

ビジュアルデッドレコニングによる全方向移動車の オドメトリ精度の改良

祖父江 誠, 永谷 圭司, 田中 豊
岡山大学 システム工学科

Improvement of Odometry for Omnidirectional Vehicle using Optical Flow Information

Makoto Sofue, Keiji Nagatani and Yutaka Tanaka
Systems Engineering Dept., Okayama Univ.

Abstract— Our research goal is to realize a robust navigation in indoor and outdoor environment for autonomous vehicle. An omnidirectional vehicle driven by four Mecanum wheels was chosen for our research platform. It has a disadvantage of odometry because of wheels' slippage. Particularly, it generate different traveling distance according to a friction of a ground surface, when the robot moves laterally. To cope with the problem, we estimate robot's position by detecting optical flow of ground image using vision sensor (visual dead-reckoning). Therefore, the estimated vehicle position can be improved by fusing odometry and visual dead-reckoning based on maximum likelihood technique.

Key Words: Visual Dead-Reckoning, Odometry, Omnidirectional Vehicle, Sensor fusion

1. はじめに

本研究の目的は、室内や屋外環境下における、自律走行車のロバストなナビゲーションの実現である。狭い通路のナビゲーションや障害物回避を考慮すると、全方向移動車を利用するメリットは大きい。そこで筆者らは、自律走行の研究プラットフォームとして、4つのメカナムホイールで駆動される全方向移動車を使用することにした。

さて、ロバストなナビゲーションを実現するためには、ポジショニングが重要である。オドメトリは、このポジショニングを行う上で、実装が簡単かつ精度が良いという利点を持つが、オドメトリによって推定する位置情報には、車輪のスリップや地面の凹凸によって誤差が累積するという問題がある。特に、全方向移動車の横方向への移動においては、この誤差による影響が大きい。

このオドメトリによる位置誤差を減少させるため、本研究では、CCDカメラを床面に向けて設置し、地面の画像のフローを検知することで、オドメトリとは独立に位置情報を得ることにした。さらに、ここから得られる位置情報と、オドメトリから得られる全方向移動車の位置情報を融合することで、ロボットの位置情報の改良を行う。本稿では、これらのセンサ情報の融合手法について述べると共に、推定位置融合のための基礎実験について報告する。

2. メカナムホイールを用いた全方向移動車のオドメトリ

2.1 使用する全方向移動車

本研究で使用する全方向移動車は、Fig.1に示すように4つのメカナムホイールを有する。これらのホイー

ルの外周には、軸に対して45°傾いたローラが16個取り付けられているため、各ホイールを独立に制御することにより、全方向移動が可能となる。

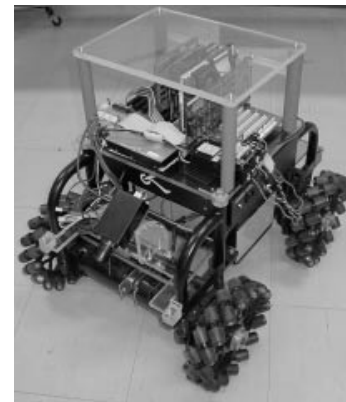


Fig.1 Autonomous Omnidirectional Vehicle

2.2 オドメトリ手法

本研究で使用する全方向移動車は、一般に電動車椅子として販売されているものであるため、ジョイスティックを用いて走行させることができる。このマニュアル走行において、全方向移動車の移動する方向と車輪の回転を観察すると、各ホイールは、回転方向に対して斜め方向に推力を発生しているように見える。そこで、車輪の回転量に対して、仮想移動ベクトル θ を定義し、実際の全方向移動車の移動量を、各車輪の仮想移動ベクトルの合成と考えた（この点に関する考察については¹⁾に示した）。また、各車輪の移動量については、それぞれのホイールに取り付けたロータリエンコーダから得ることができる。ちなみに、P-Tile上において、仮想移動ベクトルがホイールの回転方向となす角度 θ は、実験の結果より、およそ43°であった。

2.3 オドメトリの問題点

一般に、ロボットが走行する路面が変化すると、路面とホイールとの摩擦の大きさが変化し、オドメトリには誤差が生ずる。特に、メカナムホイールを用いた全方向移動車では、車体が横方向に移動する際、この摩擦の大きさの変化が位置推定に大きく影響する。実験の結果、メカナムホイールを用いて横方向に走行した場合、カーペットの上では、P-tile 上と比較して5パーセント以上の距離誤差が生じることがわかった。

