

项目类型：重点项目

指南代码	A2
受理编号	

天津市自然科学基金

项目申请书

示范

项目名称：基于深度学习的眼底图像智能处理技术研究及其应用

项目负责人：李涛

实验室

申请单位（公章）：南开大学天津市网络与数据安全重点实

通讯地址：天津市津南区海河教育园区同砚路 38 号

邮政编码：300350

电 话：13920852867

主管部门（公章）：南开大学

帐户全称：南开大学

开户行行号：301110000166

开户行帐号：120066032010149600156

申请日期：2019-01-05

天津市科学技术委员会

二〇一八年印制

填写说明

1. 本申请书及其附件是项目评审、评估、论证的唯一依据。项目申请单位和申请人必须如实填报，确保项目信息表与资金预算、实施方案中的内容和数据完全一致，并按照市科委要求提供相应的证明材料。如发现申报材料中有弄虚作假或有失诚信的内容，市科委将取消其立项资格。
2. 项目立项后，应该按照任务合同书要求，按时报送年度执行报告、科技报告，按期完成结项验收。
3. 项目主承担单位必须是在天津市注册的独立法人机构。
4. 填写经费预算表前请认真阅读《天津市财政科研项目资金管理办法》(津财教〔2016〕71号)。
。
5. 经批准立项的项目，其申请书将成为项目任务合同书的重要组成部分。项目申请书与任务合同中不同的内容，以任务合同书为准。
6. 本申请书统一用 A4 纸打印或复印，左侧装订成册。在报送的纸质文件中，需要两份为加盖红色或蓝色印章的原件。申请书不需要另行制作封面，不推荐采用胶圈、文件夹等带有突出棱边的装订方式。

一、基本信息

研 究 项 目	项目名称	基于深度学习的眼底图像智能处理技术研究及其应用示范									
	英文名称	Deep Learning Based Intelligent Fundus Image Processing and Application Demonstration									
	项目类型	重点项目	项目性质	B.应用研究							
	起止年月	2019-04 至 2022-03				是否有回避的评审专家			否		
	技术来源	产学研合作				是否国际、港、澳、台合作项目			否		
	项目主要优势	社会效益显著				产品或技术是否出口			否		
	技术领域	电子、通信、信息									
	应用产业领域	电子与信息				项目现处阶段			应用基础研究		
	前期资助情况	天津市自然科学基金;国家自然科学基金;									
	指南代码	名称	基于移动互联网、机器学习、大数据、云计算及脑机接口等的人工智能技术及应用								
代码		A2									
所属学科	名称	人工智能应用				相关学科	名称	并行与分布式处理			
	代码	F020509					代码	F020304			
申 请 者	姓 名	李涛		性别	男	民族	汉族	证件号码	120104197706146811		
	学 位	博士学位		职 称	教授		出生 日期	1977-06-14		行政 职务	信息办 副主任
	最后学历	2017年毕业于南开大学									
	研究领域	异构计算, 机器学习, 物联网						其他人才情况			
	留学国别	美国		出国日期	2013-09-05			回国日期	2014-09-12		
	出国事由	访问学者									
	手机号码	13920852867				单位电话	022-23506776				
	电子邮箱	litao@nankai.edu.cn									
所 在 单 位	全 称	南开大学天津市网络与数据安全重点实验室									
	单位地址	天津市津南区海河教育园区同砚路 38 号				单位邮编	300350				
	法定代表人	曹雪涛	注册地点	南开区			所属系统	教育系统			
	单位联系人	陈贻斌	联系人 电话	022-85358853			联系人 电子邮箱	chenyb@nankai.edu.cn			
	单位性质	A.高校				主管部门名称	南开大学	代码	1404		
	开户行行号	301110000166				银行帐号	120066032010149600156				
	企业类型					企业规模					
	注册资金	总资产			资产负债率			上年营业收入		上年净利润	

	内设研发机构名称			研发支出占营业收入比重	%
	是否有独立研发机构	否		是否中央驻津单位	是
合 作 单 位	全 称			性 质	
	单位地址			邮 编	
	联系人		电话	电子邮箱	
	主管部门				
	主要承担任务				
合 作 单 位	全 称			性 质	
	单位地址			邮 编	
	联系人		电话	电子邮箱	
	主管部门				
	主要承担任务				
合 作 单 位	全 称			性 质	
	单位地址			邮 编	
	联系人		电话	电子邮箱	
	主管部门				
	主要承担任务				
关键字		深度学习 卷积神经网络 眼底图像 病变点分类 异构计算			
主要研究内容		<p>本项目拟采用基于卷积神经网络等深度学习方法对眼底图像进行智能处理和分析, 最终将研究成果投入实际临床应用。具体研究内容包括: 对眼底图像进行血管标注、动静脉标注、视杯视盘标注、黄斑标注, 形成一款用于训练深度学习模型的眼底图像数据集; 构建高效的深度神经网络模型和设计适用于眼底结构的损失函数, 实现对眼底图像生理以及病理结构的准确定位和分割; 实现对眼底图像中的视杯视盘分割、黄斑定位、血管分割、动静脉分类以及病变点分割, 为青光眼、黄斑变性、脑卒中和糖尿病等疾病诊断提供依据; 设计基于深度神经网络模型的智能眼底图像分析系统, 并投入临床实际应用形成人工智能医学示范。</p>			

预期成果及完成形式	<p>本项目预期利用深度学习方法实现对眼底图像的智能分析和处理, 包括: 构建高效的深度神经网络模型和设计适用于眼底结构的损失函数, 实现对眼底图像生理以及病理结构的准确定位和分割; 眼底图像中的视杯视盘分割为青光眼诊断提供辅助依据, 黄斑定位为年龄相关性黄斑变性提供辅助诊断依据, 血管分割及动静脉分类为脑卒中提供辅助诊断依据, 病变点分割为糖尿病视网膜病变筛查提供辅助诊断依据; 最后将深度神经网络模型融入临床实际应用并形成人工智能医学示范。研究成果主要以论文形式提供, 预计在国内外 SCI/EI 期刊和国际会议上发表论文 8 篇以上, 培养 6 名硕士和 1 名博士。拟申请专利 1 项, 获得软件著作权 2 项。</p>
立项目的和意义	<p>眼底图像分析可以间接反应脑血管系统变化, 对多种疾病具有辅助诊断作用。通过对患者眼底图像中小的病变组织(出血、渗出、黄斑变性)以及眼底组织(视杯、视盘、血管)进行定位和检测, 可及时评估患者的心血管状态并判断患者是否患有糖尿病性视网膜病变、青光眼和年龄相关性黄斑变性, 并对所患疾病的程度做出定量分析。本项目拟运用深度学习方法对眼底图像进行智能分析, 实现基于眼底图像的糖尿病性视网膜病变筛查、青光眼筛查、年龄相关性黄斑变性辅助诊断及脑卒中风险预测的医学示范应用。该项目研究属于人工智能和医学图像处理等交叉领域, 研究成果对提高我国眼底病变检测的智能化水平、降低致盲率以及预防脑卒中具有重要意义。</p>
工作基础及已具备条件	<p>项目组近年来一直在异构计算、机器学习和图像处理等方面开展研究和开发工作, 主持和参与多项国家/天津市/学校基金项目, 近五年录用及发表的 SCI\CCF-C 类以上论文超过 50 篇, 特别是在深度学习、CPU/GPU 异构计算和小物体检测等领域积累了较为扎实的基础理论和丰富的研发经验。前期与北京上工医信科技有限公司合作开展智能眼底图像分析方面的研发工作, 在眼底图像采集与标注、专家解读处理结论等方面具备了良好条件, 并形成了良好的交叉研究工作基础。项目组现有多台服务器和 workstation, 配置有多个 Tesla K40、Titan V、GTX 1080Ti 等高性能 GPU 模块, 并且基于 Infiniband 交换机构建了小型 GPU 集群系统, 为基于深度神经网络模型的眼底智能图像处理提供了良好的实验环境, 具备了在该领域做深入研究的条件。</p>
总体目标	<p>针对基于深度学习的眼底图像智能分析及医学应用示范问题, 首先, 根据前期与北京上工医信科技有限公司的合作基础整理眼底图像数据集, 并进行视杯视盘、黄斑、血管和病变点等标注。其次, 研究检测和分割眼底生理和病理结构的深度卷积神经网络模型, 并运用 CPU/GPU 异构计算技术进行高性能训练和推理。再次, 根据眼底图像病变点检测结果实现对糖尿病性视网膜病变的定性和定量分析, 根据黄斑检测结果评估年龄相关性黄斑变性等级, 根据血管分析结果评估脑卒中风险, 根据视杯视盘分割结果计算杯盘比, 并实现青光眼的定性和定量分析。最后, 在上述工作基础上, 构建一套完整的基于深度卷积神经网络模型的眼底图像智能分析系统, 争取在同仁医院等单位投入临床使用并形成人工智能医学应用示范。</p>

