

色ヒストグラムの構築コストを考慮した高速物品探索手法の提案と評価

藤井 裕士[†] 小川 剛史[‡]

[†] 東京大学大学院学際情報学府学際情報学専攻

[‡] 東京大学情報基盤センター

E-mail: {qq086311@iii, ogawa@nc}.u-tokyo.ac.jp

カメラ画像からの物体検出に関する研究は盛んに行われており、ロボットの自律移動制御やカメラ監視システムなど、さまざまな分野への応用が期待されている。本稿では、色ヒストグラムを用いてリアルタイムに物体を検出する手法を提案する。提案手法では、Integral Image をヒストグラムに拡張することで、物品を探索する際の色ヒストグラムの構築コストを削減し、高速な物品探索を実現する。また、提案手法の有効性を検証するために評価実験を行い、提案手法を用いることで従来手法よりも高速に物品を探索できることを確認した。

Proposal and Evaluations of a Rapid Object Detection Method Considering Construction Cost of Color Histograms

Hiroshi FUJII[†] Takefumi OGAWA[‡]

[†] Graduate School of Interdisciplinary Information Studies, The University of Tokyo

[‡] Information Technology Center, The University of Tokyo

E-mail: {qq086311@iii, ogawa@nc}.u-tokyo.ac.jp

A considerable numbers of studies have been conducted on the detection of object using pictures in which the aim is to develop visual skills for robots, camera surveillance system, and so on. In this paper, we propose an object detection method using color histogram in real-time. Our proposed method enables to reduce the computational cost in constructing color histograms by applying Integral Image and realizes rapid detection. We also show the results of experiments to evaluate our method. We confirmed that our method could detect single object more rapidly than a previous method.

1 はじめに

ロボットの自律移動制御や、監視カメラによるセキュリティ管理などを目的として、カメラ画像から現実世界の状況を認識しようとする研究が盛んに行われている。現実世界のどこに何があるのかということを認識し、管理することができれば、例えば日常生活において部屋の中を探し回らなくても、目的の物品を探し出すことが可能となったり、人がコートを着れば最寄りのバス停の時刻表を室内の壁面ディスプレイに表示するなど、人のコンテキスト認識や、様々な日常生活支援が可能となると考えられる。

従来研究におけるカメラ画像を用いた物品認識手法として、物品に対して事前に画像マーカ [1] を貼り付けるものがあるが、すべての物品にマーカを貼り付けることが現実的ではないことや、貼り付けたタグやマーカの位置が分からなければ検出が困難となる問題がある。また、画像の特徴として、色ヒストグラム [2] や SIFT 特徴量 [3] を用いた物品認識に関する研究も盛んに行われているが、認識精度に注目しており、事前に取得した画像をオフラインで

処理しているものが多い。

本研究では、日常生活を支援するためにカメラ画像からリアルタイムに物品を検出することを目的として、色ヒストグラムを用いた物品探索手法を提案する。一般に、色ヒストグラムの構築には多くの処理コストが必要なため、提案手法では、Integral Image [4] を色ヒストグラムに拡張したデータ形式を利用することで、色ヒストグラムの構築コストを低減し、カメラ画像からの高速な物品認識を実現する。

2 関連研究

カメラ画像中の物品を認識するために、対象物品の形状情報に注目した研究が行われている。Shape context を用いた手法 [5] では、画像上の特徴点を抽出し、得られた特徴点の位置関係をヒストグラムとして、画像の特徴量としている。SIFT を用いた手法 [3] では、背景差分で抽出した物品画像を色情報を用いてセグメンテーションし、得られた各領域における輝度勾配ヒストグラムを構築することで、形状情報と色情報を用いた物体認識を実現してい

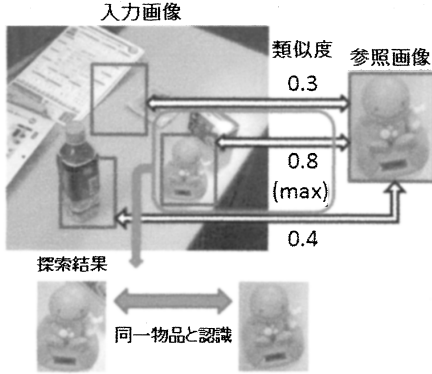


図 1: 入力画像と参照画像を用いた物品探索

る。これらの手法では探索物品が変形するとその検出が困難となるため、衣類などといった日常生活において扱われる様々な物品を探索対象とすることが困難である。

一方、Swain らの研究 [2] をはじめとして、特徴量に色ヒストグラムを用いた研究が盛んに行われている。この手法は、物品の変形や回転、縮尺の変化に頑健であるとされており、あらゆる物品を统一的に扱える有効な手法の一つである。アクティブ探索手法 [6] やそれを応用した手法 [7, 8] は色ヒストグラムの構築コストを削減して高速な物品探索を実現している手法であり、単純に全探索を行うよりも大幅に処理時間を短縮しつつ厳密解を得ることができる。しかし、いずれの手法も探索する物品数に比例して探索時間が大幅に増加してしまうため、生活空間のように広範囲で非常に多くの物品を探索するような場合には、適用が困難であると考えられる。

3 提案手法

本研究では、図 1 に示すような入力画像と、検出対象となる物品の画像である参照画像が与えられているものとする。提案手法は、入力画像中の矩形領域を部分画像として、参照画像と比較した際に類似度の最も高い部分画像を抽出することで、参照画像で与えられた物品が入力画像中のどの領域に映っているかを特定する。

画像の特徴は色ヒストグラムで表現し、照明変化に対応するため HSV 色空間を用いる。具体的には HS 平面において H と S の各軸を 8 等分し、各領域に含まれる画素数を累積したものとして定義する。色ヒストグラムによる類似度の算出には、Swain らによる手法 [2] を用いている。参照画像と部分画像のヒストグラムをそれぞれ R , P とした場合、まず式 1 を用いて各ヒストグラムを正規化し、式 2 を

用いて参照画像と部分画像の類似度 θ を決定する。なお、 $\hat{R}$, $\hat{P}$ はそれぞれ R , P を正規化したヒストグラム、 $\hat{H}$, $\hat{H}$ はこれらを代表したヒストグラムであり、 i , j はヒストグラムのビン、 N はヒストグラムにおける全ビン数を表している。

$$\hat{H}(i) = \frac{H(i)}{\sum_{j=1}^N H(j)} \quad (1)$$

$$\theta = \sum_{i=1}^N \min(\hat{R}(i), \hat{P}(i)) \quad (2)$$

提案手法では入力画像に対して Viola らが Rectangle Feature の算出に用いた Integral Image [4] をヒストグラムに適用して中間データを生成する。この中間データを用いることで、部分領域の大きさとは無関係に一定時間でヒストグラムが生成できる。具体的には、以下の手順で入力画像中の物品を探索する。

1. 参照画像の特徴色抽出とパラメタの設定
2. 入力画像の Integral Histogram の構築
3. 入力画像の領域分割による物品探索

3.1 特徴色抽出とパラメタの設定

3.1.1 特徴色抽出

参照画像の色ヒストグラム R を求め、ビンの値が極大値となるビンに該当する色を特徴色 c_k ($k = 1, 2, \dots, K$) とする。図 2 に参照画像の色ヒストグラムおよび特徴色の例を示す。H=0 と H=180 は同一の色相を示すため HS の 2 次元ヒストグラムにおいて、表の左右はつながっているものとして扱う。得られた特徴色におけるヒストグラムのビンの値を $A(c_k)$ と表す。図 2 において左上 ($0 \leq S \leq 31, 0 \leq H \leq 22$) のビンを (0,0)、右下 ($224 \leq S \leq 255, 158 \leq H \leq 179$) のビンを (7,7) としたとき、特徴色となるビンは、 $c_1 = (0, 4)$, $c_2 = (3, 4)$ となる。特徴色は領域分割における絞り込みや、探索の終端条件に用いる。

3.1.2 最小縮小率

最小縮小率 $\alpha_{\min}$ とは、探索対象物品が入力画像中に映り得る最小サイズ n_P と参照画像のサイズ n_R の比で、次式で定義する。

$$\alpha_{\min} = \frac{n_R}{n_P} \quad (3)$$

例えば、室内環境において、カメラの設置位置やカメラパラメタが既知であれば、探索対象物品のサイズから、カメラから最も離れた場所で映った際の画素数を算出することで n_P を決定できる。また、厳密に n_P を設定しなければならないわけではなく、

