

全方位画像と通常画像のハイブリッド合成に関する検討

佐藤 元昭[†] 甲藤 二郎[†]

[†] 早稲田大学 理工学術院 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

E-mail: † { satoh , katto } @katto.comm.waseda.ac.jp

あらまし パノラマ画像とは広範囲なシーンが撮影された視野の広い画像のことであるが、このパノラマ画像を取得する手法として、高精度にキャリブレーションされたマルチカメラシステムを利用する方法、複数の画像を繋ぎ合わせる方法、曲面ミラーや広角レンズを用いる方式、など様々な手法が研究されている。しかし、これらの方法はそれぞれ問題点もある。マルチカメラシステムを利用する場合は、カメラ間での高い精度でのキャリブレーションが必要になり、システムが複雑になってしまう。複数の画像を繋ぎ合わせる場合は、通常のカメラを使用できるが、画像間である程度重なりとなる領域が必要になることや、撮影時の日照条件や露光の変化による画像間の輝度、色彩などの違いによって、画像間の繋ぎ目に違和感が生じてしまうという問題がある。一方、曲面ミラーや広角レンズを用いる場合は、手軽に直接パノラマ画像を取得できるが、視線方向での解像度の不均一性や、全体的な解像度の低さが問題となる。そこで本研究では、双曲面ミラーを利用して取得した全方位画像と、通常画像をハイブリッド合成することで、高解像度で、輝度、色彩が補正されたパノラマ画像の生成を行う。また、同時に全方位画像と通常画像の対応付け手法に関する検討も行う。

キーワード 全方位画像, 位置合わせ, 色補正

A study on the hybrid composition of omni images and normal images

Motoaki SATO[†] and Jiro KATTO[†]

[†] Dept. of Computer Science, Waseda University, 3-4-1 Okubo, Shinjuku, Tokyo 169-8555

E-mail: † { satoh , katto } @katto.comm.waseda.ac.jp

Abstract A panoramic image is the image that captures a wide scope scene in horizontal direction. Various techniques had been studied to acquire this panorama image; a method to use a calibrated multi-camera system, a method to stitch multiple images, and a method to use a curved surface mirror and a wide-angle lens (omni-camera). However, there are problems in each method. In case of the multi-camera system, high precision calibration among multiple cameras is necessary and the system becomes complicated. In the stitching method case, we can use a normal digital camera, but overlapping areas between images cause discomfort at the stitched regions due to differences of brightness and colors between images caused by lighting condition and exposure change. In case of the omni-camera, we can capture panoramic images easily and directly, but we suffer from uneven resolution in the eye direction and overall low resolution of the captured images. Therefore in this paper, we propose a hybrid method which calibrates brightness and color and keeps high resolution by composing omni-camera images and normal-camera images. In addition, we study about registration techniques between a panorama image and a normal image.

Keyword omni-directional image, image registration, color calibration

1. はじめに

近年、デジタルカメラやカメラ付き携帯電話などの普及により、撮影した複数の写真を張り合わせることで、視野が広く、解像度の高い画像を生成するイメージモザイクが注目され、研究が進められている。この技術は航空写真やリモートセンシング画像の合成などに利用されてきたが、最近では仮想現実感の生成や監視システム、映像ブラウジングインタフェースといった応用も提案されている[1]。

しかしながら、このモザイク画像を特殊なキャリブ

レーションを行わずに撮影した画像群から生成する際、撮影時の露光の変化や日照条件の変化などにより、画像毎で輝度やカラーバランスが変化し、画像と画像の繋ぎ目が不自然になってしまうという問題がある。また、複数の画像を繋ぎ合わせてモザイク画像を生成する際は、画像間で重なった部分が必要となるため、写真の撮り方にも気を使わなくてはならない。複数の写真を繋ぎ合わせなくても、カメラに全方位ミラーという双曲面で出来た鏡を取り付けて撮影することで、一度に周囲360度の視覚情報を取得する方法もあるが、この

