

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：33908

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12068

研究課題名(和文)大規模天体画像群の重なり領域に基づく時系列解析による変光星の検出

研究課題名(英文)Detection of variable stars by time series analysis of the overlapping areas from large-scale astronomical image data sets

研究代表者

目加田 慶人(Mekada, Yoshito)

中京大学・工学部・教授

研究者番号：00282377

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、天文データ解析支援技術の一つとして、大規模な天体画像群を時系列解析することで変光星や突発天体を自動的に発見・追跡するフレームワークおよびそのための画像処理・パターン認識技術を開発した。大規模天体画像群において撮影時刻の異なる画像同士を対象に、それらの重なり領域検出と、位置合わせされた領域から変光星を検出する技術を開発した。前者については、高速な位置合わせ手法を開発することで大規模実験を可能とした。後者については、恒星の明るさによる適応的な変光星検出条件の決定による精度向上を実現した。また、恒星領域をガウス分布近似することにより、検出された恒星の位置精度の向上を実現した。

研究成果の概要(英文)：In this research project, as one of astronomical data analysis support technologies, we developed a framework for automatic detection of variable stars by time series analysis from large-scale astronomical image data sets, and also developed fundamental image processing / pattern recognition techniques for this framework. We focused on overlapping areas between celestial images. Therefore, we developed a method to align these images. Variable star detection based on the method of detecting the change in the brightness of the star in the detected overlap region was carried out. For the former, we developed a high-speed overlap region detection method and made large scale experiments possible. In the latter, accuracy was improved by determining the adaptive variable star detecting condition by the brightness of the fixed star. Moreover, to improve the detection precision of the fixed star, we developed a method of approximating the star region by Gaussian distribution.

研究分野：画像処理

キーワード：画像処理 天体画像 パターン認識

1. 研究開始当初の背景

天文学の分野において、新天体、変光星、突発天体等を発見・分析することは重要なタスクである。2MASS という天体観測プロジェクトでは、北半球と南半球に一基ずつ設置された近赤外線望遠鏡により掃天観測することで全天の 99.998% の範囲を網羅した天体画像群を作成し、公開した。この天体画像群は 1997 年から 2001 年にかけて撮影されたものであり、撮影時期の異なる画像が混在している。また、隣接する領域の画像は互いの端部で重なるように撮影されている。Kouzuma らはこの重なり領域を有効活用し、撮影時期の異なる天体画像同士の僅かな重なり領域を調べることで、稀に存在する変光星を発見する手法を提案した。当時はまだ手作業であったこの方法を自動化し、さらに天体画像群を時系列解析することで、変光星や突発天体の発見および詳細な分析が可能になると考えた。

2. 研究の目的

天文データ解析支援技術の一つとして、大規模な天体画像群を時系列解析することで変光星や突発天体を自動的に発見・追跡するフレームワークおよびそのための画像処理・パターン認識技術の開発を目的とする。具体的には、まず大規模天体画像群において撮影時刻の異なる画像同士を対象に、それらの重なり領域を検出し、位置合わせを行う技術を開発する。そして、重なり領域内の画像の差分を取ることで変光星や突発天体等による微細変化を検出する技術を開発する。本研究が完成すれば、これまで多大な労力を要していた天文データ解析を自動化でき、新たな変光星や突発天体の発見・追跡が可能となる。

3. 研究の方法

2MASS が公開する天体画像群の中から抜き出した撮影時期の異なる天体画像同士を位置合わせする手法を開発し、その有効性を調査する。天体画像は、基本的に黒い背景領域が大部分を占めるため、単純なテンプレートマッチングでは、天体の位置を合わせるよりも背景領域の黒画素が合うようにマッチングした方が類似度が高くなりやすく、正しく位置合わせができない。これまで研究代表者らが行った予備調査では、部分テンプレートマッチングを用いて計算される画像間のずれ量の投票に基づく手法により良好な位置合わせができることを確認している。具体的には、まず、2 枚の画像のうち、片方の画像を格子状に分割し、各ブロックをテンプレートとする。そして、各テンプレートについて、もう片方の画像上で最も類似する領域を採

索し、その位置における画像間のずれ量を投票する。最後に、最も多く投票されたずれ量を画像間のずれ量として採用する。ここで、画像間の重なり領域が小さくてもブロックサイズを小さく設定することで位置合わせができることが確認されている。よって、この手法をベースに、大規模な天体画像群に対する有効性を調査する方向で研究を進める。

また、前述の通り、2MASS が公開する天体画像にはゆがみやノイズが含まれる。画像のゆがみについては、赤道座標系における天の北極や天の南極に近づくほどゆがみが大きくなり、画像同士の正確な位置合わせが困難になる。そこで、2MASS が公開する天体画像のヘッダ部分に含まれる赤経・赤緯の情報を用いてゆがみを補正する手法を検討する。また、画像上のノイズについては、画像上の天体とノイズの特性の差異を調査することで、位置合わせで使用されるテンプレートマッチングにおける類似度尺度を検討する。予備調査では、画像間の明るさの違いを吸収するために正規化相互相関を類似度尺度として採用しているが、ノイズ特性によっては別の尺度も検討する。このとき、テンプレートマッチングベースの手法では対処できない状況が発生した場合には、特徴点ベースの手法も検討する。

4. 研究成果

(1) 特徴点ベースの画像間マッチング

2 枚の入力画像から、ランドマークとなりうる恒星の検出、および、ランドマーク間の配置を考慮したマッチング特徴量を考案し、2 画像の高速なマッチングを実現した。マッチング特徴量は、対応するランドマークの明るさの差、ランドマーク間の距離、3 つのランドマークでできる角度の差に基づき計算される。表 1 に実験に利用したデータ、表 2 に実験結果の一部集計を示す。テンプレートマッチングに基づく方法に比べて、Precision を下げずに Recall を大幅に向上することができた。一方で、星が少ない領域における画像対に対しては検出精度が低下した。これは、ランドマーク検出の精度低下によるものであると考えられる。すなわち、画像中に星がほとんど含まれない場合には、星以外のノイズ等を極大点として検出してしまい、重なり領域が正しく検出できなくなる。このことから、極大点検出アルゴリズムの改良が必要であると考えられる。また、1 画像対当たりの処理時間は、2015 年時点のコンピュータで平均 0.761 秒であり、並列処理等の工夫をすれば大規模な変光星検出実験を実施できる環境を構築できたと考える。

(2) 計測値の規格化に基づく差分処理

上記手法で任意の2画像の位置合わせが可能となったため、2画像に同時に映る恒星の

表1 実験データ

Dataset	Right ascension (RA)	Declination (Dec)	# of images
A1	285	1.25	50
A2	270	1.25	45
B1	260	1.25	50
B2	250	1.25	45

表2 実験結果:対応付け精度

Dataset	Comparative method		Proposed method	
	Precision	Recall	Precision	Recall
A1	100.0	87.96	100.0	100.0
A2	100.0	34.25	100.0	87.96
B1	100.0	35.39	100.0	84.07
B2	100.0	33.33	100.0	56.48
Overall	100.0	47.66	100.0	82.62

明るさの差異評価に基づく、変光星候補検出を行った。重なり領域間での画像差分を計算し、差分が最大となる位置にある星を変光星候補として検出した場合、撮影時の天候等の影響や、位置合わせ手法に残る微小な位置ずれの影響で誤検出が発生することがわかっている。これに対して、画像単位ではなく星単位で差分を求める。すなわち、画像間で対応する星の画素値（極大値）同士で差分をとり、差分値がしきい値以上となる星を変光星として検出する。これにより、重なり領域検出のズレに頑健な差分解析が可能となる。また更に、元々の星の明るさに応じた適応的なしきい値処理を実現することで、変光星の検出精度を向上させた。図1にランドマーク間の画素値の差の例を示す。規格化は、対応する2つの星の画素値の差の絶対値を両者の平均で割るものとした。20個の既知の変光星を対象とした実験結果、再現率が0.95、適合率が0.73という結果を得た。これは単純な差分処理による検出が再現率0.30、適合率0.32であることから、大幅な性能向上である。

(3) ガウス分布近似に基づくランドマーク検出の精緻化

変光星検出精度向上のためランドマーク検出結果の修正を行う。従来の手法では、ランドマーク検出時のずれにより、恒星とそれ

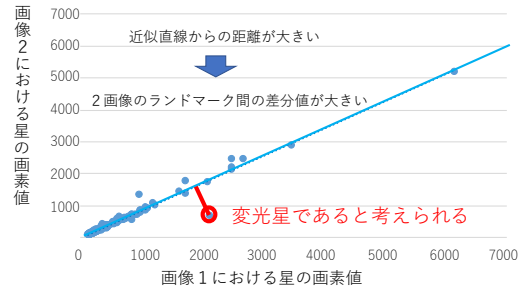


図1 2画像の対応する星の画素値の例

以外の画素が差分されることにより、誤検出につながるケースが存在した。そのため、従来手法により検出された変光星と予測された恒星の画素値が極大となる位置の座標を修正し、対応する恒星の極大値同士での差分が取れるようにする。ランドマーク位置の修正をするため、求められたランドマークを中心とし、x, yの二軸に対し二次元ガウスアンフィッティングを行う。恒星の輝度特徴として、中心で最大値をとり、x, y方向に均一に広がっていると想定される。そのため、平均と分散に関してはx, y共通であるとした。

2MASSより取得した天体画像を評価用データとして使用した。評価用データの内訳は、高妻らが発見した既知の変光星が含まれる画像対100対と既知の変光星が含まれない画像対が200対の計300対であった。実験に利用したデータが共通ではないため直接的に比較はできないが、提案手法により適合率が0.82に向上することを示した。また、この処理を追加したことにより、画像対あたりの平均処理時間は従来手法で0.493秒、提案手法では0.926秒となった。検出結果の1例を図2に示す。

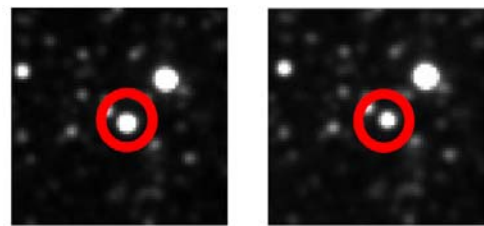


図2 検出結果の例

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 3件)

(1) 岩野 勇弥, 道満 恵介, 高妻 真次郎, 目加田 慶人: "ガウスアンフィッティングを用いた恒星検出誤差補正による経時天体画像からの変光星検出", 動的画像処理実利用

化ワークショップ (DIA) 2018 講演概要集, IS2-12, Mar. 2018 (於: 中京大 名古屋キャンパス, 査読あり)

(2) 岩野 勇弥, 道満 恵介, 高妻 真次郎, 目加田 慶人: "天体画像の経時差分解析による変光星検出手法の検討", 2016 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, D-11-49, p. 49, Mar. 2017 (於: 名城大, 査読なし・口頭)

(3) Kenichi Matsumoto, Hideki Sato, Keisuke Doman, Shinjiro Kouzuma, Yoshito Mekada: "Landmark-based detection of the overlapping region between astronomical images", Proc. of 2016 Int. Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT), 3B-4, Jan. 2016 (於: Pukyong Univ., Busan, Korea, 査読あり・口頭, Best Paper Award 受賞)
〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

<https://md.sist.chukyo-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

目加田 慶人 (MEKADA YOSHITO)
中京大学・工学部・教授
研究者番号: 00282377

(2) 研究分担者

高妻 真次郎 (KOUZUMA SHINJIROU)
中京大学・国際教養学部・准教授
研究者番号: 60584183

道満 恵介 (DOMAN KEISUKE)
中京大学・工学部・講師
研究者番号: 90645748

(3) 連携研究者 ()

研究者番号:

(4) 研究協力者 ()