

Multi Angle Vision™による 自己位置推定技術

Self-Position Estimation Technology using Multi Angle Vision™

長谷川 渉
Wataru HASEGAWA

松元 利裕
Toshihiro MATSUMOTO

杉山 裕一
Yuichi SUGIYAMA

岸田 正幸
Masayuki KISHIDA

要旨

自動運転に向けた開発のなかで、駐車に関するニーズは高く、当社でも Multi Angle Vision™ を使った駐車関連のシステム開発が進めている。現在、駐車操作の一部をサポートする支援システムが、すでに市場に現れている。今後、一層の自動化が進み、自動運転を含む駐車システム（自宅駐車、自動バレーパーキングなど）から、やがては一般車混在の駐車場でも適用可能な自動駐車へと拡大・進化してゆくと考える。この進化に伴い、より精密な車両制御が求められ、同時に高精度な自己位置推定技術が必要となる。

この稿では、Multi Angle Vision™ に自己位置推定技術である映像測位技術と地図を同時に作成する技術 Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) の適用を想定し、その際、カメラ間の同期ずれが及ぼす位置精度への課題について対策方法を提案する。

Abstract

The needs for parking are high among the development for autonomous driving. DENSO TEN has proceeded with system development related to automatic parking using Multi Angle Vision™. An assistance system which partially supports parking operation already appears in the market now. In future, as automation moreover advances, the automation will expand and evolve from the parking system including autonomous driving (home parking, autonomous valet parking and others) into the automatic parking which can apply to the parking places even with ordinary vehicles. In accordance with this evolution, high-accuracy self-position estimation technology as well as more precise vehicle control is required simultaneously.

We assume application of Simultaneous Localization and Mapping (SLAM), the technology which estimates the self-position with the image measurement technology and creates the map simultaneously, to Multi Angle Vision™, and we propose the measure for the problem of positional accuracy affected by the synchronizing gap between cameras.

1. はじめに

自動運転に向けた開発のなかで、駐車に関するニーズは高く、当社でも Multi Angle Vision™ を使った駐車関連のシステム開発を進めている。現在の駐車支援システムから、将来的には自宅での完

全自動駐車や自動バレーパーキング（Autonomous Valet Parking）といった駐車を自動で行うシステムや自宅駐車に向けて展開していくことが予想されている。

将来の自動駐車では、駐車格納だけでなく、格納場所への自動運転が必要である。一般での駐車

スペースの状況を鑑みると、自動バレーパーキングでの高密度格納や狭小敷地での自宅駐車も考慮する必要があるため、高精度な車両制御が必要である。その実現のためには高精度な自己位置推定が必要となる。現在の自動運転実験における位置計測には、主にLiDAR (Light Detection and Ranging) が使われる。測定精度や分解能が高いが、高額であることから広く普及するまでには時間を要する。一方で弊社製品であるMulti Angle Vision™ は、車両の全周囲を死角なく監視できるモニタシステムとして認知され、装着車も徐々に増加している。これを位置測定のためのセンサとして利用することはコストメリットとしても優位である。

画像による自己位置の測定においては、映像測位技術と地図作成技術を活用することが多い。画像から自己位置推定と周辺の地図作成を同時遂行する技術で、ロボットや玩具などに搭載され、AR/VR技術や三次元の物体測定などさまざまなアプリケーションへと使われている。一方車載用途としては、主に前方監視や物体認識が主流であり、駐車用途に向けた自己位置推定の活用は、これからの技術となる。

Multi Angle Vision™ のカメラで映像測位技術と地図作成技術を活用するうえでの課題もある。特にMulti Angle Vision™ では、カメラのシャッタータイミングが同期されていないため、位置誤差の原因となることが予想されている。この稿では、これらの課題についての解決策について示し、将来のMulti Angle Vision™ による自己位置推定技術について述べる。

1.1 将来の自動駐車システム

現在、駐車を支援するさまざまな機能が、車両に搭載され始めている。多くは、駐車格納位置までの操舵を支援する機能で、駐車枠や周辺状況を把握した上で、ドライバーに代わりハンドルを操作する。

