計測自動制御学会東北支部 第256回研究集会 (2010.3.12)
資料番号 256-1

手持ちカメラでの部品検査

Parts inspection using a hand-held camera

○井上智博, 橋本浩一

○Tomohiro Inoue, Koichi Hashimoto

東北大学工学部機械知能・航空工学科ナノメカニクスコース

Course of Nanomechanics, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Faculty of Engineering, Tohoku University

キーワード： 部品検査 (parts inspection)，ホモグラフィ行列 (homography matrix)，ESM (Efficient Secondoder Minimization)，SURF (Speed Up Robust Features)，マッチング(matching)

連絡先： 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-01 東北大学 情報科学研究科 橋本・鏡研究室
井上智博, TEL 022-795-7021, FAX 022-795-7019, E-mail: tomohiro@ic.is.tohoku.ac.jp

---

1. 緒言

製品を作る上で検査は避けられない工程の一つである．現在，この検査は人間の目により行われていることが多々ある．しかし，複雑な製品になるほど検査項目は多岐に渡り，検査する人間にも習熟が要求される．また人間が行う以上，検査基準に差がでることも考えられる．さらに何か検査にミスがあったときになんの記録も残せないので品質の管理が難しいなどの問題がある．そこで人間の負担を軽減し，明確な検査基準を設けるための部品検査システムが求められる．これを実現するために，画像処理を用いて部品検査を行うようなシステムが考えられる．

画像処理を用いた検査自体は条件が限定される場合，非常に簡単である．例えば，プリント基板の組み立て検査において，指定されたICが設計通りの正しい位置に実装されていることを検査するときには，そのICの画像を用意してプリント基板を正しい位置に置き，ICの画像がぴったりに重なってることを確かめればよい．事前に用意した画像（テンプレート）と新たに撮影された画像（入力画像）を重ね合わせて違いを調べるような考え方に基づく処理を一般にマッチング[1)]と呼ぶ．

しかし，検査対象によってはプリント基板のように常に正しい位置で検査できるとは限らない．それどころかカメラ自体を動かして数箇所の検査をしなければならない状況すら考えられる．するとこの問題は途端に難しくなる．なぜなら，検査箇所が入力画像中のどこにあるか特定する必要があり，また入力画像中の検査箇所はテンプレートと同じ向き，大きさをしているとは限らないからである．

これらの問題を解決することを念頭に置き，本研究では手持ちカメラを使った部品検査シ

ステムの構築を目指す.

2. 検査手法

2.1 座標系

3次元空間上にある点 A に着目する (図1). カメラ1の座標系を F^* とする. 点 A をカメラ1で撮影した画像上にできる点 A の像を$\mathbf{p}^* = \begin{bmatrix} u^* & v^* & 1 \end{bmatrix}^T$ とする. カメラを移動し, カメラ2とする. カメラ2の座標系を F とし, F^* と F の相対距離を $\mathbf{t}$, 姿勢変化を $\mathbf{R}$ とする. 点 A をカメラ2で撮影した画像上にできる点 A の像を$\mathbf{p} = \begin{bmatrix} u & v & 1 \end{bmatrix}^T$ とする.

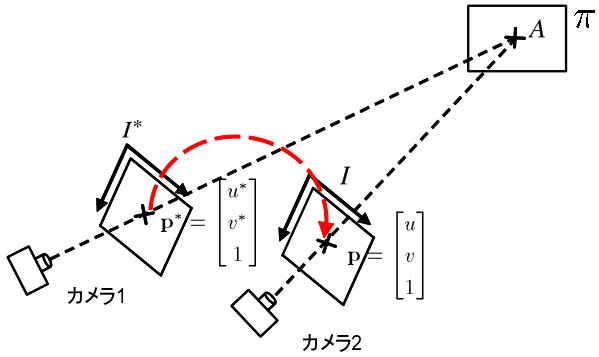


図 1　座標系

2.2 ホモグラフィ行列

点 A がある平面 π 上にあるとき, 点 $\mathbf{p}^*$ と点 $\mathbf{p}$ の関係として,

$$s\mathbf{p} = \mathbf{G}\mathbf{p}^* \tag{1}$$

が成り立つ. s は点 A と2つのフレーム F^* と F との距離の割合で決まる. $\mathbf{G}$ はホモグラフィ行列と呼ばれる3×3行列であり,

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{bmatrix} \tag{2}$$

とする. また式 (1) から分かるようにホモグラフィ行列はスカラ倍の自由度を持つ. $\mathbf{G}$ は $\mathbf{t}$, $\mathbf{R}$, 平面 π の法線ベクトル $\mathbf{n}$, カメラと平面の間の距離 d を用いて

$$\mathbf{G} = d\mathbf{R} + \mathbf{t}\mathbf{n}^T \tag{3}$$

と書ける[2]. 逆に, $\mathbf{G}$ が推定できれば $\mathbf{t}$, $\mathbf{R}$, $\mathbf{n}$, d を求めることが可能である. 平面上に存在するすべての点において, それぞれの撮影画像への投影点の画像座標の組を式 (1) で表すことが出来る.

