

1998.12

ISSN 0011-846X

電総研ニュース

<http://www.etl.go.jp/publication-j/news-j.html>

1998年12月 587号



写真 単眼3次元視覚システム

- 一般アフィン射影モデルの因子分解法
- 1998年電総研ニュース総目次
- 受賞

一般アフィン射影モデルの因子分解法

The Factorization method for Generalized Affine Projection model

情報科学部 情報ダイナミクスラボ 藤木 淳*¹

知能情報部 適応ビジョンラボ 蔵田武志*²

Information Dynamics Lab, Jun Fujiki*¹

Adaptive Vision Lab, Takeshi Kurata*²

e-mail: fujiki@etl.go.jp*¹, kurata@etl.go.jp*²

The factorization method by Tomasi and Kanade is useful for recovering both the shape of an object and the motion of a camera from sequential images because it gives a stable and an accurate reconstruction. However, from the mathematical point of view, the method is not so clear. Therefore we elucidate the mathematical meaning of the method explicitly and we extended the method for the generalized affine projection model, which was introduced by Mundy and Zisserman, which includes the orthographic, scaled orthographic and the paraperspective models as special cases. Further more, we showed that three distinct general affine projection images are needed to determine the motion of the camera and the shape of the object completely. We also present the factorization method for two images and the iterative factorization method over three images to apply the real-time applications.

1. はじめに

時系列画像からのカメラ運動と立体形状の復元はコンピュータビジョンの基本的かつ重要な問題として研究されており、マンマシンインターフェイス、盲人の視覚機能補助、複合現実感を伴うシステム、移動ロボットなど様々な応用が考えられる。

この問題は主に特徴点の対応付け問題と、適当なカメラモデルを仮定してカメラ運動と立体形状を復元する問題とに分けることができ、特徴点の対応付けに関しては、差分に基づく手法、相関法、時空間勾配法、また、それらを多重解像度画像において反復して用いる手法などが研究されている。

カメラモデルには、透視射影モデルや線型射影モデルがある。透視射影モデルは、現象を正確に記述しているが、逆問題が非線型の方程式となるため、初期値依存性が高く、実際に解くのは難しい。一方、透視射影モデルを線型近似した線型射影モデルは復元精度は落ちるものの、線型演算であるため、数値計算上非常に安定しているという長所がある。

カメラ運動と立体形状の復元手法に関しては、2画像(または3画像)を単位とするエピポラ幾何を元にする手法や、すべての画像を同等に扱うことが可能で数値計算上安定している因子分解法などが研究されている。

筆者らは、単眼による3次元復元システムの実世界への応用を目指し、運動と形状の復元手法として数値計算上安定な因子分解法に着目し、またカメラモデルにおいても数値計算上安定な線型射影モデルに着目してこれまで研究を進めてきた。本稿では、因子分解法の数理的意味を明らかにすることによって得られた成果について紹介し、最後にこれらの成果の実世界への応用についての展望を述べる。

2. 因子分解法の概略

カメラモデルを線型近似し、重心を基準とする座標系に平行移動することによって画像面上の特徴点の座標は、特徴点の世界座標の線型変換として捉えることができる。このことから、画像面上の特徴点を座標を並べた計測行列、線型変換を並べた運動行列、特徴点の世界座標を並べた形状行列の間に

$$(\text{計測行列}) = (\text{運動行列}) \times (\text{形状行列})$$

という関係が成立する。つまり、計測行列を、カメラ座標系の正規直交性をみたくように分解すれば、カメラ運動と立体形状を得ることができる。

この分解のアルゴリズムを与えるのが、Tomasi・Kanadeによって提案された因子分解法である。



図1 復元に用いた2画像(左、中央)と復元結果(右)

3. 因子分解法の数理的意味

因子分解法は計測行列の分解を2つの段階に分けて行なう。それらの数理的意味は(1)アフィン構造の復元、(2)計量の復元、である。

立体のアフィン構造は、計測行列の行空間から自然に導かれるため、因子分解法の本質は、3次元空間の計量の復元にある。筆者らは、各画像面が3次元空間の2次元部分空間の計量を与え、3次元空間の計量を復元するためには3つの2次元部分空間の計量が必要であることを証明した。このことにより正射影モデルだけでなく、Scaled Orthographic モデル、Paraperspective モデルにおいても、4特徴点、3画像によって、鏡映と縮尺の自由度を除き復元解が一意に定まることを示した。

4. 2枚の一般アフィン射影画像からの形状復元

2枚の一般アフィン射影画像からの形状復元解は1次元の自由度で無数にあることは古くから知られていたが、その復元解族は具体的にパラメータ表示されていなかった。筆者らは、2つの画像情報を統合するために仮想画像面という概念を導入し、2枚の

