

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

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時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、評価を述べる。

An Evaluation of a Road Estimation Method Using Trajectories as Collective Intelligence on Straight and Curved Roads

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, in this paper, 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.

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⁾。本論文では、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考案及び実装を行ったのでアルゴリズム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。

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

[†] 岩手県立大学大学院ソフトウェア情報学部ソフトウェア情報学研究室
Graduate School of Software and Information Science, Iwate Prefectural University
^{††} 岩手県立大学ソフトウェア情報学部ソフトウェア情報学科
Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University

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 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⁸⁾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。

本研究では走行軌跡を集合知とした地図更新の手法を提案する。本研究では走行軌跡から新道路の位置を推定するアルゴリズムを提案、実装をしている。

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

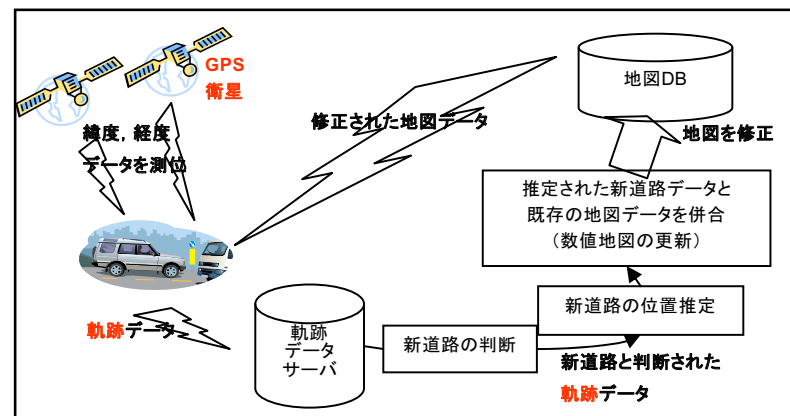


図1 システムの概略図

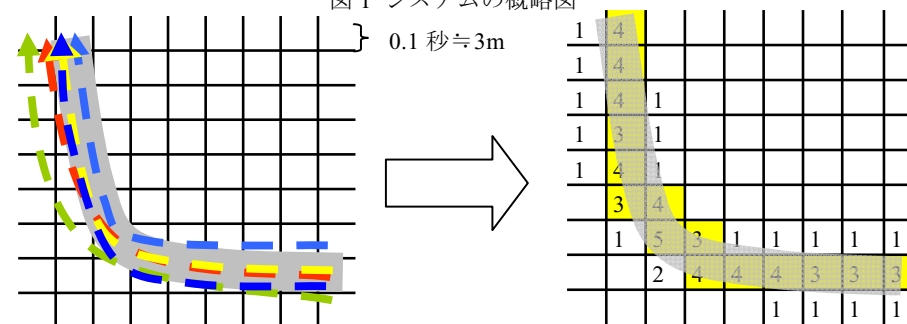


図2 グリッドを用いた位置推定手法

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 新道路位置推定アルゴリズム

提案したシステムで重要な 3.1 節の (4) 新道路の位置推定に当たる多数の走行軌跡の座標データから新道路の位置を推定するアルゴリズムの考案と実装を行った。本アルゴリズムは大まかに分けて以下の 3 段階に分割される。

- 軌跡を進行方向により選別。
- 0.1 秒四方のグリッドを用いて、新道路の片側車線を推定。
- 両方向の新道路片側車線 2 本を統合し新道路の中心線の座標を推定

図 2 はアルゴリズムの概観である。

本アルゴリズム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、出力データは推定される新道路の座標を想定している。入力データは表 1 のような形式である。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 2 つの別々なファイルに分類、格納される。

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
⋮	⋮	⋮	⋮

次に、新道路位置推定アルゴリズムについて述べる。

(1) 軌跡を互いの進行方向によって分類する

本アルゴリズムは、多数の軌跡を、道路のうちどの方向の車線を走行した軌跡かにより分類することが必要である。車両の進行方向は各走行軌跡の隣接する 2 つの座標の前後関係から緯度経度の変化量を求め特定できる。

