

既存インフラと車車間通信を組み合わせた 車載機器向け情報通信プラットフォームの検討

梅 津 高 朗^{†1}

本提案では安全で快適な交通環境の実現を目的とした車載機器向け情報通信プラットフォームに適した通信方式の設計を目的として研究を行う。現在、車載機器用の情報ネットワークは、用途ごとに様々な方式が開発され、光ビーコンや DSRC といった一部の方式は既に実用化されている。これらの通信方式を用途ごとに使い分けるだけではなく、例えばある通信デバイスの下位層のプロトコルの制御に、他の通信デバイス経由で得た情報を利用するなど、積極的に互いに補完し合うことでより効率的なネットワーク環境を実現できると考えられる。組み合わせて利用することを前提とする新たな通信プロトコルなどを検討するための通信や環境モデル化手法に関して検討する。

A Study of Information Sharing Platform Based on Combination of Infrastructure and V2V Communication Devices

TAKA AKI UMEDU ^{†1}

In this paper, I will study an information sharing platform that is made from the combination of communication infrastructure and vehicle to vehicle communication devices. Recently, many communication devices for vehicular terminals, such as road-side beacons, DSRC and so on, are developed and used independently. Not only by selecting a suitable communication device for each purpose, but also by combining all them at lower layer the performance may be improved. For example some information gathered via a communication device should be useful to control the communication protocol of another device. In order to study combined communication protocol that uses multiple communication devices, I will propose a model of communication and environments.

1. はじめに

近年、高度交通システム (ITS) 技術の進展に伴い、安全で快適かつ低消費エネルギーな交通環境を実現するための様々なシステムへの期待が高まってきている。車載端末に求められている機能としては、衝突回避といった高い即時性が求められるシステムから、ETC のための課金情報のやりとりや、ナビゲーション情報の提供、運転者以外へのエンターテインメントコンテンツ提供まで多岐にわたる。従来、これらの用途に適した通信方式は別々に研究・開発が進められ、アプリケーションまで含めてパッケージ化された状態で提供されてきた。本研究ではそういった様々な通信デバイスやアプリケーションを統合した通信プラットフォームの可能性を検討する。

例えば、自動車の情報ネットワークとしては、光ビーコン投受光器や携帯電話網を用いたサービスが既に広く使われている他、WiFi や車両の通信のために制定された IEEE802.11p を用いた車車間での情報共有などが研究・開発されている。光ビーコン投受光器は車両の通過を検出し交通量を計測すると共に、通過する車両が光ビーコンに対応した車載器を搭載している場合には双方向通信により情報を収集・提供する。光ビーコン投受光器は日本全国で 5 万カ所程度設置されているものの、装置直下を走行する車両としか情報のやりとりが出来ないため、あらゆる道路をカバーするにはまだ十分とは言えない。携帯電話網を利用したサービスは、ホンダのインターナビや日産のカーウイングスが会員制のサービスとして提供開始されており、渋滞情報などの提供を受けることが出来る。携帯電話網はトンネル内などを一部の例外を除いて基本的に常時通信が可能であるが、通信コストが比較的高く帯域も限られている。車車間通信を用いて自動車同士の衝突防止を支援するシステム^{1),2)} や、交通弱者が電子タグを所持することで付近の自動車へと自身の位置を知らせ、安全に歩行できる環境を構築するためのシステム³⁾ なども提案されている。他にも日本では地上アナログ放送の停波に伴い未割り当て周波数帯となる領域から、715MHz から 725MHz の範囲が、衝突防止システムなどの車車間通信用に割り当てられることが決定されており、既に様々なデバイスの実証実験が開始されている⁴⁾。また車車間通信で通信帯域を効率的に利用できるプロトコルも提案されている⁵⁾。車車間通信はデバイスさえ搭載されていれば通信それ自体にはコストがかからないという利点や、帯域が比較的大きく取れるという利点が存在

