

3723 群ロボットによる協調ポジショニング法

東京工業大学 広瀬 茂男 (株) 富士通研究所 長田 茂美 ○ 倉爪 亮

Cooperative Positioning Method by Multi-Robots

Tokyo Institute of Technology : Shigeo HIROSE

Fujitsu Laboratories Ltd. : Shigemi NAGATA, ○ Ryo KURAZUME

1 はじめに

自立移動ロボットの運動制御において、自己位置を正確に測定することは、作業計画の立案や作業上の効率、安全面等から必要不可欠である。

しかし、一般に利用されている左右の車輪の回転速度から現在位置を推定するアッドレコニング法[1]は、車輪径、車輪間隔の変化や滑りなどの影響を受けやすく、長距離の移動や未舗装路において高精度の位置推定を行なうのは困難である。また、環境に設置されたランドマークの位置関係から現在位置を推定するランドマーク法[2]は、あらかじめ走行経路にランドマークを設置する必要があり、未知の環境を自由に移動する探査ロボットなどには使用できない。

そこで本報告では、複数のロボットを利用して、相互の位置関係の情報を交換することにより、未知環境においてもロボットの位置を高精度で測定することができる「群ロボットによる協調ポジショニング法」を提案する。

近年、複数の自立移動ロボットを利用して、効率良く作業を行なわせようという群ロボットの研究が盛んになってきているが、本研究は群という特性を特に位置計測に利用しようというものであり、従来ほとんど研究されていなかった特性に関するものである。

2 群ロボットによる協調ポジショニング法

提案する手法は、群ロボット中の各ロボットが移動・静止を繰り返しながら位置測定を行ない、群全体の高精度の位置同定を実現しようとするものである。すなわち、いくつかのロボットの初期位置を計測した後に、次のようにしてロボット群を移動させる。

1. 初期位置を計測したロボットを静止させた状態で、他のロボットをその静止ロボットの観測や内界センサで位置推定を行ない移動させる。
2. 新たに複数のロボットを静止させ、その位置を正確に計測し、その位置を基準に前のステップでの静止ロボット及び他のロボットを前進させる。
3. ロボット群が目標位置に到達するまで1～2を繰り返す。

本手法を用いると、遠距離の移動や未整地環境においても、アッドレコニング法等と比較して高い精度で位置計測を行うことができる可能性を有する。またランドマーク等を用いないため、未知の環境でも位置計測を行なうことが可能である。

本報告では、本手法の一例として、ロボット間相対距離の測定に比べて相対角度の測定は比較的容易であることから、工学的な実現可能性を考慮し、三台の自立移動ロボットによる三角測量の原理を用いた基本的な手法を検討する。これは図1に示すように、まずロボット1、2の初期位置を測定した後、

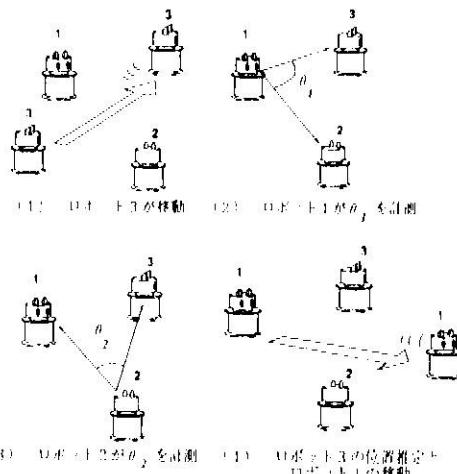


図1 本手法の一例

1. ロボット3が移動、静止する。
2. ロボット1がロボット2とロボット3の相対角度 θ_1 を計測する。
3. ロボット2がロボット1とロボット3の相対角度 θ_2 を計測する。
4. ロボット1、2の位置 $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ 、及び計測された θ_1, θ_2 を用い、三角測量法によりロボット3の位置 (x_3, y_3) を計算する。

5. ついて静止ロボット1を移動させ、同様の計測を繰り返す。

というものである。なお、本手法は高さ方向の角度等を計測することにより、容易に三次元的な位置推定へ拡張できる。

3 位置推定誤差の最小化

本手法においては、ロボット群が目標位置へ正確に到達するための各ロボットの最適な移動形態、移動・測定回数、移動距離や測定角度などが問題となる。そこで、移動回数・各位置測定時の測定角度と、位置推定精度の最も基本的な関係を調べることにする。

なお、準備として図2で示した場合、ロボット1,2の位置 $(d, 0)$, $(-d, 0)$ 、及び測定された角度 θ_1, θ_2 からロボット3の位置 (x, y) は、

$$x = d \frac{-\tan \theta_1 + \tan \theta_2}{\tan \theta_1 + \tan \theta_2} \quad (1)$$

$$y = 2d \frac{\tan \theta_1 \tan \theta_2}{\tan \theta_1 + \tan \theta_2} \quad (2)$$