(2) グリッドを覆う

0.1 秒四方のグリッドは、開通する新道路の範囲で覆われる。グリッドの方向は緯線と経線に合わせる。

(3) 多数の走行軌跡の座標をプロット

全ての軌跡の座標は 0.1 秒四方のグリッドにプロットされる。カウント値が最大のグリッドは新道路の車線に推定される。

- ① 各軌跡は配列構造の tra_{data} に読み込まれる。 tra_{data} は緯度経度、タイムスタンプ、②で算出される方向を含む構造になっている。

- ② 各軌跡の 2 つの座標の間により方向を算出

各グリッドを通過した軌跡数をカウントし、進行方向を求めるため 2 つの座標で方向を算出する。

そこで、対応する 2 つの軌跡の座標の緯度経度の変化を以下の式により算出し、 dif_{lat} と dif_{lon} に格納する。

$$dif_{lat} = tra_{data}[x][y+1].latitude - tra_{data}[x][y].latitude$$

$$dif_{lon} = tra_{data}[x][y+1].longitude - tra_{data}[x][y].longitude$$

ここで x は軌跡 ID を、y は軌跡 x の何番目の座標かを示す。

そこで、以下の条件により移動方向を探索する。方向は 8 方向に分類され、「移動方向なし」は 2 つの座標がほぼ同じ場所にあることを意味する。

$$dif_{lat} \geq 0.1 \& \& 0.1 > dif_{lon} > -0.1 : 「n \text{ 北}」$$

$$dif_{lat} \geq 0.1 \& \& dif_{lon} \geq 0.1 : 「ne \text{ 北東}」$$

$$0.1 > dif_{lat} > -0.1 \& \& dif_{lon} \geq 0.1 : 「e \text{ 東}」$$

$$dif_{lat} \leq -0.1 \& \& dif_{lon} \geq 0.1 : 「se \text{ 南東}」$$

$$dif_{lat} \leq -0.1 \& \& 0.1 > dif_{lon} > -0.1 : 「s \text{ 南}」$$

$$dif_{lat} \leq -0.1 \& \& dif_{lon} \leq -0.1 : 「sw \text{ 南西}」$$

$$0.1 > dif_{lat} > -0.1 \& \& dif_{lon} \leq -0.1 : 「w \text{ 西}」$$

$$dif_{lat} \geq 0.1 \& \& dif_{lon} \leq -0.1 : 「nw \text{ 北西}」$$

$$0.1 > dif_{lat} > -0.1 \& \& 0.1 > dif_{lon} > -0.1 : 「移動方角無し」$$

各軌跡の始点は「START」終点には「END」と印(マーク)を付けておく。算出した方向とマークは tra_{data} 構造の $direction$ 内に格納される。これは全ての軌跡内の全ての座標の方向が算出されるまで繰り返される。そして、算出された方向は配列 $Grid[x][y]$ に格納される。それぞれが軌跡の通過カウントと方向を保持する。

- (4) グリッド $Grid[x][y]$ を通過した全ての軌跡数をカウントする。(3).②で算出された 2 座標間の方向も $Grid[x][y]$ に格納される。
- (5) 新道路の片側方向の車線を推定する。

はじめに、新道路の両端が推定される。 $Grid[x][y]$ で「STRAT」がマークされているグリッドを探索する。その結果、「START」がもっともカウントされているグリッドを片方のエッジとして推定する。道のもう片方のエッジも「END」マークによって推定される。

- (6) 続いて、2 つのエッジ間の道路の位置が推定される。はじめに、以下の処理のために現時点での位置はグリッド内の道路のスタートエッジに設定される

- ① 探索中のグリッドで最も多く出現している方向を見つける。

例えば探索中のグリッドが "N,N,N,NE,NE,NW", の方角を保持しているとき、N の進行方向は 3, NE は 2, NW は 1 となる。その結果、探索中のグリッドで最も多く出現している方向は N となる。