式 (1) の s を,

$$s = g_{31}u^* + g_{32}v^* + g_{33} \tag{4}$$

とし, 両辺を s で割り,

$$\mathbf{p} = \frac{\mathbf{G}\mathbf{p}^*}{s} = \mathbf{w}(\mathbf{G})(\mathbf{p}^*) = \begin{bmatrix} \dfrac{g_{11}u^* + g_{12}v^* + g_{13}}{g_{31}u^* + g_{32}v^* + g_{33}} \\ \dfrac{g_{21}u^* + g_{22}v^* + g_{23}}{g_{31}u^* + g_{32}v^* + g_{33}} \\ 1 \end{bmatrix} \tag{5}$$

とする. $\mathbf{w}$ は $\mathbf{G}$ の関数で射影変換である. 式 (5) より, 平面上にある点はその平面のホモグラフィ行列が既知であれば, 撮影画像上のある点に対してもう一方の撮影画像上の対応点が一意に求まる. ホモグラフィ行列を用いた射影変換の変換例を 図2 に示す. 対象となる点はすべて平面上にあるとする. 1つのホモグラフィ行列 $\mathbf{G}$ で, 全ての点 $\mathbf{p}^*$ を対応する全ての点 $\mathbf{p}$ に射影変換を行うことが可能である. これにより, 別な視点から撮影した画像を得ることが可能である. すなわち, ホモグラフィ行列が既知であれば, 射影変換を行い視点を変えることで, テンプレートと入力画像の比較を行うことが可能である.

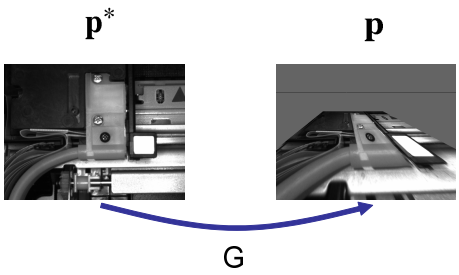


図 2　ホモグラフィ行列を用いた射影変換の変換例

2.3　SURFによる特徴点の対応付けの概要

2.2節で述べたホモグラフィ行列を求めるには3次元空間内のある平面に存在する少なくとも4個の点について，2画像間で対応が与えられている必要がある．それを行うために，Speed Up Robust Fueatures (SURF) [3]と呼ばれる手法を用いた．この手法は画像内の特徴点を検出し，その特徴点に対し大きさ，向き，照明の変化に頑健な64次元のベクトル（特徴量）を記述する．2画像の対応付けを行う場合，それぞれの画像から特徴点を検出し，特徴量を比較する．2つの特徴点について特徴量のユークリッド距離が十分近いとき，その特徴点は対応付けられる．図3にSURFによる対応付けの例を示す．図3をみると，大分ずれた対応付けをしている点も存在する．SURFは高速な特徴点の検出，対応付けを可能とするアルゴリズムであるが，その反面対応付けの精度が悪い．これについて対策は次節以降で述べる．

2.4　対応点からのホモグラフィ行列の決定

2.3節で述べた方法で，ある画像1，2についてn個の点の対応が与えられているとする．画像1におけるk番目の点を$\begin{bmatrix} u_{1k} & v_{1k} \end{bmatrix}^T$，同様に画像2におけるk番目の点を$\begin{bmatrix} u_{2k} & v_{2k} \end{bmatrix}^T$と

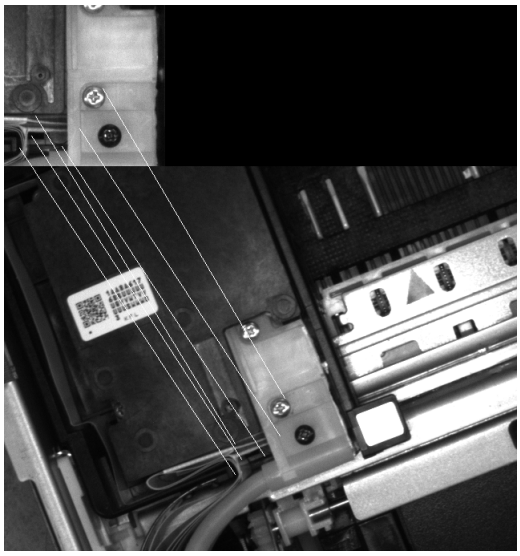


図 3　SURFによる対応付けの例

する．さらにこの点についての式（1）に代入すれば，

$$s_k \begin{bmatrix} u_{2k} \\ v_{2k} \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{G} \begin{bmatrix} u_{1k} \\ v_{1k} \\ 1 \end{bmatrix} \tag{6}$$

