

ジャイロとオドメトリのセンサ融合による 頑強なデッドレコニングの実現とその応用

Robust Dead Reckoning by Fusion of Gyro and Odometry

前山 祥一 (筑波大)

大矢 晃久 (筑波大)

油田 信一 (筑波大)

Shoichi MAEYAMA, Intelligent Robot Lab., University of Tsukuba, 305-8573 Japan

Shin'ichi YUTA, University of Tsukuba

Abstract- We propose a robust navigation of a mobile robot using dead reckoning by fusion of gyro and odometry. Our dead reckoning system can detect the irregular condition such as traveling over a small obstacle under the wheel, slipping and skidding. If the robot detects the irregular situations, the robot can understand that the error including the estimated position has much larger and correct its position by next landmark much more.

Key Words : Sensor fusion, Mobile robot, Position estimation, Dead reckoning, Odometry, Gyro

1 はじめに

本稿では、ジャイロとオドメトリのセンサ融合によるデッドレコニングを用いた、路面の凹凸に対して頑強な移動ロボットのナビゲーション方法を提案する。さらに、路上の小さな凸状障害物を乗り越えた場合についてのナビゲーション実験を行い、本手法の有効性を確認したので報告する。

2 路面の凹凸に頑強なデッドレコニング

車輪の回転量を積算して初期位置からの移動量を計算する方法をオドメトリと呼ぶ。オドメトリはシステムが簡単なため、多くの移動ロボットで利用されている。車輪径や車輪間隔などのパラメータを丁寧に調整すれば、短距離であれば良い精度が得られる。推定位置の誤差は、一般に、走行距離が長くなるにつれて累積し増大していく傾向がある。したがって、長距離の走行を実現するには、ランドマークなどを利用して、累積誤差をキャンセルする必要がある。デッドレコニングとランドマークによる位置修正の組合せで長距離のナビゲーションが可能であるが、この方法がうまく働かない場合もある。それは、進行方位の推定精度が急激に悪化した場合などである。これは、例えば、片方の車輪だけが予想以上に大きく空転した場合などに起こる。

一方、ジャイロは、振動運動する物に働くコリオリの力等を観察することにより角速度を測定するセンサである。角度は、角速度測定値の積算で求められる。しかしながら、

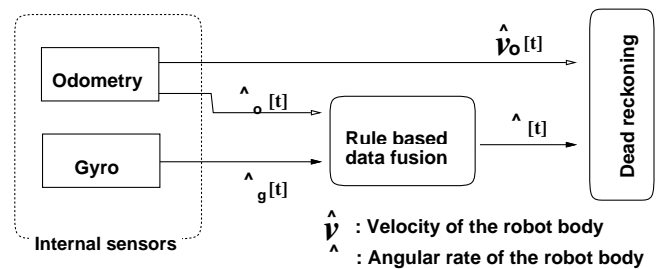


Fig. 2: Block diagram of dead reckoning system by rule-based fusion of odometry and gyro

一般に、角速度がゼロの時の値が時間とともにドリフトする傾向があるため、安価なジャイロ単体では、ロボットの進行方位を求めるのに十分な精度が得られない。

そこで、我々の研究グループでは、オドメトリに加えてジャイロを補足的にセンサ融合することで、路面の凹凸などによるスリップや横滑べりの影響を受けにくいデッドレコニングを提案した [1]。我々の提案した手法は、精度よりも信頼性の向上をねらったものである。通常走行時の精度はオドメトリ単体とさほど変わらないが、車輪に大きな空転などが起こった場合にそれを検出することとそのような現象による進行方位の測定精度の劣化を押えることができる。また、システムとしては、簡単、小さい、低消費電力、かつ、安価であるという長所を有する。

そのアルゴリズムを以下に述べる。まず、ロボットの走行状態を、通常状態と異常な状態の二つの状態に分類した (Fig.1)。そして、オドメトリとジャイロ各々の角速度測定値を比較することでどちらの状態にあるかをルールに基づいて判別し、通常状態と異常な状態で各々別の計算方法で角速度等を計算するようにした (Fig.2)。通常状態と判定された場合は、オドメトリとジャイロの角速度測定値を融合して角速度を決定し、同時にジャイロのバイアスドリフトを推定する。通常状態の間このような操作を行うと、オドメトリとジャイロ各々の角速度値がほぼ同じ値になるように保つことができる。この状態を保っておくと、ジャイロ

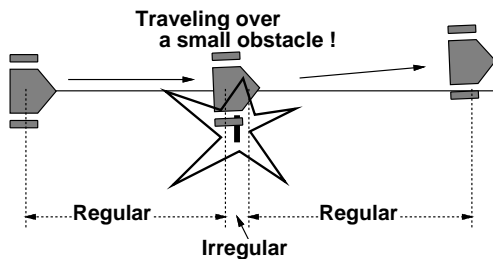


Fig. 1: What is irregular situation ?



