

%\$(' %&\$\$((\$%

# 齊魯工業大學

## 硕士学位申请书

论文题目: ECG

申请人姓名	李家豪
学号	10431200544
导师姓名(职称)	庞少鹏(副教授)
所在单位	电子电气与控制学部
专业	0854【电子信息】
研究方向	智能检测技术

学位评定委员会办公室制

2023年6月1日 填

## 填表说明

1. 本申请书为学位档案，所列项目必须全部认真如实填写，不留空白，若某项内容没有，请在相应栏内填写“无”，签名及日期位置须用黑色、蓝黑色钢笔、中性笔手写，字体工整清晰，不得涂改。申请人应对本人信息的真实准确性负责。
2. 本申请书电子文档格式已在文本中注明，所有输入字体为仿宋体（GB2312）五号，1.5 倍行距，首行缩进 2 字符，其他应按默认格式录入，不得改动。
3. 本申请书电子文档用 A4 纸双面打印，左侧装订，如栏目不够或内容较多时，可另加同样大小附页，并留出装订线。
4. 本申请书一式三份，其中一份为原件；另一份除论文评阅书和答辩表决票外，其余为原件；最后一份为复印件，请在封面“编号”处按要求注明。
5. 本申请书由学位评定分委员会审核并签署意见后，统一交研究生处/学位办。

## I. 申请人基本情况

姓名	李家豪	性别	男	出生日期	1997 年 11 月 05 日	
政治面貌	中国共产主义青年团团员	民族	汉族	学制	3 年	
身份证号	140481199711052432			入学时间	2020 年 09 月	
籍贯	山西省长治市潞城区			联系电话	13164390729	
家庭地址	山西省长治市潞城区西华苑小区			邮编	047500	
最后学历与学位		2016 年 09 月 ~ 2020 年 07 月于河南工业大学信息科学与工程学院软件工程专业修业 4 年，获大学本科毕业证书，获工学学士学位。				
主要学历与社会经历	起止年月			学习或工作单位		任何职务
	2012. 09-2015. 07			潞城第一中学		无
	2015. 09-2016. 06			屯留一中		无
	2016. 09-2020. 07			河南工业大学		无
	2020. 09-至今			齐鲁工业大学（山东省科学院）		无
掌握外语的语种				英语	熟练程度	六级（478）
<p>何时、何地因何原因受过何种奖励或处分（研究生阶段）：</p> <p>1、2020 年 12 月，齐鲁工业大学，获“研究生二等学业奖学金”；</p> <p>2、2021 年 12 月，齐鲁工业大学，获“研究生单项奖学金”；</p> <p>3、2021 年 12 月，齐鲁工业大学，获第十八届“华为杯”研究生数学建模大赛国家二等奖；</p> <p>4、2022 年 11 月，齐鲁工业大学，获“研究生一等学业奖学金”；</p> <p>5、2023 年 03 月，齐鲁工业大学，获“2021-2022 学年齐鲁工业大学（山东省科学院）优秀研究生”；</p> <p>6、2023 年 05 月，齐鲁工业大学，获“研究生校级优秀毕业生”；</p> <p>以下无内容。</p>						

参加的科研工作和取得成果情况:					
在学期间发表的论文及	论文名称	刊物名称、卷期、页码 (是否为核心或被 SCI、EI、ISTP 收录)		署名情况	发表时间
	Two-dimensional ECG-based cardiac arrhythmia classification using DSE-ResNet	Scientific Reports、12、1、SCIE, SCI		1/6	2022. 08
	A 12-lead ECG correlation network model exploring the inter-lead relationships	EPL、140、3、SCIE, SCI		2/5	2022. 11
	以下无内容				
其它科研成果	科研成果、奖励、专利名称	经费数额及来源	科研成果和获奖鉴定部门、专利类型	署名情况	授予时间
	“华为杯”第十八届中国研究生数学建模竞赛国家二等奖	无	中国学位与研究生教育学会	1/3	2022. 12
	以下无内容				
参与科研项目	项目名称	经费数额与来源	本人承担工作		本人位次
	基于图卷积神经网络的心电图识别方法研究	9.6 万元 齐鲁工业大学(山东省科学院)青年博士合作基金项目	算法研究		5/7
	以下无内容				

# 齐鲁工业大学硕士研究生成绩单

姓名	李家豪	学科(领域)	电子信息	研究方向			
学号	10431200544	院系、部(所、中心)		电气工程与自动化学院			
课程成绩情况							
课程编号	课程名称	课程性质	课程属性	课程类别	学分	成绩	备注
XS061001	论文写作与学术道德规范	学位课	专业课	必修课	1.0	95	
XS061002	矩阵理论	学位课	专业课	必修课	3.0	83	
XS061003	随机过程	学位课	专业课	必修课	3.0	87	
XS061009	学科前沿专题课程	学位课	专业课	必修课	2.0	93	
XS061010	专业实践	学位课	专业课	必修课	5.0	95	
XS061024	线性控制系统	学位课	专业课	必修课	3.0	90	
XS991001	第一外国语	学位课	公共课	必修课	4.0	84	
XS991002	中国特色社会主义理论与实践研究	学位课	公共课	必修课	2.0	91	
XS991003	自然辩证法	学位课	公共课	必修课	1.0	85	
XS991004	工程伦理	学位课	公共课	必修课	1.0	86	
XS062009	数据结构与算法分析	非学位课	专业课	选修课	2.0	82	
XS062022	神经网络及应用	非学位课	专业课	选修课	2.0	91	
XS062027	数字图像处理与应用	非学位课	专业课	选修课	2.0	93	
XS062031	最优化方法与应用	非学位课	专业课	选修课	2.0	80	
实践环节完成情况							
实践类型	实践属性	学分	完成情况	备注			
学分统计：总学分 33.0 学分，其中：学位课 25.0 学分，非学位课 8.0 学分，实践环节 0.0 学分。							
							