となる．式 (2.4) は$\mathbf{G}$の (i,j) 成分をG_{ij}と表し，$\mathbf{g} = \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} & G_{13} & G_{21} & G_{22} & G_{23} & G_{31} & G_{32} & G_{33} \end{bmatrix}^T$とすることで次のように書ける．

$$\left[\begin{array}{ccccccccc|c} u_{1k} & v1k & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -u_{2k} \\ 0 & 0 & 0 & u_{1k} & v1k & 1 & 0 & 0 & 0 & -v_{2k} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & u_{1k} & v1k & 1 & -1 \end{array}\right] \begin{bmatrix} \mathbf{g} \\ s_k \end{bmatrix} = \mathbf{0} \tag{7}$$

左辺の行列の3×9の部分をU_k,残りの1行を$-\mathbf{u_{2k}}$で表すと，n個の点対応がとれている場合，$\mathbf{g}$は次式を満たすことになる．

$$\begin{bmatrix} U_1 & -\mathbf{u_{21}} & \mathbf{0}^T & \cdots & \cdots & \cdots & \mathbf{0}^T \\ U_2 & \mathbf{0}^T & -\mathbf{u_{22}} & \mathbf{0}^T & \cdots & \cdots & \mathbf{0}^T \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & & \vdots \\ U_k & \mathbf{0}^T & \cdots & \mathbf{0}^T & -\mathbf{u_{2k}} & & \\ \vdots & \vdots & & & \ddots & \ddots & \mathbf{0}^T \\ U_n & \mathbf{0}^T & \cdots & \cdots & \cdots & \mathbf{0}^T & -\mathbf{u_{2n}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{g} \\ s_1 \\ \vdots \\ s_n \end{bmatrix} = \mathbf{0} \tag{8}$$

ここで$\mathbf{G}$はスカラ倍の自由度を持つので，$G_{33} = 1$とすれば，$\mathbf{G}$の未知数は8個である．式8を連立方程式として見るとの未知数は$\mathbf{G}$の8個と$s_k(k = 1, 2, \ldots, n)$で合計8+n個である．方程

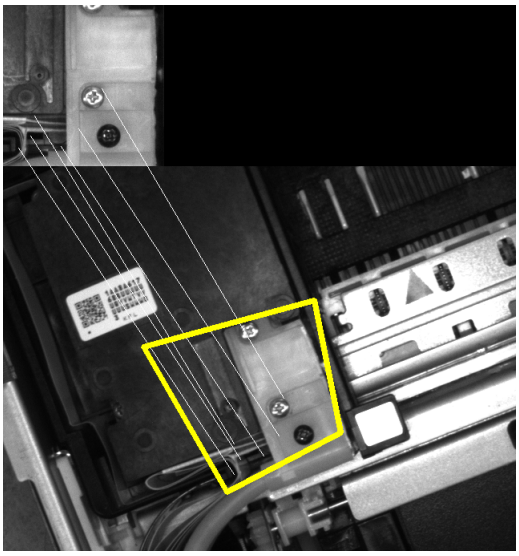


図 4　推定したホモグラフィ行列をもちいて2枚の画像の位置関係を示した例

式は1つの対応毎に3つ得られるので，4点の対応が得られれば，未知数は一意に決まる[2]．また5点以上の対応が得られた場合，最小二乗法を用いて未知数を求める．但しこれは対応付けがすべて正しいことを前提にしている．しかしSURFは間違った対応付けをする場合もあり，この場合正しいホモグラフィ行列を求めることができない．よって間違った対応付けをした点の影響を軽減するため，最小二乗法の代わりにRANSAC[4]と呼ばれる手法を用いる．図4では，図3の対応からこれらの手法を用い，ホモグラフィ行列を計算し，それを式（1）に代入することで上部の写真が下部の写真のどこに位置するかが示されている．

2.5　ホモグラフィ行列の補正

図4では，上部の写真が下部の写真のどこに位置するかをある程度推定出来ているが，若干の歪みも見て取れる．このように2.4節の方法だけで推定したホモグラフィ行列では，不十分な場合が多々ある．そこで本研究ではEfficient Secondoder Minimization (ESM法) [5]を用い，このような推定の不十分なホモグラフィ行列の補正も行っている．以下にその方法を示す[6]．

