

ホモグラフィ行列を用いた画像合成技術に関する研究

山口 直木

A Research for Image Composition Technology by using Homography Matrix

Naoki YAMAGUCHI

要約

本研究は、ホモグラフィ行列を用いた画像合成技術を新たに提案するものである。画像合成とは、画像を背景と対象に分割し、背景部分に別の画像を埋め込む手法が一般的である。この手法では、背景として、均質な色を持つ大きな平面を必要とするので、ブルーバック等を用意しなければならず、使用できる環境に制限が多い。

そこで、本研究では、2 台のカメラを用いて撮影した画像からホモグラフィ行列を算出し、その行列を用いて、画像合成を行う。そのため、ブルーバック等を必要とせず、画像合成を行うことが可能となるものと考えている。本論文では、その第 1 歩として、背景領域の抽出を実験により検証する。

「キーワード」 画像合成、クロマキー合成、ホモグラフィ行列、相関

[Abstract]

This research proposes a new image composition technology using a homography matrix. In image composition, a method for dividing an image into foreground and background and replacing the area of background with a different image is generally. But, big surface with the homogeneous color is necessary for this method. Therefore, environment which can be used is restricted.

So, in this research, the homography matrix calculated from each images taken by two cameras is used. Without needing big surface with the homogeneous color, I think that it is possible to compose an image casually into a room. As the 1st step, we try to evaluate the accuracy of extracting the background area by experiments in this paper.

[Keyword] Image Composition, Chroma keying, Homography Matrix, Correspondence

はじめに

画像処理技術の 1 つにクロマキー合成と呼ばれる技術がある。これは、特定の色情報を持つ領域を背景、それ以外の領域を対象とし、背景の部分に別の画像を埋め込むことにより、画像の合成を行う技術である。この手法では、ブルーバックと呼ばれる均質な色の壁、布を背景として用いる場合が多い。雑誌、テレビなどでもよく用いられているが、色情報を用いているため、以下の問題点がある。

- ブルーバックなど均質な色を持つ大きな布や用紙などを用意する必要がある。
- 背景に人物等の影が映り込まないようにするため、照明の位置等に制限がある。

そこで、本研究では上述の問題点を克服するために、ホモグラフィ行列を用いる手法を提案する。

ホモグラフィ行列とは、画像上の任意の平面を別の画像上に射影するものであり、4組の点の対応関係がわかれば簡単に求めることが可能である。そのため、提案手法では、まず、サークルグリッドパターンと呼ばれる円をグリッド上に配置したパターンを壁面等に貼り、そのパターンを2台のカメラで撮影し、それぞれの画像上での円の中心点の座標を求める。次に、求めた座標を用いてホモグラフィ行列を計算する。最後に、ホモグラフィ行列を用いて一方の画像を変換し得られた画像ともう一方の画像の相関を計算し、閾値以上の領域が壁面と同一の平面、すなわち、クロマキー合成におけるブルーバックとして抽出する。

本論文の構成は、以下の通りである。

1章でホモグラフィ行列の原理を説明し、2章で提案手法を述べる。3章では、実験により提案手法の妥当性を明らかにし、4章では今後の課題を述べる。

1. 原理

1.1. 射影変換と同次座標

ある3次元空間中に存在する点(X,Y,Z)をカメラで撮影し、得られた画像上でその点の2次元座標が(x,y)であるとき、以下の射影変換式が成立する。

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = f \begin{pmatrix} \frac{x}{z} \\ \frac{y}{z} \end{pmatrix} \quad (f: \text{カメラの焦点距離}) \quad (1)$$

(1)式は射影変換と呼ばれ、3次元上の点を2次元平面の点に射影する、すなわち、イメージセンサを用いて画像を撮影するときの座標変換の基礎である。射影変換では、3次元空間上の原点はカメラのレンズ中心であり、Z軸は、光軸に等しいものとする。

ここで、画像上の点の座標値を以下のような式で定義する。

$$p = \begin{pmatrix} x \\ y \\ m \end{pmatrix} \quad (m: \text{点 P の Z 座標値}) \quad (2)$$

(2)式では、実際の座標値は(x/m, y/m)で表される。

このような表現を同次座標系と呼ぶ。その表現の特長は、m=0とすることが可能なことにある。その場合には、座標値は無限遠となるが、コンピュータグラフィックス等では、光源座標など特定方向の無限遠点を表現することが可能となるという利点がある。

また、(2)式で表された座標値は、下記の(3)、(4)、(5)式を用いて、簡単に回転、拡大・縮小、平行移動変換をすることが可能である。

回転移動 (回転角度 θ)

$$\begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

拡大・縮小 (x 軸方向に fx 、y 軸方向に fy の拡大・縮小)

$$\begin{pmatrix} fx & 0 & 0 \\ 0 & fy & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

平行移動 (x 軸方向に tx 、y 軸方向に ty の移動)

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & tx \\ 0 & 0 & ty \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

(3)、(4)、(5) 式を掛け合わせ、得られた 3×3 の行列を用いれば、画像変換を簡単に行うことができる。

1.2. ホモグラフィ行列

今、2つのカメラを用いて撮影した画像をそれぞれ I_1 、 I_2 とし、 I_1 上の点 p_1 と I_2 上の点 p_2 には、同じ点 P が撮影されている、すなわち、 p_1 と p_2 は対応関係にあるものとする。

ここで、 P が $Z=1$ の平面上にあると仮定し、 p_1 を同次座標を用いて表すと、

$$p_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

となる。同様に、 p_2 も同次座標を用いて表すと、 P は、カメラ 2 の 3 次元空間上では、どの平面にあるかわからないため、

$$p_2 = \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix} \quad (z_2: \text{任意の数}) \quad (7)$$

と表される。

p_1 と p_2 の座標値の関係は以下の式で表すことが可能である。

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & h_9 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

(8) 式における 3×3 の行列のことをホモグラフィ行列と呼ぶ。ここで、ホモグラフィ行列は定数倍しても結果は同じになるため、 $h_9=1$ と考えることができるため、求めるパラメータは 8 つである。そのため、2枚の画像において、4組の点の対応関係を求めることができれば、ホモグラフィ行列を算出することが可能となる。ただし、4組の点はすべて同一平面上になければならない。

2. 提案手法

提案手法の処理手順は以下の通りである。

1. 特定の平面（壁や床など）にサークルグリッドパターンを貼り、パターン平面とする。
2. パターン平面を2台のカメラを用いて撮影し、画像 I1、I2 を得る。
3. I1、I2 においてサークルグリッドパターンの各円の中心座標値を算出する。
4. 3. で得られた座標値から、ホモグラフィ行列を算出する。
5. 4. で得られたホモグラフィ行列を用いて、I1 を変換し、画像 I3 を得る。
6. I3 と I2 の相関を算出する。
7. 相関が高い領域をパターン平面と同一の方程式を持つ平面として抽出する。

ここで、3. 4. の処理には、OpenCV ライブラリを用いる。OpenCV はオープンソースの画像処理ライブラリであり、誰でも簡単にサークルグリッドパターンの座標値やホモグラフィ行列を算出することが可能である。そのため、2つの処理については詳細を割愛する。

