Vol.2016-DPS-167 No.14
Vol.2016-MBL-79 No.14
Vol.2016-ITS-65 No.14
2016/5/26

高度交通システムにおける信号の変化を考慮した到着時間予測システム

五味 和良[1,a)]　柳田 諒[1,b)]　小川 紘基[1,c)]　重野 寛[1,d)]

概要：自動車社会が普及した近年，自動車による交通事故や渋滞などの問題を解決するために高度交通システム (ITS) の研究が注目を浴びている．その研究分野の一つに車両の到着時間予測の精度を向上させるというものがある．到着時間予測の技術はカーナビやタクシーの予約などにおいて用いられているが，既存の到着時間予測システムにおける到着時間の計算方法のほとんどが目的地までの道のりと道路の制限速度などの速度データのみを用いて計算されているため，道路の混雑度や信号待機の影響により誤差が発生してしまう．そこで，本稿では到着時間予測の際にルート上での信号における待機時間を考慮して算出を行う手法を提案する．本提案ではまず各交差点において車両同士が VANET を用いて時刻や発車時刻などのデータを共有し，信号の青信号継続時間や周期などを信号データとして算出しデータベースに保存する．車両は目的地までの到着時間を算出する際に基地局から自分が通過するルート上にある信号の信号データを取得し，信号待機時間を算出する．その時間を考慮して予測到着時間を算出することにより信号待機による到着時間予測の誤差を軽減できる．シミュレーションを用いて提案手法が既存手法に比べて到着時間予測の誤差を軽減できていることを示す．

1. はじめに

高度交通システム (Intelligent Transportation Systems: ITS) [1] とは，近年注目されている研究分野の一つであり，通信技術などを用いて車両同士が直接情報のやりとりを行うことにより自動車社会をより便利で安全にすることを目的としたシステムである．ITS についての研究内容は多岐にわたっており，事故や渋滞の情報を周囲の車両に送信する情報散布技術についての研究 [2] や特定数の車両のみに対して速く正確に情報を送る研究 [3] などがある．また，最近では自動運転の技術が注目されていることにより，前方の車両との車間距離やスピードを一定に保つように情報のやり取りを行う研究 [4] なども盛んである．自動車同士が直接通信を行う際に用いられる通信技術は自動車アドホックネットワーク (Vehicular Ad-hoc NETworks: VANET) [5] と呼ばれ，ITS の研究において VANET を用いた様々なアプリケーションが開発されている．

ITS の研究の一つに車両が目的地までの時間を計算する到着時間予測の研究が存在する．到着時間予測の技術はカーナビなどのアプリケーションにおいて主に用いられている．カーナビはその車の走行経路を検索すると同時に目的地に到着するまでどのくらい時間がかかるのかを計算しているため，利用者はおおまかな到着時間が分かりそれをもとにスケジュールを立てるなどさまざまなことに利用することができる．また，物流サービスにおいて物資の運搬にかかる時間を知る目的やタクシーの予約を行う際にどのタクシーがもっとも早く乗客の元へたどり着けるかを知る目的などにも利用できる．

しかし，到着時間予測の技術には予測の精度を向上させるための課題が多い．カーナビのシステムは主に地図データから取得した距離の情報と道路の制限速度などの速度情報を基に計算している．そのため，道路の混雑状況や信号での待機時間の影響により到着予想時刻と大きくずれた時刻に到着してしまうということも珍しくない．多少の誤差に関しては許容できるが到着時刻が予想と大きくずれてしまうと到着時間予測の有効性を失う．

このような問題に対し，本稿では信号での待機時間による到着時間予測への影響に着目し，信号での待機時間を考慮した到着時間予測手法について述べる．提案手法において，まず交差点付近の車両は VANET を用いて自分の速度などのデータを周囲の車両と共有し，信号の青信号継続時間や周期の算出を行う．算出されたデータは基地局へ送信することでデータベースに保存される．到着時間予測を行

[1] 慶應義塾大学大学院理工学研究科
[a)] gomi@mos.ics.keio.ac.jp
[b)] yanagida@mos.ics.keio.ac.jp
[c)] ogawa@mos.ics.keio.ac.jp
[d)] shigeno@mos.ics.keio.ac.jp

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

う際にはデータベースへアクセスし，自分が通過する信号のデータを取得して計算を行う．評価にはシミュレーションを用い，信号の考慮を行った場合と行わなかった場合についての到着時間予測の精度や通過信号数による予測精度への影響を評価する．

以下，2 章では到着時間予測の計算方法や既存手法の問題点について述べる．3 章では提案手法として信号での待機時間を考慮した到着時間予測手法について述べる．4 章では提案手法の有効性を評価するためにシミュレーションを行い結果を考察する．最後に，5 章で結論を述べる．

2. 関連研究

本章では車両の到着時間予測手法について，現在カーナビなどにおいて利用されている手法について説明する．また，既存手法の問題点として予測の精度が落ちてしまう理由について説明する．

2.1 到着時間予測の利用例

まず，車両の到着時間予測システムがどのような場面において用いられているのかについていくつかの例を用いて述べる．

2.1.1 カーナビ

到着時間予測システムがもっとも利用されているアプリケーションはカーナビである．カーナビは利用者が目的地まで行くためのルートを絞り出し，その中から最短のルートやもっともコストを抑えられるルートを検索し，地図と音声によって運転手をガイドしてくれるアプリケーションである．そのため，車を運転する上で目的地までの移動時間を短縮できたり交通料金を抑えられるため現在大多数の自動車において利用されている．カーナビは道筋を利用者に教えることが主な目的だが，それ以外にも目的地までの所要時間を計算して利用者に教える機能がある．これにより，利用者はおおまかな到着時刻が分かり，それをもとに到着後の予定を立てるなどの用途に利用することができる．

2.1.2 タクシー配車

近年，スマートフォンなどの普及によりタクシーは道端で来るのを待つよりもスマホを用いてネット予約する人が多くなっている．タクシーの予約を行うアプリとして主要なものは LINE タクシー [6] や Uber [7] などがあり，利用者の元へタクシーの位置情報や到着予定時刻などを知らせる．現在のタクシー配車システムは利用者との距離が近いタクシーを選ぶというシステムが用いられており，タクシー配車に関する関連研究 [8] においても予約を行うタクシーの指標は利用者の元までの走行距離であった．

2.1.3 物流サービス

物流サービスにおいてトラックによる運搬は輸送方法として多く利用され，サービスの質の向上のために物流コストの軽減や時間指定配送などの技術が求められている．到着時間予測技術の精度を向上させることにより，トラックがどの程度の時間で目的地に到着するかを把握し，ルート選択などの指標として用いることでサービスの向上が期待できる．

2.2 既存の到着時間計算方法

現在到着時間予測に用いられているシステムがどのようなものかを説明する．なお，ここでは具体例としてカーナビにおいて用いられているシステムについて述べる．現在普及しているカーナビの多くは到着時間の計算を距離と速さを基に計算している [9]．ここでいう距離とはマップを基にした目的地までの走行距離のことを表し，速さのデータはもともとカーナビにおいて設定されていたデータ（一般道路は 40km/h，高速道路は 80km/h など）を用いるか利用者があらかじめ設定した値を用いている．

2.3 既存手法の問題点

上記のように現在さまざまなアプリケーションにおいて到着時間予測が行われているがどのアプリケーションを用いても正確な時間予測をすることは困難である．その主な理由のひとつは道路状況の変化であり，これに関しては道路状況の変化を予測するシステムがない限り改善は難しいといえるだろう．カーナビにおいても道路状況の変化への対応に関しては VICS [10] などのアプリケーションを用いて定期的に道路の混雑状況のデータを取得して更新している機種も存在する [11] [12]．それ以外の要因として考えられる原因の 1 つが信号における待機時間である．今までのシステムではどれも信号での待ち時間を予測しているものはないため信号で長時間待つことになった場合などは到着時間に誤差が発生してしまう．信号は幹線道路を含む交差点などものによっては青になるまでに非常に長い時間がかかるものもあり，そのような交差点が重なった場合その誤差は無視できないものとなる．