まず事前に撮影しておいた I^* 上のピクセルを$\mathbf{p}_i^*$とする．テンプレート上の各ピクセルの光の強度を $I^*(\mathbf{p}_i^*)$ で表す．入力画像 I とテンプレート画像 I^* のホモグラフィ $\overline{\mathbf{G}}$ は未知であるが，SURFを使った推定と大きく異なることはないとして以下のようにおく．

$$\overline{\mathbf{G}} = \hat{\mathbf{G}}\mathbf{G}(\mathbf{x}) \tag{9}$$

とする．

$\hat{\mathbf{G}}$はSURFを使って求めたホモグラフィである．$\mathbf{G}(\mathbf{x})$ は $\mathbf{x}$ の関数で $\overline{\mathbf{G}}$ と$\hat{\mathbf{G}}$ の誤差である．入力画像の $\mathbf{p}_i^*$ に対応するピクセルは $\mathbf{w}(\overline{\mathbf{G}})(\mathbf{p}_i^*) = \mathbf{w}(\hat{\mathbf{G}}\mathbf{G}(\mathbf{x}))(\mathbf{p}^*)$ であり，各ピクセルの光の強度は $I(\mathbf{w}(\hat{\mathbf{G}}\mathbf{G}(\mathbf{x}))(\mathbf{p}^*))$ と表せる．対応するピクセル同士の明るさの差 $y_i(\mathbf{x})$ は，

$$y_i(\mathbf{x}) = I(\mathbf{w}(\hat{\mathbf{G}}\mathbf{G}(\mathbf{x}))(\mathbf{p}_\mathbf{i}^*)) - I^*(\mathbf{p}_i^*) = 0 \tag{10}$$

となる．検査箇所のすべてのピクセルの $y_i(\mathbf{x})$ をまとめて

$$\mathbf{y}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} y_1(\mathbf{x}) \\ y_2(\mathbf{x}) \\ \cdots \\ y_q(\mathbf{x}) \end{bmatrix} \tag{11}$$

とする．$\mathbf{x} = \mathbf{x}_0$ のとき，$\mathbf{y}(\mathbf{x})$ が

$$\mathbf{y}(\mathbf{x}_0) = \begin{bmatrix} y_1(\mathbf{x}_0) \\ y_2(\mathbf{x}_0) \\ \cdots \\ y_q(\mathbf{x}_0) \end{bmatrix} = \mathbf{0} \tag{12}$$

となる $\mathbf{x}_0$ を計算する．2枚の画像の対応するピクセル同士の光の強度差を小さくするような $\mathbf{x_0}$ を選び，

$\hat{\mathbf{G}} \leftarrow \hat{\mathbf{G}}\mathbf{G}(\mathbf{x_0})$とする．

十分強度差が小さくまで，これを繰り返す．これで最適なホモグラフィを推定することができる．

2.6　正規化相関係数

テンプレートと変換した画像が十分似ているかどうかの指標として，今回は正規化相互相関係数 (Zero mean Normalized Cross-Correlation) R_{ZNCC} を算出した[1)]．R_{ZNCC} は，点 (i,j) におけるテンプレートの明るさを $T(i,j)$，変換した画像の明るさを $I(i,j)$ とすると

$$R_{\mathrm{ZNCC}} = \frac{\sum_{j=1}^{N}\sum_{i=1}^{M}\Big((I(i,j)-\bar{I})(T(i,j)-\bar{T})\Big)}{\sqrt{\sum_{j=1}^{N}\sum_{i=1}^{M}(I(i,j)-\bar{I})^2 \times \sum_{j=1}^{N}\sum_{i=1}^{M}(T(i,j)-\bar{T})^2}} \tag{13}$$

と書ける．ただし，テンプレートの大きさは $M \times N$である．また $\bar{I}$ と $\bar{T}$ はそれぞれの明るさの平均値である．

$$\bar{I} = \frac{1}{MN}\sum_{j=1}^{N}\sum_{i=1}^{M} I(i,j) \tag{14}$$

$$\bar{T} = \frac{1}{MN}\sum_{j=1}^{N}\sum_{i=1}^{M} T(i,j) \tag{15}$$

R_{ZNCC} が 1 に近いほど類似性が高い．

2.7　アルゴリズム1

ホモグラフィ行列の推定に基づく最も基本的なアルゴリズムを図5に示す．これをアルゴリズム1とする．このアルゴリズムでは，事前に検査箇所のテンプレートを撮影しておく．次に手持ちカメラで入力画像を撮影した後，2.3〜2.5節で説明した方法でホモグラフィ行列を推定し，入力画像の変換を行う．そして変換後の入力画像とテンプレートの正規化相関係数を計算する．その値が閾値を超えたとき，その検査部品は正しく取り付けられていると判定する．またこのアルゴリズムでは検査箇所に欠陥がある場合，いつまでもテンプレートに似た画像は得られない．よって1000フレーム撮影する間に検査箇所が発見できなければ，その検査箇所には欠陥があると判定する．

