

車車間通信を用いた情報共有のためのデータ配布に関する一考察

A Study on Data Dissemination for Information Sharing Based on Inter-Vehicle Communication

佐合 弘行[▼] 篠原 昌子[▼]
原 隆浩[▲] 西尾 章治郎[▲]

Hiroyuki SAGO Masako SHINOHARA
Takahiro HARA Shojiro NISHIO

高度交通システムでは、データの利用率を向上させるため、車車間通信を用いて情報を共有することが有効である。本論文では、ユーザのデータ要求に対して、データの取得機会を増やし、新鮮なデータを取得することを目的として、車車間のデータ共有のためのデータ配布手法を提案する。提案手法では、車両の移動経路の情報をを用いて、近くにいる同じ進行方向の車両をグループ化し、接続している車両(グループ)間で互いに将来アクセスする可能性の高いデータを配布し合う。さらに本論文では、提案手法の性能評価のために、シミュレーション実験を行い、その有効性を検証する。

In an Intelligent Transport System (ITS), information sharing based on inter-vehicle communication is effective for improving data availability. In this paper, we propose a data dissemination method to share data items among vehicles, which increases the opportunity for vehicles to acquire more fresh data items that the users request. In this method, vehicles are grouped according to their locations and movement directions estimated from their route information. Then, data items that are more likely to be accessed in near future are disseminated between two groups. We also present simulation results to evaluate the performance of our method.

1. はじめに

近年、無線通信技術の発展と車両搭載機器の高性能化に伴い、人と道路と車両を相互に結ぶ高度交通システム(ITS: Intelligent Transport Systems)への取り組みが盛んに行われている。その一環として、受信機能をもつカーナビゲーション装置を介して、ユーザに渋滞や事故などの交通情報を配信するシステムが実用化されている[5]。このシステムでは、道路上のセンサが周辺の情報を収集し、管理センタが収集した情報の処理と車両への配信を行う。

ここで従来のシステムでは、管理センタが情報を一度収集してから配信するため、情報の遅延が発生し、ユーザが新鮮

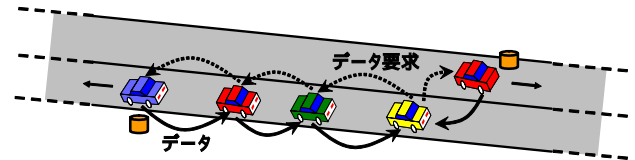


図1 車車間通信の例

Fig.1 A example of inter-vehicle communication.

な交通情報を取得できない。また、管理センタや道路上の端末、これらを結ぶネットワーク網などのインフラの整備や維持に膨大な費用が必要なため、ユーザに情報を提供できる範囲が限定される。

この問題を改善するため、各車両が車載センサにより周囲の状況をセンシングし、車車間通信により車両間でデータを共有することが有効であり、これまでに車車間通信を用いた情報交換に関する研究が盛んに行われている。文献[3]では、移動速度の情報を対向車両同士で伝播させることで、先行経路の混雑情報を把握し、ユーザに新鮮な道路情報を提供する方法を提案している。文献[1,2]では、各車両が自身のもつ道路情報と他の車両から受信した道路情報を周期的に放送することで、先行経路上の道路情報を散布、伝播させていくアプリケーション層プロトコルを提案している。文献[4]では、車両が互いのもつデータの情報を交換し、自身の現在地近くで生成された新鮮なデータの複製を優先的に配置する方法を提案している。

ここで、車車間通信は、モバイルアドホックネットワークと同様の通信技術を用いて実現される。そのため、通信インフラが整備されていない地域でも、車両間で自律的にネットワークを構築し、直接通信やマルチホップ通信によりデータを共有できる(図1)。また、管理センタのように収集情報の処理と配信を集中管理によって行わないため、ユーザが新鮮なデータを取得できる。一方、車車間通信では、常に他の車両と接続しているとは限らないため、ユーザがデータ要求したときに、他の車両からデータを取得できない可能性がある。