一般アフィン射影画像を仮想画像面上への正射影画像に変換することにより、2枚の仮想画像面のなす角という自然なパラメータを用いて、復元解族を陽にパラメータ表示をすること成功した。その結果、可視化ツールを用いてパラメータの値を連続的に変化させることにより、2枚の画像からでも適切な復元解を得ることに成功した(図1)。

詳細については <http://www.etl.go.jp/etl/gazo/people/kurata/demo/demo-j.html> を参照のこと。

5. アフィンエピポラ幾何学と因子分解法

エピポラ拘束は、同一特徴点の異なる2画像における座標値の関係式を与え、アフィン射影の場合、3次元に分布している異なる4点の対応から関係式を決定することができる。

因子分解法とアフィンエピポラ幾何学は、かつて独立な概念として捉えられていた。しかし、2枚の仮想画像面上の正射影画像の共線部分が垂直になるように位置を合わせ、2枚の画像における対応点が水平に並ぶようにする変換(図3中央)が、アフィンエピポラ幾何において、特徴点の対応から代数的

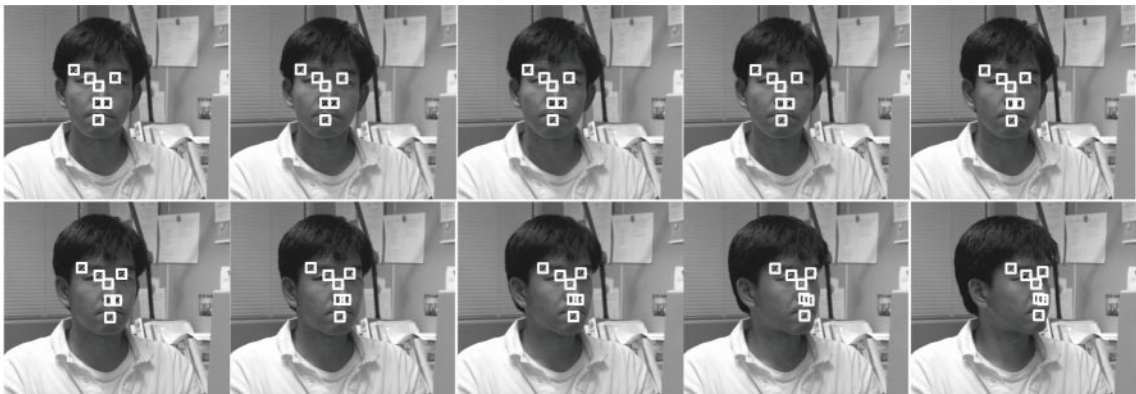


図2 3次元復元に用いた10フレーム7点の追跡結果



図3 2枚の画像(左2枚)を仮想画像面に変換(中央2枚)し、視差画像(右)を求める

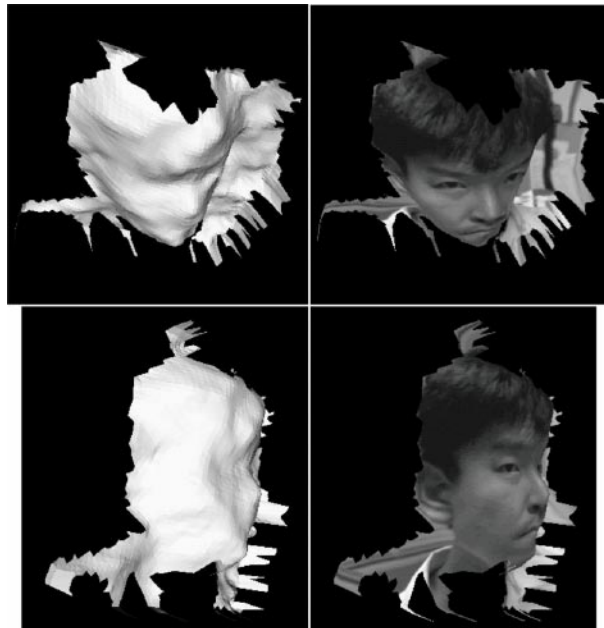


図4 復元結果のCG表示

にエピポラ拘束を求める方法と本質的に同一であることが筆者らによって示された。

画像やハードの制約から利用できる特徴点の数はそれほど多くない。しかし、図2のように4点以上の特徴点があれば計量を求めることはできるため、2画像の正射影化、対応点の水平化により、各画素の対応(視差)をステレオ法と同様、1次元探索で求めることができ(図3右)、密な3次元復元を実現できた(図4)。

