

# GPS軌跡を用いた集合知による道路地図作成システム における信号機位置推定法

佐藤 永欣<sup>1,a)</sup> 高山 毅<sup>1,b)</sup> 村田 嘉利<sup>1,c)</sup>

**概要：**現在普及しているカーナビの地図は、人手による測量を経て更新されているため、もっとも高頻度な場合で1ヶ月に1回程度しか更新されていない。多くの場合で年に一度だけ更新されるなど、更新頻度の面では問題がある。そこで我々は、カーナビが搭載しているGPS受信機による比較的精度が低い軌跡データを多数集めて集合知として扱うことで、新規に開通した道路の位置や形状を推定するシステムを開発している。本論文では、このシステムのために重要なPOIである信号機の実在を検出する方法を提案し、評価を述べる。

**キーワード：**集合知, GPS, 軌跡, 信号機位置, 推定

## An Traffic Signal Estimation on a Road Map Survey System using GPS Trajectories as Collective Intelligence

NOBUYOSHI SATO<sup>1,a)</sup> TSUYOSHI TAKAYAMA<sup>1,b)</sup> YOSHITOSHI MURATA<sup>1,c)</sup>

**Abstract:** Maps on widely used car navigation systems are manually updated after surveying by men. Therefore, update is performed only a time in a month in most frequent case, and only a time in a year in most cases. So this is a problem when a road is newly opened to public traffic. We are developing a system that updates a map automatically after a new road is opened using many trajectories that is measured by generic GPS receivers with low accuracy equipped on car navigation systems. In this paper, we propose a method to estimate positions and existence of traffic signal that is important POI in the map, and we will evaluate our proposing method.

### 1. はじめに

現在普及しているカーナビの地図は、新道路開通後に測量、地図会社による地図データ作成、カーナビメーカーによるカーナビの機種ごとの対応などの作業を経てユーザーに配布され、更新されている。地図会社による測量と地図更新のサイクルは1、2ヶ月である。この際、地図会社は自治体などから新規に開通した道路の情報を入手し、測量すべき場所を決めているが、これは国道や県道などの幹線道

路に限られる。このため、住宅地などの市町村道では1、2年の間更新されないこともある。また、ユーザーへの配布はネットワークによるもの、DVD-ROM等の媒体によるものが一般的である。前者の場合で1、2ヶ月に1度、後者の場合で年に1度地図が更新されるのが一般的である。このように、地図全体の迅速な更新という面で問題がある。

そこで我々は、カーナビが搭載しているGPSの軌跡を多数収集し、これらを集合知として用いることで道路位置を推定するシステムを開発している。通常、カーナビはGPSの測位誤差に対応するため、マップマッチングを行い最寄りの道路などに現在位置を補正している。しかし、新規に開通した道路や地図に記載されていない道路では、現在位置が頻繁に変わるなどマップマッチングに失敗する。我々のシステムでは、これをトリガとしてカーナビがGPS軌

<sup>1</sup> 岩手県立大学  
Iwate Prefectural University, Takizawa, Iwate, 020-0193,  
Japan

a) nobu-s@iwate-pu.ac.jp

b) takayama@iwate-pu.ac.jp

c) y-murata@iwate-pu.ac.jp

跡データをサーバに送信することで多数の GPS 軌跡データを収集し、道路位置を推定する。一般的に用いられている GPS 受信機の測位の精度は高々数 m 程度であり、中には数十 m の誤差を含むこともあるが、収集した GPS 軌跡データを統計処理する際にロバストな方法を用いる、可能な限り多数の軌跡データをも用いることで誤差の影響を最小化し、数メートル程度の精度で道路位置を推定できる [1][2]。自動車を運転中のドライバーの興味関心は、道路の大まかな形や、交差点などにおける道路の接続の情報であり道路の正確な位置ではないため、カーナビ用の地図としては数メートル程度の精度で十分である。

