

スマートフォンナビにおける高さ情報精度の向上方式

大塚 亮祐^{†1} 加藤 翼^{†1} 清原 良三^{†1}

近年、カーナビゲーションシステムは爆発的に普及し、ほぼすべての自動車に搭載されていると言っても過言ではない。また、テレマティクスサービスに対応した機種も登場しているが、通信費の負担の問題があり、一般のカーナビの普及に比べると普及度は低い。一方、スマートフォンを使ってカーナビと同様の機能を実現することができ、無料のカーナビアプリケーションも登場してきている。通信を余計なコストを払うことなく利用できるため、最新の地図を使える他、テレマティクスサービスも享受できる。また、画面が小さいという欠点に対し、“Display Audio”という画面だけを大きく表示する製品が登場してきており、スマートフォンナビは大衆車向けには爆発的に普及すると想定される。一方ナビゲーションの位置精度に関してはマップマッチングなどによりかなり精度が高くなったとはいえ、高さが異なるだけで平行した道路で間違えますいなど問題もある。そこで本論文ではスマートフォンのセンサを活用して、高さ方向の精度を向上する方式に関して検討し、気圧センサと加速度センサに関して基礎実験を行った上で方式を提案する。

Improved Location Estimation for Car Navigation System

RYOSUKE OTSUKA^{†1} TSUBASA KATO^{†1}
RYOZO KIYOHARA^{†1}

Recently, car navigation systems are widely used, and they are very effective. However, a kind of devices which communicate with telematics service providers (TSP), are not widely used because of the cost. On the other hand, smartphone use has become widespread and they run free car navigation applications. Therefore, car navigation systems that can communicate with TSPs will be used more widely. In this paper, we propose a new method that improves location estimation for car navigation systems based on the pressure sensor on smartphones. We report the requirements, basic explanations and propose a new method for improving the location estimation.

1. はじめに

近年、図1に示すような“Display Audio”と呼ばれるオーディオシステムと一体化し、ユーザが持っているスマートフォンと連動して動作するカーナビゲーションシステムが登場してきた。スマートフォンのアプリの中で、車載端末のアプリとして動作させるものを対象にスマートフォンと同期して動作する。スマートフォンと車載端末の間の通信の標準プロトコルも提案されている[1]。

これらの機器を利用するメリットとして以下の点があげられる。

- ① 低コストであること。(販売価格で5万円前後)。
- ② ドライバや同乗者がいつも利用しているスマートフォンをつなげるだけなので余分なコストはかからない。
- ③ 音楽やアプリなど使いなれたものを利用できる。
- ④ 常に通信機能を利用して渋滞情報など、最新の状態を示すことができる。

このように、コストを抑え、いつもと同じ環境でカーナビゲーションシステムを利用できるというメリットは大きく、大衆車を中心に今後普及が予想できる。実際に2015年には世界市場において1000万台を超えて普及すると予測する調査結果もある[2]。

一方デメリットもあり、以下の点があげられる。

- ① 自動車とスマートフォンの買い替えサイクルやOSのバージョンアップサイクルの違いによる不整合
- ② カーナビ専用機器に比べた場合の基本性能、および品質の劣化



図1 パナソニック オートモーティブシステムズ社
「MirrorLink (ミラーリンク)」

^{†1} 神奈川工科大学
Kanagawa Institute of Technology



図 2 同緯度に道路が2つ存在している例

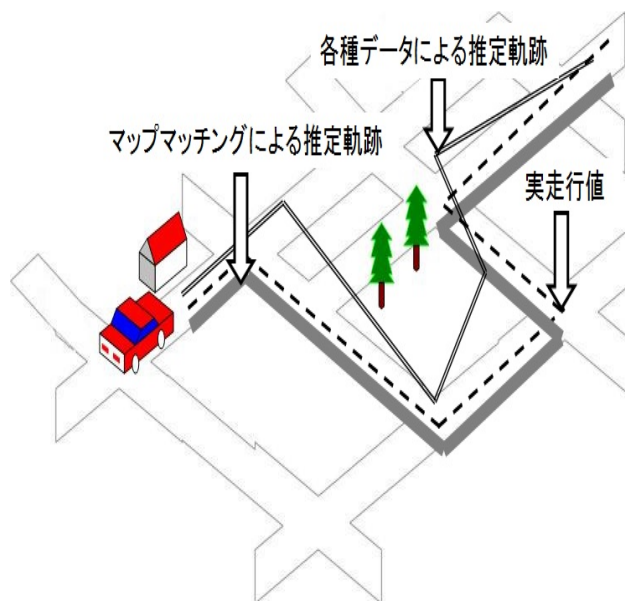


図 4 マップマッチングの例



図 3 スマートフォン上の
無料カーナビゲーションシステムの例 (iphone)