6. 逐次型因子分解法

オリジナルの因子分解法を実時間に応用するために Morita・Kanade が提案した逐次型因子分解法には最新の画像が信頼できない場合、結果が悪くなる可能性があるという欠点があった。そこで、筆者らはオリジナルの因子分解法が持つ全ての画像を同等に扱

うという特質を殆どそのまま受け継いだ逐次型因子分解法を提案した。

なお、提案手法の性能は、形状誤差は立体の重心からの位置ベクトルの相対誤差の平均、奥行き復元誤差は相対誤差、運動復元誤差は真の値と推定値との成す角度で評価し、オリジナル手法と提案手法の計算時間を比較した(図5)。逐次型方法は計算時間を非常に短縮しており実時間への応用の可能性が高まった。

7. 実世界で使えるシステムへ向けて

現在、特徴点抽出、追跡、逐次型因子分解法による3次元復元、アフィンエピポラ幾何を対応探索に利用した密な形状復元についてはすでに実装済みで実時間処理可能な段階にある。しかしこれらを統合し実世界で利用するには、各特徴点がどの物体に属

しているかの分類、必ず混入するoutlierや隠れへの対応が必要となる。

特徴点の分類に関しては「興呂正克、村岡洋一：動画像の大域的／局所的アフィン動きパラメータの実時間推定、信学技報PRMU-98-91,pp.53-60」の手法を用いれば、画像をある程度同じ動きを持つ領域に分けることができる(図6)。これもすでに高速処理が