3. 提案

本稿では，車車間通信を用いて信号の変化を予測し信号での待機時間を考慮して到着時間の算出を行う手法を提案する．提案手法には大きく分けて 2 つの動作がある．1 つ目は信号変化のタイミングを予測するためにそれぞれの信号での信号データを算出する．ここで言う信号データとは，信号の青信号変化時刻，青信号継続時間，周期の 3 つである．2 つ目は算出されたデータを基に目的地までの到着時間を算出する．なお，提案手法では道路上の交差点において車線 A，B が直交しているものとし，道路はすべて片側 1 車線であることを前提とする．また，通信については算出のための通信に LTE や 3G などの基地局を通じた方法を利用してしまうと基地局の通信料が増大してしまう上に車両も計算を行う際にその都度基地局へアクセスする必

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

Vol.2016-DPS-167 No.14
Vol.2016-MBL-79 No.14
Vol.2016-ITS-65 No.14
2016/5/26

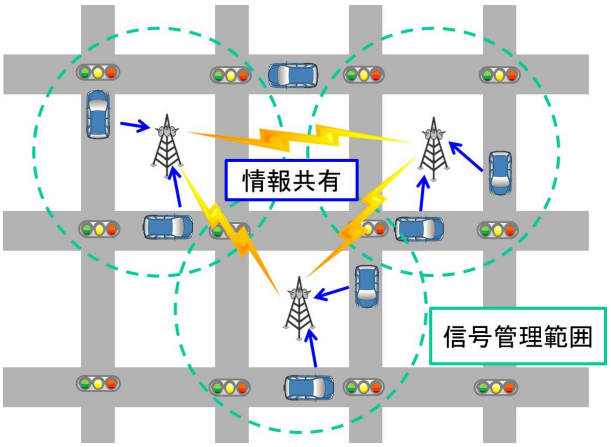


図 1　信号データの管理と共有

要があり非効率となる．そのため，本提案では信号データを算出する際には VANET を用いて車両同士が情報交換を行うことでデータの算出を行い，車両が算出した信号データをデータベースに保存する場合や到着時間予測を行う車両が必要な信号データを取得する場合にのみ LTE や 3G などの基地局を通した通信を利用する方法を用いる．基地局は図 1 に示すように一定範囲の信号データを保持し，基地局同士はお互いに情報を共有することができるものとする．それでは，それぞれの動作について説明する．

3.1　信号データの算出

まず，到着時間予測のための信号データの算出方法について説明する．信号データに含まれる青信号継続時間や信号の周期を算出するうえで基準となる値として車線 A，B 両方の信号が赤や黄色になり，両車線で車両が停止している状態となった時刻を用いる．この時刻を両車線停車時刻と呼ぶ．両車線停車時刻からどちらか片方の車線の信号が青になり車両が動き出す時刻までの間の時間を両車線停車時間と呼ぶ．次にもう片方の車線の信号が青になった時刻から先に動き出した車線における青信号継続時間を算出する．そして次にもう一度最初に青になった車線の信号が青になり，車両が動き出したら信号の周期の計算を行う．これらの信号データは算出されたものから基地局を通してデータベースへ保存される．図 2 に信号の変化とその時刻や時間のデータを示し，それぞれの値の算出方法について述べる．

3.1.1　両車線停車時刻

車両は信号で停止したときに停車時刻や速度ベクトルの情報を VANET を用いて周囲の車両に対してブロードキャストする．なお，速度ベクトルは車両の進行方向を示している．同一交差点内において信号待機の状態でこの情報を受け取った車両は自分の進行方向と比較して送信車両が自分と同じ車線なのかもう片方の車線なのかを判断する．もし自分と違う車線の車両だと判断できた場合，図 3 のように両車線において車両が信号待機状態になったと判断でき，受信した停車時刻の情報を両車線停車時刻 t_{rr} として記憶し，そのデータを周囲の車両と共有する．

