

車車間通信を用いた渋滞解消ナビゲーションシステムの提案

寺内 隆志, 柴田 直樹[†], 安本 慶一, 東野 輝夫^{††}, 伊藤 実

奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科[†] 滋賀大学情報管理学科

^{††} 大阪大学大学院情報科学研究科

あらまし 本研究では、車車間通信による情報交換とカーナビゲーションシステムの経路案内機能を連動させることで、全体として渋滞が緩和するよう各車両に経路案内を行う方式を提案する。提案手法では、各車両が目的地に到達するまでの経路上の渋滞状況を取得できるようにするため、どのエリアに対しどの程度の情報取得必要があるかを、各車両から送られた通過予定経路をもとに集計し、それぞれのエリアまで伝播させる。また、各リンク（交差点間の道路）の混雑状況は、各車両がそのリンクを通過するのにかかった時間を計測、送信し、そのリンク付近の車両が集計することで行う。集計された情報は、その情報を必要とするエリアに車車間通信により伝播する。最後に各車両で渋滞箇所を避ける経路を案内することで、全体として渋滞の緩和をはかる。

Proposal of a Navigation System for Dissolving Traffic Congestion with Inter-Vehicle Communication

Takashi Terauchi, Naoki Shibata[†], Keiichi Yasumoto, Teruo Higashino^{††} and Minoru Ito

Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

[†] Department of Information Processing and Management, Shiga University

^{††} Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

Abstract In this paper, we propose a method to mitigate traffic jam by inter-vehicle communication and a route navigation function of car navigation systems. In the proposed method, in order to allow each vehicle to obtain traffic information on the way to its final destination, the demand for each area of the geographical region is calculated from each vehicle's scheduled route and propagated to each area. Traffic information on each link (road between intersections) is maintained vehicles near the link by receiving the time to pass the link from each vehicle and by generating statistic information. The latest statistics of traffic information on each link is propagated by inter-vehicle communication. Based on the received information, each vehicle calculates a route which avoids the congested area so that the congestion will be dissolved.

1 はじめに

主に都市部において交通渋滞は慢性化しており、交通渋滞による日本国内の損害は、毎年12兆円にのぼると言われている。渋滞低減のため、FM多重放送や各種ビーコンを用いた渋滞情報の提供(VICS)が行われており、市販のカーナビゲーションシステムではVICSからの渋滞情報を表示したり、渋滞している道路を避けるような経路を案内したりすることができるようになっている。このような手法の問題点として、VICSは情報を一度基地局等を経由して配信を行うので、受け取るこ

のできる情報にタイムラグが生じることと、渋滞情報を受けた各車両が一斉に経路変更を行うと新たに違う経路で渋滞が発生しうること、各道路にVICSのためのインフラ設備を整える必要があり、設置費用が高額になるという問題がある。

本稿では、車車間通信による情報交換とカーナビゲーションシステムの経路案内機能を連動させることで、全体として渋滞が緩和するよう各車両に経路案内を行う方式を提案する。通信方式としては、IEEE802.11b規格の無線LANを利用する。GPSの位置情報を元に、それぞれの道路の統計情報を生成し、車車間通信によりそれら統計情報を

伝播させ、各車両で渋滞を軽減する経路を生成する。また、事故や道路工事等の突発的な事象にも対応したナビゲーションを行う。

提案手法では、各車両が目的地に到達するまでの経路上の渋滞状況を取得できるようにするために、どのエリアに対しどの程度の情報取得需要があるかを、各車両から送られた通過予定経路をもとに集計し、それぞれのエリアまでパケットリレー方式によって伝播させる。また、各リンク（交差点間の道路）の混雑状況は、各車両が GPS による自車の位置情報からそのリンクを通過するのにかかった時間を計測・ブロードキャストし、そのリンク付近の車両が受け取った情報を集計し、統計情報を生成するとともに、近辺の車両にブロードキャストすることで統計情報を維持する。リンクごとの統計情報は、その情報を必要とするエリアに車車間通信により伝播する。統計情報を受け取った各車両は、その情報に対する各エリアごとの需要状況から、自分の通過予定経路に含まれるエリアからの需要が高い場合にはその情報を保持し、そうでない場合、受け取った情報を破棄する。各車両は、自分の所有する統計情報に対し需要のあるエリア内に入ったら、そのエリア内にいる間、その情報を定期的にブロードキャストする。

次に、このようにして集めた統計情報をもとに、ある地域からある地域に向かう車のうち、何%がどの道を通るのが理想という道路毎の割合の計算を行う。各車両を乱数でその割合になるように経路情報を提示し、結果として渋滞を軽減する。