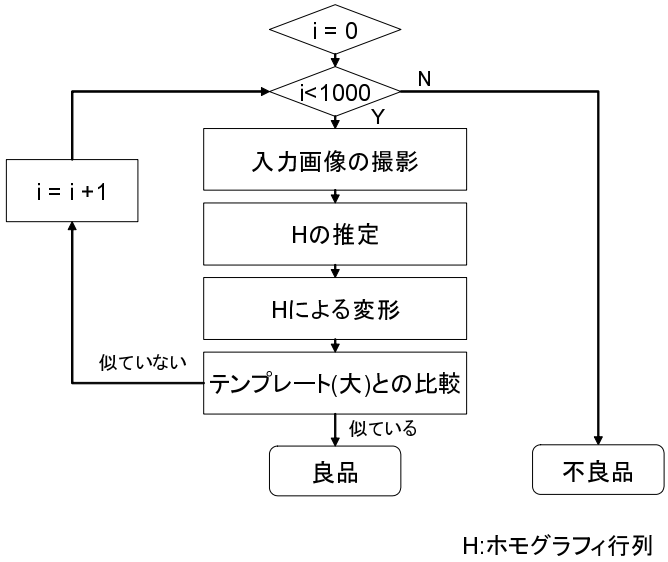


図 5　アルゴリズム1

2.8　アルゴリズム2

2.7節で述べたように，アルゴリズム1は検査箇所に欠陥がある場合，1000フレームの画像を撮影する必要があるため，判定までに時間がかかる．この点について改善したものを図6に示す．これをアルゴリズム2とする．このアルゴリズムでは，事前に図7に示すような2枚のテンプレートを撮影しておく．この内小さい方のテンプレートは検査箇所のみを映した画像（テンプレート（小)），大きい方のテンプレートは検査箇所とその周辺を含む画像（テンプレート（大)）とする．次にアルゴリズム1と同じように，手持ちカメラで入力画像を撮影した後，2.3〜2.5節で説明した方法でホモグラフィ行列を推定し，入力画像の変換を行う．但し，この際使用するのはテンプレート（大）である．そして変換後の入力画像とテンプレート（大）の検査箇所の範囲を除い

た部分の正規化相関係数を計算する．その値が閾値を超えたとき，検査箇所が特定できたとする．その後検査箇所とテンプレート（小）の正規化相関係数を計算する．その値が閾値を超えたとき，その検査部品は正しく取り付けられていると判定する．その値が閾値に満たなかった時，その検査箇所には欠陥があると判定する．

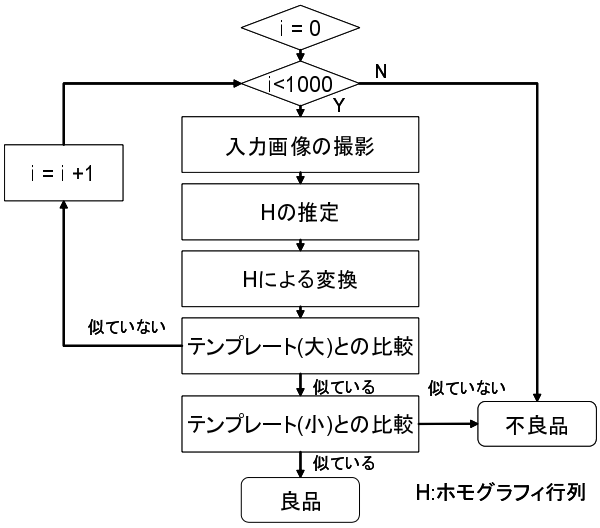
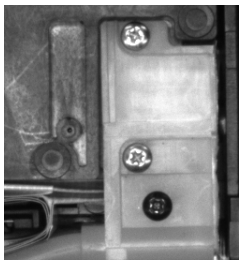


図 6　アルゴリズム2



（a）テンプレート（大）

（b）テンプレート（小）

図 7　アルゴリズム2のテンプレート（大），（小）の例

3.　実験環境

3.1　システム構成

今回実験で使う検査対象には，中が見える程度に分解した市販のプリンター（図8）を用いる．実験の様子を図9に示す．まず検査したい検査箇所を事前に撮影しておいたテンプレートの中から選択する．手に持ったカメラでプリンターを撮影し，この画像をPCに送信する．この画像はモニタに表示される．検査箇所が検出されると画像が停止し，検査箇所に欠陥がないと表示される．アルゴリズム1ではこの動作なしプログラムの終了場合，欠陥があるとみなす．アルゴリズム2では欠陥のない場合同様，画像が停止し，検査箇所に欠陥があると表示される．

