

集合知としての走行軌跡による 道路の車線数推定手法の評価

菅原弘光[†] 佐藤永欣[†]
高山毅[†] 村田嘉利[†]

現在普及しているカーナビゲーションシステムの地図は、新道路開通後に、測量、地図データ作成・編集を経て、更新される。このため、地図データの更新に時間が掛かる。また、オンラインでの地図更新サービスも始まっているが、人手による測量と地図更新が必要であり、このため、高速道路のみが比較的短期間で更新されている。そこで、GPSによって得られる多数の車両の走行軌跡を集合知として用い、新道路開通を検出し、新道路の位置、形状などを走行軌跡に基づき推定する事により、地図を自動更新しオンラインで配布することで、新道路開通にも即時に対応できるシステムを提案した。本論文では、道路の車線数を推定する手法を提案し、評価を述べる。

Evaluation of Road Width Estimation on Rapid Road Map Survey System Using GPS Trajectories as Collective Intelligence

HIROMITSU SUGAWARA[†] NOBUYOSHI SATO[†]
TSUYOSHI TAKAYAMA[†]
YOSHITOSHI MURATA[†]

Electric maps in current car navigation systems are updated through some processes such as surveying new road, creating data for new road and editing after the new road is opened to traffic. These processes require long time. Also, on-line updating services of electric maps for car navigation systems is currently available. However, even in on-line updating services, new road must be surveyed manually. So only highways are currently updated frequently. Therefore, we propose a new car navigation system that updates its maps by using estimated shapes and positions of new road based on GPS trajectories as collective intelligence which gathered from many vehicles. In this paper, we propose a

method to estimate the number of lanes, and we show its evaluations.

1. はじめに

現在普及しているカーナビゲーションシステムの地図は、新道路開通後に測量、地図データ作成・編集を経てユーザに配布され、更新されている。オンラインでの地図更新サービスも始まっているが、人手による地図測量が必要な点は変わらず、高速道路のみが比較的短時間で更新されている。このように、地図全体の迅速な更新という面では問題がある。

そこで、GPSによって得られる多数の車両の走行軌跡を集合知として用い、新道路開通を検出し新道路の位置や形状などを走行軌跡に基づき推定することにより地図を自動更新しオンラインで配布することで、新道路開通にも即時対応できるシステムを提案した¹⁾。また、一般的に用いられているGPSレシーバの測位精度を調査し、測位データ数を増加させることでいずれ安定した緯度経度を得ることが可能であり、道路の位置推定を行うことが可能である誤差範囲であることを示した²⁾。また、多数の軌跡から新道路の位置を推定するアルゴリズムの提案、評価を行い、多少の誤差を含んでいるGPSによる測位データでもデータ数を増加させることで実用的な精度で道路の位置を推定できることを示した³⁾⁴⁾。

以前、新道路の車線数を推定するために、道路の分布幅から車線数を推定する手法を提案し、多数の車両を用い実際の道路で軌跡データを測定した⁵⁾。本論文では、車線数を推定する手法を改良し、新道路の形状や位置に関わらず推定する手法を考案したので、車線数推定手法の概要と評価について述べる。

2. 関連研究

2.1 GPSの概要

本システムでは、GPS衛星から受信した信号からカーナビが計算し、測位したデータ中の緯度経度、時間の集合である軌跡を集合知として用いている。GPS (Global Positioning System) は上空にある衛星からの信号(時刻データ、衛星軌道情報)をGPSレシーバで受け取り、衛星の位置を基にして現在位置を知るシステムである。現在のカーナビは地図付のGPSレシーバであり、内蔵されているGPSモジュールによって現在位置の情報を計算し、現在位置を地図上に表示している。しかし、GPSによって得られる現在位置の情報には、レシーバの性能差や測位に用いる衛星の配置、天気、気温、マルチパスなどの影響により多少の誤差が含まれている。その情報だけを用いて現在位置をカーナビに表示すると走行中の道路とは全く関係の無い場所を現在位置として表示してしまうことがある。この問題を解決するために、マップマッチングを行う。

[†] 岩手県立大学大学院ソフトウェア情報学研究科
Graduate School of Software and Information Science, Iwate Prefectural University