突発的な事象に対しては、収集した過去の統計情報を元に、現在の道路状況がどのように変化したか比較を行うことで、突発的な事象が発生したことを検出し、発生したリンクにいるもしくは近隣に存在する車両が、これらの状況の変化を受けて、数分後の渋滞状況を計算・予測しこの情報を拡散する。

2 関連研究

パイオニアは、HDD を搭載し、渋滞予測機能を持つサイバーナビ [1] を発売している。サイバーナビは、HDD に地図情報に加え各道路の過去の渋滞情報を搭載しており、この情報と VICS から得られた情報を用いて、渋滞予測をおこない、案内する経路の計算に反映させる。しかし、VICS と過去の統計情報を用いているため、突発的な事象に

は対応できない。また、普及率が上昇すると、渋滞回避経路を案内した結果新たな渋滞が生まれる危険がある。また、定期的に HDD の情報を更新する必要がある。

自動車を移動体の交通観測モニタリング装置と捉え、きめ細かな交通流や交通行動、位置情報、車両挙動さらには気候や自然に係わる状況をモニタリングするプローブカーに関する研究が行われている [2]。これらは主に情報収集の研究であり、渋滞回避を直接の目的とするものではない。

文献 [3, 4, 5, 6] では周辺の道路状況などを車車間通信によって伝達するためのプロトコルが提案されている。[5, 6] では、交通流シミュレータ NETSTREAM[7] を用いたシミュレーションにより、現実的な自動車の動きを考慮した効率よい車車間プロトコルが考案されている。また、[6] では、車車間の密度に応じたパケットの衝突を考慮し、情報伝達率を向上させたプロトコルが考案されている。しかし、これら従来の車車間通信プロトコルでは、情報を均一に伝えることを目的としており、各車両が必要とする情報をもとに情報を伝達することは考えられていない。提案手法は、道路網をエリアに分け、各車両がどのエリアの情報を知りたいのかを車車間通信により集計・伝播し、その需要情報をもとに情報を伝播させるという点で従来手法と異なっている。

3 提案方式

提案方式では、明確に渋滞を定義せず、道を走行中の車両に、目的地へ到着するまでの時間を平均的に短くする経路を案内することで渋滞を解消することを目標とする。その際、案内された経路に車が集中し、新たな渋滞を招くことがないように、車両同士で情報をやりとりすることで案内する経路を調整する。

提案方式は、(1) 各道路における混雑状況の検出、(2) 混雑(渋滞)状況の車車間での伝播、(3) 渋滞を回避する経路の算出からなる。

3.1 各車両に搭載する機器

提案手法により案内を受ける車両は、以下の機能を有するカーナビゲーションシステムを搭載していると仮定する。

- IEEE802.11b 規格の無線 LAN 装置

- GPS
- 20GB 程度の、提案システムが使用できる領域を持つ HDD
- 地図データを納めたメディアとドライブ

但し、道路を通行している全ての車が上記のシステムを搭載している必要は無い。提案手法では、自動的に各地域を通行している車のうち提案システムの普及率を推定し、普及率に応じた経路を案内する。

3.2 混雑 (渋滞) 状況の検出

各車両は GPS の位置情報から、地図データにおける各リンク (各信号の間) を通過する時間を計測する。各リンクを通る車両の通過時間を集計し、そのリンクに関する通過時間の統計情報を生成する。各リンクの渋滞に関する統計情報の管理および維持は、該当リンク近辺にいる車両が行う。情報は、隣接する車両に車車間通信を用いてパケットリレー方式で伝播する。該当リンク近辺にいる車両 (複数) がそのリンクの責任ノードとなり、各車両のリンク通過時間の情報を受け取ると、責任ノードが保持する統計情報を更新する。各車両は該当リンクから離れる前に、車車間通信により該当リンク近辺にいる車両に受け渡し、情報を受け取った車両が新たな責任ノードになる。各車両は、該当リンクを離れるとそのリンクに対して保持している統計情報を破棄し、現在走行中近辺の責任ノードとして動作する。

混雑状況は、一日のうちでも、時間が経つにつれて変化する。夕方のみ混む道路等も存在する。混雑のパターンは、その日が平日か祝日か、五日か、等によっても変化する。提案方式では、日を平日、祝日などいくつかに分類する。混雑に関する統計情報は 1 時間毎に集計し、日の種類毎に統計情報を生成、保持する。これらの情報から、突発的な事態が起こらない場合は、任意の時間において、それから数時間後の該当リンクの渋滞状況の予測が可能になる。