方法だと、全体的な解像度が低くなってしまおうという欠点がある。

このような背景から、この論文では、通常のカメラで撮影した複数の画像と、全方位ミラーを用いて撮影した同心円状の画像をパノラマ展開することで取得したパノラマ画像との対応付けを行うことにより、輝度・色彩の補正を行い、より高品質なパノラマ画像を生成することを目的とする。

2. 提案手法

2.1. 提案手法の処理の流れ

以下に提案手法の処理の流れを示す（図 1 参照）。

1. 全方位ミラー [2] をデジタルカメラに取り付けて撮影することで同心円状の画像を取得する。
2. 1 で得られた同心円状の画像をパノラマ画像に展開する [3]。
3. 別のデジタルカメラで通常画像を取得する。
4. 2, 3 の画像から SIFT Descriptor [4] によって特徴点を抽出する。
5. 抽出されたパノラマ画像の特徴点データと通常画像の特徴点データのマッチングを行う
6. マッチングによって得られた画像間の対応点データから、通常画像に平面射影変換を施し、パノラマ画像に位置合わせをする。
7. 6 の画像を補正対象画像、パノラマ画像を参照画像としてヒストグラムマッチング [5] を行う。

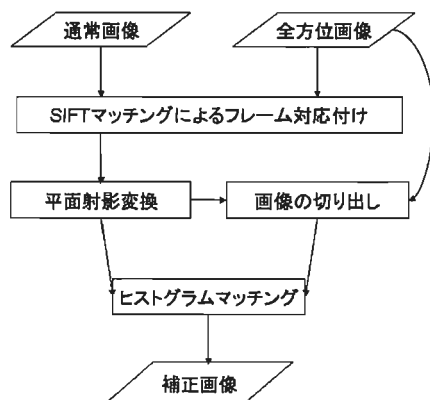


図 1. 提案手法の流れ

2.2. SIFT Descriptor

SIFT Descriptor [4] は、ある特徴点の代表輝度勾配方向を決定し、その方向を基準として、他方向の輝度勾配ヒストグラムを作成し、多次元ベクトルで特徴量を記述する。これにより、回転・スケール変化・照明変化に頑強であるという特徴を持つ。

SIFT 特徴点抽出の流れは、特徴の抽出に適した点の

検出と、特徴量の記述の 2 段階からなり、検出段階はスケールスペース極値検出、キーポイントのローカライズからなり、記述段階はオリエンテーション割り当てと、SIFT Descriptor により特徴量の抽出からなる。スケールスペース極値検出によりスケール変化に、オリエンテーションの割り当てにより回転に、SIFT Descriptor による特徴量の記述により照明変化に、それぞれ不変であるという特徴を得る。

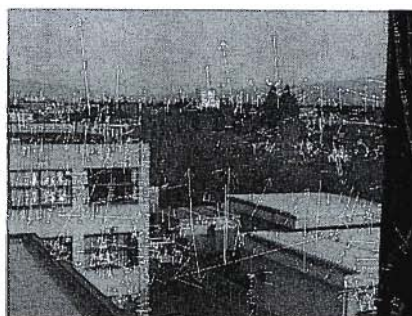


図 2.SIFT によって特徴量が記述された画像

2.3. SIFT マッチングによるフレーム対応付け

本研究では、全方位カメラとして Hyper Omni Vision [2]を使用する。このセンサは双曲面ミラーで構成されており、中心射影の特性を持つ。このため、投影面を仮定することで通常カメラと同様にピンホールカメラモデルで扱うことができる。撮影時、全方位カメラの双曲面ミラーの焦点と通常カメラの光学中心がほぼ同じであると仮定する場合、両画像を円筒面上に投影することで、画像の比較を平行移動のみで行うことができる[6]。そこで、興梠[6]、内山[7]らは、入力画像と全方位画像との、輝度値の輝度差の総和(SAD; Sum of Absolute Difference)や輝度差の 2 乗和(SSD: Sum of Squared Difference)を求め、これを最小とする位置を対応付け結果としたが、これら手法では、輝度変化の影響を受けやすいという欠点があった。