この路面の誤差に対応するため、本研究では、次節で述べるビジュアルデッドレコニングを利用することにした。

3. ビジュアルデッドレコニング

走行環境が水平面であると仮定すれば、床面の1点の位置は、画像上の1点に投影することができる。したがって、全方向移動車の前方に CCD カメラを設置し、画像中の各点が、一定時間内にどの点に移動したかを測定することにより、全方向移動車の速度および角速度を算出することができる。この画像処理については、オプティカルフローを計算する専用的高速画像処理ボード (FUJITSU Tracking Vision) を使用することにした。なお、現段階の実装では、縦/横方向のみの位置推定が実現されており、回転方向の推定は考慮されていない。

4. 2種類の推定位置情報の融合

メカナムホイールを用いた全方向移動車のオドメトリは、床面の摩擦の大きさの変化に大きく影響を受ける。一方、ビジュアルデッドレコニングは、床面とホイールとの摩擦の影響を受けないという利点を持つ反面、画像の量子化誤差の影響が大きいという欠点を有する。そこで、本研究では、この2つの位置推定結果を融合し、より精度の高い位置推定手法を目指すことにした。

4.1 2つの位置推定手法のモデル

本研究では、2つの推定位置の情報を融合するため、各位置推定手法から得られる全方向移動車の位置情報を、推定位置および共分散行列を用いて表すことにした。これらのモデルに関する計算式については、¹⁾にて詳しく述べられている。

4.2 位置推定の実験

上記の手法の有効性を検証するため、オドメトリ、およびビジュアルデッドレコニングを用いた簡単な位置推定実験を行った。ここでは、ジョイスティックを用いて全方向移動車を横方向に約5メートル走行させる。この間、オドメトリおよびビジュアルデッドレコニングによる全方向移動車の位置情報は逐次記憶される。ただし、実験環境としては、走行経路の前半はコンクリート、後半は人工芝とした。

実験の結果、Fig.2に示す誤差楕円を生成することができた。なおこの図では、表示が煩雑にならないように、走行開始位置を縦方向に並べて表示している。また、オドメトリ、およびビジュアルデッドレコニングに関して生ずる誤差のパラメータについては、実験的に求めた。

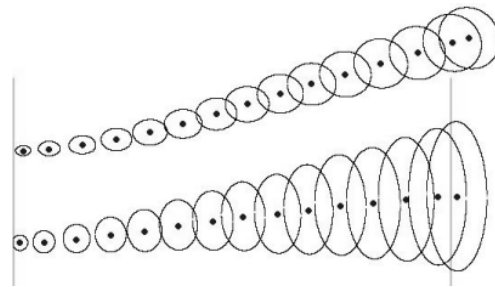


Fig.2 Experimental Result : Error Ellipsoid

4.3 最尤推定によるセンサ情報の融合

次に、ここで得られた2つの推定位置情報を、最尤推定を用いて融合する手法を述べる。オドメトリより得られる共分散行列を $\Sigma_{op}[t]$ 、またビジュアルデッドレコニングより得られる共分散行列を $\Sigma_{vp}[t]$ とする。これらの情報を最尤推定 (下式) を用いて融合することで、推定位置の精度を向上することができる。

$$\Sigma_{fu} = (\Sigma_{op}[t]^{-1} + \Sigma_{vp}[t]^{-1})^{-1} \quad (1)$$

全方向移動車の推定位置は、この Σ_{fu} を用いることで、以下の式より計算できる。

$$\hat{P}_{fu} = \Sigma_{fu} \Sigma_{vp}^{-1} \hat{P}_{su} \quad (2)$$

ここで、 \hat{P}_{su} は更新前の推定位置、 \hat{P}_{fu} は更新後の推定位置を示す。

この式を Fig.2 に示した実験に適用した結果を Fig.3 に示す。これより、ビジュアルデッドレコニングからの情報により、全方向移動車の推定位置が向上している様子が分かる。

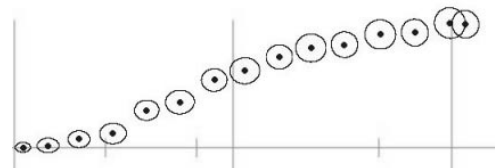


Fig.3 Experimental Result : Fusion Result

5. 結論と今後の課題

本研究では、メカナムホイールを用いた全方向移動車のオドメトリ、およびビジュアルデッドレコニングの実現方法を述べた。また、最尤推定を用いて2つの情報を融合する手法について述べ、簡単な実験を通じて、この手法の有効性を確認した。

現在、問題となっている点は、ビジュアルデッドレコニングの精度の低さである。現時点では、相関を求める探索空間が比較的狭いため、十分な精度が出ておらず、また全方向移動車の走行速度も限られている。今後、適切な探索空間のサイズを導出し、この精度を向上させる必要があると考えられる。

参考文献

- 1) K.Nagatani, S.Tachibana, M.Sofue, Y.Tanaka: "Improvement of Odometry for Omnidirectional Vehicle using Optical Flow Information", Proc. of IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems 2000 (予定).