そこで本論文では、ユーザのデータ要求に対して、データの取得機会を増やし、新鮮なデータを取得することを目的として、車車間のデータ共有のためのデータ配布手法を提案する。提案手法では、車両の移動経路の情報をを用いて、近くにいる同じ進行方向の車両をグループ化し、接続している車両(グループ)間で互いに将来アクセスする可能性の高いデータを配布し合う。このとき、車両の移動特性に基づいた車両間の通信可能時間と、ユーザのデータアクセス特性に基づいたデータの信頼度を計算することで、車両間で限られた通信時間内に有益なデータを交換する。

2. データ共有のためのデータ配布手法

本論文では、車両内のユーザが道路上を移動しながら、自身や他の車両のもつデータを要求する環境を想定する。車両は、ユーザの目的地と目的地までの経路を把握しているものとする。車両は車載センサを用いて、周囲の状況をセンシングし、データを生成する。その際、データに作成地点、作成時刻、およびデータがユーザにとって意味のあるものとみなせる時間(有効時間)の情報を付加し、自身のデータ領域に保持する。なお、簡単化のため各データのサイズは等しく、データ更新は発生しないものとする。

ユーザは、自身の移動経路上で作成されたデータを要求し、現在地付近で作成されたデータほど頻繁に要求する(図2)。

[▼] 学生会員 大阪大学大学院情報科学研究科
sago.hiroyuki.sinohara.masako@ist.osaka-u.ac.jp

[▲] 正会員 大阪大学大学院情報科学研究科
hara.nishio@ist.osaka-u.ac.jp

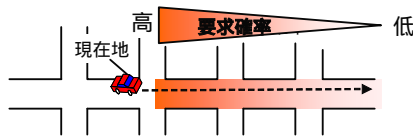


図2 ユーザのデータアクセス特性
Fig.2 User's data access characteristics.

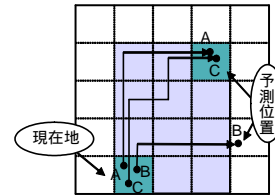


図3 車両のグループ化と配布データの作成範囲
Fig.3 Vehicles groups and area for data dissemination.

2.1 車両間の通信可能時間

車間通信では、車両同士が互いに通信できる時間（通信可能時間）が、車両の移動速度や移動方向に大きく影響される。そこで提案手法では、各車両が他の車両の移動経路の情報を用いて、他の車両との通信可能時間を求める。以下では、直接通信する車両間の通信可能時間とマルチホップ通信を行う車両間の通信可能時間について説明する。

・直接通信する場合

車両は、自身および通信相手となる車両の移動経路の情報から、二台の車両間の距離が無線通信範囲内である（通信できる）時間を計算しそれを通信可能時間とする。

・マルチホップ通信を行う場合

車両は、通信相手の車両までの通信経路上に存在する各車両間の通信可能時間のうち、最短のものをその経路および通信相手との通信可能時間とする。なお、車両間の通信経路が複数形成される場合、経路の通信可能時間が最長の経路を、通信相手までの通信経路とする。

2.2 データの信頼度

車両間の通信可能時間は限られており、車両は他の車両に無制限にデータを配布できないため、配布するデータを選択する必要がある。そこで、文献[4]を参考に、ユーザのデータアクセス特性に基づいたデータの信頼度 R を定義する。

$$R = E - (\alpha \times t_e + \beta \times d/v) \quad (1)$$

ここで E はデータの有効時間、 t_e はデータが作成されてから経過した時間を表す。また、 d は現在地からデータ作成位置までの距離、 v は車両の移動速度を表す。つまり、 d/v は車両の現在地からデータ作成位置までの移動所要時間を表す。なお、 α および β は事前に設定される正の定数である。式(1)より、作成されてからの時間が短く、作成位置の現在地からの距離が近いデータほど信頼度が高くなる。

2.3 車両のグループ化

近くにいる同じ進行方向の車両同士はほぼ同じ速度で移動することが多いため、長時間に渡り通信できる可能性が高い。また、ユーザが自身の移動経路上で作成されたデータを要求する場合、近くにいる車両同士は自身と同じデータを要求する確率が高い。そこで、車両の移動経路の情報を用いて、近くにいる同じ進行方向の車両をグループ化する。

車両は、グループ作成周期ごとに、自身の移動経路の情報から、次の作成周期の時点で自身が到達している位置を予測する。移動領域は矩形領域に分割されているものとし、現在地を含む領域と、予測位置を含む領域の両者が等しい車両同士を同じグループとする。図3の場合、車両AとCが同じグループとなる。

同じグループに属する車両同士は、長時間に渡り通信できる可能性が高く、さらに同じデータアクセス特性を持つ可能性が高い。また、周期的にグループ化することで、時間経過に伴うグループ化の精度低下を防止できる。

2.4 データ配布

自身がこれから移動する経路から移動してきた車両は、ユーザにとって有益なデータをもつ可能性が高い。そこで、各車両が、対向車線や交差点ですれ違う他グループに属する車両（対向車両）にデータを配布する。その際、対向車両の現在地を含む領域と、予測位置を含む領域を頂点とする矩形の範囲内で作成されたデータを配布する。例えば、図3の場合、AとCが属するグループの車両には、網掛け矩形内で作成されたデータを配布する。移動経路上だけでなく、より広い範囲で作成されたデータを対向車両に配布することで、同じグループに属する車両の移動経路が異なっても、これらの車両間でデータを効果的に共有できる。この際、2.2節で定義した信頼度の高いデータを優先的に配布する。

対向車両間でデータ配布を行う場合、走行中であれば、すぐにすれ違うため、配布できるデータの個数は少なくなる。一方、交差点で互いに停止中であれば、多くのデータを配布できる。そこで提案手法では、通信可能時間を考慮してデータ配布を行う。以下では、通信可能時間が短い場合と長い場合に分類して、データ配布方法について説明する。

2.4.1 通信可能時間が短い場合

走行中など車両間の通信可能時間が短い場合、配布できるデータの個数は少ないため、同じグループに属する車両に重複なくデータを配布する。これは、同じグループに属する車両はその後通信できる可能性が高いため、グループに属するいずれかの車両にデータを配布しておけば、車両がデータを要求したときに、同じグループに属する他の車両からデータを取得できるからである。

各車両は、グループ作成周期ごとに、自身が保持しているデータの中で各グループに配布するデータを信頼度の高い順に並べた配布データリストを作成する。以下では、車両Aが対向車両と接続したときの動作について示す。

1. 車両Aが対向車両に接続すると、自身が属するグループの情報と、保持しているデータのリスト（保持データリスト）を、互いに交換する。
2. 車両Aは、対向車両が属するグループの配布データリストに含まれるデータの中で、対向車両がもっていないデータを調べる。そして信頼度の高いものから順に、重複なくデータを対向車両に送信する。送信できるデータの個数は、対向車両との通信可能時間に依存する。

図4を用いて、車両Aが車両B、Cの順に接続したときのデータ配布の動作を示す。図中の吹き出しは、Aが各対向車両に配布したデータを示す。また右表は、車両Aのグループ G_2 に対する配布データリストを示す。例えば、車両Aは、Cと接続したとき、同じグループ G_2 に属するBに配布したデータとは異なるデータを配布する。

2.4.2 通信可能時間が長い場合

交差点で停止中など、車両間の通信可能時間が長い場合、

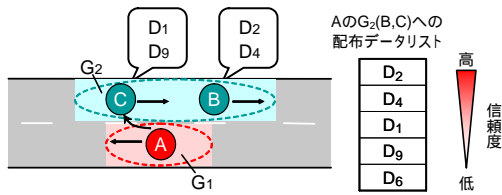


図4 通信時間が短い場合のデータ配布
Fig.4 Data dissemination when communication time is short.

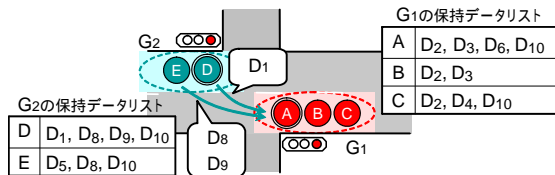


図5 通信時間が長い場合のデータ配布
Fig.5 Data dissemination when communication time is long.

多くのデータを配布できるため、他の車両に重複を許してデータを配布する。このとき、通信可能な全ての車両間でデータを配布し合うと、通信トラヒックが非常に大きくなるため、各グループの中で最も先頭に存在する車両（リーダー）が、配布するデータを調整する。以下では、グループに属する車両が、対向車両のグループとデータを配布しあう動作を示す。

1. 各車両は、自身の保持データリストと位置情報を含むパケットを、無線通信範囲内に存在する同じグループの車両に送信する。これにより、車両は自身の属するグループ内の車両とこれらが保持するデータを把握する。また、受信したパケットに含まれる車両の位置情報を調べ、自身が最も先頭に存在する場合、グループのリーダーとなる。
2. リーダーは、グループ内のデータとそのデータをもつ車両のリスト（グループ保持データリスト）を作成し、無線通信範囲内にいる対向車両に送信する。これは、リーダーがグループの先頭車両であるため、グループの中で最も多くの対向車両と通信できるからである。
3. 手順1,2は、対向車両でも同様に行われる。対向車両のグループのリーダーからグループ保持データリストを受信したリーダーは、自身のグループ保持データリストになく、対向車両グループのグループ保持データリストに含まれるデータを信頼度の高い順に並べる。
4. リーダーは、要求するデータに対して、その配布元車両とその配布先車両を決定し、グループとして要求するデータのリスト（グループ要求データリスト）を作成する。リーダーは、作成したグループ要求データリストを対向車両に送信する。
5. 対向車両は、受信したグループ要求データリストの情報に基づいて、データを配布先車両に配布する。

図5を用いて、車両Aが属するグループG₁が、対向車両のグループG₂からデータを配布される動作を示す。各表は各グループのグループ保持データリストを示し、図中の吹き出しは、G₂に属する車両EとFからAに配布されたデータを示す。

3. 性能評価

3.1 シミュレーション環境

2,000[m] × 2,000[m]の領域内に、縦横200[m]の間隔の格子

状道路があり、300台の車両が移動するものとした。ユーザは目的地を決定し、目的地まで最短経路で15[m/秒] (55[km/時])の速度で移動する。各車両の無線通信範囲は半径80[m]の円とした。グループ化で用いる矩形領域の大きさは500[m] × 500[m]とし、各車両はグループ作成周期60[秒]ごとに自身のグループを決定するものとした。また、各車両は平均200[秒]の指数分布に基づいた間隔で有効時間500[秒]のデータを作成するものとした。

ユーザは、平均100[秒]の指数分布に基づいた間隔で関心のある位置を指定し、指定した位置から半径100[m]の円内で作成されたデータを要求するものとした。その際、車両は、データ要求をフラッディングし、条件を満たすデータを信頼度の高いデータからできる限り取得する。

本実験では、提案手法、提案手法（グループ化なし）、およびデータ配布なしの場合で比較する。提案手法（グループ化なし）では、提案手法において、すべての車両が異なるグループに属するものとして、データ配布を行う。また、データ配布なしでは、車両間でデータ配布を行わず、ユーザがデータを要求したときにだけ、データを取得する。

