

実車両を用いたセンタレスプローブ情報システムによる 道路交通情報生成アルゴリズムの提案と評価

佐藤 雅明^{†1} 石田 剛朗^{†1} 堀口 良太^{†2}
清水 克正^{†3} 春田 仁^{†4} 和田 光示^{†5}
植原 啓介^{†1} 村井 純^{†1}

センタレスプローブ情報システムは、車車間通信と車両自体の移動によってプローブ情報の生成と伝達を行う。車両の存在する周辺の道路交通情報や、安全に関する情報等の即時性が求められる情報等に有効であると考えられている。本論文では、センタレスプローブ情報システムの有用性を活用する手法として、センタレスプローブ通信基盤を利用する渋滞に関する道路交通情報生成アルゴリズムの提案を行った。また、提案した道路交通情報生成アルゴリズムとセンタレスプローブ通信基盤を、実車両で動作する車載システムとして設計と実装を行い、テストコース内で5台の車両を用いた実証実験を行った。この実験で、実装した車載システムによるプローブ情報の生成と統合が可能であることが分かった。さらに、実車環境においてセンタレスプローブ情報システムが有効に動作することが確認された。

Evaluation of Road Traffic Information Generation Algorithm for Decentralized Probe Vehicle System

MASAAKI SATO,^{†1} TAKAAKI ISHIDA,^{†1} RYOTA HORIGUCHI,^{†2}
KATSUMASA SHIMIZU,^{†3} HITOSHI HARUTA,^{†4} KOJI WADA,^{†5}
KEISUKE UEHARA^{†1} and JUN MURAI^{†1}

Decentralized Probe Vehicle System transmits information by the communication between vehicles, and movement of vehicles. Decentralized Probe Vehicle System is effective in the sensor data depending on a geography position, and the sensor data contributed safely which needs a real-time processing. In this paper, road traffic information generation algorithm was proposed. The design and implementation about algorithm and communication platform for Decentralized Probe Vehicle System was performed. Then, field test was conducted by five vehicles in the test course. As a result, it turned out that generation and integration of probe information are possible using implementation system. Further, it was checked that a system operates effectively in real vehicle environment.

1. 背景

道路交通に関する総合的な情報通信システムである

高度道路交通システム (ITS: Intelligent Transport Systems) の構築が世界規模でさかんに行われている。

プローブ情報システムは、自動車の保持するセンサデータを、インターネット等の汎用的な情報通信基盤を用いて収集して、統計的な処理等を施すことで、交通情報や気象情報、安全運転支援情報等の価値ある情報 (プローブ情報) の生成・提供を実現する ITS の 1 つである。

プローブ情報システムは世界各国で積極的な研究開発が行われており、Floating Car Data (FCD, XFCD)¹⁾ 等、実用化がなされている事例もある。

日本では、2003年に名古屋市の中心部を対象として半年間にわたり1,500台のタクシーをプローブ車両

^{†1} 慶應義塾大学

Keio University

^{†2} 株式会社アイ・トランスポート・ラボ
i-Transport Lab. Co., Ltd.

^{†3} アイシン精機株式会社 ITS 技術部
ITS Engineering Department, AISIN SEIKI Co., Ltd.

^{†4} NEC ソフト株式会社第一官庁ソリューション事業部第二システム部
2nd Systems Support Department, 1st Government Solutions Division, NEC Soft, Ltd.

^{†5} 財団法人日本自動車研究所
Japan Automobile Research Institute (JARI)

としてセンサデータを収集し、渋滞情報や降雨情報等の情報提供を行うプローブ情報システム²⁾⁻⁴⁾の大規模実験が行われた。タクシーの走行によって得られるセンサデータは情報センタに送信され、速度データを基にした渋滞情報と、ワイパの稼働データに基づく局地的な降雨情報を、インターネットのWEBページで5分間隔での公開を実現した。

こうした情報センタに情報を集約するプローブ情報システムは、配信する情報の品質レベルをある程度保つことが容易であり、サービスを広域に展開できるというメリットがある一方で、通信コストや情報センタの処理量からくる規模性等に問題がある。

そこで、情報センタに依存せず、車車間通信を基盤としたプローブ情報システムの形態⁷⁾⁻¹⁰⁾が注目されつつある。

2. 目的

センタレスプローブ情報システムは、車車間通信と車両自体の移動によってプローブ情報の生成と伝達を行う。このシステムは、車両の存在する周辺の道路交通情報や、安全に関する情報等の即時性が求められる情報等に有効であると考えられている。

そこで本論文では、センタレスプローブ情報システムを用いた渋滞情報に関する道路交通情報の生成および配信を目的とし、センタレスプローブ通信基盤を利用する道路交通情報生成アルゴリズムの提案と、実車環境による実証実験でのアルゴリズムの有効性の評価を行う。

3. センタレスプローブ情報システム

本章では、まずセンタレスプローブ情報システムの概要と活用について述べ、次に車車間通信を活用したプローブ情報システムの関連研究について述べる。

3.1 センタレスプローブ情報システムの概要

センタレスプローブ情報システムは、無線LAN等の狭域通信機器による車車間通信を使用し、車載機でプローブ情報の生成と提供を行う。

センタレスプローブ情報システムでは、車載システム内に、自車両と周辺車両のセンサデータを統合してプローブ情報を生成する情報生成機能と、プローブ情報を必要とする車両へ伝達するセンタレスプローブ通信基盤機能が必要である。

センタレスプローブ通信基盤機能は、プローブ情報の伝達のための基盤機能であり、情報生成機能は扱う情報の特性に応じて、センタレスプローブ通信基盤機能を活用し、情報を1カ所に集約したり、広範囲に配

表1 プローブ情報システムの比較
Table 1 Comparison of probe vehicle systems.