院系、部(所、中心)(公章) 2023.5.26				研究生主管部门(公章) 3701237014517			

## II. 申请硕士学位论文内容介绍

论文题目	基于二维化十二导联 ECG 信号分类与冗余性研究				
选题时间	2021. 10. 27	完成时间	2023. 06. 03	论文字数	42000
关键词	十二导联，二维化，深度神经网络，心律失常，导联冗余性				

论文课题来源、理论和实践意义：

本课题来源于齐鲁工业大学（山东省科学院）青年博士合作基金项目，项目号为 2019BSHZ0014，项目标题为基于图卷积神经网络的心电图识别方法研究。

心血管疾病是一种常见、多发和死亡率高的慢性病，具有病情隐蔽、危险性高和突发性强等特点。心律失常是心血管疾病中最常见的一组疾病，容易引起多种并发症，对人类的健康造成了极大的威胁。心电图（ECG）是医学日常实践中的基本工具，因其简单、无创、可靠等特点，多作为心律失常临床诊断的依据。全世界每年采集获得数百万的心电图记录，且这个数据量逐年上升。专业医生增长的速度远不能匹配心电图的产出数量，导致病症诊断结果无法及时提供。在实际生活中对心律失常的诊断主要依赖医生对心电图的分析，呈指数剧增的心电数据加重了医生的工作负担。近几十年随着计算机算力的不断提升，越来越多的领域引入了计算机辅助识别诊断，计算机辅助识别在临床心电图工作流程中也变得越来越重要。然而，现有的商用 ECG 诊断算法仍然显示出较高的错误率。随着 ECG 信号的数字化、计算机硬件计算力的提升和多种算法的提出，为大规模处理原始心电信号提供了条件，也为重新创建高性能的 ECG 智能识别方法展示了可能性。

由于心电图的复杂性，对心电图进行精确分析存在很大难度。目前专业医生对心电图的分析主要依靠常年累积的行医经验，识别异常心电图在波形结构中存在的问题。为客观、准确、快速地进行心电图自动分析，借助高性能计算设备和人工智能识别算法对心电图进行自动化分析，提升心电图分析的效率和准确率是智慧医疗在心电图领域发展的应有之义。同时随着便携式设备例如带有实时心电图记录功能的智能手表的不断出现，监测主体心电信号并利用智能识别算法反馈结果可为预防心血管疾病和及时就诊提供条件。

现如今国家大力推行人工智能和智慧医疗。“十四五”期间将持续推进“智慧医院”建设，通过信息化手段提升医疗服务的效率、质量与安全。《“健康山东 2030”规划纲要》提出加大研发健康医疗相关的人工智能技术和可穿戴设备，促进健康医疗智能装备产业升级。本研究旨在将

人工智能技术应用于基于十二导联 ECG 的心律失常的智能识别研究中,同时分析十二导联 ECG 信号在深度学习过程中的冗余性。这有助于为便携式设备应用部分导联进行智能识别算法提供理论基础。因此本研究具有较高的临床意义和市场空间,具有较为广阔的应用前景,属于国家和山东省的重点发展领域。

#### 本课题前人主要研究成果介绍:

过去几十年中对于心律失常自动分类的研究中,基于机器学习的算法占据大多数,这类算法通常分为构建特征工程和设计分类算法两部分。具体来说,研究人员首先利用数学方法从原始 ECG 中提取大量具有医学意义的特征,如小波特征<sup>[1]</sup>、P-QRS-T 复合特征<sup>[2,3]</sup>、心率变异性统计特征<sup>[4]</sup>、RR 间期相关统计特征<sup>[5]</sup>、高阶统计特征<sup>[5,6]</sup>和形态学特征<sup>[7,8]</sup>。主成分分析<sup>[9,10]</sup>和独立成分分析<sup>[11,12]</sup>等降维方法实现心电图特征从高维空间向低维空间的映射。经过特征工程得到的信息利用分类算法进行分类,常见的分类算法包括支持向量机<sup>[13,14]</sup>、自组织映射<sup>[15]</sup>、聚类<sup>[16]</sup>等。尽管机器学习在心律失常分类方面取得了不错的表现,但仍有一些问题需要解决。例如,基于主观因素提取的特征导致一些潜在的、深层次的重要信息被忽略、ECG 的信息不能够被完整的使用等,这些情况会影响最终的分类性能。

近年来,深度神经网络(Deep Neural Network, DNN)以其强大的特征提取能力,极大地提升了对于语音识别、图像分类、疾病诊断等任务的技术水平。与机器学习方法不同,深度神经网络可以从原始输入数据中自动识别模式并学习有用的特征,而无需依赖大量的手动规则和特征工程,这使得它们特别适合应用于 ECG 数据。一些研究受此启发,将深度神经网络用于基于单导联或多导联心电图的心律失常自动分类中。

在这些研究中由于选择不同的数据库进行实验,导致实验样本的记录长度、导联数量不尽相同。但大体分为以下两类:基于单导联样本(每条记录有多个心拍,标签按照心拍标注)的分类算法和基于多导联样本(每条记录给出一个或多个标签)的分类算法。其相关研究包括 Ullah 等人<sup>[17]</sup>提出了一种基于单导联的二维卷积神经网络(Convolutional Neural Network, CNN)模型,利用短时傅立叶变换将一维心电时间序列信号转换为二维频谱图,每个频谱图对应一个心拍以及一个标签,经过训练的模型在 MIT-BIH 心律失常数据库进行评估取得了 99.11%的平均准确率。Jun 等人<sup>[18]</sup>提出了一种使用二维深度卷积神经网络(CNN)的 ECG 心律失常分类方法,该方法将每个心跳间期的波形图转换成二维灰度图像作为 CNN 分类器的输入数据,并在 MIT-BIH 心律失常数据库进行测试得到了 99.05%的平均准确度。Hannun 等人<sup>[19]</sup>开发了一种基于 ResNet 的一维 DNN 模型,

实现了单导联心电图数据端到端的学习，并完成正常节律以及 11 类心律失常类型的分类。训练完成的 DNN 模型在专用数据集上的敏感性超过了心脏病专家分类的平均敏感性，并且证明了端到端的深度学习方法可以从单导联心电图分类出多种不同类型的心律失常，其诊断性能与心脏病学家相似。

