

深圳技术大学本科毕业论文（设计）开题报告

题 目	基于深度学习的胎儿心率分析增强及基线自动确定				
学生姓名	李乐雅	学号	202002010104	专业	物联网工程
学 院	大数据与互联网学院	指导教师	吕羽		

本选题的意义及国内外发展状况：

统计数据表明，近 30 年来胎儿死亡率大幅下降，但每年仍有超过 500 万人死亡^[1]。电子胎心率（FHR）监测在 20 世纪 50 年代末被引入产科识别胎儿缺氧。当缺氧应激最初发生时，FHR 可能会表现出减速，以保护其心肌免受强烈子宫收缩的影响，同时在收缩之间表现出加速。随着缺氧情况的恶化，这些减速会变得更广泛、更深^[2]。当胎儿保存氧气和能量时，加速度也可能完全停止。基于交感神经系统和副交感神经系统之间的不断波动，胎心率的基线代表了它们相互作用所产生的“协议”^[3]。因此，胎心率基线是确定胎儿在子宫内安全的重要依据。

胎心率模式（包括基线、加速和减速）通常由妇科医生和产科医生进行视觉解释，但发现医生之间和医生内部存在高度变异性和视觉解释不可靠性^[4]。从 FHR 信号中准确确定基线是有挑战的。根据 FIGO 指南^[5]，加速度和减速度的定义基于偏离基线的程度。加速被定义为持续时间超过 15 秒且峰值高于基线 15bpm 的胎心率段，而减速是持续超过 15 秒且峰值低于基线 15bpm 的段。基线是指 10 分钟片段的近似平均 FHR，四舍五入为 5bpm 增量。测量不包括加速、减速和明显变化的时期。这种模式上的相互定义是难点所在，胎心率加减速被定义为胎心率追踪中相对于基线的短暂增加或减少，而基线被定义为排除加减速后的平均胎心率。对胎心率模式的误解和模糊可能会增加不必要的干预，例如手术分娩和剖腹产。

目前，已经有科学家尝试使用计算机来辅助分析以减轻视觉解释的可变性^[6]。早期研究中最基本的假设是胎心率的基线和非基线形态在特定时间滑动窗口内的时域上是线性可分离的^[7,8]。研究人员基于这一假设提出了多种算法，包括低通滤波器^[9-12]、中值滤波器^[8,13-15]以及其他技术来快速计算基线。但由于基线和非基线成分之间的高度耦合，线性滤波方法很难一次性将基线信号与 FHR 信号完全分离^[16]。预估结果与实际结果存在较大差异。有学者提出了滤波器分解和渐进修剪的优化策略，试图通过多次滤波操作来修正基线的估计结果，以解决滤波器方法的缺点^[8,17,12]。这些方法部分弥补了传统线性滤波方法的缺点。然而，过滤方法有其固有的局限性，即必须确保当特定过滤窗口内的 FHR 信号的基线周期满足特定要求，才可以准确地估计基线周期。复杂 FHR 信号的情况，如连续的加速/减速事件转变、长时间的减速事件等，很难满足这一限制。所以学者们提出了一些新的基线计算策略，例如基于概率模型的最大平滑密度基线估计以及基于神经网络的基线非线性估计^[5,18-21]。即便如此，这些方法仍然受到固定滑动窗口滤波器引起的不稳定基线估计的影响。这些方法高度依赖于有限的过滤性能，因此不适用于具有随机特性的临床 FHR 信号。

目前的基线估计方法并不能充分满足 FHR 信号形态分析临床应用的要求，更准确的基线估计算法需要进一步研究。本选题将基于已在医学领域取得巨大成功的深度学习方法^[22]，更好地捕捉随机性信号的形态特征，提高复杂场景下胎心率形态分析的精度。

研究内容：

- 1、数据采集。拟采用从 CULF-DB 数据库采集到的 156 个时长为 40-120 分钟胎心监护信号数据集。所有数据均来自里尔圣文森德保罗产科病房妊娠 36-41 周第一产程的患者。信号的采样频率为 4 Hz，每条数据均由四位专家进行注释。其中 66 条数据组成训练集，90 条数据的测试数据集^[8]。测试集的标签不公开，实验结果必须交给法国研究员测试，有公平性保障。
- 2、信号去噪与数据增强。拟采用与^[23,8,24]相同的信号处理方法。其中异常数据点（超出 50 - 220bpm 这一合理范围或两个相邻点之间的偏差超过 25 bpm）被删除，并最终由异常数据点之间的线性插值替换。去噪后的每条 FHR 信号将以 20/3 分钟的步长进行分割。20 分钟的窗口大小与临床解释正常胎心率的标准长度一致。
- 3、设计深度学习模型，获取胎心率信号的基线、加速度和减速度。模型预计采用 U-Net 架构，加入注意力机制，对胎心率的模式进行分类。
- 4、设计滤波器，实现基线自动计算。由于整个胎心率信号的基线是连续且平滑的，因此根据胎心率信号的预测结果，去除基于任何无效基线点的预测结果，考虑了 FHR 基线的连续性和稳定性，过滤波器来自动估计基线。
- 5、评估该方案计算结果的准确性和可靠性。使用五个不一致指标从全局和局部方面评估不同的模型。局部指标包括 bpm 基线差异 (BL.D)、加速度的 F 分数 (Acc.F) 和减速度的 F 分数 (Dec.F)^[8]。全局指标包括综合不一致系数 (SIC) 和形态分析不一致指数 (MADI)^[4]。对于每个 FHR 记录，SIC 通过考虑其面积、位置和数量来反映加减速的整体质量。