成果应用后可取得的成效展望	该项目将充分利用深度学习的特征学习能力, 实现对眼底图像中病变点、视杯视盘和动静脉血管的智能分析, 进而为青光眼、黄斑变性、脑卒中和糖尿病等疾病提供辅助诊断信息, 不但能够大大简化患者的就医流程、提高医生的诊断效率和水平, 而且在社区医院等医疗设备不足和医疗水平较低的机构, 可以充分发挥其智能化诊疗的优势。此研究成果所形成的人工智能医学眼底图像应用示范, 将对提高我国眼底病变检测的智能化水平、降低致盲率、预防脑卒中等方面具有直接作用, 能够有力推动眼底图像智能分析技术的发展和應用。
其它需要说明的情况	无

二、项目组主要成员（不包括项目负责人）

姓名	证件号码	性别	职称	学位	从事专业	工作单位	手机号码	电子邮箱	项目分工	每年工作时间 (月)
王恺	120107197902057831	男	副教授	博士学位	人工智能	南开大学	18002133689	wangk@nankai.edu.cn	神经网络模型设计	8
宫晓利	370786198307226919	男	副教授	博士学位	计算机应用技术	南开大学	18622183231	gongxl@nankai.edu.cn	异构计算加速设计	8
康宏	130703197302020010	男	讲师	博士学位	计算机应用技术	南开大学	15822083735	kanghong@nankai.edu.cn	数据处理	8
董前琨	61252419900312061X	男	助理实验师	硕士学位	计算机应用技术	南开大学	13820997941	qiankund@nankai.edu.cn	异构计算技术设计	8
郭松	130930199104183313	男	博士生	硕士学位	人工智能	南开大学	18623367435	guomugong@hotmail.com	深度网络模型优化	8
刘蒙蒙	411104199612100109	女	博士生	其它	人工智能	南开大学	18222408590	nkulmm@163.com	深度网络模型设计	10
高颖琪	622426199511170065	女	硕士生	学士	人工智能	南开大学	15620946933	gaoyingqi@mail.nankai.edu.cn	深度网络模型设计	10
李宁	130981199401026613	男	硕士生	学士	人工智能	南开大学	15222511437	lining1994@mail.nankai.edu.cn	深度网络模型验证	10
张潺	410621199402162582	女	硕士生	学士	人工智能	南开大学	18526443069	elezchan@hotmail.com	模型优化算法设计	10
董世超	370781199608010516	男	硕士生	学士	人工智能	南开大学	17627816278	904281665@qq.com	模型优化算法实现	10
宋秋迪	130224199512127649	女	硕士生	学士	计算机应用技术	南开大学	17610850071	15954253360@163.com	异构计算技术实现	10

刘术生	370786199502225115	男	硕士生	学士	计算机应用技术	南开大学	17694804365	liushusheng@mail.nankai.edu.cn	应用系统研发	10	
王大召	411381199112027113	男	硕士生	其它	物联网工程	南开大学	15981923001	690656247@qq.com	应用系统研发	6	
颜旭东	120104199102052530	男	硕士生	学士	人工智能	南开大学	17695627319	552468841@qq.com	模型与系统测试	6	
刘腾	13018119940420301X	男	硕士生	学士	人工智能	南开大学	17822013315	2120170522@mail.nankai.edu.cn	模型与系统测试	6	
总 人 数	留学回国 人数	其中按职称					其中按学位				
		正高级	副高级	中级	初级	其他	博士学位	硕士学位	博士生	硕士生	其他
15	2		2	1	1	11	3	2			10

三、项目预算表

经 费 预 算 (单位: 万元)						
资金来源预算		预算总额	其 中			
			2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
其中	市财政资金	20	16	0	4	0
	自筹资金					
来源合计		20	20			
资金支出预算		预算总额	市财政资金支出预算	自筹资金支出预算	备注	
支出合计		20	20			
直接费用支出预算	设备费	2	2	0	购买 GPU 等计算设备的部分费用	
	其中: 设备购置费	2	2	0		
	材料费	2	2	0	购买存储、打印等耗材等费用	
	测试化验加工费	3	3	0	用于在上工医信和同仁医院等测试分析费用	
	燃料动力费	0				
	差旅/会议/国际合作与交流费	2	2	0	参加会议和调研差旅的部分费用	
	档案/出版/文献/信息传播/知识产权事务费	2	2	0	专利、软件登记、论文等申请和发表费用	
	劳务费	5	5	0	用于直接参加项目的研究生的劳务费用	
	专家咨询费	1	1	0	用于参与咨询工作的校内外专家费用	
	其他费用	0				
间接费用预算支出		3	3	0	按规定计算间接费用	

购置仪器设备及其他资产明细表

单位:万元

序号	仪器设备及其他资产名称	单位	数量	单价	拨款资 助资金	备注
1	GPU	个	1	2	2	用于加速模型训练

四、立项依据

项目研究的必要性及应用前景（包括项目的研究意义，国内外研究概况、水平、存在问题和发展趋势，主要参考文献及出处）：

1、研究意义

世界卫生组织（WHO）将青光眼（Glaucoma）列为全球第二大致盲眼病，它是一种以视神经乳头结构改变为特征的进展性视神经病变。青光眼流行病学权威学者 Quigley 指出，到 2020 年全球青光眼患者将达到 7960 万，届时中国的青光眼患者将达到 2180 万^[1]。糖尿病视网膜病变（Diabetic Retinopathy, DR）是糖尿病常见致盲性眼部并发症。中国是全球 2 型糖尿病患者最多的国家，随着糖尿病患者急剧增多，DR 的患病率、致盲率也逐年升高，是目前工作年龄人群第一位的致盲性疾病。年龄相关性黄斑变性（Age-related Macular Degeneration, AMD）是一种发生在老年人黄斑区的较常见的退行性疾病，其特点是黄斑区出现玻璃膜疣、视网膜色素异常、地图样萎缩以及新生血管性黄斑病变等改变，严重者导致视力明显下降。目前我国 60 岁以上 AMD 患病率约 13%，其致盲率约 5%，致低视力率约 30%。在欧洲，AMD 是导致 65 岁以上人群失明的主要原因。据估计，美国有超过 175 万人受 AMD 影响，由于美国人口迅速老龄化，这个数字到 2020 年将增加到近 300 万^[2-4]。早期筛查发现、定期随诊、根据病情合理治疗是防止 AMD 致盲的关键。“脑卒中”（Stroke）又称“中风”、“脑血管意外”是一种急性脑血管疾病，是由于脑部血管突然破裂或因血管阻塞导致血液不能流入大脑而引起脑组织损伤的一组疾病。据 WHO 统计，脑卒中的死亡率仅次于缺血性心脏病，是全球第二大死亡原因，并且已成为我国第一位死亡原因，也是中国成年人残疾的首要原因^[5]。

研究表明，定期眼底筛查并在早期采取有效的干预措施，可显著降低 DR、AMD 和青光眼的致盲率。通过分析患者的眼底图像，对小的病变组织（出血、渗出、黄斑变性）以及眼底组织（视杯、视盘、血管、黄斑）进行定位和检测，可及时判断患者是否患有 DR、AMD 和青光眼，并对所患疾病的程度做出定量分析，从而有效降低大量青光眼和糖尿病患者由于得不到及时诊断而延误最佳治疗的情况发生^[6-8]。在一张眼底图像中，相对于眼底的正常组织（视盘、血管和黄斑），出血、渗出这些病变在面积上很小，而且往往会受到眼底豹纹或者拍摄时镜头污点等外界因素的干扰。因此，如何有效地识别出这些细小的病变组织，是医院临床进行眼底图像分析迫切需要解决的问题。

脑卒中具有发病率高、死亡率高和致残率高的特点，尽早进行脑卒中风险评估，可以有效预防脑卒中，降低脑卒中的发病率，对脑卒中预后有重要意义。目前的脑卒中风险评估存在以下几个缺点：第一，脑卒中的发生与诸多因素有关，如性别、年龄、高血压、糖尿病、冠心病、风湿性心脏病及高血脂等，病史采集是脑卒中的重要诊断证据之一，此外脑卒中风险评估还需要进行神经系统

