

超分散カメラロボットによる自己位置推定

Self-Localization Method for a Super Decentralized Camera Robots System

濱谷圭輔, 中村啓太, 成瀬継太郎

Keisuke Hamatani, Keita Nakamura, Keitarou Naruse

会津大学

University of Aizu

キーワード: スwarmシステム (swarm system), 自己位置推定 (Self-Localization), 全方位視覚センサ (omnidirectional Image Sencer), 相似 (Similarity),

連絡先: 〒 965-8580 会津若松市一箕町鶴賀字上居合 90
会津大学 コンピュータ理工学研究科 コンピュータ・情報システム学専攻
濱谷圭輔, Tel.: (0242)37-2500, Fax.: (0242)37-2526,
E-mail: m5192118@u-aizu.ac.jp

1. はじめに

ロボットの制御において,ロボットの自己位置推定は必要なものであり, GPS や (Simultaneous Localization and Mapping)SLAM¹⁾ などを用いた手法が開発されている. GPS を用いた自己位置推定は地球上で衛星から送信される電波を受信可能環境での利用に限定される. SLAM を用いた自己位置推定にはレーザーレンジスキャナや, カメラなどを用いて環境地図が作成可能でなければならず, ノイズの多い屋外環境や宇宙空間などでの利用は困難である. そこで, 本手法では, 全方位視覚センサを組み合わせることで実現される, 全天球視覚センサを搭載した大量のカメラロボットを環境中に分散させ, カメラロボットがお互いに観測し, 観測された角度情報のみを基に (Extended Kalman Filter)EKF を用いて, 自己位置推定を行うことで, その環境中に存在するロボットの自己位置推定を行う

ことにより, 宇宙空間や平地, 山地などにおいても適応可能なロバストなロボットの自己位置推定手法を提案する.

本研究と同様に, 全方位視覚センサから得られた角度情報のみから自己位置推定を行う手法としては, 石黒ら²⁾ が挙げられる. この手法では, 三角形を構成する角度の内角の和が 180° であるという制約を用い, 三角形の候補が検出されると, これまでに検出されていた三角形を利用し検証を行うことを繰り返すことで相対的な位置関係を求めることが可能である. しかし, この従来手法では, 平面上における自己位置推定は可能であるが, 三次元空間上における自己位置推定は不可能であるという問題がある. 一方, 本論文では, 観測された角度情報のみを基にした EKF を用いることで, 三次元空間に置いて自己位置推定が可能となる. 本論文では, 三次元空間に置ける自己位置推定を

行う前段階として、平面上における観測された角度情報のみを基にした EKF の有効性を数値計算実験を行い検証した。

2. EKF による自己位置推定

2.1 角度の計測

ここでは、障害物の存在しない平面上に存在する、全方位視覚センサを搭載した N 台のカメラロボットに対して以下のことを仮定する。

- 1) 各ロボットが他ロボットを観測した角度は基準となる座標軸に対して計測される。
- 2) 各ロボットはお互いに観測される角度情報を共有できる。
- 3) 各ロボットは他ロボットがどの個体なのかを判別することが可能である。

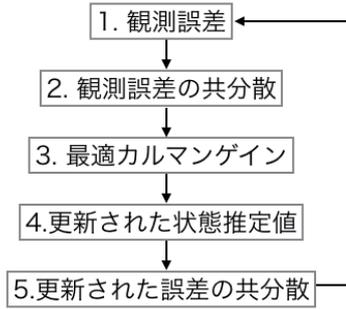


Fig. 1 update phase of EKF

2.2 観測モデル

観測ベクトルは平面上に配置されたロボットがお互いに観測し、同一の基準となる方向に対して計測された角度情報とする。図2のように、3台のロボットを仮定した場合、観測モデルは式1のように表される。 v_k は観測誤差であり、白色雑音 (平均 0, 分散 σ^2) とする。

$$z_k = [\theta_{12}, \theta_{13}, \theta_{23}]^T + v_k \quad (1)$$

2.3 EKF の更新式の導出

本手法では、静止している状態で制御を行わない複数ロボットを仮定するため、EKF の予測フェーズを省略し、図1の様に更新フェーズのみを繰り返し計算することにより、自己位置推定を行う。図1のステップ1では、各ロボットの位置の推定値 (\hat{x}, \hat{y}) を用いて式2に従い計算することで、ロボット間の角度 $\hat{\theta}$ を得る。図2の3台のロボットを用いた場合では、式3が得られ、観測誤差 e_k が式4として得られる。