駐車支援システムは、これをスタートに徐々に複雑な対応が可能となるよう進化していくものと予想する（図1）。

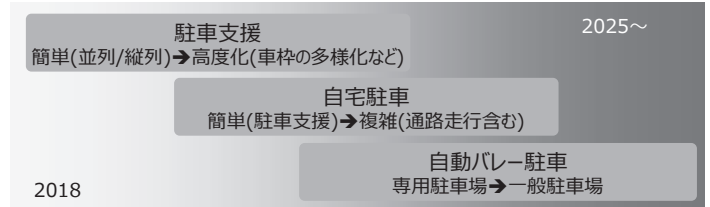


図1 駐車機能の進化

次のステップは自宅駐車と考える。日々の車両運行において、駐車場の出し入れは必須の操作である。しかし都市部や密集した住宅地では、そもそもの宅地面積が狭いなど駐車が非常に難しい場合がある。例えば、道路幅が狭い、交通量が多い、入口付近に障害物（電柱や標識など）があるなど、さまざまな難点があげられる。このため自宅駐車が、ドライバーの大きなストレスとなることがある。

自宅駐車システムは、格納を自動化するシステムであり、難度の高い自宅駐車においてもスムーズな収納を実現し、ドライバーの負荷を軽減する。図2は自宅駐車のイメージ図である。ドライバーは、一旦停車しやすい場所に停車した後、駐車システムを起動する。システムは、自己位置を測定し、格納場所までの軌道を算出、周囲状況を確認しつつ駐車動作を行うものである。

都市部や住宅密集地では、図2のように一般道から格納場所までが近い場合もあるが、比較的長い距離を移動するものについても、適用できるよう自動運転を併用する。

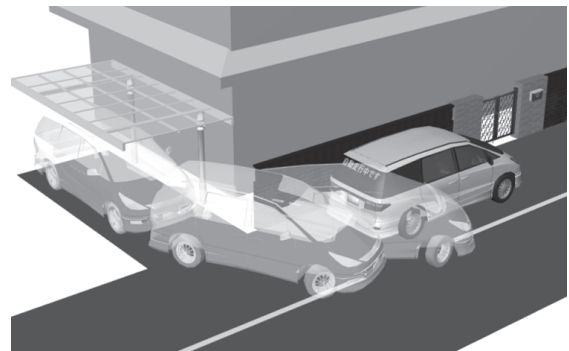


図2 自宅駐車のイメージ

自宅駐車では、通路や駐車領域に十分な広さが確保されていない場合もある。よって自車の位置を正確に把握することが重要である。

次の段階は自動バレーパーキングシステムを想定している。海外のホテルなどでお目にかかることの多いバレーパーキング (Valet Parking) は、客の車両を従者やボーイ (Valet) が玄関など降車位置より預かり格納し、出庫時には再び玄関など乗車位置まで移動させるサービスである。これを自動運転技術及び自動駐車技術により自動化したものが自動バレーパーキングシステムである。降車位置以降での車両の制御権をユーザより借用し、以降の移動／駐車領域への格納操作／呼び出しを受けての乗車場までの移動をシステムの制御下で行うものである。現在、車両メーカーや国プロなどにおいて研究が進められている。

図3は自動バレーパーキングシステムの想像図である。中央の車両から乗員全員が降車したあと、ドライバーからシステムに制御が移り、専用の駐車領域内を自動で走行し駐車する。

初期の段階では、適用車両だけを格納する専用駐車場での運用から着手し、ゆくゆくは非適用車や歩行者も存在する一般駐車場での運用を想定している。

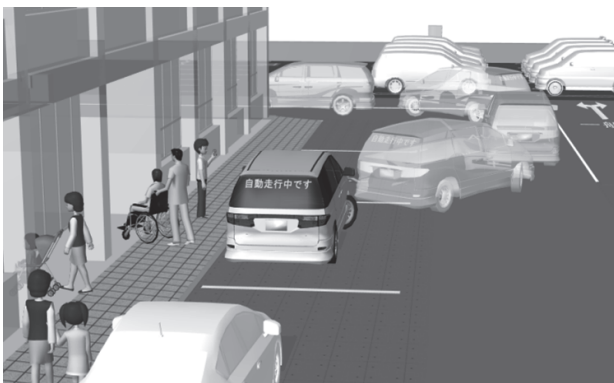


図3 自動バレーパーキングの想像図

専用駐車場での格納は、ユーザの車両への乗り降りが不要で車両周囲に乗降車スペースを確保する必要がないため、一般の駐車より高密度に車両格納することが期待されている。そのためにはより精密な車両の位置制御が重要な課題となる。

このように、今後の駐車システムの進化においては、周辺環境を読み取り自己車両の位置を正確に把握することが重要な課題といえる。

2. Multi Angle Vision™による自己位置推定

カメラを装備した Multi Angle Vision™ への自己位置推定には、映像測位技術を適用することが妥当と考える。Multi Angle Vision™ には、車両の周辺を撮影するためのカメラ4台があり、死角を極力なくすよう配置されている。四方向で自己位置推定と地図作成を同時に行うことで、周辺環境が把握しやすい道路だけでなく、自宅駐車などの複雑環境下でも自己位置推定精度の向上が期待できる。また、ハレーション等により周辺状況が把握できない場合でも、カメラの光軸方向が複数あることで、光学環境に対するロバスト性の向上も期待できる。

2.1 映像測位技術の測定原理

映像測位技術の例として、ステレオ法、モーショ NSTEレオ法について概要を示す。

視差のある画像を右目と左目におのおの見せることで立体感を得られることから、Wheatstone (1802-1875) はステレオスコープ (立体鏡) を発明した (後々音響などでのステレオの語源となった)。この原理を発展させ物体までの距離方位を測定しているのが三角測量である。

平面上の三角形が、底辺とその両端の角度が求まることで頂点の位置を求めることができる（ステレオ法）。つまり同じ領域を視野に持つよう並行に置かれた2台のカメラ（ステレオカメラ）で、同じ対象物の方向を測定する。カメラ間の距離は既知なので、対象物までの距離と方向を求められる（図4）。

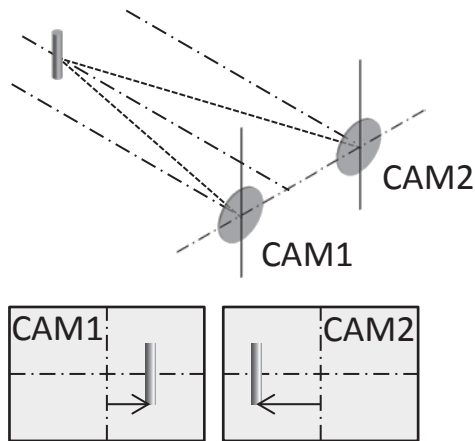


図4 ステレオ法

同じ原理で、1台のカメラで位置を変え二度撮影することで、同様に座標を求めることができる。1台のカメラが移動しステレオ法を適用するので、これをモーションステレオ法という（図5）。

ステレオ法の三角測量では、カメラによる両端角度が計測され、底辺長は固定されているため既知である。一方、モーションステレオ法では移動が必要で、移動量が底辺長となる。だが通常の場合、移動距離・方向は不明なため、初期段階では、任意の値を用いる。そのため座標値は相対値となる。これを絶対値化するためには、既知のマップにマッチングさせて縮尺率を求めなければならない。

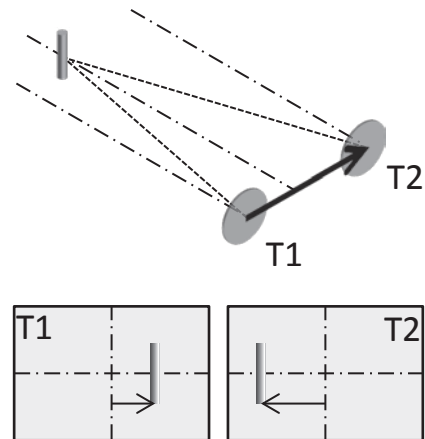


図5 モーションステレオ法

ステレオ法又はモーションステレオ法において重要な課題は、二枚の画像から、同じ物標を選択することである。そこで画像中から幾つの特徴的な箇所を探索し、両者を突き合わせる処理を行う。この箇所のことを特徴点、合致に関する値を特徴量という。

