

# 車載カメラからの実写映像を用いた 自車位置推定手法の開発

河合 克哉 山口 喜久 中川 隆志 小中 裕喜  
三菱電機株式会社

**抄録** カーナビは自車の現在位置を表示し、設定された目的地へユーザを誘導する。そのためには、走行中の自車位置を正確に推定し続ける必要がある。しかしながら、既存の手法では特定の状況で推定位置の誤差が大きくなる。そこで筆者らは、カーナビに接続したカメラの画像を用いて自車位置を補正する方式を開発している。この方式は、自車が通過する交差点をカメラ画像によって認識し、その交差点の地図上での位置を特定して自車位置を補正するものである。また認識した交差点と地図上の位置を対応付ける際に、その対応付けの確度を考慮して誤対応を回避し、推定誤差の拡大を防ぐ。本稿ではこの補正方式について、全体の概要と誤対応回避の詳細を述べる。さらに、評価実験の結果を通じて、この方式の実用性を示す。

## Improving Position Estimation for Car Navigation Systems by Utilizing Car-Mounted Camera

Katsuya Kawai Yoshihisa Yamaguchi Takashi Nakagawa Hiroki Konaka  
Mitsubishi Electric Corporation

**Abstract** Car navigation systems need accurate position estimation function to indicate position-dependent information and to guide user to his or her destination. We are developing a position correction method that utilizes car-mounted camera. Our method extracts an intersection from camera images to specify its position in the map. This paper describes two filters that avoid matching error taking matching probability into consideration. We simulated our method to confirm that these filters make our method practical.

### 1. はじめに

カーナビゲーションシステム(以下、カーナビ)の基本機能には、地図上に自車の位置情報を表示すること、設定された目的地への経路を探索してユーザを誘導することがある。これらの機能を実現するためには、走行中の自車の現在位置を高精度に推定し続けることが重要となる。しかしながら、既存のカーナビで用いられている自車位置推定手法では、走行状況によっては推定位置が大きくなることある。例えば、両側にビルが立ち並ぶような大通りを4km直進すると、前後方向に10m~20m程度ずれる場合があった。

こうした問題を解決するために、現在普及が進んでいる車載カメラを用いて自車位置を補正する手法を提案する。本手法では、自車が通過する交

点をカメラ画像から認識し、地図が持つ情報と照合して自車の位置を推定する。

### 2. 自車位置推定における課題

既存のカーナビでは、おもにGPS[1]および自律航法を用いて自車位置を推定する。GPSは衛星からの電波を受信することで、自車位置を推定する。GPSを用いると、高精度な推定が可能な場合が多いが、電波を十分に受信できない場合は推定精度が低下する。一方、自律航法は、車速、進行方向などをセンサにより測定して、自車位置を走行軌跡として推定する。自律航法は、外界の状態に影響されずに位置を推定できるが、走行が進むにつれて測定誤差が蓄積し、推定精度が低下する。

また既存のカーナビでは、マップマッチング[2]と呼ばれる手法によって上述の位置推定における誤

差を補正している。この手法は、自車が道路上を走行していることを前提として、走行軌跡が地図上の道路と整合するように補正する。この手法により、走行中の左右方向のずれが補正される。さらに、右左折時には前後方向のずれも同時に補正される。ただし、もとの位置推定の誤差が大きければ、この手法による補正結果が誤りとなる場合がある。

通常の走行状況では、以上に挙げた3つの手法を組み合わせることで自車位置を実用的な精度で推定することができる。例えば GPS 衛星の電波が十分に受信できないような状況でも、自律航法で得た推定結果に、マップマッチングによる補正を適用することで、自車位置が得られる。

しかしこれらすべての手法が適切に働かず、誤差が大きくなることも少なくない。例えば、大通りの両側に並ぶビルによって電波が遮蔽され、GPS による位置推定が正しく行えない状況では、自律航法とマップマッチングのみの組み合わせで位置が推定される。しかしながら、直進時におけるマップマッチングでは、左右方向のずれしか補正できないため、前後方向に自律航法による推定誤差が蓄積されていき、結果として大きなずれが発生する。

### 3. カメラ画像に基づいた自車位置補正

2 節で述べたような、カーナビの自車位置推定における問題点を解決するために、車載カメラの画像に基づいた位置補正手法を提案する。本節では、提案する補正手法の基本方針と、処理の概要について述べる。

#### 3.1. 基本方針

従来のマップマッチングが十分に機能しない直進時にも、推定位置を補正することができれば、2 節で述べた問題を解決できる。そこで、カメラを用いて自車周辺の地点情報を取得し、その位置を地図上の点と対応付けることで補正する手法を検討した。