Fig. 3: Experimental environment and the autonomous mobile robot “YAMABICO NAVI”

とオドメトリによる角速度差が大きく異なるのは、車輪の空転等の異常な状態の場合だけになる。そこで、両角速度測定値が大きく異なる場合は異常な状態と判断し、その際は、角速度の測定値としてはジャイロの値のみを採用する。ジャイロの値の方を採用する理由は、異常な状態が引き起こされる原因として最も多いのが車輪の空転だからである。

3 路面の凹凸に頑強なナビゲーションの実現

前章で述べたデッドレコニングを用いることで路面の凹凸による悪影響を軽減することができるようになった。しかし、走行距離が長くなるにつれて誤差が累積する性質があるので、ランドマーク観測による位置修正は必要である。位置の修正には、誤差分散の重みづけに基づいて修正量を決定する最尤推定法を用いる [2]。最尤推定法では、現在の推定位置の誤差分散が大きいほどランドマークによる位置情報の方が重視され修正量が大きくなる。そこで、この特徴をうまく利用する。異常な状態が検出された場合、通常状態のデッドレコニングより精度が落ちていると考え、その間のデッドレコニングによる誤差分散の増分を通常より意図的に大きく見積もる。こうすることで、次に見つけたランドマークによる位置情報を通常よりも重視して扱うアルゴリズムが組み込まれ、より安全で信頼できる位置推定が実現できる。つまり、[1]で提案したデッドレコニングと[2]で提案したランドマークによる位置の修正をうまく組み合わせることで、全体として、路面の凹凸に頑強なナビゲーションを実現する。

4 実験

Fig.3は、実験を行った環境の写真である。場所は、第3回重点領域研究「知能ロボット」シンポジウムの際のロボット・デモ会場の屋外テラスである。タイル貼りの路面であるが、所々つなぎ目が凸状に盛り上がり、適当な実験環境であった。Fig.3は、ちょうど、右車輪が引っか

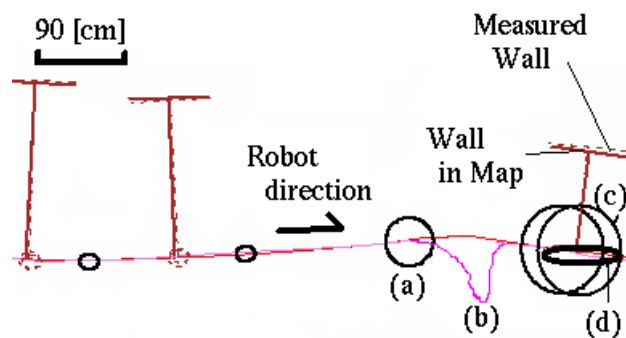


Fig. 4: Experimental results ((a) is the error ellipse with the additional variance in the irregular situation. (b) is the trajectory to travel over a obstacle. (c) is the error ellipse before the position correction by landmark. (d) is the error ellipse after the position correction by landmark.)

かり、左車輪だけ先につなぎ目を抜けたため、ロボットが進行方向に対して右の方にずれ始めた時の写真である。

Fig.4は、実験結果を図示したものである。図中の誤差楕円は、中心がロボットの推定位置、そして、大きさが推定される誤差分散の大きさを表している。この誤差楕円が大きいほど、ロボットは、現在の推定位置が信頼できないと認識していることを表している。(a)で、異常な状態を検出し、意図的に誤差分散が増大されている。(b)は、右車輪が引っかったことにより予定経路を外れたことを示している。ロボットは、現在位置をフィードバックすることで予定された経路に沿うように常に走行制御されている。そのため、右車輪が引っかかりから外れた時点で自動的予定経路へ復帰している。(c)は、左側にある壁状のランドマークで位置を修正する前の誤差楕円であり、(d)は、修正後の誤差楕円である。

5 まとめ

オドメトリとジャイロのセンサ融合によりロボットの走行状態を判断することで、路面の凹凸の影響を受けにくいデッドレコニングを開発し、それを用いた頑強なナビゲーションを実現した。本研究は、単体では性能的に十分でないセンサであっても異なる性質をもつ複数のセンサをうまく融合させれば、頑強な移動ロボットのナビゲーションができることを示しており、センサ融合の良い例題と考えられる。

参考文献

- [1] 前山、大矢、油田：“移動ロボットの屋外ナビゲーションのためのオドメトリとジャイロのセンサ融合によるデッドレコニング・システム”，日本ロボット学会誌，Vol.15，No.8，pp.1180-1187，1997
- [2] 前山、大矢、油田：“移動ロボットのための適応的現在位置推定法-処理時間を要する外界センサデータの利用-”，日本ロボット学会誌，Vol.15，No.7，pp.1075-1081，1997