組み合わせられた特徴点を元に、ステレオ法により三次元座標に変換する。1フレームの画像から多数の三次元座標点を得られる。これらの物標の座標を累積し保存することで、周囲の地図を作成することができる（地図作成技術）。同時に地図から逆算することで、自身の位置を特定することが可能である。これを一般に Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) という。モーションステレオ法を使用した SLAM の基本構造を示す（図6）。移動による比較を行うため、前回の特征点を引用している。

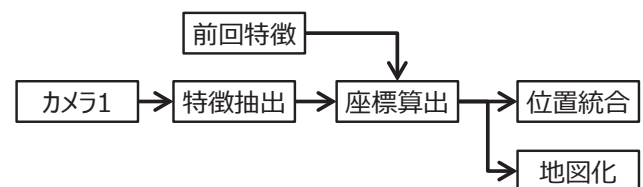


図6 モーションステレオ法による SLAM の構造

2.2 カメラ間の同期問題

Multi Angle Vision™ のカメラはステレオカメラではないため、自己位置推定を行うのであれば、モーションステレオ法による SLAM を用いることになる。カメラで撮影したイメージを元に、自己位置を求める自己位置推定技術なので、いつ取得したイメージなのか把握することが重要になる。

カメラは一般的に、1 秒間に 30 枚のイメージを撮影する。これを秒あたりのフレーム数（フレーム率）として fps（frame per second）で表す。カメラは、撮像素子が入り込んだイメージを 1/30 秒つまり 33.3ms ごとに送り出している。そしてそのタイミングは通常、カメラ自身が独立に制御している。任意のタイミングで送り出された映像信号は、ECU の映像キャプチャ機能により映像として取り込まれるが、どのタイミングで取得されたイメージであるかは分からないのである。

Multi Angle Vision™ には 4 台のカメラが搭載されているが、このため取得タイミングは、33.3ms の範囲で不明となっている。演算のために同じタイミングで画像を要求しても、実際にはカメラ独自の撮影タイミングで取得された映像が送られることになる。

車両が移動中では、カメラおのおのの示す自己位置が異なることになる（図 7）。この差は、33.3ms での移動距離に相当する。

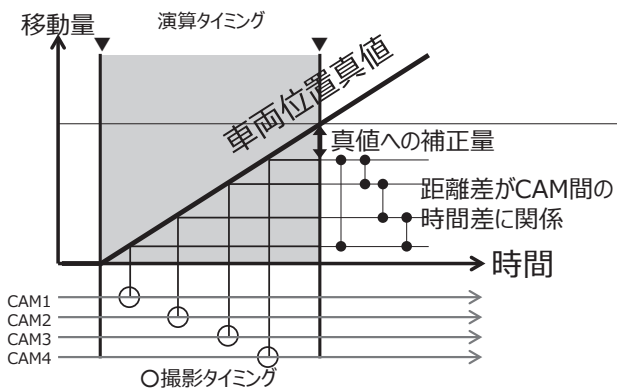


図 7 フレーム内タイミング差と誤差の関係

30fps での単フレームの時間において、移動速度と誤差を示す（図 8）。実車両において、いわゆるクリーピング速度（5～20 キロ）を仮定すると、その誤差は 5～20cm となる。仮に目標誤差 $\pm 10\text{cm}$ とすると、大きい値である。