与单导联 ECG 相比，多导联 ECG 包含心脏不同方位的电位信号，一些研究表明充足的数据量更有利于心律失常的自动分类。例如 Wang 等人<sup>[20]</sup>提出了一种基于多尺度特征提取和十二导联 ECG 跨尺度信息互补的方法来捕捉心电信号中的异常状态，并在 “The China Physiological Signal Challenge 2018 (CPSC2018)” 提供的心律失常数据库中进行了测试，得到了 82.8% 的分数。Chen 等人<sup>[21]</sup>提出了一种结合 CNN、循环神经网络 (Recurrent Neural Network, RNN) 和注意力机制 (Attention) 的用于心律失常分类的模型。实验过程中对十二导联 ECG 逐导联进行训练，然后融合逐导联训练的结果进行再训练。该模型应用于 CPSC2018 心律失常数据库并取得了排名第一的测试结果。同时他们基于单导联 ECG 进行实验发现使用单导联数据产生的性能次于完整十二导联 ECG，其中利用导联 aVR 和 V1 的分类表现接近于十二导联。Zhang 等人<sup>[22]</sup>逐导联训练并融合特征再训练得到一维 DNN 模型，该模型在测试数据库平均得分=0.813，这个结果显示出优于四种基于专家特征的机器学习方法的性能。此外，在单导联 ECG 上训练的深度模型产生的性能低于同时使用所有十二导联，表现最好的是导联 I、aVR 和 V5。Chiou 等人<sup>[23]</sup>应用连续小波变换 (CWT) 将一维 ECG 信号转换为二维光谱，用于二维 CNN 分类，并评估了单个 ECG 导联对收缩性心力衰竭 (HF) 分类结果的贡献。结果表明将十二导联 ECG 信号中的导联 V5 和 V6 进行组合，可获得质量最高的评分。此外，zhao 等人<sup>[24]</sup>的文章表明，添加性别和年龄等临床数据作为辅助特征可以提高分类性能。王英龙等人<sup>[25]</sup>提出一种将多导联心电图数据应用于 CNN 和长短期记忆网络 (Long Short-Term Memory, LSTM) 的组合模型实现心律失常自动分类。一方面多导联心电图较单导联心电图蕴含更多心电信息，另一方面通过融合 CNN 及 LSTM，使得模型在学习时间序列数据和空间结构数据方面有着独特优势。利用多导联心电图数据训练 CNN-LSTM 提高了 DNN 的学习效率和心电图识别的精度。Hong 等人<sup>[26]</sup>提出了一种用于 ECG 分类的集成分类器，首先提取心电图的统计特征、信号处理特征和医学特征，然后构建 DNN 来自动提取深层特征，同时提出了一种新的算法来寻找中心波 (一名患者心电图波形中最具代表性的波形) 特征。最后将专家特征、深度特征和中心波特征结合起来，训练多个梯度决策树分类器，并将这些分类器集成在一起输出预测。结果表明集成分类器增强了模型的性能。

[1] Wang J, Wang P, Wang S. Automated detection of atrial fibrillation in ECG signals



- based on wavelet packet transform and correlation function of random process[J]. Biomedical Signal Processing and Control, 2020, 55: 101662.
- [2] Tsipouras M G, Fotiadis D I, Sideris D. An arrhythmia classification system based on the RR-interval signal[J]. Artificial intelligence in medicine, 2005, 33(3): 237–250.
- [3] Haseena H H, Mathew A T, Paul J K. Fuzzy clustered probabilistic and multi layered feed forward neural networks for electrocardiogram arrhythmia classification[J]. Journal of Medical Systems, 2011, 35: 179–188.
- [4] Mondéjar-Guerra V, Novo J, Rouco J, et al. Heartbeat classification fusing temporal and morphological information of ECGs via ensemble of classifiers[J]. Biomedical Signal Processing and Control, 2019, 47: 41–48.
- [5] Afkhami R G, Azarnia G, Tinati M A. Cardiac arrhythmia classification using statistical and mixture modeling features of ECG signals[J]. Pattern Recognition Letters, 2016, 70: 45–51.
- [6] Martis R J, Acharya U R, Prasad H, et al. Application of higher order statistics for atrial arrhythmia classification[J]. Biomedical signal processing and control, 2013, 8(6): 888–900.
- [7] de Oliveira L S C, Andreão R V, Sarcinelli-Filho M. Premature ventricular beat classification using a dynamic Bayesian network[C]//2011 annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society. IEEE, 2011: 4984–4987.
- [8] De Chazal P, O'Dwyer M, Reilly R B. Automatic classification of heartbeats using ECG morphology and heartbeat interval features[J]. IEEE transactions on biomedical engineering, 2004, 51(7): 1196–1206.
- [9] Ince T, Kiranyaz S, Gabbouj M. A generic and robust system for automated patient-specific classification of ECG signals[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2009, 56(5): 1415–1426.
- [10] Wang J S, Chiang W C, Hsu Y L, et al. ECG arrhythmia classification using a probabilistic neural network with a feature reduction method[J]. Neurocomputing,

- 2013, 116: 38–45.
- [11] Martis R J, Acharya U R, Min L C. ECG beat classification using PCA, LDA, ICA and discrete wavelet transform[J]. Biomedical Signal Processing and Control, 2013, 8(5): 437–448.
  - [12] Martis R J, Acharya U R, Prasad H, et al. Automated detection of atrial fibrillation using Bayesian paradigm[J]. Knowledge-Based Systems, 2013, 54: 269–275.
  - [13] Ye C, Kumar B V K V, Coimbra M T. Heartbeat classification using morphological and dynamic features of ECG signals[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2012, 59(10): 2930–2941.
  - [14] Osowski S, Hoai L T, Markiewicz T. Support vector machine-based expert system for reliable heartbeat recognition[J]. IEEE transactions on biomedical engineering, 2004, 51(4): 582–589.
  - [15] Lagerholm M, Peterson C, Braccini G, et al. Clustering ECG complexes using Hermite functions and self-organizing maps[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2000, 47(7): 838–848.
  - [16] Guo G, Wang H, Bell D, et al. KNN model-based approach in classification[C]//On The Move to Meaningful Internet Systems 2003: CoopIS, DOA, and ODBASE: OTM Confederated International Conferences, CoopIS, DOA, and ODBASE 2003, Catania, Sicily, Italy, November 3–7, 2003. Proceedings. Springer Berlin Heidelberg, 2003: 986–996.
  - [17] Ullah A, Anwar S M, Bilal M, et al. Classification of arrhythmia by using deep learning with 2-D ECG spectral image representation[J]. Remote Sensing, 2020, 12(10): 1685.
  - [18] Jun T J, Nguyen H M, Kang D, et al. ECG arrhythmia classification using a 2-D convolutional neural network[J]. arXiv preprint arXiv:1804.06812, 2018.
  - [19] Hannun A Y, Rajpurkar P, Haghpanahi M, et al. Cardiologist-level arrhythmia detection and classification in ambulatory electrocardiograms using a deep neural network[J]. Nature medicine, 2019, 25(1): 65–69.
  - [20] Wang R, Fan J, Li Y. Deep multi-scale fusion neural network for multi-class

arrhythmia detection[J]. IEEE journal of biomedical and health informatics, 2020, 24(9): 2461-2472.

- [21] Chen T M, Huang C H, Shih E S C, et al. Detection and classification of cardiac arrhythmias by a challenge-best deep learning neural network model[J]. Iscience, 2020, 23(3): 100886.
- [22] Zhang D, Yang S, Yuan X, et al. Interpretable deep learning for automatic diagnosis of 12-lead electrocardiogram[J]. Iscience, 2021, 24(4): 102373.
- [23] Chiou Y A, Syu J Y, Wu S Y, et al. Electrocardiogram lead selection for intelligent screening of patients with systolic heart failure[J]. Scientific reports, 2021, 11(1): 1-12.
- [24] Zhao Z, Fang H, Relton S D, et al. Adaptive lead weighted ResNet trained with different duration signals for classifying 12-lead ECGs[C]//2020 Computing in Cardiology. IEEE, 2020: 1-4.
- [25] 王英龙, 成曦, 舒明雷, 朱清, 周书旺. 基于卷积神经网络和长短期记忆网络的心电图分类方法[P]. 山东省: CN110179453A, 2019-08-30.
- [26] Hong S, Wu M, Zhou Y, et al. ENCASE: An ENsemble ClASsifiEr for ECG classification using expert features and deep neural networks[C]//2017 Computing in cardiology (cinc). IEEE, 2017: 1-4.

论文工作中曾得到导师、协作者和其他教师指导或帮助情况:

庞少鹏副教授是我的导师, 在论文选题、方法研究、数据分析和论文修改方面给予大量的指导。徐舫舟副教授提供了部分计算资源, 并为论文的修改提出指导性建议。舒明雷教授以及周书旺老师曾协调本研究使用过一段时间超算中心的计算资源服务。

## 论文的主要内容和创新点:

本文针对心电图的时序特性以及空间特性,建立了一种二维化十二导联 ECG 的方法。其中二维代表平面,平面中每个点代表某一导联的一个采样电压值。以二维卷积神经网络为基础构建深度学习模型实现导联内部特征和导联之间特征的提取。同时置入患者的性别和年龄作为辅助数据,增强样本的总体特征。除此之外,带有心电图记录功能的辅助设备通常只记录标准十二导联中的部分导联信号。而十二导联信息囊括了来自心脏不同方位的心电信息,相较于部分导联,利用完整十二导联实现心律失常的自动识别更加合理。然而全面的数据意味着庞大的记录量和计算量,为了搞清楚在利用深度学习实现心律失常的自动识别过程中是否全部导联信号都发挥作用,本论文对深度学习过程中不同导联信号组合的冗余性进行研究。综上本文的主要研究内容如下:

(1) 本论文提供了一种新的处理不同采样长度的十二导联 ECG 的方法。使得处理后的十二导联数据保持相同的长度,同时让十二导联 ECG 既具有时序上的连续性,也具有空间上的相邻性。

(2) 本论文创建了一种二维数据通用的深度模型学习框架,能够对十二导联 ECG 进行导联间特征和导联内部特征的提取。并实现较高评价体系的心律失常的自动识别。利用这种模型构建了一个基于 Flask 的心律失常自动分类平台,用户可自主上传 ECG 数据,实现心律失常在线识别。

(3) 本论文为自动识别心律失常方向上导联之间冗余性问题的研究提供新的视角。探究了不同深度学习模型和不同导联组合对分类性能的影响。为兼容多种便携式设备提供心律失常的自动识别创造条件。

本文的主要创新包括:

(1) 提出了一种多通道时序数据的二维化转换方法。将原始的十二导联 ECG 拼接成类似灰度图一样的二维平面,每一列代表单导联的时间序列,每个“像素”代表导联某一时刻的电压值。

(2) 提出了一种二维 DNN 模型 DSE-ResNet 用于处理多通道时间序列 ECG 信号。基于二维卷积神经网络的特性,DSE-ResNet 可以在训练阶段学习导联内部和导联之间的特征。

(3) 提出了一种针对十二导联 ECG 的切片规则来扩展训练集。

(4) 采用正交试验选择超参数。在评估模型阶段,使用基于投票策略的集成模型增强分类性能。

(5) 收集来自世界各地的多个数据库形成融合数据库,增强模型泛化性。

需要继续研究和探讨问题:

经过长时间的研究和实验也发现了研究过程中出现的一些无法解决或者来得及解决的问题, 例如:

(1) 二维化过程中十二导联的排序方式按照双极肢体导联 I、II、III; 单极加压肢体导联 aVR、aVL、aVF; 胸前导联 V1、V2、V3、V4、V5、V6 的顺序进行排序, 排序方式是否影响导联间特征的学习目前并不清楚。由于十二导联全排序产生的组合过多, 这需要花费很长的时间进行进一步研究。

(2) 导联信号冗余性的探究过程中, 设计的擦除组合是从十二导联 ECG 的分类以及逻辑计算冗余的角度出发选择的。其他情况的擦除组合能够何种性能目前尚不清晰。

(3) 实验过程中, 对于不同心律失常的识别给定不同导联的权重是一致的。但实际上特定类型的心律失常在某些导联表现更明显, 因此十二导联不同的权重来判断指定类型的心律失常是更合理的。

(4) 对于 ST 类型的诊断, 仍需要大量的样本供给。在对 CPSC2018 数据库的研究中, 几乎所有的模型对 ST 尤其是 STE 的识别都呈现出较低的评价分数

(5) 目前基于 Flask 的心律失常自动识别平台能够兼容用户提交的十二导联 ECG 文件格式有限, 还有待进行进一步的接口拓展和功能开发。

结合上述本研究忽略的问题, 未来的研究方向包括:

(1) 研究二维化十二导联 ECG 在深度学习过程中的排序问题。

(2) 研究擦除导联的其他组合方式对心律失常的影响, 尽可能匹配到现有便携式心电监测设备能够记录的导联, 从而实现不同设备的心律失常的高性能自动识别。

(3) 研究不同心律失常类型和能够诊断它的导联之间的对应关系, 从而在自动识别算法中给予特定心律失常对应导联的权重, 加大识别的准确性。

(4) 可视化不同导联擦除方式在训练过程中被关注的部分, 以此判定 CNN 关注的局部信息主要依赖的导联是什么。

(5) 收集更多的十二导联数据库, 将不同心律失常类型的数量保持在同一水平, 屏蔽因缺乏样本而导致模型学习特征不足够的问题。

(6) 持续优化基于 Flask 的心律失常自动分类平台的功能和算法性能。同时关注系统的实时性和数据库的安全性。

### III. 指导教师论文评阅意见书

该论文通过查阅相关文献，对国内外相关研究现状进行了梳理与分析。论文主要进行了两个方向的实验探索。研究了基于二维化十二导联 ECG 信号的心律失常自动识别问题，设计了线上心律失常自动分类平台。同时分析了深度学习中导联信号冗余性的问题。论文选题合理，具有一定的理论研究价值与应用前景。论文主要完成了以下工作：

(1) 论文提供了一种新的处理不同采样长度的十二导联 ECG 的方法。使得处理后的十二导联数据保持相同的长度，同时让十二导联 ECG 既具有时序上的连续性，也具有空间上的相邻性。

(2) 论文创建了一种二维数据通用的深度模型学习框架，能够对十二导联 ECG 进行导联间特征和导联内部特征的提取。并实现较高评价体系的心律失常的自动识别。利用这种模型构建了一个基于 Flask 的心律失常自动分类平台，用户可自主上传 ECG 数据，实现心律失常在线识别。

(3) 论文为自动识别心律失常方向上导联之间冗余性问题的研究提供新的视角。探究了不同深度学习模型和不同导联组合对分类性能的影响。为兼容多种便携式设备提供心律失常的自动识别创造条件。

论文具备一定的创新性和工作量，因此同意答辩。

指导教师签名：

2023年5月14日

IV. 硕士学位论文评阅意见书

20230525A

硕士学位论文匿名评阅书

论文题目	基于二维化十二导联 ECG 信号分类与冗余性研究		
论文编号	20230525	学位级别	硕士
评价指标	得分	评价指标	得分
论文选题（20 分）	18.0	文献综述（15 分）	12.0
基础理论与专业知识（25 分）	22.0	论文成果与科研能力（30 分）	28.0
写作能力与学风（10 分）	8.0		
总分	88.0		
对论文水平的总体评价 (请在相应档中划 ✓)	A 档 <input type="checkbox"/>	B 档 <input checked="" type="checkbox"/>	C 档 <input type="checkbox"/> D 档 <input type="checkbox"/>
<p>评阅说明：</p> <p>评阅论文时，请参考以下几个方面提出意见：</p> <p>1、选题的理论意义或实用价值。</p> <p>2、论文所反映的作者对本学科领域前沿知识的了解程度以及对文献资料的掌握及综述能力。</p> <p>3、作者已掌握的基础理论、专业知识、基本研究方法和技能，以及具有的独立进行科研工作的能力；论文的新见解、新观点、新方法。</p> <p>4、论文的规范性及文字表达能力；材料的真实性和结论的合理性；概念清晰与分析严谨的程度。</p> <p>5、论文是否达到硕士学位论文水平要求，是否同意答辩。</p>			

**评阅意见：****1. 选题的理论意义或实用价值。**

本文选题是基于二维化十二导联 ECG 信号分类与冗余性研究。其中，心律失常是一种常见的心血管疾病，严重影响人们的健康和生活质量。利用十二导联 ECG 信号进行心律失常的自动识别，可以为临床诊断提供辅助，提高诊断的效率和准确性。同时，探索十二导联 ECG 信号在深度学习过程中的冗余性，可以为便携式设备提供心律失常的自动识别创造条件，降低测量和计算的复杂性，增强识别的性能。本文的选题符合国家和社会的发展需求，具有一定的科学价值和应用前景。

**2. 论文所反映的作者对本学科领域前沿知识的了解程度以及对文献资料的掌握及综述能力。**

本文作者对本学科领域前沿知识有较为全面和深入的了解，对相关文献资料有较为广泛和系统的掌握，并在绪论部分进行了详尽和批判性的综述。作者在综述中介绍了心律失常、十二导联 ECG、常见心电图数据库、深度学习等相关理论知识，分析了国内外研究现状和存在的问题，明确了本文的研究目的和意义，为后续的研究工作奠定了理论基础。