そこで、本論文では、全方位画像と通常画像のマッチングに輝度変化に強いとされる SIFT 特徴点を用いて対応付けを行う。ただし、SIFT 特徴点はアフィン変換に対しては頑強では無いため、本論文でも全方位画像と通常画像を円筒面に投影した後、両画像から SIFT 特徴点を抽出し、対応付けを行う。この時、得られた対応点には誤りが含まれることもあるため、誤対応を RANSAC (Random Sample Consensus) [8] によって除去してから、平面射影変換パラメータを求める。

この SIFT を利用した対応付け処理の概要を、図 3 に示す。

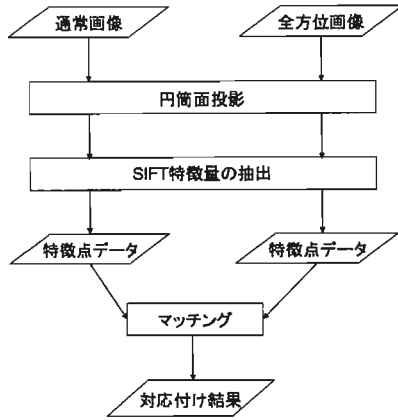


図 3. フレーム対応付け処理の流れ

2.3.1 円筒面投影

フレーム画像は、その撮像系の光軸の仰角が既知であれば、円筒面へと再投影することができる[6]。

円筒面変換の流れは以下ようになる。なお、ここでのフレーム画像は、本論文での通常画像を指す。

1. パノラマ画像の焦点距離を f_p 、対応点の座標を (x_p, y_p) 、光軸の仰角を α とおくと、(1)式が成り立つ。

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{f_p}{y_p}\right) \quad (1)$$

2. フレーム画像上の各点 (x, y) を仰角 α だけ X 軸方向に光軸を回転して射影された点を (x', y') として、フレーム画像の撮像系の焦点距離を f_c とすると、以下の式が成り立つ。

$$x' = \frac{f_c x}{y \sin \alpha + f_c \cos \alpha} \quad (2)$$

$$y' = \frac{f_c (y \cos \alpha - f_c \sin \alpha)}{y \sin \alpha + f_c \cos \alpha} \quad (3)$$

3. (x', y') を円柱座標 (θ, h) へ変換する式は、以下のようになる。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{x'}{f_c} \quad (4)$$

$$h = \cos(\theta) y' \quad (5)$$

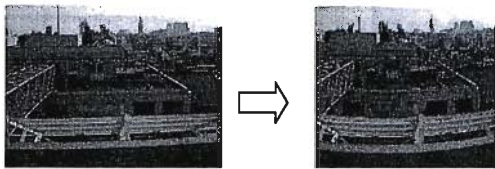


図 4. 円筒面投影を行った例

2.4 ヒストグラムマッチング

2.4.1 ヒストグラムマッチングのアルゴリズム[5]

ヒストグラムマッチングは、もともとは多眼画像の色補正のために報告された手法である[5]。このヒストグラムマッチングを用いて、補正対象である画像のヒストグラムを、参照画像のヒストグラムにマッチングさせる流れは以下ようになる。この計算は色空間 (YCrCb or RGB) において、それぞれ3つのコンポーネント毎で (R と G と B に分解してからそれぞれ別々に) 計算を行う。

①コンポーネント毎にヒストグラム $H_R[v]$ を計算する。

ここで v はヒストグラムの画素値 (0~255)、 l は画像のフレーム番号、 m は画像の横軸の座標、 n は画像の

縦軸の座標を表す。画像の $y_R[m, n, t]$ は時間が t (動画ではフレーム数に相当する) の時の座標 (m, n) の画素値を示す。また、 ω は画像の幅、 h は画像の縦のピクセル数を示す。

なお、添え字の R は参照画像を、添え字の D は補正対象画像を表す。

$$H_R[v] = \frac{1}{l \cdot \omega \cdot h} \sum_{t=0}^{l-1} \sum_{m=0}^{h-1} \sum_{n=0}^{w-1} \delta[v, y_R[m, n, t]] \quad (6)$$

$$\begin{cases} \delta[a, b] = 1 (a = b) \\ \delta[a, b] = 0 (a \neq b) \end{cases}$$