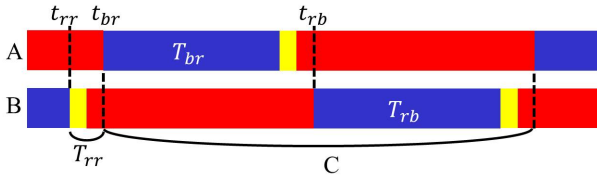


図 2　信号変化

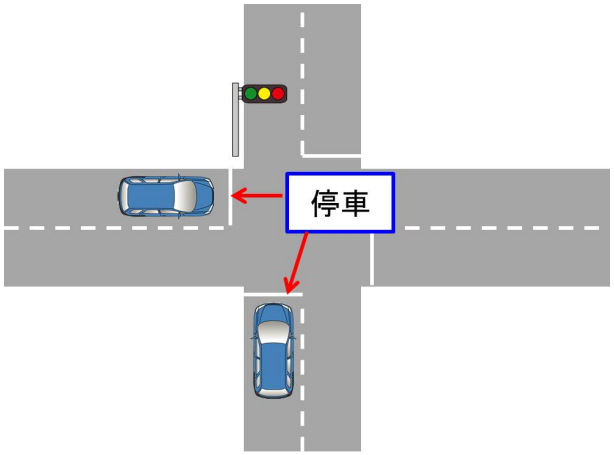


図 3　両車線停車時刻

3.1.2　青信号継続時間

両車線で車両が停止している状態から仮に車線 A 上の車両が動き出した時にその車線の車両は周囲の車両に対して自分の発車時刻 t_{br} とその時刻から両車線停車時刻を引いて得られる両車線停車時間 T_{rr} の算出データをブロードキャストする．次に，車線 B が青になったときに発車した車両は自分の発車時刻と t_{br}，T_{rr} から車線 A の青信号継続時間 T_{br} を算出する．同様の方法で車線 B の青信号継続時間も算出し，そのデータはデータベースに保存される．

3.1.3　信号周期

交差点付近の車両は VANET を用いて情報共有しており，自分が交差点から離れるときは自分の持っている情報を周囲の車両にブロードキャストする．交差点の前で信号待機していた車両が動き出した時の発車時刻のデータも共有されるため，先に青になった車線と同じ車線がもう一度青になり車両が動き出すと，動き出した車両は自分の発車時刻 t_{br2} から取得した前回の車両発車時刻 t_{br1} を引くことで青変化時刻から次の青信号変化時刻までの間の時間を知ることができる．この算出によって得られたデータを信号の周期 C として保持する．

3.2　到着時間の算出

車両が目的地までの到着時間を算出する際には，あらかじめ保存された信号データを用いて算出を行う．利用する

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

Vol.2016-DPS-167 No.14
Vol.2016-MBL-79 No.14
Vol.2016-ITS-65 No.14
2016/5/26

データは信号データと地図データである．地図データに含まれる情報は目的地までの経路上にある道路セグメントの長さとその道路セグメントの制限速度である．到着時間予測をするとき車両は基地局へアクセスして信号データを取得する．まず，車両は自分の車両 ID と位置情報に加えて自分が通過するルートの情報を要求メッセージとして基地局へ送信する．するとデータベースから受信したルート上にある信号の信号データをピックアップする．このとき自分が保持している信号データ以外の信号データに関しては基地局同士で情報共有を行うことで取得する．そして要求メッセージを送信した車両へ必要な信号データを送信する．これにより車両は必要な信号データを収集することができる．

次に，以上のデータを用いた到着時間の算出方法について述べる．まず，道路セグメントの始点もしくは自分の現在地点から道路セグメントの突き当りにある信号に到達するまでにかかる時間を計算する．そのときの計算は既存手法と同じように道路セグメントの長さを制限速度で割ったものとなる．信号までの到達時間を計算した後は，信号に到達したときにその信号が赤なのか青なのかを判断する必要がある．その判定において取得した信号データを用いる．仮に車両が信号へ到達する時刻が t_A であった場合，t_A より前の時刻で最も t_A に近い青信号変化時刻 $t_{brN} = t_{br} + nC$ を知る必要がある．n は自然数でその時刻までに信号データの t_{br} から信号データに含まれる周期 C を何周期分回ったかを示している．その値を求めるために式 1 を満たす n を判断する．

$$n \leq \frac{t_A - t_{br}}{C} < n + 1 \tag{1}$$

上記を満たす整数 n を求めた後，t_A のときの信号待機の有無を判断する．ここで信号データに含まれる青信号継続時間 T_{br} を利用する．その判定に用いる式は式 2 のようになっており，t_A から t_{brN} を減算した値が T_{br} より小さければ信号待機はなくそのまま進むことができ，T_{br} より大きい場合は信号待機があるためその信号における待機時間を算出しなければならない．

$$\begin{cases} t_A - t_{brN} \leq T_{br} \\ t_A - t_{brN} > T_{br} \end{cases} \tag{2}$$

