

早稲田大学大学院 創造理工学研究科

博士論文審査報告書

論文題目

Deep Learning Based Anatomical Structure
Localization and Segmentation in Fetal
Ultrasound Images

申請者

Yan	LI
李	岩

総合機械工学専攻 画像工学研究

2019年3月

(1) 審査経緯

博士論文審査の経緯を以下に示す．

- ・ 2018年10月12日 副査教員への説明会
- ・ 2018年11月8日 教室会議で予備審査会開催の承認
- ・ 2018年11月26日 予備審査会
- ・ 2018年12月20日 教室会議で受理決定
- ・ 2019年1月24日 創造理工学研究科運営委員会で受理決定
- ・ 2019年2月18日 公聴会
論文改訂版を副査教員へ送付
- ・ 2019年3月6日 審査分科会

(2) 論文背景・内容・評価

近年、種々の医用画像機器が開発され、その中でも超音波画像は人体組織に無害であり、実時間表示が可能であるため、出産前の検査のために幅広く用いられている．しかし、超音波画像を用いる検査の精度は、医者の経験や能力に依存しており、訓練が不足している場合は誤診の原因となりかねない．さらに、経験と能力を具えた医者の不足は世界的に深刻な問題となっている．従って、医師の仕事の効率を、自動的なシステムにより向上させる必要がある．人間の医者の能力に匹敵するような自動的検査システムの実現が、より有効な検査を実現するために必要である．

本論文では、自動的な出産前検査システムの実現に必要な技術として、超音波画像から妊婦と胎児の解剖学的構造に関する情報を獲得する方法の確立を目指している．このような目的のために、従来の医用画像処理技術は精度と処理速度に問題があった．一方、深層学習とハードウェアによる高速化技術の急速な進展は、近年の画像処理分野の大きな成功をもたらした．しかし、深層学習は医用画像処理技術には十分活用されているとは言い難い．

本論文では、出産前の妊婦の超音波画像の自動的な解析のための、深層学習に基づく新たな手法を提案している．具体的には、①子宮の位置検出、②羊水と胎児の身体の領域抽出、③胎児の頭部の検出、の3つのモジュールから提案方法は構成されており、①から③の順序で処理が進む．本論文では、以下のように、①～③の方法を提案し、実験による評価を行っている．

- ① 子宮の位置と輪郭の検出における問題として、子宮の輪郭をぼかすノイズと、子宮が非剛体であることに起因する不規則な形状があげられる．このような問題に対処するため、本論文では、新たな深層学習手法として、CNN(Convolutional Neural Network:畳み込みニューラルネット)を利用する方法を提案している．このネットワークの出力層の構造を、超音波画像中の子宮の位置の複数の候補を回帰推定するように設計している．学習時に、まず各学習画像へのアノテーションとして、子宮の真の外接四角形

(真値)を手動で与えている。次に、各学習画像の縦・横方向の長さを m 個 (本論文では $m=5$) に均等に分割することにより得られる $m^2(=25)$ 個の四角形を外接四角形候補の初期値としている。前述のネットワークにより各四角形候補と真値との変位と、子宮に対応する確信度を予測するよう学習している。テスト時には、学習済みのネットワークを用いて入力画像の m^2 個の四角形候補の変位と確信度を求めている。後処理として、非最大抑制処理により冗長な候補を除去し、最終的な四角形を決定している。①の提案手法を、関連する従来手法と比較する実験を用いて行い、本手法が最も優れた結果を与えることを明らかにしている。

- ② 羊水と胎児の身体の領域抽出における問題として、羊水と胎児の境界に存在するノイズや音響陰影があげられる。さらに、胎児と妊婦の子宮壁の組織は類似しているため、両者が結合した領域として抽出されることがある。従来の画像処理手法や、自然画像を対象とした深層学習では対処が困難なこれらの画素単位の問題を解決して、正確な画像の羊水と胎児の領域分割結果を得るため、本論文では、画像分割用の既存の深層学習法の1つである SegNet に使用される Encoding-Decoding (符号化 - 復号化法) 構造に、2つの新たな技法を加えている。1つ目は、inner layer と呼ぶ層を Encoding と Decoding の接続部に挿入し、解剖学的にグローバルな構造を強調している。2つ目は、複数の intermediate supervision layer (中間教師層) と呼ぶ構造を Decoding 部分に接続し、平滑化された領域境界を得ている。②の提案手法の有効性を定量的に評価する実験を行い、本手法が優れた結果を与えることを示している。
- ③ 胎児の頭部の抽出を、weakly-supervised (アノテーションとして、各学習画像に頭部が含まれるか否かを与える。) な学習を用いて行う手法を提案している。従来の weakly-supervised な方法には、不正確な位置検出と不完全な領域分割の問題があった。本論文では胎児の頭部を抽出するため、CNN における異なる3つの層を階層的特徴マップとして利用する手法を提案している。3つのマップにおける画素値を加算し、閾値処理を行うことに基づき、頭部を抽出している。③の提案手法の有効性を評価する実験を行い、関連する従来手法に対する優位性を示している。

以上要するに、本論文は、胎児の超音波画像を用いた自動的な出産前検査システムの実現に資する子宮の位置と形状の検出、羊水と胎児の領域抽出、胎児の頭部の検出を行う方法を提案し、有効性を検証したものである。超音波画像に対する深層学習を中心とする機械学習の技術を駆使することに基づく新たな手法が本論文において提案されている。本論文は画像工学、ロボット工学と言った工学分野だけでなく医学の分野へも貢献していると言える。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。

2019年3月

審査員

主査 早稲田大学教授 工学博士 東京大学 大谷 淳

早稲田大学教授 博士（工学） 早稲田大学 上杉 繁

早稲田大学教授 博士（工学） 早稲田大学 岩田 浩康

東京工業大学名誉教授 工学博士 東京工業大学 長橋 宏