これらの課題に対し, "Display Audio"メーカはスマートフォンのバージョンアップに追従して, 車載器側のソフトを更新する旨説明している. また, 最近のスマートフォンのGPSなどのセンサの性能の向上も著しく, "Display Audio"側の情報や車載ネットワークの情報も使えるのであればなら問題なくなりつつある.

また, 最近 Google 社では, スマートフォンの画面をそのまま車載器上の画面に出力し, 操作も車載器側でできる技術の開発をしている[3]. この技術を使うことにより将来的には安全上の問題から法律や業界自主規制の問題はあるものの, ユーザの好むスマートフォンのどんなバージョンでユーザの好むアプリケーションを車載器側に表示し, 車載器側で操作できるようになると予想できる.

一方で, カーナビゲーションシステムの位置精度に関してはまだ十分とは言えない. 例えば複数の道路が並行して走る場合の位置精度や, 図2に示すような高さが違うだけ

で並行して走る道路がある場合の道路特定などである.

図3に示すような従来型のカーナビゲーションシステムやスマートフォンのカーナビゲーションアプリケーションでは, 機器に搭載されているGPS機能を使用し, 位置情報の習得を行っている.

GPSから位置を測位すると衛星の角度や受信時刻による本質的な速度誤差および, 建物からの反射電波などにより誤差が生じる. 図4に示したように, 自動車の走行軌跡データと, 地図上のデータ上の道路形状を比較し, 走行中の道を推測し地図の道路路上に表示するマップマッチングを利用することが多い.

またトンネル内などは速度の情報とジャイロセンサなどを利用して方向と進んだ距離から位置を特定する.

しかし, 高さの情報が正確に取れないことによりこれらの従来技術のみでは図2に示すような道路の場合, 判別できず間違えて判断することもあり, 不要な経路案内を繰り返すことも少なくない. 近年のスマートフォンは, 気圧センサ, 加速度センサ, ジャイロセンサ, 地磁気センサといった複数のセンサを搭載している機種が多く発売されている.

今後スマートフォンのカーナビゲーションアプリが中心になってくるのであれば, スマートフォンに既に搭載しているセンサ類を活用することが十分に考えられる.

そこで, 本研究では, スマートフォンに搭載されている気圧センサと加速度センサに着目し, 気圧の変化を利用して高度の変化を検知し高さが違う並行した道路で位置特定精度を向上することを目的とする.

2. 関連研究

スマートフォンに気圧センサが搭載されつつあるため、気圧に気圧を測定できることから、気圧センサを利用して高さを推定する手法がいくつか提案されている[4][5].

とくに文献[5]は在階推定しておりかなりの精度で確認できる. この研究は建物内でエレベーターを降りた際に、気圧センサを利用して現在の高さを把握する. 気圧は、天候などによって変化しやすい情報である. そのため、自律的に気圧を測定しているだけでは高さを推定するのは困難である. そこで、基準となるフロアとの差で見る手法や、スマートフォンをサーバとしてエレベーター内に設置することによりリファレンスの高さを記録し、これと比較して高さを推定する手法などが提案されている.

スマートフォンを保持する人が特定の建物でフロアマップなどを簡単に見ることができるサービスとしては有用であるが、自動車の走行する道路の高さ推定をするためにあらゆる場所でのリファレンス気圧を測定するわけにもいかない. そのため、自律的に高さを推定する必要があり、この手法はそのままでは適用できない.

自律的に気圧センサを利用するだけで、道路上の高さを知らするためにカルマンフィルタを用いて、天候の影響などを推定して気圧の絶対値から高さを知らる研究がある[6]. この研究では地図情報から道路の高さを知り、その情報と気圧の関係を把握しおき、複数の道路に分かれた場合に、気圧の変化の予測とどう変わったかで精度よくどちらの道路にいるかを知ることができる. しかしながら、同時に急激に変わる場合など十分に対応しきれない場合もあるため、これだけではミスすることがある.