式 2 において信号をそのまま通過することができないと判断した場合は信号での待機時間を算出する必要がある．待機時間は信号に到達してから次の青信号変化時刻までの間の時間であるため，計算式は式 3 のようになる．

$$W = (t_{brN} + C) - t_A \tag{3}$$

この式によりその信号における待機時間と通過する時刻が分かるため，経路上の次の道路セグメントと信号に対しては始点の時刻をこの信号の通過時刻にして計算を行っていく．以上のような過程を経路上の道路セグメントと信号に対して順に行っていき，算出された値を加算していくことで全体の到着時間を算出する．

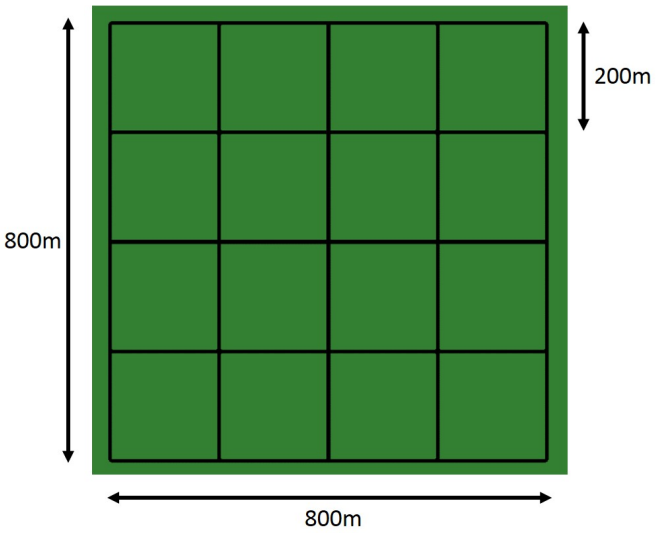


図 4　シミュレーションマップ

4. 評価

4.1 シミュレーション環境

まず，提案手法の評価に用いたシミュレーションの具体的な環境を述べる．今回評価には SUMO [13] という交通流シミュレータを用いた．このシミュレータは道路の設備や交通流をより細かい部分まで再現することができる特徴をもち，信号の設定も行えるため評価に用いる．なお，このシミュレータは交通流の再現を行うものであるため車車間通信や路車間通信などの通信をシミュレーションすることはできない．しかし，今回の提案手法の目的は信号の変化を考慮することで到着時間の誤差をどの程度軽減することができるかという点に焦点を当てているため通信の評価をする必要はない．また，通信のシミュレーションを行うことができる交通流シミュレータとして Scenargie [14] というものが挙げられるが，このシミュレータは信号の設定など細かい交通流を再現することができないため今回の提案の評価には不適切である．以上の理由により今回のシミュレーション評価には SUMO を利用し，車車間通信や基地局との通信は常にパケットロスや輻輳などが起きない理想の状態で伝送が行えると仮定してシミュレーションを行った．

4.2 シミュレーションモデル

シミュレーションにおいて用いるマップを図 4 に示す．今回提案の評価には格子状の道路モデルを用いる．シミュレーション領域は 800[m] × 800[m] で，東西と南北それぞ

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

Vol.2016-DPS-167 No.14
Vol.2016-MBL-79 No.14
Vol.2016-ITS-65 No.14
2016/5/26

れに 5 本の道路が走っており，各交差点間の距離は 200[m] となっている．また，道路はすべて片側 1 車線の双方向道路である．

シミュレーションマップ上の 4 隅を除くすべての交差点に信号が設置されている．シミュレーションにおける信号の変化は赤→青→黄→赤と順に一定時間ごとに変化し，右折信号や歩行者専用信号，押しボタン信号などの人の意思が介入する信号，単色信号などは存在しないとする．信号は十字路と T 字路ともに対面になっている車線の信号は連動して変化するようになっており，時差式信号などは存在しない．

4.3 シミュレーション条件

提案手法の評価に用いたシミュレーションの条件を表 1 に示す．シミュレータは先ほど説明した SUMO を用いた．車線は片側 1 車線双方向の道路モデルを用い，信号は一定時間ごとに変化するものとした．到着時間の算出に用いる時間は全て同じ 2000 秒にし，車両 500 台まで到着時間予測を行った．信号データの取得に用いる時間は 20000 秒でシミュレーションを行った．車両流入量はマップ上のランダムな位置に 1 秒につき 1 台車両が出現する場合と 2 秒につき 1 台車両が出現する場合でシミュレーションを行った．