**3. 作者已掌握的基础理论、专业知识、基本研究方法和技能，以及具有的独立进行科研工作的能力；论文的新见解、新观点、新方法。**

本文在第三章提出了一种二维化十二导联 ECG 的方法，并构建了一个通用的深度学习模型 DSE-ResNet，利用正交试验选择超参数，并使用集成模型提升分类性能。本文在第四章对深度学习过程中导联信息的冗余性问题进行了分析研究，探讨了不同导联组合方式对分类性能的影响，并提出了一种改进二维心电图的方法。本文在第五章基于 Flask 框架构建了一个线上心律失常自动分类平台，实现了用户自主上传 ECG 数据并得到识别结果的功能。本文所做的工作体现了作者已掌握的基础理论、专业知识、基本研究方法和技能，以及具有的独立进行科研工作的能力；同时也展示了论文的新见解、新观点、新方法。

**4. 论文的规范性及文字表达能力；材料的真实性和结论的合理性；概念清晰与分析严谨程度。**

本文遵循了硕士学位论文的格式要求，各章节结构清晰，层次分明，符合逻辑。本文的语言流畅，句式多样，表达清楚。本文引用了大量的权威文献和数据，注明了出处和引用方式。本文的结论合理性较高，基于充分的理论分析和实验验证，与研究目标和问题相一致，具有说服力。本文的概念清晰，定义明确，没有模糊或歧义的地方。本文的分析严谨，方法科学，过程详细，结果可靠。

**5. 论文存在其他的问题。**

本文仍然存在一些可以改进的地方。例如：

(1) 在绪论部分，可以增加一些国内外相关研究的比较和评价，突出本文的创新点和优势。

(2) 在第三章中，可以对 DSE-ResNet 模型的结构和参数进行更详细的说明和解释，以便读者更好地理解模型的原理和特点。



(3) 在第三章中使用了正交试验选择超参数，但没有给出具体的正交表和实验结果，也没有对正交试验的原理和优势进行说明，建议作者在论文中补充相关内容。

(4) 本文在第四章中对导联信息的冗余性进行了分析，但没有给出具体的冗余性度量方法或指标，也没有对不同导联之间的相关性进行定量或定性的分析，建议作者在论文中增加相关内容。

(5) 在第四章结果分析中，建议增加一段分析或讨论，说明本文的改进方法相比于其他方法的优势和局限性，以及可能的原因或机制。

(6) 在第五章中，可以对心律失常自动分类平台的功能和界面进行更具体和直观的展示和介绍，以便读者更好地了解平台的使用方法和效果。

(7) 全文需减少“我们”等口语化的表达。

6. 论文是否达到硕士学位论文水平要求，是否同意答辩。

本文达到了硕士学位论文水平要求，具有一定的创新性和应用价值。作者在选题、理论、方法、实验等方面都表现出了一定的水平和能力。因此，同意作者进行答辩，并建议答辩时重点介绍本文的创新点和优势，并针对上述提出的改进意见进行修改和完善。

<b>评阅结论</b> (请在相应档中划 ✓ )	同意参加答辩 (90—100 分)	修改后参加答辩 (75—89 分)	修改后再次送审 (60—74 分)	不同意参加答辩 (60 分以下)
		✓		

齐鲁工业大学学位评定委员会办公室制

## 硕士学位论文匿名评阅书

论文题目	基于二维化十二导联 ECG 信号分类与冗余性研究			
论文编号	20230525	学位级别	硕士	
评价指标	得分	评价指标	得分	
论文选题 (20 分)	16.0	文献综述 (15 分)	12.0	
基础理论与专业知识 (25 分)	20.0	论文成果与科研能力 (30 分)	21.0	
写作能力与学风 (10 分)	7.0			
总分	76.0			
对论文水平的总体评价 (请在相应档中划 √)	A 档 <input type="checkbox"/>	B 档 <input checked="" type="checkbox"/>	C 档 <input type="checkbox"/>	D 档 <input type="checkbox"/>
<p>评阅说明：</p> <p>评阅论文时，请参考以下几个方面提出意见：</p> <p>1、选题的理论意义或实用价值。</p> <p>2、论文所反映的作者对本学科领域前沿知识的了解程度以及对文献资料的掌握及综述能力。</p> <p>3、作者已掌握的基础理论、专业知识、基本研究方法和技能，以及具有的独立进行科研工作的能力；论文的新见解、新观点、新方法。</p> <p>4、论文的规范性及文字表达能力；材料的真实性和结论的合理性；概念清晰与分析严谨的程度。</p> <p>5、论文是否达到硕士学位论文水平要求，是否同意答辩。</p>				

**评阅意见：**

论文针对心律失常自动识别算法，进行了基于二维化十二导联 ECG 信号分类与冗余性研究，设计了线上心律失常自动分类平台，通过实验验证了研究方法的可行性。

论文选题符合电子信息的专业内涵，具有一定的理论与实际应用价值。作者查阅了国内外相关的文献，提出了自己的解决方法，研究难度与工作量基本满足硕士研究生学位论文要求。论文论点基本明确、论据基本充分、数据较为可靠、结论基本正确。同时取得了若干相关的在学成果，反映了作者具备了一定的科研能力。论文书写基本规范，整体来看基本达到硕士学位论文水平。

同意其在对论文进行修改完善后参加硕士学位论文的答辩。

**存在的问题与建议：**

1. 英文题名，实义词首字母需要大写；
2. 中文摘要写的太啰嗦，重点介绍研究工作与结果。研究背景以及意义不要太多；
3. 英文翻译还需要加强。同时学位论文不是小论文，不用 paper，模板的英文页明显的写的是 Thesis；
4. 中英文关键词要一致，深度学习的英文不是 DNN；DNN 是深度神经网络；
5. 全世界每年采集获得超过 3 亿次心电图[1]，文献引用的是 1999 年的，作者介绍的数据是哪年的？如果是 1999 年的有意义吗，如果是近年的，为何要引用 99 年的文献。
6. 研究现状引用的文献没有 22 年与 23 年的；
7. 学术论文避免使用‘我’，‘我们’第一人称；
8. 图 3.5 3.6 3.7 不清晰；
9. 类似图 3.8，不同曲线除了颜色外，线型也应该加以区分；全文图的横纵坐标应该中文标示，同时有单位的必须提供；
10. 第 3 章，第 4 章的相关结果缺少实时性的讨论与分析。作者利用深度学习，那么模型的复杂度不得不考虑，同时在什么平台进行的实验？硬件配置如何？模型的分类时间是多少？能否满足实际需要？
11. 全文写作不够简练，如第 4 章的引言与结论太过冗长，过程数据的讨论需要在仿真章节，结论中应该直接告诉读者本章取得的成果与主要的结论；
12. 第 5 章的内容不全，设计了心律分类平台，这个平台是否使用与验证了？使用了缺少必要的验证结果，如该平台的分类准确性，实时性，数据库的稳健性，系统的安全性等没有给出。如果仅仅设计了这个系统，那么和论文的关系不大；
13. 第 6 章，6.1 中只需要对全文总结，不要给出存在问题，否则 6.2 展望的意义在哪。同时，研究展望太过笼统，不够具体，不能仅仅罗列问题，可能存在的一些解决方案也要简单的给出。
14. 参考文献格式要检查，如[9][11][17][23]等的期刊名，[37][47]等的文献类似是什么？部分文献太过陈旧；
15. Scientific Reports, 21 年中科院预警期刊。

