

## 自由形状変形を利用した天体画像のスタッキングアルゴリズム

松尾 直幸<sup>†</sup> 北 直樹<sup>‡</sup> 齋藤 隆文<sup>§</sup>

東京農工大学 工学部知能情報システム工学科

## 1. はじめに

星空を手軽に美しく撮影することは容易ではない。これは、(1) 天体の光量、(2) 天体の日周運動、(3) 夜空の明るさ、の三つが原因である。星空を美しく撮影するには暗い天体まで捉える必要があり、露光時間を長くするか感度を上げる必要がある。しかし、天体は日周運動により移動するため、露光時間は数秒程度に抑えないと点像にならず、一方で感度を上げ過ぎるとノイズが増加する。赤道儀を用いてカメラを日周運動に追従させれば長時間露光が可能となるが、機材の費用がかかり極軸の設定にも手間を要する。また、手軽に撮影できる市街地やその周辺では、地上の照明光の影響で夜空がうす明るく、しかも年々その明るさは増している[1]。そのため、暗い天体が空の明るさに埋もれ、十分なコントラストが得られない。

本研究では、赤道儀を使わず固定視野で撮影した複数枚の天体画像を合成することで、低ノイズで暗い星まで明瞭に見える画像を生成することを目的とする。都市部でも美しい星空画像を手軽に撮影する手段を提供し、天体画像撮影の敷居を低くすることを目指す。

## 2. 関連手法

## 2.1 拡張 T&amp;A アルゴリズム

拡張 T&A アルゴリズムは、Loke[2]が考案した、天体画像処理アルゴリズムである。時間をずらして撮影した複数の画像に、ホット・コールドピクセルの除去、ショットノイズ・周辺減光の影響の低減、合成といった処理を行うことで1枚の高 SNR な画像に仕上げる。

この研究の目的は、画像を合成しただけであった従来手法を改善することで、より安価な機材でより短時間で天体画像処理を行うことである。この研究では天体の位置合わせのために複数台のカメラを利用しているほか、撮影に知識が必

要なフラットフレームを撮影する必要があるなど、初心者向けであるとはいえない。本研究ではノイズ除去の手法を参考にした上で初心者でも扱いやすいように改良する。

## 2.2 自由形状変形

自由形状変形[3]は、3次元空間に設定した格子を変形させることで、空間内の物体形状をなめらかに変形させる手法である。これを2次元に適用すると、ある座標  $(u, v)$  を制御点  $P_{ij}$  を用いて自由形状変形するとき、変形後の座標  $X(u, v)$  は以下の式1で表される。

$$X(u, v) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n B_i^m(u) B_j^n(v) P_{ij}. \quad (1)$$

$$(0 \leq u \leq 1, 0 \leq v \leq 1)$$

$$B_i^n(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i}$$

本研究では天体の位置合わせを行う際に用いた。

## 3. 提案手法

本研究では Loke[2]の T&A アルゴリズムを利用してノイズを除去した天体画像を、自由形状変形を用いて天体の位置合わせを行なったのち合成する手法を提案する。処理の手法を行う順序の通りに説明する。

## 3.1. フラットフレーム生成

フラットフレームとは、均一に照射された背景画像のことで、本来は星空の撮影と同時にすることが多い。しかしながらフラットフレームの撮影には知識や技術が必要である。そのため、本研究では撮影画像の各画素の最頻値をとることで、擬似的にフラットフレームを作成する。画像内で天体は動いて見えるため、最頻値をとることで、天体が写っていない空のみの背景画像を作成することができる。このフラットフレームを用いて画像をフラット補正することで、周辺減光や塵によるノイズの除去や、空の画素の明るさの均一化ができる。

## 3.2. 自由形状変形を用いた天体の位置合わせ

天体を時間をずらして複数枚撮影し合成する場合、日周運動による位置ずれを補正する必要がある。日周運動自体は単純な円運動であるが、

Stacking algorithm for astronomical images using free form deformation

<sup>†</sup>Naoyuki MATSUO, Department of Computer and Information Science, Tokyo University of Agriculture and Technology.

<sup>‡</sup>Naoki KITA, Department of Computer and Information Science, Tokyo University of Agriculture and Technology.

<sup>§</sup>Takafumi SAITO, Department of Computer and Information Science, Tokyo University of Agriculture and Technology.

