

ロボット走行時のブレを考慮した ArUco マーカー読み取りに対する誤り訂正の提案と評価

About an Error Correcting Method for a Mobile Robot to Detect ArUco Markers

中嶋 洸介¹ 田邊 稜汰¹ 安田 尚平¹ 長島 健留¹ 植村 渉^{1*}

Kosuke Nakajima¹, Ryota Tanabe¹, Shohei Yasuda¹, Nagashima Takeru¹ and Wataru Uemura¹

¹ 龍谷大学

¹ Ryukoku University

Abstract: A self-localization method using markers is one of the estimating methods for a robot location. Although the accuracy is not particularly high due to the influence of camera resolution, it is often used for estimation during movement because of its low error variance. Typically, the camera is located facing forward on the robot, however the number of visible markers does not change significantly during forward motion. Therefore, locating the camera to the side of the robot could increase the number of visible markers. However, this may lead to increased camera blur due to robot motion.

In the RoboCup Logistics League, ArUco markers are used, which have error correction capability of one cell. This paper focuses on the horizontal blurring occurring during the movement of the mobile robot and proposes a method to enhance error correction capability by using it only in the horizontal direction. Through robot running experiments, we achieved a performance improvement of sevenfold compared to when error correction was applied to the entire system.

1 はじめに

第四次産業革命により工場のオートメーション化が進み、大量生産大量消費の時代から、変種変量生産を経て、少量多品種の生産体制へと移り変わっている。様々な種類の製品を同じ工場で製造するためには、多様な生産ラインが混在することになり、そのラインを流れる製品の搬送や、ラインに組み付けるための部品の搬送を効率良くプランニングする必要がある。

このような場面を扱った自律移動ロボットの競技大会としてロボカップロジスティクスリーグ [1, 2, 3, 4] (RoboCup Logistics League: RCLL) がある。このリーグでは、ラインをモジュール化したシステムを採用しており、製品の加工作業内容に応じた加工モジュールを搭載したシステムが用意されている。製品だけでなくそれに組み付ける部品も複数の加工モジュールを経由する必要があるため、複雑な組み合わせを考える必要がある。これら加工モジュールを Module Production System (MPS) と呼ぶ。生産プランは MPS 単位で加工の流れを考えることになる。フィールド上にランダム

に配置された複数の MPS に、自律移動ロボットが製品や部品を柔軟に搬送する必要がある (図 1)。

移動式ロボットが走行する際には自己位置推定が必要となる。自己位置推定の方法の一つとしてマーカーを用いる方法がある。大会では MPS の側面にマーカーが貼られていて自己位置推定に使うことができるが、これは MPS の種類を示すためのマーカーになっている。

マーカーでの自己位置推定は、画像内のマーカーの位置からマーカーに対する角度を、マーカーの大きさからマーカーまでの距離を算出する。そして、マーカーのセルの白黒のパターンから ID を算出し、マーカーの座標を手に入れる。これらの情報からロボットの座標を計算することができる。このとき、画像内のマーカーの位置や大きさが離散的であることから、算出される値も離散的になり誤差が生じる。しかし、誤差の分散が小さいため実用的な範囲である。

ここで、これらの誤差の影響を考える。ロボットの座標に対する誤差 ($\Delta x, \Delta y$) は、走行後もそのまま到着座標の誤差として現れるので、影響力は変わらない。一方で、ロボットの角度に対する誤差 $\Delta \theta$ は、走行距離に比例して本来の座標からの差として現れるため問題である。これを解決するためには、自己位置推定を

*連絡先：龍谷大学先端理工学部電子情報通信課程
〒520-2194 滋賀県大津市瀬田大江町横谷 1-5
E-mail: wataru@rins.ryukoku.ac.jp



図 1: RCLL の競技で用いるフェスト社製の全方位移動式ロボット Robotino

再度行う必要がある。走行中に自己位置推定をすると、撮影した画像に進行方向に対するブレが発生する。

ここで、カメラの取り付け位置について考える。当然ながらマーカを用いて自己位置推定を行うには、マーカが見える必要がある。MPS はフィールド上にランダムに配置されるため、ロボットの周囲に存在する MPS の分布確率は一様である。しかし、走行時のロボットは前方に障害物がない経路を選んでいるので、ロボット前方における MPS の分布確率は他の方向と比べると少なくなる。そこで、ロボットの側面にカメラを取り付けて自己位置推定する場合を想定する。このとき、走行時に発生する撮影画像のブレは左右水平方向に生じると考えられる。

大会では ArUco マーカーを使用しており、それらマーカの白黒パターンはハミング距離が 3 以上離れているため、1 マスの誤りに対する訂正能力を持っている (図 2 参照)。これは、白黒パターン全体に対する訂正能力であるが、本研究では、水平移動にブレが生じることに注目し、水平方向のマス目に対して訂正能力を適用する方法を提案する。これにより、全体に対する訂正能力よりも強力な訂正能力を持つことが期待できる。移動式ロボットの走行中にマーカを撮影し、従来の方法とタグの認識率を比較し評価を行う。

第 2 章では、ArUco マーカーとハミング符号について説明し、走行中にマーカを撮影した際に生じる問題点について説明する。第 3 章では、走行中のブレが



図 2: RCLL で用いる MPS とそれに貼り付けた ArUco マーカー

マーカの水平方向に発生することに注目し、ArUco マーカーの行方向の特性を調べ、行方向に対する誤り訂正方法を提案する。第 4 章では、本提案手法の性能を評価するために、実際にロボットを走行させブレが生じる画像に対するタグの認識能力を測定する。そして、第 5 章で本研究のまとめと今後の課題について述べる。

2 ArUco マーカーと誤り訂正能力

2.1 ArUco マーカー

ArUco マーカーは、二次元バーコードの一種である。マーカーの中のマス目は同一サイズの正方形のみとなっており、その白黒のパターンがタグ番号と対応するようになっている。白黒のパターンは、 5×5 マスの構成において全ての組に対してハミング距離が 3 以上になることを満たした 1024 個のパターンの集合 (DICT_ARUCO_ORIGINAL) をベースとしている [5, 6, 7]。この集合を元にパターンを変えたり、誤り訂正能力を変えたりしたパターンを生成して辞書として使えるようにしている。本研究では、ベースである 5×5 マスの DICT_ARUCO_ORIGINAL を対象とする。

2.2 ハミング符号

ある符号が n ビットの誤り訂正能力を持つためには、全ての符号間のハミング距離が $2n + 1$ 以上となる必要がある。DICT_ARUCO_ORIGINAL のマーカーでは、最小ハミング距離が 3 であるため、1 マスの誤りに対して正しいマスの情報に訂正することが可能である。

2.3 走行中に撮影したマーカー

移動式ロボットが走行しながら ArUco マーカーを撮影すると、走行方向にブレが生じ、マス目の白黒を誤認識しやすくなる。

ロボットの側面にカメラを付けた場合は水平方向（行方向）のブレが生じることになる。また、ブレが生じる環境の場合は、ある行だけで生じるのではなく、全ての行で同じようにブレが生じるため、誤認識が生じるときは 1 マスだけでなく行の数に応じて影響を受けるマス目が増える。そのため、1 マスの誤り訂正能力では対応が難しくなる。

そこで本研究ではブレが生じる方向に注目し、それぞれの行に対して誤り訂正能力を使うことで、このブレの影響の軽減を目指す。

3 行に対する誤り訂正方法の提案

走行中に撮影した ArUco マーカーのブレに対して、水平方向に誤り訂正を行うことで、走行中のブレに強いマーカー検知手法を提案する。具体的には、ArUco マーカー全体に対してハミング符号を計算するのではなく、1 行ずつに対してハミング距離が近い正答の符号に置き換える方法を提案する。

まず、ArUco マーカーで使われている符号について調べる。各行で使われている 5 ビットの符号パターンは、10111, 10000, 01110, 01001 の 4 パターンのみである。この 4 パターンで 5 行の符号を作ると、 $4^5 = 1,024$ 通り作ることができ、これは DICT_ARUCO_ORIGINAL のパターン数と一致する。

この 4 パターン間のハミング距離は 3 と 4 であり、最小ハミング距離は 3 である。一方で、4 となる組み合わせも存在することから、パターンによっては 2 ビットの誤りを検出できる可能性を持っていることがわかる。

撮影したマーカーを符号化し、それぞれの行に対して上記 4 つの符号とのハミング距離を考える。そして、一番ハミング距離の小さい符号と置き換えることで、誤り訂正が実現できる。

この場合、各行で 1 ビットの誤りを訂正できるため、最大で 5 ビットの誤りを訂正できることになり、その時は従来の 5 倍の訂正能力を持つことになる。

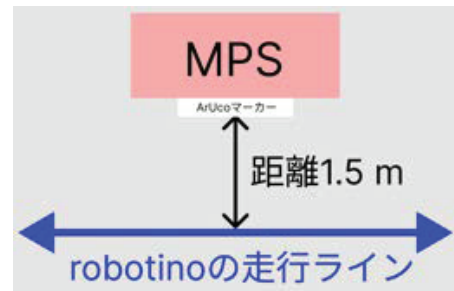


図 3: 移動式ロボット robotino と MPS に入りつけたマーカーとの位置関係



図 4: 走行しながら撮影した写真

4 走行中のマーカー認識評価実験

4.1 実験方法

行毎に誤り訂正を行うことで、走行中のマーカーの認識率がどれくらい変わるかを調べる。ArUco マーカーを MPS の左右中心で地面からは 50cm の位置に用意する。ロボットには高さ 50cm の位置にカメラとして Logicool 社製の C920 を取り付ける（図 1 参照）。ロボットは全方位移動可能ロボットで、Festo 社製の Robotino 3 を用いる。ロボットは MPS から 1.5m 離れたところを MPS に対して平行に走行し、カメラは走行方向に対して 90 度横を向いた状態で MPS のマーカーを撮影する（図 3 参照）。ロボットの走行速度は、0.6m/s とする。この状態でタグを 1,150 枚撮影する。撮影した写真とタグの領域の認識結果を図 4 と図 5 に示す。

このデータセットに対して、ArUco マーカーとしてハミング距離の近いマーカーを抽出する従来の方法と、1 行ずつに分割して使用している符号に一番ハミング

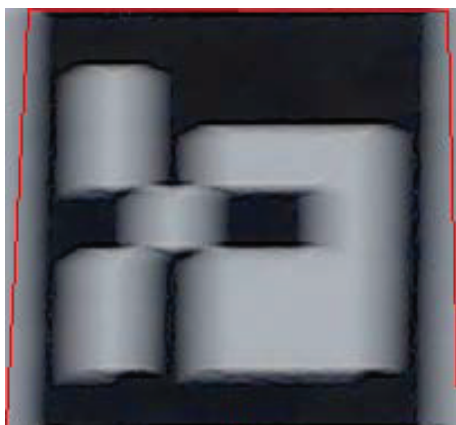


図 5: 走行中に撮影した画像からタグの領域を抽出した結果

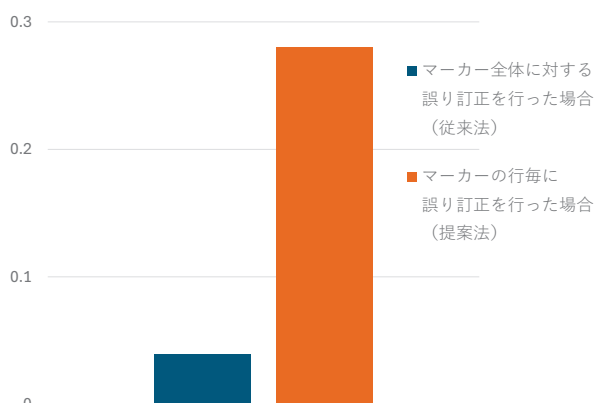


図 6: 走行中に撮影した写真に対する認識率

距離が近いパターンに置き換えてから、マーカーのパターンを抽出する提案方法との認識率を比較する。

4.2 実験結果

マーカーの認識結果を図 6 に示す。マーカー全体に対して誤り検知を行う従来法では、1150 枚中 45 枚を正しく認識した。一方、マーカーを行に分割して各行に対して誤り検知を行う提案法では、1150 枚中 322 枚を正しく認識した。提案法を用いると、認識率が 7 倍近く向上したことがわかる。

5 まとめと今後の課題

移動式ロボットのマーカーを用いた自己位置推定に対して、撮影したマーカー画像に走行方向のブレが生じるため、それを考慮した誤り訂正方法を提案し実装した。従来のマーカー全体に対する誤り訂正方法に対

して、提案する行毎に対する誤り訂正方法は認識率が約 7 倍向上した。

それぞれの行においては 1 マスの誤り訂正能力しかないため、ブレが大きく 2 マス以上に影響がある場合にはマーカーを正しく認識できない。そのため、認識率としては 28% であった。それらの画像を人間の目で見ると限りでは、元の符号を推定することができそうであるため、認識率のさらなる向上が可能であると考えられる。

参考文献

- [1] RoboCup Logistics League, <https://ll.robocup.org/home/>, (2024 年 4 月 1 日 閲覧)
- [2] BabyTigers - R, <https://vega.elec.ryukoku.ac.jp/trac/wiki/BabyTigers-R>, (2024 年 4 月 1 日 閲覧)
- [3] 山北善輝, 辻和輝, 植村涉. “RoboCup Logistics League 用通信プログラムを搭載した組込機器の作成と評価”. 人工知能学会第 53 回 SIG-Challenge 研究会, pp. 14–17, (2019).
- [4] 植村 涉, “RoboCup Logistics League におけるフィールド内の障害物検知に関する一考察”, 人工知能学会第 54 回 SIG-Challenge 研究会, pp. 28–30, (2020).
- [5] Garrido-Jurado S., Muñoz-Salinas R., Madrid-Cuevas F. J., and Marín-Jiménez M. J., “Automatic generation and detection of highly reliable fiducial markers under occlusion”, *Pattern Recognition*, Vol. 47, No. 6, pp. 2280–2292, 2014.
- [6] Francisco J. Romero-Ramirez, Rafael Muñoz-Salinas, and Rafael Medina-Carnicer, “Speeded up detection of squared fiducial markers”, *Image and Vision Computing*, Vol. 76, pp. 38–47, 2018.
- [7] S. Garrido-Jurado, R. Muñoz-Salinas, F.J. Madrid-Cuevas, and R. Medina-Carnicer, “Generation of fiducial marker dictionaries using Mixed Integer Linear Programming”, *Pattern Recognition*, Vol. 51, pp. 481–491, 2016.