と与えられるので、 θ_1, θ_2 の計測誤差 $\Delta\theta_1, \Delta\theta_2$ に対する各位置計測の誤差 $\Delta x, \Delta y$ を求めておくと、

$$\Delta x = d \frac{\sin 2\theta_2 \Delta\theta_1 + \sin 2\theta_1 \Delta\theta_2}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2)} \quad (3)$$

$$\Delta y = 2d \frac{\sin^2 \theta_2 \Delta\theta_1 + \sin^2 \theta_1 \Delta\theta_2}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2)} \quad (4)$$

となる。

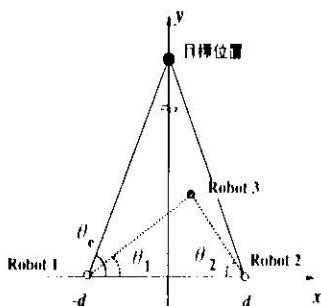


図2: 測定原理

3.1 進行方向の誤差の最小化

式3,4に $\theta_1 = \theta_2 = \theta$ 、および進行方向の誤差が最も大きいと考えられる条件 $\Delta\theta_1 = \Delta\theta_2 = \Delta\theta$ を代入し整理すると、目標位置での進行方向の誤差は、測定回数 n が

$$n = \tan \theta_e \quad (5)$$

で、また測定角度 θ が

$$\theta = \frac{\pi}{4} \quad (6)$$

で極小値をもつことがわかる。ただし、 θ_e は図2に示すロボットの初期位置から見た目標位置の方位角である。これより、常に測定角度が $\theta = \pi/4$ になるように各ロボットを移動させれば、目標位置での進行方向の位置推定誤差を最小にできることがわかった。

3.2 垂直方向の誤差の最小化

同様に式3,4に $\Delta\theta_1 = -\Delta\theta_2 = \Delta\theta$ を代入し整理すると、目標位置での進行方向に垂直な方向の誤差が求まる。これは測定回数 n が

$$n = 0 \quad (7)$$

で、また測定角度 θ が

$$\theta = \frac{\pi}{2} \quad (8)$$

で極小値をもつ。これより、目標位置での移動方向に垂直な方向の位置推定誤差は、一回の測定角度を大きくし、できるだけ測定回数を減らすのが望ましいことがある。

3.3 推定誤差の最小化

前項の議論から、全方向の誤差を最小化するためには、測定角度が $\theta = \pi/4$ 以上になるように、そして移動回数も式5で与えられる値よりも小さめにすべきであると推定される。

4 計算機シミュレーション

これまでの議論の妥当性を検証するため、3台のロボットによる協調ボーリング法の計算機シミュレーションを行なった。シミュレーションでは、ロボットの動きは平面的であると仮定し、ロボット1,2,3の初期位置はそれぞれ $(1,0), (1,0), (0,-1)$ 、目標位置は $(0,10)$ とした。また位置推定誤差を見、それが1台のロボットが目標位置に到達したと考えられる場合の実際の位置と目標位置との距離を用いた。

また、ロボット群の移動形態は図3,4に示す2通りを考え、それぞれの移動形態に対して図に示された代表的な角度 θ_e を定義し、その角度を変化させた場合の目標位置での位置推定誤差を調べた。ただし、y軸方向に、単位距離進むのに必要なロボットの全移動回数は(1)では2回、(2)では1回である。

前述で示したように、目標位置まで移動するのに最も短いと考えられる移動回数は、式5より初期位置から目標位置を見た時の角度 θ_e の関数として与えられ、 $n = \tan \theta_e = 10$ 回以上である。また、同様に最適な移動角度は45度以上であることが予想される。

そこで測定誤差を平均0度、標準偏差0.1度の正規乱数で与え、各移動形態に対して移動回数を変化させて100回シミュレーションを行ない、目標位置での位置推定誤差を計算した。移動回数と位置推定誤差の関係を図5、図6に、代表角度 θ_i と位置推定誤差の関係を図7、図8にそれぞれ示す。

これより、移動形態1を用いた場合には、移動回数が約10～20回、代表角度が約50～60度の場合に目標位置での推定誤差が最も小さくなり、また移動形態2を用いた場合には、移動回数が約5～10回、代表角度が約50～60度の場合に目標位置での推定誤差が小さくなることがわかる。移動形態1では、一単位距離移動するのに2回測定を行なわなければならないことを考慮すると、これらは前項で求められた最適な測定回数や代表角度の予想とよく一致している。

また、移動形態1は代表角度によって誤差分布が大きく変化するが、移動形態2は代表角度を変えても誤差分布にあまり変化がない。しかし推定誤差の最小値は、移動形態1を用いた場合が移動形態2よりも小さくなることがわかる。これらより、群全体が移動方向を変える場合など、代表角度が大きく変化する可能性がある場合には、移動形態2の方が移動形態1よりも常に安定した精度で移動でき、また、ロボット群が直線的に平地を移動する場合など、代表角度を変化させる必要がないときには、移動形態1の方が有利であることがわかる。