可能であり、システムへの組み込みを開始している。また、outlierや隠れへの対応として、ロバスト統計的な手法について、精度と計算コストの両面で検討中である。

今後は、これらの各要素を統合し、実環境に適応できる単眼三次元視覚システムを構築することを目標としている。

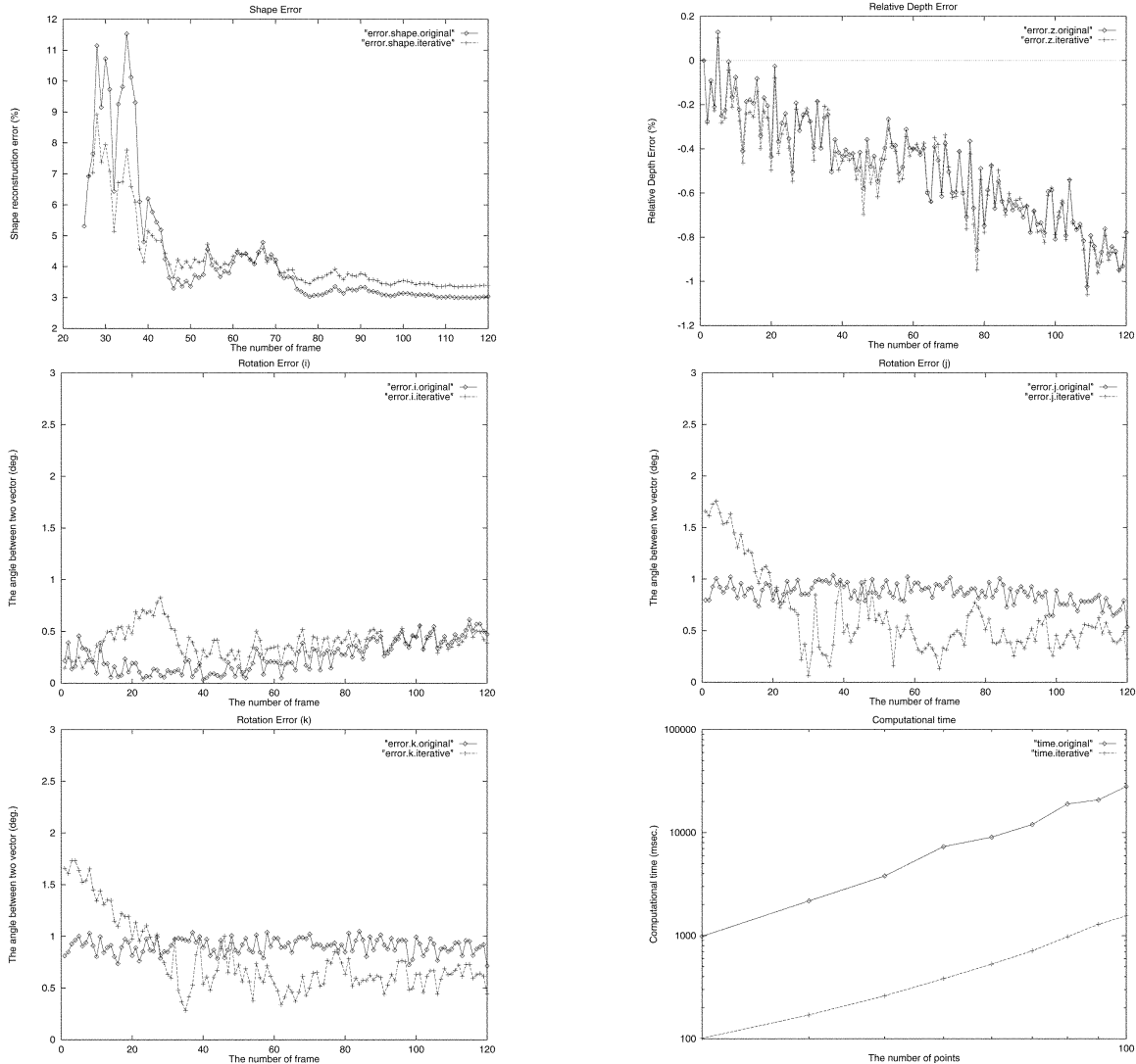


図5 逐次型因子分解法の形状復元(上左)、平均奥行き復元(上右)、カメラ座標系の基底の復(下)の誤差と計算時間(下右)



図6 注目画像の切り出し

1998年 電総研ニュース 総目次

- (1月 576号) ()内はページ番号
- 新生電総研の四つの要件 (1)
所長 田村浩一郎
 - 1997年電総研ニュース総目次 (4)
 - 公開特許 (6) 人事 (6)
-
- (2月 577号)
- 太陽光発電システムの解析のため、つくば市の面平均日射を観測中 (1)
エネルギー部：大谷謙仁、作田宏一
 - 波長 1.3 μm におけるフェムト秒光パルス発生 (4)
光技術部：鳥塚健二、張志剛 (NEDO フェロー)、電子デバイス部：板谷太郎、菅谷武芳、中川 格
 - 出版案内 (7) 公開特許 (8)
-
- (3月 578号)
- 大型逆磁場ピンチ実験装置 TPE-RX の本体負荷コイルの完成 (1)
エネルギー基礎部：平野洋一
 - 拡張可能ブリプロセッサキット EPP の開発 (5)
情報アーキテクチャ部：一杉裕志
 - 出版物の御案内 (8)
-
- (4月 579号)
- 所長交代挨拶 (2)
所長 梶村皓二
 - 超音波クラスター発生装置の開発 (4)
光技術部：小原 明、奥富 衛、塚本孝一、木村真次
 - 宇宙ロボット用精密作業ハンド - 宇宙空間での基本性能を確認 - (8)
極限技術部：町田和雄、戸田義継
 - 「ニュートンのリンゴの木」植樹 (11)
統括研究調査官：西 師毅
 - 新情報棟は開放と進歩の拠点 (12)
総務部業務課広報係
 - 「近藤さんとの集い」行われる (14)
 - 来訪 (15)
加藤紘一衆議院議員 (自民党幹事長) - 1998.3.16 -
畑恵参議院議員 - 1998.3.23 -
 - 人事 (15) 公開特許 (16)
-
- (5月 580号)
- 誤差が行く先か? ~小脳の複雑スパイクの謎に迫る~ (2)
情報科学部：北澤 茂
 - 脳磁計測ではじめてわかったヒトのニオイの脳内活動場所 (5)
大阪ライフエレクトロニクス研究センター：外池光雄、山口雅彦、浜田隆史、岩木 直
 - 基礎計測部：葛西直子
 - サッカー実況システム MIKE (10)
知能情報部：松原 仁、田中久美子、橋田浩一、Ian Frank、情報科学部：野田五十樹、中島秀之
 - 世界最短波長 (228nm) の自由電子レーザー発振を達成 (14)
量子放射部：山田家和勝、清 紀弘、山崎鉄夫、大垣英明、三角智久、杉山 卓

受賞 (20)

等々力達氏が勲二等瑞宝章の受章 - 1998.4.29 -
 科学技術庁長官賞 (科学技術功労者) - 1998.4.15 -
 元量子放射部長: 富增多喜夫
 超分子部: 横山 浩
 第30回市村学術賞貢献賞 電子デバイス部: 松本和彦氏 - 1998.4.28 -
 お知らせ (22)

(6月 581号)