检查和影像学检查，检查过程复杂、昂贵且具有一定的主观性。第二，脑血管系统的评估对于确定脑血管疾病的风险至关重要，尽管目前使用的影像学检查技术如磁共振成像（fMRI）等为进一步了解脑血管病理生理学提供了可靠的工具，但是这些技术通常十分昂贵且高度专业化，不适合用于广泛地脑血管疾病风险评估，急需一种更简单、易得的技术；第三，一些传统的危险因素对于脑卒中风险的影响难以量化，因此需要其他的脑卒中风险标志，这对于没有传统危险因素的人群具有更重要的意义^[9]。

视网膜眼底图像分析可以间接反应脑血管系统变化。视网膜血管是视网膜中央动脉和视网膜中央静脉的终末支，供应大脑前三分之二区域的大脑前、中动脉和视网膜动脉均起源于颈内动脉。视网膜血管具有与脑血管相似的解剖学、生理学和胚胎学特征，视网膜血管的变化反映了脑血管的类似变化^[10-11]。因此，研究视网膜血管变化可以了解脑卒中及相关脑血管疾病的病理生理学提供线索。利用视网膜血管系统作为脑血管系统状态的标志具有明显的优势，视网膜血管是唯一可使用视网膜成像技术（如眼底照相机）直接观察到身体里的血管，具有非侵入式的优点。近年来，视网膜眼底图像分析技术的应用已经越来越普遍，并且提供了越来越复杂的技术来分析视网膜血管形态学的不同方面，例如视网膜微血管的宽度、血管跟踪等。这些技术的自动化程度较低且客观，为研究视网膜微血管异常作为脑血管病理学标志的潜力提供了机会。

自从 Hinton 等人提出用于深度信任网络的无监督逐层贪心训练算法，进而解决了深度学习模型优化的困难之后，深度学习技术逐步得到广泛研究和应用^[12]。在图像分类、语义分割、目标检测、语音和文字识别等领域，提出了一系列基于深度神经网络的特征提取及分类方法，并且都不同程度地提升了在相应领域的识别率^[13-16]。准确的数据特征表达对分类等模式识别问题具有关键作用，深度神经网络作为一种非线性特征提取及分类的有效方法，将成为该领域的重要方法。深度学习技术已被广泛用于医学影像分析，并且在 DR 筛查等领域表现出了比传统机器学习算法更优的性能，甚至超过眼科医生。

针对上述问题，本项目拟运用深度学习技术对眼底图像进行智能分析，实现基于眼底图像的 DR 筛查、青光眼筛查、AMD 辅助诊断及脑卒中风险预测的医学示范应用。该项目的研究内容属于高性能计算、深度学习和医学图像处理等交叉领域，研究成果对提高我国眼底病变检测的智能化水平、降低致盲率、预防脑卒中具有重要作用。

2、国内外研究分析及发展趋势

2.1 国外研究现状

基于深度学习的眼底图像处理技术近来得到了迅猛发展。2016 年，曾经开发出 AlphaGo 的

DeepMind 公司与伦敦的墨菲眼科医院合作，对一百万份眼部图片进行扫描和分析，发现早期糖尿病在眼部影响会引起哪些异常，从而帮助医生判断相关的早期症状^[17]。同年，Google 提出了检测视网膜眼底照片中糖尿病性视网膜病变的深度学习算法，首先通过多位职业眼科医生对大量视网膜眼底图像进行病变等级标注，生成健康及不同病变等级的眼底图像将近 13 万张作为数据集；然后采用 inception-v3 网络进行训练和测试，在由 1 万多张图像组成的测试集上获得 90.3%的敏感性以及 98.1%的特异性^[18]。2017 年，Ting 等人在社区和临床的多种族糖尿病人群中评估了深度学习算法检测 DR、青光眼和 AMD 的性能，结果表明深度学习算法在这些疾病的检测中均表现出了较高的敏感性和特异性（>90%）^[19]。Gargeya 等人设计并评估了数据驱动的深度学习算法作为自动 DR 检测的诊断工具，该算法将彩色眼底图像分为健康（无 DR）和患有 DR 两类，采用五折交叉验证，平均 AUC 达到 0.97^[20]。Abrmoff 等人提出了一种基于深度学习的自动 DR 筛查算法，该算法性能明显优于之前没有使用深度学习的算法^[21]。

在眼底图像病变点分析方面，Feng 等人提出一种可检测眼底图像中视盘和渗出点的网络结构，获得了比较准确的分割结果^[22]。Varadarajan 等人训练 DNN 模型，根据眼底图像预测病人的心血管疾病风险^[23]。Tan 等人提出了一种分类网络，实现了对微动脉瘤、出血和硬渗三种病变点的自动化检测，其方法运行效率低，检测时间长，检测出的病变点区域明显偏大^[24]。Chudzik 等人使用全卷积神经网络对微动脉瘤进行检测，其在三个公开数据集上实验，结果表明其方法比传统方法获得了更高的敏感性^[25]。

在视杯视盘分析方面，Jonas 等人通过研究 500 名正常人、132 名患有高血压视网膜神经纤维层缺损和正常视野（前期青光眼）的患者以及 840 名患有青光眼视野缺损的患者为研究对象，利用杯盘形态来分析患者的彩色立体视盘照片，得出来自于视盘的直接变量与来自于视杯的间接变量对于早期的青光眼视神经损伤检测具有价值^[26]。K. Lee 等人使用一种快速的多尺度三维图搜索算法来对四个视网膜表面进行分割，比通过不同的分类器来分类视杯、视盘以及背景，最后通过计算相关指标以及两位医学专家的标注对分割结果进行评估^[27]。Ronneberger 等人则提出了一种用于生物图像分割的卷积神经网络 U-Net，该网络可以利用非常少的图像，通过数据扩充来对图像进行端到端的训练，实践证明它优于传统的滑动窗口卷积网络，并最终赢得了 2015 年 ISBI 细胞追踪挑战赛^[28]。

A. Sevastopolsky 等人对 U-Net 进行了改进，通过在公开数据集 DRIONS-DB、RIM-ONEv3 和 DRISHTI-GS 上进行眼底视杯视盘的分割，证明了该网络优于所有在这些数据集使用过的最著名的分割网络，而且在预测时间方面具有很大优势^[29]。此外，J. Cheng 等人提出了一种新的二次方差正则化支持向量机（QDSVM）用于具有不同特征分布的数据集中的视杯视盘分割，在大多数机器学习

习算法中,认为训练和测试数据集具有相同的特征分布,但眼底图像通常是在不同条件下手机并且可能存在不同的特征分布,利用 QDSVM 方法可以很好地讲具有足够训练数据的模型知识传递到具有有限甚至没有训练数据的模型训练中,该方法将超像素级别的分类误差从无转移学习的 14.2%降低到了转移学习的 2.4%^[30]。

在眼底血管分析方面,视网膜微血管异常,如全身性和局部性小动脉狭窄、动静脉切迹和视网膜病变等,反映了高血压、衰老和其他病变造成的累积性血管损伤。大量研究表明,视网膜微血管异常可以作为脑血管疾病的标志,因为视网膜血管和脑血管具有相似的解剖学和生理学结构^[31]。Wong 等人调研了生活在美国社区的 10358 人(51~72 岁),采集了所有人的眼底图像并进行了视网膜微血管的标准分级。在平均 3-5 年的时间里,有 110 人发生了突发性脑卒中。调整年龄、性别、种族、6 年平均动脉血压、糖尿病和其他卒中危险因素后,大多数视网膜微血管特征可预测脑卒中事件,在置信水平为 0.95(95% CI)时,任何视网膜病变与脑卒中发生的相对风险(Relative Risks, RR)为 2.58,微动脉瘤为 3.11,软渗为 3.08,印迹出血为 2.55,火焰状出血为 2.26,动静脉切迹为 1.60。脑卒中的相对风险随动静脉比值(arteriole-to-venule ratio, AVR)的增大而减小(p 为 0.03)。对于缺血性脑卒中和高血压患者(无论是否患有糖尿病)的脑卒中,这种关系是相似的^[32]。Wong 等人通过心血管健康研究同样发现,在控制血压和其他危险因素后,视网膜微血管变化与中风之间存在联系,有视网膜病变的参与者中风的可能性是没有视网膜病变的两倍^[33]。Wong 等人研究发现,视网膜微动脉瘤、出血和视网膜小动脉窄缩与 10 年脑卒中风险和冠心病死亡率有关^[34]。张莉等人的研究结果证实了视网膜神经纤维层缺损、眼底微血管改变、黄斑病变与脑卒中患病风险密切相关^[35]。以上研究均表明视网膜微血管变化的确与脑卒中有关,为通过视网膜眼底图像分析来评估脑卒中风险提供了证据^[36-40]。Maninis 等人设计了一种多任务的血管分割网络,三个数据集上的实验结果表明该方法获得了与其他方法相比最优的性能^[41]。Li 等人提出了一种运行速度快,端到端的网络实现了对动静脉的分类,其利用共享卷积层,同时优化动脉和静脉两个检测分支,在 DRIVE 数据集上准确率达到了 0.9394^[42]。