項目	路車間通信プローブ	広域通信プローブ	センタレスプローブ
サービスエリア	路側機近傍での収集・発信(限定エリア)	広域(制限なし)	周囲に車載機搭載車両が存在する場合のみ
確実性	push型であり高い	pull型であり車両が要求したときに提供が実現	基本的にはpush型であり、周囲の車両に依存
即時性	高い	一定間隔で広域に同時提供	車車間で直接情報交換をするため高いが、周囲の車両に依存
種類・情報量	限定されたサービス	多様なサービスが可能で情報量は通信機器に依存(比較的低い)	多様なサービスが可能で情報量は比較的高い
運用費用	路側機設置費	通信費・情報センタ運用費	なし

布したりすることができる。また、1つの車載システムで同時に複数の情報生成機能を稼働させ、多様なプローブ情報を流通させることができる。

3.2 情報センタ型とセンタレスプローブ情報システムの比較

センタレスプローブ情報システムの有用性を整理するために、従来の情報センタ型のプローブ情報システムとの比較検討を行った。情報センタ型のプローブ情報システムとしては、路側機との路車間通信を活用する路車間通信プローブと、広域通信機器によって情報センタに情報を集約する広域通信プローブの2種類に分類した。その結果を表1に示す。

路車間通信プローブのサービスエリアは最も狭く、電波方式で数10m、光方式だと範囲はさらに狭くなる。しかし、サービスエリア内の車両からは確実に情報が収集でき、同時に的確な情報提供が行えるというメリットがある。一方、サービス範囲を面的にカバーすると路側機設置費用が増大する。そのため、幹線道路に設置して実現する道路交通サービス等に有用である。

広域通信プローブは、サービスエリアに関する制約はほとんどないが、特定のエリアにいる車両すべてに対するプッシュ型の情報配信は不向きである。また、通信費用が発生する。このような特性から、リアルタイムの混雑状況を加味した最適経路案内や、ドライバーの要望に応えるサービス等、運転者に付加価値を感じさせるサービス等に有用である。

センタレスプローブの場合、無線LANを活用した場合の電波の通信範囲はおおよそ100m程度であり、そ

の範囲内に車載機を搭載した車両がないと情報交換を行うことは不可能である。一方で、通信可能な車両が周辺に存在する場合は、情報センタを経由することなく直接情報を交換することができ、即時性に優れている。

そのため、ローカルなエリアに存在する情報を相互に交換するサービスに有用である。たとえば、道路の凍結情報や突発的な渋滞発生を周辺の車両に伝達するサービス、地域に特化した観光・店舗等の「口コミ」情報の流通等があげられる。

さらに、道路交通情報インフラが整備されていない地域においては、渋滞情報収集、提供の手段となる。地震等に罹災し、整備されているはずの都市部の道路交通情報インフラが破壊、損傷された場合、その代替手段としての活用も考えられる。

また、センタレスプローブ情報システムで生成されたプローブ情報は、既存のプローブ情報システムに提供することが可能であり、最終的にはモデル間でこのような補完関係を形成することで、プローブ情報システム全体の有用性が高まる。

3.3 関連研究

FCD/XFCD/DFCD

Floating Car Data (FCD) は、自動車自身が GSM 電話で速度と位置情報を情報処理センタに送ることによって渋滞情報を生成するシステムである。Extended Floating Car Data (XFCD)¹⁾ は、FCD を拡張する形で、対象とするセンサを増やして扱える情報を天候や路面の凍結情報等まで上げたものである。また、通信インタフェースも GSM 電話のほか、無線 LAN 等の狭域通信機器も対象としており、情報センタを介さない車車間での情報交換も検討されている。しかし、現在の XFCD は異なる車両間の情報を統合する処理は実現されていない。現在は、車車間通信をメインとした FCD システムである Decentralized Floating Car Data (DFCD) が提案されており、主に車車間ネットワーク形成等について研究^{5),6)} が行われている。

SODAD

Segment-oriented data abstraction and dissemination (SODAD) は、論文 8) によって提案されている情報散布方式であり、同論文では self-organized traffic system (SOTIS) というアプリケーションを用いて車車間での情報伝達シミュレーションを行い、低い普及率 (2-3%) でも実用に耐えるという結果を得ている。一方、SODAD は高速道路を前提とし、情報の集約単位は固有の

道路セグメントである。一般道路や多様な空間情報 (地図情報) が混在している環境での動作は想定されていない。また、前提とする無線の到達範囲が広いため、狭域無線通信機器には不適である。

SDRP/RMDP

Speed Dependent Random Protocol (SDRP) は、論文 9) によって提案されている先行経路上の道路情報を伝達する走行速度に依存したランダム送受信プロトコルである。対向車の利用によって後方車両へ効率的に情報を伝達できることがシミュレータによって確認されている。Received Message Dependent Protocol (RMDP) は、論文 9) によって提案されている方式で、SDRP を改良し、受信メッセージ数に依存した送受信を行う。双方ともに低いパケット衝突数を実現されているが、前提とする普及率が 60% 程度から 90% 程度となっており、かなり普及段階が進んだ段階で効果を発揮する。また、交換される情報は基本的には重み付けされておらず、情報の質や特性に応じた送受信は実現されていない。

4. 道路交通情報生成アルゴリズムの提案

本章では、まずセンタレスプローブ情報システムの処理システムの構造と前提とするセンタレスプローブ通信基盤について述べ、次に、提案する道路交通情報生成アルゴリズムについて述べる。

4.1 処理システムの構造

従来のプローブ情報システムは、複数の車両のセンサデータから統計処理等を行ってプローブ情報の生成が可能であり、比較的容易に情報の品質レベルを確保することができた。

しかし、センタレスプローブ情報システムは、車両のセンサデータと、車車間通信を用いて受信した周辺車両の情報のみからプローブ情報を生成しなければならない。

そのため、品質レベル (価値) の高いプローブ情報の流通には、必要に応じて複数のプローブ情報を統合することで、質の高い情報を生成する情報生成アルゴリズムが必要となる。

また、センタレスプローブ情報システムでは、車車間通信のエリアに依存せずに、必要な地域へ情報を配信することが求められる。たとえば、渋滞情報が生成された場合に、それを同一渋滞内の前方車両に伝達しても利用価値は低い。対向車両を介して渋滞の手前に存在する後方車両までその情報を伝達することで、情報の利用価値が高まり、その結果として渋滞が回避さ

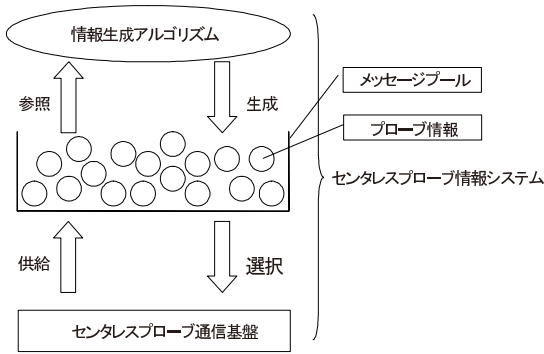


図 1 処理システムの構造

Fig. 1 Concept of decentralized probe processing.

