

審査の結果の要旨

氏名 中澤 敦士

手術支援システムは現在世界中で広く普及しつつあり、執刀医の負担を減らすとともに治療成績を向上させてきている。しかしながら、現在のロボット手術では、術具は医師によって操作されるため、手術成績は医師の技量に依存している。そこで、医師の技量に依存せず良好な治療結果を得るために、近年ロボット手術における支援の研究が行われている。これまでに様々な支援手法が開発されてきているが、実験的な固定された環境下で行われたものが多い。実際の手術では多様かつ動的な環境であるため、適切な支援を行うためにはそのような環境に対応できるように手術環境を正確に認識することが求められる。

そこで、本論文では、ロボット手術における支援のために、術中画像情報から手術環境を認識する技術を開発することを目的とした。支援手法を開発するには、各物体の位置・姿勢を認識する必要がある。本論文では、まずセグメンテーション技術を開発することによって物体形状を抽出し、その後、どのような手技を支援する上でも必要不可欠である術具を対象を絞って、得られた物体形状を基にして状態推定技術の開発を行った。

具体的には、物体形状を正確に描写するために、境界情報を利用してセグメンテーションを行う手法を開発した。提案手法では、境界検出の特徴量を動的に重み付けしながらセグメンテーションの特徴量と統合する手法を提案した。評価実験では、人工血管吻合において提案手法を用いて各物体の形状を正確に描写できることを確認した。術具や血管の認識精度は十分に高い一方で、縫合針の認識精度については不十分であることが確認された。なお、提案した手法を用いて、豚を対象とした腹腔鏡下手術支援システムによる実験におけるデータセットについて評価したところ、提案手法によって各物体の形状を従来手法よりも正確に描写することができ、生体内の画像に対する有効性が確認された。

次に、縫合針の認識精度をさらに向上させるため、物体検出技術を用いたパノプティックセグメンテーション手法を提案した。提案手法では、2段階のステップでインスタンスセグメンテーションを行うことによって、物体検出の精度に依存せず、画像全体に対してインスタンスセグメンテーションを行うこと

が可能になり，従来のパノプティックセグメンテーション手法における課題解決を図った．人工血管吻合における画像を用いた評価実験では，提案手法によって境界情報を用いたセグメンテーション手法よりも各物体の認識精度，特に縫合針の認識精度が向上することを確認した．また，インスタンスセグメンテーションを2段階のステップで行うことによって術具や縫合針の認識精度が向上することを確認した．

最後に，パノプティックセグメンテーションによって得られたセグメンテーション結果と物体検出の結果を用いて術具の状態を推定する手法の開発を行った．提案手法では，セグメンテーション結果を用いた画像情報に基づく類似度と，ロボットに取り付けられたセンサ情報を用いた機構学情報に基づく類似度とを組み合わせながらパーティクルフィルタを用いて術具の状態の推定を行った．また，パーティクルフィルタにおける術具の状態予測において，物体検出の結果と機構学情報を照らし合わせながら術具の移動量を予測することを提案した．評価実験では，人工血管吻合の動画に対して提案手法を適用し，術具が一部遮蔽されている状態や一部視野外に出ている状態においても正確に術具の状態を推定できることが確認された．

本論文は全7章で構成されている．第1章は序論を述べ，第2章ではロボット手術支援に向けた画像認識技術について記述している．第3章では境界情報を利用したセグメンテーション，第4章では物体検出技術を利用したパノプティックセグメンテーション，第5章では術具の状態推定について議論している．第6章では総合的考察及び今後の展望を述べ，最後に第7章では結論を述べている．

本論文では，ロボット手術支援を行うための画像認識技術における課題を抽出し，その課題を解決するためにセグメンテーション手法，及び状態推定手法を提案し，評価実験を通して提案手法の有効性を確認しており，工業的及び学術的に意義が高いと判断できる．

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる．