

## 審査の結果の要旨

氏 名 谷合 竜典

本論文は「Discrete Inference Approaches to Image Segmentation and Dense Correspondence」(画像領域分割と対応点推定問題への離散最適化アプローチ)と題し、画像の領域分割と複数の画像間の対応点を推定するという二つの問題に対して、これらを個別に、あるいは同時に推定する枠組みと数理的最適化手法を提案し、従来よりも優れた精度や計算効率を実現できることを示したものであり、英文で記され全体で7章により構成される。

第1章「Introduction」(はじめに)では、画像領域分割と対応点推定問題をマルコフ確率場により定式化されたラベリング問題として俯瞰し、連続最適化と離散最適化の2つのアプローチに大別されることを述べている。さらに、扱う問題の離散性あるいは非凸性から、離散最適化によるアプローチの有効性、及びそれが有する困難さ、すなわち「ラベル空間の大きさ」「高階エネルギー」「非劣モジュラなエネルギー」の3つを提示し、これらの課題が本論文により包括的に取り組まれていることを述べている。

第2章「Background and Related Work」(背景と関連研究)では、初めにマルコフ確率場の理論的背景について論じた後、代表的な離散最適化手法と、画像領域分割と対応点推定問題の設定や研究事例を紹介している。離散最適化手法の紹介では、グラフカット法と確率伝搬法に基づく2種類のアプローチについて、様々な種類のマルコフ確率場に分類しながら体系的に紹介している。画像領域分割問題の紹介では、ユーザーの操作を必要とするインタラクティブ画像領域分割問題と、必要としない同時画像領域分割問題(Cosegmentation)について述べている。対応点推定問題の紹介では、最も基本となるステレオ問題と、より一般化したオプティカル・フロー問題やシーン・フロー問題について述べている。

第3章「Binary MRF Inference for Segmentation and Low Level Vision」(画像領域分割と低水準ビジョン問題のための2値マルコフ確率場の推定)では、ラベル空間が2値であるマルコフ確率場について、エネルギーが高階であり非劣モジュラであるような場合の推定手法を提案している。このような問題は一般にNP困難であり、いくつかの近似手法が知られていたが、本章ではそれらの既存手法の理論的な関連性を指摘した上で、それらを統合する新たな手法を提案している。提案された手法は、悪い局所解を避けるための仕組みを有しており、画像領域分割や画像2値化のタスクにおいて、従来手法よ

り優れた精度や計算効率、初期値に対するロバスト性を有することが示されている。

第4章「Continuous MRF Inference for Binocular Stereo Vision」（二眼ステレオ問題のための連続値マルコフ確率場の推定）では、二眼ステレオ問題を、3次元の連続なラベル空間を持つマルコフ確率場上の最適化問題として定式化し、これを効率的に解く手法を提案している。従来のグラフカット法に基づく拡張移動法では、連続なラベル空間への適用が困難であったが、本章で提案された手法では、拡張移動法の適用領域を局所化し、さらに別の既存手法により有効性が示されていた空間的伝搬とランダム探索の技術を取り入れることで、解の効率的な推定を実現した。提案された手法は、最適化の過程や計算効率において様々な利点を有し、ステレオ手法の標準的なベンチマークにおいて160以上の手法を抜いて最も優れた精度を持つことが示された。

第5章「Joint Hierarchical MRF Inference for General Dense Correspondence and Cosegmentation」（一般対応点推定と同時画像領域分割のための階層的マルコフ確率場の同時推定）では、2枚の異なるシーンの画像に対して、共通の物体領域を推定しつつ、物体領域間の密な対応点を推定する手法を提案している。見た目が大きく異なる物体同士に対してもロバストに対応点を推定するため、本章で提案された手法では、階層的マルコフ確率場を用いており、特にこの階層的グラフ構造を領域分割や対応点とともに動的に推定するアプローチが提案されている。これには、連続なラベル空間を持つ高階マルコフ確率場の推定が伴い、このためのグラフカット法を用いた反復的な最適化手法が提案された。提案された手法は、対応点推定や同時画像領域分割の一方のみを推定する既存手法と比べて優れた精度を有することが示されている。

第6章「Joint MRF Inference for Stereo Scene Flow and Motion Segmentation」（ステレオ・シーン・フローとモーション領域分割のためのマルコフ確率場の同時推定）では、ステレオおよび、オプティカル・フロー、モーション領域分割、カメラ自己運動推定の4つのタスクを同時に行う手法を提案している。提案された手法は、これらのタスク間に存在する冗長性を利用して不要な計算を削減することで、多次元ラベル空間の探索を効率化している。提案された手法は、KITTI 2015 シーン・フロー・ベンチマークにおいて3番目の精度が示され、さらに上位6つの最新手法より10から1000倍高速なCPU実行速度を達成している。

第7章「Conclusion」（結論）では、本論文における主たる成果をまとめるとともに、今後の課題と展望について述べている。

以上これを要するに、本論文は、画像領域分割と対応点推定問題について、それらを同時に扱う新たな枠組みを提唱する一方で、マルコフ確率場の推論における「ラベル空間の大きさ」「高階エネルギー」「非劣モジュラなエネルギー」という3つの技術的課題に包括的に取り組み、従来手法より優れた精度や計算効率を有する手法を実現したものであり、電子情報学上貢献するところが少なくない。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。