- ② 最も多く出現している方向とその両隣の方向の隣接グリッドで最も多く軌跡が通過している隣接グリッドを探索する。

上の例では、探索する方角は N で、グリッドの NW,N,NE が探索される。そこで、探索領域内の最多通過カウントを保持するグリッドは新道路の車線に推定し、さらに新たな基準位置となる。

- ③ 探索中のグリッドがもう一方のエッジに到達するまで①～②を繰り返す。結果として、車線の位置が推定される。
- (7) (3)～(6)を繰り返して一方の車線を推定し、 tra_{data} と $Grid[x][y]$ を初期化する。結果として、相対する方向の 2 車線の位置が推定される。
- (8) それぞれの相対する車線を統合し、新道路の中心線とする。

推定した相対する道路 (3) ～ (6) と (7) の緯度経度をそれぞれ $estimate_{ans}[0][0] \dots estimate_{ans}[0][N]$ と $estimate_{ans}[1][0] \dots estimate_{ans}[1][N]$ とする。ここで、以下の式により新たに開通した道路の中心線は推定される。

$$\begin{aligned} \text{新道路の座標_緯度} &= (estimate_{ans}[0][0.1.2 \dots N].latitude \\ &\quad + estimate_{ans}[1][N, N-1, N-2 \dots 0].latitude) / 2 \\ \text{新道路の座標_経度} &= (estimate_{ans}[0][0.1.2 \dots N].longitude \\ &\quad + estimate_{ans}[1][N, N-1, N-2 \dots 0].longitude) / 2 \end{aligned}$$

- (9) 最後に緯度[n]と経度[n]を出力する

4. 道路位置推定アルゴリズムの評価

4.1 評価用データ取得

実装した道路位置推定アルゴリズムの評価を行うため、テストデータとしてハンディ GPS を用いて直線道路及び周回道路の軌跡データを取得した。直線道路の軌跡を取得する際は、自動車の助手席側ダッシュボードにハンディ GPS を搭載し、岩手県立大学構内の直線道路を 20 往復し、計 40 本の軌跡データを取得した。周回道路の軌跡については、自動車の助手席側ダッシュボードにハンディ GPS を搭載し、岩手県立大学の周りを周回する道路を時計回りに 20 回、反時計回りに 20 回通行し、計 40 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アルゴリズムの入力データとした。直線道路を通行し取得した軌跡を用いた位置推定アルゴリズムの評価は 4.2 節に、周回道路を通行し取得した軌跡を用いた位置推定アルゴリズムの評価は 4.3 節に述べる。

4.2 直線道路の軌跡を用いた位置推定アルゴリズムの評価

直線道路の走行軌跡から道路位置推定アルゴリズムの評価を行った。4.1 節で示した方法で取得した軌跡データを用いて道路の位置推定を行い、推定結果として得られたグリッドの緯度経度を Google maps にプロットし確認した。その結果を図 3 に示す。

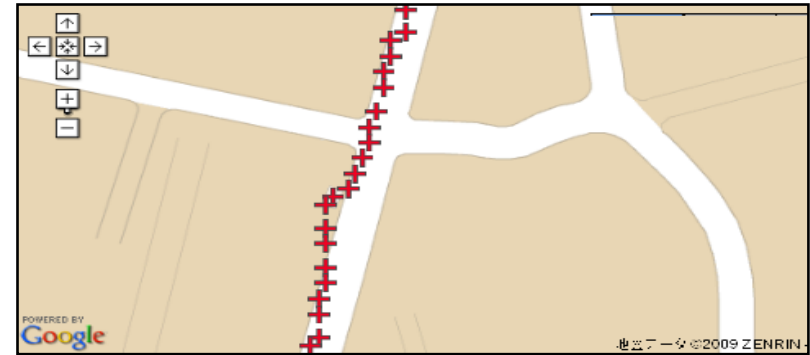


図 3 軌跡データを取得した県立大学構内の道路とアルゴリズムでの推定結果 (+印が推定位置)

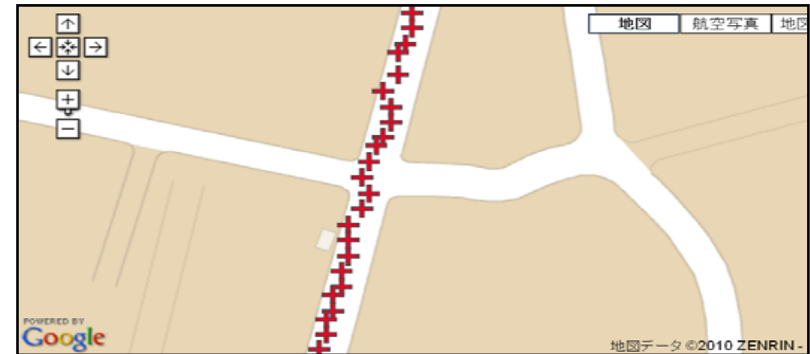


図 4 軌跡データを合わせて同一アルゴリズムでの推定結果 (+印が推定位置)

結果として、最低限の位置推定はできている。ジャギーが現れているが、これは 0.1 秒単位のグリッドを用いたためである。また一部で推定位置が大きく道路外に飛び出している。

この原因を特定するために、推定位置が道路外に飛び出している部分の NMEA 軌跡データを確認し、明らかに測位位置がずれている軌跡 4 本を特定した。測定位置がずれている軌跡をアルゴリズムのテストデータから除外し、もう一度位置推定を行った結果、正しい位置推定ができた。しかし、測位位置がずれている軌跡には衛星測位数が少ないといった他の軌跡と違う特徴が無く、ごく一般的な軌跡であった。つまり、位置がずれている軌跡が多数ある状態でも正しく位置推定できるようなアルゴリズム

でなければならないと言える。また、一度岩手県立大学構内の直線道路の軌跡データを取得し、これまでの軌跡データと合わせ、入力データとして同じアルゴリズム実行した。位置推定結果を図4に示す。全く同じ区間、同じ回数軌跡データを取得し、今までの軌跡データと合わせてアルゴリズムのテストデータとして用いたところ、ジャギーになっているが図3と比べて実際の道路から外れた位置が推定されることは無く、うまく道路の位置推定ができた。

この結果、推定結果が正しくなかったのは、アルゴリズム中の探索手法が適切でなく、軌跡データ数が少ない場合他の軌跡の位置から大幅に外れた軌跡によって本来の位置からずれたグリッドを新道路の位置として推定してしまっていたことが原因だったと考えられる。そのため、提案手法は期待通りに道路の位置を推定できるものの、入力データの異常に対してロバストではなく、この点は改善の余地がある。これは、データ数が少なく、入力データである緯度経度の誤差が大きいと推定位置がずれてしまうことがあることを意味する。すなわちこれは、アルゴリズム中のグリッドを用いた探索が、データ数が少ないときにGPSの測位データに含まれる緯度経度の誤差の影響を受け、本来の道路の位置からずれた場所を探索し続けるからである。この問題を解決するため、探索手法を工夫し、誤差の影響を受けにくい位置推定アルゴリズムを考案、実装する必要があると考える。

4.3 周回道路の軌跡を用いた位置推定アルゴリズムの評価

次に、周回する曲線道路の走行軌跡から道路位置推定アルゴリズムの評価を行った。4.1節で示した方法で取得した周回道路の軌跡データを用いて道路の位置推定を行い、推定結果として得られたグリッドの緯度経度をGoogle mapsにプロットし確認した。その結果を図5に、また推定結果の一部を拡大した図を図6に示す。地図上にラインで示されているのが位置推定結果である。