カーナビの地図における Point of Interest (POI) で、重要なものに信号機がある。信号機は自動車を運転する際に目印などとしても使用されている。信号機が設置されている場所は交差点、横断歩道、長大トンネルの入口などである。このうち、POI として重要なのは交差点に設置されている信号機と横断歩道に設置されている信号機である。通常、交差点の信号機は時間による制御、横断歩道の信号機は押しボタン式である。

本論文では交差点に設置されている信号機が存在を、多数の GPS 軌跡データから検出し、その位置を推定する手法について述べる。本論文で対象とする信号機は、設置されている数が多いなどの理由から、交差点に設置されている信号機とする。

## 2. 関連研究

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、衛星の位置をもと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。

カーナビ内の地図に反映されていない新道路を走行すると、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てしまう。

しかし、GPS の測位精度は建物などの影響を受けてかなり変動するため、マップマッチングは必須である。また、カーナビはマップマッチングのほかにもルート案内など、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。

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、道路を作る行政組織が地図会社に、新しい道路の開通情報や図面を提供するなど、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。しかし、住宅地などの市町村道ではこのような情報が無いため、1、2 年の間更新されないこともある。

GPS による走行軌跡のみから地図を自動的に更新しようとするシステムは、我々が知る限り存在していない。一方、GPS による走行軌跡を集合知として用いて、渋滞や道路が通行可能であるかどうかの情報を自動的に収集し、ユーザに提供するシステムは既に実用化されている。このようなシステムとして、インターナビ・フローティングカーシステム [3]、自動車通行実績情報マップ [4]、スマートループ [5] などがある。また、路側に設置したプローブ用機器からの情報といった、GPS 以外の情報による道路交通情報システムとして VICS[6] がある。

自動車通行実績情報マップは、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上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。

これらは、地図上の情報の自動的な更新を実現しているものの、更新の対象となっているのは、渋滞情報、通行止め情報といった交通情報であり、動的に変化することがあらかじめ想定されている情報である。すなわち、既に存在し、地図に掲載されている道路に、動的に変化する情報を付加しているだけである。また、VICS では道路の区間ごとに ID を振って渋滞情報を提供するため、カーナビの地図があらかじめそれらの情報を持っている必要がある。

OpenStreetMap は、オープンに利用できる地図をユーザが GPS 等の機器を利用して作成しようというプロジェクトである [7]。各地の住人が居住地の周囲を GPS 機器など

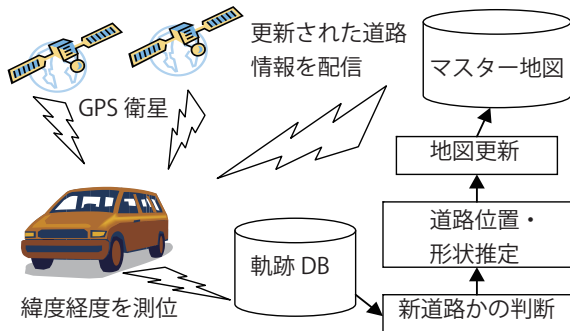


図 1 提案システムの概要  
Fig. 1 Overview of a proposing system

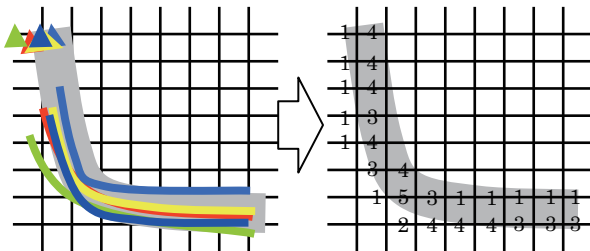


図 2 グリッドと軌跡  
Fig. 2 Grid and trajectories

によって測位してまわり、そのデータに基づいて地図が作成され、公開されている。この際、海岸線や主要な道路などのデータは、国土地理院のような国家機関が（パブリックドメインやそれに近い形で）公開しているデータを用いることもある。いずれにせよ、自動的な地図の作成は考慮されていない。