スマートフォンを利用し、マップマッチングと気圧計を

利用してライフログとしての経路を推定する研究[7]もあるが、GPSを補完するものであり、複数の候補道路のどちらかをリアルタイムに判定するには適してはいない.

一方、既存のカーナビでは重力センサを利用して高さ情報を補正しようとしている. GPSの捕捉数が十分あればある程度高さはわかるため、この情報と保持している地図上の情報と重力加速のみから推定する. 既存のこの手法では精度がでないことは実際にカーナビを利用しているとわかるが、ドライバが気になる程度であるが間違いがおこる.

3. 方式検討

方式を検討する上で、以下に示す複数の方式を検討した.

- ① テレマティクスサービスにおいてその時点の道路の気圧情報を提示する方式.
- ② 重力加速度の変化を利用し、気圧情報と両方を使うことにより精度を向上する方式.

テレマティクスサービスとは図5に示したように、多数の走行している自動車をセンサとして大量のデータを携帯電話網を経由して収集し、これらを解析し、過去のデータとも合わせて推定できる情報について携帯電話網を経由して提供するサービスである.

テレマティクスサービスを活用する場合には、一定の数の走行情報から推定することになる. つまりリアルタイム性を一定のレベルで失うことになる. カルマンフィルタを利用した推定法[6]と同様に、気圧が変化急に起こった場合などに対して精度良く推定することができない. そこで、重力加速度の変化を利用し、気圧情報と双方を同時に使う

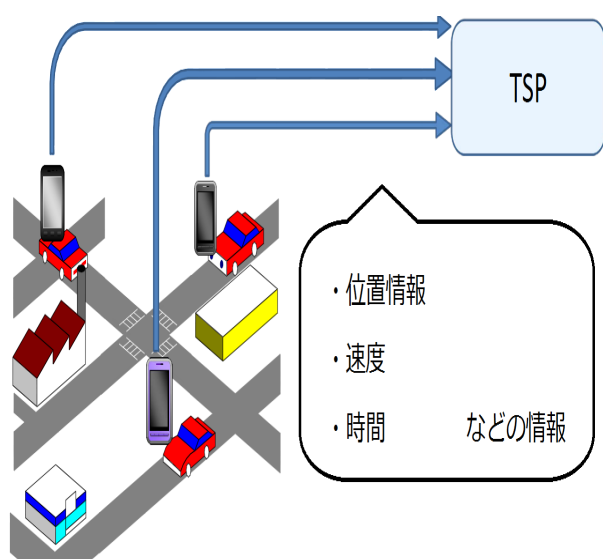


図5 テレマティクスサービス概要



図6 加速度センサの軸

ことにより複数の道路のどちらかを判定する方式を提案する。

一方重力加速を使えば、下がったか上がったかという情報が出るはずである。携帯電話の加速度センサは図 6 に示すように 3 軸ある。これらのそれぞれの値を常時見ていることにより重力加速度の加わる方向がわかり、持ち方などが特定できる。

細かい振動などによる加速度の動きをフィルタリングすることにより重力方向の加速度を抽出できれば道路が分かれる地点で、上に走行したか、下りだったかの区別がつくため判定できる。具体的には小さな振動に関して、一定時間の加速度の値の積分を行うと消えるに対して、重力部分は一定の値を示し、これに変化が加わると差が生じる。一定時間の上り下りがあれば判別できると言える。しかし、実際の道路の凹凸の関係などで誤って判定する場合も多いであろう。そのため気圧計と組み合わせることが考えられる。

表 1 測定装置、測定環境

実験端末	サムソン社製 Galaxy_S III 2 台 OS Android 4.1.1
実験場所	神奈川工科大学 情報学部 K1 号館
天候	曇り

表 2 測定結果（晴れ、7 月測定）

	スマートフォン A	スマートフォン B
1F	998hpa	999hpa
3F	997hpa	998hpa
5F	997hpa	997hpa
7F	996hpa	996hpa
9F	995hpa	995hpa
11F	994hpa	994hpa