れてプローブ情報が有効に活用されたといえる。

つまり、情報生成アルゴリズムは、取得された車両のセンサデータについて、周囲の車両の情報を収集して比較し、同一の情報が複数得られた場合には1台から得られた情報よりも情報の品質レベルを高める必要がある。品質レベルは同一の情報を取得した車両の台数に比例する。また、一定の品質レベルに達するまでは周辺車両どうして情報を交換し、十分な品質レベルに達した際には必要な車両へ配信するように変更することが求められる。

生成された品質レベルの高いプローブ情報の配布は、様々な情報生成アルゴリズムが利用できる共通のセンタレスプローブ通信基盤によって行われる。

処理システムの構造を図1に示す。処理システムは、1つ以上の情報生成アルゴリズムと、プローブ情報の蓄積を行うバッファであるメッセージプール、そして車車間通信を司るセンタレスプローブ通信基盤から構成される。情報生成アルゴリズムは、メッセージプールを参照し、可能であればプローブ情報を統合して質の高いプローブ情報を生成する。センタレスプローブ通信基盤は、メッセージプールからプローブ情報を選択し、車車間通信機能を介して発信する。

4.2 センタレスプローブ通信基盤

センタレスプローブ通信基盤は、センタレスプローブ情報システムにおいて、様々なプローブ情報を車車間通信を活用して効率的に伝達を行う共通基盤である。

センタレスプローブ情報システムは、自車の通信機器の通信範囲に他車両が存在して初めて通信が可能となる。つねに車両内での情報生成時に他の車両と通信が可能とは限らない。

そのため、センタレスプローブ通信基盤は、「収束」と「拡散」の2種類の伝達モードを持っている。

収束モードは、統計・統合処理に十分な数のプロー

ブ情報の集約を目的とし、情報の伝達範囲を目的位置と伝達距離による円で指定し、円の中心部へ向けた密な情報交換を促す。

拡散モードは、品質レベルが高いプローブ情報を必要としている車両に効率的に配布することを目的とし、情報の伝達範囲をプローブ情報発生地点を要とした扇形の中心角と伝達距離、方向で指定し、ある方向に向けた情報の伝達を可能とする。たとえば、渋滞情報であれば渋滞が発生している箇所から後方に対し、ある程度の広がりを持つように配布を行うことで、渋滞の手前に存在する後方車両の渋滞回避を促すことができる。

情報生成アルゴリズムは、扱うプローブ情報の性質に基づき、センタレスプローブ通信基盤の2種類のモードを活用して情報の生成と配布を行う。

4.3 情報生成アルゴリズム

プローブ情報生成アルゴリズムは、アプリケーションの特性に依存する。本論文では、プローブ情報システムとしてニーズがあり、かつ実証実験での実動評価が可能であるという観点から、渋滞情報を取り扱う道路交通情報生成アルゴリズムを検討する。

センタレスプローブ情報システムでは、多様な車両、車載機間での情報交換が前提となる。情報生成アルゴリズムが扱う空間情報が単一の仕様に依存することは好ましくない。このため、空間情報はグローバルに一意に定まるような手法で扱う必要がある。

そこで、道路交通情報生成アルゴリズムは、空間をセル(計測単位区間)に分割し、セルに一意なIDを割り付けることで、渋滞の発生箇所をセルで表す。

具体的には、道路交通情報生成アルゴリズムは、セル内の旅行速度をつねに計測しており、隣接する別のセルに移動した時点で直前のセルの旅行速度が閾値を下回れば、品質レベル1(1台の車両に基づく)の渋滞情報を生成し、セル情報と生成時間、それに識別のためのメッセージIDを付加してメッセージプールに供給する。

また、情報生成アルゴリズムは、定期的にメッセージプールを参照し、同一時間帯・同一セル・同一方向の渋滞情報が複数得られた場合には、渋滞情報の統合によって質の高い渋滞情報の生成を行う。統合処理は以下のスキームで行う。

- 統合された渋滞情報は、その素となっている品質レベル1の渋滞情報のメッセージIDを保持しており、品質レベルはオリジナル情報の数に等しい。
- 同じセル、および同じ時間帯の渋滞情報がメッセージプール内で検出された場合、それらを1つの渋

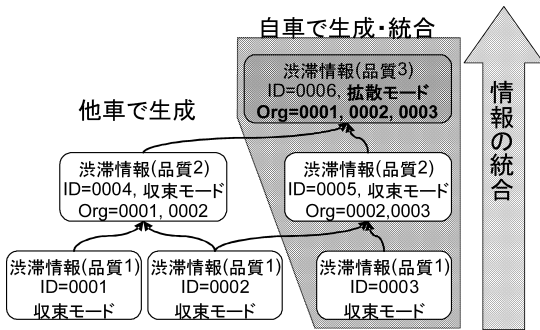


図 2 渋滞情報の統合処理

Fig. 2 Integration processing of road traffic information.

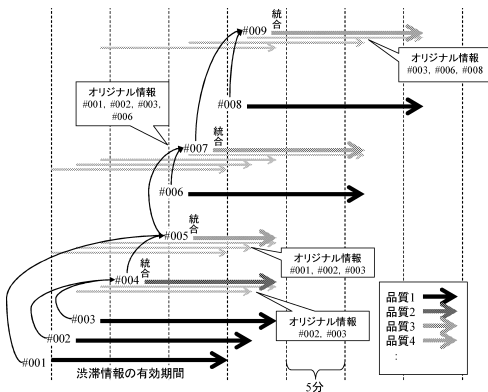


図 3 渋滞情報の有効期限

Fig. 3 Term of validity in decentralized probe processing algorithm.