3.3 混雑状況の伝播

上記のようにして集めた各リンクの混雑状況に関する統計情報は、これからそのリンクを通過する可能性のある車両に伝播される必要がある。そ

のため、各リンクの統計情報をパケットリレー方式で伝播していくが、情報を全ての方向に均等に伝播させると、遠くに情報を伝播させるのに、より多くの時間がかかることが分かっている [5]。提案方式では、道路網を数 Km 四方に分割してできる各エリアごとに、どのエリアの情報に対しより多くの需要があるか、統計情報を作成し、この情報に従って、需要の多いエリアの情報を重点的に伝播させることとする。

以下、統計情報のある地域に向かって伝播させる基本方針について述べる。各車両のナビゲーションシステムには、必ずしも目的地が入力されているとは限らないが、ナビは運転者の過去の行動パターンの統計情報を保持しており、したがって、日の種類や時刻、現在位置から車がどこに向かう可能性が高いか分かっていると仮定する。メッセージを車から車に渡す場合、その前に相手の車がどこに向かっているかの情報を交換し、自車よりも相手のほうがメッセージの宛先に到達する可能性が高い場合にメッセージを相手に渡す。

各エリアの情報の需要に関する統計情報は次のように生成する。各車両がどのエリアを通過して目的地に辿り着いたか、また、目的地が設定されている場合には目的地に到達するまでにどのエリア通過する予定かを含む情報を収集する。この情報から、各エリアを通る車がその後どのエリアを通る可能性が高いか推測できる。したがって、各エリアをこれから通る車が、各エリアにどのように分布しているか分かる。

各車両がどのエリアを通過して目的地に辿り着いたかの情報の収集は、次のようにする。各車両は、2つのエリアの任意の組み合わせに対して値を格納できるテーブルを保持し、車両が目的地に到着すると、経路を含むエリアと、目的地を含むエリアの各組み合わせのエントリに 1 を書き込み、それ以外のエントリは 0 とする。このテーブルを、経路を含む各エリアに対して伝播させる。伝播の過程で、他の車両からも同じテーブルを受け取る。この場合は、テーブルの各エントリを合計し、合計したテーブルを保持する。

一部の統計情報が重複してカウントされることにならないように、各車両が送信する情報には、どの車両を経由して送られた情報であることを示す車両 ID のリストを含ませる。同じ車両 ID を含む情報は統合しないようにすることで、統計情報の重複カウントを避ける。

3.4 渋滞を回避する経路の算出

各エリア毎にどのエリアに向かっている車かどの程度いるかの統計情報が各車両に伝播されるので、各車両において、あるエリアからあるエリアに向かう車両が、どの割合で各道路を通れば車両の平均的な到着時間を最小化できるかを計算することが可能である。この計算結果を基に、各車両で経路を計算する。

3.5 突発的な事象への対応

突発的な事象に対しては、収集した過去の統計情報を元に、現在の道路状況がどのように変化したか比較を行うことで、突発的な事象が発生したことを検出する。発生したリンクにいるもしくは近隣に存在する車両が、これらの状況の変化を受けて、数分後の渋滞状況を計算・予測しこの情報を拡散する。

3.6 情報の伝播の高速化

無線 LAN を使用した車車間通信による情報の伝播は、利用料が無料であり、設備コストが安いという利点がある一方で、遠方に情報を伝播させるには時間がかかるという欠点がある。この欠点に関しては、有線ネットワークを使用した地上設備を併用することで緩和できる。無線 LAN 装置と、ADSL によるインターネット接続機能、パソコンからなる地上局を、数 km 四方に 1 台程度配置し、車両と同じようにメッセージをやりとりする。地上局間はインターネット経由で通信を行い、遠くのエリアへのメッセージを地上局経由で届けられるようにする。

3.7 プライバシーの保護

ナビシステム間でやりとりされる情報が盗聴された場合でも、各車両の行き先や、これまで通ってきた経路が他人に分かってしまわないように、以下のような仕組みを取り入れる。需要情報を伝播させる際には、どのエリアを通過してきたか、どのエリアを通る予定かなどの行き先に関する情報をやりとりする。この際、メッセージのテーブルに、実際に通過した（あるいは通過予定の）エリアに加え、ランダムに選択したエリアを含ませ、そ

のエリアに対する需要を表す値をランダムに割り当てる。テーブルのエントリは何度かに分けて送信し、各エントリに重畳されたランダムな値の合計が 0 になるようにする。メッセージはある確率で失われるが、需要に対する統計情報は長期的には実際の需要情報に収束する。

