を示す一方で, $V^l_c(t)$ と $V^l_m(t)$ は速度挙動に差があるため, 算出される $R^{1-2}(t)$ は $R^{1-1}(t)$ よりも大きく変動していることがわかる. Fig. 9 では, $V^{1-1}(t)$ は約 1.99×10^6 を平均とし, 変動が小さな値を示し, 一方 $V^{1-2}(t)$ は約 7.04×10^5 を平均とし, 変動が大きな値を示している. また, $V^{1-1}(t)$ が $V^{1-2}(t)$ よりも小さな値を示したことから, $V^{1-1}(t)$ の算出に用いた速度 $V^l_m(t)$ を持つレーダ物標 $j=1$ の車両と通信車両が同一である可能性が高いことがわかる.

以上から, GPS 等の位置情報だけでは通信車両とレーダ物標が同一か否かを判断することが困難な Fig. 2 のような走行シーンにおいて, 本手法を用いて車両毎の速度挙動の差異を評価することで, レーダ物標と通信車両が同一か否かの判断が可能であることを示した.

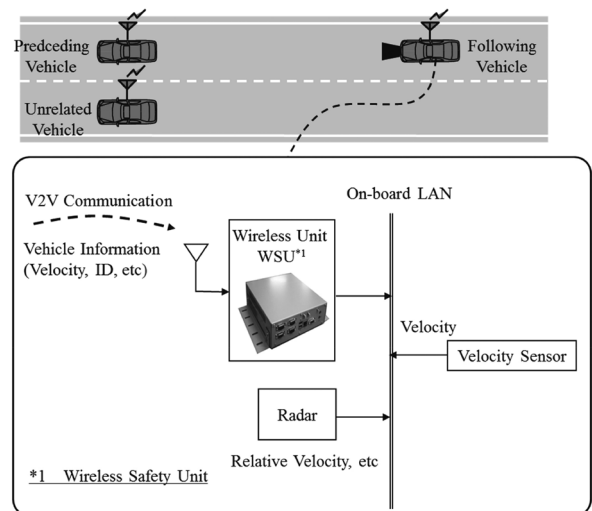


Fig. 6 Evaluation system

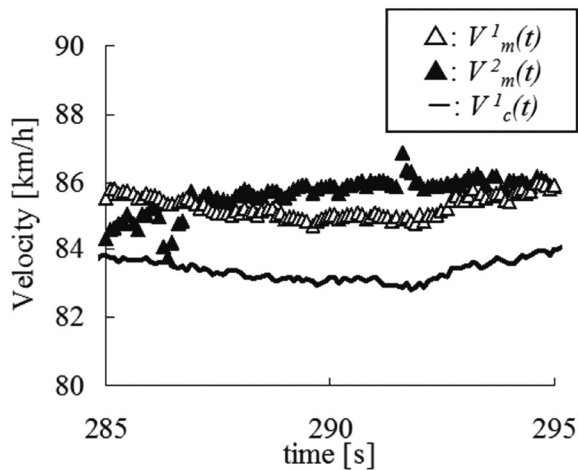
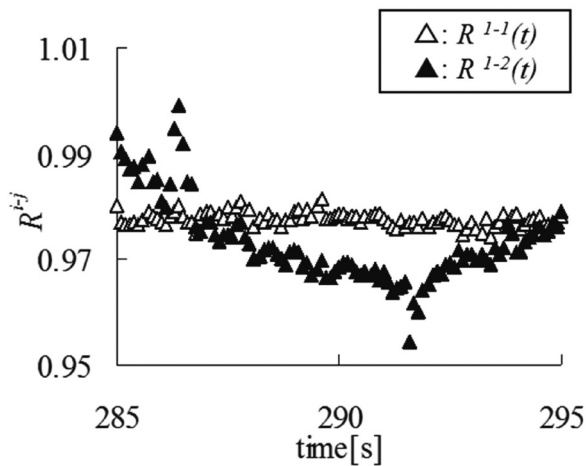
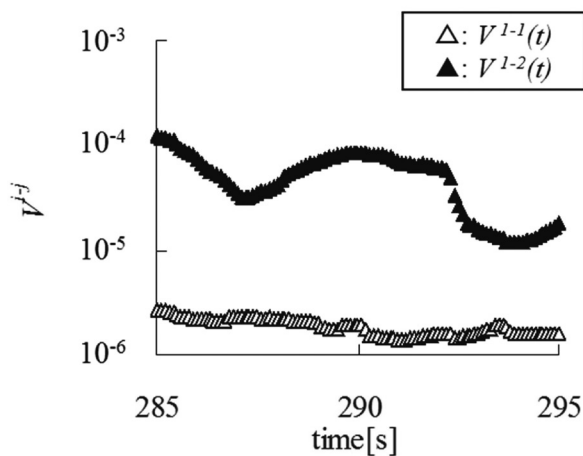


Fig. 7 Experimental results at each velocity

Fig. 8 Value of $R_{ij}(t)$ Fig. 9 Value of $V_{ij}(t)$

5. おわりに

ACCに車車間通信を応用する自動加減速システムであるCACCの動作時に必要となる、複数の通信情報から先行車の通信情報を識別する手法の提案及び実車データによる検証を実施した。本手法は車速の時間変動を利用して自律センサ物標と通信車両の同一判定を行うことで、自律センサが先行車両と判断する車両の通信情報のみを選択する手法である。実車を用いた検証の結果、先行車両の隣接車線を他車両が先行車両に近い速度挙動で走行するシーンにおいて、本手法を用いることで自律センサ物標と通信車両の同一判定が可能であることを示した。今後は本アルゴリズムをより多様な走行シーンに対応できるよう改良を進めると共に、車車・路車間通信を用いた車両制御システムの開発を通じて、自動車の安全・環境技術の発展に貢献していく。

参考文献

- 1) IEEE Std 802.11-2012 IEEE Standard for Information technology- Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks - Specific requirements Part11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications(2012)
- 2) CEN and ETSI : Final joint CEN/ETSI-Progress Report to the European Commission on Mandate M/453 (2013)
- 3) 一般社団法人 電波産業会 : 700MHz 帯高度道路交通システム標準規格 ARIB STD-T109 1.1 版 (2012)
- 4) United States Department of Transportation, Safety Pilot, http://www.its.dot.gov/safety_pilot/index.htm
- 5) Car to Car Communication Consortium, <http://www.car-to-car.org/>
- 6) 中川 淳ほか : 路車協調による安全運転支援システムの実証実験, 東芝レビュー, Vol.64, No.4, p.19-22 (2009)
- 7) Christopher Nowakowski, et al. : Cooperative Adaptive Cruise Control: Testing Drivers' Choices of Following Distances, PATH Research Report for FHWA Exploratory Advanced Research Program Cooperative Agreement DTFH61-07-H-00038 PATH (2010)
- 8) Grand Cooperative Driving Challenge (GCDC), <http://www.gcdc.net/>
- 9) Roozbeh Lianfar, et al. : Design and Experimental Validation of a Cooperative Driving System in the Grand Cooperative Driving Challenge, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.13, No.3, p.994-1007 (2012)
- 10) Levent Guvenc, et al. : Cooperative Adaptive Cruise Control Implementation of Team Mekar at the Grand Cooperative

Driving Challenge, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.13, No.3, p.1062-1074 (2012)

- 11) 河島 宏紀ほか:自動運転・隊列走行システムの開発 (第2報),
自動車技術会学術講演前刷集, No.83-12, pp.11-14 (2013)

著者



奥谷 翼

おくや つばさ

走行安全技術 2 部
運転支援、衝突回避アプリ向けの周辺監視センサ (レーザーレーダ) の開発に従事



松本 真聡

まつもと まさと

研究開発 1 部
車両とセンタの連携による運転支援システムの研究開発に従事



武藤 健二

むとう けんじ

研究開発 1 部
通信・センシング・データマイニングを活用した運転支援システムの研究開発に従事