### 3. 集合知による道路位置推定手法

我々が以前提案した道路位置推定手法 [1][2] は、新しく道路が開通した際に迅速に道路の形状と位置を推定し、カーナビに提供することを目的としている。したがって、測地の分野で求められるような数センチメートル以下の精度での地図作製を目的とはしていない。ここでは、その概要について述べる。提案システムの概要を図 1 に示す。

まず、提案手法の道路位置推定プロセスは、新規開通道路が反映されていない地図を使用しているカーナビが、マップマッチングに失敗することをトリガとして起動される。マップマッチングに失敗したカーナビは、マップマッチングに失敗した走行軌跡をサーバに送信する。サーバは受信した軌跡を保存し、同じ地域内においてある程度の数の軌跡が集まった段階で、提案手法による道路位置推定を行う。以降の道路位置推定手法は以下のとおりである。

(1) まず、緯度経度 0.1 秒を単位とするグリッドを収集された軌跡全てをカバーできる範囲にかぶせる。グリッ

ドを構成する線は東西南北を丁度向いている。緯度 0.1 秒の長さは約 3m、経度 1 秒の長さは我々の大学がある北緯 40 度付近では約 2.3m である。グリッドをかぶせた様子を図 2 に示す。以下の道路位置推定はこのグリッドを単位としておこなう。なお、グリッドの大きさは一般的な GPS 受信機の測位精度を考慮して決定した。

- (2) 収集された軌跡を走行方向別に分類する。通常、道路には往復分の車線があるはずであり、軌跡は 2 種類に分類されるはずである。また、一方通行路だとしても、1 種類に分類されるのみであり、これも問題はない。
- (3) 片方向への軌跡のみを対象として、グリッドを構成する各四角形ごとに、当該グリッドを通過する軌跡の本数をカウントする。このとき、当該グリッドにおける軌跡の走行方向を 8 方位で記録し、各方位ごとに本数を数える。
- (4) 道路の位置を推定するための始点を、グリッドの端で見つける。軌跡と垂直な方向にスキャンして、最も軌跡の通過頻度が高いグリッドを見つける。ただし、厳密に垂直にスキャンする必要はないため、8 方向にのみスキャンする。
- (5) グリッドの反対側の端に到達するまで、次の処理を繰り返してグリッド列を得る。このようにして得られたグリッド列は、走行軌跡が通過する本数が当該グリッド周辺で最大のグリッドの列である。
  - (a) 現在注目しているグリッドの隣接グリッドから、現在注目しているグリッドを通る軌跡の走行方向が最多である方向のグリッドをひとつ選択する。このグリッドを、仮に次のグリッドとする。
  - (b) 仮の次のグリッドの両隣を探索する。ここで両隣とは、現在注目しているグリッドにおける走行軌跡の最多の走行方向に垂直な向きに隣接する 2 グリッドである。
  - (c) これらの計 3 グリッドの中から、通過する走行軌跡の本数が最多であるグリッドを次のグリッドとして選択する。5a にもどる。
- (6) 反対方向へ向かう軌跡に対して、3~5 の処理を行う。これにより、二つのグリッド列が得られる。
- (7) 次のように二つのグリッド列を統合する。グリッドの探索は二つのグリッド列のどちらか片方の端点から開始する。
  - (a) 片方向のグリッド列の進行方向に垂直な方向に、もうひとつのグリッド列を探し、見つかったグリッドを対応するグリッドとする。
  - (b) 二つの対応するグリッドの間を道路の中央とする。
  - (c) 片方向のグリッド列における次のグリッドに移動し、7b にもどる。

(8) 統合されたグリッド列を道路の中間線とする。このようにして推定された道路は幅情報を持たない。

知られている通り、GPSによる測位結果には数m～数十mの誤差が含まれる。大数の法則によれば、無作為に抽出された標本の代表値をなんらかの方法で求めたとすると、その代表値は標本数が増えるにつれて真の代表値に近づかずである。これは代表値を算術平均や幾何平均で求めても、中央値や最頻値のような他の統計量を利用してもかわらない。したがって誤差を大きく含んだGPSによる測位結果のみにより、時間をかけて大量の測位データを得ることができれば、いずれは道路の真の位置を知ることができる。

