

令和 5 年 5 月 3 日現在

機関番号：14701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K11953

研究課題名（和文）深層学習に基づく「心エコー動画からの心機能解析システム」の開発

研究課題名（英文）Development of "cardiac function analysis system from echocardiogram" based on deep learning

研究代表者

呉 海元（Wu, Haiyuan）

和歌山大学・学内共同利用施設等・名誉教授

研究者番号：70283695

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：心エコー動画からの心機能解析・評価支援システムを構築するために、初期段階では、既存の深層学習アルゴリズム（YOLACT、U-Net、アテンションU-net三種類のモデル）を改良・適用した。R5から、エコー動画データの時空間特徴を十分に活用するためのマルチモデル融合モデル（MURANet）を提案し、7つのターゲットクラス（左室壁の6分画化+左室内腔）と1つの背景クラスを分類できるようになった。比較評価結果は、提案手法（MURANet）が大きな誤検出や検出漏れなく、セグメント化された動画を効果的に予測できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

既存の医用画像セグメンテーションモデルは動画データの時間軸情報を十分に活用できないため、生成されたセグメント化された動画には多くの誤検出と検出漏れがある。本研究では、時系列の特徴を加えた心エコー動画データセットを構築し、データの時空間特徴を十分に活用するためのマルチモデル融合モデルを提案した。比較評価結果より、提案手法が既存モデルより誤検出や検出漏れを少なく、セグメント化された動画を効果的に予測できることを確認した。

本研究は、心エコー動画からの心臓局所壁運動を判定する医師の熟練度に依存せず、負担軽減に貢献できる。

研究成果の概要（英文）：To construct a cardiac function analysis/evaluation support system from echocardiographic videos, in the first step of this research, existing deep learning algorithms (YOLACT, U-Net, attention U-net) were improved and applied. From R5, we proposed a multi-model fusion model (MURANet) to utilize the spatiotemporal features of the echo video data fully. Our model can Classify seven target classes (six of the left ventricular wall and one left ventricular cavity) and one background class is possible. Comparative evaluation results confirm that the proposed method (MURANet) can effectively predict segmented videos without significant false positives or omissions.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：心エコー動画 深層学習 左室壁の6分画化 左室内腔抽出 医工連携

1. 研究開始当初の背景

日本循環器学会が 2018 年に公表した「循環器疾患診療実態調査報告書」によると、2017 年の日本における循環器画像検査数は冠動脈 CT の約 40 万件、心臓 MRI の約 4 万件に対し、心エコーは約 550 万件と圧倒的に多く、2004 年の約 260 万件から飛躍的に増加していることから、心臓イメージングの中核を担っているのは心エコーであると言える。

日本無線医学研究所（現日立）は 1960 年に世界で初めて医用超音波診断装置を開発した。患者への負担を軽減するために、侵襲がない心エコー図を得ることを目指して、1980 年代初め、日本アロカの滑川らと、米国カリフォルニア大学の Bommer らと全く独立して研究を行い、カラードプラ法を開発した。この基本原理に基づいて、日本の日立・アロカ（現日立）、東芝（現キャノン）、アメリカの GE、オランダの PHILIPS、ドイツの TomTec など各メーカーは、体内にある心臓の解剖学的構造・動き、心内血流の状況を経胸壁から超音波を用いて可視化し、心機能評価に適した動画像を臨床現場の医師に提示できる装置を開発・改良し続けている。

医療現場の現状では、医師たちは高度の専門知識と長年の診断経験に基づいて、患者の心エコーの動画を視覚的にトラッキングして、頭脳の中で分析し、心臓病の診断、治療方法の選択、治療効果の判定、手術期間などを決定する。しかし、心エコー動画からの心臓局所壁運動の判定は、医師の熟練度に依存する。そのため、心エコー評価は医師にとっての大きな負担となっている。

本研究では、医工連携を通じて、心機能評価に必要な心筋壁全体・局所運動をコンピュータ上で自動的に追跡し、アメリカ、ヨーロッパ、日本共通の心エコーによる評価ガイドラインおよび基準値に満たす、医療現場の医師をサポートできる解析ソフトウェアを開発できるのかが研究課題である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、深層学習に基づく「心エコー動画からの心機能解析システム」を構築し、専門医の水準で心筋壁全体・局所運動状態を定量的に分かり易く提示することを実現する。

近年、深層学習 (Deep Learning) の技術が医用画像による検診の分野でも脚光を浴びている。専門医よりラベリングされた大量な医学静止画像データがあれば、既存の深層学習のアルゴリズムに利用して学習するだけで、識別モデルを自動的に生成できる。実際に、がん検診などの分野では、専門医レベルの診断結果を得られる成功例が多数報告されている。

しかし、既存の深層学習アルゴリズムはほとんど静止画像だけ対応できるので、そのまま心エコー動画に適用できない。

本研究の遂行により、医療現場から収集されたマルチ心エコー動画、研究分担者の医師

が蓄積している専門知見と、研究代表者の動画像による物体追跡・認識という異分野の知識と要素技術を有機的に融合することによって、マルチ動画にも対応できる深層学習アルゴリズムを新しく提案する。そして、「心エコー動画による心機能解析システム」の開発より、今まで臨床医師が目視と頭脳で行っている心機能評価をコンピュータに専門家の水準で実現させ、医療現場の医師の負担減、心機能評価の利便性・正確性の向上、初心者の医師への教育、患者さんとのコミュニケーションを支援する。

3. 研究の方法

深層学習に基づく「心エコー動画からの心機能解析システム」の構築という本研究の目標を達成するために、研究分担者の穂積医師から患者さんの個人情報削除した心エコーの学習・テスト動画を頂き、臨床研究と臨床診断の観点からのアドバイスを受けながら、研究代表者のグループが今まで研究実績のあるところから展開していた。

本研究では、二腔断面(Two chamber)の心エコー動画の心周期における全フレームを活用できるように、下記の課題について研究を行った。

課題(1): 断面内の各局所領域の心筋壁運動状態の手動アノテーション・既存有名な DNN モデルへの適応学習・自動セグメンテーション・領域ごとの評価 (呉、穂積、大学院・学部生)

課題(2): 心筋壁全体運動状態の評価 (呉、穂積、大学院生)

課題(3): 時系列の特徴を考慮したモデルの提案・自動セグメンテーション・精度評価 (呉、八谷、大学院生)

課題(4): 解釈支援システムの開発 (吉野、呉、学部生)

穂積医師の指導に従って学習データセットを作成し、提案したアルゴリズムを用いたテストデータへの認識結果は穂積医師に確認した。DNN の研究者 (八谷大岳) と専門医師の意見とアドバイスに従って、臨床診断に有用な解析用の複数種類のアルゴリズムを開発・改良し続けた。

4. 研究成果

初年度

心エコー動画からの心機能解析・評価支援システムを構築するために、実時間で動作できる、インスタンスセグメンテーションモデルの深層学習アルゴリズム (YOLACT) に基づいた二腔断面の心エコー動画から左室壁の 6 分画化と左室内腔の抽出方法を提案している。電子メールと Zoom, Teams を活用しながら、心エコー専門医 (研究分担者の穂積医師) の指導の下で 5 人分、計 10 心周期のすべてフレームに対して領域ごとのアノテーションを行った。中の 4 人分は学習・検証データセットとして、YOLACT に基づいた左室壁の 6 分画化モデルと、左室内腔抽出

化モデルをそれぞれトレーニングと検証を行った。また、未学習の1人分のデータに対してテストを行った。得られた中間研究成果は穂積医師と連名で2021年3月4日の電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU) に発表した。

2年目

深層学習アルゴリズム (YOLACT、U-Net、アテンション U-net) に基づいた二腔断面の心エコー動画から左室壁の6分画化と左室内腔に関して、別々の領域と7個領域をセットとした抽出方法をそれぞれ提案している。電子メールを活用しながら、心エコー専門医 (穂積医師) の指導の下で9人分、2倍以上の量になり、トレーニングと検証のデータが228枚から507枚に増えた。まず、YOLACTに基づいた方法の損失関数の振動問題を解決した。精度を向上させるために、医用画像認識によく使われている U-Net モデルに置き換え、中の損失関数は本研究の目的 (多クラス分類) に合致する交差エントロピー損失関数で導入した。最後に、安定性の問題を解決するために、注目画素の周辺の連続性を考慮し、U-Net ネットワークスの skip-connection の前に Attention Gate (AG) を追加して、画像平面内の連続性を強化した。再実験を行った結果は精度と安定性の両面で向上していることを確認できた。

