

心臓の僧帽弁における異種特徴を用いた CNN 型機械学習による正常異常判定

Normal / abnormal judgment with CNN type machine learning using heterogeneous features of the mitral valve of the heart

† 前地 一輝 † 田邊 造 ‡ 宮城 泰雄 ‡ 青山 純也
Kazuki MAEJI Nari TANABE Yasuo MIYAGI Junya AOYAMA

公立諏訪東京理科大学 † Suwa University of Science 日本医科大学 ‡ Nippon Medical School

E-mail: † {T118143@ed, nari@rs}.sus.ac.jp ‡ show@nms.ac.jp, ‡ junya-a@nms.ac.jp, †† tofurukawa@rs.tus.ac.jp

1 はじめに

本論文は、心臓の僧帽弁における長軸動態エコー動画像から CNN 型機械学習を用いた僧帽弁の正常と異常を判定する手法を提案する。提案手法は、雑音除去と僧帽弁の抽出のために (Step 1) フレームごとに分解してマスク処理を行う。次に、(Step 2) 動態方向を HSV 色矢印を描写、動態の起点を原点とした極座標瞬時グラフと累積グラフによる僧帽弁の動きを可視化する。僧帽弁を前後尖領域に分け、(Step 3) それぞれの弁で開閉方向の角度から僧帽弁の開閉を判別する。最後に、(Step 4) 異種特徴を用いた CNN 型機械学習により正常異常判定を行う。提案手法の特徴は、異種特徴を用いることで、弁の正常異常判定に高い精度が期待できることである。

2 提案手法

Step 1 前処理

僧帽弁は、図 1 のように領域 E_1 内の弁と領域 E_2 内の弁で構成される。心臓の僧帽弁の超音波映像を 1 フレームごとの画像に分解し、各フレームの僧帽弁と僧帽弁内の弁尖に対して別々にマスク処理をすることでノイズを除去した画像を図 2 に示す。

Step 2 動態矢印と極座標グラフ

オプティカルフロー解析 [1] により、各ピクセル動態の始点と終点から移動量と角度 a_i が算出できる。従って、動態を矢印と HSV 色空間を用いて図 3 に描写する。図 3 は、僧帽弁の弁が閉まる際の可視化結果である。前尖 E_1 では主に 0° 周辺方向への動態を表す赤矢印。後尖 E_2 では主に 180° 周辺方向への動態を表す青緑矢印があることが確認できる。

また、図 3 の 1 フレームの動態から得られる移動量と角度を全フレームに対して実行した結果をまとめたグラフが図 4 の極座標累積グラフであり、図 3 で見られたような開閉方向への動態も確認可能である。

Step 3 開閉判定によるグラフ作成

先行研究 [2] より、開閉判断は前尖 E_1 と後尖 E_2 内に現れる開閉の角度方向 a_i^\pm に対する動態の総和 $s(a_i^\pm(n))$ とする。ただし + と - はそれぞれの領域内での開方向と閉方向を表す。さらに、 $s(a_i^\pm(n))$ を pixel 面積 R_i で割った n 時刻の開閉の角度方向の占有率 $O_i^\pm(n)$ は次式となる。

$$\begin{cases} O_1^+(n) = s(a_1^+(n)) / (E_1 \text{ の pixel 面積 } R_1) \\ O_1^-(n) = s(a_1^-(n)) / (E_1 \text{ の pixel 面積 } R_1) \\ O_2^+(n) = s(a_2^+(n)) / (E_2 \text{ の pixel 面積 } R_2) \\ O_2^-(n) = s(a_2^-(n)) / (E_2 \text{ の pixel 面積 } R_2) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、各部位の動態和を pixel 面積で割ることにより、一部の開閉判定の結果が全体の開閉判定に大きな影響を与えないようにしている。

次に、 n 時刻の前尖 E_1 と後尖 E_2 の各動態総和 e_n^i としたとき、全体和 S_n は次式表される。

$$S_n = \sum_{i=1}^2 e_n^i \quad (2)$$

占有率が最大値となる頻度の角度で、1 フレーム内全ての動態総和 S_n を開閉判別する式は、

$$k(n) = \begin{cases} S_n & \text{if } O_i^+(n) < O_i^-(n) \\ S_n * (-1) & \text{if } O_i^+(n) > O_i^-(n) \end{cases} \quad (3)$$

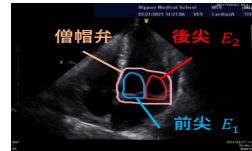


図1 僧帽弁の構造

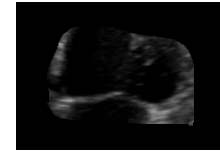


図2 マスク処理

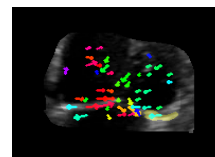


図3 HSV色矢印

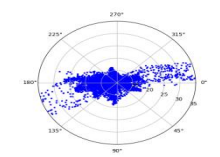


図4 極座標瞬時グラフ

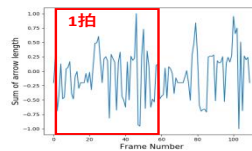


図5 開閉判定

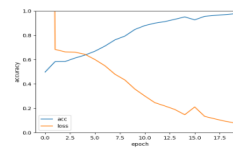


図6 CNN判定結果

となる。これらの処理をすべてのフレームに対して行い開閉グラフを作成したものが図 5 である。

Step 4 CNN による正常異常の判定

Step 2 で得られた極座標瞬時グラフと Step 3 で得られた開閉動態の異種特徴に、正常異常を判定するラベル -1, 0 を用いて、CNN による学習で正常異常の判定を行う。なお、損失関数には交差エントロピー誤差を用い最適化アルゴリズムには Adam を用いている。

3 計算機シミュレーション

図 5 は、図 4 の極座標累積グラフの結果をもとに開閉判定をした結果である。今回の解析は、正常時異常時ともに 1 拍到約 55 フレーム前後を用いて合計 2 拍分を解析した。図 5 のグラフからも 1 フレームから 55 フレーム間の波形が 2 回繰り返されていることが確認できる。弁は 1 拍到数回の小さな開閉後に 1 回の大きな開閉が行われている。

図 6 は極座標グラフと開閉判定の 2 つの異なる特徴を入力データとし、CNN 型機械学習で弁の正常異常判定をした結果である。正答率は 20 回目で 97% 判定できており、これは入力データが 1 つの際よりも 15% 高い結果である。

4 まとめ

本論文は、僧帽弁の異種特徴を用い CNN 型機械学習により正常異常の判定手法を提案した。提案手法は、約 97% の精度で正常異常の判別ができており、さらに入力データが 1 つより正確な判定が可能であるといえる。

参考文献

- [1] 金井 翼, 田邊 造, 宮城 泰雄, 青山純也, 古川利博, "心臓超音波画像のオプティカルフロー解析を用いた心臓解剖学的部位別動態評価", 電子情報通信学会信越支部大会, 2020 年 9 月 (CD-Rom).
- [2] Diederik, P.K., & Jimmy, L.B.(2017), "ADAM: A METHOD FOR STOCHASTIC OPTIMIZATION," Published as a conference paper at ICLR 2015, Jan. 2017, pp.363-370.