3.8 混雑時の通信

電波範囲内に多数の車両がいる場合、輻輳が起こる可能性がある。メッセージ同士が衝突したことを検知した場合、次のようにして送信する権利を決める。各車両は、0 以上 100 以下のランダムな整数値を保持する。これを、送信 ID と呼ぶ。また、各車両の計算機は 1/1000 秒単位の時間が計測できる時計を持つと仮定する。各車両はメッセージを送信するとき、現在時刻を 100 で割った余りが各車両の送信 ID に一致したときのみ、各車両はメッセージの送信を開始することが許される。送信 ID が複数の車両で一致した場合は CSMA/CA 方式を併用して対応する。

4 提案手法の実装方式

4.1 リンクごとの混雑状況の検出と集計

混雑状況を検出するため、GPS を搭載した各車両が、リンク（信号間の道路）ごとにデータの収集を行う。このデータを *Info* として、

$$Info = \{LinkID, PTT, PCT, Tag\}$$

のように定義する。*LinkID* は各リンクの番号である。ただし、リンクが長い場合は一定間隔でそのリンクに関する情報が得られなくなってしまうので、リンクをいくつか分割する。*PTT* はリンク通過にかかった時間であり、これを用いて混雑状況の作成を行う。*PCT* はリンク終端の通過時刻を表し、統計情報の圧縮時に、時間帯ごとに統計表を区切るために用いる。*Tag* は車両 ID を基にした番号のリストであり、車車間通信により情報交換を行った際、1 つの車両が発信した情報を他の経路を経由して重複して取り込まないようにするための情報である。これらの値で構成された *Info* を車車間通信により交換する。

各車両が生成した *Info* をこのままの状態で車車間で伝播させると膨大な量になるので、*Info* を

表 1: 渋滞重み

LinkID	5min	10min	30min	60min
0	50	40	30	30
1	80	90	70	70
2	20	20	30	20
.
.
.

集約し統計情報の作成を行う。集約した統計情報の名前を *Drop* とし、

$$Drop = \{LinkID, PCT, W\}$$

のように定義する。ここで、*W* は渋滞の重みを表し、制限速度以上で通過できた場合に 0、制限速度以下の場合、リンクの通過にかかる時間が大きいほど *W* の値が大きくなるよう定義する。次にこの重みを用いて表 1 のようにリンクごとの道路状況を表す表を作成する。5 分、10 分と一定時間が経過するたびにデータの圧縮を行い、最新の混雑状況とともに混雑状況の時間経過による変化を記録する。なお、情報 *Drop* は、対象リンクから定められた半径の円内にある車両のみが保持するものとし、この円からはずれた車両は情報を破棄するものとする。

4.2 混雑状況に関する統計情報の伝搬

情報の伝播は車車間でのアドホック通信の形態で行う。情報伝播を行うにあたり、(i) どのエリアに対する情報の需要が高いか、(ii) 各車両が送信可能な情報量の範囲内でどの情報をどの割合で送信するのが効率が良いか、を考慮する。

4.2.1 需要情報の収集と伝播

対象となる道路網を数 km 四方毎にエリアに分割し、図 1 のように各エリアに ID 番号を割り振る。この分割を元に周辺の車両の現在地と目的地へ至るまでに通過予定のエリアの情報を収集し需要情報とする。

まず、各車両では、需要情報として

$$REQ = \{cp, DP\}$$

表 2: リクエスト配信 DP

AreaID	A1	A2	A3	A4	A5
A1	0	2	4	1	3
A2	0	1	7	0	3
A3	5	2	1	3	1
A4	2	1	2	0	2
A5	2	1	8	0	0

CP

を作成する。ここで、*cp* は車両の現在位置を含むエリアの番号、*DP* はその車両の目的地への経路を含むエリアの番号の集合を示す。

この情報を周辺車両に車車間通信により伝播し、その情報を受信した車両は自分の作成した需要情報とマージし、表 2 のような、各エリアに対しどのエリアからどれだけの情報需要があるかを示す表を作成する。例えば、エリア A2 にいる車両 C1 がエリア A3、A4 を通過予定の場合に、エリア A1 にいる車両 C2 からエリア A2 を通過してエリア A3 に向かうといった情報を受け取った時、C1 の需要として、表の A2 の列の A3、A4 と、A3 の列の A4 のエントリを 1 増やし、C2 の需要として、A1 の列の A2、A3 と、A2 の列の A3 のエントリを 1 増やすという操作を行う。これを繰り返すことにより、車両が今後どのエリアの情報を必要とするのかを表す需要情報が作成され伝播される。同じ車両のリクエスト情報が重複してカウントされるのを避けるため、伝播する情報には固定個数の重複車両 ID リストを追加する。各車両は情報を受け取った時、自車両の ID がリストに含まれていなければ表を更新し、含まれていれば情報を破棄する。表の更新の際には、リストの最後尾の ID を削除し、自車両の ID をリストの先頭に追加する。