この際、GPSの測位誤差には、受信機から見た衛星の配置による影響があることを考慮する必要がある。すなわち、衛星の配置によって、特定の方向に測位位置がずれることがある。したがって、時間的に近接した軌跡データのみを用いると道路位置がずれて推定されることが考えられる。このため、道路位置の推定に用いられる軌跡データは、衛星の配置が十分変わる程度の期間にわたって測定されたものであることが望ましい。以前、GPS受信機を固定したまま、毎日1時間ずつ1週間測位し続けた実験では、数日分のデータを用いて提案手法による位置推定を行うと、正確にGPS受信機の位置を求められた。衛星の配置がどの程度変われば十分なのかは今後の検討課題である。

利用する統計量によって、真の道路の位置に十分に近い代表値を得るために必要な標本数が大きく異なる。必要な標本数を無視すると、真の道路の位置に十分近い代表値を得られる統計量としては、算術平均が考えられる。GPSによる測位データは比較的誤差が大きいため、標本数が増えるにしたがって真の道路の位置に近い値に急速に収束する統計量が好ましい。また、GPSによる測位データには外れ値が比較的多く含まれるため、外れ値に大してロバストな方法が望ましい。しかし、この条件には算術平均は合致しないため、別の方法が必要である。さらに、本システムでは航法用の地図の作成を目的としており、数cm以下の精度は不要である。ドライバーは数メートル程度の誤差は気にしないと考えられるためである。

最頻値は標本をいくつかのクラスに分類し、クラスごとにその頻度を求め、もっとも頻度が高いクラスを代表値とする統計量である。得られる最頻値の精度はクラス分けの粒度に依存する。しかし、適切なクラスわけの粒度を選択すれば、比較的少ない標本で真の算術平均に近い値を知ることができるうえに、データが持つバラツキに対してロバストである。したがって、上記の道路位置推定手法は最頻値を求める手法を基本にしている。

提案手法により推定された岩手県立大学構内内の環状道路の位置を図3に示す。大学構内で行った実験によると、内回り、外回り各40本の軌跡で道路の位置を概ね正確に推



図3 位置・形状を推定された大学構内道路

Fig. 3 Estimated position and shape of a road at Iwate Prefectural University

定可能であった。軌跡を各80本に増やしたところ、グリッドを利用したことが原因の凸凹はあるものの、正しい位置に推定できた。図3は各80本の場合の推定結果である。道路とプロットされた推定道路位置がほぼ一致している。

#### 4. GPS軌跡による信号機位置推定手法

本稿では、GPSによる各車両の軌跡データを基に、自動車用信号機の位置を推定する手法を提案する。

まず、信号機による交通整理と自動車が交差点を通行する際の決まりについて整理する。信号機は、交差点や、交差点以外でも横断歩道の存在により交通整理が必要な場所に設置される。後者の場合は押しボタン式が一般的であるが、通常は交差点に接続する全ての道路に対して順番に青信号を示し、その間、青が示されている交通流が交差する他の道路には赤信号を示してその交通を遮断する。通常、これらはシーケンサなどにより自動的に制御されている。また、ひとつの信号機は赤→青→黄→と表示を変化させるのを1周期としている。青信号が示されている時間の長さは交差点に接続する道路の交通量により変わるが、概ね10秒～数分の範囲である。一般的にはドライバーがいららしないように赤信号の長さが決められている。また、信号機が赤から青に変わる際、全ての信号機が赤を表示する時間が数秒間ある。

まず、問題を簡単にするために、車両用信号機が交差点に接続する全ての道路に設置されている十字路を考える。一般的な十字路交差点の信号機は、それぞれ対向する道路が同時に青になり、交差する道路は其间赤である。また、この交差点における信号の周期は1分で、青信号の時間の長さが全ての道路で等しい場合を考えることにする。また、渋滞は発生していない状態で、信号機が青を示したら停止していた車両はただちに進行できるものとする。

