

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26730097

研究課題名(和文)高階エネルギー最小化に基づく高次元画像処理のための逐次的エネルギー設計

研究課題名(英文)Energy design for high dimensional image processing based on higher order energy minimization

研究代表者

望月 義彦(MOCHIZUKI, Yoshihiko)

早稲田大学・理工学術院・助教

研究者番号：00609191

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：これまで一般的に使われている低階エネルギーの定式化と学習方法をより高階のエネルギーへ拡張するための手法を提案する。高階エネルギーの具体的な例を複数考え、また多次元や複雑な構造をもつデータへの応用について検証を行った。前者については3DCT画像や時系列動画像に対して行い、領域の過分割(スーパーピクセルおよびスーパーボクセル)の上でエネルギーを定義し、また後者については曲面上に投影されたカメラ画像に対して、抽出された構造化されていない線分集合に対するエネルギーを構築した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we propose the methods for constructing and learning higher order energy for various problems on computer vision. (1) For high dimensional images, such as 3D CT volumes or spatio-temporal images, we constructed the energy on the superpixels or supervoxels. (2) For the camera image projected on the curved surface, energy for the extracted unstructured line segment set was constructed.

研究分野：コンピュータービジョン

キーワード：高階エネルギー最小化 グラフカット 医用画像処理 全方位画像

### 1. 研究開始当初の背景

コンピュータビジョンにおける問題の解法の一つにエネルギー最小化がある。グラフカットによる解法では、広く知られているアルゴリズムの制約により、1階のエネルギーまでに限られていた。近年、任意の高階エネルギーを1階に還元して解く手法が提案されているが、計算コストが大幅に増加し、容易に解けない。また、高階のエネルギーをどう定義すべきかも問題である。

### 2. 研究の目的

本研究では、低階のエネルギーから逐次的に高階エネルギーを学習により構築する手法を提案する。また多次元のデータへの応用についても考慮する。

### 3. 研究の方法

各問題において一般的に使われる1階～2階のエネルギーから開始し、逐次的に高階の項を追加する。各段階でエネルギーの最小化が、次の段階におけるより高階のエネルギー最小化が比較的小さなコストで行えることが期待できる。従って一般に階数が上昇するにつれ指数関数的に増加していくエネルギーの計算コストを抑えつつ、高階エネルギーによる最小化計算が効率よく行える。ただし、高階のエネルギー項を追加する際には、それより低次のエネルギー項とのトレードオフを気にする必要がある。

このように、高階エネルギーの設計には様々な可能性があり、本研究では問題に適切であると考えられるエネルギー設計の実例を通して、理論と実用の両面で検討を行う。

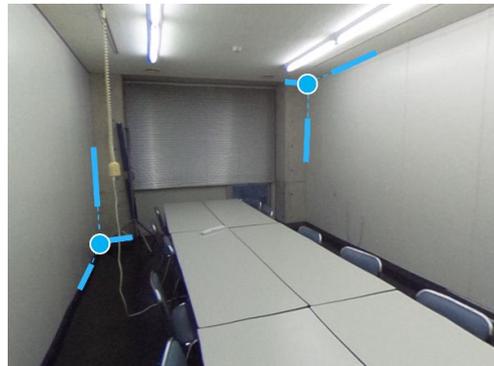
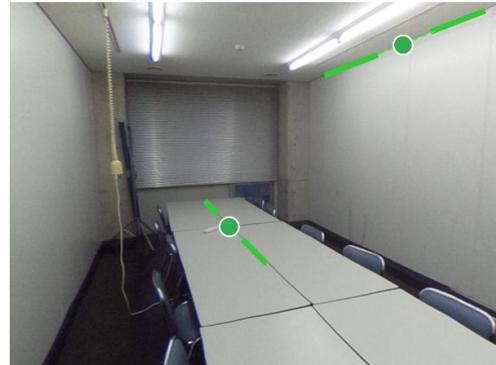
### 4. 研究成果

#### (1) 球面上の画像解析への応用:

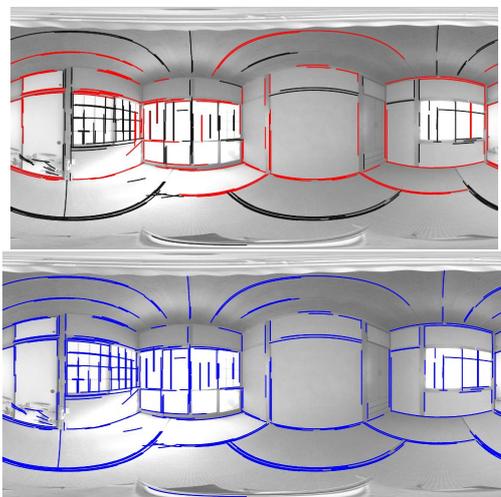
全方位カメラなどの広角画像は、単焦点の場合球面カメラモデルに変換できる。球面カメラから得られる球面画像には全周囲の情景が写っているため、通常のカメラ画像に比べて環境の情報を把握しやすい。先行研究では、通常画像に対する環境構造の推定問題を解いていたが、本研究では球面画像に拡張する。