滞情報に統合する。この際、メッセージ ID が同じ渋滞情報は統合処理を行わず、重複による誤った品質レベルの向上を防ぐ。

- 品質レベルが一定値を超えたプローブ情報については、必要に応じて伝達モードを変更する。

渋滞情報の統合処理を図 2 に示す。

また、道路交通情報生成アルゴリズムは、メッセージプールのリアルタイム性（鮮度）を保つため、情報に有効期限を設け、一定期間が経過した渋滞情報の破棄を行う。

図 3 に、渋滞情報の統合と有効期限の関係を示す。図中の矢印（001 から 009）は渋滞情報とその有効期限を示し、統合されている情報（004, 005, 007, および 009）については、それぞれのオリジナル情報がどのように保持されているかを示している。

統合された渋滞情報の有効期限は、図 3 のように、統合処理に用いたオリジナル情報のうち、最も有効期限が新しいものにあわせて設定される。このとき、統合処理がなされる時点で、有効期限が過ぎているオリジナル情報は破棄される。

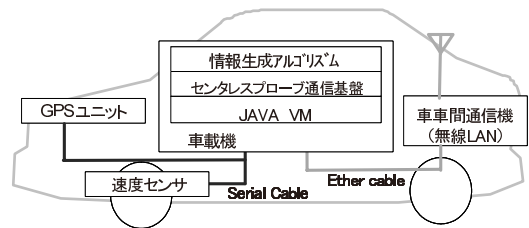


図 4 車載システムの構成

Fig. 4 Structure of vehicle system.

たとえば、図 3 の渋滞情報 009 での 007 と 008 の統合処理のように、007 が保持しているオリジナルの 001 と 002 は、統合処理の時点で有効期限が過ぎているので、統合の際に破棄される。したがって、品質レベル 4 の 007 と品質レベル 1 の 008 から、品質レベル 5 の渋滞情報ができるのではなく、古い情報が破棄されて品質レベル 3 の渋滞情報が生成されることとなる。これはオリジナル渋滞情報に対して、直前 15 分間の時間ウィンドウを設けていることに等しく、これによって情報の鮮度を保つことができる。

5. 車載システムの設計と実装

本論文では、前章で提案した処理システムについて実証実験によって評価するために、実車両に搭載する車載システムとして設計と実装を行った。本章では、まず車載システムの概要と設計について述べ、次に実装について述べる。

5.1 車載システムの設計

センタレスプローブ情報システムの車載システムの構成を図 4 に示す。

車載システムは、情報生成アルゴリズム、およびセンタレスプローブ通信基盤を実現するソフトウェアと、車車間通信機、GPS ユニット、速度センサを接続するためのインタフェースを有する。車載システムは以下の機能を持つ。

情報生成アルゴリズム機能

プローブ情報の生成に関する機能であり、今回の実装では道路交通情報生成アルゴリズムである。

メッセージプール機能

自車で生成される、あるいは受信したプローブ情報を一定量蓄積する機能である。

センタレスプローブ通信基盤

生成されたプローブ情報の収束と拡散を行う通信基盤である。

車車間通信機能

実際の車車間の通信を実現する機能である。道路交通情報生成アルゴリズムを搭載した処理シス

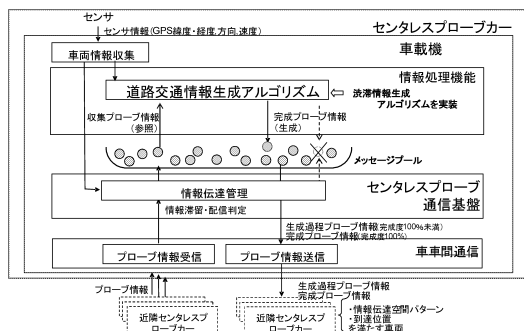


図 5 処理システムの構造

Fig. 5 Structure of in-vehicle probe processing system.

表 2 実験機器の仕様

Table 2 Specification of vehicle system.

項目	仕様
車載 PC	Intel CoreSolo T1300
CPU	1.66 GHz
車載 PC OS	WidowsXP Pro SP2
車載 PC メモリ	512 MB
車載 PC HDD	40 GB
通信機 無線規格	IEEE 802.11 b/g 準拠
通信機 周波数帯	2,400-2,483.5 MHz (ARIB STD-T66 準拠)
通信機 通信確立時間	100 msec 以内
通信機 送信出力	2 mW/MHz

テムの構造を図 5 に示す。

5.2 車載システムの実装

車載システムとしてソフトウェアを実装する車載機は、ノートパソコンを利用した。GPS ユニットと速度センサはシリアルケーブルで車載機と接続した。車車間通信機は、802.11b ad-hoc mode の無線 LAN 方式とし、車車間通信機は、イーサケーブルで車載機と接続した。

表 2 に車載システムとして用いた実験機器の仕様を、表 3 に車載システムが取り扱う車両情報を示す。

車載システムの処理フローを図 6 に示す。また、処理フローと処理システムのコンポーネントとの関係を、フローの名称の後ろに記載する。

A1: 初期パラメータ設定 (車両情報収集)

設定データ情報から各初期値を読み込む。また、ログ出力の各パラメータを設定する。エラーが発生した場合はエラーメッセージを出力し、処理を終了する。

表 3 車両情報の項目

Table 3 Item of vehicles information.