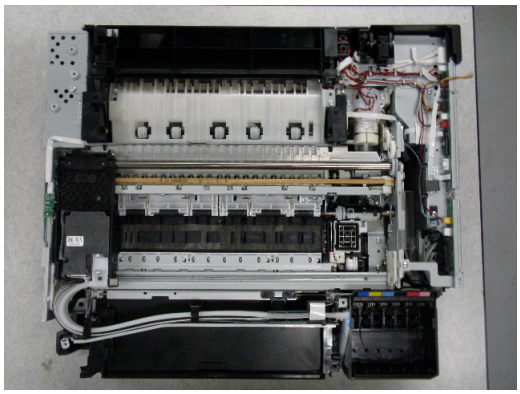


図 8　実験対象のプリンター

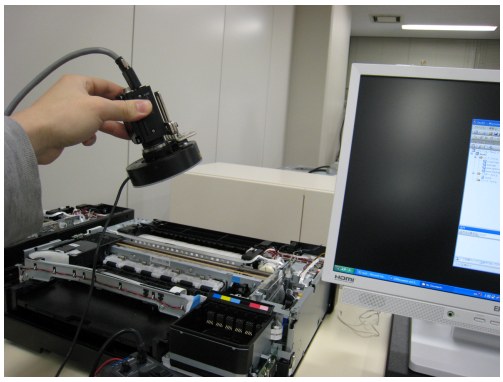


図 9　システム構成

3.2　カメラと計算機

カメラは Point Grey Research Inc.製のGrasshopper (GRAS-50S5C) を用いる．Grasshopperは CCD カメラで，IEEE1394 により PC に接続される．レンズはμTORN製の単焦点レンズ

図 10　実験に使用したカメラ

VF12.5 1.4を用いる．さらに照明装置として，キーエンス社製のリング照明CA-DRW9を用いる．リング照明を使う理由は，常に均一な光を当てることで屋内での照明条件の変化による影響を軽減するためである．カメラにレンズ，リング照明装着した様子を図10に示す．

計算機 (PC) は，OS : Windows XP，CPU : Intel Pentium Core i7 2.93 [GHz] メモリ：4 [GB] を用いる．プログラム言語には C++ を用いた．画像処理プログラムの開発には，Microsoft Visual Studio 2008 Professional Editionsを用いた．また画像処理ライブラリとして，Intel 社の Intel Open Source Computer Vision Library (OpenCV) [7] を用いた．

4.　アルゴリズム1の実験

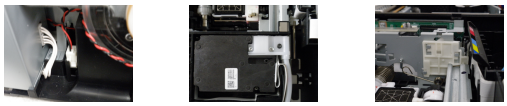
4.1　実験手順

今回実験にあたり，実験対象であるプリンターに対しある部品が存在するか，ずれずに留められてるか等，51箇所の検査項目を設定した．その一部を図11に示す．実験は次の2点について行った．

1) 51箇所の検査項目に対して欠陥のない状態で正しく判定できるかについて実験する．

2) 1) で正しく判定できた検査箇所についてわざと欠陥をつくり正しく判定できるかについて実験する．

但し，2) ついてはプリンターを破壊せずに欠陥を作るのが困難である等の理由から実験を行えなかった箇所もある．2) ついて実際に実験できた箇所23箇所であった．



(a)　(b)　(c)

図 11　検査箇所の例

4.2　実験結果

実験の結果について表1に示す．3段階で評価し，毎回正しい結果がでたものは○，時々間違った結果を出すが1000フレームの間で正しい結果を出し続ける試行のあったものは△，このどちらでもないものを×とした．またこの実験以前に繰り返し事前実験を行い，以下のような検査箇所がうまく検査できないことがわかっていた．

- 同じ部品が横に並んでいる．
- 検査箇所周辺がほぼ一色である．

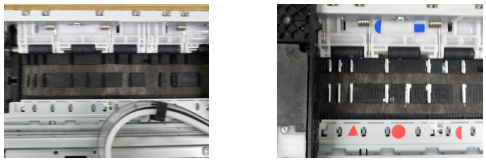
この原因は，他部品との区別が付けにくいこと，特徴が少ないことであると考えられる．よって検査箇所に図12に示すように印をつけることで，これらの問題に対処した上で実験を行った．