マップマッチングは、GPS によって得られた（誤差を含んでいる可能性がある）現在位置の情報を、カーナビ内に含まれる地図情報を用いて道路上になるように補正する処理のことである。これによって、現在位置をかなり正確に知ることができる。しかし、マップマッチングの処理には次のような問題点がある。

- 道路構造が複雑化したため、マップマッチングによって違う位置を現在位置として補正してしまう。例として、隣接・並行している一般道路と高速道路を混同する場合などがある。
- カーナビ内の地図データに反映されていない新たに開通した道路を走行すると、マップマッチングの影響で明らかに異常な位置に補正したり、カーナビの挙動が不安定になる場合がある。

また、カーナビはルート案内、マップマッチングなどその機能の多くを地図に依存している。このため、カーナビの地図は、新道路の開通後すぐに（可能であれば開通と同時に）更新されるのが望ましい。

2.2 集合知を用いたカーナビの情報サービス

走行軌跡を集合知として用いた情報提供サービスは、インターナビ・フローティングカーシステムや、自動車通行実績情報マップなどが挙げられる

(1) インターナビ・フローティングカーシステム

インターナビ・フローティングカーシステムは、HONDA が提供しているカーナビのユーザを対象にした、走行している車両をセンサーとして情報収集し他の対応車に情報を還元するシステムである。カーナビユーザは自身の車両が走行した道、道を通過するのに要した時間を HDD 内のメモリーに保存しておく。そして、カーナビが携帯電話や専用の通信モジュールを用いた通信で情報を取得した際にインターナビのサーバに情報をアップロードする。アップロードした情報は、渋滞予測や車線別情報などを提供するために利用される。

(2) 自動車通行実績情報マップ

自動車通行実績情報マップ⁶⁾は、2011年3月11日に発生した東日本大震災で被害を受けた地域を中心として、自動車の走行実績があった道路を地図用にプロットし提示するサービスであり、震災から3日後の3月14日から提供を開始している。このサービスはカーナビメーカー各社（HONDA、パイオニア等）のカーナビを搭載した車両の走行実績データや、国土地理院が公開した東北地溝道路規制情報を収集し、Google Map 上にプロットして公開している。

この公開サービスは、本研究と同じ多数の軌跡（走行実績）を扱っている。しかし、本サービスは走行実績を既に存在する道路上にマッチングしてプロットするだけである。それに対し、本研究は走行実績の軌跡データを利用して未開通の道路の位置や構造自体を追加する研究である。

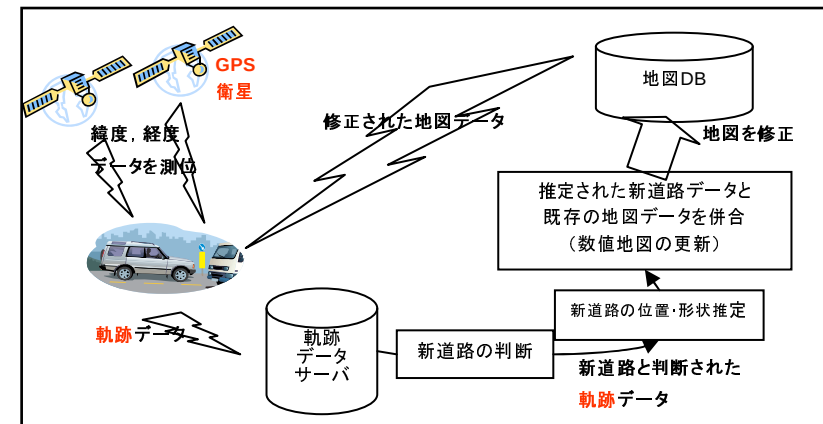


図1 システムの概略図

2.3 新道路の測量と地図データの配布

新道路が完成してから地図に反映されるには時間がかかる。新道路が開通すると、地図会社が位置や形状などを測量する。その後、地図データの編集を経てカーナビ用地図が完成するため、どんなにはやくても1週間ほどかかってしまう。近年は、道路を作る行政と地図作成メーカーが連動したアプローチにより、できるだけ早く完成した道路を地図に反映させようとしている。文献⁷⁾によると、沖縄県では県外からの旅行者が運転する車両が道に迷うケースが多く発生していた。内閣府の沖縄総合事務局は、このため地図データ作成事業者を支援することを目的として、道路図面情報を無料ダウンロードできる仕組みを提供している。沖縄県や市などの各道路管理者は、サイト上に各種図面データを掲載している。これにより、地図データ作成事業者が行っていた工事図面の入手が可能となった。このような取り組みは全国でも行われている。しかし、道路開通に即時対応はできておらず、短期間での対応も高速道路のような幹線道路、主要道のみである。