表 3 測定結果（曇、10 月測定）

	スマートフォン A
1F	1023hpa
3F	1022hpa
5F	1021hpa
7F	1020hpa
9F	1019hpa
11F	1018hpa

4. 提案方式

4.1 基本実験

4.1.1 気圧センサ

一般的なスマートフォンに搭載されている気圧計で道路の高低差程度の識別の可能性を判断するために、基本実験として建物のフロアごとに気圧を測定してみた。測定環境を表 1 に、測定結果を表 2 に示す。表 1 にあるように 2 台の Android 端末を使い、個体差の有無を確認した。実験場所である神奈川工科大学のフロア単位の高さの差は 2.5m 程度である。したがって、表 2 に示したデータは 5m の差がどの程度の気圧差になるかを示している。

なお、スマートフォン A のデータにおける 3F と 5F の値が同じになっているが小数点第一以下切り捨てで計測したために表 2 のような表記になっているがほぼ変化が 1hpa ごとに変化している。

表 2 の実験結果から見るかぎり、その場所、時間の正しい気圧がわかっていると仮定しても、端末単体の個体差を考慮すると気圧の絶対値から高さを判定することはできない。個体差が把握できており、正解の高さと気圧の関係を一度学習させておけば把握可能であると考えられるが、ユーザが正しい標高を知っている場所で学習させる必要があり、しかもその時点での絶対気圧がわからないと意味がない。気圧の絶対値のみからは自律的に高さを把握することには無理がある。

一方で、相対値に関しては個体差はあるものの一定の差が出るのがわかる。即ち、一定の時間以内に、以前より高度が何 m 程度上がったか下がったかは把握できる。ただし精度は 5m 程度である。高さが違って平行して走る道路は 5m 以上の高度差がある場合もあるが、ない場合もある。そのため、一定レベルまでは高度差が判別できるものの、必ずしも相対値だけで、道路を特定するのは難しい場合があることがわかる。

また、表 3 に天候の違う状態で同じスマートフォン A を利用して計測を行った結果を示す。表 1 が晴れの日、表 2 は曇りにも関わらず気圧は曇りの日の方が高く、単に観測した天候だけでは気圧が決まるわけでもないことがわかる。

即ち、天候による時間、場所での気圧の変化も考慮すると気圧のみで道路を判別すると正しくできる場合もあるが、間違える場合もあり、保証ができないことになる。そこで加速度センサとの組み合わせでの判断が必要と考える。

4.1.2 加速度センサ

気圧センサの基礎実験に用いたスマートフォンの加速度センサを用いて手に保持した状態で値を取得してみた。ある程度の角度があると、図 7 に示すように、下方向の重力加速度が分解されて現れる。この例では X 軸方向が最も重力方向に向いていることがわかる。また、手に保持しても自動車に搭載して固定したとしても図 7 のような振動を避

けることはできない。しかしこれらの振動は一定時間以内の情報を積分することにより上下、左右とも差引があるため0に近づく。一方重力方向の成分は残ることになる。

この一定の間隔より長い間隔で重力方向に加速度が加わった場合は道路を下ったことを示し、重力方向の加速度が減った場合は道路を上ったことを示す。また、出発前の静止状態での値から、アクセルブレーキによる加速度の変化は方向がその成分と直行するため認識することができると考える。

4.2 提案方式

図8に提案方式の処理フローを示す。処理手順を以下に示す。

- ① 毎秒1回GPSによる位置測位を行う。
- ② 気圧測定と加速度測定を行い、保存する。
 前提条件としてAndroid端末を器具による固定を行い向きの固定及び手の動きから発生する変化を抑える。
- ③ 位置測位に成功すると、マップマッチング処理を行う。
- ④ 道路に曖昧性がなければこの操作を繰り返す。
- ⑤ 曖昧性があった場合に、一定時間前の値からの気圧の変化と重力方向加速度の変化を調べる。

