

A1-6 RFID リーダとIC タグテキストを用いた 移動ロボットの自己位置同定

福井大学 工学部 知能システム工学科 進化ロボット研究室
伊井 佑太 (指導教員：高橋泰岳，前田 陽一郎)

1. 緒言

近年，移動ロボットに用いる自動識別装置として，RFID(Radio Frequency IDentification) システムを用いた研究が盛んに行われている．これは電波を用いる為，従来の移動ロボットに用いられてきた視覚センサとは異なり遮蔽物や照明の影響を受けにくい．そのため自己位置同定の際に用いるセンサとして有用である．本手法では，HF 帯の RFID を用いて自己位置同定を行う．

HF 帯の RFID を用いて自己位置同定を行う際，複数のタグを床に配置し，それを単一のアンテナで読み取ることで自己位置同定を行うことが多い [1]．しかし，方位を求めるために時系列データを用いて推定しなくてはならず，精度良く推定するために良い初期値と十分なデータ数が必要であった．本手法では，床に配置したタグと複数のアンテナを用い，各アンテナが読み取ったタグの座標とアンテナの配置を利用して方位と位置の推定を同時に行う．複数のアンテナを用いるため，方位を推定するために時系列データや他のセンサ等と組み合わせる必要がないという特徴を持つ [2]．

2. RFID システムによる自己位置同定

本研究では複数のアンテナをアクリル板に取り付けたものを用い，その配置情報を利用して高精度な自己位置同定を目的として実験を行う．その際，おおまかな位置を推定する手法 1 とより正確な位置を推定する手法 2 の二つの手法を提案し，これらを用いて検証を行う．

2.1 手法 1：各アンテナの位置座標を考慮しない自己位置・姿勢推定手法

図 1 に示すようにタグの座標系に対するアンテナ全体の中心位置を ${}^w\mathbf{p}_A = ({}^wx_A, {}^wy_A)^T$ ，アンテナの向きを ${}^w\theta_A$ ，各アンテナで検出したタグの座標を ${}^w\mathbf{p}_{t_j} = ({}^wx_{t_j}, {}^wy_{t_j})^T$ ，タグを検出した各アンテナの座標を ${}^w\mathbf{p}_{a_i} = ({}^wx_{a_i}, {}^wy_{a_i})^T$ とする．またタグを検出したアンテナの数を n_A とし， D_i をアンテナ i で検出されたタグ t_j の集合とする．手法 1 では，アンテナで検出したタグの座標の平均値を推定位置とする．

$$({}^wx_A, {}^wy_A)^T = \sum_{i=1}^{n_A} \sum_{j \in D_i} ({}^wx_{t_j}, {}^wy_{t_j})^T / n_A \quad (1)$$

またアンテナ座標系に対する各アンテナ a_i の位置を ${}^A\mathbf{p}_{a_i} = ({}^Ax_{a_i}, {}^Ay_{a_i})^T$ ，アンテナ全体の中心座標から各アンテナのある座標への角度を ${}^A\theta_i$ とすると，世界座標系におけるアンテナの姿勢角 ${}^w\theta_A$ は，式 (2) に示すように各アンテナが検出したタグの x 座標， y 座標から中心座標を引き，各アンテナを $-{}^w\theta_i$ だけ回転さ

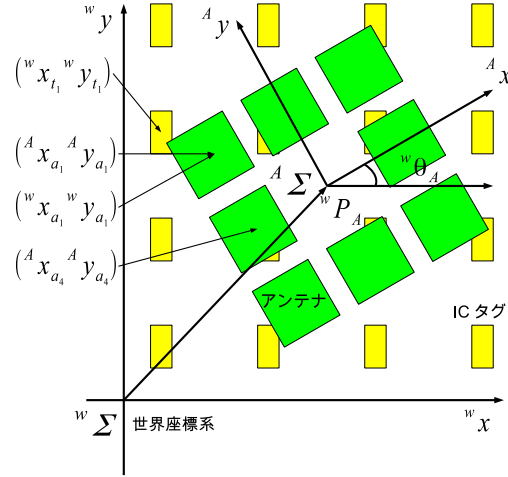


図 1: 世界座標系とアンテナ座標系，およびタグの配置

せた時の wx 座標の合計値と wy 座標の合計値の正接から式 (3) のように求めることができる．

$$\begin{pmatrix} {}^wx_{\theta_A} \\ {}^wy_{\theta_A} \end{pmatrix} = \sum_{i=1}^{n_A} \sum_{j \in D_i} \begin{pmatrix} \cos {}^A\theta_i & \sin {}^A\theta_i \\ -\sin {}^A\theta_i & \cos {}^A\theta_i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} {}^wx_{t_j} - {}^wx_A \\ {}^wy_{t_j} - {}^wy_A \end{pmatrix} \quad (2)$$

$${}^w\theta_A = \arctan \left(\frac{{}^wy_{\theta_A}}{{}^wx_{\theta_A}} \right) \quad (3)$$

2.2 手法 2：各アンテナの位置情報を考慮した自己位置・姿勢推定手法

手法 2 では，手法 1 で求めた結果からより精度の高い自己位置同定を各アンテナの位置情報を入れることで各アンテナの座標は式 (4) のように表すことができる．

$$\begin{pmatrix} {}^wx_{a_i} \\ {}^wy_{a_i} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos {}^w\theta_A & \sin {}^w\theta_A \\ -\sin {}^w\theta_A & \cos {}^w\theta_A \end{pmatrix} \begin{pmatrix} {}^Ax_{a_i} \\ {}^Ay_{a_i} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} {}^wx_A \\ {}^wy_A \end{pmatrix} \quad (4)$$

$${}^w\mathbf{p}_A = ({}^wx_A, {}^wy_A)^T \quad (5)$$

世界座標系における各アンテナの位置とそのアンテナが検出したタグの距離の誤差 E は式 (6) のように表される．

$$E = \sum_{i=1}^{n_A} \sum_{j \in D_i} ({}^w\mathbf{p}_{t_j} - {}^w\mathbf{p}_{a_i})^2 \quad (6)$$

この E を最小にする ${}^w\mathbf{p}_A$ と ${}^w\theta_A$ をギブスサンプリング手法で求める．

1. step 0:

式 (6) において手法 1 で求めた $({}^wx_A, {}^wy_A, {}^w\theta_A)$ を $(\Delta x, \Delta y, \Delta \theta) = (0, 0, 0)$ とする．

2. step t :
式のうち $(\Delta y, \Delta \theta) = (\Delta y_{t+1}, \Delta \theta_{t+1})$ として Δx のみを最小値から最大値まで変化させ、誤差 E が最も小さくなるときの Δx_{t+1} を求める。この t は step5 を行った回数である。
3. step t' :
式のうち $(\Delta x, \Delta \theta) = (\Delta x_t, \Delta \theta_{t+1})$ として Δy のみを最小値から最大値まで変化させ、誤差 E が最も小さくなるときの Δy_{t+1} を求める。
4. step t'' :
式のうち $(\Delta x, \Delta y) = (\Delta x_t, \Delta y_t)$ として $\Delta \theta$ のみを最小値から最大値まで変化させ、誤差 E が最も小さくなるときの $\Delta \theta_{t+1}$ を求める。
5. step $t+1$:
 t を $t+1$ とし、誤差 E が減少しなくなるまで step 1 から繰り返す。

3. 自己位置同定の誤差評価実験

3.1 実験方法

実験は図 2 のように 80[mm] 間隔で配置したアンテナを、図 3 のように約 100[mm] 間隔で配置したタグの世界座標系の x 軸、 y 軸方向に 20[mm] 毎に平行移動させて自己位置推定を行い、実際の座標との誤差を評価する。実験範囲は世界座標系で $(x, y) = (300, 300)$ [mm] から $(x, y) = (600, 600)$ [mm] の範囲で行う。

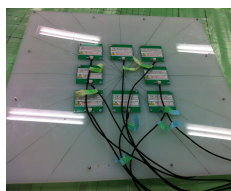


図 2: アクリル板に設置した 8 つのアンテナ

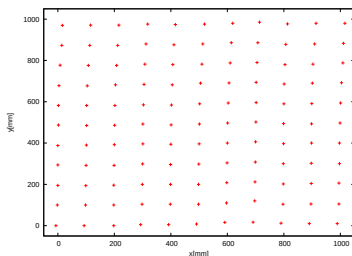


図 3: 世界座標系でのタグの位置

3.2 実験結果

アンテナの角度を世界座標系に対して 0 度、30 度、45 度傾けた際の自己位置同定の手法 1・手法 2 における自己位置・姿勢推定誤差の結果をそれぞれ表 1 及び図 4、図 5、図 6 に示す。

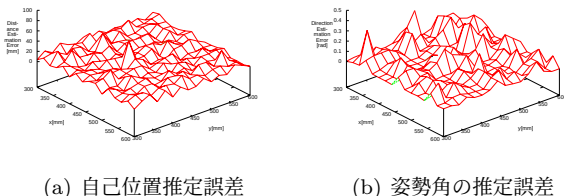


図 4: アンテナの姿勢角が 0 度の時の手法 2 の自己位置推定誤差

表 1 の結果より、手法 1 より手法 2 の方が誤差が小さくなっている事がわかる。また、手法 2 において位置推定の誤差が 53.3[mm] 以下、方向推定の誤差が 0.651[rad] 以下である。

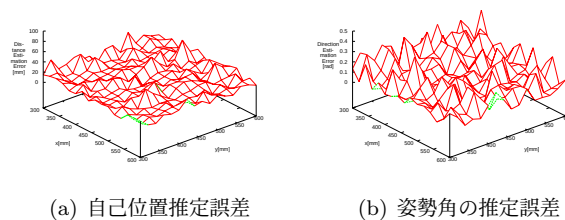


図 5: アンテナの姿勢角が 30 度の時の手法 2 の自己位置推定誤差

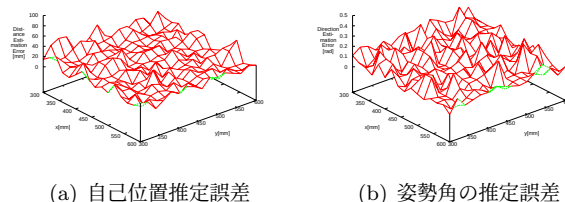


図 6: アンテナの姿勢角が 45 度の時の手法 2 の自己位置推定誤差

表 1: 各手法とアンテナ姿勢に対する推定位置および推定姿勢誤差の平均と最大値

アンテナの角度	0 度		30 度		45 度	
手法	手法 1	手法 2	手法 1	手法 2	手法 1	手法 2
誤差の平均 [mm]	25.96	12.97	18.39	13.91	23.84	16.72
誤差の最大 [mm]	66.16	53.33	69.57	50.95	72.06	48.27
誤差の平均 [rad]	0.072	0.065	0.113	0.112	0.099	0.091
誤差の最大 [rad]	0.677	0.651	0.419	0.369	0.310	0.288

4. 結 言

本研究では複数の RFID リーダのアンテナの配置を利用した自己位置同定の手法を提案し、誤差の検証を行った。実験より、複数のアンテナを使って自己位置同定することで 1 度のセンシングで位置だけでなく姿勢も検出できることがわかった。またその誤差が最大時の場合においてもタグの間隔の半分程度であり、方向推定も十分実用範囲内であることがわかった。また今後の研究として、誤差の平均については十分小さいが、場所によっては大きな誤差を出すので、拡張カルマンフィルタなどを使ってより精度良く自己位置同定する手法を開発する。今回はアンテナの配置を正方形かつ等間隔に配置した環境下で実験を行ったが、アンテナの配置や間隔の変更により結果が異なることが予想される為、今後シミュレーション等を用いてより良い配置を検討する。

参考文献

- [1] Sunhong Park, Shuji Hashimoto, “Autonomous Mobile Robot Navigation Using Passive RFID in Indoor Environment,” *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, Vol.54, No.6, pp.3362 - 3369, 2009
- [2] 平山 元木, 下山 翔平, 吉見 卓, 水川真, 安藤吉伸, 藤井正和, 村上弘記, “仕上げ作業ロボットシステムのための RFID タグを用いた加工対象位置・姿勢計測システムの計測精度解析,” 日本ロボット学会第 30 回記念学術講演会, AC2H2-5, (2012)