

医療診断用分光映像の高時間分解能化の研究

Temporal Super Resolution for Medical Hyper-spectral Video

2151016



研究代表者 (助成金受領者)	国立情報学研究所	特任助教	島野 美保子
共同研究者	東京大学 生産技術研究所	教授	佐藤 洋一
共同研究者	国立情報学研究所	教授	佐藤 いまり

[研究の目的]

医用分光撮像装置のように、人体を傷つけることなく診断可能な可視化技術は、我々の生活において、非常に有効な診療支援を担う。一般に、このような医用分光撮像装置は、光学に基づく撮像系および補償光学による制御等（ハード）と、イメージング技術（ソフト）の2つから成り立つ。近年、医用分光撮像装置のハード面も著しく進歩し、診療に実用化されてきた[1]。しかし、依然、撮影対象はノイズを多く含む微弱信号のため、画像撮影には長時間露光が必要となり、画像に被写体の動きぶれが存在するという問題がある。

そこで本研究では、波長領域の異なる映像間では被写体の見え方が大きく異なるが、映像間の動きぶれの“見え（パターン）”に着目し、これらの相関性を利用することで、動きぶれを低減した高時間分解能化を目指す。これにより、撮影中に動いてはいけないというユーザ負担を軽減し、更には静止画のみならず、動的な解析による医療診断も可能にすると期待される。

[研究の内容, 成果]

本研究では、医用分光映像等（例えば、分光

眼底映像や蛍光観察等を想定）における高時間分解能化の開発に取り組んだ。高時間分解能化とは、図1左図のようなフレーム補間を行うのではなく、図1右図のように、動きぶれを含む長時間露光の画像から露光時間を分割した短時間露光の画像を復元するものである。高時間分解能化によって、動きぶれが低減された鮮明な映像が得られ、上述のようにユーザ負担を減らすと共に、診療レベルの向上をもたらす。

しかし、高時間分解能化は、単一映像しか無い場合、被写体の動き方には様々な可能性があり、解が一意に定まらない不良設定問題である。従って、波長領域の異なる映像（分光映像等）間の動きぶれの“見え”の相関性に着目する。分光映像間の被写体の見えは大きく異なるため、そのままの映像では統合できなかったところを、

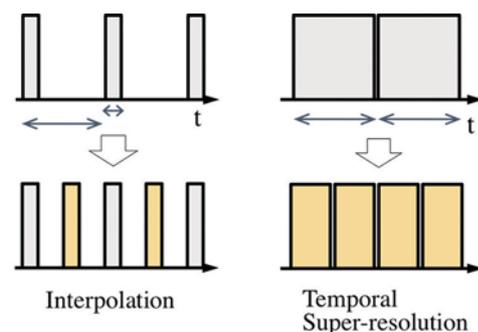


図1 フレーム補間（左）と高時間分解能化（右）

動きぶれの見えの相関性に基づくことにより、複数の映像の情報を統合して動き補償を行うという高時間分解能化を実現した。

また昨今、様々な分野においてデータ量の大規模化が言われているが、医療データも例外でなく膨大な容量を占めると予想される。加えて、高時間分解能化を実施する場合、データ量は更に増大傾向にある。従って、高時間分解能化を実現しつつもデータ圧縮を可能にする技術は、このような情報の大規模化と限られたハードやネットワーク容量とのせめぎ合いを緩和する有効な手段になり得る。高時間分解能化映像の圧縮技術の可能性も検討した。

1. 異なる時間分解能映像間の自己相似性

自然画像には、空間的に自己相似なテクスチャパターンが様々なスケールで多数存在している。同様に、自然映像では時間方向にも、この自己相似性を観察することが可能である。ここで言う自己相似性とは、異なる時間分解能映像間で、各露光時間中の動きぶれの見えパターンが相似になることを指す。

最近、この連続露光映像の特性である自己相似性を利用した映像の高時間分解能化手法が提案されており、その概要を説明する [2]。自己相似性を観察できる例として、図のようにヨットが等速で動いている映像を考える。図2の左のフレーム画像よりも2倍の露光時間を持つ右のフレーム画像では、ヨットが2倍の距離を移