^{†1} 大阪大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

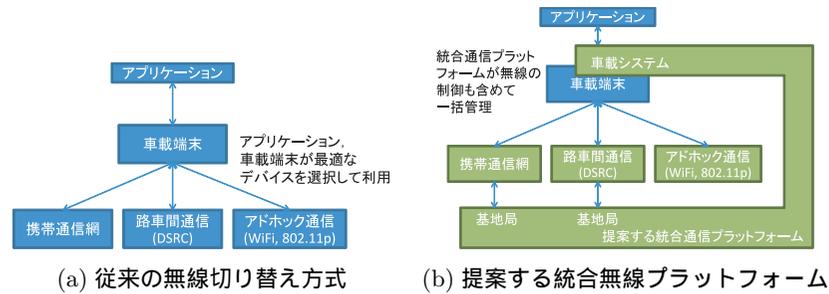


図 1 システムのイメージ

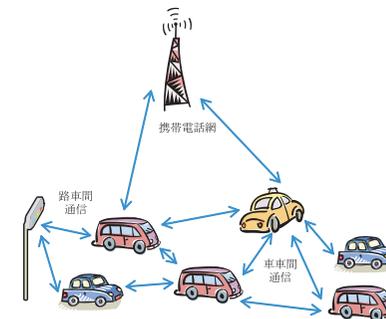


図 2 想定環境

するが、性能が自動車の移動や周辺の環境に依存して大きく変化するため、安定した通信を行う事は比較的難しい。

また、特定の帯域を用いるのではなく、空いている帯域を適宜検索して利用するコグニティブ無線や、複数の通信方式を束ね、用途に応じて最適な通信デバイスを選択する仕組み⁶⁾などに関しても広く研究が進んでいる。しかし、それらは各々が独立して動作する通信デバイスを切り替えるような手法が一般的である(図 1(a))。例えば、DSRC が使える場合には DSRC の比較的広い帯域で通信を行い、利用できない場合には携帯電話網に切り替える、といった方式が中心である。一方で、通信デバイス間が互いの動作を補完し合うような可能性はあまり検討されていない。例えば、多くの帯域幅が必要な近距離通信を車車間通信を用いたアドホックネットワークで行う際に、そのルーティングテーブルの管理には高い接続性を持ち安定した通信が可能な携帯電話網を用いる、といった方法により、純粋な車車間アドホックネットワークよりも安定した通信を実現可能だと思われる。また、道路状況を交通センターへと送るような場合に、携帯電話網を用いるよりも路車間通信などを活用した方が低コストになる。即時性が求められないデータの送付であれば、路車間通信が出来ない区間を走行中の場合には、路側の基地局との通信範囲内へと移動するまで、ある程度の時間を待ってから情報を送付する戦略も検討する価値がある。そのためが必要となる、路側基地局の位置とそこまでの到達時間の予測は、他の通信デバイス経由で取得すればよい。また、渋滞状況の推定などを目的とする場合には、全てのデータを完全な形で集約する必要は低い。そのため、通信帯域に余裕がない場合には一定確率で情報が欠落する事や途中で中継する際に情報を集約してしまうことも許容できる。このような仕組みは無線センサーネットワークにおいて複数のシンクが存在する場合の情報収集方法として広く研究されているが⁷⁾、他の通信

デバイスも補助的に利用できる場合の検討はまだあまり為されていない。また、車載機器が自律的に必要とされている情報を判断するだけではなく、基地局などから必要な情報をリクエストすることで情報の質も高めることも考えられる。

このように、利用するデバイスや通信内容が多岐に渡るため、本研究では、(1) 利用可能な通信デバイスを適切にモデル化できるモデル、(2) 扱データにより求められる性質をクラス分けする情報のモデル化手法を通して、モデルの組み合わせで適切な無線制御方式を設計するし、データごとに適切に転送や集約が行われるシステムの設計方法を検討する。設計の有用性に関する評価は、シミュレーション実験を通して行い、より効率的な情報通信プラットフォームの提案を目指す(図 1(b))。

2. 想定する環境

まず、検討の簡単化のため、交通情報センターなどのような集中管理されたサーバが全体を管理しているモデルで考える。各端末は以下の通信デバイスを装備していることを仮定する(図 2)。

- 携帯電話網を用いた通信機能 (3G 等)
- 近距離アドホック通信機能 (Wifi, 802.11p 等)
- 路車間通信機能 (DSRC 等)

想定するアプリケーションとしては以下のようなものを考える。

- 道路情報・渋滞情報の基地局への集約と、ユーザへの提供
- ユーザへのインターネット接続の提供

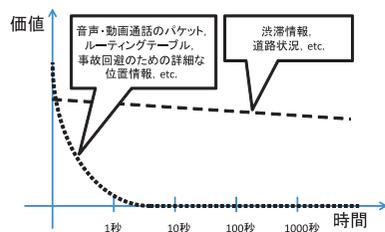


図3 情報の価値

- ユーザ間での直接のデータの転送 (ビデオチャット等を想定)
- 走行車両の位置情報の取得と、ユーザへの提供 (事故防止等を想定)

いずれのアプリケーションの機能も、十分な帯域が利用可能であれば、常時接続が可能な携帯電話網で提供することが出来る。しかし、携帯電話網の帯域には限りがあり、その帯域は近距離アドホック通信デバイスに比べて非常に小さい。そこで、狭帯域であるが接続の安定性が高い携帯電話網を用いて、他の広帯域でコストも低いが必ずしも安定しないモバイルアドホックネットワーク (MANET) やディレイトトレラントネットワーク (DTN) を制御することで、両者の利点を組み合わせることを考える。これにより、他の通信経路を利用することで、より広い帯域を用いたり、経路をショートカットさせたりすることが出来る。

