

Coded Multi Flash Imagingによる 3次元凹凸形状に着目した特徴マッチングに関する研究

情報科学研究科 情報科学専攻 H11301M 櫻本泰憲

指導教員：橋本学

1. はじめに

生産システムにおいて、画像による物体検出は重要であるが、現実には扱われている対象物の多くは中間加工物であり、意匠や文字のような表面図柄が少ないことから、このような低テクスチャ物体にも対応できる実用的な画像マッチング手法が望まれている。

従来の画像マッチング手法のなかで、テクスチャ量に依存しにくいものとしては、領域毎の濃度勾配分布を利用した手法 [1] や、画像中のエッジ強さに応じて選択された画素群を利用する手法 [2] があるが、物体表面にほとんどテクスチャが存在しない（無地に近い）対象物に対しては有効とはいえない。

本研究の目的は、テクスチャの多さにかかわらず適用できる物体検出手法を開発することである。ここで、中間加工物の表面には図柄が少ないが、微小な凹凸（起伏）が存在することが多い。そこで本研究ではこの点に着目し、光の照射方向を制御できる照明を内蔵したカメラデバイス（MFC：Multi Flash Camera）[3] を用いて得た画像群から対象物の凹凸情報を記述した特徴量および、その特徴量を用いた物体検出手法を提案する。

2. 物体の凹凸形状を捉えるための基本アイデア

本研究の基本アイデアは、図1に示すようなRaskarらが提案したMFC [3] を用いて、カメラ周囲の N 個のLED（本研究では $N = 8$ ）を1つずつ点灯させて取得した画像群から、物体の凹凸形状を捉えた特徴量をコード化することである。

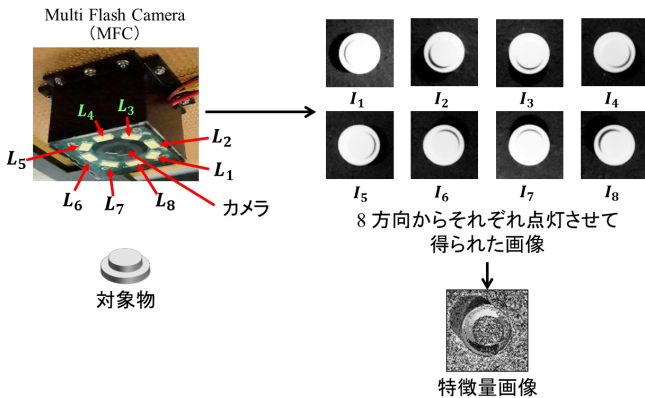


図1 基本アイデアの概念図

MFC から得られる画像群は、照明方向ごとに強調された縦エッジや横エッジなどの凹凸情報を反映しており、いわば擬似的な3次元情報を表現した画像群となっている。したがって、この画像群を利用してテンプレートマッチングを構成すれば、正しい照合位置においてテンプレート画像群と入力画像群の間にきわめて高い類似性が期待でき、表面テクスチャが無くても安定して物体を検出できる。しかし、MFC から得られた8枚の画像をそのまま照合に用いると処理コストが増加するという問題がある。そこで本

研究では、本研究ではその画像群がもつ対象物の凹凸形状に関する情報を保持したまま、1枚の特徴量画像として表現することによって、少ない演算量で3次元情報に基づくマッチングを実現する。