相関の計算は、パターン平面と同一の方程式を持つ平面領域の場合には、I2 と I1 において同じ位置に投影されるため、同一の座標同士の相関を計算する。

3. 実験と考察

実験を行った結果を以下に示す。なお、相関の計算時において、領域は 64×64 、閾値は 0.8 としている。

3.1. サークルグリッドパターンの抽出とホモグラフィ行列の算出

2組の画像とその画像からサークルグリッドパターンを抽出した結果を Fig.1、Fig2 に示す。各円の中心は黄色で塗りつぶしている。

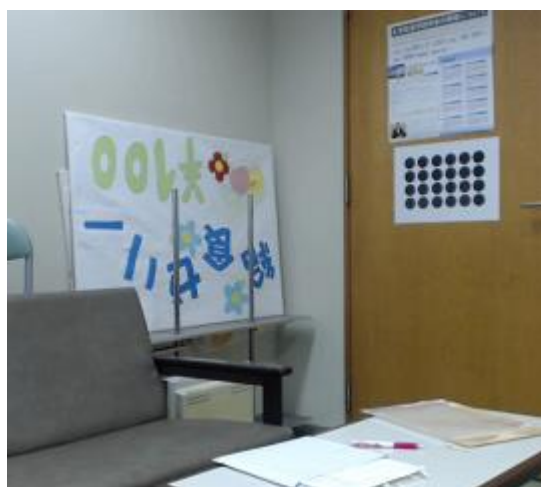
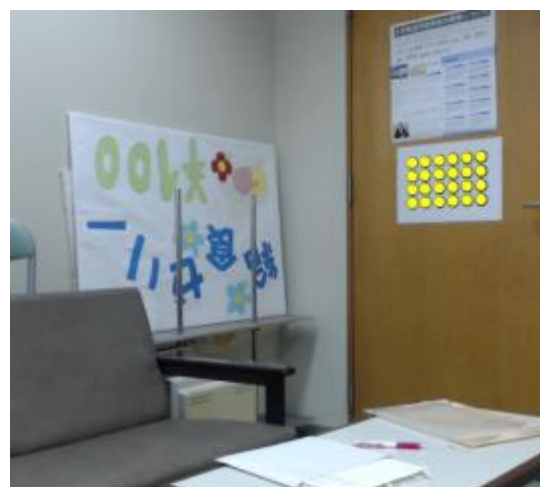


Fig.1 (1) カメラ 1 の原画像



(2) カメラ 1 の抽出結果

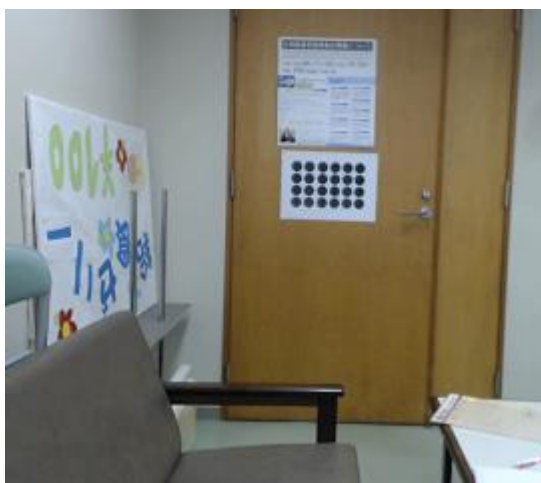
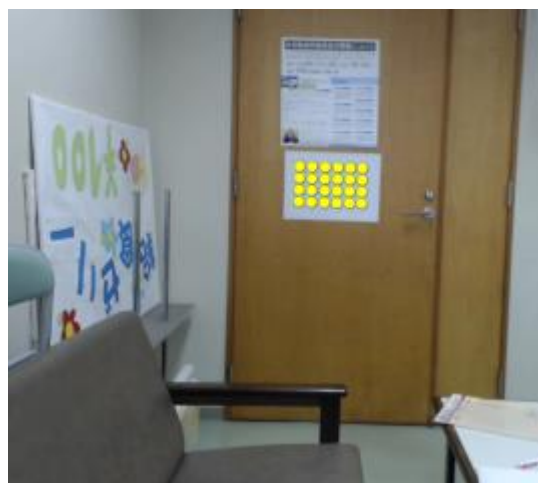


Fig.2 (1) カメラ 2 の原画像



(2) カメラ 2 の抽出結果

次にパターン平面の抽出結果を Fig.3 に示す。抽出結果では、ブルーで塗りつぶされた領域が相関が低い部分、原画像に残っている部分が抽出結果である。

図からもわかるように、サークルグリッドパターンを中心に精度よく抽出できているが、ところどころで誤検出がある。これは、相関の計算を行う際に、サークルグリッドパターンの抽出誤差にともなうホモグラフィ行列の誤差、ホモグラフィ変換時の誤差等が原因であると考えられる。



Fig.3 パターン平面の抽出結果

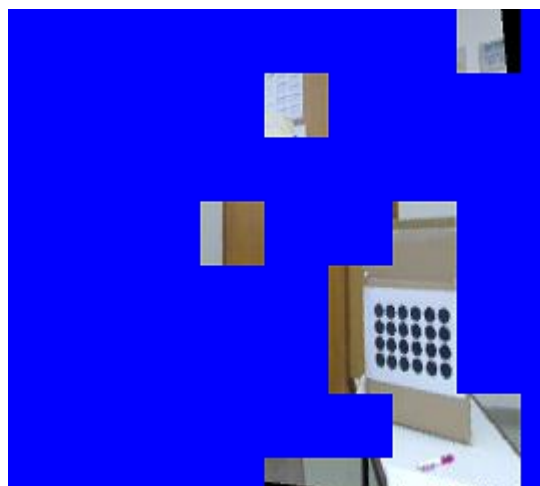
3.2. 妥当性の検証

提案手法の妥当性を明確にするため、箱の側面をパターン平面として実験を行った。原画像とパターン平面の抽出結果を Fig.4、パターン平面を取り去った場合の抽出結果を Fig.5、パターン平面の代わりに他の箱をおいた結果を Fig.6 に示す。