項目	型	内容
車両 ID	Integer	車両の識別 ID
緯度・経度	double	位置情報 北緯・東経が正
車両速度	double	車両の瞬間速度 (時速)
車両方向	Integer	北から時計回りに 0-359 度まで
車両走行距離	long	車両の累積走行距離
車両時刻	Date	車両の現在時刻

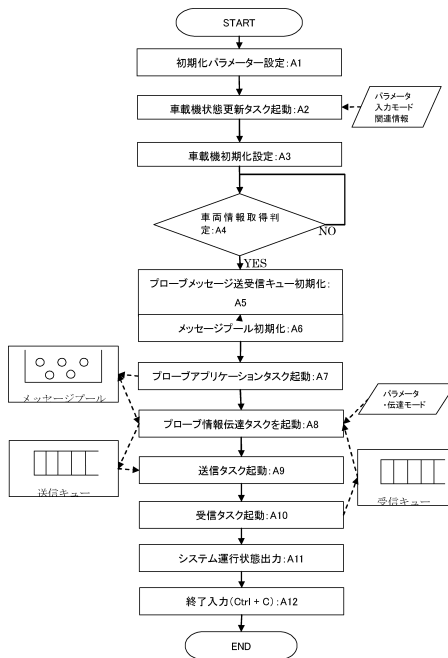


図 6 処理フロー

Fig. 6 Flow of processing.

A2: 車載機状態更新タスク起動 (車両情報収集)

車載機状態更新タスクを起動して、定期的に車載機から車両走行情報を読み取る。

A3: 車載機初期化設定 (車両情報収集)

車載機時刻の取得元、車載機状態の出力ログの各パラメータを設定する。

A4: 車両情報取得判定 (車両情報収集)

車両情報の取得ができていないかをチェックする。YES の場合、A5 以後の処理を行い、NO の場合、2,000 msec ごとに再判定する。

A5: プローブメッセージ送受信キュー初期化 (道路交通情報生成アルゴリズム)

送信キューの最大サイズ、送信最大可能件数を設定する。今回の実装では、送信キューの最大サイズは 100 Mbytes、送信最大可能件数は 1,000 件

に設定した。

A6: メッセージプール初期化 (道路交通情報生成アルゴリズム)

メッセージプールの最大サイズを設定する。今回の実装では、メッセージプールの最大サイズは 100 Mbytes に設定した。

A7: プロブアプリケーションタスク起動 (道路交通情報生成アルゴリズム)

車両走行情報からメッセージを作成し、メッセージプールに保存する。

A8: プロブ情報伝達タスク起動 (センタレスプローブ通信基盤)

メッセージプール内のメッセージを整理し、送信キューにコピーする。受信キューからメッセージを取り出し、メッセージプールに存在しないメッセージを挿入する。情報伝達モードを取得して、センタレスプローブ通信基盤に伝える。

A9: 送信タスク起動 (プローブ情報送信)

定期的に送信キューからメッセージを取得して、送信する。

A10: 受信タスク起動 (プローブ情報受信)

定期的に他車からのメッセージを受信して、受信キューに保存する。

A11: システム運行状態出力 (車両情報収集)

車両走行情報、メッセージプール、送受信キューのメッセージサイズ、件数、送受信のメッセージ、パケットの件数を運行ログとしてファイルに出力する。

A12: 終了 (車両情報収集)

Ctrl + C が押されたら、処理を中止する。

6. 車載システムによる実証実験

本章では、実装した車載システムを用いた実証実験について述べる。

6.1 実証実験の目的と概要

渋滞情報を生成・統合する情報生成アルゴリズムの評価と、情報の収束と拡散が可能なセンタレスプローブ通信基盤を利用してプローブ情報が伝達可能であることの評価、すなわちセンタレスプローブ情報システムの有効性の評価を目的とし、実車両による実証実験を行った。

実証実験は、財団法人日本自動車研究所 (JARI) 城里テストセンタ (茨城県東茨城郡城里町) 外周路 (以下テストコース) で実施した。

テストコースは、周長 5,722 m、幅 7 m (片側 1 車線の上下線) のアスファルト舗装路であり、アップダ

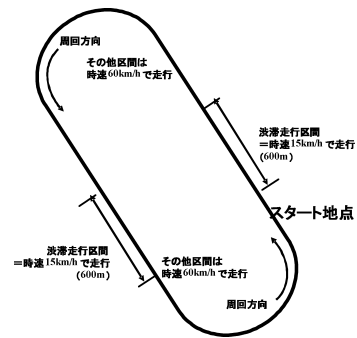


図 7 テストコース概要と渋滞区間の設定
Fig. 7 Configuration of test course.

ウン (最大勾配 5.9%) やカーブ (最小半径 60 m) 等も含む一般道路を模擬した評価仕様路となっており、車両の挙動は一般的な道路とほぼ同じとなる。

実験では、情報生成アルゴリズムが安定して繰り返しプローブ情報を生成するように、テストコース内に 2 か所の渋滞区間を設けた。渋滞区間は各々 600 m とし、実験車両は通常区間は時速 60 km、渋滞区間内は時速 15 km で走行した。テストコースの概要と設定した渋滞区間の箇所を図 7 に示す。

実験車両には同一の普通乗用車を用い、5 台とも同一の機器による車載システムを搭載した。

6.2 実証実験でのシステムパラメータ設定

実験においては、車載機に実装された道路交通情報生成アプリケーションは以下のようなパラメータで動作するよう設定した。また、センタレスプローブ通信基盤の動作確認のため、メッセージプール内に任意のプローブ情報 (ダミープローブ情報) を蓄積させるアプリケーションも準備し、実験を行った。

- 1 秒ごとに GPS から自車位置を取得し、1 辺が 300 m の正方形で区切ったセル (計測単位区間) から隣接するセルに移った時点で、渋滞情報の生成判定を行う。
- 直前セルを通過した際の旅行速度が閾値である時速 20 km を下回った際に、品質レベル 1 の渋滞情報 (オリジナル渋滞情報) を生成し、メッセージプールに蓄積する。
- 他車との情報交換等の結果、メッセージプール内で同一セル、同一方向、同一時間帯の渋滞情報が検出された場合、渋滞情報の統合処理を行う。統合された渋滞情報の品質レベルは、オリジナル情報の数と等しくする。この際、統合された渋滞情報にはオリジナル情報の ID が保存されているため、重複した統合は行われない。

生成された渋滞情報の品質レベルが 3 未満の際には、

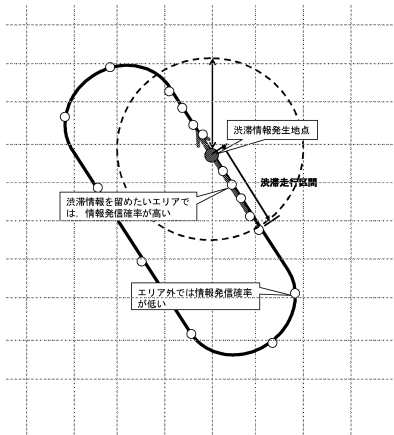


図 8 収束モードによる伝達の様子
Fig. 8 Behavior of convergence mode.