②ヒストグラムの和 $C_R[v]$ を求める。

$$C_R[v] = \sum_{i=0}^v H_R[i] \quad (7)$$

①、②で参照画像の $H_R[v]$ 、 $C_R[v]$ を求めたが、同様に、補正対象画像の $H_D[v]$ 、 $C_D[v]$ も求める。

③マッチング関数 $M[v]$ を以下の式で定義する。ここで、 u は参照画像のヒストグラムの画素値を表す。

$$M[v] = u \quad (8)$$

$$\text{with } C_R[u] \leq C_D[u] < C_R[u+1]$$

④補正対象画像のヒストグラムを参照画像のヒストグラムにマッチングさせる。

③で求めた $M[v]$ を、以下の式を用いて補正したい画像の全てのピクセルに対して適用させることでヒストグラムマッチングを行う。

$$y_c[m, n, t] = M[y_D[m, n, t]] \quad (9)$$

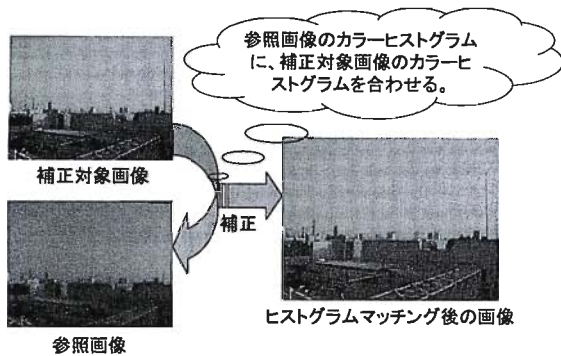


図 5. ヒストグラムマッチングを行った例

2.4.2 マッチング関数 $M[v]$ を利用した色補正

通常画像のカラーヒストグラムを全方位画像のカラーヒストグラムに単純にマッチングさせていくだけではなく、一枚の通常画像と全方位画像のヒストグラムマッチング時のマッチング関数を利用して、他の通常画像の色補正も行う。ある通常画像一枚のカラーヒストグラムと全方位画像のカラーヒストグラムとのマッチング関数 $M[v]$ を利用して、他の通常画像の色補正を行うことで、色合いは通常画像のまま、つなぎ目に違和感の無いパノラマ画像が生成できる。この処理の概要を図 4 に示す。

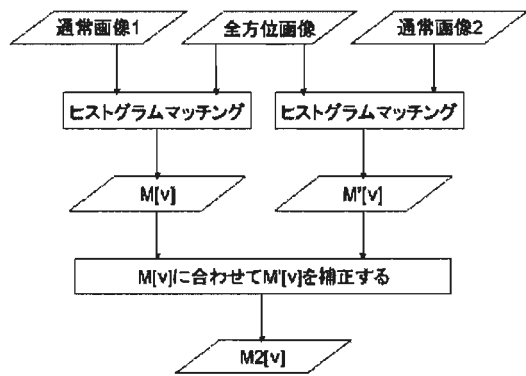


図 6. マッチング関数 $M[v]$ を利用した色補正の概要

具体的な処理は次のようになる。

輝度・色彩の基準となるある一枚の通常画像と全方位画像のマッチング関数を $M[v]$ とし、他の通常画像と全方位画像のマッチング関数を $M'[v']$ とする。ここで、 $M'[v']$ を $M[v]$ を基にして補正した $M''[v'']$ を求める式は以下のようになる。

$$M''[v''] = v \quad \text{if} \quad M[v] = M'[v'] \quad (10)$$

この $M''[v'']$ を $M'[v']$ の代わりに利用して色補正を行うことで、色合いは変えずに補正を行う。

3. 評価実験

3.1. 実験条件

全方位カメラとして、表 1 に示した Hyper Omni Vision を使用した。このミラーをデジタルカメラに取り付けて撮影し、取得した画像が図 7(b)の左の画像に、これを円筒面展開したものが図 7(b)の右の画像になる。通常画像は周囲ほぼ 360 度を覆うように、計 15 枚撮影し、それらのうちの一枚が図 7(a)の画像になる。この通常画像群を 2.4.1 の手法と 2.4.2 の手法でそれぞれ色補正を行った後に、モザイク画像を生成した。