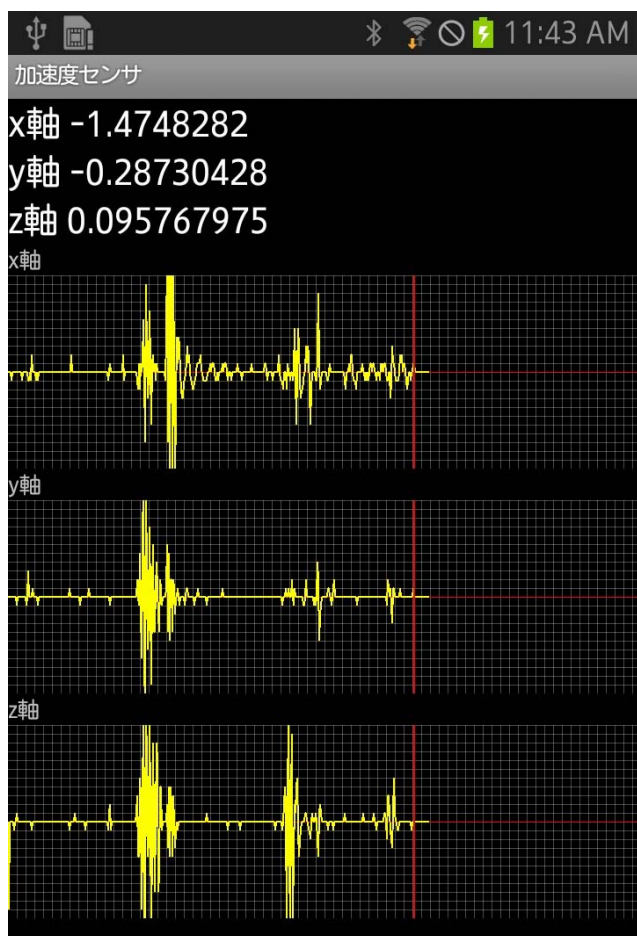


図7 重力加速度

- ⑥ 一定の差が気圧または重力加速度で発見できた場合に高度が上がる方向か下がる方向かを確認して道路を確定する。ただし、気圧変化と重力加速度で矛盾した結果が出ている場合は重力加速度を優先する。(気圧は急激な変化の可能性があるので)

以上が処理手順である。しかし、トンネル内などGPSの使えない環境でのジャイロと車速での位置特定などもあるため、図8では典型的な例のみを示している。

5. 評価

5.1 気圧センサ

基礎実験から得られたデータから気圧は一定間隔で変化していくことがわかる程度の精度で得られることがわかった。しかし、この取得データは、観測者および観測機器がほぼ静止している状態で測定しているデータである。従って、実際に自動車で走行してより詳細に評価をする必