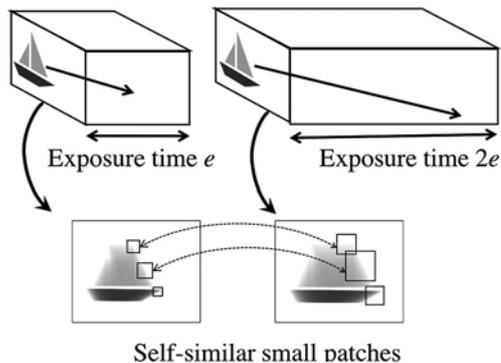


図2 自己相似性

動する。このヨットの動きぶれを局所領域で観察すると、左のフレーム画像のパッチは、2倍の距離を動いたぶれを持つ右のフレーム画像のパッチと、実は相似の関係になっている。つまり、このような露光時間の異なる映像間には、相似な微小パッチが多数存在していることがわかる。この異なる時間分解能映像間の相似な関係は、空間方向や時間方向のスケールを適応的に調整することにより、様々な運動やテクスチャの微小領域に拡張することが可能である。

2. 分光映像の高時間分解能化アルゴリズム

2.1 高時間分解能化の基本原則

高時間分解能化の基本原則は、1章に記載した自己相似性を活用することにより、最大事後確率 (MAP) 推定の枠組みで1つの映像のみからの高時間分解能化を実現するというものである。露光時間 $2e$ のフレーム画像 F_{2e} が与えられた露光時間 e のフレーム画像 F_e の事後確率 $P(F_e|F_{2e})$ は、ベイズ則に従い、 F の事前確率 $P(F)$ と F_e が与えられたときの F_{2e} の尤度 $P(F_{2e}|F_e)$ を用いて、

$$P(F_e|F_{2e}) = \frac{P(F_{2e}|F_e)P(F_e)}{P(F_{2e})}, \quad (1)$$

と与えられる。このとき、求める MAP 推定値は、

$$F_e^{MAP} = \arg \min_{F_e} [-\ln P(F_{2e}|F_e) - \ln P(F_e)]. \quad (2)$$

高時間分解能映像のフレーム平均が低時間分解能映像のフレームを成すという時間分解能映像間の映像復元条件を、高時間分解能フレームから低時間分解能フレームを構成する尤度 $P(F_{2e}|F_e)$ として採用する。また、映像内の、ある動きぶれパターンに対応する相似なパターンを同一映像内から探索し、これを適応的にスケール変換することにより、動きぶれを半減させたパターンが生成できる。このような自己相

似た事例を事前確率 $P(F_e)$ として利用する。これらの事前確率と映像復元条件を考慮した確率モデルによって、撮影映像の低時間分解能フレームを複数フレームに分解した高時間分解能映像を生成することができる。

また、自己相似な事例については、スパース表現を用いて、効率良く学習 DB を表現することも可能である [3]。更に、時間方向の高時間分解能化のみではなく、同時に空間方向への超解像化へと拡張することも可能である。

2.2 分光画像間の自己相似性

前節の異なる時間分解能映像間における自己相似性について、分光画像における波長の異なる画像間の自己相似性へと拡張を行う。

対象とする医療用の分光画像は、前述のとおり、ノイズを多く含んだ微弱信号のため、露光時間を長くとることにより動きぶれを含む画像であり、依然ノイズを含んでいる画像と考えられる。ノイズを含む画像の場合、自己相似な事例を探索して活用する際に、ノイズまで高時間分解能化により復元するという問題がある。加えて、対象は医療用映像であるため、一般自然映像とは異なり、自己相似な事例（微小パッチ）を探索するための、自身の映像から抽出できる事例 DB として十分量があるとは限らない。従って、以上のような動きぶれ、ノイズ、自己相似な事例のデータ不足について、考慮する必要がある。

分光画像の近接波長間では画像内の見えと動きぶれが類似しているとみなすことが可能である。また、波長が近接していない分光画像間においても、同一の被写体では動きぶれが類似しているとみなすことができる。従って、適応的に近接波長間画像の平均和を取ることで、ノイズの影響を削減すると共に、十分ではない自己相似な事例データを補うことが可能である。動きぶれについては、全ての波長画像および前述の近接波長平均和画像間における自己相似な事例を探索することで、データ不足を補いつつ、推定精度を向上する。