渋滞情報はその発生地点にとどまるように収束モードで以下のような伝達を行うよう設定した。

- 収束モードでは、情報の伝達目的地は渋滞情報の発生位置とする。今回の実験では渋滞の発生位置は発生したセルの中心地とした。
 - 自車の位置と各情報の目的地の距離に応じて、情報の発信頻度の設定を行う。収束モードでは到達限界距離を 500 m と設定し、その範囲内であれば目的地との距離が近いほど、情報の発信を頻繁に行う。
- 図 8 に収束モードの様子と設定したセルを示す。

一方、渋滞情報の品質レベルが 3 以上の際には、渋滞情報は後続車両へより多く発信されるように拡散モードで伝達される。実験では、拡散モードで以下のような伝達を行うよう設定した。

- 拡散モードでは、情報の発信起点から、拡散（配信）方向と拡散範囲、到達限界距離を設定する。本実験では、拡散方向は後続車への伝達を意図して進行方向と反対方向（180 度）とし、配信方向は扇状に 600 m、到達限界距離は 10,000 m とした。
 - センタレスプロブ通信基盤は、情報の発信起点、拡散方向、拡散範囲、および到達限界距離で定められる配信エリア内において、自車の位置と各情報の情報発信起点の距離に応じて、情報の発信頻度の設定を行う。配信エリアの範囲内であれば目的地との距離が近いほど、情報の発信を頻繁に行う。
- 図 9 に拡散モードの様子と設定したセルを示す。

また、実験においては無線 LAN の帯域より十分に小さく、他車の送信を妨げない送信帯域として、メッセージの送信帯域を 30 kbps に設定した。情報伝達モジュールはこの帯域内で、メッセージプールにある情報を発信する。

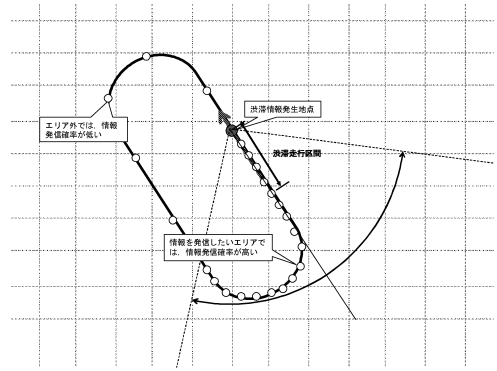


図 9 拡散モードによる伝達の様子
Fig. 9 Behavior of diffusion mode.

6.3 実証実験における車両走行シナリオ

実証実験では、2 つのシナリオに沿って車両を走行させた。以下にそれぞれのシナリオを示す。

シナリオ 1

5 台の車両を同一方向に、15 秒間隔でスタートさせる。通常走行時は車両間隔が 250 m 開き、情報が送受信できないが、渋滞区間では 63 m となり、送受信が可能となる。また、5 台の車両を走行させることにより、品質レベル 3 以上の渋滞情報生成が可能となり、伝達モードの変更が行われる。このような状況を設定して、渋滞情報の生成、統合処理を確認した。

シナリオ 2

4 台の車両を同一方向に、60 秒間隔でスタートさせ、その後、1 台を逆方向にスタートさせる。逆方向に走行する車両は、渋滞区間が終わった位置で待機する。渋滞区間でも 250 m の車両間隔となり、同一方向で走行する車両間では渋滞情報を送受信できないが、逆方向に走行する車には、すれ違い時に渋滞情報を送信することができる。逆方向に走行する車は、4 台の車両から渋滞情報を受信し、品質レベル 3 の渋滞情報が生成される。このような状況を設定して、渋滞情報の生成、統合処理を確認した。シナリオ 2 の実験車両走行軌跡を図 10 に示す。図 10 中の線の交点が車両がすれ違うポイントであり、ここで互いの持つプロブ情報の交換が行われる。

実車両によるテストコースでの実験の様子を図 11 に示す。

7. 評価

7.1 道路交通情報生成アルゴリズムの評価

車両走行シナリオ 1 によって取得した 1 号車、2 号

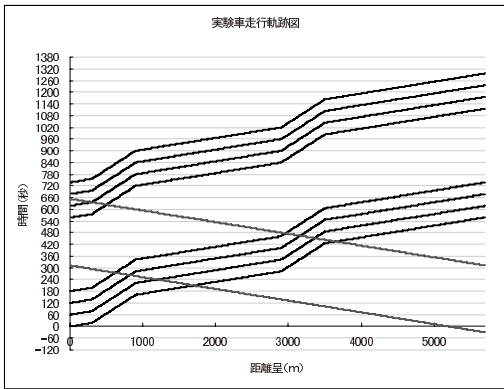


図 10 実験車両走行軌跡 (シナリオ 2)
Fig. 10 Locus of vehicles of scenario 2.

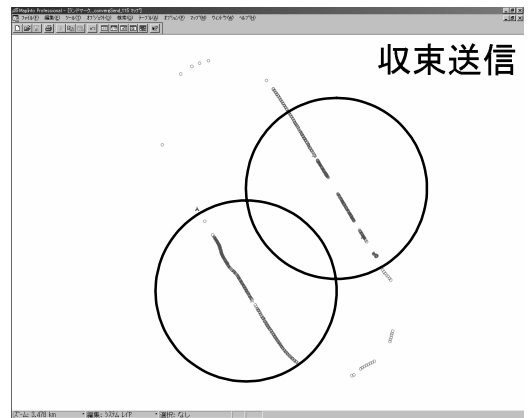


図 12 収束モードにおける情報発信位置
Fig. 12 Result of convergence mode.