3. Coded Multi Flash Imagingによる物体検出アルゴリズム

3.1 物体検出アルゴリズムの全体構成

提案アルゴリズムの構成を図2に示す。

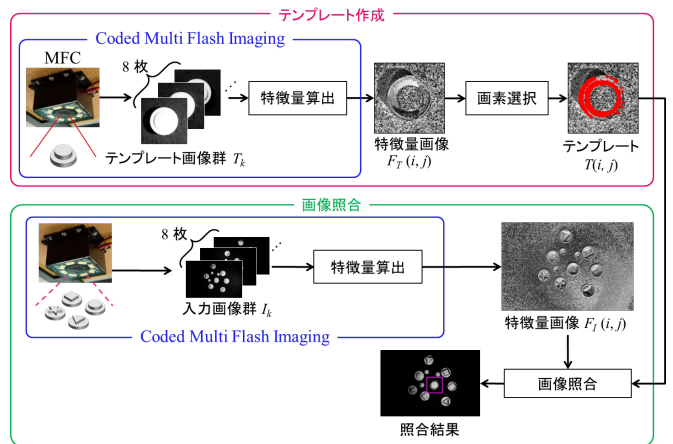


図2 提案アルゴリズムの構成

提案アルゴリズムは、テンプレート作成と画像照合の2つのモジュールから構成される。まずテンプレート作成モジュールでは、Coded Multi Flash ImagingによりMFCの光源を順次点灯させて得た画像群 T_k ($k = 1, 2, \dots, 8$) を用いて、特徴量画像 F_T を生成する。また本研究では、照合に用いる画素数を削減することによって高速化を図る。特徴量変動しにくい安定した画素を選択し、それらの画素群を照合に用いることによって、信頼性を維持したまま処理時間を大幅に短縮することができる。一方、画像照合モジュールにおいては、MFCで取得した入力画像に対しても同様の処理をおこなってバイナリ勾配特徴量画像 F_I を生成する。そして、通常の特徴量マッチングと同様の仕組みで入力画像に対してテンプレートを走査し、類似度が最も高い位置を検出結果とする。なお、類似度には各画素のバイナリ特徴量間のハミング距離を用いる。

3.2 Coded Multi Flash Imaging

MFC を用いて8枚の画像を取得し、対象物の凹凸形状を1枚の特徴量画像として表現する Coded Multi Flash Imaging について説明する。図3に特徴量の算出方法を示す。

MFC のLED を順次点灯させ、画像群 T_k ($k = 1, 2, \dots, 8$) を取得し、これらから勾配強度画像群 G_k ($k = 1, 2, \dots, 8$) を生成する。次に、この勾配強度画像群 G_k を用いて画素ごとに特徴量を8ビットで記述する。同一座標の8枚の G_k の値を比較し、勾配強度が相対的に高い上位半数を1、下位半数を0と記述することによって、8ビットのバイナ

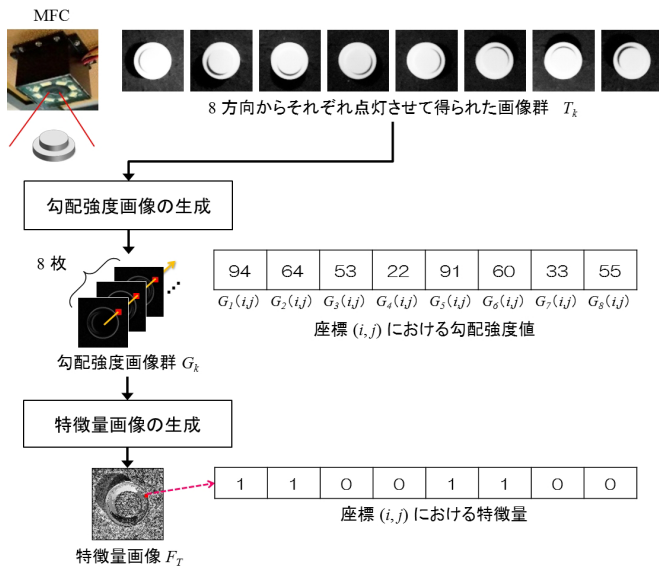


図3 特徴量の算出方法

リコードを生成し、各画素の特徴量とする。これを画像化して特徴量画像 F_T を生成する。

4. 実験結果と考察

本項では、提案手法と従来手法の性能を比較した結果について述べる。図4に実験に用いた画像の例を示す。

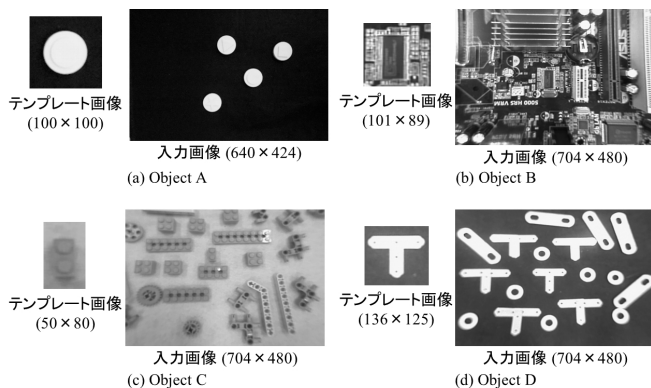


図4 実験に用いた画像の例

図4 (a) は3Dプリンタを用いて作成した物体であり、同一色かつ表面の凹凸のみが異なる4種類の物体 (図5) を撮影した画像である。図4 (b), (c), (d) はそれぞれプリント基板、プラスチック部品、スチール製の金属部品である。実験に使用した画像枚数は各種類50枚である。