本補正手法で用いる自車周辺の地点情報として、

自車が通過した交差点をカメラ画像から認識することとする。一般に交差点は頻繁に通過するため、補正機会を多く得られる。また直進時でも補正機会を確保でき、従来のマップマッチングの欠点を補うことができる。一方で交差点が少ない道路では、補正機会が得られず、経路案内の表示にずれが生じることになる。しかしながら、こうした道路において右左折する交差点をユーザが誤る可能性は、交差点が多い道路と比べると少なく、案内上の問題は起こりくいと考えられる。なお、交差点を右左折した場合は、従来のマップマッチングによる補正で十分な精度を得られるため、本補正手法を適用する必要はない。

#### 3.2. 交差点の認識

カメラ画像から交差点を認識するための特徴物として、その交差点に設置されている横断歩道を用いる。横断歩道は単純な白黒パターンであるため、比較的単純なアルゴリズムを用いてカメラ画像から検出できる。また多くの交差点に設置されていること、交差点でない地点に設置されていることが少ないことから、横断歩道は特徴物として適していると考えられる。横断歩道が適切な距離で連続して 2 つ検出されれば、それらの間に交差点が存在すると判定する。

#### 3.3. 交差点の対応付け

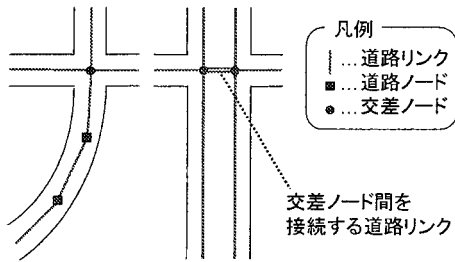
##### 3.3.1. 地図上の交差点表現

認識した交差点が地図上でどのように表されているか考える。ここでカーナビが持つ地図に含まれる情報として、道路の形状のみを利用することとし、横断歩道が存在する地点の情報は前提としない。

道路の形状は道路ノードと道路リンクで表現され、道路リンクは道路ノード間の接続関係を表している。中でも交差点を構成する道路ノードは、必ず 3 つ以上の道路リンクと接続している。このような道路ノードを特に交差ノードと呼ぶこととする。

道路ノードには位置情報が関連付けられている。例えばカーブでは、図 1(a)のように道路の形状を表すための道路ノードが配置される。これらの道路ノードは道路リンクによって接続され、他の道路と交わる地点では交差ノードとなる。

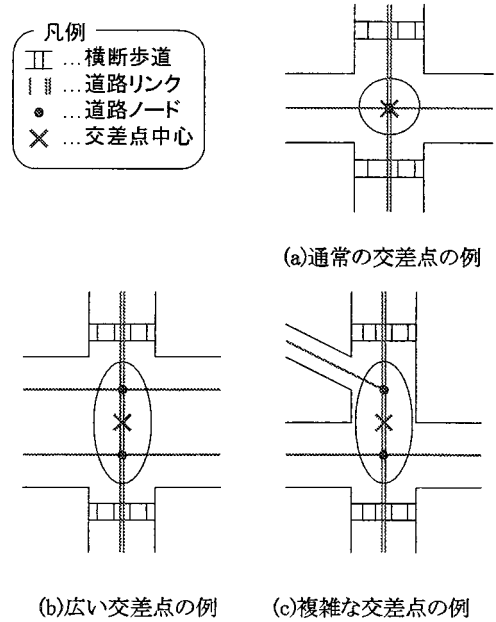
また図 1(b)のように、広い道路は並行する 2 本の道路リンクで表される場合がある。このような道路が他の道路と交わる地点には 2 つの交差ノードが存在し、各交差ノードと外部の道路ノードとを接続する道路リンク、交差ノード間を接続する道路リンクが存在している。



(a)カーブの例 (b)広い道路の例

図 1 道路ノードと道路リンク

このように表現された地図において、多くの交差点は 1 つの交差ノードで表される。このような交差点では図 2(a)のように横断歩道が存在する地点が、地図上でただ 1 つの交差ノードを挟むように位置する。一方で、複数の交差ノードで表される交差点も存在する。例えば図 2(b)のように、広い道路における交差点では横断歩道が 2 つの交差ノードを挟んでいる場合もある。また、図 2(c)の五叉路のように、複雑な交差点では横断歩道の間に複数の交差ノードが存在する場合もある。