4.3　考察

欠陥のない検査箇所については△のものも含めると約86%検査箇所を正しく判定できた．正しく判定できなかった検査箇所があった原

表 1　結果

		件数	比率(%)
欠陥なし	○	37	72.5
	△	7	13.7
	×	7	13.7
欠陥あり	○	13	56.5
	△	1	4.3
	×	9	39.1



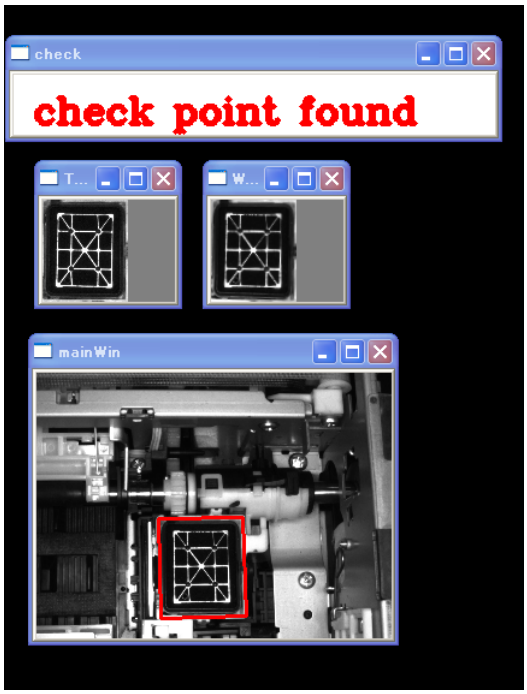
（a）印をつける前の検査箇所　（b）印をつけた後の検査箇所

図 12　印をつけた検査箇所の例

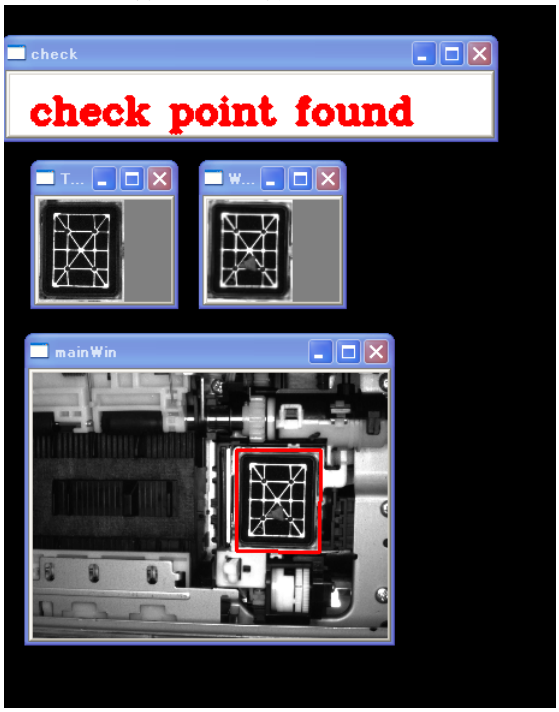
因は主に検査箇所が立体的であったためだと考えられる．今回の手法ではホモグラフィ行列の推定を行っているが，このとき対象は平面であると仮定してる．よって凹凸がはっきり表れるような検査箇所には，向かないと考えられる．

次に検査箇所について正しく判定できた時，できなかった時の例を図13に示す．この検査箇所では小さい異物が検査範囲内にあっても欠陥がないことになってしまっている．このような箇所には検査箇所を分割し，より細かく検査するような解決策が考えられる．

また他の検査箇所うまく判定できない原因としてテンプレートを検査箇所よりやや大きめに取っていることも考えられる．これはホモグラフィ行列の推定をしやすいようにするための措置であるが，これによりテンプレート全体での検査箇所の割合が減少し，誤判定したのではないかと予測される．



（a）正しく判定できた場合



（b）正しく判定できなかった場合

図 13　誤判定をした例

5. アルゴリズム2の実験

5.1 実験手順

4.章で設定した51箇所の検査項目の中から5か所の検査項目を選び，欠陥のない状態，欠陥ある状態について正しく検査を行えるかどうかについて実験をおこなった．

5.2 実験結果

実験の結果について表2に示す．今回も3段階で評価した．毎回正しい結果がでたものは○，時々間違った結果を出すが1000フレームの間で正しい結果を出し続ける試行のあったものは△，このどちらでもないものを×とした．

表 2　結果

		件数	比率(%)
欠陥なし	○	2	40
	△	2	40
	×	1	20
欠陥あり	○	4	80
	△	1	20
	×	0	0

5.3 考察

このアルゴリズムで欠陥がない状態で特に上手く検査できなかった検査箇所について図14に示す．この例では銀色のねじの有無について検査しているが，図5.3ではねじがついているにもかかわらず，欠陥があると判定してしまっている．ここで上手く検査ができない理由は，この検査箇所が光を反射しやすいためだとが考えられる．光の当たる方向の変化により画像の見え方が変わるので，結果欠陥がないにもかかわらず，テンプレートとの正規化相関係数の値が下がってしまっている可能性がある．