結果として、取得した軌跡の通りに位置推定ができていることが確認できる。また、直線道路の軌跡を用いて位置推定を行ったときと同様にジャギーが現れている。そこで直線道路の位置推定時と同様に同じ区間、同じ回数曲線道路の軌跡データを取得し、これまでの軌跡データと合わせ、入力データとして同じアルゴリズムを実行した。その位置推定結果を図7に、一部を拡大した図を図8に示す。結果を見ると、図5と比べ推定結果が滑らかになっている。このため、提案手法で周回道路の位置推定を行う場合、データ数が少ない場合ジャギーが多く発生するが、データ数が増加するにつれてジャギーが少なくなり、位置推定結果が滑らかになると考えられる。

しかし、軌跡データを増やして位置推定を行っても、図9のように道路上に位置が推定できない地点や、図10のようにジャギーが多く発生している地点が発見された。このため、本アルゴリズムには改善の余地があるだけでなく、位置推定結果がジャギーとなっている部分について、スムージングを行う処理について考案する必要があると考える。



図5 周回軌跡データを用いた位置推定アルゴリズムでの推定結果



図6 周回軌跡データを用いた位置推定アルゴリズムの推定結果一部拡大

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位置を推定するアルゴリズムの考案を行い、精度がさほど高くない、すなわち数 m 程度の誤差を含んでいる GPS による測位データ



図7 軌跡データを合わせた位置推定結果



図8 軌跡データを合わせた位置推定結果一部拡大

でも、データ数を増やす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。推定結果の一部で実道路から大きく外れた部分があったが、これはアルゴリズム中の探索手法が本来の位置から大きく外れて測位されたデータに対して、ロバストでないことが原因だった。そのため新たな探索手法を考案する必要がある。

今後の課題として、新道路位置推定アルゴリズムを改良し、大きく外れて測位されたデータの入力に対するロバスト性を向上させる必要がある。また、多数の走行軌跡

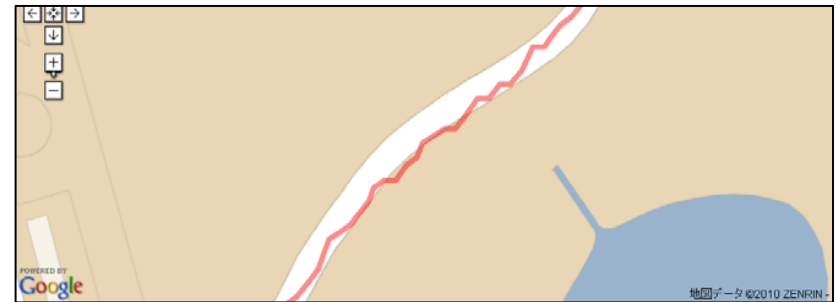


図9 軌跡データを合わせた位置推定結果での誤推定部分

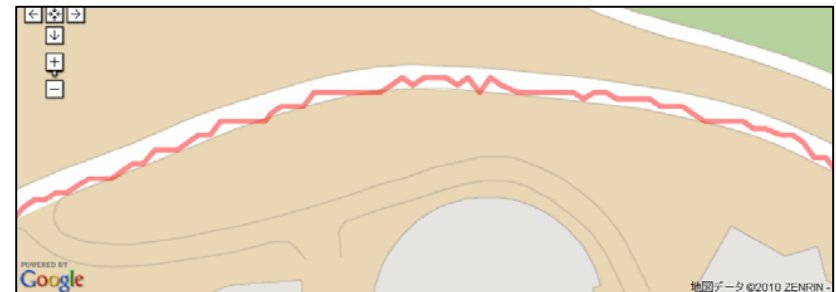


図10 軌跡データを合わせた位置推定結果でのジャギー発生部分

を基に、新道路の位置だけでなく、軌跡の進行方向に対して垂直の軌跡のばらつき程度から道路の幅員を推定、軌跡から道路の進行速度を推定し道路種別の判断、交差点で停止する軌跡を判別し信号の位置を推定する手法を考案する必要がある。さらに、更新された地図データの効率的な配信方法なども必要である。

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 DICOMO2010, pp.446-454 (2010) .
- 3) 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>
- 4) 道路構造令, <http://www.mlit.go.jp/road/sign/kijyun/kozou/ss-kozou.html>
- 5) 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