2.4 カーナビに含まれる地図データの構成

カーナビゲーションシステムに組み込まれる地図データは、道路の位置、形状、交差点の名称といった一般的な地図と同様の内容である静的な属性と、臨時の速度規制や渋滞情報のような動的な属性に分けられる。静的な情報のうち、住所や、等高線、道路の位置は国土地理院が発行する電子国土基本図により作成され、建物の名称や信号の有無、交差点の名称や形状は電子国土基本図を基に、地図業者が測量を行うことにより作成、詳細化する。さらに、カーナビメーカーがフォーマットを変換するとともに各道路が車両が通行可能な道路かを現地調査し確認し、検索用の情報を埋め込む

ことでカーナビゲーション用の地図が完成する。それに対し、渋滞情報、といった動的な情報は VICS などによりカーナビが随時取得している。また、2.2 節で示したインターナビ・フローティングカーシステムにより収集し、配信された情報もカーナビがネットワークを介して随時取得している。

本研究では、地図情報の中でも道路の位置や車線数、交差点の有無といった静的な道路情報を走行軌跡から推定する手法の提案を行っている。但し、道路の閉鎖などによる「地図上から道路データ削除」のケースは、GPS を用いる本研究では困難と考えられる為、現時点では考えていない。本論文では静的な道路情報のうち、軌跡の分布幅から道路の車線数を推定する手法を提案する。

3. 提案システム

3.1 システム概要

提案するシステムの概略図を図 1 に示す。以下、本システムの流れについて述べる。

(1) 緯度経度データを測位

カーナビは GPS によって現在位置の緯度経度、時刻などの情報を受け取り、それを 1 本の軌跡データとして蓄積する。

(2) 軌跡データサーバに軌跡データをアップロード

カーナビから軌跡データをサーバに送信する。このとき、カーナビの地図でマップマッチングできなかったデータを中心に送る。

(3) 新道路開通の判断

多数のカーナビから受信した軌跡データをサーバで分析する。例えば、地図上に道路がない場所にある日以降多数の走行軌跡が出現したとする。その多数の走行軌跡が、既存の道路から離れていてマップマッチングでも補正できない場合、新道路が開通したと判断する。