5 おわりに

群ロボット中の各ロボットを協調制御することにより、群ロボットの位置を高い精度で求めることができる「群ロボットの協調ポジショニング法」を提案した。

本手法は高さ方向の角度を同様に計測することにより、容易に三次元的な自己位置の推定へ拡張することができる。すなわち、岩場や工事現場などの三次元環境で活動するロボットに対しても、本手法を用いれば高精度の位置推定が期待できる。

本手法は実用的な多くの分野に適用可能であると思われる。デッドレコニングで大きな問題であった、障害物との接触による位置計測の乱れがないため、群をなす清掃ロボットの位置計測、障害物に接触しつつ周囲の環境地図を作成する計測システムの実現などに利用できよう。

参考文献

- [1] S.Tugawa, Traveling Path Measurement for Navigation of Robot Rover by Precise Counting of Wheel Revolution, 10th IMEKO World Congress, Vol.5(1985)pp.41-48
- [2] 岩井、中野、移動車搭載形位置方向計測装置の開発と性能評価、計測自動制御学会論文集、Vol.18, No.10(1982)pp.1013-1020

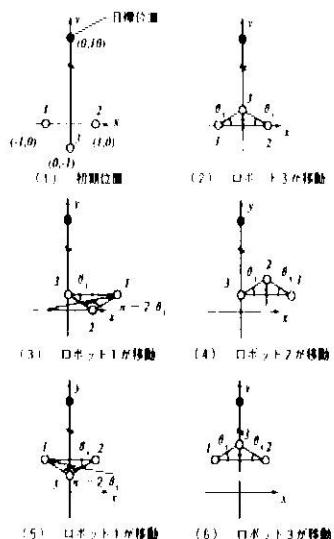


図3: 移動形態 (1)

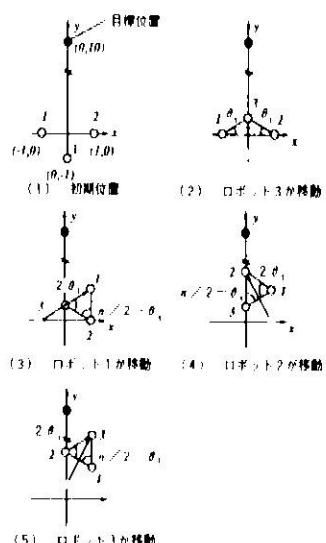


図4: 移動形態 (2)

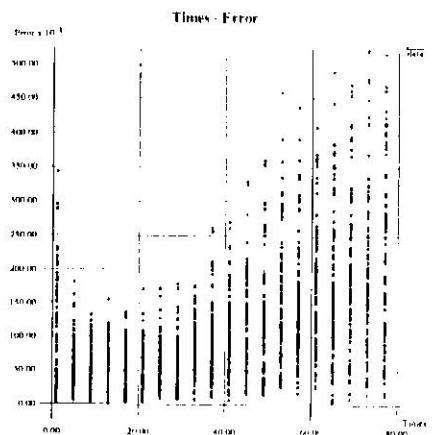


図 5: 移動回数と誤差 (移動方法 1)

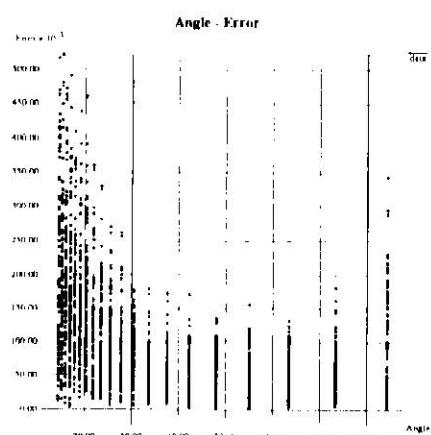


図 7: 代表角度と誤差 (移動方法 1)

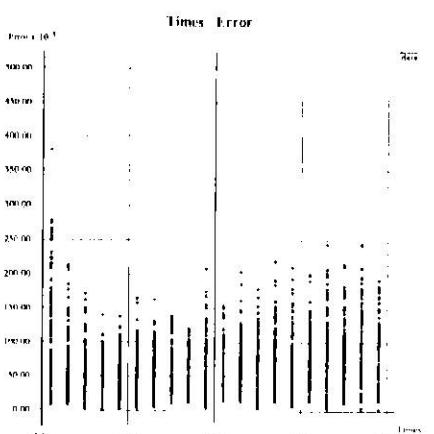


図 6: 移動回数と誤差 (移動方法 2)

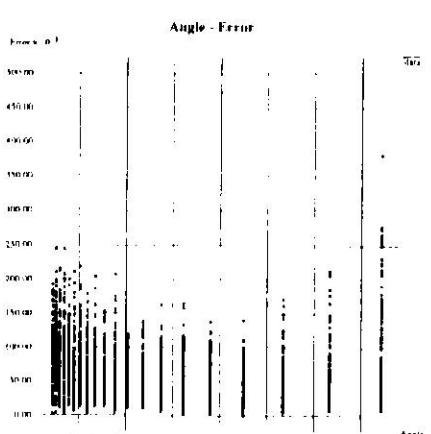


図 8: 代表角度と誤差 (移動方法 2)