図 11 実験車両の走行風景
Fig. 11 Run scenery of experiment vehicles.

車のログデータから、渋滞情報生成アルゴリズムの検証を行った。

渋滞情報の生成

渋滞区間を走行する 1 号車が隣接するセルに移った際に渋滞情報を生成した。

渋滞情報の統合

渋滞区間を走行する 1 号車が、時刻 9:45:06 に、セル番号 5440522321 を平均旅行速度 4km/h、進行方位南東で走行し、渋滞情報メッセージ ID 476741370108 を生成した。その後、2 号車が時刻 9:45:21 に、同一セルを平均旅行速度 3km/h、進行方位南東で走行し、渋滞情報メッセージ ID 481036337434 を生成した際に、1 号車へ情報送信を行った。これを受けた 1 号車は、2 つの渋滞情報を統合し、品質レベル 2 の渋滞情報メッセージ ID 476741370177 を生成した。また、統合された品質レベル 2 の情報と、3 号車から発信された品質レベル 1 の情報について同様の処理を 1 号車が行い、品質レベル 3 の情報を生成することを確認した。

上記の結果から、提案する道路交通情報生成アルゴリズムは、渋滞を検出してプローブ情報を生成し、また他の車両から発信されたプローブ情報と情報を統合することで品質レベルの高いプローブ情報を生成することが可能であることが分かった。

7.2 センタレスプローブ情報システムの有効性評価

図 12 は、車両走行シナリオ 1 において 1 号車から 5 号車が生成した品質レベル 1 の渋滞情報を発信したときの車両の位置を外周路上に示したものである。図中の円は、渋滞発生位置からの到達限界距離である 600 m を示している。また、車両走行シナリオ 2 においても、ほぼ同様の結果が得られた。この際、ダミー情報生成アプリケーションは 1 秒ごとに 2 つのダミープローブ情報を発生させていた。1 つのメッセージは約 1 kbytes であるため、システム動作から 15 秒以上経過した時点で、設定した送信帯域 30 kbps に対し、送信するメッセージを伝送モードに基づいて優先順位を選択するだけの十分なデータが、メッセージプールに蓄えられることとなる。

この結果から、収束モードが規定する到達限界距離内において、道路交通情報生成アプリケーションが生成した渋滞情報が発信されており、実装したシステムがプローブ情報の統合のために有効に動作していることが分かった。

図 13 は、左側が車両走行シナリオ 1 において、メッセージプールの情報量を十分に増やした状態で 1 号車から 5 号車が生成した品質レベル 3 以上の渋滞情報を送信した位置を外周路上に示したものである。また、右側は車両走行シナリオ 2 において、メッセージプール内の情報を増やさない状態で渋滞情報を送信した位置を、外周路上に示したものである。

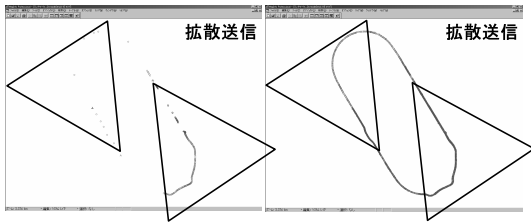


図 13 拡散モードにおける情報発信位置
Fig.13 Result of diffusion mode.

両者の比較によってメッセージプールに十分な情報量がない場合には、品質レベル3以上の渋滞情報が全周にわたって発信されることが分かり、これにより、拡散モードが正常に動作していることが判明した。

この結果から、品質レベル3以上の渋滞情報について、情報の発信起点から60度の扇状の配信エリアで発信されていることが確認できた。このことから、実装したシステムは道路交通情報生成アプリケーションが生成した質の高い渋滞情報を後続車両へ効率的に伝達できることが分かった。

8. 結 論

本論文では、まず初めにセンタレスプローブ情報システムの考察を行い、次にセンタレスプローブ情報システムで動作する渋滞情報に関する道路交通情報生成アルゴリズムを提案した。

その後、車車間通信を司るセンタレスプローブ通信基盤と提案したアルゴリズムに基づくシステムの設計、および車載機への実装を行い、テストコースにおいて5台の実車両による実証実験を行った。

その結果、実装した車載システムによって、提案する道路交通情報生成アルゴリズムによるプローブ情報の交換と情報の生成が可能であることを確認した。具体的には、個々の車両で生成されたプローブ情報を車車間通信を用いて交換し、統合処理を行うことで質の高いプローブ情報を生成できることが分かった。

また、実装したセンタレスプローブ情報システムによって、生成した質の高いプローブ情報が有効に伝達されることを確認した。

今後の課題としては、以下があげられる。

情報生成アルゴリズムの協調

今回の実験では、情報生成アルゴリズムは単体で動作させた。今後は、複数の情報生成アルゴリズムを同時に扱ったとき、それぞれが排他的な振舞いをしないよう、アプリケーション間での優先順位付けや、通信基盤との連携を検討する必要がある。また、今回は渋滞情報に関する情報生成アル

ゴリズムの検討を行った。本アルゴリズムは、渋滞情報以外でも、1) 一定エリア内で、2) 進行方向を持ち、3) 周辺の同一情報を統合することで精度が高まる情報については活用可能であると考えられる。こうした複数の同一アルゴリズムと、それ以外の性質を持つ情報生成アルゴリズムの協調も検討する必要がある。

閾値となる情報の品質レベル

今回の実験では、生成された渋滞情報について、品質レベル3を渋滞情報の収束と拡散の振舞いを変える閾値と設定し、動作の検証を行った。これはあらかじめ定められた道路線形の道で、走行車両がすべてシステムに対応している状態で、全車両の5割以上の情報が統合された場合に拡散するというパラメータである。一方、実際の道路環境であれば、システムに対応している車両とそうでない車両が混在し、道路構造もより複雑になる。本アルゴリズムを実環境で有効に動作させるためには、センタレスプローブ車両の全車両における混入率や道路構造の特性等をふまえ、閾値となる品質レベルを定める必要がある。また、周辺車両の情報から逸脱する異常値を検出した際には破棄する等のクレンジングを行うような処理を導入し、交換される情報自体の精度を高めることも必要となる。