(4) 新道路の位置・形状推定

新道路が開通したと判断した場合、多数の軌跡データを基にして新道路の位置、形状等の推定を行う。

(5) 推定された新道路データと既存の地図データを併合（数値地図の更新）

位置推定結果を基にして数値地図を改変し、推定された新道路のデータと既存の地図データの併合を行い、地図データベースへ格納する。

(6) 修正された地図データの配信

併合された地図データをネットワークで配信し、ユーザへ最新の地図を提供する。

3.2 新道路車線数推定手法

前節の(4)の新道路の位置・形状推定における新多数の軌跡を用いた道路の車線数を推定する手法を提案する。なお、本論文で述べる推定手法は、以前に発表した車線数

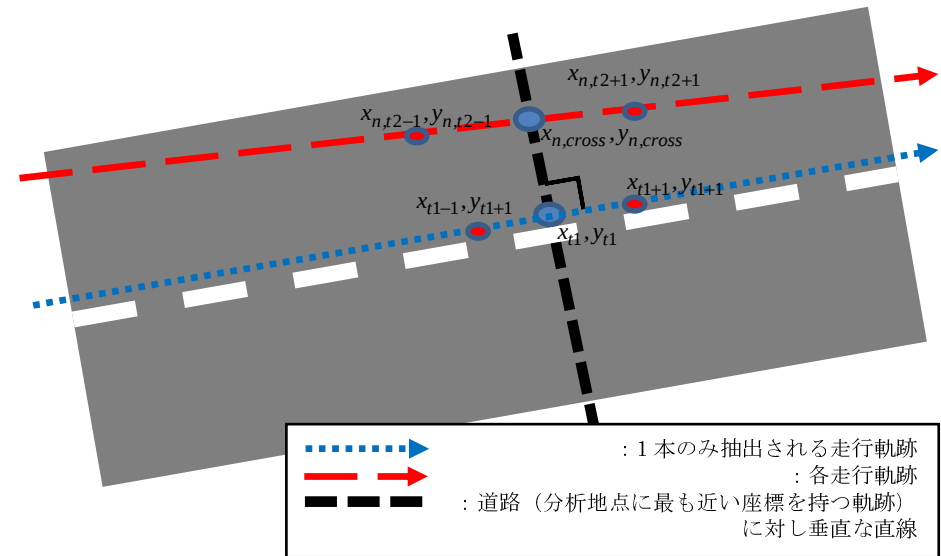


図 1. 車線数推定手法の概略図

を推定する手法を改良し、新道路の形状や位置に関わらず車線数を推定する手法である。本手法は、新道路に対して垂直な方向に対する測位点のばらつきの程度によって推定する。図 2 に示すように、新たに開通した道路の車線数を推定するため道路に対し垂直となる直線と各走行軌跡との交点座標のばらつきを見て車線数を推定していく。

本手法ではマップマッチングに失敗した大量の軌跡を入力データと仮定し、出力データは分析によって算出する道路に対し垂直方向の分布幅と推定される車線数を想定している。入力データは表 1 の様な形式である。緯度経度は「度、分、秒」から「秒」に変換する。入力データは軌跡の進行方向から別々なファイルに分類、格納される。

なお、本論文で述べる「軌跡」とは、GPS によって測位した時の緯度・経度の点、及びそれを測位した時刻（タイムスタンプ）の集合のことを指す

表 1 入力データの形式

車両 ID	緯度(秒)	経度(秒)	タイムスタンプ
1110	143295.312	508086.474	600310
1110	143295.325	508086.456	600311
⋮	⋮	⋮	⋮

以下に新道路の車線数推定手法について述べる．

- (1) 取得した軌跡の道路の垂直な方向についての座標値で最頻値算出

- A) 道路幅を算出する道路の座標を入力
 B) 道路幅を算出したい地点付近を通過する軌跡から 1 つを抽出．道路幅を算出したい地点に最も近い座標を持つタイムスタンプを $t1$ とし、 (x_{t1}, y_{t1}) を道路幅を算出する際の基準座標とする
 C) $t1$ の前後座標を基に接線を引く形で 1 次方程式を算出する．

$$a = \frac{y_{t1+1} - y_{t1-1}}{x_{t1+1} - x_{t1-1}}$$

$$b = y_{t1} - ax_{t1}$$

$$y_{t1} = ax_{t1} + b$$

- D) C)の接線に対して垂直な 1 次方程式を算出する

$$d = y_{t1} + \frac{1}{a}x_{t1}$$

$$y_{t1} = -\frac{1}{a}x_{t1} + d$$

- E) B)で抽出した軌跡以外の全軌跡について，道路幅を算出したい座標を基に接線を引く形で 1 次方程式を算出する．各軌跡において，何本目の軌跡かを n ，基準座標 (x_{t1}, y_{t1}) に最も近い座標を持つタイムスタンプを $t2$ とする．

$$e_n = \frac{y_{n,t2+1} - y_{n,t2-1}}{x_{n,t2+1} - x_{n,t2-1}}$$

$$f_n = y_{n,t2} - e_n x_{n,t2}$$

$$y_{n,t2} = e_n x_{n,t2} + f_n$$

- F) D), E)の 1 次方程式について交点座標 $(x_{n, \text{cross}}, y_{n, \text{cross}})$ を算出する．

$$\begin{cases} y_{t1} = -\frac{1}{a}x_{t1} + d \\ y_{n,t2} = e_n x_{n,t2} + f_n \end{cases}$$

但し， $x_{t1} = x_{t2}, y_{t1} = y_{t2}$

- G) 各軌跡の交点座標 $(x_{n, \text{cross}}, y_{n, \text{cross}})$ と基準座標 (x_{t1}, y_{t1}) の距離を算出する．

$$dist_n = \sqrt{(x_{\text{cross}} - x_{t1})^2 + (y_{\text{cross}} - y_{t1})^2}$$