$$\hat{\theta}_{12} = \arctan \frac{\hat{y}_2 - \hat{y}_1}{\hat{x}_2 - \hat{x}_1} \quad (2)$$

$$h(\hat{x}_{k|k-1}) = [\hat{\theta}_{12}, \hat{\theta}_{13}, \hat{\theta}_{23}]^T \quad (3)$$

$$e_k = z_k - h(\hat{x}_{k|k-1}) \quad (4)$$

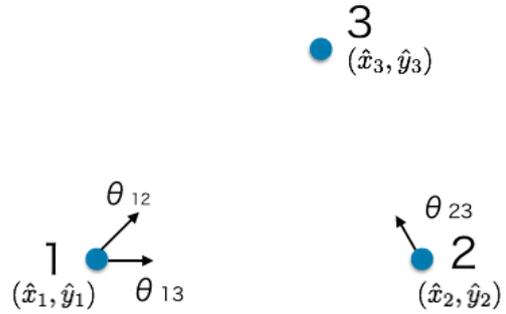


Fig. 2 3node

$H_k = \frac{\partial h}{\partial x} |_{\hat{x}_{k|k-1}}$ は、ヤコビ行列であり、観測モデルの線形化のために計算される。 R には観測ノイズの分散 (σ^2) が対角成分に入り、対角行列となる。

更新ステップでは、最適カルマンゲインが導出され、状態推定値、誤差の共分散が更新される。

$$S_k = H_k P_{k|k-1} H_k^T + R \quad (5)$$

$$K_k = P_{k|k-1} H_k^T S_k^{-1} \quad (6)$$

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k e_k \quad (7)$$

$$P_{k|k} = (I - K_k H_k) P_{k|k-1} \quad (8)$$

3. 数値計算実験

3.1 実験条件

数値実験を行うことで、本手法の有効性を検証する。障害物が存在しない (x, y) 平面上において、5台の全方位視覚センサを搭載したロボットが配置されており、それぞれのロボットは他ロボットを観測した角度情報を共有する。また、各ロボットは、 x 軸を基準として角度を検出することが可能である。また各々のロボット間の距離は全て 10 となるように規則正しく配置されている。

3.2 評価方法

EKF を用いることにより計算されたロボットの推定位置から求めた、ロボット間の距離、角度と、実際のロボット間の距離、角度との誤差を評価し、本手法の有効性を示す。評価の方法としては、ロボット間で三角形をつくり、三角形の一辺で表される 2 台のロボット間の距離、三角形の内角の一つで表されるロボット間の角度を、実際のロボットの位置と EKF により推定されたロボットの位置を用いて、その距離、角度の誤差を調査する。5 台のロボットの実際の位置を、1: $(0, 0)$, 2: $(10, 0)$, 3: $(20, 0)$, 4: $(5, 5\sqrt{3})$, 5: $(15, 5\sqrt{3})$ とした。また、ロボットの初期推定値として、実際のロボットの座標 x, y の値それぞれに、誤差を N_p を与えた値を設定する。 N_p は白色ノイズ (平均 0, 分散 σ_p^2) とする。また、ロボットに搭載している全天球視覚センサに入る観測ノイズ N_d をとして白色ノイズ (平均 0, 分散 σ_d^2) を設定する。 N_p, N_d の分散をそれぞれ、0, 0.01, 25 とした場合の距離、角度誤差を評価する。各々の初期条件において、10 回の試行を行い、その平均誤差を評価した。

3.3 実験結果

数値実験を行い、EKF により推定されたロボット間の距離、角度と、実際のロボット間の距離、角度の誤差を表 1, 表 2 に示す。図中で、 \times と表記されているところは、逆行列のランク落ちのため、EKF による計算が不可能であったところである。距離の誤差の表 1 から、最も精度よく推定された値であっても、実際の距離 10 に対し ± 0.5 の距離の誤差が発生しており、実際の距離から大きく離れている。しかしながら、角度の誤差の表 2 から、全ての条件に置いて、角度の誤差は 0.4 度を下回っており、精度よく相対的な自己位置推定が行えていることが確認できる。

