

週間進捗報告

権藤陸

2022 年 4 月 20 日

1 進捗

指定していただいた論文について、分からないことを調べながら約半分まで読み進めた。

2 論文の内容・調べたこと

2.1 背景・課題

腹部表面電極から得られる非侵襲的胎児心電図 (NI-FECG) は、胎児心活動の長期モニタリングを可能にすることで、出生前医療に新たな診断の可能性を提供する。しかし、NI-FECG 信号は多くの干渉源、特に母体心電図 (MECG) によって妨害される。

本論文執筆時点での NI-FECG の研究の課題は 2 つあった。1 つ目は、SNR が低い/変動するシナリオにおいて、NI-FECG の品質をどのように定量化できるか。2 つ目は、誤検出を含むセグメント/チャンネルが存在する場合、複数の NI-FECG チャンネルの情報をどのように融合させることができるか、であった。

2.2 目的

胎児心電図のデータ推定を改善する。そのための革新的な評価指標として、新たなアルゴリズムと分類器を開発した。

2.3 データのアノテーション

提案手法の訓練と検証のために、大規模な注釈付き個人臨床データセットを使用した。具体的には、107 人の単生児の妊婦から得られたマルチチャンネルのデータ 259 個である。

信号品質のアノテーションについては、腹部の 7 チャンネルから等距離の 5 秒間のセグメントを 5 つ抽出し、合計 9065 セグメントに対して行った。FECG の振幅は 4 つのクラスに、SNR レベルについては 5 つのクラスに分類した。また、観察者内 (intra-observer) 信頼性と観察者間 (inter-observer) 信頼性の評価のために、500 セグメントのサブセットが用いられた。

胎児の QRS 波に対するアノテーションは 1 人の専門家によって行われ、さらに 2 人の専門家により個々の FQRS (Fetal QRS) と MQRS (Maternal QRS) の位置が修正された。

人間による信号品質の評価のほかに、図 1 に示すような SQI メトリクスを用いることで、信号品質の評価

の自動化が可能である。

Cat.	SQI	Mult.	Description	Reference
Time	$stdSQI$	✗	standard deviation of signal, i.e. $stdSQI = std(x(t)) = \sqrt{E[(x(t) - \bar{x}(t))^2]}$	[10], [7] (other moment)
	$sSQI$	✗	third moment (skewness) of signal, i.e. $sSQI = \frac{E[(x(t) - \bar{x}(t))^3]}{std(x(t))^3}$	[10], [7]
	$kSQI$	✗	fourth moment (kurtosis) of signal: $kSQI = \frac{E[(x(t) - \bar{x}(t))^4]}{std(x(t))^4}$	[10], [7]
Frequency	$pSQI$	✗	relative power in the FQRS complex: $pSQI = 1 - \int_{0.5}^{15} \frac{H_z}{Hz} X(f) ^2 df / \int_{0.5}^{45} \frac{H_z}{Hz} X(f) ^2 df$, where $X(f) = \mathcal{F}(x(t))$ is the Fourier transform of $x(t)$. Differently from [10], the inverse of the power was applied to represent MQRS suppression.	[10], [7] (inversed)
	$basSQI$	✗	relative power of baseline (bandwidth modified to [0, 3] Hz to include most of the uterine contraction artefacts), i.e. $basSQI = 1 - \int_{0.5}^{15} \frac{H_z}{Hz} X(f) ^2 df / \int_{0.5}^{100} \frac{H_z}{Hz} X(f) ^2 df$	[10], [7] (modified band)
Detection-based	$bSQI$	✗	percentage of beats commonly detected by two different QRS detectors. This metric is nothing more than an accuracy measure between those detectors. In this work F_1 metric [6] is used.	[10], [7], [26]
	$iSQI$	✓	percentage of beats detected on current lead that were detected on all other leads.	[10], [7]
	$rSQI$	✗	regularity of obtained FQRS intervals $rSQI = 1 - N_{out}/N_d$, where N_{out} is the number of outliers ($FHRV > 30$ bpm) and N_d the total number of detections in the segment	[6], [17]
	$cSQI$	✗	morphology conformity measure for FQRS similarity. Negative correlations were set to zero.	this work, (based on [4])
ECG-specific	$xSQI$	✗	extravagance of FQRS peaks compared to its surroundings.	this work, (based on [4])
	$mxSQI$	✓	analogous to $1 - xSQI$ considering the amplitude of MEGC complexes residuals (100 ms window around MQRS reference annotations of ± 50 ms) in comparison with surrounding extracted abdominal signals.	this work
	$mpSQI$	✓	relative spectral power of the first five harmonics of the MHR ($mpSQI_a$) or all harmonics in the interval [0.5, 10] Hz ($mpSQI_b$).	this work, (based on [27])
	$mcSQI$	✓	spectral coherence calculated between available signals. Two variants applied: $mcSQI_a$ uses MEGC and FECG (0-100 Hz) and $mcSQI_b$ abdECG and FECG (60-100 Hz) as previously explained.	this work
	$miSQI$	✓	similar to $iSQI$ between current FQRS detection and MQRS reference: $miSQI = 1 - iSQI_{MQRS, FQRS}$, aims at exposing falsely detected MQRS residuals.	this work

“Cat.” refers to category and “Mult.” to the method requiring multiple channels or not (including MEGC chest lead). Except for the time domain metrics, all other output belong to $\mathbb{R} \in [0, 1]$. For implementational details please refer to the open-source code [12].