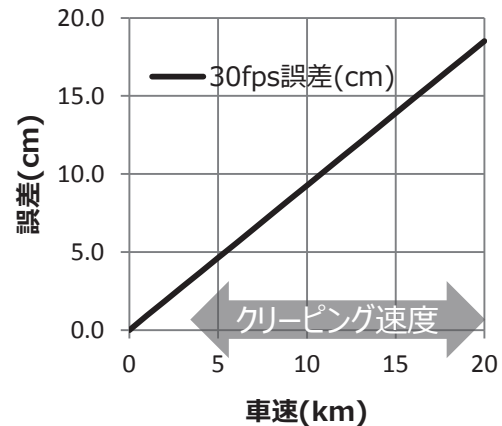


図 8 単フレームでの位置誤差

このような測定タイミングに関わる誤差発生現象は、周期的な測定を行う、どのようなセンサシステムを用いても問題となることがある。

特に高い精度で自己位置を測定する場合、影響が大きい。逆説的に Multi Angle Vision™ においては、そもそもモニタリングのための装置であり、そこまで厳密である必要がないため、イメージの取り込みに関しタイミングを重要視していない。現状、このシステムではカメラ同士の同期撮影機能を搭載していない。

2.3 カメラ同期方法

撮影のタイミングを精密に制御する必要がある場合、一般的にはカメラの撮影タイミングを外部から制御するハードウェアを採用する。専用の同期機能を装備したカメラで、古いアナログ制御では同期信号を別途供給する必要がある。またデジタル式の場合は、コマンドで制御する方法がとられる。いずれの場合もカメラなど、機能追加されるためコスト増となる。

もう一つの方法は、ハード構成は現状のまま、

タイミングずれをソフト的に処理し補正するものである。

2.3.1 ソフト同期案1

ソフト的な補正機能を備えた Multi Angle Vision™ への SLAM 機能搭載のための構成案を示す (図 9)。各カメラ映像から自己位置座標を算出する。この座標にはカメラタイミングのずれによる位置差が加わっている。このときおのこのカメラからの自己位置を比較することで同期ずれに伴う位置補正量を算出し、フィードバックすることで精度を保持する案である。

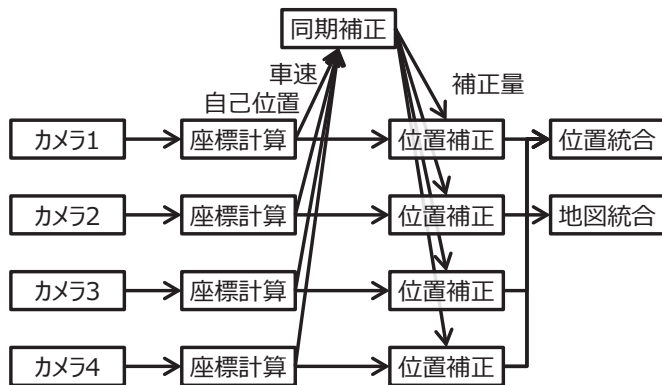


図9 ソフト同期案1の構成

カメラタイミングがずれた状態での自己位置の出力を示す (図 10)。車両が移動を始める瞬間、1フレームあたりの移動量にタイミングのずれに伴う値の乱れが生じる。この乱れを測定することで、カメラタイミングのずれを逆算することが可能となる。

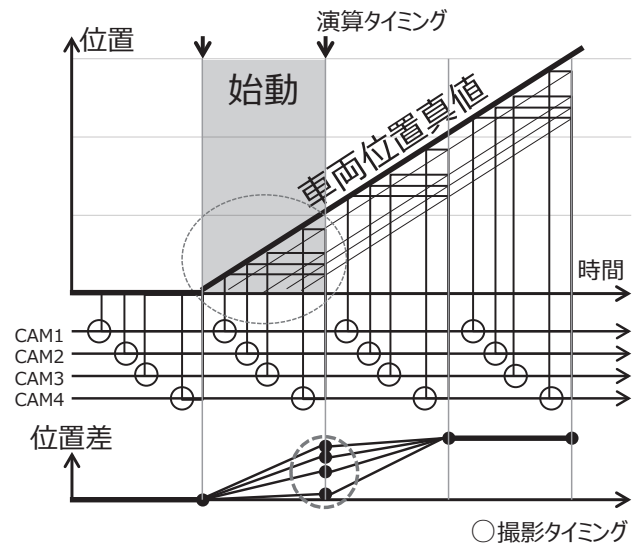


図10 同期ずれの測定案

この案は、SLAM の構造と切り離して補正するため、構造が簡単で、位置測定の種類に依存しないという利点がある。一方で次の懸念事項がある。

- ・同期ずれを検出できるタイミングが0速度の後1フレームしかないため、検出見落としや測定精度不足が懸念される
- ・始動時の加速が低い場合、位置差が小さく、同期ずれの精度が低下する