論文 [1] で、1枚の球面画像から単純な部屋の形状を復元する手法を提案した。広い視野を持つ球面画像によって、よりロバストに部屋の構造を認識することができる。部屋の形状は、壁や天井や床といった長方形の面の境界の線分の集合で表される。提案手法では、高階エネルギー最小化によって、検出された線分を境界かそうでない線分に分類する。そして、境界の線分を用いて、壁や天井や床といった部屋を構成する面を推定する。実画像を用いて実験を行い、部屋を構成する面が正しく推定できることを示した。

提案したエネルギーは線分1つに依存する低階のものから3つ以上に依存する高階のものまでさまざまなものを検討した。特に、部屋構造として6面体を考えた場合には、12本の線分に対する制約を表現する高階項を自然に考えることができる。しかし、現実的には組み合わせの数が多すぎて意味のあるエネルギーを構成することが不可能であった。そこで、大域的な構造を局所的な構造の被覆で表現可能であると仮定して、共線・接触・交差などの条件をエネルギーによって表現した。



これらから定義される線分全体に対するエネルギーの総和を高階グラフカットにより解き、部屋構造を表現する主要な線分の抽出を実現した。以下の図で、青線は画像処理により抽出された線分集合、赤線は本手法により選択された部屋構造線分集合である。



(2) 時系列画像や高次元医用画像処理への応用

高階エネルギーは、3次元画像のような立体的な構造を表現するのに非常に適している。

通常は画像の画素に当たる単位体積要素(ボクセル)を対象としてエネルギーの定義を行うが、その場合、対象が高密度であるため非常に組み合わせの数が多くなってしまふ。したがって、実用的なエネルギーは比較的低階のものに限られる。

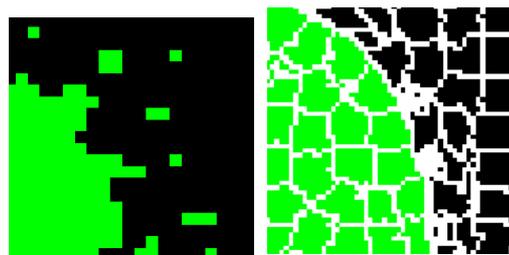
論文 [1] では、可能な範囲でのエネルギー定義を検証した。特に極端に高い階数のエネルギーでは学習データの量がネックになることが明らかになった。また、低階項であっても、従来はあまり行われなかった2つのボクセル間の臓器ラベルとCT値の同時確率分布による定式化は一定の効果があることが確認された。

そこで、高階エネルギーを効率よく使える手法として、画像処理でよくつかわれる領域の過分割を3Dデータに適用することを考える。これによって、複数の隣接するボクセルをある程度の粒度で一つにまとめることができる。対象とする画像はCT画像やMRIであり、色にそうとうする強度値はスカラーである。このスカラー量に対する類似性と、一つにまとまるべき形状の間のトレードオフによって過分割が決定される。この過分割された個々のグループをスーパーボクセルと呼ぶ。

スーパーボクセルは近いCT値で集められたものなので、同一臓器上のボクセル集合であると考えてよい。したがって、スーパーボクセルに対する高階項を定義して、それによる多値ラベリング問題として定式化することができる。

例えば、次の画像は左がボクセル単位でラベ

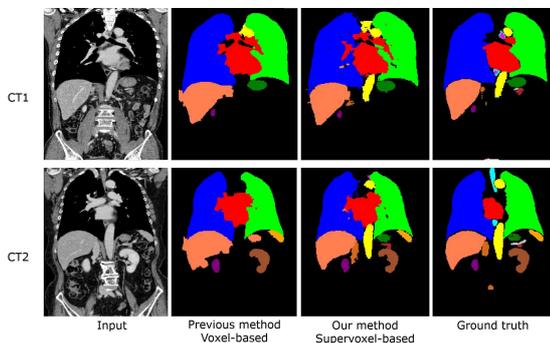
ル付けを考えた場合、右が白線で区切られたスーパーボクセル単位でのラベル付けを表す。緑色のラベルが何らかの臓器に対応するが、ある程度高階のエネルギーでもノイズのように散らばるような解になってしまうことが多い。一方、スーパーボクセルは臓器形状にそって分割がされるため、ラベルが付く領域が散らばりづらい。