2.2 国内研究现状

在国内,深度学习也已成为眼底图像分析的主流技术。中国科学院宁波材料技术与工程研究所将基于多尺度 U 形卷积网络的新型端到端深度神经网络 M-Net 应用于眼底图片视杯和视盘的协同分割,通过多尺度输入构造图像金字塔来实现多级感受野,U 形卷积网络用于学习丰富的图像特征,同时使用一些侧输出层充当早期的分类器,用来产生用于不同尺度层的伴随局部预测图像,在公开数据集 ORIGA 上达到了 92.9%的视盘分割重叠率和 77%的视杯分割重叠率,并在倾国眼的自动分类

中获得了较好的结果^[43]。Sun 等人将视盘分割视为目标检测任务，使用 Faster RCNN 作为检测器，然后简单地将检测框变换成椭圆来确定视盘边界，在 ORIGA 数据集上视盘分割的平均重叠率达 93.1%^[44]。

香港中文大学提出一种采用 attention 机制的神经网络 Zoom-in-Net，可以在诊断 DR 的同时高亮可疑的病变区域，在 EyePACS 的验证集和测试集上的 kappa 评分分别达到了 0.857 和 0.849，在 Messidor 数据上判断是否患有 DR 的准确率达到 0.905^[45]。上海交通大学提出了一种临床报告指导的多筛分卷积神经网络 MS-CNN，利用临床报告中的少量监督信息，通过特征空间中的文本到图像映射来识别眼底图像中潜在的微动脉瘤区域，达到了 99.7%的精度和 87.8%的召回率^[46]。百度大数据研究室提出了一种两阶段 DCNN 模型分析眼底图像，可检测出血点、渗出点等眼底病变，并可对图像进行 DR 分级^[47]。

在血管分割和动静脉分类方面，西安交通大学采用全卷积神经网络直接从眼底图像中同时分割动脉和静脉，而不是采用先进行血管分割然后进行动静脉分类的方式，在 DRIVE 数据集上，血管分割的敏感性和特异性分别为 0.944 和 0.955，动脉和静脉分割的错误率分别为 10.3%和 9.6%^[48]。湘潭大学提出了一种基于卷积神经网络和条件随机场（CRF）的血管分割方法，首先使用神经网络产生血管分割概率图，然后由 CRF 充分利用空间上下文信息来获得最终的二值分割结果^[49]。厦门大学的研究人员提出了一个具有加权的 attention 机制和短连接的 U 形网络 Weighted Res-UNet，在 DRIVE 和 STARE 数据集上分别达到了 0.9655 和 0.9693 的准确率^[50]。浙江大学设计了一种基于 U-Net 的血管分割网络，在 DRIVE 数据集上取得了新的突破，但是临床应用不如 DRIVE 上的效果好^[51]。同济大学提出的 CF-FCN 网络充分利用原始数据信息，并通过像素之间的空间关系来弥补神经网络的粗粒度输出，经过必要的预处理和后处理操作，在 DRIVE 数据上达到了 0.9634 的准确率^[52]。

3、小结

综上所述，深度学习技术借助其强大的特征学习能力，在眼底图像分析领域获得了比传统方法更优的性能，正成为分析眼底图像的主流技术。目前深度神经网络在眼底病变点检测、动静脉分类等方面仍存在很多挑战，距离临床应用还有很大的提升空间。比如，在病变点分割方面，存在病变点尺寸小、特征不明显、易受噪音干扰等问题；在动静脉分类方面，存在动脉和静脉血管特征相似度高，分割结果中动静脉血管不连续等问题。而基于深度学习和眼底图像对脑卒中进行诊断的研究较少，还处于探索阶段，且如何根据眼底病变和动静脉信息得到脑卒中的风险指数也是一个关键问题。因此，该项目拟通过运用深度学习技术对眼底图像进行深度智能分析，为 DR、青光眼、AMD 筛查以及脑卒中的风险预测提供辅助诊断依据，形成人工智能+医疗的应用示范。

特征融合、代价敏感学习和难分样本挖掘对眼底病变点检测、血管分割等至关重要，本项目针对眼底图像的智能分析问题，通过多尺度特征融合，结合网络高层和低层的特征，提高分割的准确率；通过代价敏感学习，解决病变点与背景点个数差距大的问题；通过难分样本挖掘来提高网络的判别能力，提高分类准确率。该项目研究对于推动人工智能算法的高性能计算及其在医学领域的开展与应用具有重要作用，应用前景广阔。

参考文献：

- [1] Quigley H A, Broman A T. The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020[J]. British journal of ophthalmology, 2006, 90(3): 262-267.
- [2] Luu J, Palczewski K. Human aging and disease: Lessons from age-related macular degeneration[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2018, 115(12): 2866-2872.
- [3] Weih L A M, VanNewkirk M R, McCarty C A, et al. Age-specific causes of bilateral visual impairment[J]. Archives of ophthalmology, 2000, 118(2): 264-269.
- [4] Friedman D S, O'Colmain B J, Munoz B, et al. Prevalence of age-related macular degeneration in the United States[J]. Arch ophthalmol, 2004, 122(4): 564-572.
- [5] Joshi G D, Sivaswamy J, Krishnadas S R. Optic disk and cup segmentation from monocular color retinal images for glaucoma assessment[J]. IEEE transactions on medical imaging, 2011, 30(6): 1192-1205.
- [6] Haleem M S, Han L, Van Hemert J, et al. Automatic extraction of retinal features from colour retinal images for glaucoma diagnosis: a review[J]. Computerized medical imaging and graphics, 2013, 37(7-8): 581-596.
- [7] Bai J, Miri M S, Liu Y, et al. Graph-based optimal multi-surface segmentation with a star-shaped prior: Application to the segmentation of the optic disc and cup[C]//Biomedical Imaging (ISBI), 2014 IEEE 11th International Symposium on. IEEE, 2014: 525-528.
- [8] Baker M L, Hand P J, Wang J J, et al. Retinal signs and stroke: revisiting the link between the eye and brain[J]. Stroke, 2008, 39(4): 1371-1379.
- [9] Cheung N, Islam F M A, Jacobs Jr D R, et al. Arterial compliance and retinal vascular caliber in cerebrovascular disease[J]. Annals of Neurology: Official Journal of the American Neurological Association and the Child Neurology Society, 2007, 62(6): 618-624.
- [10] Wong T Y, Klein R, Couper D J, et al. Retinal microvascular abnormalities and incident stroke: the Atherosclerosis Risk in Communities Study[J]. The Lancet, 2001, 358(9288): 1134-1140.
- [11] LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning[J]. nature, 2015, 521(7553): 436.
- [12] Hu J, Shen L, Sun G. Squeeze-and-excitation networks[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2018: 7132-7141.
- [13] Ren S, He K, Girshick R, et al. Faster R-CNN: towards real-time object detection with region