この交差点を直進する車両は、通常、青信号であれば速

度を落さずに通過し、赤信号であれば信号機の手前で停止する。停止している時間は赤信号の時間と車が信号機にさしかかるタイミングで決まるが、最大でも赤信号の長さよりは長くない。また、赤信号で停止しようとした車が停止する前に青信号に変わる場合のように、速度が低下するが停止しない場合も考えられる。したがって、信号機手前の停止線付近での速度に着目すると、制限速度付近か制限速度以上の車両、停止している車両、低速で走行している車両の3種類が存在することになる。

停止している車両が頻繁に見られる場所は、片側交互通行などの交通規制や路上駐車や渋滞がないと仮定すれば、信号機の手前と一時停止標識や踏切の手前である。したがって、速度のみに着目する場合であれば、信号による停車と踏切や一時停止標識に一時停止を区別できれば良いことになる。

信号機と一時停止における法に定められた通行方法や、一般に見られる通行方法には次のような違いがある。

**信号** 赤信号の場合、稀な例外を除き、車両は青信号になるまで停止し続ける。停止している時間は車両が信号に到着したタイミングに依存する。青信号の場合、車両は減速しないで制限速度前後、または制限速度を超えた速度でそのまま通過する。

**一時停止** 車両は一時的に停止し、その後進行する。停止している時間は車両の前方の交通量に依存する。前方の交通量が全く無い場合では長くても数秒間停止、ある程度の交通量がある場合は15秒程度停止する。一時停止の標識や踏切では停止しない車両も多い。この場合、前方の交通量が少なければ全く停止しないこともあり得る。一時停止の標識や踏切の存在を見落とした場合を除き、全ての車両がすぐに止まれる速度に減速していると考えられる。

以上を考えると、車両の速度の度数分布を車両ごとに求めた場合、信号機の手前付近では制限速度付近か制限速度以上で通過する車両と、停止しているまたはほとんど停止しているような速度で走っている車両による二コブの分布、一時停止が必要な場所の手前では、ほとんどの車両が低速で移動しているか停止している分布が得られると考えられる。一方、渋滞している道路ではこの方法による信号機の検出などはかなり困難と思われる。渋滞している場合、複数の車両の同時的な挙動を確認する必要がある。

この考察に基づき、本手法は、取得した多数の軌跡の速度を、各瞬間における速度をグリッドごとに求め、その速度分布を生成する。その後、前説で述べた方法により道路として推定されたグリッドで、速度分布を比較し、上記のような特徴が現れるグリッドに信号機と対応する停止線が存在すると判断する。その手順は次の通りである。

(1) 道路が存在すると判定されたグリッド  $G_{x,y}$  においてグリッド内に存在する軌跡  $T_i$  の時刻  $t$  における点  $P_{T_i,t}$

と、時刻  $t+1$  における点  $T_{i,t+1}$  の距離を求め、 $P_{T_i,t}$  と  $P_{T_i,t+1}$  の間を車両が移動した速度を求める。このとき、 $P_{T_i,t+1}$  は  $G_{x,y}$  内にあるとは限らない。

(2) 次のようにして、グリッド  $G_{x,y}$  における軌跡  $T_i$  の速度  $V_{i,x,y}$  をカウントする。図4にこれらの各場合を示す。

(a)  $P_{T_i,t}$  が存在するグリッド  $G_{x,y(P_{T_i,t})}$  と、 $P_{T_i,t+1}$  が存在するグリッド  $G_{x,y(P_{T_i,t+1})}$  が隣接している場合、軌跡の当該区間の始点であるグリッド  $G_{x,y(P_{T_i,t})}$  のみに  $V_{i,x,y}$  を記録する。

(b) グリッド  $G_{x,y}$  内に  $T_i$  の点が二つ以上存在するならば、 $G_{x,y}$  における  $T_i$  の速度のうちもっとも遅いものを記録する。次に  $T_i$  の点が当該グリッドを出るまでは速度を記録しない。これは、赤信号による停車などである程度の時間停車した場合、1度しか軌跡が通過していないにもかかわらず、速度が複数回記録されることを防ぐためである。また、もっとも遅いもの以外に、 $G_{x,y}$  に含まれている  $T_i$  の区間の平均、もっとも速いものなどを採用することも考えられるが、ここでは、停止している車両を検出しやすくするため、もっとも遅いものを採用している。