- H) $dist_n$ を基にヒストグラムを作成，最頻値となる距離 $(dist_{node})$ ，標準偏差 $(dist_{stdev})$ を算出

- (2) 新道路を通行した軌跡データの内「最頻値±標準偏差 $(dist_{mode} \pm dist_{stdev})$ 」範囲外を通過する軌跡を，GPS の測位誤差が生じた軌跡として除外
 (3) 残った軌跡の両端の座標の距離 $width$ を算出
 (4) $width$ 値の大きさにより車線数を推定する．現在，分布幅の値と車線数の対応関係は，事前に本手法を実道路を走行した軌跡データを基に分析し，検討したことにより，表 2 のように指定している．この閾値の設定により推定車線数が決定するため，今後厳密な理由付けのある閾値の設定と 3 車線以上の道路に対する対応が必要であると考えられる．

表 2. 分布幅の値と推定する車線数の関係

分布幅の値	推定車線数
$width < 3.5\text{m}$	1
$width \geq 3.5\text{m}$	2

4. 道路車線数推定手法の評価

4.1 評価環境

提案・実装した道路の車線数推定手法の評価・検証を行うためにデータ取得を行った．軌跡データは，2010 年 11 月 15, 16~19 日に，岩手県立大学近くにある岩手県盛岡市松園地域の周回道路を走行し取得した．この道路を選択した理由は片側の進行方向に対して 1 車線道路なる区間と 2 車線道路となる区間が存在し，提案・実装した車線推定手法の検証が容易であるためである事と，交通量がそれほど多くなく混雑していない為，データを取得する際の手間が軽減されるためである．この周回道路を反時計回りに，各車両が 5 周する実験を 4 日間行った．軌跡データを取得する際は，表 3 に示すように GPS レシーバを助手席若しくは運転席側のダッシュボードに設置するとともに，周回道路中の 2 車線道路部分での走行車線を指定した．4 日間で計 13 台の車両で軌跡データ取得実験を行い，計 65 本の軌跡データを取得した．軌跡データは，多数のセンテンスが存在する NMEA データのうち緯度経度が含まれるセンテンス (GPGGA)のみを抽出し，さらに緯度経度，タイムスタンプを抜き出して本提案手法の入力データとした．



図 3. 軌跡データ取得を行った松園周辺道路、分布幅推定検証を行った地点

表 3. 実験準備（取得した軌跡）

データ取得日	走行車両数	GPS レシーバ設置位置	2 車線道路での走行車線
11 月 15 日	3	助手席側	左
11 月 17 日	4	助手席側	右
11 月 18 日	3	運転席側	左
11 月 19 日	3	運転席側	右

4.2 評価結果

道路の走行軌跡を用いた道路車線数推定手法の検証を行った。4.1 節で示した方法により取得した多数の軌跡データを用いて 3.2 節で示した道路の車線数推定を 4 か所で行い、車線数推定が可能かの検証を行った。検証を行う場所は、実際の道路の車線数による分布幅の違いや、直線と曲線による分布幅の違いを検証するために 4 か所とした。図 3、表 4 は検証を行う地点を示しており、分析地点 1、2 は一方に対する車線数が 2 車線、分析地点 3、4 は車線数が 1 車線である。また分析地点 1、3 は分析地点の道路形状が直線、2、4 は道路の形状が曲線である。以上 4 点を分析地点として指定し、4.1 節の実験により取得した軌跡 65 本を用いて車線数推定手法の評価を行った。

図 4~7 は各分析地点を通る軌跡に対し垂直の方向のヒストグラムを示したグラフと分布幅、推定車線数である。網掛けされている範囲は、最頻値±標準偏差の範囲を示している。実際の道路の車線数による分布幅の値の違いを見てみると、2 車