表 1 シミュレーション条件

シミュレータ	SUMO [13]
道路モデル	片側 1 車線双方向
信号モデル	一定時間変化
シミュレーション時間	22000s
信号データ算出時間	20000s
到着時間算出時間	2000s
到着時間予測車両数	500 台
車両流入量	1 台/s, 0.5 台/s

4.4 評価対象

シミュレーションにおいて以下の 2 つの手法を評価対象とし，結果の比較を行う．また，パラメータ変更による信号データ算出の精度の比較を行うために提案手法に対して表 2 に示すように車両流入量を変化させた 2 種類のパラメータの組み合わせを用いてシミュレーションを行う．

- **既存手法**
  距離と速さのデータを用いて到着時間予測を行う手法である．
- **提案手法**
  本稿において提案した信号データを利用して到着時間予測を行う手法である．

4.5 評価項目

今回シミュレーションを用いて評価する項目は以下の 2 つである．結果の出力はグラフを用い，それぞれの項目に対して提案手法のパターン 2 種類分の結果を示す．

表 2 提案手法のパラメータ

パラメータ	車両流入量
パラメータ 1	2 台/s
パラメータ 2	1 台/s

- **予測到着時間**
  既存手法と提案手法に対して車両の予測した目的地までの所要到着時間と実際の到着時間との間にどの程度誤差があったのかを比較する．
- **通過信号数による予測誤差の変化**
  既存手法と提案手法に対して通過する信号の数が変化したときに到着時間予測の誤差にどのような影響を与えるのかを比較する．

4.6 予測到着時間

まずは本提案の目的である到着時間予測に関して，距離と速さのみで計算を行っている既存手法と信号データを利用して信号での待機時間を考慮した提案手法を用いて算出した予測到着時間の誤差を比較する．その結果を図 5, 図 6 に示す．

4.6.1 パターン 1

図 5 のグラフを見てみる．このグラフより，提案手法では既存手法に比べて予測到着時間の誤差が少ない車両が増加しているという結果が得られる．グラフにおいて，誤差が 0〜10 %の範囲の車両数は既存のシステムでは約 30 台，提案手法では約 60 台という結果になっていることが分かる．また，10〜20 %の誤差で時間予測ができた車両の台数は既存が約 20 台であるのに対し提案手法では約 50 台という結果になっている．つまり，提案手法は既存手法より 20 %以内の誤差で時間予測を行った車両が 2 倍になっているということである．また，20〜30 %のグラフでも提案手法は既存手法より多くなっていることが分かる．

4.6.2 パターン 2

提案手法のパターンをパターン 1 のときに比べて車両流入量が 2 倍，つまり車両密度が 2 倍になっている場合の結果について図 6 をもとに考える．このグラフを見てみると，提案手法は既存手法に比べて少ない誤差で時間予測できた車両が多くなっていることはパターン 1 と同じ結果であるが，既存と提案についてどちらも少ない誤差で時間予測できている車両が他のパターンに比べて明らかに少なくなっていることが読み取れる．その原因として考えられるのは車両密度の増加による道路の混雑度増加の影響である．本提案は到着時間予測において信号の変化を考慮することのみに焦点を当てているため道路混雑度の変化には対応していない．そのため，パターン 2 のように混雑度が増加すると到着時間の誤差原因として混雑度の影響が非常に大きく