2.3.2 ソフト同期案2

案1の懸念点である測定量の少なさを回避するため、特徴点側のずれを直接測定するのが、次に示す案2である。

Multi Angle Vision™ カメラの視野を車両上面より図示した(図11左)。おのこの隣接するカメラは、視野が重複している。重複領域に存在する特徴点の座標は、それぞれのカメラのタイミングによってずれを生じている。そこで各カメラが捉えた重複領域内の特徴点を比較し、同一の特徴点を組み合わせる。おのこの位置差分が、同期のオフセットに相当するのである。

このように特徴点で演算することで、随時計算が可能であること、また複数同時に取得できることで、誤差を軽減することが期待できる。

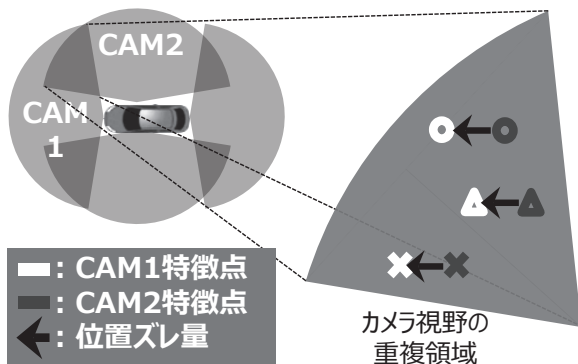


図 11 視野重複部での特徴点座標の比較

案 2 の構成を図 12 に示す。各カメラ映像は、まず特徴点の三次元座標を算出する。その結果を同期検知において、重複部分だけフィルタリングし、特徴量を基に組み合わせを求めた上で位置差分を求める。位置差分と車速から位置補正量を求め、カメラごとの結果を補正する。結果を統合し、地図および自己位置に変換する。

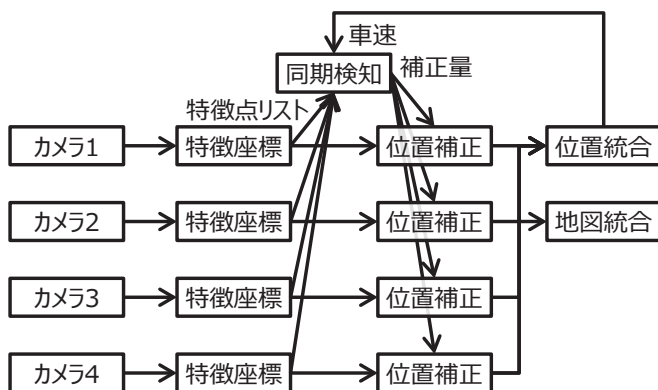


図 12 ソフト同期案 2 の構成

この案は、案 1 の懸念に対処しているが、同時に SLAM の内部処理に入り込むため構造が複雑になる。

3. まとめ

将来の自動駐車システムにおいて、車両制御の精度が重要であることを示した。それに対応するために Multi Angle Vision™ への自己位置推定技術の搭載について、精度への影響が懸念され

るカメラ間の同期方法について、ソフト的な二手法について示した。おのにおに利点・欠点はあるが、今後これらの案を検証することで Multi Angle Vision™ への高精度な位置推定機能の搭載を目指していきたい。

- ・ Multi Angle Vision™ は、株式会社デンソーテンの商標です。

筆者紹介



長谷川 渉
はせがわ わたる

VICT 技術本部
先行システム開発室



松元 利裕
まつもと としひろ

VICT 技術本部
先行システム開発室



杉山 裕一
すぎやま ゆういち

VICT 技術本部
先行システム開発室



岸田 正幸
きしだ まさゆき

VICT 技術本部
先行システム開発室