

厚生労働科学研究費補助金  
(政策科学総合研究事業(臨床研究等 ICT 基盤構築・人工知能実装研究事業))

分担研究報告書

ロボット型内視鏡操作支援システムの AI による高度化と  
各種医療機器統合インターフェースとしての展開に関する研究

研究分担者 柴田 裕一郎 長崎大学大学院工学研究科 教授

研究要旨 胆嚢摘出手術における内視鏡の自動操作を可能とするための要素技術のひとつとして、入力された画像の各画素を胆嚢、胆嚢管、総胆管、その他の 4 クラスに分類する画像セグメンテーションシステムを実現する畳み込みニューラルネットワークについて研究を行った。まず、セグメンテーションの精度向上のためにネットワーク構造を改良し、その効果を確認した。次に内視鏡操作ロボットとニューラルネットワークシステムを接続し、模擬手術実験を通じて自動的に画角を調整できることを確認した。また、さらなる処理速度の向上と低消費電力化を図るため FPGA によるネットワークの実装法を検討し、その実現可能性に対する見通しを得た。

共同研究者

眞邊 泰斗、友永 航生、藤田 光暉(長崎大学)

A. 研究目的

昨年度に引き続き、胆嚢摘出手術における内視鏡の自動操作を可能とする要素技術のひとつとして、入力された画像の各画素を胆嚢、胆嚢管、総胆管、その他の 4 クラスに分類する画像セグメンテーションシステム用畳み込みニューラルネットワークの実現法について研究を行った。本年度は、(1)セグメンテーションの精度向上のためのネットワークの改良、(2)模擬手術実験を通じた内視鏡操作ロボットとの連携性評価、(3)FPGA(Field Programmable Gate Array)使用によるリアルタイム性向上の検討の以上 3 点を研究目的とした。

B. 研究方法

まず、研究目的(1)のセグメンテーションの精度向上のためのニューラルネットワークの改良の手法として、ネットワーク中のアップサンプリング処理の際に、画像の反転を用いたサブピクセルの再構築手法の導入を試みた。また、確率的な層数正則化

手法(stochastic depth regularization)の適用について検討した。ニューラルネットワークの学習には長崎大学病院の外科医が正解ラベルを手動で付した 138 例の手術画像データを用い、評価用にはそれらとは別の 45 例の画像データを用意して実験を行った。学習フレームワークには、Python ベースの Chainer 5.3.0 を用いた。

次に研究目的(2)については、研究分担者である諸斐俊司准教授(中央大学)のグループで実装された内視鏡操作ロボットと、本ニューラルネットワークシステムを接続して動作させ、外科医が模擬手術を行う実験を行った。ニューラルネットワークの推論処理は GPU を搭載した PC で行い、その結果に基づいてロボットへの操作コマンドをリアルタイムで送信するシステムを開発して接続実験を行った。

最後に目的(3)のリアルタイム性向上については、提案ネットワークの推論処理を FPGA で高速に実現するハードウェア回路を設計し、その際に達成可能な性能や必要

となるハードウェア資源量の見積りを行った。また、省電力化を念頭にネットワーク構造の特徴を活かしたハードウェア規模削減手法について検討を行った。

(倫理面への配慮)

学習用のデータについては個人が特定され得ない画像を用いるように配慮した。

### C. 研究結果

まず、研究目的(1)に関する実験の結果、画像の反転を用いたアップサンプリング方式の導入と、stochastic depth regularizationの双方について、ネットワークパラメータを増やすことなくセグメンテーションの精度を向上させる効果をもつことが確認できた。また、この処理をNVIDIA GTX 1080 GPUで実行した場合、毎秒約17フレーム程度の性能が得られることが分かった。

次に研究目的(2)に関する実験の結果、内視鏡操作ロボットとの連携は問題なく行えることが示された。また、画像セグメンテーションの結果が適切であれば、ロボットによって望ましい画角に自動的に内視鏡の位置を調整できることも確認できた。一方で、内視鏡画像は用いる照明器具の条件によっても大きく見た目が変化するため、セグメンテーションがうまく機能しない場合も見られた。

研究目的(3)については、FPGA回路を完全なパイプラインアーキテクチャで設計することにより、毎秒1000フレームほどの処理を行える見通しを得た。しかしながら、要求されるハードウェア規模の観点では、FPGAチップを5個程度相互に接続する必要があることも明らかになった。一方、再起的なネットワークの構造を生かしてハードウェア資源を再利用して共有することにより、規模を2倍位以上圧縮できることも分かった。

### D. 考察

研究目的(1)の実験については、概ね期待通りの結果が得られた。また、ネットワークのパラメータを増やさずに済むことから、過学習の抑制にも効果的であると考

えられる。しかし、一般的な畳み込みニューラルネットワークの学習に比べると、データセットのサイズは少ないため、さらにセグメンテーションの正答率を向上させるためには学習用データセットの数を増やすことが不可欠と考えられる。

研究目的(2)の実験については、ロボットとの連携のためのインターフェースは問題なく動作することが示された。また、現在の処理性能であれば、手術中のロボット制御に支障がないことも確認できた。一方で、内視鏡の照明条件については、さらなるロバスト性が求められる。この方法としては、ニューラルネットワークの前段や後段に前処理や後処理を追加することが考えられる。しかし、追加の画像処理機能の実装は実行速度の低下を招くため、リアルタイム性が損なわれる可能性もある。

したがって、研究目的(3)の実験で検討したように、FPGAの利用などで処理性能の高速化を図ることが今後重要になると考えられる。また、ゆくゆくは持ち運びのできるポータブル型のロボットとして実現することが望ましく、低消費電力化も重要なポイントであり、今回検討したようなハードウェア資源の共有化実装も有効な手段と考えられる。

### E. 結論

入力された画像の各画素を胆嚢、胆嚢管、総胆管、その他の4クラスに分類する画像セグメンテーションシステムを実現するための畳み込みニューラルネットワークについて、精度向上のための構造上の改良を行い、その効果を確認した。また、内視鏡操作ロボットと接続して自動で画角を調整できることを実機実験によって確認した。さらなる処理速度の向上と低消費電力化のために、ネットワーク処理をハードウェア化してFPGAで実現する検討を行い、達成可能な処理速度と必要なハードウェア資源量を明らかにした。

### F. 健康危険情報

なし

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

Taito Manabe, Koki Tomonaga, Yuichiro Shibata, CNN Architecture for Surgical Image Segmentation Systems with Recursive Network Structure to Mitigate Overfitting, Proc. International Symposium on Computing and Networking (CANDAR), pp. 171-177 (2019)

藤田光暉, 眞邊泰斗, 友永航生, 柴田裕一郎, 手術画像セグメンテーション用ニューラルネットワークのFPGA実装, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.120, no.36, pp.25-30 (2020)

## H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む。)

### 1. 特許取得

なし

### 2. 実用新案登録

なし

### 3. その他

なし