(a)通常の交差点の例

(b)広い交差点の例

(c)複雑な交差点の例

図 2 横断歩道に挟まれた交差点の地図上での表現

### 3.3.2. 対応付け処理の流れ

交差点を認識した時点での自車位置を  $C_{pre}$  とする。 $C_{pre}$  と自車方向、および周辺の地図に基づいて交差点と地図上の点を対応付け、補正後の自車位置  $C_{post}$  を決定する。この対応付け処理の概要を以下に説明する(図 3)。

(1)交差点を認識し、 $C_{pre}$  に基づいて各横断歩道の位置を計算し、その中点を交差点の推定位置  $I_{pre}$  とする。

(2)自車位置と方向の差が小さい道路リンクのうち、 $I_{pre}$  との距離が最も小さい道路リンク  $l$  を選択する。

(3)  $l$  に隣接する道路リンクを両側に辿って交差ノードを探索する。この探索で見つかった両側の交差ノードを対応付けの候補とし、 $I_{pre}$  との距離が小さい方を対応付け基準となる道路ノード  $n$  とする。

(4)  $n$  から補正後の交差点位置  $I_{post}$  を決定する。 $n$  が近くの別の交差ノード  $n'$  と隣接しているときは、 $n$  と  $n'$  の中点を  $I_{post}$  とする。そうでなければ、 $n$  の位置

を  $I_{post}$  とする。

(5) 補正後の自転車位置  $C_{post} = C_{pre} + I_{post} - I_{pre}$  を計算する。

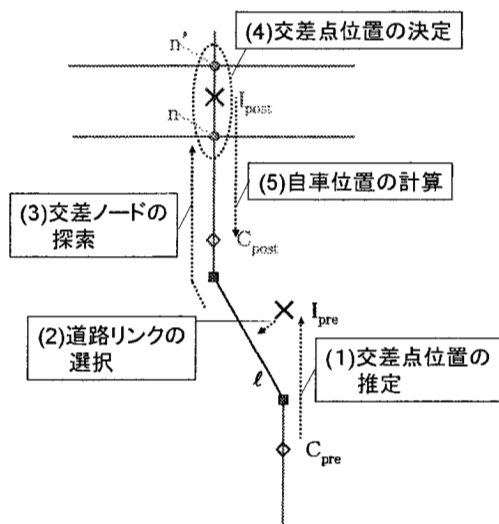


図 3 交差点対応付けの概要

#### 4. 交差点誤対応の回避

本節では、3 節に述べた位置補正手法における交差点対応付けの問題点を述べ、その問題点を解決するために設計したフィルタについて説明する。

##### 4.1. 交差点対応付けに関する問題点

3.2.3 節で述べたように、交差点の位置は、補正前の自転車位置に基づいて、地図上の点と対応付けられている。このため、補正前の推定誤差が大きいほど対応付けの判定を誤る可能性が高くなる。補正の頻度が高ければ誤差が蓄積されにくくなるため、補正の機会が多く得られることが望まれる。しかしながら、誤対応によって対応付け前よりも誤差が拡大した場合、以降の位置補正はさらに困難となる。そのため、補正機会を多く得ることよりも、誤対応を回避することを優先するべきであると考えられる。

誤対応は、別の交差点に対応付ける事例と、交差点位置がずれる事例に大別できる。別の交差点に対応付ける原因は、対応付け前の誤差によって、交差点位置が別の交差ノードの近くに推定されることであり、対応付け後の誤差は比較的大きい。このときの誤差が次の補正機会に対応付けを誤る原因となる可能性が高いため、特に問題となる。一方、交差点位置がずれる原因は、交差点に含まれる交差ノードの数が誤って判定されることであり、対応付け後の誤差は比較的小さい。

#### 4.2. 誤対応を回避するためのフィルタ

誤対応による誤差拡大を回避するため、対応付けの確度が十分でない場合に対応付けを中断するフィルタを設計した。本節では、設計した2つのフィルタについて説明する。

##### 4.2.1. 等距離フィルタの設計

図4のように、地図上の対応付け候補となる点が複数あり、交差点の推定位置との距離に明確な差がない場合、いずれの点への対応付けも確度が十分に高いと言えない。等距離フィルタは、このような場合に補正を中断するためのフィルタである。

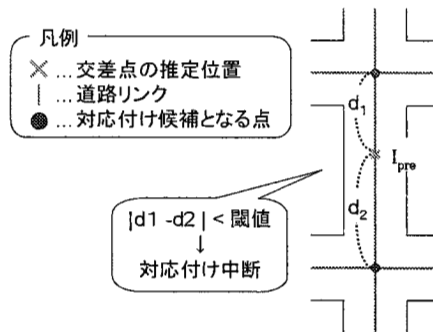


図 4 等距離フィルタで補正を中断する状況

##### 4.2.2. 細街路直交ノードフィルタの設計

図5のように、横断歩道の検出結果に基づいて交差点を認識したときに、対応付け候補となる点が

狭い道路と交差する点であった場合を考える。広い道路と狭い道路が交わっている場合、広い道路を横断するための横断歩道が、狭い道路を挟んで2つ設置されている可能性は、比較的低いと考えられる。そのため、狭い道路と交差する点に対する対応付けは誤りである可能性が無視できない。細街路直交ノードフィルタは、このような場合に補正を中断するためのフィルタである。