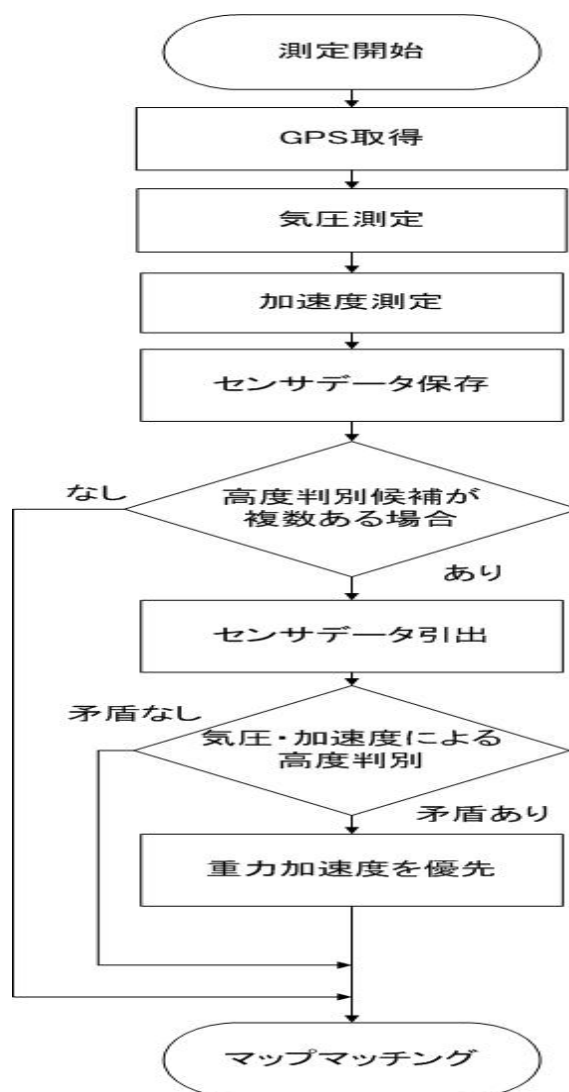


図8 判別フロー

要がある。

- ① 自動車で行きながら気圧を測定すると、時空間上で気圧の変化がある場合に、走行中に気圧の変化が激しい場所がある可能性がある。したがって自動車を走行し、毎秒ごとに気圧を測定することにより、走行中の気圧の変化を調べ車の停止時気圧との違い明確にした上で気圧の違いによる判定の正しさを確認する必要がある。
- ② 基礎実験にて神奈川工科大学のフロア内の気圧測定を行い一定の変化を得ることができたが、台風の気圧データなど急激な変化のケースのデータを複数取得し、そのパターンが入った場合の判定に関して評価する必要がある。大学のフロアごとおよび走行中の自動車内での気圧の変化を知る必要がある。

5.2 加速度センサ

基礎実験から得られたデータから、静止状態での加速度センサの値を取得した。取得したデータから、加速度による位置情報取得は可能であると考えられる。

加速度による評価を行うには以下の2つの評価が必要だと考えられる。

- ① 自動車を走行時に発生するブレーキなどから発生する加速度ではなく、車は常に振動している。発生してしまう微弱な振動を測定から除外する為、複数パターンの速度における微弱な振動を毎秒測定し、速度別の加速度を知る必要がある。
- ② 自動車を走行中に発生する事象として加速、減速、ブレーキと大きく分けて3つある。3つの事象の速度別の値を求める為、20 kmから100 kmの速度を20 kmごとに値を測定し値の変化を知る必要がある。
- ③ 自動車を走行中に上り坂を走行中か下り坂を走行中かの判別を行う際に必要な自動車の傾きを、加速度センサの値から求め、判別を行う必要がある。
- ④ ①、②、③の測定をAndroid端末を縦に装着場合、横に装着した場合のそれぞれ行い。データ比較を行う必要がある。



図9 坂道走行時の加速度

5.3 総合評価

6.1, 6.2 で得られた値から提案手法にて述べたアルゴリズムにあてはめGPSでの高さ情報との比較をし、正確性を求める必要がある。最も変化の大きかった値を重視するために、得られた情報によってはアルゴリズムの変更も行う必要がある。

6. おわりに

本論文では、カーナビゲーションシステムの位置情報をGPSからデータを取得する既存の方法以外に、Android端末に搭載されている気圧センサ、加速度センサを利用して位置情報を補完し、より精密なマップマッチングが可能であることを述べた。センサから正確な情報を得るための提案方式やアルゴリズムを述べた。

今後、提案したアルゴリズムに沿った測定アプリケーションを作成し、実際にカーナビゲーションシステムとして利用した際に発生するパターンのデータ取得を行っていき、GPSとの比較を行うことで、より正確な位置情報を得るにはどうするかを考える予定である。

この際に、Android端末に搭載されている他のセンサを利用する事でより精度を向上させる事が出来るのであれば、他のセンサについても検討を進める予定である。

参考文献

- 1) Car Connectivity Consortium, Mirror Link, <http://www.mirrorlink.com>
- 2) 矢野経済研究所, <http://www.yano.co.jp/press/pdf/971.pdf>
- 3) Matei Negulescu, Yang Li, "Open Project: A Lightweight Framework for Remote Sharing of Mobile Applications, ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 2013), 2013
- 4) Lifan Chen, Tai Yuan, Bin Sun ; Xiaoming Chang, "MS5534B Pressure Sensor and Its Height Measurement Applications," International Conference on Information Technology, Computer Engineering and Management Sciences, pp.56-59, 2011
- 5) 鈴木孝幸, 白井宏幸, 森崎雅崇, 田中博, 山本富士男, "Android端末内蔵気圧センサを用いた在階推定方法の基礎検討", 電子情報通信学会総合大会通信講演論文集2, B-19-34, p.578, 2013
- 6) Maik Bevermeier, Oliver Walter, Sven Peschke, Reinhold Haeb-Umbach, "Barometric Height Estimation Combined with Map-Matching in a Loosely-Coupled Kalman-Filter," Positioning Navigation and Communication (WPNC2010), pp.128-134, 2010
- 7) 岩波慶一郎, 新井イスミル, "気圧センサ値と数値標高モデルを用いた移動経路推定手法の提案と評価," 情報処理学会研究報告 Vol.2013-MBL-65 No.46