図 1 SQI メトリクスの要約

2.4 手法

- 単純ベイズ分離器

ベイズの定理から，ある結果が与えられた時の原因推定を事後確率の形で求め，その値を用いて分類を行う．シンプル故に，高速な訓練が可能という利点がある一方，各特長量が独立であるという仮定が必要となる．

- カルマンフィルタ

時刻ごとに対象の状態推定と観測を繰り返し，複数の不確かな情報からより正確な状態を得ることを目的とする．カルマンフィルタによる状態の補正では，カルマンゲインと呼ばれる値が計算され，この値はどれだけ強く補正をかけるかを意味する．

2.5 医学的用語

- 胸部誘導

最も一般的な心電図の検査法として，定められた 12 方向から記録を行う 12 誘導心電図検査が挙げられる．その誘導法には四肢誘導と胸部誘導がある．

- 特異度

患者が実際には病気にかかっていない場合に，検査結果が陰性になる確率．(特異度) = (真陰性の人数) / (病気でない人数) で表される．

- 黄金律 (Gold-Standard)

標準基準，参照基準とも呼ばれ，診断や評価の精度が高いものとして広く容認された手法のこと．

- QRS complex(QRS 群)

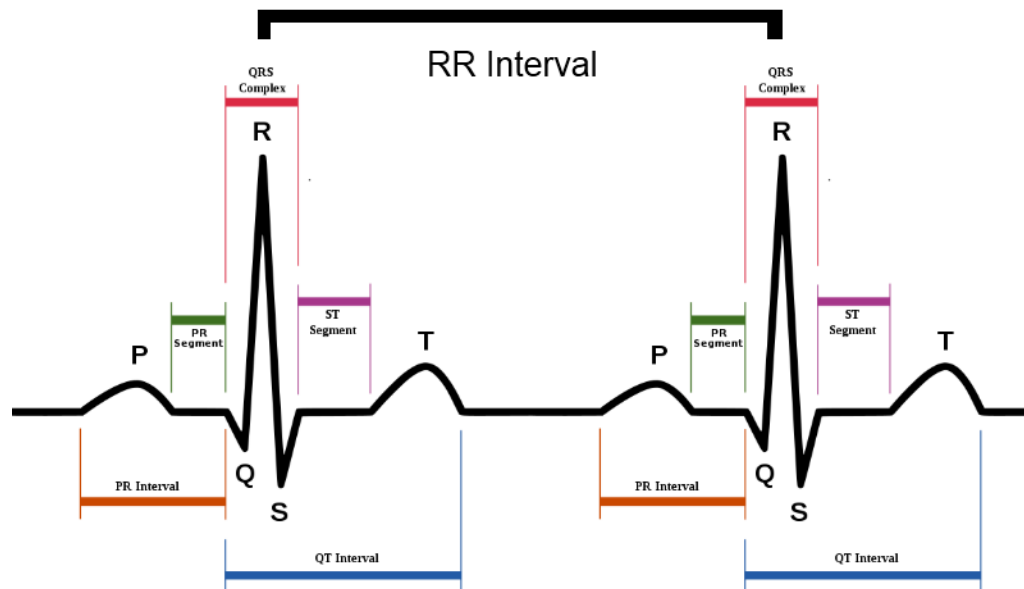


図2 QRS complex [1]

3 疑問

- "clinical acceptability" (in [2])
- "false alarm reduction" (in [3])
- "lead" と "derivation" の違い
- "coherent average"

4 今週の計画

- 解決していない疑問について調べる．
- 論文を読み進める．

参考文献

[1] ResearchGate, [Online].

Available: https://www.researchgate.net/figure/The-illustration-of-QRS-complex_fig1_260157313

- [2] I. Silva *et al.*, “Improving the quality of ECGs collected using mobile phones: The physionet/computing in cardiology challenge 2011,” *in Proc. 2011 Comput. Cardiol.*, 2011, pp. 273-276.
- [3] G. D. Clifford *et al.*, “False alarm reduction in critical care,” *Physiol. Meas.*, vol. 37, no. 8, pp. E5-E23, 2016.