(c)  $P_{T_i,t}$  が存在するグリッド  $G_{x,y(P_{T_i,t})}$  と、 $P_{T_i,t+1}$  が存在するグリッド  $G_{x,y(P_{T_i,t+1})}$  が隣接していない場合、 $P_{T_i,t}$  と  $P_{T_i,t+1}$  を結ぶ線分が通過するグリッド全てに速度を記録する。ただし、終点側のグリッド  $G_{x,y(P_{T_i,t+1})}$  には速度を記録しない。 $G_{x,y(P_{T_i,t+1})}$  には  $T_i$  の次の区間の速度が記録される。

(d)  $P_{T_i,t}$  と  $P_{T_i,t+1}$  の間の速度が、 $V_{\text{drift}}$  以下の場合、グリッドを跨いでいても速度を記録しない。これは実際に静止していても測位された位置が低速で移動することがある場合への対策である。GPS受信機を静止させた状態で1時間測位しつづけた場合の速度の分布から、今回は  $V_{\text{drift}} = 1.6\text{km/h}$  とした。

## 5. 評価

### 5.1 大学構内での評価

まず、大学構内の環状道路をGPS受信機を搭載した自動車で行き、走行軌跡の取得をおこなった。GPS受信機は、自動車1台につき1台を、ダッシュボード上に設置した。この際、信号機を環状道路の1ヶ所に仮設し、信号機の表示にしたがった走行をおこなった。また、一時停止が存在する箇所では、車両ごとに指定した時間停止した。図5に仮設した信号機の写真を、図6に信号機を設置した十字路交差点と実験にあたりおこなった通行方法を示す。信号機は図3のAの交差点に設置した。また、信号機は



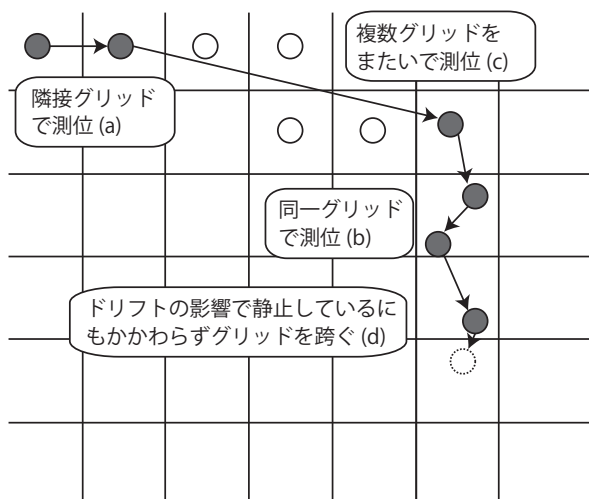


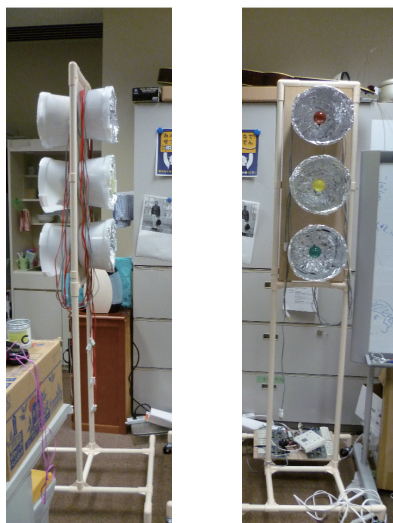
図 4 軌跡の速度の記録方法

Fig. 4 Recording of speed of a trajectory



図 6 信号機を設置した交差点

Fig. 6 A crossing that traffic signal is set



mmmm

図 5 学内に設置した信号機

Fig. 5 A traffic signal placed on our university

大学の近隣に存在する公道の信号機にならい、1分周期で双方の道路とも同じ青信号の長さになるようにした。すなわち、青信号 26 秒間、黄信号 2 秒間、赤信号 32 秒間とした。赤信号で停止する際は、信号機手前に設置したカラーコーンを停止線と見なして、その手前で停止する。