- proposal networks[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2017 (6): 1137-1149.
- [14] He K, Zhang X, Ren S, et al. Deep residual learning for image recognition[C]//Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2016: 770-778.
- [15] Szegedy C, Liu W, Jia Y, et al. Going deeper with convolutions[C]//Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2015: 1-9.
- [16] <http://www.datayuan.cn/article/6781.htm>
- [17] Gulshan V, Peng L, Coram M, et al. Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs[J]. Jama, 2016, 316(22): 2402-2410.
- [18] Ting D S W, Cheung C Y L, Lim G, et al. Development and validation of a deep learning system for diabetic retinopathy and related eye diseases using retinal images from multiethnic populations with diabetes[J]. Jama, 2017, 318(22): 2211-2223.
- [19] Gargeya R, Leng T. Automated identification of diabetic retinopathy using deep learning[J]. Ophthalmology, 2017, 124(7): 962-969.
- [20] Abramoff M D, Lou Y, Erginay A, et al. Improved automated detection of diabetic retinopathy on a publicly available dataset through integration of deep learning[J]. Investigative ophthalmology & visual science, 2016, 57(13): 5200-5206.
- [21] Feng Z, Yang J, Yao L, et al. Deep Retinal Image Segmentation: A FCN-Based Architecture with Short and Long Skip Connections for Retinal Image Segmentation[C]//International Conference on Neural Information Processing. Springer, Cham, 2017: 713-722.
- [22] Poplin R, Varadarajan A V, Blumer K, et al. Prediction of cardiovascular risk factors from retinal fundus photographs via deep learning[J]. Nature Biomedical Engineering, 2018, 2(3): 158.
- [23] Tan J H, Fujita H, Sivaprasad S, et al. Automated segmentation of exudates, haemorrhages, microaneurysms using single convolutional neural network[J]. Information sciences, 2017, 420: 66-76.
- [24] Chudzik P, Majumdar S, Calivá F, et al. Microaneurysm detection using fully convolutional neural networks[J]. Computer methods and programs in biomedicine, 2018, 158: 185-192.
- [25] Jonas J B, Bergua A, Schmitz-Valckenberg P, et al. Ranking of optic disc variables for detection of glaucomatous optic nerve damage[J]. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 2000, 41(7): 1764-1773.
- [26] Lee K, Niemeijer M, Garvin M K, et al. Segmentation of the optic disc in 3-D OCT scans of the optic nerve head[J]. IEEE transactions on medical imaging, 2010, 29(1): 159-168.
- [27] Ronneberger O, Fischer P, Brox T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation[C]//International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention. Springer, Cham, 2015: 234-241.

- [28] Sevastopolsky A. Optic disc and cup segmentation methods for glaucoma detection with modification of U-Net convolutional neural network[J]. Pattern Recognition and Image Analysis, 2017, 27(3): 618-624.
- [29] Cheng J, Tao D, Wong D W K, et al. Quadratic divergence regularized SVM for optic disc segmentation[J]. Biomedical optics express, 2017, 8(5): 2687-2696.
- [30] Wong T Y, Klein R, Klein B E K, et al. Retinal microvascular abnormalities and their relationship with hypertension, cardiovascular disease, and mortality[J]. Survey of ophthalmology, 2001, 46(1): 59-80.
- [31] Wong T Y, Coresh J, Klein R, et al. Retinal microvascular abnormalities and renal dysfunction: the atherosclerosis risk in communities study[J]. Journal of the American Society of Nephrology, 2004, 15(9): 2469-2476.
- [32] Wong T Y, Klein R, Sharrett A R, et al. The prevalence and risk factors of retinal microvascular abnormalities in older persons: The Cardiovascular Health Study[J]. Ophthalmology, 2003, 110(4): 658-666.
- [33] Wong T Y, Klein R, Nieto F J, et al. Retinal microvascular abnormalities and 10-year cardiovascular mortality: a population-based case-control study[J]. Ophthalmology, 2003, 110(5): 933-940.
- [34] 张莉, 徐亮, 杨桦, 燕飞, 王宇恒, 罗琳娜, 李建军. 眼底指标改变与脑卒中患病的相关性[J]. 眼科, 2015, 24(01): 13-18.
- [35] London A, Benhar I, Schwartz M. The retina as a window to the brain—from eye research to CNS disorders[J]. Nature Reviews Neurology, 2013, 9(1): 44.
- [36] Wong T Y, Klein R, Sharrett A R, et al. Cerebral white matter lesions, retinopathy, and incident clinical stroke[J]. Jama, 2002, 288(1): 67-74.
- [37] Doubal F N, Hokke P E, Wardlaw J M. Retinal microvascular abnormalities and stroke: a systematic review[J]. Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry, 2009, 80(2): 158-165.
- [38] Cheung N, Rogers S, Couper D J, et al. Is diabetic retinopathy an independent risk factor for ischemic stroke? [J]. Stroke, 2007, 38(2): 398-401.
- [39] Hirai F E, Moss S E, Knudtson M D, et al. Retinopathy and survival in a population without diabetes: The Beaver Dam Eye Study[J]. American journal of epidemiology, 2007, 166(6): 724-730.
- [40] Maninis K K, Pont-Tuset J, Arbeláez P, et al. Deep retinal image understanding[C]//International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. Springer, Cham, 2016: 140-148.
- [41] Li Q, Zhong S, Chen Z, et al. A high-speed end-to-end approach for retinal arteriovenous segmentation[C]//Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI), 2017 10th International Congress on. IEEE, 2017: 1-5.
- [42] Fu H, Cheng J, Xu Y, et al. Joint optic disc and cup segmentation based on multi-label deep network

- and polar transformation[J]. arXiv preprint arXiv:1801.00926, 2018.
- [43] Sun X, Xu Y, Zhao W, et al. Optic Disc Segmentation from Retinal Fundus Images via Deep Object Detection Networks[C]//2018 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). IEEE, 2018: 5954-5957.
- [44] Wang Z, Yin Y, Shi J, et al. Zoom-in-Net: Deep Mining Lesions for Diabetic Retinopathy Detection[C]//International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. Springer, Cham, 2017: 267-275.
- [45] Dai L, Sheng B, Wu Q, et al. Retinal Microaneurysm Detection Using Clinical Report Guided Multi-sieving CNN[C]//International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. Springer, Cham, 2017: 525-532.
- [46] Yang Y, Li T, Li W, et al. Lesion detection and grading of diabetic retinopathy via two-stages deep convolutional neural networks[C]//International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. Springer, Cham, 2017: 533-540.
- [47] Xu X, Wang R, Lv P, et al. Simultaneous arteriole and venule segmentation with domain-specific loss function on a new public database[J]. Biomedical Optics Express, 2018, 9(7): 3153-3166.
- [48] Hu K, Zhang Z, Niu X, et al. Retinal vessel segmentation of color fundus images using multiscale convolutional neural network with an improved cross-entropy loss function[J]. Neurocomputing, 2018.
- [49] Xiao X, Lian S, Luo Z, et al. Weighted Res-UNet for High-Quality Retina Vessel Segmentation[C]//2018 9th International Conference on Information Technology in Medicine and Education (ITME). IEEE, 2018: 327-331.
- [50] Xiancheng W, Wei L, Bingyi M, et al. Retina blood vessel segmentation using a U-net based Convolutional neural network[C]//Procedia Computer Science: International Conference on Data Science (ICDS 2018), Beijing, China, 8-9 June 2018. 2018.
- [51] Lu J, Xu Y, Chen M, et al. A Coarse-to-Fine Fully Convolutional Neural Network for Fundus Vessel Segmentation[J]. Symmetry, 2018, 10(11): 607.

五、研究内容

研究内容（说明研究工作的具体内容，指出重点应解决的科学和技术应用问题及要达到的技术指标，阐述预期成果应用的可能性和效益，或在学术、社会等方向的价值）：

1、主要研究内容

DR 是糖尿病常见致盲性眼部并发症，我国是全球 II 型糖尿病患者最多的国家，是目前工作年龄人群第一位的致盲性疾病。青光眼是一种以视神经乳头结构改变为特征的进展性视神经病变，世界卫生组织将其列为全球第二大致盲眼病。通过眼底图像进行病变点检测对 DR、青光眼和 AMD 的诊断具有重要作用。“脑卒中”是一种急性脑血管疾病，是由于脑部血管突然破裂或因血管阻塞导致血液不能流入大脑而引起脑组织损伤的一组疾病。据 WHO 统计，脑卒中的死亡率仅次于缺血性心脏病，是全球第二大死亡原因。通过视网膜眼底图像分析来评估脑卒中风险指数具有重要的意义。

根据项目背景中的描述，本项目的研究思路如图 1 所示，主要研究内容包括：① 眼底图像数据集整理，包括对视杯视盘、黄斑、血管和各种类型的病变点进行标注等；② 针对眼底图像的视杯视盘分割、黄斑检测、血管分割、动静脉分类以及病变点检测等设计有效的深度神经网络模型，这是整个项目的研究重点；③ 利用 CPU/GPU 异构计算进行深度神经网络模型训练的优化与加速；④ 研发一款眼底图像智能分析系统，并争取在同仁医院等投入临床应用。