<b>评阅结论</b> (请在相应档中划 √ )	同意参加答辩 (90—100 分)	修改后参加答辩 (75—89 分)	修改后再次送审 (60—74 分)	不同意参加答辩 (60 分以下)
		√		

齐鲁工业大学学位评定委员会办公室制

### V. 硕士学位论文评阅人和答辩委员会成员名单及审批意见

	姓 名	职 称	工 作 单 位	评 阅 结 果		
论文评阅人	盲 审			B 良 (75-89 分): 修改后参加		
	盲 审			B 良 (75-89 分): 修改后参加		
答辩委员会	姓 名	职 称	工 作 单 位	备 注		
组长	陆宏谦	教授	齐鲁工业大学			
委员	李成栋	教授	山东建筑大学			
	王金涛	研究员	山东新松工业软件研究院股份有限公司			
	严志国	教授	齐鲁工业大学			
	朱礼管	副教授	齐鲁工业大学			
秘书	杜明骏	讲师(高校)	齐鲁工业大学			
答辩时间	2023.05.29		答辩地点	机电楼 B212		
<p>培养单位审查意见:</p> <div style="text-align: center; margin-top: 50px;">  <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; margin-left: 20px;">             分管领导(盖章):            电子电气与控制学部(盖章)            2023年5月21日         </div> </div>						
<p>校学位评定委员会办公室审批意见:</p> <div style="text-align: center; margin-top: 50px;">  <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; margin-left: 20px;">             经办人(盖章): 何福岩            2023年5月22日         </div> </div>						



## VI. 硕士学位论文答辩记录

1. 二维平面和二维化数据的区别是什么？我觉得二维平面是无界概念，文中使用二维平面来描述有界的数据是不是不太合适？

答：感谢老师的提问。我认同老师的观点。平面是无界的，二维化 ECG 数据是有界的，确实不应该混淆概念，乱用名词。接下来我会认真核对文中出现名词混用的地方并认真改正。

2. 摘要中，研究背景是不是太多了？应该简略带过引出文章研究的内容。

答：感谢老师的指正，我会改正这个问题，将中英文摘要中的背景意义段落进行简化修改。

3. 第二章中，出现逻辑顺序相反的问题，比如 2.4.3 节深度学习原理与 2.4.2 节常见神经网络的逻辑顺序应该反过来，这样读起来更舒畅。

答：好的老师。我会更新第二章的逻辑结构顺序，达到读起来有逻辑的目的。

4. 文章整体工作挺饱和的。其中在对比你的模型分类结果和其他论文的模型分类结果时，是引用他们论文的数据还是调试了他们的模型在本机测试得到的结果？

答：感谢老师的提问。我是引用他们论文中的结果，但是这些数据的测试结果是基于同一个数据集的。由于各个模型所需要的硬件条件差别过大，很难保证本机能够满足这些论文中模型运行所需要的全部条件。

5. 文章中介绍相关背景时，出现了许多过于口语化的问题，需要私下修改语句。

答：感谢老师的建议。在写作背景知识介绍中，为了语气更亲和，写的过于口语化。确实存在这方面的问题，接下来会认真修改。

记录人（签字）： 杜刚毅

2023 年 05 月 29 日

## VII. 硕士学位论文答辩委员会决议

该论文通过查阅相关文献，对国内外相关研究现状作了梳理与分析。论文研究了基于二维化十二导联 ECG 信号的心律失常自动识别问题，设计了线上心律失常自动分类平台。论文选题合理，具有一定的理论研究价值与应用前景。论文主要完成了以下工作：

(1) 提出了一种二维化十二导联 ECG 的方法，通过具体实验验证了所提方法的优势。

(2) 提出了能够处理二维化数据的深度学习模型 DSE-ResNet。该模型能够在训练初期同时捕获导联内部与导联之间的相关信息，实现了二维化十二导联 ECG 在时间维度以及空间维度的特征提取。

(3) 分析了深度学习过程中导联信号的冗余性问题。

论文内容充实、逻辑清晰，写作规范、语言流畅，反映该研究生已具备专业基础功底，掌握了科学研究的基本方法和技能，具有从事科学研究工作的潜力。

在答辩过程中，该研究生简明流畅地阐述了研究内容，较准确地回答了专家提出的问题。

经答辩委员会评议和无记名投票表决，一致同意通过硕士学位论文答辩，建议授予电子信息专业 2020 级研究生李家豪电子信息硕士专业学位。

答辩委员会主席（签字）：

2023 年 5 月 29 日

答辩委员会对是否同意	同意毕业	不同意毕业	同意重新答辩
毕业投票统计结果	5 票	0 票	0 票
答辩委员会建议授予硕	同意授予硕士学位	不同意授予硕士学位	同意重新答辩
士学位投票统计结果	5 票	0 票	0 票

## VIII. 硕士学位申请及推荐意见

本人已完成《齐鲁工业大学电子信息硕士专业学位研究生培养方案》规定的各项要求，满足《齐鲁工业大学硕士学位授予工作实施细则》规定的学位申请条件，且已完成硕士学位论文并通过答辩，现申请电子信息硕士专业学位，请予审查批准。