その上、精度を上げるために、左室壁6分画 (6クラス) と左室内腔 (1クラス) の追跡結果はお互いの予測補完できると考え、両者を1つのデータセットにマージした。次に、心エコー画像内の背景、左室壁6分画、左室内腔の領域サイズの不均衡な問題に対して、元の交差エントロピー損失関数の各クラス別に対する重みを追加した。その後、トレーニングを実施した結果、テスト動画の安定性はさらに向上した。得られた研究結果に基づいて、8月開催する ICMA2022 国際会議に投稿し、口頭発表として採択されている。

最終年度

時系列の時間特徴を加えた心エコーデータセットを構築し、データの時空間特徴を十分に活用するためのマルチモデル融合モデル (MURAU Net) を新しく提案している。7つのターゲットクラス (左室壁の6分画化 + 左室内腔) と1つの背景クラスを分類するため、マルチ交差エントロピー損失関数を採用している。また、多クラスの場合、高いセグメンテーション精度を追求するために、損失関数の重みを最適化するために、クラス間に重みを追加した損失関数を提案している。前年度まで提案したモデルとの比較評価結果によって、提案手法 (MURAU Net) の方が大きな誤検出や検出漏れなく、セグメント化された動画を効果的に予測できることを確認した。さらに、公開データセット Camus を使用して、医用画像セグメンテーションタスクにおける MURAU net の有効性を確認した。アノテーションデータは13人分まで括

大し、12人の合計715枚の内90%はトレーニングデータ、10%は検証データとし、残りの1人分はテストデータとした。R5年度の研究成果は、和歌山大学システム工学部・工学研究科の修士論文1篇と卒業論文1篇にそれぞれ纏め、修士論文の研究内容はジャーナル投稿準備中で、卒業論文の研究成果は2023年3月開催した情報処理学会第85回全国大会に発表した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2件)

[1] Jiwei Zhang, Haiyuan Wu, Qian Chen, Hiroataka Hachiya, Multi-feature subspace representation network for person re-identification via bird's-eye view image, Computer Animation and Virtual Worlds, e2145, 2023/2/19.

[2] 李 鵬, 吳 海元, SHAL: 俯瞰視画像から個人再識別のための特徴記述法, 映像情報メディア学会誌, 74 巻 4 号 p. 719-728, 2020.

[国際学会発表] (計 5件)

[1] Kai Wang, Jiwei Zhang, Hiroataka Hachiya, Haiyuan Wu, Study on Echocardiographic Image Segmentation Based on Attention U-Net, IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), pp. 1091-1096, 2022.

[2] Xinbo Ren, Haiyuan Wu, Toshiyuki Imai, Yuxia Zhao, Takashi Kubo, Semantic Segmentation of IVOCT Images Using Deep Learning, WI-IAT '21 Companion: IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence, 2021.

[3] Jiwei Zhang, Haiyuan Wu, A Super Baseline for Pedestrian Re-Identification, IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), pp. 259-263, 2021.

[4] Jiwei Zhang, Haiyuan Wu, A Feature Fusion Model For Person Identification Using Top-view Image, IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), pp. 264-268, 2021.

[5] Haiyuan Wu, Peng Li, Jiwei Zhang, Qian Chen, Inventory Management using Color Images, Proc. of the 2020 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (IEEE ICMA), pp.610-614, 2020.

[国内学会発表] (計 4件)

[1] 上杉凌平, 吉野 孝, 王 開, 吳 海元,

深層学習を用いた心エコー動画における左心筋と左心腔の自動分画化, 情報処理学会第 85 回全国大会, 2 T-07, 電気通信大学, 2023.03.02~04.

[2]王 開, 張 繼偉, 穂積健之, 吳 海元, 深層学習による心エコー動画での左室壁の自動分画化と左室内腔の自動抽出, 研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), オンライン開催, Vol. 2021, Issue 21, pp.1-6, 2021.

[3]張 繼偉, 王 開, 久保隆史, 吳 海元, ディープラーニングに基づいた循環器 OCT 画像からの中膜検出, 研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), オンライン開催, Vol. 2021, Issue 22, pp.1-6, 2021.