セキュリティの確保

今回の実験においては、車両が生成するプローブ情報はすべて正しく、流通するプローブ情報もすべて真値として扱っている。しかし、実運用では悪意ある第三者が恣意的に欺瞞情報を流布することや、システムの不具合による誤情報の発信等も考えられる¹¹⁾。こうしたシステムにとって悪影響を及ぼす情報に対するシステム全体のセキュリティを確保するための措置が必要となる。

謝辞 本研究は、日本自転車振興会の機械工業振興事業補助金の交付を受けて行う財団法人機械システム振興協会の委託による事業として行われた結果をとりまとめたものである。

本研究を進めるにあたって、多大なご指導とご助言をいただいたセンタレスプローブ研究委員会の皆様、およびシステム開発ワーキンググループのメンバーの皆様に感謝いたします。また、日頃の議論や研究活動に協力して下さった慶應義塾大学の関係者の皆様、およびWIDEプロジェクトの皆様に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Huber, W., Ladke, M. and Ogger, R.: Extended floating car data for acquisition of traffic information, *Proc. 6th World Congress on ITS*, Toronto, Canada (1999).
- 2) Uehara, K., Sunahara, H. and Murai, J.: Problems and Tentative Solutions in InternetCAR Testing with IPv6, *Proc. SAINT2003 IPv6 Workshop* (Jan. 2003).
- 3) Ernst, T., Uehara, K. and Mitsuya, K.: Network Mobility from the InternetCAR Perspective, *Proc. AINA2003* (Mar. 2003).
- 4) Uehara, K., Sunahara, H. and Murai, J.: The InternetCAR network architecture: Connect vehicles to the Internet using IPv6, *ITST2005*, pp.187-190 (June 2005).
- 5) Meincke, M., Tondi, P., et al.: Wireless Ad-hoc Networks for Inter-Vehicle Communication, *Lecture Notes in Informatics (LNI)*, Dusseldorf (May 2002).
- 6) Katragadda, S., Murthy, G., Rao, R., Kumar, S. and Sachin, R.: A Decentralized Location-Based Channel Access Protocol for Inter-Vehicle Communication, *57th IEEE Semianual Vehicular Technology Conference VTC 2003-Spring*, Jeju, South Korea (Apr. 2003).
- 7) Ebner, A., Rohling, H., Lott, M. and Halfmann, R.: Decentralized Slot Synchronization In Highly Dynamic Ad Hoc Networks, *5th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications WPMC 2002*, Honolulu, Hawaii (Oct. 2002).
- 8) Wischhof, L., Ebner, A. and Rohling, H.: Information Dissemination in Self-Organizing Intervehicle Networks, *IEEE Trans. Intelligent Transport Systems*, Vol.6, No.1 (Mar. 2005).
- 9) 齋藤正史, 塚本 淳, 船井麻祐子, 梅津高朗, 北岡広宣, 寺本英二, 東野輝夫: 先行経路上の道路情報取得用アドホック通信プロトコルの開発, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.11 (2005).
- 10) 塚本 淳, 齋藤正史, 梅津高朗, 東野輝夫: 先行道路情報取得プロトコル RMDP の設計と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.4 (2006).
- 11) Sato, M., Izumi, M., Sunahara, H., Uehara, K. and Murai, J.: Threat analysis and protection methods of personal information in vehicle probing system, *The 3rd International Conference on Wireless and Mobile Communications (ICWMC)* (Mar. 2007).

(平成 19 年 4 月 2 日受付)

(平成 19 年 10 月 2 日採録)

佐藤 雅明



1977 年生。2002 年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科前期博士課程修了。株式会社三菱総合研究所勤務を経て、慶應義塾大学政策・メディア研究科特別研究助手。移動体計算機環境、インターネットにおける自動車情報の利用に関する研究に従事。

石田 剛朗



1973 年生。2002 年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科前期博士課程修了。2005 年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科後期博士課程修了(同大学院博士候補)。現在、慶應義塾大学デジタルメディア・コンテンツ統合研究機構助教。慶應義塾大学 SFC 研究所 所員(訪問)。WIDE プロジェクトメンバ。主にアドホック通信を利用したコミュニケーションモデルの研究に従事。

堀口 良太



1966 年生。1996 年東京大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻博士課程後期修了。1990~2000 年までの株式会社熊谷組勤務を経て、2000 年株式会社アイ・トランスポート・ラボ設立。代表取締役就任。交通シミュレーション、プローブシステム等の研究開発に従事。

清水 克正



1960 年生。1982 年岐阜大学電子工学科卒業。アイシン精機入社。現在、ITS 技術部 主担当。自動車の電子部品、ITS 開発に従事。

春田 仁



1971 年生。1997 年横浜国立大学大学院工学研究科物質工学専攻博士課程前期修了。現在、NEC ソフト株式会社 主任。ITS 関連システム、主にプローブカーシステム、エコドライブシステムの開発に従事。



和田 光示

1949年生。東京工業大学大学院経営工学専攻修士課程修了。1975年株式会社デンソー入社。通信機器企画部長を経て、日本自動車研究所へ出向。プローブ情報システムの活用研究に従事。

研究に従事。



植原 啓介（正会員）

1970年生。2003年慶應義塾大学より博士（政策・メディア）の学位を取得。現在、慶應義塾大学政策・メディア研究科特別研究助教授。インターネット移動体通信に関する研究に従事。NPO法人高度測位社会基盤研究フォーラム理事等を務める。

研究に従事。NPO 法人高度測位社会基盤研究フォーラム理事等を務める。



村井 純（正会員）

1955年生。1984年慶應義塾大学大学院工学研究科数理工学専攻博士課程修了。1990年慶應義塾大学環境情報学部助教授を経て1997年より同学部教授。1999年から2005年

まで慶應義塾大学 SFC 研究所所長。2005年より学校法人慶應義塾常任理事。1988年 WIDE プロジェクトを設立し、今日までその代表として指導にあたる。