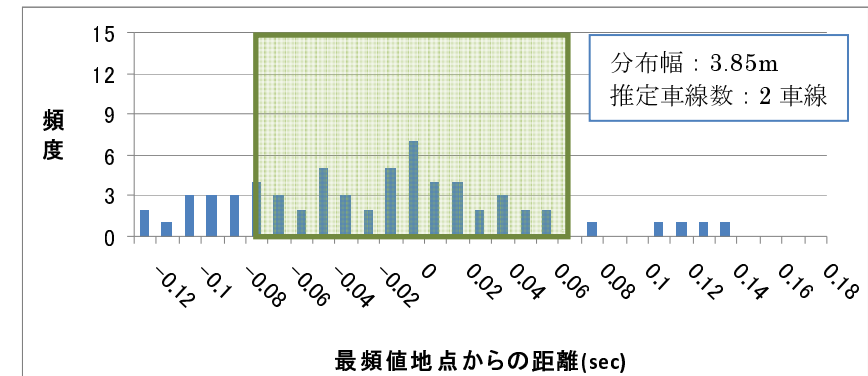


図 4. 分析地点①における軌跡のヒストグラム

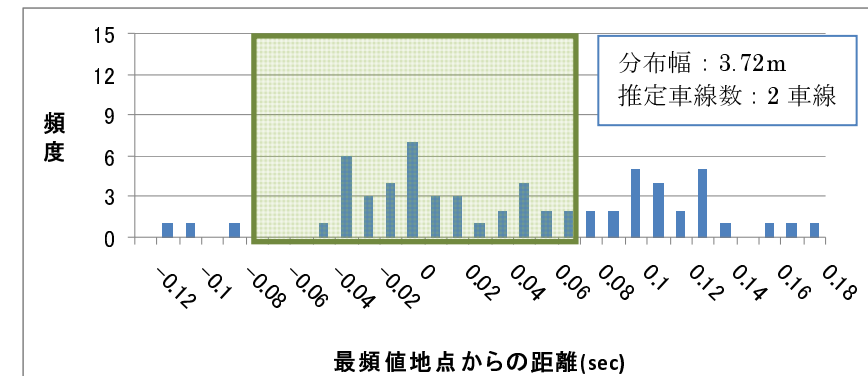


図 5. 分析地点②における軌跡のヒストグラム

線道路である①、②地点の分布幅の値は 3.72~3.85m である。それに対し、1 車線道路である③、④地点の分布幅の値は 2.04~2.08m である。この値を比較すると、1 車線道路と 2 車線道路の分布幅の値が約 2 倍になっている。このように実際の道路の車線数が 1 車線の時の分布幅と 2 車線の時の分布幅の値には大きな差が見られ、車線数による分布幅の違いは明確に出現していると言える。また、道路の形状の違いによる、分布幅の値の違いはほとんど見られない。