[4] 戚意強, 鈴木祈史, 八谷大岳, 吳海元, Attention-based classification and segmentation for automatic thyroid nodule recognition and diagnosis, 第 24 回 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2021), 4pages, 2021.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等
個人ページ

<http://www.wakayama-u.ac.jp/~wuhyl/>

和歌山大学 研究者総覧

http://wakarid.center.wakayama-u.ac.jp/ProfileRefMain_2286.html

6. 研究組織

(1)研究代表者

吳 海元 (Wu, Haiyuan)

和歌山大学・学内共同利用施設等・名誉教

授

研究者番号：70283695

(2)研究分担者

穂積 健之 (Hozumi, Takeshi)

和歌山県立医科大学・医学部・准教授

研究者番号：30343411

削除：2021年9月16日

吉野 孝 (Yoshino, Takashi)

和歌山大学・システム工学部・教授

研究者番号：90274860

(3)連携研究者

八谷大岳 (Hachiya, Hiroataka)

和歌山大学・システム工学部・講師

研究者番号：00578908

(4)研究協力者

王 開 (Wang, Kai)

張 繼偉 (Zhang, Jiwei)

上杉凌平 (Uesugi, Ryohei)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Jiwei Zhang, Haiyuan Wu, Qian Chen, Hirotaka Hachiya	4. 巻 e2145
2. 論文標題 Multi feature subspace representation network for person re identification via bird's eye view image	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Computer Animation and Virtual Worlds	6. 最初と最後の頁 e2145
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/cav.2145	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Sendong Ren, Yunwu Ma, Ninshu Ma, Qian Chen, Haiyuan Wu	4. 巻 144
2. 論文標題 Digital twin for the transient temperature prediction during coaxial one-side resistance spot welding of Al5052/CFRP	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Manufacturing Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Li Peng, Wu Haiyuan	4. 巻 74
2. 論文標題 SHAL: A feature descriptor which can extract personal feature from top-view image	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of The Institute of Image Information and Television Engineers	6. 最初と最後の頁 719 ~ 728
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3169/itej.74.719	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 呉海元, 李鵬	4. 巻 Vol.32, No.2
2. 論文標題 俯瞰視画像から個人再識別のための特徴記述法 プライバシーを考慮した個人再識別法	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 画像ラボ（日本工業出版）	6. 最初と最後の頁 40-45
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 上杉凌平, 吉野 孝, 王 開, 吳 海元
2. 発表標題 深層学習を用いた心エコー動画における左心筋と左心腔の自動分画化
3. 学会等名 情報処理学会 第85回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Xinbo Ren, Haiyuan Wu, Toshiyuki Imai, Yuxia Zhao, Takashi Kubo
2. 発表標題 Semantic Segmentation of Atherosclerosis in Superficial Layer of IVOCT Images Using Deep Learning
3. 学会等名 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jiwei Zhang, Haiyuan Wu
2. 発表標題 A Super Baseline for Pedestrian Re-Identification
3. 学会等名 2021 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jiwei Zhang, Haiyuan Wu
2. 発表標題 A Feature Fusion Model For Person Identification Using Top-view Image
3. 学会等名 2021 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 酒井航太, 吉野孝, 呉海元
2. 発表標題 拡張現実を用いたリモートワーカーとオフィス在席者とのコミュニケーション支援システムの提案
3. 学会等名 2021 年度 情報処理学会関西支部 支部大会 講演論文集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Haiyuan Wu, Peng Li, Jiwei Zhang, Qian Chen
2. 発表標題 Inventory Management using Color Images
3. 学会等名 Proc. of the 2020 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (IEEE ICMA) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 王 開・張 繼偉・穂積健之・呉 海元
2. 発表標題 深層学習による心エコー動画での左室壁の自動分画化と左室内腔の自動抽出
3. 学会等名 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 張 繼偉・王 開・久保隆史・呉 海元
2. 発表標題 ディープラーニングに基づいた循環器OCT画像からの中膜検出
3. 学会等名 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

和歌山大学呉ホームページ：
<http://web.wakayama-u.ac.jp/~wuh/>
<https://www.ieice.org/ken/paper/20210304zCch/>
https://www.ieice.org/publications/ken/summary.php?contribution_id=112179

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	穂積 健之 (Hozumi Takeshi) (30343411)	和歌山県立医科大学・医学部・准教授 (24701)	
研究分担者	吉野 孝 (Yoshino Takashi) (90274860)	和歌山大学・システム工学部・教授 (14701)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	王 開 (Wang Kai)	和歌山大学・システム工学研究科・博士前期課程 (14701)	
研究協力者	張 継偉 (Zhang Jiwei)	和歌山大学・システム工学研究科・博士後期課程 (14701)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	上杉 凌平 (Uesugi Ryohei)	和歌山大学・システム工学部・学部生 (14701)	
連携研究者	八谷 大岳 (Hachiya Hirotaka) (00578908)	和歌山大学・システム工学部・講師 (14701)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関