Fig.5 では、ほぼすべての領域がブルーとなっているが、Fig.6 では、箱を置いた部分を抽出することができている。この結果から、画像合成を行うことが可能であると考えている。



Fig.4 (1) 原画像



(2) パターン平面の抽出

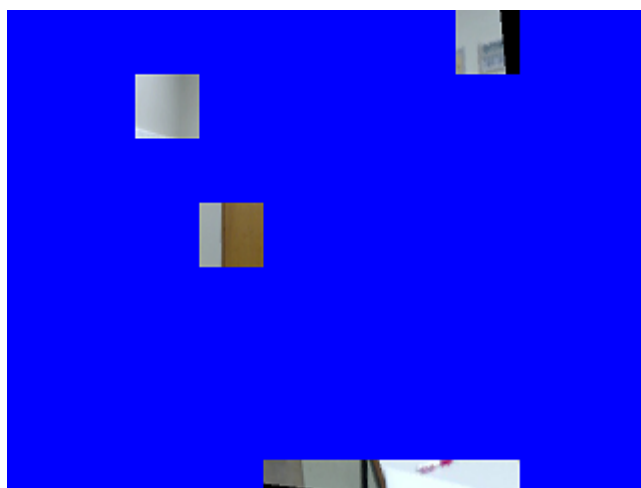


Fig.5 箱を取り去った結果

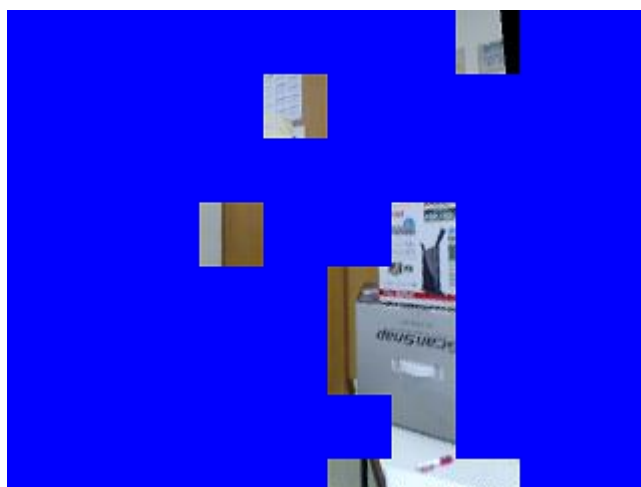


Fig.6 別の箱を置いた結果

4. 今後の課題

今回の実験には、安価な USB カメラを用いている。その結果、カメラの内部パラメータの算出が困難であったため、内部パラメータを使用してホモグラフィ変換を行っていない。射影変換は、内部パラメータを用いたほうがより精度の高い変換を行うことができるため、より高価なカメラを用いて研究を続けたい。

サークルグリッドパターンの抽出処理では、OpenCV ライブラリの抽出結果をそのまま使用している。そのため、測定のたびに結果にずれが生じているので、何らかの工夫が必要であると考えている。

また、相関を計算する際には、一般的な計算方法を用いているため、量子化誤差、標本化誤差等の影響を受ける場合があり、パターン平面の抽出に誤差が生じる部分があった。今後は、さまざまな相関の計算方法を試し、より精度のよい抽出法を提案したい。

おわりに

本論文は、新たな画像合成方法を提案するための研究である。提案手法は、ホモグラフィ行列を用いるところに大きな特徴があり、ブルーバックのような均質な色の布や壁面を必要とせずに画像合成を行うことが可能となる。研究としては、初期段階であり、さまざまな問題点や克服すべき点が見受けられたが、ホモグラフィ変換を用いた画像合成手法の可能性を示せたものと考えている。

今後は、パターン平面の抽出精度を高めることはもちろんであるが、提案手法がどのような場面に有効であるのか問うことも考えたい。