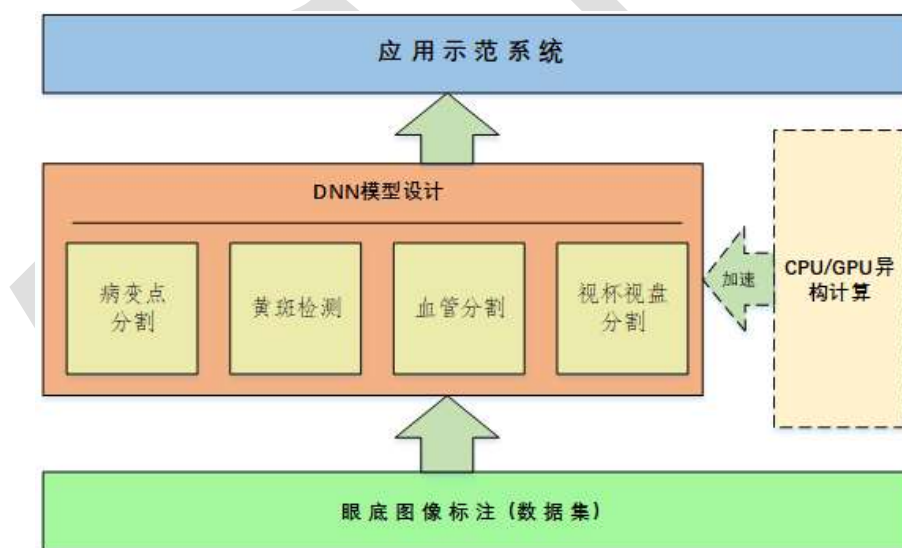


图 1 研究思路图

在已有公开眼底数据集 Kaggle DR、DRIVE、IDRiD、IOSTAR 和 Messidor 等分析的基础上，在同仁医院收集和标注眼底图像形成自己的一款数据集，进行血管和视杯视盘分割、病变点和黄斑检测等方面的深度神经网络模型设计，并运用 CPU/GPU 异构计算技术开展模型训练加速优化，最后形成一套人工智能眼底图像处理应用示范系统。重点开展的具体研究包括：

（1）眼底图像视杯视盘分割模型设计

设计一个可以同时分割视杯和视盘的深度神经网络。视杯视盘分割中主要存在的问题是边界定

位不准确，模型泛化能力差的问题，在一个数据集上表现好的模型在另一个数据集上的效果可能就会有所降低。因此，本研究拟对这些问题进行研究，从而设计一个鲁棒性强、分割边界清楚的视杯视盘分割模型。

（2）眼底图像黄斑检测模型设计

对于一张眼底图像，基于 SSD 设计黄斑检测模型，模型输出黄斑中心点坐标及长宽，进而为年龄相关性黄斑变性提供辅助诊断依据。

（3）眼底图像血管分割以及动静脉分类模型设计

设计血管分割和动静脉分类模型，为动静脉比值的计算和寻找动静脉切迹提供基础。首先，基于全卷积分割网络进行改进提出血管分割模型，实现对动静脉血管的精准分割。其次，在血管分割网络中加入动静脉分支等，得到动静脉分类模型。

（4）眼底图像病变点分割模型设计

眼底图像中与糖尿病和脑卒中风险相关的病变点主要包括：微动脉瘤、出血、硬渗、软渗，它们尺寸较小、形状不规则，细小的出血点和微动脉瘤只有几个像素大小，再加上眼底图像结构复杂、干扰因素多，使得精准检测病变点非常困难。一方面，设计基于深度学习的眼底图像病变点检测模型，从单病变点模型的设计过渡到多病变点模型设计，解决病变点分割上的类别不均衡和误识别问题，为诊断 DR 和青光眼提供依据。

（5）模型训练异构计算及眼底图像智能分析系统研发

在对学习率、动量值等超参数优化的基础上，利用 CPU/GPU 异构计算能够更好地对神经网络训练进行加速，有利于求得更好的网络模型。另外，根据同仁医院等实际诊疗需求，将不同的模型集成到一个系统中，研发一套完整的应用系统实现眼底图像的智能分析，并加以示范推广。

2、拟解决的关键问题及技术指标

拟解决宏观意义的科技问题是：“如何在对眼底生理和病理结构理解的基础上设计相应的分割和检测深度网络模型，实现基于深度学习的眼底图像智能分析系统”。

拟解决的具体关键技术问题包括：

- 如何设计可以准确地同时分割视杯和视盘的神经网络模型，解决视杯视盘差异性小、分割边界模糊等问题。
- 如何利用血管的连续性特性设计血管分割和动静脉分类模型。解决逐像素语义分割模型的血管分割结果不连续等问题。
- 如何减少病变点的误识别等问题，并根据病变点和动静脉信息等建立有效的脑卒中风险评估模型。
- 如何充分挖掘 GPU 新特性，利用 CPU/GPU 异构计算技术实现对深度网络模型的高效能训练。

3、预期成果及应用前景

该项目预计在国内外高水平SCI/EI期刊和国际会议上发表论文8篇以上，培养6名硕士和1名博士，培养1名青年教师晋升职称。拟申请专利1项，获得软件著作权2项，争取在同仁医院等单位开展实际临床应用并形成人工智能医学示范，对于促进人工智能+医疗的跨学科融合提供支持。具体包括：

（1）眼底图像视杯视盘分割模型

提出一种面向眼底图像视杯视盘分割的深度卷积神经网络模型，通过对训练数据进行量化，降低模型对颜色的敏感程度，提高模型的泛化能力，使之在不同眼底相机拍摄的眼底图像上准确地分割视杯视盘，并将其应用于临床为青光眼诊断提供支持。

（2）眼底图像多病变点分割模型

提出一种用于图片级的多病变点分割模型，拟使用VGGNet进行特征提取，设计一种考虑多类别平衡的损失函数，通过特征融合对不同尺度下的分割结果进行融合，进而得到更为精细的分割结果，并将其应用于临床为糖尿病定量分析和脑卒中诊断提供支持。

（3）基于眼底图像的脑卒中风险预测模型

提出一种综合血管分割和动静脉分类的深度网络模型，通过对眼底图像进行分析得到动静脉分类结果，进而得到动静脉比值和动静脉切记，然后综合病变点信息建立脑卒中风险预测模型，计算得到患脑卒中的风险指数。

（4）基于深度学习的眼底图像智能分析系统

研发一套眼底图像智能分析系统，根据眼底图像特征的分析获得糖尿病、青光眼、年龄相关性黄斑变性和脑卒中等病症的辅助诊断，为提高我市和国家的人工智能医学示范应用及普及提供支持。

六、拟采取的研究方法和技术路线

拟采取的研究方法和技术路线（包括拟采用的研究方法、技术路线、实验方法和步骤，及其可行性分析与比较，可能遇到的问题和解决办法）：

1、研究方法

该项目将采用以应用基础研究为主，将应用理论研究与实践相结合的研究方法，实时跟踪国内外最新的研究成果，结合已有的研究基础开展创新性研究。在参考国内外类似研究成果的基础上，利用深度卷积神经网络对眼底图像进行智能分析，对所提出的模型和方法都将以实验的形式进行验证，并争取在医院进行应用示范，从实用性角度探索利用深度学习对眼底图像进行分析的推动作用。

2、技术路线和研究方案

2.1 技术路线

该项目将在广泛调研眼底图像处理方法和深度学习技术的基础上，跟踪和发展现有的相关成果，采用理论与实验验证相结合的递进方法，争取在多方面取得原创成果。

总体技术路线如图 2 所示，首先需要收集公开的眼底图像数据集以及整理医院脱密后的眼底图像用于模型的训练；然后分别设计用于眼底视杯视盘分割、黄斑定位、病变点检测和血管分割的模型；接着利用训练好的模型对眼底图像进行分析，在检测结果之上实现对糖尿病、青光眼、脑卒中和年龄相关性黄斑变性的诊断；最后，研发一套眼底图像智能分析系统，争取在医院投入临床应用示范，并根据应用反馈进一步优化模型。