3. 環境・通信のモデル化

ここでは目標とする情報通信プラットフォームの設計のためのモデル化に関して検討を行う。

3.1 パケットのモデル化

まず、情報 (パケット) の価値に関して検討する。一般にパケットに含まれる情報の価値は、基本的には時間の経過と共に低下すると考えられる。しかし、その低下のパターンは、内包するデータの種類によって異なる (図3)。例えば、事故防止プロトコルのための位置情報やアドホックネットワークのルーティング情報などは、刻一刻と変わる環境の中で、情報が計算された瞬間にしか役に立たないため、特に速く価値が消失すると思われる。一方、渋滞情報や道路情報などは比較的長時間に渡って価値が持続する。また、時間以外の価値に変化を与える要因も考えられ、(1) 情報の発信源からの距離など距離に依存して増減したり、(2) 同一の自動車が発したより新しい情報により上書きされることで価値を失ったり、(3) 道路情報の集約の際などには類似の情報が多数ある場合に個々の情報の価値が低下したりす

る可能性がある。以上を踏まえ、各々のパケットには、これらの情報を指数に取る価値関数を定めることを考える。検討する情報プラットフォームは、帯域の制約を満たすようパケットの価値を計算した上で、パケットを送信する経路や方式を決定する。

3.2 通信環境のモデル化

次に、利用可能な無線通信を適切にモデル化できるモデルを考案することで、いくつかの現実的な無線通信デバイスをモデル化してそれらを組み合わせた場合の具体的な利用方法を検討する一方、他の無線デバイスが利用な場合への対応も考慮に入れる。まずは通信モデルとして以下の組み合わせを考える。

- (1) 携帯通信網
- (2) アドホックネットワーク (パッシブ、アクティブ)
- (3) ディレイトトレラントネットワーク

1の携帯電話網は、狭帯域ではあるが常時接続で、ユーザと中央のサーバとの間で確実に情報をやりとりすることが出来る。なお、ユーザ間の通信は、サーバを介して行うものとしてモデル化すれば十分であるため、ここではユーザと中央のサーバとの間の通信のみを考慮すれば良い。2のアドホックネットワークに関しては、パッシブ型とアクティブ型の2通りが考えられる。いずれも帯域に余裕がある場合にはルーティング情報を1の携帯電話網や3のディレイトトレラントネットワークに依存することも出来るため、両方をモデル化して組み込み性能を試す必要がある。3のディレイトトレラントネットワークに関しては、以前に行った車車間通信を利用した効率的なMAC層プロトコル⁸⁾を基本として、プロトコルの組み合わせに関する基礎的な検討を進める。このプロトコルは周囲の車両密度を推定してパケットの交換頻度を調整することで、パケットの衝突によって情報が失われる可能性を低減し、効率的に車両周辺の交通状況を収集・共有するためのプロトコルである。各車載器が把握できる範囲の情報のみで可能な限り効率的に動くプロトコルとして設計したが、もし、大域的な車両密度などが得られたと仮定すると、より効率的なパケットの交換が行える可能性がある。

情報を交通センターに集約することを仮定しているため、交通センターから各車両へ(1)各車両周辺の交通密度や(2)各地域の情報収集率などの補助的な情報を携帯電話網を用いて与えた場合のプロトコルの性能に関して評価を行う。各車両は周辺の交通密度を知ることにより適切にパケット交換頻度を調整出来る。また、情報収集率が低い地域のデータを優先的に収集することで、網羅的に交通情報を収集することが出来る。また、周辺に車両が少なすぎるなどの理由で車車間通信が有効に利用できない場合には、携帯電話網を用いて直接

データを交通センターへ送れば良い。既に利用が開始されている携帯電話網を用いた交通情報収集・提供手法と同様の性能をより低コストで実現することを目標として、具体的なプロトコルの設計を行う。

