

審査の結果の要旨

氏名 唐子 顕児

第 1 章では肝疾患の超音波検査映像に対する診断支援システムを構築する上での背景・課題について述べた。超音波検査は肝臓の簡便な診断手法として優れているが、正確な診断には医学的知識だけでなく熟練の技術が要求され、専門医師でなければ難しい。本研究では深層学習技術を用いた診断支援システムによるサポートにより専門医のいない一般診療所での超音波検査による診断の実現を目指す。実現にあたっては撮影自由度が高く、肝臓内で血管が多数絡み合っている中での物体検出タスクの複雑性、その複雑な映像変化を学習可能なデータ多様性の確保、診断支援システム自体の有効性が課題となる。

第 2 章では診断支援システム実現の基礎の深層学習技術となる Deep Pyramidal Residual Networks、物体検出モデルの Faster Regions with Convolutional Neural Networks (Faster R-CNN)、Mask Regions with Convolutional Neural Networks (Mask R-CNN)について記述し、加えて画像診断・検査向けの応用研究を踏まえ、肝臓の超音波検査映像に適用する際の課題に関連する研究をレビューした。

第 3 章では複雑性のあるタスクの肝臓内の腫瘍・血管検出を実現するため Faster R-CNN をベースに超音波検査映像変化に伴う物体の変化情報を補う Optical Flow を利用した腫瘍・血管検出モデルを構築した。Average Precision Intersection over Union=50%(AP50)が 0.887 での検出を実現した。Optical Flow 導入モデルは腫瘍の感度で Faster R-CNN と有意差が見られたが血管を多重に検出される現象が見られた。

第 4 章では複雑性の要因である絡み合い存在する血管を細分化し腫瘍、肝静脈、下大静脈、下行大動脈、グリソン鞘、小血管の 6 種を深層学習に使用し分類するため物体の超音波に対する散乱特性・減衰特性の特徴量を抽出可能な Power-Law Shot-Noise Model を導入し得られた冪則指数と画像データを入力データとして利用した。単純に画像のみを利用した場合と比較し下大静脈と腫瘍に関する分類精度の上昇が見られた。一方、冪則指数の導入で全体的には検知精度が 1.95%悪化し、計算のコストが上がった。

第 5 章では限られたデータ量の中で多様性の確保を実現する。Mask R-CNN に対して肝臓の超音波検査時の操作に着目し、操作によって変化する映像を再現するデータ水増し手法として扇形回転トリミングを提案した。加えて既存のデータ水増し手法の左右反転、色相変化、ノイズ付加、Random Erasing、Random Resize Crop を利用したモデルを構築し比較した。評価には学習データと同じ 5 名から作成した評価データと完全に異なる肝細胞癌患者 2 名とドナー 1 名から作成した未学習評価データを利用した。既存データ水増し手法では全データ水増し手法で腫瘍に関する AP50 が未学習評価データでは大きく下がり最高でも左右反転の AP50=0.128 となった。既存のデータ水増し手法では超音波検査によって撮影される映像の変化に対応できず、

映像的变化及び腫瘍のパターン変化の多様性を増加が難しいことが明らかとなった。一方で扇形回転トリミングは未学習評価データに対し全体で $AP50=0.316$ 、腫瘍には $AP50=0.201$ の結果となった。腫瘍組織の識別に関しては従来と比べて大きく性能を向上させた。

第 6 章では診断支援システムの有効性を検証した。肝臓の超音波検査に関して経験が浅い研修医 6 名の協力の下、超音波検査映像に対してシステムがアノテーション（腫瘍及びその他物体の位置情報）を付与した映像と通常の映像を視聴した際の映像中に含まれる腫瘍をどれだけ正確に認識できるかを比較、評価を行った。対象映像にはシステムが学習済みの映像 2 つと未学習の映像 2 つを利用した。学習済み・未学習に関わらずアノテーション有が優れた Area Under the Curve (AUC)を示した。アノテーションによる平均 AUC 増加値は 0.057 と小さいながらも、未学習データに対しても効果があることがわかった。

第 7 章では結論と今後の展望について述べた。

以上の結果から、本研究では学習データが限定的であり、肝臓の内部構造が複雑になっている状況ながらも専門的経験が乏しい研修医に対して腫瘍検知を支援可能なシステムの構築を実現した。また、超音波検査の操作の特徴を反映したデータの水増し手法の開発や、超音波の散乱と減衰の特性を利用した物体の分類精度の向上などの学術的貢献もあった。よって本論文は博士（環境学）の学位請求論文として合格と認められる。

以上 1 9 7 6 字