以上のシミュレーション環境において、初期位置として車両を道路上にランダムに配置し、10,000[秒]を経過させたときの以下の評価値を調べた。

- ・平均取得データ数
データ要求時に取得できたデータの個数の平均。
- ・平均取得信頼度
データ要求時に取得できたデータの信頼度の和の平均。
- ・データ配布時のトラヒック
データ配布時に発生した、データの送信に要した通信ホップ数の総和。

3.2 シミュレーション結果

まず、平均取得データ数を調べた結果を図6(a)に示す。この図において、灰色と黒色は、要求を満たすデータのうち、自身のデータ領域に保持するデータ数と、相互接続している車両から取得したデータ数をそれぞれ示す。この結果より、提案手法はデータ配布なしの場合より、平均取得データ数が多いことがわかる。これは、提案手法では、車両がユーザの将来アクセスする可能性の高いデータを前もって取得しているため、自身が保持するデータ数が多くなるからである。また、各車両が多くのデータを保持することで、データ要求時に他の車両から多くのデータを取得できている。提案手法において、グループ化を行うと、グループ化を行わない場合と比べて、自身が保持しているデータ数はほぼ同じ結果になるが、相互接続している車両から取得したデータ数が多くなる。これは、車両のグループ化を行うと、車両間で重複なく多種類のデータを共有できるためである。

次に、平均取得信頼度を調べた結果を図6(b)に示す。この図において、灰色と黒色は、要求を満たすデータのうち、自身のデータ領域に保持しているデータの信頼度の和と、相互接続している車両から取得したデータの信頼度の和をそれぞれ示す。この結果より、提案手法はデータ配布なしの場合より、平均取得信頼度が高いことがわかる。これは、図6(a)の結果における考察と同様で、各車両が多くのデータを取得できるため、取得信頼度も高くなるからである。また、提案手法において、グループ化を行う場合をグループ化を行わない場合と比べると、自身が保持するデータの信頼度の和は低くなるものの、相互接続している車両から取得したデータの信頼度の和は高くなる。これは、グループ化を行うと、車両

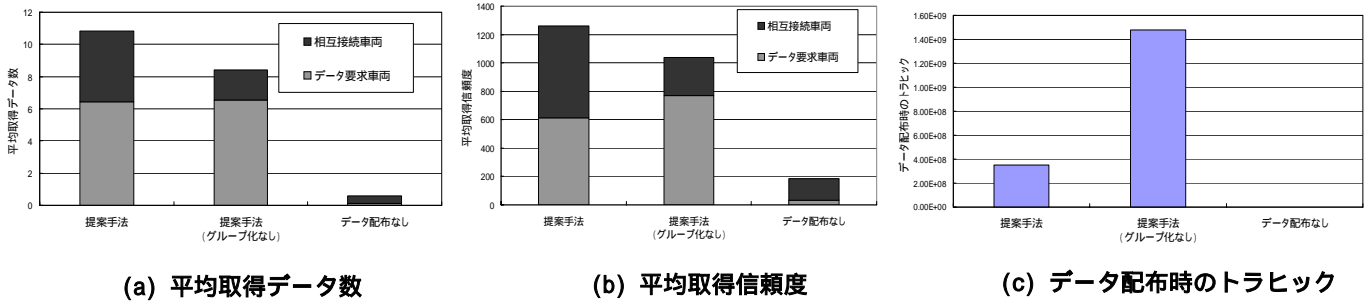


図6 シミュレーション結果
Fig.6 Simulation result.