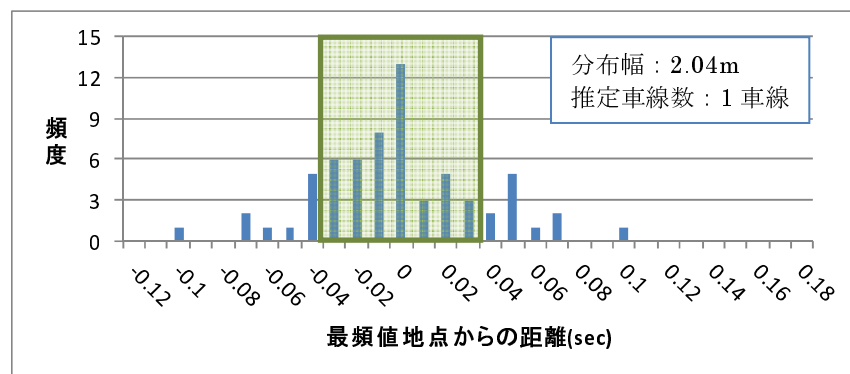


図 6. 分析地点③における軌跡のヒストグラム

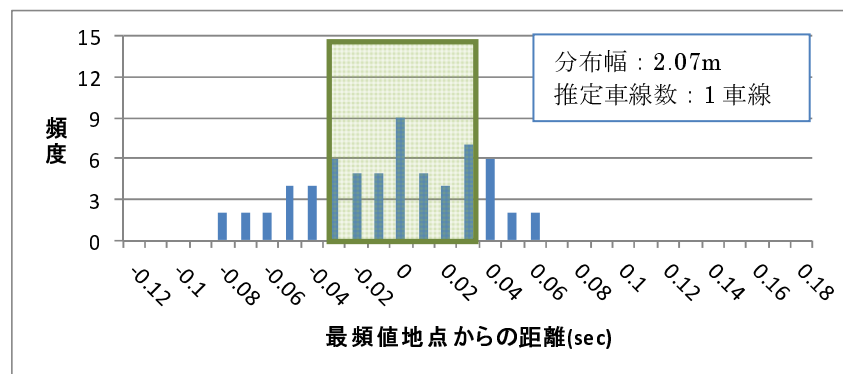


図 7. 分析地点④における軌跡のヒストグラム

表 4. 分析地点の概要と道路幅の実測値

分析地点	車線数	形状	実測の道路幅
1	2	直線	6. 1m
2	2	曲線	6. 2m
3	1	直線	3m
4	1	曲線	3m

それに加え、道路の構造の技術的な基準を定めた政令である道路構造令によると、車線の標準的な幅は2.5～4mで設計される場合が多い⁸⁾⁹⁾。つまり、算出した車線数は、計測した車線数と一致しており、提案した本手法は有効であるといえる。

5. 結論と今後の課題

本論文では集合知としての走行軌跡により地図を更新するカーナビゲーションを提案した。また走行軌跡から新道路の車線数を推定する手法を提案し、検証を行った。松園周辺道路で行った評価の結果、提案手法を用いることにより、車線数によって分布幅の値に明確な差が見られ、道路の車線数を推定できることを示した。しかし、分布幅の値と車線数との対応関係を決定する閾値を今後さらに検討していくために、多数の道路で提案手法を行い分布幅の値を算出する必要があると考えられる。

今後の研究課題としては、分布幅の値から車線数を推定する際の閾値の3車線以上の道路に対する対応が挙げられる。また、地図情報における道路の静的属性を推定する車両の走行軌跡を用いた交差点の位置、信号の有無などの情報を推定する手法の考案が挙げられる。

参考文献

- 1) 菅原弘光, 佐藤永欣, 高山毅, 村田嘉利, “集合知としての走行軌跡により地図を更新するカーナビゲーション”, 情報処理学会第72回全国大会, 第3分冊, pp.221-222 (2010)。
- 2) 菅原弘光, 佐藤永欣, 高山毅, 村田嘉利, “集合知としての走行軌跡により地図を更新するカーナビゲーションにおける道路位置推定手法”, 情報処理学会 DICO2010, pp.446-454 (2010)。
- 3) 菅原弘光, 佐藤永欣, 高山毅, 村田嘉利, “集合知としての走行軌跡による道路位置推定手法の直線道路曲線道路における評価”, 第18回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp.143-148(2010)。
- 4) Hiromitsu Sugawara, Nobuyoshi Sato, Tsuyoshi Takayama, Yoshitoshi Murata, “A Road Location Estimating Method by Many Trajectories to Realize Map Survey for a Car Navigation System”, 2010 International Workshop on Symbiotic Computing and Multiagent Systems (SCMAS2010), in conjunction with 2010 International conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications(BWCCA2010), pp.806-811.(2010)
- 5) Hiromitsu Sugawara, Nobuyoshi Sato, Tsuyoshi Takayama, Yoshitoshi Murata, “Early Evaluation of Road Width Estimation on Rapid Road Map Survey System Using GPS Trajectories as Collective Intelligence”, The 3rd International Workshop on Information Technology for Innovative Services (ITIS2011), in conjunction with The 14th International Conference on Network-Based Information Systems,(NBIS2011).(to be appeared)
- 6) Google, 東日本大震災 - 自動車通行実績情報マップ, http://www.google.co.jp/intl/ja/crisisresponse/japanquake2011_traffic.html
- 7) E2A-車の電子化, 電動化に関する最新技術と業界動向, <http://e2a.jp/index.shtml>
- 8) 道路構造令, <http://www.mlit.go.jp/road/sign/kijyun/kozou/ss-kozou.html>
- 9) 社団法人日本道路協会, “道路構造令の解説と運用”, 丸善株式会社出版事業部, 1970, ISBN 978-4-88950-122-3