表 1. 全方位ミラーの仕様

最大外径	70
仰角	60
俯角	60度タイプ
カメラ最短撮影距離	160mm 以下
カメラ画角	20度



(a) 通常画像



(b) 全方位画像

図 7. 実験に用いた画像

3.2. 結果と考察

色補正を全く行わずに生成したモザイク画像を図 8 に、2.4.1 と 2.4.2 の手法で色補正を行った後、生成したモザイク画像をそれぞれ図 9、図 10 に示す。色補正を行わずに生成したモザイク画像には画像の繋ぎ目に色のムラが目立ち、違和感のある画像となってしまうことが分かる。それに対して色補正を行った図 9,10 の画像は違和感の少ないより自然なモザイク画像が生成されていることが確認できる。これらの画像から、通常画像を全方位画像の情報に基づいて補正することは、より自然なモザイク画像生成に効果があるといえる。

3.3. 提案手法の応用例

SIFTマッチングによるフレーム対応付けの応用例として、google street viewが良い例であるが、今後、広範囲にわたる全方位画像群を入手することが容易になることが予想されることから、携帯電話のカメラで撮影した画像と、予めネットワーク上に蓄えておいた全方位画像群との対応付けを行うことで、携帯電話のカメラで撮影した画像に対して注釈情報を重畳表示するなどのネットワークサービスへの応用が考えられる。

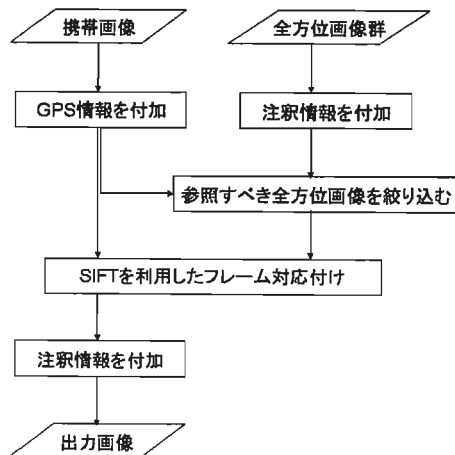


図 11. 提案手法の応用例の概要図

4. 結論

本論文では、全方位画像と通常画像のハイブリッド化に関して、パノラマ画像生成時に画像間の繋ぎ目に生じる違和感軽減のための、色補正手法を提案した。また同時に、全方位画像と通常画像の対応付けに円筒面投影と SIFT を利用することを提案し、実際に対応付けが可能であることを確認した。色補正手法は二通り行い、一つ目は、全方位画像のカラーヒストグラムに通常画像のカラーヒストグラムを合わせるという手

法。二つ目は、ある一枚の通常画像と全方位画像のカラーヒストグラムのマッチング関数に、他の通常画像のカラーヒストグラムを合わせていくという手法になる。どちらの手法も、通常画像の画像間での輝度変化などが補正されて、より違和感の無いモザイク画像を生成できることが確認できた。今後の課題としては、通常画像と全方位画像の対応付けの精度に関する検討、動画像への拡張、ジャイロセンサーと組み合わせることによる円筒面変換の精度向上などが考えられる。