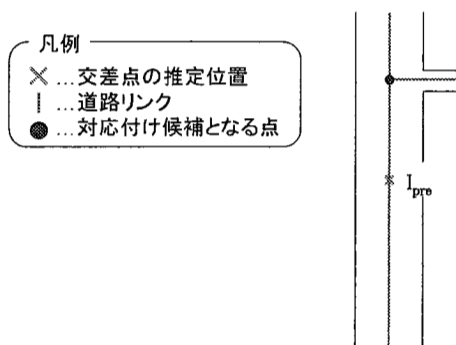


図 5 細街路直交ノードフィルタで補正を中断する状況

## 5. 対応付け精度の比較実験

3 節に述べた手法を基本アルゴリズムと呼ぶこととする。基本アルゴリズムと、それに対して 4 節で述べた各フィルタを適用したアルゴリズムについて、交差点对応付けの精度をシミュレーションによって比較した。

### 5.1. フィルタの評価基準

本実験において、対応付けを行う回数を  $M$  とす

る。その中で、基本アルゴリズムで正しい対応付けを行う回数を  $C_B$ 、誤った対応付けを行う回数を  $E_B$  とする。また、フィルタの適用によって中断される対応付けの回数を  $S_F$  とし、適用後の正対応および誤対応の回数をそれぞれ  $C_F$ 、 $E_F$  とする。ここで  $M=C_B+E_B=S_F+C_F+E_F$  である。

フィルタの適用によって中断される正対応の回数  $C_B-C_F$  は、中断される誤対応の回数  $E_B-E_F$  に対して少ないことが望まれる。そこで、全体の対応付け回数に対する誤対応の割合を誤対応率と呼ぶことにし、対応付け精度の指標とする。誤対応率は、基本アルゴリズムにおいては  $E_B/(C_B+E_B)$ 、フィルタを適用したアルゴリズムにおいては  $E_F/(C_F+E_F)$  となる。ここで、フィルタを用いて誤対応率を減少させた上で、通常の走行状態における誤対応の回数を 0 に近づけることが重要となる。

### 5.2. 入力データの作成

既存のカーナビおよび前方映像を取得するカメラを搭載した車両で市街約 30km を走行し、その推定自車位置と前方映像がおおむね一致するデータを作成した。このデータに対して、自車の進行方向に一定の誤差を注入することで、既存手法による位置推定結果に誤差が含まれている状況を再現する。これまでの走行実験による経験では、既存手法における推定誤差は通常 20m 以内である。そこで、その倍の誤差までを想定し、10m 刻みに後方 40m(以下では-40m と書く)から前方 40m(以下では+40m と書く)までの誤差を注入し、9 種類のデータを作成して、シミュレーションを行った。

表 1 基本アルゴリズムの対応付け精度

注入誤差[m]	-40	-30	-20	-10	0	+10	+20	+30	+40
正対応回数 ( $C_B$ )	26	34	45	49	49	47	42	30	20
誤対応回数 ( $E_B$ )	25	17	6	2	2	4	9	21	31
誤対応率 $\left(\frac{E_B}{C_B+E_B}\right)$	0.4901	0.3333	0.1176	0.0392	0.0392	0.0784	0.1764	0.4117	0.6078



表 2 等距離フィルタの対応付け精度

注入誤差[m]	-40	-30	-20	-10	0	+10	+20	+30	+40
正対応回数( $C_F$ )	22	32	42	47	45	47	39	29	19
誤対応回数( $E_F$ )	20	9	3	2	2	3	7	17	27
補正中断回数( $S_F$ )	9	10	6	2	4	1	5	5	5
誤対応率 $\left(\frac{E_F}{C_F+E_F}\right)$	0.4761	0.2195	0.0666	0.0408	0.0425	0.0600	0.1521	0.3695	0.5869

表 3 細街路直交ノードフィルタの対応付け精度

注入誤差[m]	-40	-30	-20	-10	0	+10	+20	+30	+40
正対応回数( $C_F$ )	13	20	28	30	30	30	27	19	11
誤対応回数( $E_F$ )	10	6	2	0	0	0	0	2	7
補正中断回数( $S_F$ )	28	25	21	21	21	21	24	28	32
誤対応率 $\left(\frac{E_F}{C_F+E_F}\right)$	0.4347	0.2307	0.0666	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1739	0.4210

