

# マーカー検出領域に対する 高輝度マージンによる拡張に関する一考察

## On Extending the Marker Detection Area Using a High-luminance Margin

竹内 颯太郎<sup>1</sup> 中嶋 洸介<sup>1</sup> 植村 渉<sup>1\*</sup>  
Sotaro Takeuchi<sup>1</sup>, Kosuke Nakajima<sup>1</sup>, and Wataru Uemura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 龍谷大学

<sup>1</sup> Ryukoku University

**Abstract:** Self-localization using ArUco markers is widely used for autonomous mobile robots. However, motion blur and defocusing caused by the robot's movement significantly degrade the marker recognition rate in conventional OpenCV-based processing. To address this issue, this paper proposes a robust marker recognition method that combines region specification using YOLOv5 with a high-luminance margin extension. Specifically, the marker's bounding box is detected and cropped using YOLOv5, and a pure white margin is added around the cropped region before executing the ArUco detection algorithm. Experimental results evaluating varying margin sizes (0% to 75%) on blurred images showed that adding an appropriate margin (approximately 30%) significantly improves the recognition rate compared to conventional methods. Furthermore, we discuss the mechanism behind this optimal value, demonstrating that while a margin is necessary to separate the marker edge from the image boundary, an excessive margin negatively affects the adaptive thresholding process by excessively raising the average luminance.

## 1 はじめに

近年の製造現場では、消費ニーズの多様化に伴い、従来の大量生産方式から多品種少量生産方式への転換が加速している。この変化に対応するため、工場の生産ラインでは、物流の自動化が進み、工程間の搬送を担う自律移動ロボットの導入が進んでいる。ロボットが目的地まで移動するためには、自身の位置を把握する自己位置推定が必要である。その手法の一つとして、設置したマーカーをカメラで撮影し、画像内でのマーカーの歪みや大きさから相対的な位置関係を算出する方法がある。

自己位置推定用のマーカーの一つとして ArUco マーカーがある。このマーカーは、正方形の黒枠とその内部のバイナリ行列で構成されたマーカーであるため、外枠による高速な検出と、内部パターンによる識別精度を両立しているという利点がある。また、画像処理向けライブラリである OpenCV 等で広くサポートされ、ロボットの制御系に組み込みやすい。ここで、ロボットが移動効率を維持するために走行しながらマーカー

を撮影する場合、画像にブレやボケが発生する。これらの要因は、マーカーの外郭エッジを不鮮明にし、従来の OpenCV のみでは認識率が低下するという課題がある。

この課題に対し、深層学習を用いた物体検出は、エッジの鮮明さに依存せず、形状の特徴で認識を行うため、ブレやボケが生じた画像に対しても高い頑健性を持つ。そこで本研究では、深層学習による領域特定を前処理として導入し、認識率の向上を目指す。ここで、特定した領域の外枠を認識するために、領域の周囲にマージンを付与することを提案する。マージンの大きさと認識率の関係を実験にて確認する。

## 2 ArUco マーカーにおける識別処理

### 2.1 ArUco 識別処理の内部構造と工程

ArUco マーカーの構造と識別プロセスについて説明する。ArUco マーカーは、図 1 に示すように、正方形の黒枠とその内部の格子状の白または黒のマス目で構

\*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: ArUco マーカー

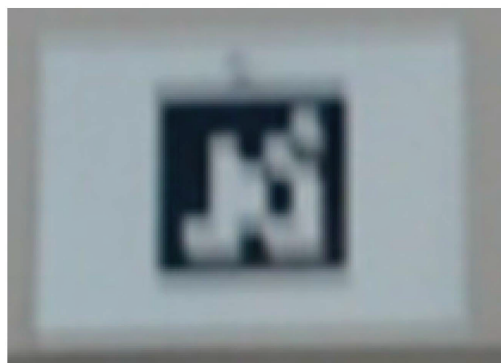


図 2: ブレが原因で識別困難な画像

成されている。白黒の配列を二値の情報として読み取ることで、一意の ID 番号が定まる。

マーカーの認識から ID 識別までの工程を説明する。まず、入力画像を二値画像に変換する。次に、この二値画像から輪郭を抽出し、四角形近似によって四つの頂点を持つ多角形をマーカーの外枠候補として選定する。この工程において外枠候補は、それが画像全体の境界つまり、画像端に接していないことが要求される。その後、候補の輪郭の長さや形で絞り込み、マーカーを認識する、最終的に内部パターンのビット照合によって ID を識別する。

## 2.2 走行時の撮影が識別処理に及ぼす影響

自律移動ロボットの走行時の撮影では、カメラの振動や移動速度に起因するブレが発生したり、フォーカスの不一致によるボケが発生したりする。これらの要因は、画像を二値化する工程において、本来黒であるべき領域に白画素が混入したり、その逆の現象が発生したりする。二値化後の画像において輪郭の境界が曖昧になり、四角形としてのエッジを抽出できず認識率が低下する。図 2 に、この要因により認識が困難となった画像例を示す。



図 3: YOLOv5 でのマーカー検出結果

## 3 学習モデル YOLOv5 を用いたマーカー領域の特定

マーカー認識時のブレやボケの要因に対して、本研究では深層学習を用いた対象領域の特定方法を導入する。ArUco マーカーの識別モジュールを利用した自動アノテーション手法 [1] では、これを用いて学習した物体検出モデルである You Only Look Once (YOLO) の有効性が検証されている。従来の OpenCV を用いた識別手順では失敗していたブレやボケを含む画像群に対し、深層学習ベースのモデルを用いることで、高い精度でマーカー領域を特定できる。YOLO は、入力画像全体を一括して処理し、検出した物体の位置を囲む長方形 (バウンディングボックス: BBox) の座標と、予測の確からしさを示す信頼度スコアを出力する。図 3 に、OpenCV では認識できなかった画像にモデルを適用し、検出した結果を示す。

## 4 マーカー検出領域に対するマージン拡張

### 4.1 深層学習による対象領域の切り出し

ここでは、画像全体を ArUco の識別処理へ入力する代わりに、YOLOv5 による領域特定を考える。手順として、まず入力画像全体に対して YOLOv5 を適用し、マーカーが存在する BBox 座標を特定する。次に、特定した座標に基づき、マーカーを含む部分画像を元の画像から切り出す。これにより、解析対象となる画素集合をマーカー領域のみに限定する。

## 4.2 高輝度マージンでの領域拡張の影響

YOLOv5による領域特定のみでは、マーカーの識別が困難な場合がある。これは、ArUcoのアルゴリズムが黒い外枠を認識する際、その周囲にある程度の背景領域を必要とするためである。これを確認するために、BBBox領域に加え、周囲の画素情報を背景として残したまま識別を行った。その結果、ブレやボケによって境界付近の画素値が一定せず、マージン量のわずかな変化に対して識別率が大きく変化することを確認した。そこで、BBBoxの外周を高輝度のピクセルで塗りつぶした高輝度マージンを付加することを提案する。高輝度とは、画像における最大輝度値を指し、ここでは純白を用いる。これにより、画像境界とマーカーのエッジを分離し、不鮮明なエッジを画像端として認識するのを防ぐことができる。また、二値化処理の際、閾値を決定するための局所的な演算範囲において平均輝度を高く保つことが可能となる。その結果、マーカーの黒枠と背景が明確に分離され、エッジの鮮明度が向上する。

## 5 マージンの大きさに関する実験

### 5.1 実験目的・準備

本実験では、提案法のマージンの大きさと認識率の関係を確認する。走行中の撮影画像100枚を対象とした。FESTO社製Robotino3にWebカメラを取り付け、1秒間に1枚の間隔で画像を取得するプログラムを用いて撮影を行う。具体的には、コントローラーによる手動操作でマーカー設置箇所の付近を走行中、計100枚の画像を取得する。使用したマーカー辞書はDICT\_5×5\_250であり、IDは0, 124, 249の3種類を用いた。学習モデルはYOLO v5を使用し、事前に580枚のマーカー画像をアノテーションし学習済みである。

### 5.2 実験手順

対象画像に学習済みモデルを適用しBBBoxとしてマーカー領域の座標を取得、領域を切り出し、純白の高輝度マージンを外周に付加する。マージンの量を、BBBoxサイズに対する相対比率として0%から75%まで5%ずつ増やして測定する。各マージン量における識別成功枚数に基づき、マージン量が識別率に与える影響を定量的に評価する。

### 5.3 実験結果

実験の結果を図4に示す。縦軸が対象画像100枚の内、識別に成功した枚数、横軸が付加した高輝度マ

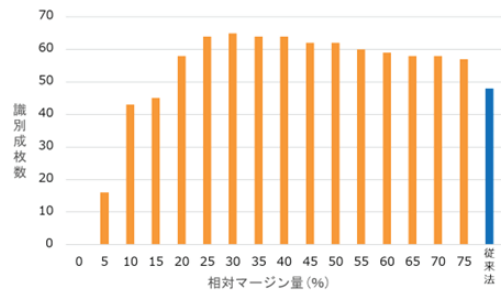


図4: 実験結果



図5: 二値化後のマーカー候補

ジンの相対マージン量を表している。実験の結果、相対マージン量を特定の範囲に設定することで、従来法よりも識別率が向上する傾向が確認された。マージン量が20%以上の場合に従来法の精度を上回り、30%付加した際に65枚の識別に成功した。一方で、マージン量が5%以下では認識率が極端に低く、また30%をピークとしてマージン量を増大させるに従い、成功枚数は減少する傾向がある。

### 5.4 考察

識別処理の内部ログを解析し、マージン量が少ない時や多い時に認識率が低下する理由について考察する。図5に識別できなかったマーカーを示す。

マージン量15%以下では、四角形近似の段階で識別対象外となる例が多く確認された。これはブレやボケによって不鮮明になった外郭エッジが、切り出した画像端に接触したことが原因と考えられる。

一方、マージン量が増加すると、外枠の黒の部分が白として扱われ、外枠が判定できず識別対象外となる画像を確認した。これは、適応的二値化の演算範囲において高輝度画素が多くなり、平均輝度値が大きくなるからである。結果、本来黒である外枠部分を、白と判定したと考えられる。

## 6 まとめ

本研究では、深層学習による領域特定と高輝度マージン付与を組み合わせたマーカー識別手法を提案した。

実験の結果、マージンの大きさを適切に扱うことで、従来法では認識できなかった画像も認識できるようになった。また、マージン量の過不足が識別性能に影響を及ぼす要因について、画像処理アルゴリズムの観点から考察した。

今回の手法では、正面に近い角度から撮影した画像を扱い、有効性を確認した。YOLOによるBBoxは長方形として出力するため、斜めから撮影して形状が台形に歪んだマーカに対しては、提案法がうまくいかない可能性がある。今後は、歪んだ領域に対するアルゴリズムの実装を検討する。

## 参考文献

- [1] W. Uemura and T. Nagashima, "About an Automating Annotation Method for Robot Markers," Machine Learning and Applications: An International Journal (MLAIJ), Vol. 12, No. 4, pp. 1-13, 2025.