間で多種類のデータを共有するため、車両によっては、自身の信頼度の低いデータを配布される場合があるからである。一方、グループ化を行わないと、各車両に信頼度の高いデータが配布される反面、相互接続している車両間でデータの重複が多くなるため、データ要求時に他の車両から取得できるデータ数が少なくなり、取得信頼度の和も低くなる。

最後に、データ配布時のトラフィックを調べた結果を図6(c)に示す。結果より、提案手法において、グループ化を行わない場合、トラフィックが非常に大きくなる。これは、グループ化を行う場合、配布対象データとして配布相手の将来アクセスする可能性の高いデータのみを配布するのに対して、グループ化を行わない場合、各車両が通信可能時間の許す限りデータを取得するためである。実環境では、通信帯域の制約があるため、トラフィックをできる限り削減することが望まれる。

以上の結果より、提案手法において、グループ化を行うと、グループ化を行わない場合に比べて、取得データ数や取得信頼度を向上しつつ、データ配布時のトラフィックを削減できている。そのため、グループ化の有効性が確認できる。

4. まとめ

本論文では、ユーザのデータ要求に対して、データの取得機会を増やしつつ、新鮮なデータを取得することを目的として、車両間のデータ共有のためのデータ配布手法を提案した。提案手法では、車両の移動経路の情報を用いて、近くにいる同じ進行方向の車両をグループ化し、接続している車両間で互いに将来アクセスする可能性の高いデータを配布し合う。

シミュレーション実験の結果から、提案手法は車両間でデータ配布することで、ユーザにより多くの新鮮なデータを提供できることを確認した。また、提案手法において、車両のグループ化を行うことにより、さらに性能を向上できることを確認した。

本論文では、車両の現在地とある時間経過後の位置を考慮してグループを決定した。今後は、車両間の移動経路の類似度や、車両密度を考慮した効果的なグループ化の方法について検討する予定である。

[謝辞]

本研究の一部は、文部科学省21世紀COEプログラム「ネットワーク共生環境を築く情報技術の創出」、文部科学省若手研究(A)(16680005)、および基盤研究(A)(17200006)の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

[文献]

[1] 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, pp.2695-2703 (2005).

[2] 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, pp.1248-1257 (2006).

[3] Wischhof, L., Ebner, A., and Rohling, H.: “Information Dissemination in Self-organizing Intervehicle Networks”, IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, Vol. 6, No.1, pp.90-101 (2005).

[4] Xu, B., Ouskel, A., and Wolfson, O.: “Opportunistic Resource Exchange in Inter-vehicle Ad-hoc Networks”, Proc. IEEE MDM'04, pp.4-12 (2004).

[5] VICS HOME PAGE <URL:http://www.vics.or.jp/>.

佐合 弘行 Hiroyuki SAGO

2006 年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業。同年同大学大学院情報科学研究科博士前期過程に入学し、現在に至る。車車間通信に関する研究に従事。日本データベース学会学生会員。

篠原 昌子 Masako SHINOHARA

2004 年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業。2006 年同大学大学院情報科学研究科博士前期課程修了。同年、同大学大学院情報科学研究科博士後期課程に入学し、現在に至る。アドホックネットワークの研究・開発に従事。情報処理学会、日本データベース学会の各学生会員。

原 隆浩 Takahiro HARA

1997 年大阪大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年、博士後期課程中退後、同大学大学院工学研究科情報システム工学専攻助手、同大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助手を経て、2004 年より同大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授となり、現在に至る。工学博士。データベースシステム、モバイルコンピューティングなどの研究に従事。IEEE、ACM、電子情報通信学会、情報処理学会、日本データベース学会の各会員。

西尾 章治郎 Shojiro NISHIO

1980 年京都大学大学院工学研究科博士後期課程修了。工学博士。京都大学工学部助手、大阪大学基礎工学部および情報処理教育センター助教授、大阪大学大学院工学研究科教授を経て、2002 年より同大学大学院情報科学研究科教授となり、現在に至る。2000 年より大阪大学サイバーメディアセンター長、2003 年より情報科学研究科長を併任。データベース、マルチメディアシステムの研究に従事。現在、Data & Knowledge Engineering 等の論文誌編集委員、本学会理事、電子情報通信学会、情報処理学会の各フェローを含め、ACM、IEEE など 9 学会の会員。