大学構内で軌跡を取得する際、なるべく公道の交通状況を再現するように考慮した。ここでは、一時停止の際の待ちや交差点での右折待ちが発生するなど、ある程度の交通量はあがるが渋滞はしていない状況を再現した。実験に参加した車両は 5 台である。これらの車両の運転手には、信号機の表示を厳守するように指示した。交差点の通行方法は 3 種類を想定し、それぞれ 1 回ずつ、3 日間掛けて実験を行った。交差点の通行方法ごとに次のような指示を行った。

**直進** 実験に参加する全ての車両に信号機を設置した交差点を直進するように指示した。構内の環状道路を 6 周し、合計 30 本の軌跡を取得した。

**右折+直進** 赤信号で停止した先頭車両は右折、後続車は直進するように指示した。右折する車両には対向車の通過を待つ時間を想定して、青信号表示後、交差点の中央へ移動し、指定した時間待つように指示した。この際の待ち時間は、公道の同様な交差点で観測された待ち時間である、5、7、10、15 秒のどれかをランダムに選択した。右折した車両は、駐車場を巡回してこの交差点より環状道路に戻る。環状道路を 6 周し、合計 30 本の軌跡を取得した。

**左折** 実験に参加する全ての車両に、信号機を設置した交差点を左折するように指示した。合計 30 本の軌跡を取得した。車両は左折後、駐車場を通り抜けて環状道路に戻る。

右折+直進の場合、車両の走行順序が変化する。また、直進、左折の場合であっても、信号待ちの台数は、信号機のタイミングと各車両の速度などに依存し、毎回異なる。

このように、この実験において、信号待ちをする車の台数は特に制御していない。すなわち、車両は各運転者が適切と思う速度で進行し、車列ができる場合はできるに任せた。実際に発生した信号待ちの台数は、1 台から 5 台の間であったが、3 台~5 台が多かった。

この他に、学内の環状道路の途中にある一時停止を利用して、自動車が一時的に停止するときの軌跡を取得した。一時停止は図 3 の B の交差点にある。この際、実験参加車両 5 台のうち 3 台には一時停止の停止線できちんと停止するよう指示した。残りの 2 台には何も伝えずに走行を依頼した。これは、現実には一時停止で止まらない車が少なくないことに対応する。また、一時停止後の進路について、実験ごとに次のように指示を行った。

**直進** 全ての自動車に直進を指示した。

**右折** 全ての自動車に右折を指示した。自動車ごとに、右

折待ちの時間を指定した。実際に車両が来なくても、4、7、15、20のいずれかの時間、右折待ちを行う。右折後、ロータリーを周回してから環状道路に戻る。なお、一時停止で左折すると学外に出てしまうため、左折は実施していない。

このようにして収集された軌跡を用いて、信号機と一時停止標識の存在が検出できるか、提案手法の評価を行った。この実験では、時速 2km 以下の軌跡を停止している軌跡とみなし、 $V_{drift}$  とした。GPS 受信機が地面に対して静止していても、測位結果がずれることはよく観察される。前述したように、GPS 受信機を固定して1時間測定し続けた結果、得られた速度の分布がほぼ時速 2km 以下に収まっていたため、今回は時速 2km 以下の軌跡を停止しているとみなすこととした。この速度は人が歩行する速度の半分程度であり、自動車の速度としては渋滞中でも考えにくい速度であるので妥当と考えられる。