### 5.3. 実験結果

#### 5.3.1. 基本アルゴリズムの対応付け精度

基本アルゴリズムの対応付け精度を表 1 に示す。表 1 によると、注入誤差 0 のときと注入誤差を+10m にしたときに 2 つずつの誤対応が起こっている。これらは交差点位置がずれたものであり、対応付け後の誤差は最大でも 10m である。一方、注入誤差が前後 20m 以上のときは別の交差点に対応付けており、対応付け後の誤差は、対応付け前に比べて最大で 2 倍近くに拡大している。

#### 5.3.2. 等距離フィルタの対応付け精度

距離差が 5m 以内であれば等距離であるとするように設定し、等距離フィルタを適用した。

等距離フィルタを適用したアルゴリズムの対応付け精度を表 2 に示す。表 2 によると、注入誤差を 0 および前後 10m としたときに、基本アルゴリズムよりも誤対応率が増えている。一方、誤差を前後 20m 以上としたときは誤対応率が減っている。

等距離フィルタの目的は別の交差点に対応付ける誤対応を回避することであるため、誤差 20m 以上で効果があるが、誤差が小さくそのような問題の出ない状況では、誤対応を回避する効果が見られない。一方で、正しい補正を何度か中断しているため、誤対応率が増加している。

#### 5.3.3. 細街路直交ノードフィルタの対応付け精度

細街路直交ノードフィルタを適用したアルゴリズムの対応付け精度を表 3 に示す。表 3 によると、全ての状況で基本アルゴリズムよりも誤対応率が減少している。特に、誤差-10m から+20m の範囲では誤対応率が 0 となっている。

#### 5.3.4. 両フィルタ併用時の対応付け精度

両フィルタを併用したアルゴリズムの対応付け精度を表 4 に示す。表 4 によると、誤差-40m 以外の全ての状況で表 1~3 よりも誤対応率が減少している。

表 4 両フィルタ併用時の対応付け精度

注入誤差[m]	-40	-30	-20	-10	0	+10	+20	+30	+40
正対応回数 ( $C_F$ )	10	18	27	30	30	30	24	19	11
誤対応回数 ( $E_F$ )	9	3	1	0	0	0	0	2	7
補正中断回数 ( $S_F$ )	32	30	23	21	21	21	27	30	33
誤対応率 $\left[\frac{E_F}{C_F+E_F}\right]$	0.4736	0.1428	0.0357	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0952	0.3888

#### 5.4. 考察

2つのフィルタを適用した場合の誤対応率(表 2~4)を見ると、基本アルゴリズムに比べて改善されている。このことから、それぞれのフィルタが対応付け精度の向上に有効であることが分かる。

次に2つのフィルタの正対応回数を比較すると、等距離フィルタの方が高い数値を示している一方で、細街路直交ノードフィルタでも30回程度を維持できている。また誤対応回数を見ると、細街路直交ノードフィルタでは、通常の走行条件と考えられる誤差20m以内で誤対応回数0を実現している。

本手法では、正対応回数の維持よりも誤対応の回避を優先するため、細街路直交ノードフィルタが有望であると考えられる。また、誤差が通常の範囲を超えている場合でも、誤対応が発生する可能性を低く抑えることが望まれる。細街路直交ノードフィルタに等距離フィルタを併用することで、こういった場合でも誤対応率が減少することが分かる。

これらの結果より、両フィルタの併用によって交差点の誤対応を回避しながら、補正回数を高く維持できることを確認した。本補正手法を用いることで、直進時でも自車位置を補正する機会を得ることができる。これによって、自車位置の推定誤差が拡大して案内表示にずれが生じる問題を大きく改善できる見込みが得られた。

#### 6. おわりに

カメラ画像に基づいて交差点位置を特定する位

置補正手法について、交差点と地図上の点との対応付け精度を向上させるフィルタを開発した。開発したフィルタでは、対応付けの確度が十分でない状況を識別し、補正を中断する。このフィルタの有効性をシミュレーションによって確認し、本補正手法を実用化する見込みを得た。

今後は、実際の走行時における誤差拡大の傾向を分析し、本手法をさらに改善する予定である。

- [1] 安田明生: “GPS 技術の展望”, 電子情報通信学会論文誌, vol. J84-B, no.12, pp.2082-2091, December 2001.
- [2] 木内大介: “プローブカーデータのリアルタイムマップマッチング”, 名古屋大学大学院修士論文, February 2006.