図 4 は観測ノイズの分散 $\sigma_d^2 = 0.1$ 、初期推定値に入る誤差の分散 $\sigma_p^2 = 25$ とした場合に EKF を用いて、各ロボットの位置の推定値が求めたときの一例である。ここで、EKF により推定された位置は $*$ で表されており、実際の位置は \circ で表されている。初期の推定値は図 3 において、 $*$ で表されている。推定された位置は、実際の位置から大きく離れておいるが、推定された位置と実際のロボットの位置は相似的な形をしていることが確認できる。よって、ロボット 1 と 2 の位置を既知とすることで、全体として正確な自己位置推定が行えることが期待できる。ロボット 1 と 2 の位置と既知として計測した距離の誤差を表 3 に示す。表 3 から、ある 2 台のロボット間の実際の距離が分かることにより、距離の誤差が 0.1 未満で精度よく自己位置推定が行えることを確認できた。また、そのときのロボットの推定位置を図 4 に示す。各ロボットの推定された位置は実際のロボットの位置の真上に位置していることが確認できる。このときのロボットの実際の位置と推定値との距離は、最も大きいもので 0.0036 となっており、実際のロボットの位置を正確に推定可能であることが確認できた。

数値計算実験を行うことにより、観測誤差 N_d

Table 1 Average distance error between robots. Error is difference of distances between estimated position by EKF and real position of robots.

$\sigma_p^2 \setminus \sigma_d^2$		0	0.01	25
0	×	6.6921	5.1771	
0.01	×	0.4659	5.3481	
25	×	1.2714	2.3870	

Table 2 Average angle error[deg] among robots. Error is difference of angle among estimated position by EKF and real position of robots.

$\sigma_p^2 \setminus \sigma_d^2$		0	0.01	25
0	×	0.0078	0.3793	
0.01	×	0.0071	0.3137	
25	×	0.0293	0.3913	

Table 3 Average distance error between robots. Error is difference of distances between estimated position by EKF and real position of robots. Two robots positions are already known.

$\sigma_p^2 \setminus \sigma_d^2$		0	0.01	25
0	×	0.0016	0.0794	
0.01	×	0.0012	0.0531	
25	×	0.0105	0.0786	

が大きくなることにより，角度の誤差，距離の誤差共に増加傾向にあることが確認できた．また，どの場合においても，距離の誤差は大きくなりやすいが，角度の誤差は1度を下回っており，相対的な位置は精度よく推定可能であることが確認でき，実際のロボットの位置と相似的な推定位置を求めることが可能であることが分かった．このことから，本手法においては，2台の位置が既知であるロボットを用いることにより，実際のロボット全体の位置を正確に推定可能であることが確認できた．

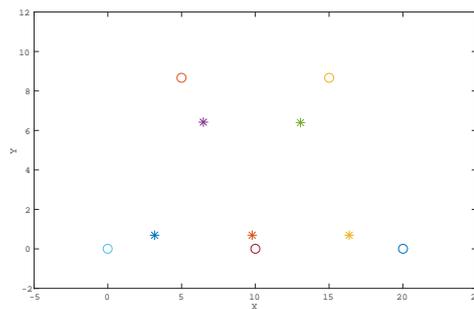


Fig. 3 Initial estimate position and real position of robots.

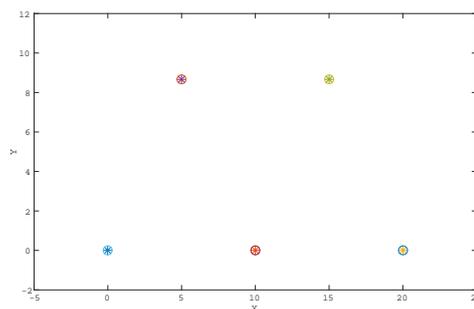


Fig. 4 Estimated position by EKF and real position of robots.

4. おわりに

今回は5台のロボットを用いた数値計算実験を行うことにより，本手法では，2台のロボットの位置が既知であれば，正確な位置推定が可能であることが確認できた．今後，ロボットの実際の位置をランダムに配置することや，用いるロボットの台数を増やすことにより，EKFによる自己位置推定の有効性の検証を行う．

参考文献

- 1) 倉爪 亮・戸畑享大・村上剛司・長谷川勉，“CPS SLAM の研究-大規模建造物の高精度三次元 幾何形状レーザー計測システム”，日本ロボット学会誌, vol 25, pp.1234 1242, 2007
- 2) 石黒浩，“全方位視覚センサをもつ複数ロボットの同定と位置決め,” 電子情報通信学会論文誌 D-II Vol. 184-D-II, No.7, pp.1270-1278, 2001.