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

Vol.2016-DPS-167 No.14
Vol.2016-MBL-79 No.14
Vol.2016-ITS-65 No.14
2016/5/26

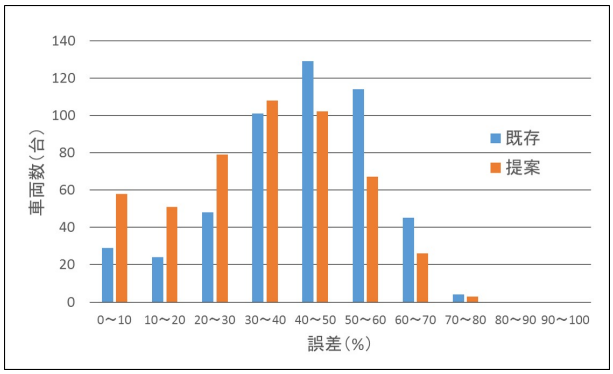


図 5　予測到着時間の比較（提案手法パターン 1）

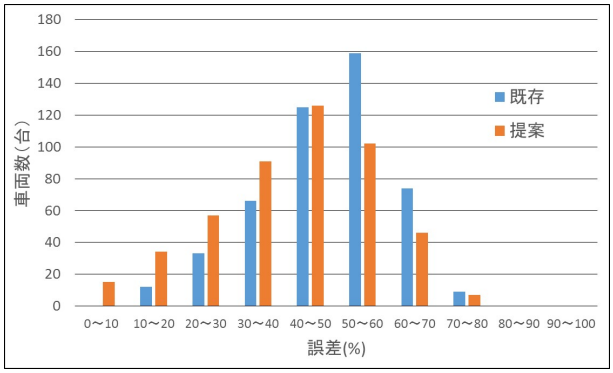


図 6　予測到着時間の比較（提案手法パターン 3）

なってしまう．すると信号の予測を行っても誤差改善の精度が低下すると考えられる．

4.7　通過信号数による予測誤差の変化

次に，信号の待機時間を算出して到着時間を算出するうえでルート上の信号の数が増えると到着時間の算出にどの程度影響を及ぼすかを知るために図 7，図 8 において通過信号数と予測時間の誤差の関係をグラフに示す．グラフの順番は到着時間予測のグラフと同じようにパターン 1 からパターン 3 の順に表示する．グラフは横軸に通過信号数を表しており，通過信号数が 1 とは車両の走行ルート上に信号が 1 つ存在するということになる．縦軸はその通過信号数で走行した車両の到着時間予測の誤差の平均をとったものである．また，グラフの線は到着時間予測のグラフと同じで青が既存手法，赤が提案手法となっている．

4.7.1　パターン 1

提案手法のパラメータがパターン 1 の場合でのグラフを図 7 に示す．このグラフより信号の台数が少ないほど予測到着時間の平均誤差が既存に比べて軽減できていることが読み取れる．また，通過信号数の多いルートを通る車両については平均をとったデータ数が少ないため 1 台のデータの比重が重くなってしまうため既存と提案で誤差にあまり差が生まれなかったと考えられる．このグラフにより，本提案は通過信号数が少ないとより有効であるが通過信号数が増えるにつれて既存との差が少なくなってしまうことが

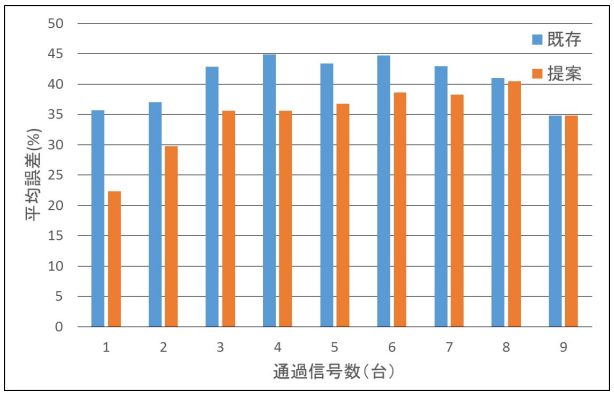


図 7　通過信号数による予測誤差の変化（提案手法パターン 1）

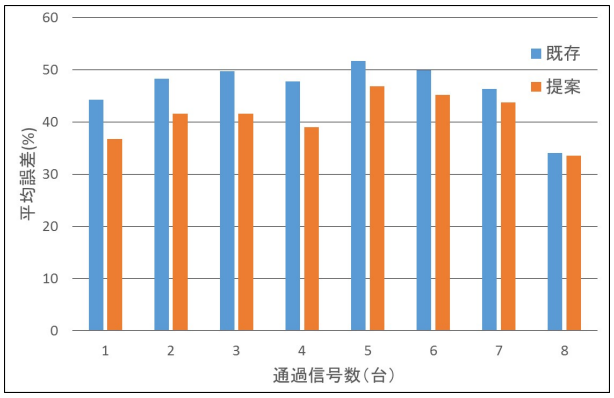


図 8　通過信号数による予測誤差の変化（提案手法パターン 3）

分かる．その原因として考えられるのは信号以外の要因が到着時間の誤差に強く関わってくることと信号データのずれが積み重なって誤差が大きくなってしまったことなどが挙げられる．