文 献

- [1] 森田真司,山澤一誠,横矢 直和, "全方位画像センサによるネットワークを介したテレプレゼンスシステムと遠隔監視システム", 信学技報, PRMU2002-83, Sep.2002.
- [2] 山澤一誠, "全方位視覚センサ HyperOmniVision に関する研究 - 移動ロボットのナビゲーションのために-", 奈良先端大学 博士論文, 1997.
- [3] 佐藤辰雄,後藤和弘, "全方位カメラのためのパノラマ画像展開", 大分県産業技術総合研究所研究報告書, 2002.
- [4] D. G. Lowe, "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints," International Journal of Computer Vision, Vol.60, No.2, pp.91-110, Jan.2004.
- [5] Ulrich Fecker, Marcus Barkowsky and Andre Kaup, "Time-Constant Histogram Matching for Colour Compensation of Multi-view Video Sequences," PCS 2007, Nov.2007.
- [6] 興梠正克,蔵田武志,坂上勝彦,村岡洋一, "入力映像とパノラマ画像の射影変換を用いた位置合わせパラメータの高速推定手法", 信学技報, PRMU2001-153, pp.47-52, Jan.2001.
- [7] 内山寛之 高橋友和 井手一郎 村瀬洋, "自転車位置推定のための車載全方位カメラ映像と通常カメラ映像のフレーム間対応付け," 信学技報, PRMU2007-272, pp.167-172, Mar.2007.
- [8] M. A. Fischler and R. C. Bolles, "Random sample consensus: A Paradigm for Model Fitting with Application to Image Analysis and Automated Cartography", ACM Graphics and Image Processing, vol.24, no.6, pp.381-395, June.1981.

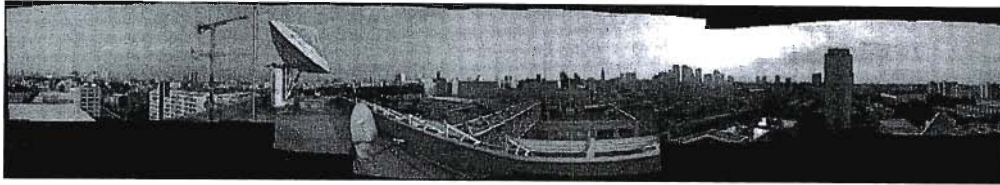


図 8. 色補正をせずに生成したモザイク画像

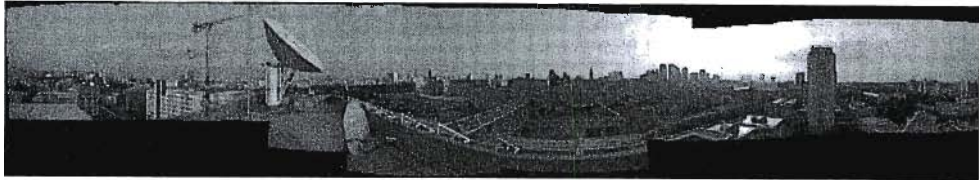


図 9. 色補正後の通常画像群を用いて生成したモザイク画像(手法 2.4.1)

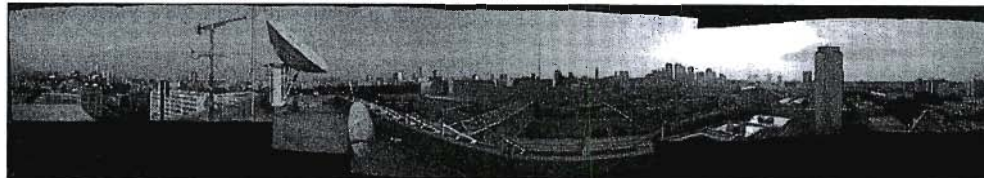
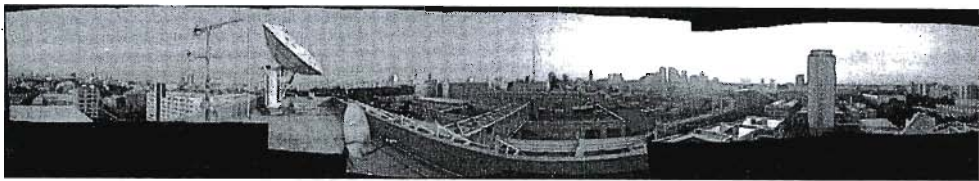


図 10. 色補正後の通常画像群を用いて生成したモザイク画像(手法 2.4.2)