

## 局所的通信システムを用いた時系列情報に基づく 周囲ロボットの相対位置推定

佐藤 亮† 新井 義和† 今井信太郎† 猪股 俊光†  
†岩手県立大学 ソフトウェア情報学部

### 1 はじめに

複数台のロボットが自律的に協調して作業を行う場合、ロボット同士の衝突回避の技術が不可欠となる。効率的な衝突回避を実現するためには、周囲ロボットの現在位置や移動速度ベクトルを考慮することが重要である。奥村らは LRF を用いて得られた距離情報から、障害物の移動速度ベクトルを推定して衝突回避を実現している [1]。しかし、速度ベクトルは、推定するより通信で直接情報を交換した方が高い精度が期待できる。菅原らはロボット間の局所的通信によって周囲のロボットの移動速度ベクトルおよびその存在方向を認識している [2]。本研究では、局所的通信で得られる周囲のロボットの移動速度ベクトルおよび存在方向の時系列情報に基づいてその相対位置推定を実現する手法を提案するとともに、その精度についての検証を行う。

### 2 先行研究

菅原らは赤外線送受信機をモータで回転することによって空間的にシームレスな局所的通信システムを構築し、衝突回避を実現しようとしている。すなわち、周囲ロボットの行動を認識するために、通信によってロボット間で互いの移動速度ベクトル情報を直接交換する。また、信号を受信した方向に基づいて周囲ロボットの存在方向を認識可能であることを示しているが、その距離を計測することができず、ロボット間の相対位置を推定するには至っていない。このとき、受信方向は受信した際のロータリエンコーダによって検知した受信素子の向きに基づいて、ロボットの周囲の空間を方向分解能が示す角度ごとに区切った離散的な方向として表現される。方向分解能は任意に設定することができるが、それは通信速度とトレードオフの関係にあり、やみくもに高い分解能を設定することは得策ではない。したがって、より高い通信速度を確保するために、アプリケーションに応じた最低限の方向分解能を設定する必要がある。

### 3 相対位置推定手法

前述のように局所的通信システム単体で得られる周囲ロボットの移動速度ベクトルおよび存在方向に基づ

いてその相対位置を推定する手法について以下に詳細を示す。

#### 3.1 ロボット間の位置関係

時刻  $t-1$  におけるロボット A の位置を原点とした座標系における同ロボットと周囲ロボット B との位置関係を図 1 に示す。時刻  $t$  におけるロボット X の位置を  $P_{Xt}$ 、移動距離を  $d_{Xt}$ 、移動方向を  $\theta_{Xt}$ 、移動ベクトルを  $m_{Xt}(d_{Xt}, \theta_{Xt})$  とする。ただし、 $X=A, B$  である。移動ベクトルは移動速度ベクトルに通信間隔を乗ずることによって算出される。また、時刻  $t$  のロボット A を基準とするロボット B の相対的な存在方向を  $\phi_t$  とする。

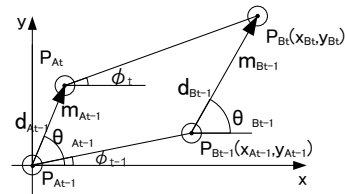


図 1: 2 台のロボット間の位置関係

#### 3.2 周囲ロボットの相対位置推定

時刻  $t$  までに得られる時系列の各情報に基づいて、時刻  $t$  のロボット B の位置  $P_{Bt}(x_{Bt}, y_{Bt})$  は次のように求められる。

$$P_{Bt} = \begin{pmatrix} \frac{d_{B,t-1} \cos \phi_t \sin(\theta_{B,t-1} - \phi_{t-1}) - d_{A,t-1} \cos \phi_{t-1} \sin(\theta_{A,t-1} - \phi_t)}{\sin(\phi_t - \phi_{t-1})} \\ \frac{d_{B,t-1} \sin \phi_t \sin(\theta_{B,t-1} - \phi_{t-1}) - d_{A,t-1} \sin \phi_{t-1} \sin(\theta_{A,t-1} - \phi_t)}{\sin(\phi_t - \phi_{t-1})} \end{pmatrix}^T$$

また、この関係式から、提案する相対位置推定手法の制約条件が次のように得られる。

- 条件 (1)  $\phi_{t-1} \neq \phi_t$
- 条件 (2)  $m_{A,t-1} \neq m_{B,t-1}$
- 条件 (3)  $\theta_{A,t-1} = \theta_{B,t-1}$  のとき  $\theta_{A,t-1} \neq \phi_{t-1}$

条件 (1) は、ロボット A から見たロボット B の方向が時系列上で同一であってはならないことを表している。また、条件 (2) は、両ロボットの移動ベクトルが同一であってはならないことを表している。条件 (3) は、両ロボットの移動方向が同一であるとき、ロボット A の移動方向にロボット B が存在してはならないことを表している。条件 (2), (3) はいずれも条件 (1) に帰着する。

### 4 シミュレータ

認識される周囲のロボットの存在方向は離散的であり、その量子化誤差は方向分解能に依存する。方向分

Relative Position Estimation of Surrounding Robots based on Time Series Information using Local Communication System.  
Ryo SATO, Yoshikazu ARAI, Shintaro IMAI, Toshimitsu INOMATA.  
Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University.

解能の変化によって周囲ロボットの位置推定誤差がどのように変化するかを知ることで、許容誤差の範囲内でより高速な通信速度を得ることが可能となる。必要十分な方向分解能を導出し、この誤差を検証するために、シミュレータを開発した。

#### 4.1 誤差楕円

移動ロボットの移動誤差や位置推定誤差を表現する場合、それは平面上の事象であることから、その誤差は2つの軸に対して異なる傾向を示す。このような誤差を統一的に表現する手法として誤差楕円が用いられる。楕円には長さの異なる直行した半径が存在する。それらの半径として個々の誤差を当てはめて楕円を描くことにより、その大きさや傾きから誤差の傾向を視覚的に捉えることが可能となる。

#### 4.2 誤差楕円の算出

次の手順で誤差楕円を算出する。

##### (i) 存在位置のサンプル点の算出

- (1) 周囲ロボットの存在方向が認識されたとき、実際の存在方向は方向分解能に応じて区切られた区間のいずれかにある。移動前後の存在方向が示す区間をその幅の  $\frac{1}{20}$  の角度でそれぞれ刻み、それらを存在方向のサンプル点とする。
- (2) 個々の存在方向のサンプル点と移動ベクトル情報に基づいて 3.2 節の関係式から存在位置のサンプル点を算出する。

##### (ii) 分布中心の算出

- (i) で得られたすべての存在位置のサンプル点の  $x, y$  座標それぞれの平均値を分布中心として算出する。運用時には、この分布中心が周囲ロボットの推定位置として利用される。

##### (iii) 楕円半径の算出

- (1) 分布中心に対する各存在位置のサンプル点の標準偏差  $\sigma_x, \sigma_y$  を求める。
- (2) 誤差楕円は存在位置の 99.7% の信頼区間を表すこととし、標準偏差  $\sigma_x, \sigma_y$  の3倍の大きさを楕円の半径として算出する。
- (3) 分布中心と各存在位置のサンプル点から共分散行列  $Cov$  を算出する。
- (4)  $Cov$  から固有値、固有ベクトルを導出する。
- (5) 固有値の大きな方の固有ベクトル  $(v_x, v_y)$  から得られる  $\tan^{-1} \frac{v_y}{v_x}$  を誤差楕円の傾きとする。

#### 4.3 実験

方向分解能を変化させながら、ロボット A, B が初期位置から 9 ステップ移動する試行を 100 回行い、そのときの平均値から推定位置の誤差楕円を求めることで

提案手法における周囲ロボットの相対位置推定の精度を検証する。

##### 4.3.1 実験環境

本実験では2台のロボットがランダムな移動誤差とともに等速度で並走している。ただし、ロボットの大きさを考慮していない。このとき、ロボットの存在方向の分解能を 5 度から 45 度の間で変化させたときの相対位置の推定誤差の変化を観測する。

##### 4.3.2 実験結果

図2に周囲ロボットの存在方向の分解能と誤差楕円の半径の関係を示す。同図から、方向分解能の大きさに応じて誤差楕円の半径の大きさが長軸、短軸ともに増加する傾向があることが分かった。同様に、図3に方向分解能と実際の位置に対する推定位置の誤差の関係を示す。同図から推定位置誤差の距離成分と方向成分が方向分解能の大きさに応じてそれぞれ増加する結果が得られた。

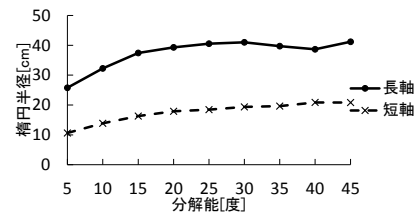


図2: 方向分解能と誤差楕円の半径の関係

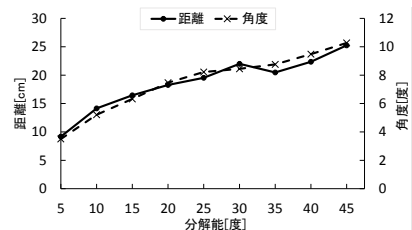


図3: 方向分解能と相対位置の推定誤差の関係

## 5 おわりに

空間的にシームレスな局所的通信システムから得られる時系列情報に基づいて周囲ロボットの相対位置を推定する手法を提案した。また、シミュレータを開発し、周囲ロボットの存在方向の分解能と誤差楕円の半径および推定位置の誤差の関係を明らかにすることで、提案手法の精度を検証した。

## 参考文献

- [1] 奥村 亮, 竹村 裕, 溝口 博, “LRF を用いた追従対象の速度ベクトル推定—一緒に散歩してくれるロボットを目指して—”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '10 講演論文集, 2A2-D2, 2010.
- [2] 菅原 誠, 新井義和, 今井信太郎, 猪股俊光, “空間的にシームレスな局所的通信システムにおける回転する送受信機の通信性能の検証”, 第 58 回自動制御連合講演会, 1G1-3, 2015.