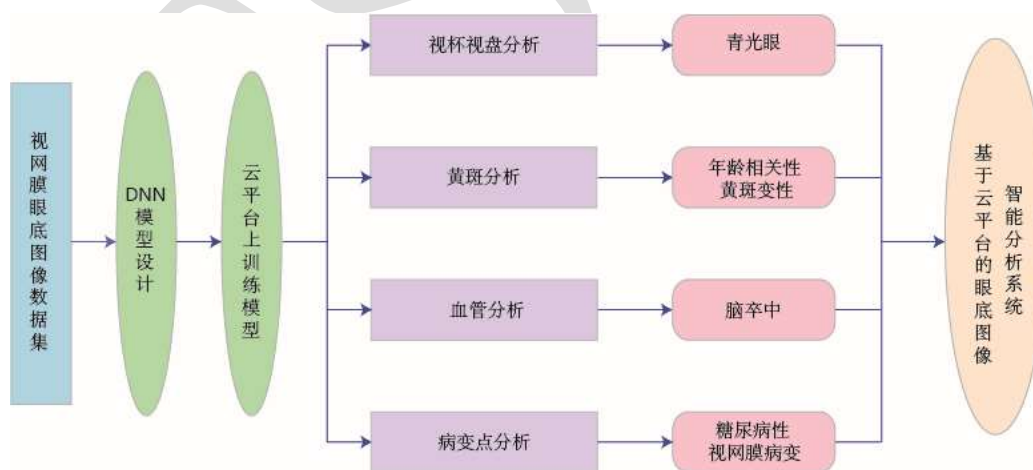


图 2 技术路线图

2.2 研究与实验方案

下面具体阐述该项目的研究与实验方案：

(1) 眼底图像数据整理与标注

除了一些公开的眼底图像数据集如Kaggle DR、DRIVE、IDRiD、IOSTAR和Messidor以外，项

目组已收集来自147家医院的13673张眼底图像，其中有84家三级甲等医院，覆盖中国27个省份。这些图片来自9598个病人，平均年龄54.13，其中48.23%的图片来自男性，其余51.77%来自女性，所有图片都经过脱敏处理可以公开使用。该数据集主要对DR严重程度和DR相关病变点进行标注，包括三种标注方式：a) 图像级标注：组织7名专家，首先根据图片质量将这些图片分为可分级和不可分级两类，然后根据国际眼科中（ICO）的糖网病分期标准，将可分级的图片按照糖网病的严重程度分为5期；b) 像素级标注：从确诊为患有糖网病的图片中挑选757张图片，组织6名专家对糖网病相关的四种病变点（硬渗、软渗、出血和微动脉瘤）进行像素级标注，用于病变点分割；c) bounding-box标注：对于所有标注了病变点的图片，自动生成病变点的bounding-box用于病变点检测。拟进一步扩充现有数据集，并对已有数据进行血管标注、动静脉标注、视杯视盘标注、黄斑标注，形成一款用于训练深度学习模型的眼底图像数据集。

（2）眼底图像视杯视盘分割模型设计

虽然视杯视盘的尺寸相对较大、特征明显，但是仍存在视杯和视盘相似度高、不易区分等问题，而且不同眼底相机拍摄的眼底图像中视杯视盘的颜色特征差异性大，使得在单一训练集上训练的模型难以泛化到其他数据集。该项目拟通过以下几方面解决这些问题：① 基于公开的语义分割模型设计视杯视盘分割模型；② 通过加入空洞卷积提高网络的感受野；③ 通过条件随机场进行后处理细化分割边界；④ 通过对训练集眼底图像进行量化来降低模型对颜色特征的敏感性，从而提高模型的泛化能力。

（3）眼底图像黄斑检测模型设计

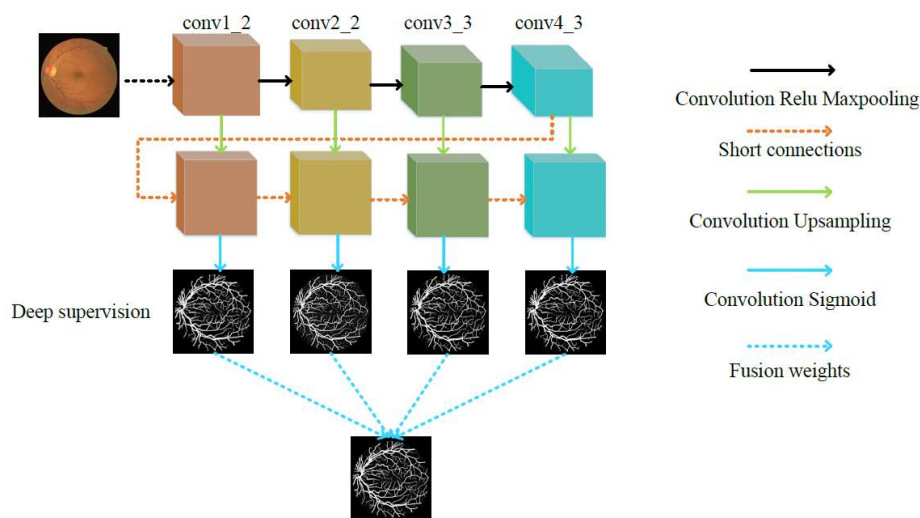
黄斑区域处于人眼的光学中心区，是视力轴线的投影点，比周围视网膜颜色暗些。该项目拟基于SSD检测网络设计一种运算速度快、参数量小的轻量级黄斑检测网络，首先设计一个轻量级的学生网络，然后在教师网络（参数量大、效果好）的指导下去训练学生网络。其中，教师网络拟使用SSD，学生网络拟利用VGGNet的前三组卷积层，在其上添加若干卷积层作为第四组卷积层，联合优化均方误差损失和知识蒸馏损失。

（4）眼底图像血管分割及动静脉分类模型设计

项目组前期设计了如图3所示的多尺度深度监督网络S-DSN用于血管分割，使用短连接在侧输出层之间传输语义信息，前向短连接将网络低层的语义信息传递到高层以便提升高层的输出结果，而后向短连接将高层的大量结构信息传递到低层以减少低层输出的噪声，并通过特征融合进一步提升性能。此外还提出了使用相似性度量指标（s-score）来评估血管分割结果而不是仅仅考虑像素级准确率。实验证明，S-DSN在DRIVE、STARE和CHASE DB1数据集上血管分割的准确率均达到0.95

以上，AUC和s-score分别在0.98和0.73以上。

在血管动静脉分类方面，基于深度学习的分割网络是逐像素分类，因此其动静脉分割结果往往不连续。拟通过两个步骤实现动静脉分类，首先训练一个并不区分动静脉的血管分割网络，然后设计基于图像块的分类算法实现动静脉分类。在训练分类网时对原图进行血管片段提取，每个片段对应一个标注（动脉或者静脉），将所有血管片段组成训练集，训练一个分类网络。在得到动静脉分类图之后，计算动静脉比值和寻找动静脉切记，分析动脉和静脉的交叉点邻域范围内的血管直径的变化趋势，进一步得到动静脉切迹的位置和血管变化程度。



（5）眼底图像病变点检测模型设计

眼底病变点存在体积小、分辨率低、特征不明显等问题，该项目拟从以下角度开展单病变点分割模型结构设计，随后过渡到多病变点分割模型设计。

池化是神经网络中获取尺度不变性和减少模型参数量的关键操作，其缺点是对特征图分辨率下降，存在信息丢失问题，这会对小病变点的检测造成很大影响。针对这种情况，拟通过多尺度特征融合策略，结合低等级特征来提高检测准确率。针对病变点特征不明显，易于背景点混淆的问题，拟通过图像预处理来突出病变点特征，使用数据扩充方法增加病变点个数，并且通过难分样本挖掘方法减少误识别问题，提高检测准确率，最后通过代价敏感学习，解决病变点与背景点个数差距大的问题。

在多病变点分割模型设计中，将单病变点的多尺度融合方式，难分样本挖掘方法扩展到多病变点的情况，最后实现硬渗、软渗、微动脉瘤和出血点等的分割。

（6）眼底图像深度模型的CPU/GPU异构计算加速技术

深入剖析模型训练算法中关键环节的时空复杂度，抽取典型、共性的密集计算操作，结合GPU体系结构特征，建立定量的数据模型和性能分析模型，确定训练算法的并行计算模式和加速热点。研究关键步骤的计算区域分解/映射策略以及CPU-GPU之间的数据传输机制，结合CuBLAS和cuDNN库实现高效的Kernel函数，充分利用GPU资源提升GPU细粒度并行化计算能力。研究基于Kernel并发执行技术的数据组织方法、通信和访存延迟隐藏方法，以及适合CPU-GPU异构结构特征的底层数据组织和存储方式，充分利用主存以及GPU的全局内存、共享内存和常量内存等存储资源，综合运用流水技术、数据重用、异步传输、敏感变量等优化技术，协同发挥CPU和GPU各自的计算能力。