本人承诺：所提供的信息和证明材料真实准确，对因提供有关信息、证件不实或违反有关规定造成的后果，责任自负。

申请人（签字）：李家豪

2023年06月01日

导师推荐意见：同意推荐

该学生在攻读硕士学位期间，学习态度端正，学习成绩优良。基础理论与专业知识扎实，能够较好的把握相关研究领域的学科研究现状，具有一定的从事科学研究和独立开展技术工作的能力。该生在硕士期间曾多次获得研究生学业奖学金，发表 SCI 学术论文 2 篇，达到毕业要求。该生所完成的毕业论文，研究设计合理，数据准确，结论可靠，研究结果具有重要的理论意义。推荐李家豪同学申请电子信息硕士专业学位。

指导教师（签字）：龙少鹏

2023年6月2日

培养单位推荐意见：

同意



分管领导（盖章）：



电子电气与控制学部（盖章）

2023年6月3日





# IX. 硕士学位审定情况

学位评定分委员会审定情况	<b>学位评定分委员会决议：</b>  本分委员会审议了该硕士学位申请人的学位申请及其有关材料，经出席分委员会委员无记名投票表决，认为该申请人提交的申请学位论文已达到硕士学位论文水平，建议校学位评定委员会授予该生 <u>电子信息硕士专业学位</u> 。				
	主席（签章）：  电子电气与控制学部学位评定分委员会 2023 年 6 月 14 日				
	分委员会总人数	参加投票人数	表决结果		
			同意授学位	不同意授学位	
	9 人	9 人	9 票	0 票	37010557166 票
校学位评定委员会审批情况	<b>校学位评定委员会审批意见：</b>  本委员会于 <u>2023</u> 年 <u>6</u> 月 <u>14</u> 日复审了该生的硕士学位申请及其有关材料，进行了无记名投票。根据投票结果，同意授予该生 <u>电子信息硕士专业学位</u> 。				
	主席（签章）：  齐鲁工业大学学位评定委员会 2023 年 6 月 14 日				
	评委会总人数	实际出席人数	表决结果		
			同意授学位	不同意授学位	
	31 人	25 人	25 票	0 票	0 票

# 齐鲁工业大学授予硕士学位的决定

根据《中华人民共和国学位条例》、《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》及《齐鲁工业大学硕士学位授予工作实施细则》的规定，经校学位评定委员会审议通过，决定授予 0854【电子信息】2020 级研究生 李家豪 同学 电子信息硕士专业学位。

校长（签章）：

齐鲁工业大学

2023 年 6 月 14 日

学位证书编号：

1043132023000431

# 齐鲁工业大学

## 硕士学位论文答辩委员会

### 表 决 票

作者姓名 李家豪 专业（领域） 电子信息

#### 毕 业 与 否 的 评 定

同意毕业	不同意毕业	同意重新答辩
○		

#### 授 予 学 位 的 建 议

同意授予硕士学位	不同意授予硕士学位	同意重新答辩
○		

- 说明：1. 采用无记名投票方式；  
2. 请在认可的项下空格内划“○”；  
3. 表决票必须加盖主管部门公章，当日有效，涂改无效；  
4. 空白表示弃权。

齐鲁工业大学学位评定委员会办公室

2023年5月29日





# 齐鲁工业大学

## 硕士学位论文答辩委员会

### 表 决 票

作者姓名 李家豪 专业（领域） 电子信息

#### 毕 业 与 否 的 评 定

同意毕业	不同意毕业	同意重新答辩
<input checked="" type="radio"/>		

#### 授 予 学 位 的 建 议

同意授予硕士学位	不同意授予硕士学位	同意重新答辩
<input checked="" type="radio"/>		

- 说明：1. 采用无记名投票方式；  
2. 请在认可的项下空格内划“○”；  
3. 表决票必须加盖主管部门公章，当日有效，涂改无效；  
4. 空白表示弃权。



齐鲁工业大学学位评定委员会办公室

2023年5月29日

# 齐鲁工业大学

硕士学位论文答辩委员会

## 表 决 票

作者姓名 李象豪 专业(领域) 电子信息

### 毕 业 与 否 的 评 定

同意毕业	不同意毕业	同意重新答辩
0		

### 授 予 学 位 的 建 议

同意授予硕士学位	不同意授予硕士学位	同意重新答辩
0		

- 说明: 1. 采用无记名投票方式;  
2. 请在认可的项下空格内划“O”;  
3. 表决票必须加盖主管部门公章, 当日有效, 涂改无效;  
4. 空白表示弃权。



齐鲁工业大学学位评定委员会办公室

2023年5月29日

# 齐鲁工业大学

## 硕士学位论文答辩委员会

### 表 决 票

作者姓名 李家豪 专业(领域) 电子信息

#### 毕 业 与 否 的 评 定

同意毕业	不同意毕业	同意重新答辩
<input checked="" type="radio"/>		

#### 授 予 学 位 的 建 议

同意授予硕士学位	不同意授予硕士学位	同意重新答辩
<input checked="" type="radio"/>		

- 说明: 1. 采用无记名投票方式;  
2. 请在认可的项下空格内划“○”;  
3. 表决票必须加盖主管部门公章, 当日有效, 涂改无效;  
4. 空白表示弃权。

齐鲁工业大学学位评定委员会办公室

2023年5月29日



# 齐鲁工业大学

## 硕士学位论文答辩委员会

### 表 决 票

作者姓名 李家豪 专业（领域） 电子信息

#### 毕 业 与 否 的 评 定

同意毕业	不同意毕业	同意重新答辩
○		

#### 授 予 学 位 的 建 议

同意授予硕士学位	不同意授予硕士学位	同意重新答辩
○		

- 说明：1. 采用无记名投票方式；  
2. 请在认可的项下空格内划“○”；  
3. 表决票必须加盖主管部门公章，当日有效，涂改无效；  
4. 空白表示弃权。



齐鲁工业大学学位评定委员会办公室

2023年5月19日