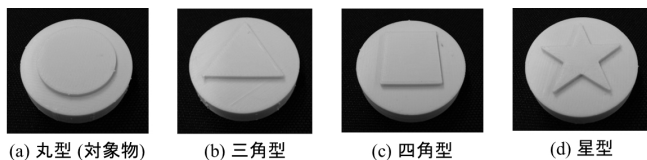


図5 実験に用いた4種類の対象物 (凹凸の大きさ: 2mm)

本実験に用いる比較手法は、以下の5手法である。

- (1) ZNCC: テンプレート画像の全画素を照合に用いる手法
- (2) Chamfer Matching: エッジ情報を照合に用いる手法
- (3) ISC: 増分符号相関を用いる手法

(4) SURF: SURF 特徴量を用いたキーポイントマッチング手法

(5) OCPTM [2]: テンプレート画像のエッジ強度に応じて選択された画素群を照合に用いる手法

表1に各手法の認識率と処理時間を示す。なお、比較手法 (1) ~ (5) には環境光下で撮影された画像を使用した。

表1 各手法の認識率 P_r [%] と処理時間 T [msec]

Method		Object A	Object B	Object C	Object D
(1) ZNCC	P_r	66	100	58	56
	T	2570	3130	1620	5430
(2) Chamfer Matching	P_r	30	54	0	76
	T	76	270	60	160
(3) ISC	P_r	86	100	80	30
	T	1340	1120	610	2580
(4) SURF	P_r	0	94	6	22
	T	126	558	497	371
(5) OCPTM	P_r	74	100	84	98
	T	230	285	146	124
(6) Proposed method	P_r	98	100	98	98
	T	530	620	420	860

CPU: Intel@CORE™i5-2.50GHz, System memory: 4GB

図4 (a) は表面の凹凸形状のみが異なる物体を撮影した画像である。このため、通常の濃淡画像を用いる比較手法は、対象物と他の物体を識別することが難しく、他の物体を誤照合したことに起因して認識率が低下した。一方、提案手法は対象物の凹凸形状を反映させた特徴量を用いているため、対象物と他の物体を高信頼に識別可能である。図4 (b) は高テクスチャな画像の例である。高テクスチャ物体であるため、提案手法と従来手法ともに認識率が高い。図4 (c) は、低テクスチャな画像の例である。比較手法の認識率が低い理由は、画像の濃淡変化が少ないことに起因して、正解位置と他の位置との類似度のS/N比が低かったためと考えられる。図4 (d) は、照明の影響を受けやすい金属物体を撮影した画像である。提案手法は金属物体が対象物であっても認識率が高いことを確認した。また処理時間に関しては、提案手法は8枚の画像を使用するが、照合に少数画素のみを用いるため、平均処理時間607msecと1枚の画像を使用するZNCC法の約1/5である。

以上の実験結果から、提案手法は従来手法に比べて、検出性能が高いことを確認した。

5. おわりに

対象物の凹凸形状を1枚の特徴量画像として表現するCoded Multi Flash Imagingおよび、これを用いた画像マッチング手法を提案した。実画像200枚に対して照合実験したところ、テンプレート画像の全画素の5%の参照画素数で平均認識率98.5%、平均処理時間607msecを確認した。

参考文献

- [1] S.Hinterstoisser, et al., "Dominant Orientation Templates for Real-Time Detection of Texture-Less Objects", CVPR, pp.2257-2264, (2010).
- [2] 秋月秀一ら, "最適配置された画素群の濃度共起発生確率に着目した画像のテクスチャ量にロバストな照合手法", 電学論 C, Vol.133, No.10, pp.1943-1949, (2013).
- [3] R.Raskar, et al., "Non-photorealistic camera: Depth edge detection and stylized rendering using multi-flash imaging", In ACM Trans. on Graphics, Vol.23, no.3, pp.679-688, (2004).