多分野多目的に利用できる高機能3次元視覚システムVVV (2)
 知能システム部: 富田文明、吉見 隆、植芝俊夫、河井良浩、角 保志、松下俊夫、市村直幸
 スタンレー電気(株): 石川 豊、新情報処理開発機構: 杉本和英
 3次元動き情報を利用した複数対象物の抽出とその実時間認識 (5)
 知能情報部: 坂上勝彦、依田育士
 新しいエネルギーネットワークを目指して (8)
 エネルギー部: 石井 格
 ヘリウム液化回収設備の更新 (11)
 極低温エネルギーセンター運営室: 木下信盛、森田重雄
 平成10年度の研究課題一覧 (15) 予算 (18)
 受賞 (19)
 工業技術院長賞 - 1998.6.12 -
 電子基礎部長 清水 肇
 電子デバイス部 伊藤順司
 知能システム部 松井俊浩
 統一公開のお知らせ (20) サイエンスキャンプ '98 (21) 人事異動 (21) お知らせ (22)

(7月 582号)

導電性高分子におけるバイポーラロン (2)
 電子基礎部: 桑原真人、下位幸弘、阿部修治 科学技術振興事業団科学技術特別研究員、現分子科学研究所
 1万ガウスの交流磁界中で1万アンペアの交流通電 (6)
 エネルギー部: 樋口 登、超電導発電関連機器・材料技術研究組合 (Super-GM) 技術部: 武田 薫
 電子技術総合研究所創立記念式典 (9)
 梶村所長挨拶、平成10年度表彰 - 1998.7.1 -
 電総研全景航空写真 (10) お知らせ (10)

(8月 583号)

絶縁膜上での世界最小のゲート長40nmMOSFETの試作に成功 (2)
 電子デバイス部: 石井賢一、鈴木英一、金丸正剛、前田辰郎、永井清子、関川敏弘
 拡張性の高い分子構造表示ソフトウェア MOSBY (6)
 知能情報部: 上野 豊、浅井 潔
 超伝導と磁性の物性入門 (10)
 電子基礎部: 井上 公
 '98工業技術院統一公開開催 (17) - 1998.7.31 -
 来 訪 (18)
 堀内通産大臣 - 1998.7.28 -

(9月 584号)

電圧感受性Naチャンネルの立体構造の発見 (2)
 超分子部: 佐藤主税、上野 豊
 知能情報部: 浅井 潔、伊藤ハム中央研究所: 佐藤雅彦、興和総合科学研究所: 岩崎昭夫、土肥 武

バゼル大学：アンドリアス・エンゲル

人間型能動視覚システムによる複雑背景下での対象の発見と追跡(8)

知能システム部：國吉康夫、セバスチャン・ルジョー、喜多伸之、末広尚士

大阪ライフエレクトロニクス研究センター平成10年度研究講演会のお知らせ(11)

人事異動(12)

(10月 585号)

与謝野通産大臣 来所(2)

- 1998.10.26 -

単色性の良い赤発光有機エレクトロルミネッセンス素子(3)

材料科学部：榊原陽一、東洋インキ製造(株)：奥津 聡、榎田年男

3次元物体のデータベース化と感性検索技術(5)

筑波大学大学院：鈴木一史、知能システム部・中央大学：加藤俊一、知能システム部：築根秀男

蓄積リングNIJI-IVで自由電子レーザー発振の限界波長突破に成功(9)

量子放射部：山田家和勝

人事異動(11) 電総研ホームページの改訂(12)

(11月 586号)

高性能な飛行時間式質量分析装置を開発(2)

エネルギー基礎部：齋藤直昭、極限技術部：小山和義、岩崎 晃、谷本充司

受賞(6)

作道 恒太郎氏が勲三等瑞宝章を受章 - 1998.11.3 -

第46回電気科学技術奨励賞(オーム技術賞) - 1998.11.10 -

電子デバイス部：関川敏弘

基礎計測部：藤森 威

人事異動(8)

大阪ライフエレクトロニクス研究センター研究講演会開催(9) - 1998.11.20 -

第40次南極観測隊出発(10)

基礎計測部：櫻庭俊昭 - 1998.11.14 -

(12月 587号)

一般アフィン射影モデルの因子分解法(2)

情報科学部：藤木 淳、知能情報部：蔵田武志

1998年電総研ニュース総目次(6)

受賞(8) 優良高圧ガス保安従事者 総務部業務課：未永俊明 - 1998.12.3 -

受 賞



未永俊明氏(総務部業務課)が、(社)茨城県高圧ガス保安協会自家製消費製造部会より、優良高圧ガス保安従事者の表彰を受けた。

(平成10年12月3日表彰)

電総研で高圧ガス保安従事者として、関係法令を遵守し、その職責を果たし保安確保に寄与した功績によるもの。