ただ実験した検査箇所こそ少ないが，欠陥のあるものを欠陥のないものと間違えることはほとんどなかった．これは検査を行う上で重要である．

6. 結言

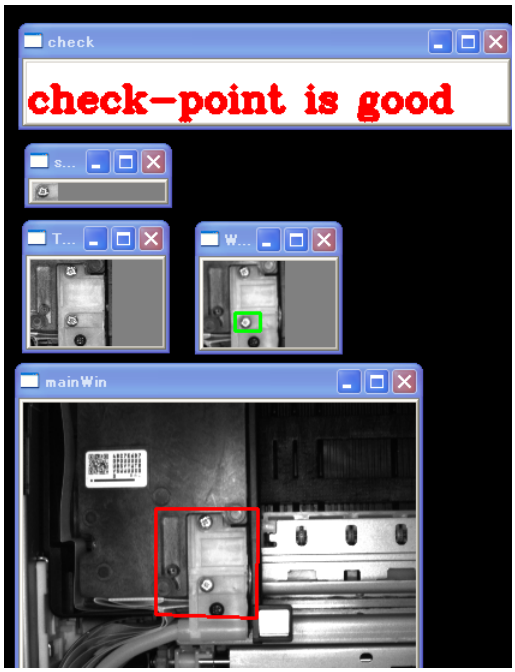
本研究では，工場などで行われている目視検査を代替するため，手持ちカメラを使った部品検査システムの開発を行った．このシステムでは手持ちカメラを使うため，テンプレートと入力画像の比較が困難となる問題が生じる．この解決策としてホモグラフィ行列による画像変換を応用した2つの検査アルゴリズムを提案した．

提案したアルゴリズムを市販のプリンターについて適用し，システムの有用性を確認した．また今回2つのアルゴリムを提案したがアルゴリズム2で実験した検査箇所が少なかったため，アルゴリズム1との十分な比較が行えなかった．よって今後の課題としてアルゴリズム2について多くの検査箇所について検証し，アルゴリズム1の検査結果と比較する．もし，検査の精度についてアルゴリズム1と同等もしくはそれ以上であるとすれば，検査の速度で勝るアルゴリズム2の方が優れた手法であると断定できる．

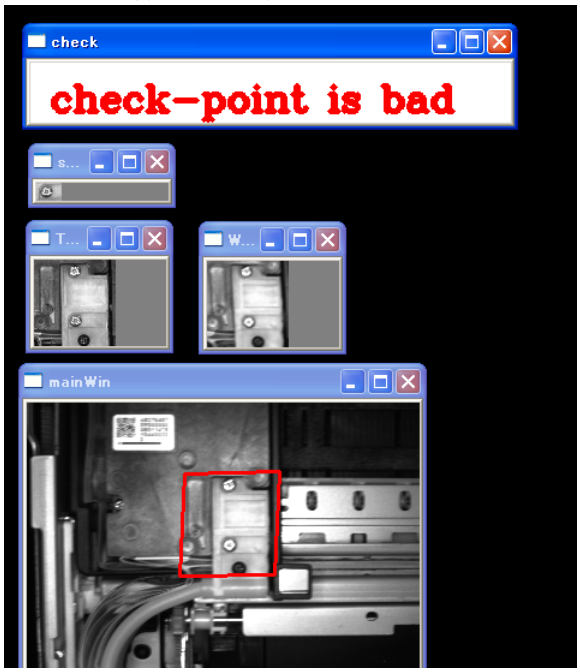
参考文献

1) 江尻, 他. ディジタル画像処理，CG-ARTS協会, 2004.

2) 出口．ロボットビジョンの基礎，コロナ社，2000.



(a) 正しく判定できた場合



(b) 正しく判定できなかった場合

図 14　誤判定をした例

3) H.Bay. T.Tuytelaars and L.V.Gool. SURF: Speeded Up Robust Features. *Proceedings of the 9th European Conference on Computer Vision*, Springer LNCS volume 3951, part 1, pp 404–417,2006.

4) David A Forsyth. Jean Ponce. (大北訳). コンピュータビジョン，共立出版，2007

5) S. Benhimane and E. Malis. Homography-based 2D Visual Tracking and Servoing. *The International Journal of Robotics Research*, Vol. 26, No. 7, pp. 661–676, 2007.

6) 遠藤. 内視鏡手術のためのビジュアルトラッキング, 東北大学工学部卒業論文, 2008

7) 奈良先端科学技術大学院大学 OpenCV プログラミングブック制作チーム. OpenCV プログラミングブック, 毎日コミュニケーションズ，2007.