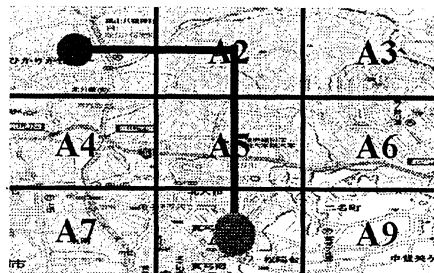


図 1: エリア分割

4.2.2 リンクごとの統計情報の伝播

前節で収集した需要情報をもとに各リンク i の統計情報 $Drop_i$ を以下の手順で需要の高いエリアに伝播させる。

まず、各リンク i の統計情報を収集している責任ノードは、前節の需要情報を受け取ると、統計情報 $Drop_i$ に需要情報（そのリンクの統計情報が必要としているエリアのリストと各エリアへの需要の高さ）を付加した情報 $Statistics_i$ を周辺の車両に定期的を送信する。 $Statistics_i$ を受け取った車両 C は、自分の予定経路が $Statistics_i$ の需要エリアの一部に含まれる場合は、 $Statistics_i$ を保持し、そうでない場合は破棄する。 C は移動中、定期的に $Statistics_i$ を周辺車両に伝播させ、この情報に対する需要の高いエリア A に入った時は、 A での需要の高さに応じてより高い頻度で $Statistics_i$ を送信する。

一般に、各車両は複数のリンクの統計情報を保持し伝播させる必要がある。各車両が1回の通信で全てのリンクの統計情報を送信するのは不可能なので、以下の方針で情報を送信することとする。各車両が m 個のリンク i_1, \dots, i_m に関する統計情報を持っているとする。各リンクの渋滞程度（重み）および需要の高さをもとに、リンク i_j の情報を送信する確率 p_{i_j} を決定する（ただし、 $\sum_{j=1}^m p_{i_j} = 1$ ）。各車両の各回の送信では、渋滞程度が高い情報、また需要の高い情報ほど高い確率で送信されるようにする。

5 おわりに

本稿では、無線LAN搭載のカーナビゲーションシステムを用いて、GPSにより各道路の混雑状況を検出し車車間通信で伝播させ、その情報を用いて各車両で渋滞を避ける経路を案内することで全体として渋滞の緩和をはかる手法の提案を行った。提案手法では、各車両が既に通過した経路および今後通過予定の経路の情報をもとに、各エリアごとの情報需要を集計し、その情報をもとに統計情報を伝播させることで、従来手法より効率の良い情報伝達が可能になるとと思われる。現在NETSTREAMにより人工的に発生させた渋滞をもとに、提案手法の有効性を実験により評価している。

また、本稿では、情報の伝播方法に関して、無線LANによるアドホックな車車間通信のみを用いた方式について述べたが、道路上に設置した無線

基地局などを経由した通信方式を併用することにより、情報伝播速度および情報伝達率を向上させる方法についても、今後検討していく予定である。

参考文献

- [1] http://www3.pioneer.co.jp/product/product.php?product_no=00000399cate_cd_option_no=1
- [2] 岩橋努, 澤本潤, 樋口博, 台蔵浩之, 渡辺尚: “車車間通信を利用した Positionics 適用プローブカーによる交通情報システム” マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2004) シンポジウム, pp.501-504, 2004.07.
- [3] Bo Xu and Ouri Wolfson: “Opportunistic Resource Exchange in Inter-vehicle Ad-hoc Networks”, 2004 IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM 2004)
- [4] Tamer Nadeem, Sansan Dashtinezhad, Chunyuan Liao: “Traffic view :A Scalable Traffic Monitoring System”, 2004 IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM 2004)
- [5] Masashi Saitou, Mayuko Funai, Takaaki Umedu, Teruo Higashino: “INTER-VEHICLE AD-HOC COMMUNICATION PROTOCOL FOR ACQUIRING LOCAL TRAFFIC INFORMATION”, Proceedings of the 11th World Congress on ITS, CD-ROM 4066.pdf, November 2004.
- [6] Masashi Saito, Jun Tsukamoto, Takaaki Umeda, Teruo Higashino: “Evaluation of Inter-Vehicle Ad-hoc Communication Protocol”, Proceedings of the IEEE 19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications(AINA2005), March 2005(to appear)
- [7] 馬場美也子, 棚橋巖, 北岡広宣, 森博子, 寺本英二: “交通流シミュレータ NETSTREAM”, 情報処理学会論文誌, Vol. 46, No. 1, 2005.