図 7 に上記の信号機付近で観測された軌跡のうち、停止と判断したもののグリッドごとの分布を示す。信号機付近で多く観測されている。

図 8 に収集された軌跡の、信号機と一時停止の直前のグリッドにおける速度分布と、信号機や一時停止がない直線部分で任意に選択したグリッドの速度分布を示す。一時停止で待っていた時間の関係からか、停止とカウントされた軌跡の割合は、一時停止の方が高い。また、一時停止ではほとんどの車が減速または停止するため、速度が割合に速い軌跡は見当たらない。その一方で、信号の場合は青信号を通過する車があるため、停止している軌跡と、ある程度の速度で通過している軌跡の両方が見られる。このため、信号機の場合の速度分布は、時速 0km と時速 20km にピークがある。構内道路の制限速度は時速 20km であり、信号機付近はカーブしているため、スピードを出す人は少ない。よって、時速 15km~時速 20km 付近を閾値として、停止している軌跡を除いた速度分布のピークが閾値よりも高速側であれば信号機、低速側であれば一時停止と判断して良いと考えられる。学外の公道においては制限速度は学内の周回道路よりも高いため、青信号を通過する際の速度の分布が高速側にずれると考えられる。このため、学内での実験よりも容易に閾値を設定できると考えられる。

## 6. まとめと今後の課題

本論文では、一般的かつ安価な GPS 受信機による車両の走行軌跡を用いて新道路位置を推定するシステムにおいて、信号機と一時停止の存在を検出する方法を提案した。信号機は重要な POI であり、カーナビの地図には欠かせない。評価実験の結果、時速 15km~20km を閾値として、信号機と一時停止の前側の愚利度における軌跡の速度分布を用いて、一時停止と信号機の識別ができることを示した。また、信号機や一時停止が存在しない直線では、低速で走

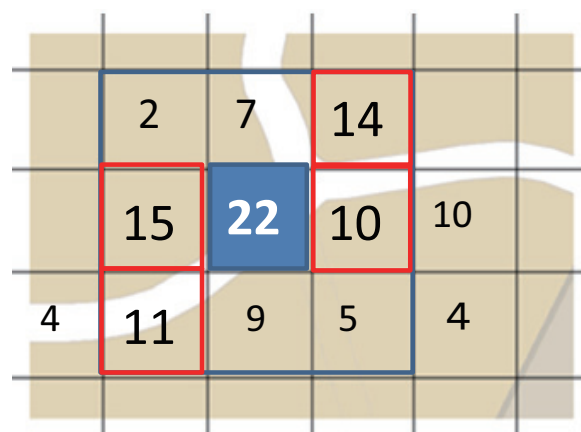


図 7 信号付近のグリッドにおける停止カウント数

Fig. 7 The number of stopping trajectories on grid just front of the signal

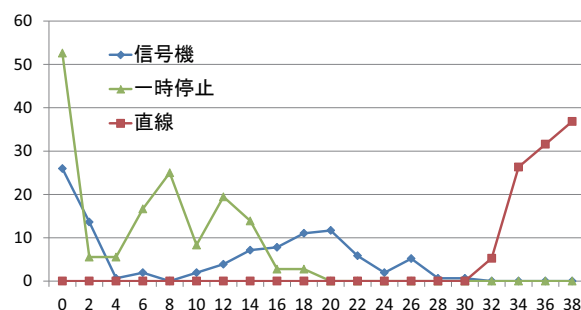


図 8 信号機、一時停止の直前の各グリッドにおける速度分布

Fig. 8 Frequency distribution of speed on grids just front of the signal and the stop sign

行している軌跡が見られなかったことから、通常のなにもない道路と信号機や一時停止の存在の識別も可能であることをしめした。

## 参考文献

- [1] 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 (ITIS 2011), in conjunction with The 14th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS 2011), pp.547-552, Tirana, Albania. (2011.9)
- [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る道路の車線数推定手法の評価, マルチメディア通信と分散処理ワークショップ, pp.154-159. (2011.10)
- [3] ホンダ技研工業株式会社, “internavi”, <http://www.honda.co.jp/internavi/>
- [4] 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](http://www.google.co.jp/intl/ja/crisisresponse/japanquake2011_traffic.html)
- [5] パイオニア株式会社, スマートループ, <https://www.smartloop.jp/smartloop/index.html>
- [6] 財団法人道路交通情報通信システムセンター, VICIS, <http://www.vics.or.jp/>
- [7] OpenStreetMap, <http://www.openstreetmap.org/>