撮影した画像上では透視投影による変形とレンズの歪みの影響が加わり、複雑な動きとなる。これを少ないパラメータで補正するために、自由形状変形を用いる。

本研究では画像中の天体の移動前の座標 $(u, v)$ と、移動後の天体の座標 $X(u, v)$ を取得し、それらの値から制御点Pを逆算し、画像全体を変形することで天体の位置合わせを行う。天体の元の座標 $(u, v)$ と、移動後の座標 $X(u, v)$ を取得するため、画像内の天体のラベリングを行う。ラベリングのうち、最も明るい(面積が大きい)天体と全ての天体の距離を算出し、それぞれの距離が一致する天体を探し、対応づけを行う。この処理は、時間が変化しても天体間の画像上の距離がほぼ変わらないことを利用している。予備実験の結果、制御点を3\*3個配置することでほぼ完全に補正できた。

### 3.3. 露光調節

画像を加算合成しただけでは、画像全体が明るくなり過ぎてしまう。そのため露光調節をする必要がある。

まず、画素値が255を超える画素を255に収められるようにする。天体の明るさを保持するため、空の画素値分引き算する。空の画素値は合成後の画像の最頻値を用いて算出する。

その後、空の画素を暗く一様にしつつ再出現させた天体を明るくする。この処理では画像の最頻値と標準偏差を用いて調節を行う。

## 4. 結果

提案手法の処理結果を比較するため、一眼レフカメラを用いて都内にて撮影した10枚の画像を合成した。撮影した画像が図1、Adobe Lightroomで露光調節した画像が図2、提案手法の露光調節のみをした画像が図3、提案手法で処理した画像が図4である。それぞれ画像中心部300ピクセル四方を拡大したものである。図1の画像では写っていない天体が図4の画像ではノイズが除去され写っている。

画像と星図[4]を照らし合わせ、等級別に画像上の天体数を比較したものが表1である。Lightroomで編集した画像は全体的にザラザとしたノイズがあり、暗い天体は出現しない。合成をせず露光調節をただけでも暗い天体を出現させることができているが、ノイズが多く写ってしまう。合成をすることによりノイズが除去され、8等星、9等星といった暗い天体をより多く写すことができている。

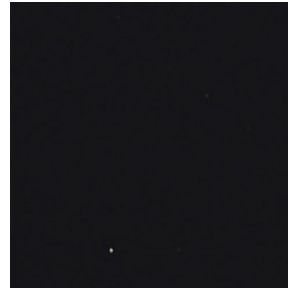


図1 撮影画像

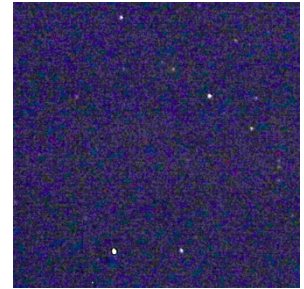


図2 Lightroom 編集



図3 露光調節のみ



図4 提案手法

表1 合成有無による画像上の天体数の比較

	星図に存在する天体数	撮影画像	Lightroomで編集	提案手法の露光調整	提案手法の調整・合成
~5.99	2	2	2	2	2
6.00~6.99	4	4	4	4	4
7.00~7.99	12	7	11	12	12
8.00~8.49	19	0	14	19	19
8.50~8.99	29	0	7	21	27
9.00~9.99	42	0	2	2	9
ノイズ	-	-	-	39	0
塵など	-	4	4	4	0

## 5. おわりに

本研究では自由形状変形を用いた天体画像の合成手法を提案した。合成前に周辺減光や塵の影響を減らす処理をしたのち合成することで、低ノイズでより多くの天体が写った画像を生成可能になった。建物等と一緒に撮影した画像を処理できるよう改良することで、都市部の景色と満点の星空の画像が撮影できるようになると考えている。

### 参考文献

- [1] 小野間史樹, デジタル一眼レフカメラを用いた夜空の明るさ調査手法の提言, 国立天文台報第12巻 (2009).
- [2] S. C. Loke, Astronomical Image Acquisition Using an Improved Track and Accumulate Method, IEEE Access, Vol. 5, pp. 9691-9698 (2017).
- [3] T. W. Sederberg, S. R. Parry, Free-Form Deformation of Solid Geometric Models, Computer Graphics, Vol. 20, No. 4, pp. 151-160 (1986).
- [4] Noctua Software Ltd, Stellarium web, <https://stellarium-web.org> (参照 2023.01.06).