4.7.2　パターン 2

パターン 2 における通過信号数と誤差の相関のグラフを図 8 に示す．このグラフを見てみると全体的に既存より提案の方が到着時間の平均誤差が少なくなっていることが分かるが，通過信号数が少ない場合でも既存とあまり差をつけられていないことが読み取れる．この原因としてはパラメータを変更して車両密度を上げたことにより道路全体の混雑度が上がり，それに伴う渋滞などの影響が到着時間予測に強く関わってくることが挙げられる．そのため，たとえ通過する信号数が少ない場合でも渋滞などの影響により信号に差し掛かるタイミングが予測とずれてしまったため信号での待機時間をうまく計算できずに誤差が生じたといえる．

5.　おわりに

本稿では，車両の目的地までの到着時間予測の際に信号の変化による信号待機時間を考慮した予測時間算出手法を提案した．本提案では，信号付近にいる車両が信号停止時刻データなどを VANET を用いて周囲の車両と共有することで信号の青信号継続時間や信号周期の算出を行う．この

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

データをデータベースで管理し，到着時間の計算を行う車両は自分が通過する信号の信号データを取得することにより各信号での信号待機時間を算出し到着時間予測を行う．シミュレーション評価の結果，提案手法は距離と速さのデータのみで到着時間算出を行った場合よりも予測誤差を軽減できていることが分かった．今後，別の誤差原因の改善によるさらなる精度の向上を図る予定である．

謝辞 本研究は JSPS 科研費 16H02811 の助成を受けたものです．

参考文献

[1] ITSJAPAN: ITS とは，http://www.its-jp.org/about (2010).
[2] Sepulcre, M., Gozalvez, J., Altintas, O. and Kremo, H.: Adaptive beaconing for congestion and awareness control in vehicular networks, *2014 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)*, pp. 81–88 (online), DOI: 10.1109/VNC.2014.7013313 (2014).
[3] Yan, T., Zhang, W. and Wang, G.: DOVE: Data Dissemination to a Desired Number of Receivers in VANET, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 63, No. 4, pp. 1903–1916 (online), DOI: 10.1109/TVT.2013.2287692 (2014).
[4] 大西亮吉，アルトゥンタシュオヌル， 吉岡顕：車群通信による隊列走行の編成方法の提案，情報処理学会論文誌，Vol. 57, No. 1, pp. 184–195 (2016).
[5] Hartenstein, H. and Laberteaux, L. P.: A tutorial survey on vehicular ad hoc networks, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 46, No. 6, pp. 164–171 (online), DOI: 10.1109/MCOM.2008.4539481 (2008).
[6] LINE 株式会社：LINE タクシー，http://official-blog.line.me/ja/archives/20014564.html (2015).
[7] UberTechnologies: Uber, https://www.uber.com/ja/ (2015).
[8] Jang-Ping Sheu, Guey-Yun Chang, C.-H. C.: A Distributed Taxi Hailing Protocol in Vehicular Ad-Hoc Networks, *Vehicular Technology Conference (VTC 2010-Spring)* (2010).
[9] ECLIPSE: AVN669HD 到着時刻予想の表示設定，http://www.fujitsu-ten.co.jp/eclipse/support/manual/avn7400/contents/_403_60_90.13376.html (2009).
[10] 道路交通情報通信システムセンター：VICS とは，http://www.vics.or.jp/center/index.html (2013).
[11] Pioneer: サイバーナビパフォーマンス ナビ能力 ルート検索，http://pioneer.jp/carrozzeria/cybernavi/09cybernavi/function/navigation/root.html (2015).
[12] Panasonic: CN-R300WD/R300D 探索・検索の詳細，http://panasonic.jp/car/navi/products/R300/navi/navi03.html (2015).
[13] Krajzewicz, D., Erdmann, J., Behrisch, M. and Bieker, L.: Recent Development and Applications of SUMO - Simulation of Urban MObility, *International Journal On Advances in Systems and Measurements*, Vol. 5, No. 3&4, pp. 128–138 (2012).
[14] SPACE-TIME ENGINEERING: Scenargie とは，https://www.spacetime-eng.com/jp/index.html (2015).

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan