

# 枝刈り規則の簡素化と回転状走査による高速物体検出 Fast Visual Search Using Simplified Pruning Rule and Spiral Scanning

田口 真吾†  
Shingo Taguchi

大町 真一郎†  
Shinichiro Omachi

阿曾 弘具†  
Hiroto Aso

## 1. はじめに

近年、カメラ付き携帯電話の登場を筆頭に安価で性能の良いデジタルカメラが爆発的に普及しており、手軽に撮影が可能な時代となった。撮影した画像中の物体が何か、また物体がどこに位置しているか、という情報を自動的に抽出できれば、撮影した画像の用途は多様化すると考えられる。具体的にはセキュリティ監視システムの自動化や、画像データベースからのコンテンツ検索等への応用が挙げられる。これらを達成するためには、高精度かつ高速な対象検出が要素技術として必要である。

従来より対象検出技術の実現に向けて、様々な手法が提案されている。一般に対象検出は、対象が持つ特徴を利用する。様々な特徴の中でも対象の色情報の特徴とした検出手法は、画像中における対象の3次元的な変形やオクルージョンに頑健という長所を持つと報告されている。Swainらは色情報に着目して、色ヒストグラムを用いた画像照合法を提案し、高い検出性能を持つことを示した [1]。村瀬らは Swain らの手法を拡張し、適宜、計算の省略(以下、枝刈りと呼ぶ)を行うことで原理的に総当たり的な照合法と同等かつ、高速な手法を提案した [2]。さらに Taguchi らは村瀬らの手法に大域的枝刈りを導入し、探索規則を簡素化する手法を提案し、[3] 村瀬らの手法と比較して類似度計算の回数は増加するが、全体的には高速な検出を実現している。

[3] では、画像中の未探索領域の左方向または上方向の部分領域に注目し、局所的枝刈り・大域的枝刈りを未探索領域がなくなるまで繰り返す。大域的枝刈りの効果はその時点での最大類似度の値により決まるため、過去の大域的枝刈りを暫定的なものとして記憶しておき、最大類似度が更新される毎にその記憶を更新すれば、未探索領域をより狭めることが可能になると考えられる。そこで本論文では、対象検出のための走査を回転状にする手法を提案する。走査を回転状にすることで常時、複数の暫定的な大域的枝刈りが保持でき、未探索領域が小さくなる可能性が高まり、高速な対象検出が期待される。また提案手法の有効性を対象検出実験を通じ、定量的に評価する。

## 2. 提案手法

与えられた入力画像に対し対象検出を以下の手順で行う。検出対象に関する画像(以下、参照画像)は事前に得られているものとする。

1. 局所領域<sup>†</sup>を考えられ得る最大の大きさで初期化
2. 入力画像中の全ての局所領域について検出対象との類似度を計算

3. 局所領域の大きさを一段階縮小
4. 2.-3. を繰り返す

以上の手続きを踏まえ、最大類似度を与える入力画像中の局所領域を検出対象が存在する位置とみなす。また局所領域の大きさを変化させることで、入力画像中の検出対象の大きさが未知であることに対処している。以下、手続き 2. について詳述する。

### 2.1 類似度の定義

本手法では Swain らの手法に倣い、色ヒストグラム同士の類似度を画像同士の類似度とみなす [1]。局所領域、参照画像内の各画素を、RGB 各軸を  $Q$  分割(本論文では  $Q = 8$  とした)した色クラスに割り当て、正規化色ヒストグラムを作成する。式 (1) を用い、作成したヒストグラム間の類似度を測る。

$$S_{A,M} = \sum_i \min(A_i, M_i) \quad (1)$$

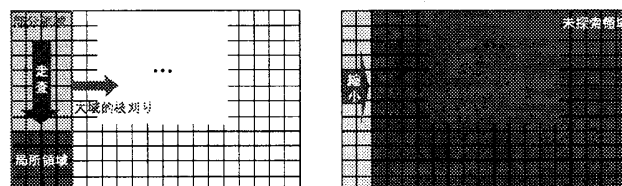
ここで  $S_{A,M}$  は局所領域  $A$  と参照画像  $M$  間での類似度を表し、 $A_i, M_i$  は  $A, M$  それぞれの色クラス  $i$  に関する面積により正規化された頻度値を表す。

### 2.2 大域的枝刈り

部分領域間の計算の省略の原理を示す。図 1(a) で示された部分領域内における局所領域と参照画像間の最大類似度  $\theta_{local}$  が求まっているものとする。この最大類似度を求める際、部分領域内の全ての局所領域を走査する必要があるが、ActiveSearch[2] により高速化を図る。この高速化を本論文では局所的枝刈りと呼ぶ。そして、式 (2) のステップだけ横方向に隣接する部分領域の大域的枝刈り(未探索領域の縮小)が可能となる(図 1(b))。

$$\lfloor (\theta - \theta_{local}) \times width(A) \rfloor \quad (2)$$

ここで  $\theta$  は現在までの試行で得られた類似度の最大値、 $width(A)$  は局所領域  $A$  の幅、 $\lfloor x \rfloor$  は  $x$  を越えない最大の整数を表す。部分領域を横方向に取るときは、式 (2) 中の  $width(A)$  を局所領域  $A$  の高さとし、得られたステップだけ縦方向に隣接する部分画像の大域的枝刈りが可能となる。



(a) 大域的枝刈り

(b) 未探索領域の更新

図 1: 大域的枝刈りの効果

† 東北大学大学院 工学研究科

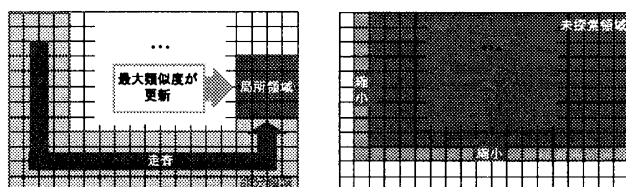
‡ 議論を簡単化するため、本論文では局所領域の形状を矩形と定める。手法の性質から形状を矩形以外としても不都合は生じない

### 2.3 走査・枝刈りの規則

入力画像に大域的枝刈り・局所的枝刈りを適用する際、以下の手順で行う。また局所的枝刈りを行う際、差分に着目したヒストグラムの再構築 [3] を行い、高速化を図る。

1. 始点を左上, 入力画像全体を未探索領域とする
2. 未探索領域の幅と高さのうち, 小さい方を選択し, 走査すべき部分領域を決定する
3. 選択された部分領域内で局所的枝刈り・大域的枝刈りを実行し, 未探索領域を更新する。最大類似度  $\theta$  の更新が起きた際は, 式 (2) の値を改めて求め, 暫定的な大域的枝刈りと未探索領域を更新する (図 2(b))
4. 2.-3. を未探索領域がなくなるまで繰り返す

一般に部分領域内の走査には時間がかかるため, 幅と高さのうち, 小さい方を選択している (手順 2)。回転状に走査をする (図 2(a)) ため, 差分に着目した局所領域の色ヒストグラムの再構築が断続的に可能となり, メモリの節約に繋がる。また, 未探索領域を狭める可能性のある, 暫定的な大域的枝刈りが最大で 3 つ保持される。



(a) 回転状の走査 (b) 未探索領域の更新  
図 2: 暫定的な大域的枝刈り

## 3. 実験

提案手法の高速性を確認するために, 速度に関する比較実験を行う。従来手法として Active Search(A.S.)[2] と Streamlined Active Search(S.A.S.)[3] を用いた。各手法とも差分を利用した色ヒストグラムの構築を行う。精度に関しては各手法とも原理的に最大類似度の領域が得られる。また, 回転状に走査することの有効性を示すために, 提案手法を  $\theta$  の更新が生じたときに未探索領域の更新を行わない手法 (提案手法 1) と更新を行う手法 (提案手法 2) の速度を比較する。

### 3.1 実験環境

データとして 320×240 サイズの ppm 画像 6 枚を用いた。用いたコンピュータのスペックは CPU:PentiumIII 800MHz, コンパイラは g++ コンパイラであり, 最適化オプションとして -O3 を用いた。実験に使用した画像の例を図 3 に示す。



(a) 入力画像 (b) 参照画像

図 3: 実験に用いた画像例

### 3.2 実験結果

従来手法と提案手法 1,2 を適用した結果を表 1 に示す。表 1 より提案手法 2 は用いた全画像に対し, 最速であることが分かる。また提案手法 1 に比べ, 提案手法 2 の方

が高速であり,  $\theta$  の更新に伴う未探索領域の更新の有効性が確認できる。

表 1: 画像一枚あたりの処理時間 [ms]

画像名	A.S.	S.A.S.	提案手法 1	提案手法 2
画像 1	260	115	114	<b>106</b>
画像 2	140	75	73	<b>66</b>
画像 3	277	252	229	<b>173</b>
画像 4	251	144	143	<b>116</b>
画像 5	117	60	59	<b>53</b>
画像 6	858	176	173	<b>160</b>

表 2 に差分に着目したヒストグラムの再構築時にチェックされる画素の総数/類似度計算の回数を示す。S.A.S. は A.S. と比較して, 類似度計算の回数が増加しているが, チェックされる画素の総数が大幅に小さいため, 全体的には高速な処理が達成されていると考えられる。また提案手法は S.A.S. と比較して, チェックされる画素の総数, 類似度計算の回数が小さいため, より高速な処理が実現されている。

表 2: チェックされる画素の総数 [ $\times 10^7$ ]

( ) 内数字は類似度計算の回数 [ $\times 10^3$ ]

画像名	A.S.	S.A.S.	提案手法 2
画像 1	18.0(3.07)	3.22(11.7)	<b>2.90(10.0)</b>
画像 2	7.19(1.28)	2.23(5.77)	<b>1.79(4.66)</b>
画像 3	12.5(4.07)	6.97(29.2)	<b>4.73(26.0)</b>
画像 4	16.9(2.93)	4.24(19.7)	<b>2.80(11.1)</b>
画像 5	7.61(0.835)	2.71(4.60)	<b>1.72(2.89)</b>
画像 6	10.5(9.86)	9.50(17.8)	<b>6.75(1.70)</b>

## 4. まとめ

本論文では, 色ヒストグラムを用いた対象検出における大域的枝刈りの効果を促進するために, 回転状に走査する手法を提案した。大域的枝刈りは現在までの最大類似度に依存して効果が決定される。最大類似度の更新が起きると, それまでに行った大域的枝刈りより, 効果の大きな枝刈りが可能になる。回転状に走査することで, 最大類似度の更新の効果を最大限に活用した検出が可能であり, 実験を通し有効性を確認した。

提案手法は照明の変化を考慮していないため, 今後の課題として照明変化の影響を考慮した検出処理を提案手法に組み込むことを考えている。

## 参考文献

- [1] M.J. Swain, and D.H. Ballard: "Color Indexing," International Journal of Computer Vision, Vol.7, No.1, pp.11-32 (1991)
- [2] 村瀬 洋 and V.V. Vinod: "局所色情報を用いた高速物体探索法," 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J81-D-II, No.9, pp.2035-2042 (1998)
- [3] S. Taguchi, S. Omachi, and H. Aso: "Fast Visual Search Using Simplified Pruning Rules - Streamlined Active Search," Proc. ICPR '04, to appear (2004)