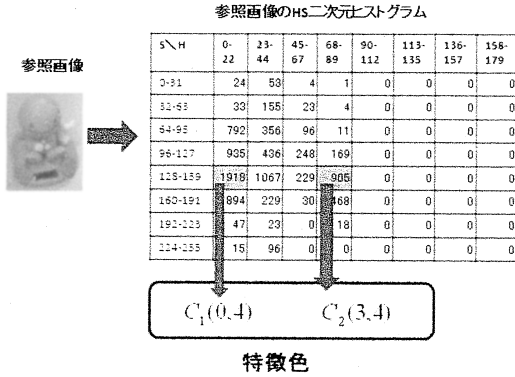


図 2: 特徴色の抽出

入力画像上で n_P 以上の画素数で映っている場合には検出するというように、最小検出サイズとして設定してもよい。

この最小縮小率は、領域分割による物品探索において、過度な領域の絞り込みを防ぐために利用する。

3.1.3 最大拡大率

最大拡大率 $\alpha_{\max}$ は、探索対象物品が入力画像中に映り得る最大サイズを決定するパラメタであり、次式で定義する。なお、 H_0 は入力画像のヒストグラムである。

$$\alpha_{\max} = \min \left(\frac{H_0(c_k)}{R(c_k)} \mid k = 1, 2, \dots, K \right) \quad (4)$$

この最大拡大率は、領域分割による物品探索において、領域を十分に絞り込むことなく探索が終了することを防ぐために利用する。

3.2 Integral Histogram の構築

3.2.1 Integral Histogram

物品の探索に色ヒストグラムを用いる場合、類似度を算出するすべての部分画像に対して色ヒストグラムを計算する必要あり、これに要する処理時間が問題となる。本研究では、Viola らが Rectangle Feature の算出に用いた Integral Image[4] をヒストグラムに応用することで、中間データを生成する。この中間データは一度生成すれば、任意の部分画像でヒストグラムを高速に構築することが可能となる。この中間データを Integral Histogram と呼び、入力画像におけるすべての点において、原点 $(0, 0)$ と結ぶ線分を対角線とする矩形領域のヒストグラムの集合と定義する。図 3 に Integral Histogram を用いた矩形領域のヒストグラムの算出方法を示す。矩形領域 ABCD のヒストグラム H_{ABCD} は、入力画像の Integral Histogram を IH 、点 $T(x, y)$ における

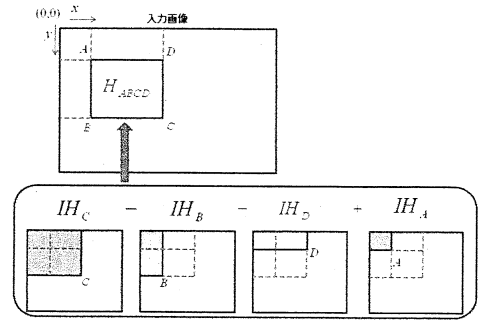


図 3: Integral Histogram によるヒストグラムの算出

ヒストグラムを IH_T としたとき、式 `refeq:gethist` で算出できる。したがって、矩形領域の画素数に依存せず一定時間で矩形領域のヒストグラムが得られる。

$$H_{ABCD}(i) = IH_C(i) - IH_B(i) - IH_D(i) + IH_A(i) \quad (5)$$

3.2.2 Integral Histogram の構築コスト削減

Integral Histogram を構築すれば、任意の矩形領域のヒストグラムが一定の演算時間で得られるが、全体の処理時間を考えた場合、Integral Histogram の構築に必要な時間が問題となる。そのため、探索に不要な点の Integral Histogram は算出しないことで、構築に必要な演算コストを削減する。色ヒストグラムを用いた物品認識に関して、Swain らは、 8×5 の画素数での認識率が 78% であったと報告している [2]。したがって、本研究ではこれよりも低い解像度での物品探索は不要と考え、 8×6 を探索する際の最小の領域とした。本研究で行う領域分割による探索の詳細は後述するが、この分割方法の特性から、類似度の算出に必要な色ヒストグラムを計算するには 4×3 の粒度で Integral Histogram を構築すればよく、これに該当しない画素の Integral Histogram を計算しないことで構築コストを削減している。

3.3 領域分割による物品探索

3.3.1 領域分割

提案手法では入力画像をいくつかの部分画像に分割し、対象物品が映っていると思われる部分画像を選択するという操作を繰り返し行うことで、探索物品の領域を抽出する。領域分割の例を図 4 に示す。参照画像、入力画像ともに、正方形に近い形状であることを想定して、探索領域を半分の大きさに分割している。このとき、領域の長辺を基準に二等分することとしたが、部分画像の中央付近に物品が映っている場合を考慮し、長辺を二等分した長方形と同

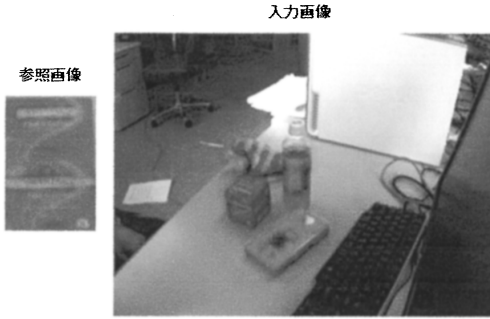


図 6: 参照画像と入力画像の例



図 7: 提案手法による探索結果

実験条件は文献 [7] を踏襲している。参照画像と入力画像の例を図 6 に示す。

4.2 実験結果

提案手法を用いた場合の結果を図 7 に示す。図 7 中の白枠で示す矩形領域が探索結果として抽出した部分領域である。物品全体を完全に囲む領域としては抽出できていないが、位置を特定するという目的としては十分な精度であると考えられる。また、比較手法であるアクティブ探索手法の結果を図 8 に示す。参照画像に対して入力画像中の物品が回転しているため、提案手法と同様に物品全体を完全に囲む領域としては抽出できてはいないが、提案手法と同様、位置の特定する目的であれば特に問題はない。

表 1 に両手法の処理時間を示す。これは 3 種類の物品の参照画像に対して、物品の映っている 1024×768pixel の解像度の入力画像を探索した結果の平均である。なお、画像の読み込み等とは、参照画像と入力画像をロードし、それぞれを HSV 変換するまでの時間と、提案手法については参照画像のヒストグラムの構築までの時間である。提案手法でヒストグラムの構築まで画像の読み込み等の時間に含めた理由は、本手法では、入力画像中の物品の大きさによらず、ひとつの参照画像のヒストグラム

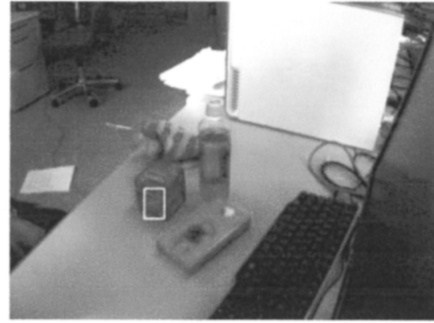


図 8: アクティブ探索手法による探索結果

があればよく、一度構築したものを保存できるからである。一方、アクティブ探索手法では、参照画像を拡大、縮小するごとにヒストグラムを構築する必要があり、ヒストグラムそのものをあらかじめ保存することができないため、探索処理にヒストグラムの構築時間を含めている。この結果から、提案手法では一つの物品についてではあるが十分高速に探索できていることが分かる。複数物品を探索する場合には、二つ目以降の物品の探索時には中間データの作成時間が不要となるので、物品が一つ増えるごとに、わずか 2ms で探索を行うことができる。このことから、本手法は複数の物品の探索を行う上で極めて有用であると言える。

図 9 に入力画像の画素数の違いによる探索時間を示す。両手法とも画素数に対して処理時間はほぼ比例していることから、入力画像のサイズが大きくなるほど処理時間も長くなると考えられる。

5 考察

5.1 探索精度

アクティブ探索手法では、図 8 のように画像中に存在する厳密解が得られており、物品の重心と探索結果の部分領域の重心も近いのに対し、提案手法で得られる結果は図 7 のような近似解であり、物品の重心と探索結果の部分領域の重心がアクティブ探索手法より離れてしまう。また、提案手法はアルゴリズムの特性上、領域を絞り込みすぎる傾向がある。

表 1: 処理時間の比較

処理	提案手法	アクティブ
画像の読み込み等	39ms	38ms
Integral Histogram 構築	294ms	-
探索	1ms	2806ms
合計	334ms	2844ms

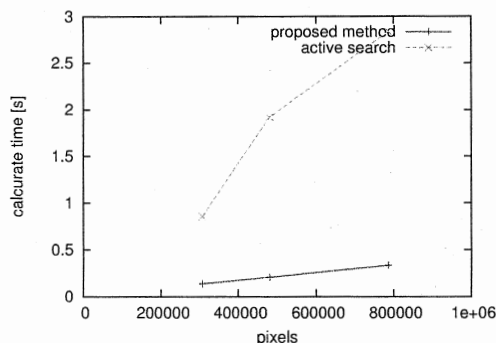


図 9: 画素数と探索時間の相関

しかし、画像中に存在する複数の物品について、そのおおよその位置を高速に把握するという目的においては、近似解であること、絞り込みすぎることは、いずれも問題ではないと考えられる。

5.2 処理時間

各処理ごとに必要な処理時間をまとめた表 1 から分かる通り、提案手法はアクティブ探索手法に比べて、探索にかかる時間は極めて短いことがわかる。このことから、探索する物品の数が多いほど提案手法の方が高速に探索できると考えられる。また、入力画像の画素数による探索時間の変化を図 9 に示すが、一般に利用されると考えられる画素数では、提案手法の処理時間が短く、高解像度のカメラを用いて広範囲での物品探索をした場合でも、提案手法が有利であるといえる。

5.3 探索に必要な変数

アクティブ探索手法を行う上で、与える必要がある変数としては、探索を行う物品の拡大率がある。本実験においては四段階の拡大率で探索を行ったが、探索する拡大率を人間が与える必要がある。これに対して、本手法では物品の最小の拡大率のみ与えれば探索を行うことができる。これは、室内環境の物品探索を前提としており、物品とカメラの最大距離が制限されることから、部屋の制約により、環境に応じて最小の拡大率を算出することができるため、人間がその値を与える必要がない。

5.4 探索物品の形状による問題

色ヒストグラムによる物品探索は物品の回転に非常に強い手法である。しかし、物品の形状が細長い場合、アクティブ探索で探索をするには探索領域を回転させなければ適切な結果を得ることができない可能性がある。つまりこの問題を回避するためには探索領域を回転させた状態での探索を合わせて行う必要がある。提案手法においても、これに近い問題

が生ずる。この点は、参照画像の物品の形状によって領域分割の方法を変えるなどの手法で対応できると考えており、今後の課題である。

6 おわりに

本稿では、日常生活支援のための物品探索を目的とした物品探索アルゴリズムの提案を行った。提案手法では、物品の探索に色ヒストグラムを用いており、この色ヒストグラムの構築を高速に行うために、Integral Image をヒストグラムに拡張した中間データを作成する。この中間データを利用すれば、部分領域の画素数によることなく一定の処理時間でヒストグラムを構築でき、結果として領域分割による探索が高速になった。

今後の課題としては、探索を行うサンプルを増やすことで本手法の信頼性を上げること、実際に複数の物品の探索を行うこと、オンラインでの物品の探索、領域分割の工夫による探索精度の向上や高速化などがあげられる。

なお、本研究の一部は、科学研究費補助金若手研究 (B)(19700092) の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Slay, H., Thomas, B., and Vernik, R.: Using ARToolkit for Passive Tracking and Presentation in Ubiquitous Workspaces, *Augmented Reality Toolkit Workshop, 2003. IEEE International*, pp. 46–53 (2003).
- [2] Swain, M.J. and Ballard, D.H.: Color Indexing, *International Journal of Computer Vision*, Vol. 7, pp. 11–32 (1991).
- [3] 永橋知行, 藤吉弘亘, 金出武雄: 領域分割に基づく SIFT 特徴を用いた物体識別, 電気学会 システム・制御研究会 SC-07-8, pp. 39–44 (2007).
- [4] Viola, P. and Jones, M.: Rapid Object Detection Using a Boosted Cascade of Simple Features, *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Vol. 1, pp. 511–518 (2001).
- [5] Belongie, S.J., Malik, J., and Puzicha, J.: Shape Matching and Object Recognition Using Shape Contexts, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 24, pp. 509–522 (2002).
- [6] 村瀬洋, Vinod, V.: 局所色情報を用いた高速物体探索—アクティブ探索法—, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J81-D-II, pp. 2035–2042 (1998).
- [7] 田口真吾, 大町真一郎, 阿曾弘具: 大域的枝刈りと回転状走査による物体の高速探索, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J90-D, pp. 1765–1772 (2007).
- [8] 田口真吾, 大町真一郎, 阿曾弘具: ヒストグラム構築コストを考慮した高速物体検出, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J90-D, pp. 2858–2867 (2007).