研究方法、手段及步骤：

研究方法：

- 1、收集基因数据集并阅读参考文献；
- 2、研究不同的基线自动确定算法，类比其他信号的分析算法；
- 3、编写代码，实现基于深度学习的胎儿心率分析增强及基线自动确定算法；
- 4、研究实验结果，验证实验结论。

研究手段：

- 1、通过阅读文献完成对基因聚类算法等理论知识的准备；
- 2、与导师交流，选定实验方案、安排实验日程；
- 3、搭建实验环境，编写模型主体代码；
- 4、模型精度、性能、创新性研究；
- 5、总结研究进展和问题，解决构建和训练模型过程中遇到的问题。

研究步骤：

- 1、数据收集和预处理：收集胎儿心率信号数据，并进行预处理以获得可用的数据。
- 2、深度学习模型设计：设计一个深度学习模型，用于胎儿心率信号的分类。通过对大量数据进行训练和优化，提高模型对胎儿心率状态的准确识别能力。
- 3、基线自动确定方法：提出一种新的方法，将深度学习技术与信号处理方法相结合，实现胎儿心率基线的自动确定。
- 4、算法实现和性能评估：将设计的模型和方法实现，评估所提出方法在分类和预测任务中的准确性和性能表现，并与传统方法进行对比分析，验证其优越性和可行性。
- 5、结果分析和讨论：对实验结果进行分析和讨论，探讨所提出方法的优势、局限性和改进空间，为胎儿心率分析增强和基线自动确定领域的后续研究提供参考。

参考文献:

- [1] ASHORN P, BLACK R E, LAWN J E, 等. The Lancet Small Vulnerable Newborn Series: science for a healthy start[J/OL]. The Lancet, 2020, 396(10253): 743-745. DOI:10.1016/S0140-6736(20)31906-1.
- [2] AGOSTINELLI A, BELGIOVINE G, FIORENTINO M C, 等. Association between Accelerations and Decelerations of Fetal Heart Rate[M/OL]//ESKOLA H, VÄISÄNEN O, VIIK J, 等. EMBEC & NBC 2017: 卷 65. Singapore: Springer Singapore, 2018: 1125-1128[2023-11-22]. http://link.springer.com/10.1007/978-981-10-5122-7_281. DOI:10.1007/978-981-10-5122-7_281.
- [3] CHANDRAHARAN E. Handbook of CTG Interpretation: From Patterns to Physiology[M/OL]. 1 版. Cambridge University Press, 2017[2023-11-22]. <https://www.cambridge.org/core/product/identifier/9781316161715/type/book>. DOI:10.1017/9781316161715.
- [4] RHÖSE S, HEINIS A M F, VANDENBUSSCHE F, 等. Inter- and intra-observer agreement of non-reassuring cardiotocography analysis and subsequent clinical management[J/OL]. Acta Obstetrica et Gynecologica Scandinavica, 2014, 93(6): 596-602. DOI:10.1111/aogs.12371.
- [5] AYRES-DE-CAMPOS D, BERNARDES J, GARRIDO A, 等. SisPorto 2.0: A Program for Automated Analysis of Cardiotocograms[J/OL]. Journal of Maternal-Fetal and Neonatal Medicine, 2000, 9(5): 311-318. DOI:10.3109/14767050009053454.
- [6] GEORGIEVA A, ABRY P, CHUDÁČEK V, 等. Computer-based intrapartum fetal monitoring and beyond: A review of the 2nd Workshop on Signal Processing and Monitoring in Labor (October 2017, Oxford, UK)[J/OL]. Acta Obstetrica et Gynecologica Scandinavica, 2019, 98(9): 1207-1217. DOI:10.1111/aogs.13639.
- [7] DAS S, ROY K, SAHA C K. Determination of window size for baseline estimation of fetal heart rate using CTG[C/OL]//Proceedings of the 2015 Third International Conference on Computer, Communication, Control and Information Technology (C3IT). 2015: 1-5. DOI:10.1109/C3IT.2015.7060179.
- [8] BOUDET S, HOUZÉ DE L'AULNOIT A, DEMAILLY R, 等. Fetal heart rate baseline computation with a weighted median filter[J/OL]. Computers in Biology and Medicine, 2019, 114: 103468. DOI:10.1016/j.compbiomed.2019.103468.
- [9] CERUTTI S, BASELLI G, CIVARDI S, 等. Variability analysis of fetal heart rate signals as obtained from abdominal electrocardiographic recordings[J/OL]. Journal of Perinatal Medicine, 1986, 14(6): 445-452. DOI:10.1515/jpme.1986.14.6.445.
- [10] HOUZE DE L'AULNOIT D L, BEUSCART R J, BRABANT G, 等. Real-time Analysis Of The Fetal Heart Rate[C/OL]//[1990] Proceedings of the Twelfth Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Philadelphia, PA, USA: IEEE, 1990: 1994-1995[2023-11-22]. <http://ieeexplore.ieee.org/document/692125/>. DOI:10.1109/IEMBS.1990.692125.
- [11] NAJAFABADI F S, ZAHEDI E, MOHD ALI M A. Fetal heart rate monitoring based on independent component analysis[J/OL]. Computers in Biology and Medicine, 2006, 36(3): 241-252. DOI:10.1016/j.compbiomed.2004.11.004.
- [12] TAYLOR G M, MIREN G J, ABEL E W, 等. The development and validation of an algorithm for real-time computerised fetal heart rate monitoring in labour[J/OL]. BJOG:

- An International Journal of Obstetrics & Gynaecology, 2000, 107(9): 1130-1137. DOI:10.1111/j.1471-0528.2000.tb11112.x.
- [13] DASH S, QUIRK J G, DJURIC P M. Fetal Heart Rate Classification Using Generative Models[J/OL]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2014, 61(11): 2796-2805. DOI:10.1109/TBME.2014.2330556.
- [14] FUENTEALBA P, ILLANES A, ORTMEIER F. Analysis of the foetal heart rate in cardiotocographic recordings through a progressive characterization of decelerations[J/OL]. Current Directions in Biomedical Engineering, 2017, 3(2): 423-427. DOI:10.1515/cdbme-2017-0089.
- [15] SZALAI J, MOZES F E. Determining fetal heart rate using independent component analysis[C/OL]//2014 IEEE 10th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP). Cluj Napoca, Romania: IEEE, 2014: 11-16[2023-11-22]. <http://ieeexplore.ieee.org/document/6936973/>. DOI:10.1109/ICCP.2014.6936973.
- [16] WEI S yi, LU Y S, LIU X lei. Fetal heart rate analysis using a non-linear baseline and variability estimation method[C/OL]//2012 5th International Conference on BioMedical Engineering and Informatics. Chongqing, China: IEEE, 2012: 532-536[2023-11-22]. <http://ieeexplore.ieee.org/document/6513082/>. DOI:10.1109/BMEI.2012.6513082.
- [17] LU Y, WEI S. Nonlinear baseline estimation of FHR signal using empirical mode decomposition[C/OL]//2012 IEEE 11th International Conference on Signal Processing. Beijing, China: IEEE, 2012: 1645-1649[2023-11-22]. <http://ieeexplore.ieee.org/document/6491896/>. DOI:10.1109/ICoSP.2012.6491896.
- [18] KEITH R D F, WESTGATE J, IFEACHOR E C, 等. Suitability of artificial neural networks for feature extraction from cardiotocogram during labour[J/OL]. Medical & Biological Engineering & Computing, 1994, 32(S1): S51-S57. DOI:10.1007/BF02523327.
- [19] MAEDA K. Central Computerized Automatic Fetal Heart Rate Diagnosis with a Rapid and Direct Alarm System[J/OL]. The Open Medical Devices Journal, 2012, 4(1): 28-33. DOI:10.2174/1875181401204010028.
- [20] MONGELLI M, DAWKINS R, CHUNG T, 等. Computerised estimation of the baseline fetal heart rate in labour: the low frequency line[J/OL]. BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology, 1997, 104(10): 1128-1133. DOI:10.1111/j.1471-0528.1997.tb10935.x.
- [21] WARRICK P, HAMILTON E, MACIESZCZAK M. Neural network based detection of fetal heart rate patterns[C/OL]//Proceedings. 2005 IEEE International Joint Conference on Neural Networks, 2005.: 卷 4. Montreal, Que., Canada: IEEE, 2005: 2400-2405[2023-11-22]. <http://ieeexplore.ieee.org/document/1556278/>. DOI:10.1109/IJCNN.2005.1556278.
- [22] BAKATOR M, RADOSAV D. Deep Learning and Medical Diagnosis: A Review of Literature[J/OL]. Multimodal Technologies and Interaction, 2018, 2(3): 47. DOI:10.3390/mti2030047.
- [23] AL-YOUSIF S, JAENUL A, AL-DAYYENI W, 等. A systematic review of automated pre-processing, feature extraction and classification of cardiotocography[J]. PeerJ Computer Science, 2021, 7: e452.
- [24] HOUZÉ DE L'AULNOIT A, BOUDET S, DEMAILLY R, 等. A comparison of 11

methods[J/OL]. Biomedical Signal Processing and Control, 2019, 49: 113-123.
DOI:10.1016/j.bspc.2018.10.002.

学生签名:

李东雅

2023年12月6日

指导教师意见:

李东雅同学毕业设计任务准备比较充分,研究内容明确,
研究方法、手段及步骤具有可行性。

同意开题!

签名: 吕羽

学院领导意见:

同意

签名:

傅向华

2023年12月8日