ここで、問題となるのはエネルギー項の構築方法である。通常格子状になっているものに対するエネルギーは6隣接などといった幾何学的に制限しやすい関係があるが、スーパーボクセルは入力画像ごとにも、また位置ごとにもその隣接性が全く異なっている。これは、あらかじめ同じ条件でのエネルギーのパラメタを学習することが困難であることとなる。

論文 [2] ではこの方針のもと、前述の従来手法をそれぞれスーパーボクセルベースに再定式化した。ただし、学習情報は、ボクセルベースで行ったものをスーパーボクセル全体で平均するといった方法で転用する。その場合、スーパーボクセルを使う方が精度の向上が認められた。

さらに、スーパーボクセル間の隣接関係を幾何学的な視点から再検討し、スーパーボクセル分割された複数の学習データからエネルギーの学習を行う方法を提案している。この結果、従来の学習結果の転用に比べて精度が向上することを確認できた。



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 1 1 件)

"Adaptive Energy Selection For Content-Aware Image Resizing", Kazuma Sasaki, Yuya Nagahama, Zheng Ze, Satoshi Iizuka, Edgar Simo-Serra, Yoshihiko Mochizuki, Hiroshi Ishikawa Asian Conference on Pattern Recognition (ACPR), 2017.

"Multiple-organ segmentation by graph cuts with supervoxel nodes," T. Takaoka, Y. Mochizuki, H. Ishikawa, Proc. MVA, refereed, pp. 424-427, 2017. DOI: 10.23919/MVA.2017.7986891

"Banknote portrait detection using convolutional neural network," R. Kitagawa, Y. Mochizuki, S. Iizuka, E. Simo-Serra, H. Ishikawa, Proc. MVA, refereed, pp. 440-443, 2017. DOI: 10.23919/MVA.2017.7986895

"Unsupervised video object segmentation by supertrajectory labeling," M. Masuda, Y. Mochizuki, H. Ishikawa, Proc. MVA, refereed, pp. 448-451, 2017. DOI: 10.23919/MVA.2017.7986897

"Room reconstruction from a single spherical image by higher-order energy minimization," K. Fukano, Y. Mochizuki, E. Simo-Serra, S. Iizuka, A. Sugimoto, H. Ishikawa, Proc. ICPR, refereed, pp. 1768-1773, 2016. DOI: 10.1109/ICPR.2016.7899892

"Detection by classification of buildings in multispectral satellite imagery," T. Ishii, E. Simo-Serra, S. Iizuka, Y. Mochizuki, A. Sugimoto, H. Ishikawa, R. Nakamura, Proc. ICPR, refereed, pp. 3344-3349, 2016. DOI: 10.1109/ICPR.2016.7900150

高階エネルギー最小化による1枚の球面画像からの部屋構造推定, 深野 昂祐, 望月 義彦, 石川 博 (早大, JST CREST), 査読有, MIRU2015.

時系列スーパーピクセルの軌跡のラベル付けによる動画の教師なし物体領域分割 増田 正博, 望月 義彦, 石川 博 (早大, JST CREST), 査読有, MIRU2015.

"Multiple-organ segmentation based on spatially-divided neighboring data energy," M. Morita, A. Okagawa, Y. Oyamada, Y. Mochizuki, H. Ishikawa, Proc. MVA, refereed, pp. 158-161, 2015. DOI: 10.1109/MVA.2015.7153157

"Multi-organ segmentation by minimization of higher-order energy for CT boundary," A. Okagawa, Y. Oyamada, Y. Mochizuki, H. Ishikawa, Proc. MVA, refereed, pp. 547-550, 2015. DOI: 10.1109/MVA.2015.7153251

"Surface object recognition with CNN and

SVM in Landsat 8 images," T. Ishii, R. Nakamura, H. Nakada, Y. Mochizuki, H. Ishikawa, Proc. MVA, refereed, pp. 341-344, 2015. DOI: 10.1109/MVA.2015.7153200

〔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

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

望月 義彦 (MOCHIZUKI, Yoshihiko)  
早稲田大学・理工学術院・基幹理工学部・  
情報理工学科・助教  
研究者番号 : 0 0 6 0 9 1 9 1

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号 :

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号 :

### (4) 研究協力者

( )