平行して、プロトコルのモデル化に関して検討する。各通信デバイスごとにどのような通信がどの程度の帯域で利用可能であるか、その際のコストはどの程度であるのか等をモデル化できる手法を考案する。同時にやりとりされるデータに関してモデル化を行う。既に利用が始まっているアプリケーションの他、検討されているアプリケーションなどについても情報を収集し、それらのアプリケーションで利用されるデータの他、アドホックネットワークを維持するために必要なデータに関してモデルに組み込む。それにより、アドホックネットワークを維持するためのルーティングテーブルの更新情報を、アドホックネットワーク自体で行うべきか、携帯電話網など他のデバイス経由でやりとりした方が効率がよいか等の検討が行えるようにする。許容される遅延や、損失なども表現できるように設計することで、多くのアプリケーションを効率的に実装できるよう工夫する。モデル化したデータの重要度と通信成功の可能性などからプロトコル全体の動作の安定性や有用性を評価する。また、このような設計法を取るため、基本的に交通センターのような基地局でデータを集約し、それをユーザに提供することを目標とする。その際に、交通センターのスケラビリティや分散化に関して検討する。

4. 今後の方針

まず、考えられる通信要件に対して、最適なプロトコルのパラメータを求める手法に関して検討する。多くの環境やアプリケーションで効率的に利用可能な車車間通信プラットフォームとしての基礎を確立する。環境やアプリケーション要件により自動的にパラメータを切り替えられるような機構や、複数アプリケーションが混在する環境に対する対応などを検討し、衝突事故防止アプリケーションや、車車間通信を利用した信号制御方式などの具体的なアプリケーションをシミュレータ上に実装し、その効果を検証する。現在、交通状況を自動的に計測して動的に信号制御を行う方式も現実利用されているが、これらは信号直下の車両の有無や、統計的な交通量に基づく制御になっている。車車間通信を用いて信号制御を行った場合には、交通量のみならず、車群の長さ（何台の車が連なって走行しているか）や、次の車がある信号に到達する予想時刻なども計測できる。そのため、例えば、信号直下を現在通過中の車群があとわずか途切れる場合には停車回数を減らすために赤信号に切り替えるタイミングを若干遅らせるが、車群が長い場合には効果が見込めないためにタイミ

ングの調整は行わないといった柔軟な信号制御が可能である。このような方法は、道路の効率的な利用に加えて、消費エネルギーの削減に対しても大きな効果があると思われる。こういった具体的なアプリケーションの性能評価を通じて、提案プロトコルの性能を評価する。

ただし、より現実的な環境を考えた場合には、通信の厳密なモデル化は困難であるため、より柔軟な設計方法が必要となる。また、アプリケーション毎に必要な通信要件が異なるため、具体的なアプリケーションに対して最適化が可能なプロトコルであることが望ましい。例えば、道路の渋滞情報など、周囲の環境に関する情報を収集するアプリケーションであれば、即応性は低い代わりに、比較的長距離まで安定して通信できることが望ましい。逆に、衝突事故防止アプリケーションであれば近隣車両の位置や速度の情報が正確かつ即時に収集可能であることが必要である一方、ある程度遠方との通信は失敗しても問題は少ない。柔軟に環境に対応できるシステムとするため、通信環境の統計的な情報を計測し、通信の制御にフィードバックできるような仕組みを取り入れることも検討したい。

参 考 文 献

- 1) Tamer E., Siddhartha K. G., Gavin H., Hariharan K. and Jayendra P.: "Cooperative collision warning using dedicated short range wireless communications", Proc. of the 3rd International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks(VANET 2006), pp.1-9, 2006.
- 2) James A. M., Raja S.: "Cooperative Collision Warning: Enabling Crash Avoidance with Wireless Technology", Proc. of 12th World Congress on ITS, 2005.
- 3) 独立行政法人情報通信研究機構 (NICT): "交通弱者に対する電子タグによる安全運転支援システム", ITS 情報通信システム推進会議, ITS 情報通信システムシンポジウム 2007.
- 4) ITS 情報通信システム推進会議: "5.8ghz を用いた車々間通信システムの実験ガイドライン". ITS Forum RC005, 平成 19 年 5 月 18 日策定.
- 5) S. Makido, N. Suzuki, T. Harada, and J. Muramatsu: "Decentralized TDMA Protocol for Real-time Vehicle-to-vehicle Communications", Transactions of Information Processing Society of Japan, Vol. 48, No. 7, pp. 2257-2266, 2007.
- 6) X. Kang, Y.C. Liang, H.K. Garg, L. Zhang: "Sensing-Based Spectrum Sharing in Cognitive Radio Networks", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 58, issue 8, pp. 4649 - 4654, 2009.
- 7) E.I. Oyman, C. Ersoy: "Multiple sink network design problem in large scale wireless sensor networks", Proceedings of 2004 IEEE International Conference on Communications, Vol.6, pp. 3663 - 3667, 2004.
- 8) Masashi Saito, Jun Tsukamoto, Takaaki Umedu and Teruo Higashino: "Design

and Evaluation of Inter-Vehicle Dissemination Protocol for Propagation of Preceding Traffic Information”, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 8, No. 3, pp. 379-390 (Nov. 2007).