2.3 高時間分解能化映像のデータ圧縮

撮影された連続露光映像よりも高時間分解能の映像を提供することを目的とし、符号量（レート）と予測誤差（歪み）のトレードオフを最適化するために、適切な時間分解能と符号化に必要なパラメタ（量子化パラメタ：QP）を選択して符号化するという適応的な圧縮方法が提案されている [4]。この圧縮手法の基本的な考え方について具体例を用いて以下に示す。デコーダで高時間分解能化による生成が容易なフレームについては、符号量を節約するため、低い時間分解能で、且つ粗い QP によって符号化する。一方、圧縮後に生成することが難しいフレームについては、画質を保つため、高い時間分解能で、且つ精細な QP によって符号化するというものである。これらの異なる時間分解能と異なる QP のフレームの選択方法を、無閉路有向グラフ（DAG）の最短経路問題として解くことが可能である。

3. 評価実験

分光カメラ画像について、高時間分解能化手法の有効性を確認する実験を行った。今回は、評価実験用として、サンプル分光画像について人工的に等速直線運動により移動した、動きぶれを含む合成画像を生成した。また、実際の医療画像を想定し、ノイズを付加した合成画像についても実験を行った。本実験では、時間方向の高時間分解能化のみでなく、空間方向の超解像化も同時に行う実験も試みた。

図 3 に時間方向および空間方向を共に 2 倍拡大した推定画像の部分画像例を示す。細部の見えにくかった縞の構造が推定した画像では鮮明

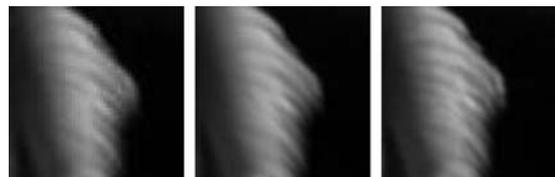


図 3 推定結果例（輝度補正済み） 左）拡大した入力画像、中）推定画像、右）正解画像

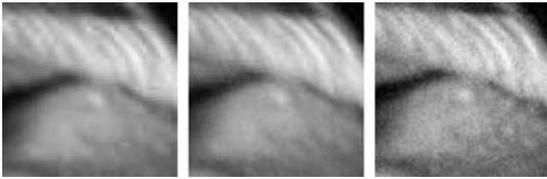


図4 ノイズ付加画像における推定結果例（輝度補正済み）
左) 拡大した入力画像, 中) 推定画像, 右) 正解画像

になっている様子がわかる。また、この実験の推定結果と正解との PSNR は 39.68 が得られている。図4に、ノイズ付加合成画像についての推定画像の部分画像例を示す。この実験の推定結果と正解との PSNR は 37.58 である。学習を利用した高時間分解能化により、ノイズの影響を抑制しつつ高精細化を実現できる効果も確認できた。以上により、スパース表現による高時間分解能化アルゴリズムの有効性を確認した。

伝送時やデータ保存の際には、このような分光高時間分解能映像についても、2. 3章のデータ圧縮手法を適用でき、有効である。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究によって、動きぶれを含む分光画像に対して、高時間分解能化手法の有効性が確認された。しかし、個人情報保護の観点から、実際の医療用データについて十分量の評価実験は実施できなかった。

そこで、今後の研究では、動きぶれの自己相似性や相関性について、実データの解析および理論的考察を行い、脈動や被写体のマクロでランダムな動きなど、実際の動きパターンに合わせた動きぶれ自己相似性や相関性の表現方法を検討する。また、動きだけでなく、蛍光の減衰等のように対象の観測値に時間的変化がある場合には、それら時間変動の特性も含んだ動き特徴抽出の検討も必要である。更には、現在の高時間分解能映像の圧縮技術を発展し、将来的に大規模データになると予想される分光高時間分解能化映像の圧縮技術の開発を目指す。

[参考文献]

- [1] 板谷正紀, 眼底用光干渉断層計の進歩, MEDICAL PHOTONICS No. 007 (2011 年秋号)
- [2] M. Shimano, T. Okabe, I. Sato, and Y. Sato, "Video temporal super-resolution based on self-similarity", Advanced Topics in Computer Vision, Springer, 2013.
- [3] J. Yang, J. Wright, T. Huang, and Y. Ma, "Image super-resolution via sparse representation", IEEE Transactions on Image Processing, Vol 19, Issue 11, pp. 2861-2873, 2010.
- [4] M. Shimano, G. Cheung, and I. Sato, "Adaptive Frame and QP Selection for Temporally Super-Resolved Full-Exposure-Time Video", Proc. ICIP 2011, pp. 2253-2256, 2011.