(7) 眼底图像智能分析应用示范

根据视杯视盘的分割结果，计算得到垂直杯盘比，得到青光眼的患病风险指数；根据病变点的种类、面积得到糖网病的分期标准；根据血管动静脉比值，动静脉切记信息和病变点信息，建立脑卒中的风险预测模型，得到脑卒中的风险指数；根据黄斑的位置，对黄斑中心凹2个视盘直径范围内进行评价，得到年龄相关性黄斑变性的诊断结果。在以上工作基础之上，建立眼底图像智能分析应用示范系统，输入一张眼底图像，该系统将返回糖网病、青光眼、年龄相关性黄斑变性和脑卒中风险评估结果，结果通过如图4所示的眼底图像分析报告给出。

3、可行性分析

本项目的研究目标明确，研究方案可行，研究队伍、工作基础和科研条件良好，为本项目顺利开展提供了可靠保证。

① 研究目标明确：国内外对深度学习和医疗影像分析的最新研究进展已表明项目研究内容的前沿性和实用性，该项目内容源于设计基于深度学习的眼底图像智能分析模型，研究内容交叉且收敛，研究目标明确。

② 研究方案可行。本项目结合日渐成熟的深度学习技术，针对眼底图像生理及病理结构尺寸小、特征不明显、干扰大等问题，研究高效、准确地对相关结构进行分割和检测的关键问题；首先在视杯和视盘相当较易的方面进行分割网络设计；然后过渡到难度较大的病变点分割；最后通过对眼底图像结构的分析，得到对青光眼、糖网病等疾病的诊断依据。本项目采用逐步递进的技术路线，方案切实可行。

③ 研究条件具备。项目组成员结构合理、互补性强，在深度学习、物体检测以及医学图像处理等方面具有良好的研究基础和实践经验，这些为项目的开展奠定了良好基础。项目组已有工作站可承载4块GPU，配置GTX 1080ti、Tesla K40、Titan V等高性能GPU，基于Infiniband交换机构建了小型GPU集群系统，为本项目的研究提供了良好的实验环境，具备了在该领域做深入研究的条件。

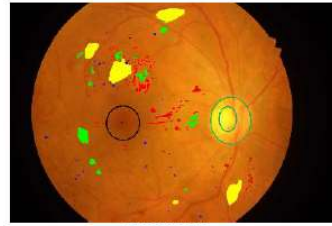
眼底图像分析报告

图片名称: test_fundus.png

日期: 2019-01-07



眼底图像



检测结果图

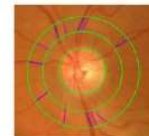
检测结果图中黄色区域为硬渗、绿色区域为软渗、红色区域为出血点、蓝色区域为微动脉瘤、黑色圈为黄斑、绿色圈为视杯视盘

病变点评估报告

所见:	类别	数量 (个)	总面积 (mm ²)	最大面积 (mm ²)
	硬渗			
	出血			
	微动脉瘤			
	软渗			

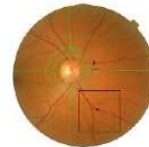
血管整体评估

所见:	类别	单位 (μm)
	动脉平均值	
	静脉平均值	
	动静脉比值	



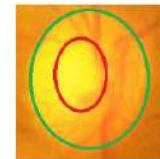
血管局部评估

所见:	类别	单位 (个)
	动静脉切迹	1
	动脉局限性缩窄	1



视杯视盘评估

杯盘比: 0.42



总体评估

糖尿病分期: 四期

老年性黄斑变性: 未见明显异常

脑卒中:



青光眼:



图 4 眼底图像分析报告单

4、可能遇到的问题及解决方法

(1) 数据标注难度大。语义分割模型的训练通常需要对输入图片进行像素级标注, 标注工作对专业背景知识要求高, 费时费力, 同时容易出现标注不够精确等问题。计划收集临床数据, 组织多位有丰富工作经验的医学专家对眼底图像中的组织结构、病变点等进行标注, 然后综合各位专家的标注结果, 形成一款适合深度学习的眼底图像数据集。

(2) 眼底图像中病变点种类多、特征不明显，且与背景极为相似。拟通过难分样本挖掘方法减少误识别问题，提高检测准确率。通过代价敏感学习，解决病变点与背景点个数差距大的问题。

(3) 不同相机拍摄的图片差异大，影响模型效果。拟通过图像预处理来解决不同来源图像在分辨率、亮度等方面的差异，对图像亮度和对比度进行归一化，将所有图片缩放至同一尺寸，并对数据进行扩充，降低不同相机带来的影响。

七、研究特色与创新之处：

（1）项目特色体现在学科交叉性强，将深度学习技术应用于眼底图像分析，具有很强的学术性、实用性和前瞻性。

（2）项目创新点体现在方法创新和技术实践创新：

- 提出眼底图像视杯视盘和血管分割模型
- 提出眼底图像黄斑和病变点检测模型
- 提出眼底图像视网膜动静脉分类模型
- 设计眼底图像处理模型的 CPU/GPU 异构计算优化技术
- 研发基于深度学习的眼底图像智能分析应用示范系统

八、拟解决的关键性问题及实现方法：

（1）如何针对眼底病变点尺寸小、特征不明显、误识别问题，一方面是通过代价敏感学习和难分样本挖掘的方法，设计优化函数来减少误识别问题；另一方面通过多尺度特征融合细化分割结果，设计高效的分割模型。

（2）如何解决动静脉分割不连续的问题，一方面是通过在损失函数中加入血管连续性的先验信息，另一方面根据血管分割结果，截取血管片段，随后对片段进行分类。

（3）如何提高模型的泛化能力和鲁棒性，一方面是通过数据扩充，扩大训练集的范围；另一方面利用 Kaggle DR 糖网筛查数据集（8 万多张）进行预训练。

九、研究基础与工作条件

研究基础：与本项目有关的研究工作积累和具备的研究基础（包括有利因素和不利因素的分析，包括已发表相关文章专利情况，3篇以内）：

申请者所在的研究团队一直从事异构计算、机器学习和图像处理等相关技术方面的应用基础研究，从2008年起开始紧跟GPU通用计算的发展，在GPU编程模型、CPU/GPU异构计算、机器学习算法的GPU加速等方面积累了丰富的资源及方法，对该领域的国内外学术界和工业界的发展趋势具有清晰认识。申请者相继主持和参与了国家自然科学基金、国家自然科学基金青年基金、天津市自然科学基金、天津市科技特派员项目和国家重点研发计划课题、高等学校博士点基金项目等相关研发工作，积累了较好的科学研究、工程实践和项目组织经验。目前主持的国家自然科学基金项目重点在小物体检测方面开展深度学习模型设计及其在CPU/GPU异构计算平台上的性能优化等方面，对于眼底图像中的病变点检测（往往都是很小的）具有很好的帮助。目前在眼底图像硬渗类型的病变点分割方面，提出了一种桶损失模型优化方法^[1]，在兼顾运行效率的前提下可以减少将背景点错误地识别为硬渗点的情况。这些工作都为基于深度卷积神经网络的模型设计及其在CPU/GPU异构系统上的异构计算优化等研究打下了很好的基础。

前期工作积累成为本项目研究工作全面实施的良好开端，项目组白刚教授和王恺副教授一直从事机器学习和图像处理等领域的研究，尤其是在卷积神经网络的图像识别方面，目前正基于Caffe等开源系统进行高光光谱图像分类处理的探索研究等，已有研究基础有助于研究基于CNN的高光谱图像特征提取的深度学习模型及其训练方法^[2]。项目组基于CUDA架构开展了模式识别算法（包括谱聚类、支持向量机、LDA主题模型、交替方向乘子法ADMM等）和生物信息处理算法（包括HMMer和Ising Model等）的GPU计算，在单结点和多节点CPU-GPU异构系统上获得了理想的加速比；在线性代数如矩阵乘、Cholesky分解、LU、特征值和特征向量求解等方面，已经在CPU-GPU异构系统上取得良好加速；在GPU编程模型方面，项目组借鉴持久化Kernel技术已经实现了GPU任务并行编程，测试结果表明能够达到甚至高于基于传统CUDA架构的程序性能^[3]。项目组承担的体系结构国家重点实验室课题“GPU并行算法可扩展性分析模型研究”被评为优秀；目前正与国家超算天津中心合作在“天河一号”超级计算机上开展大规模分布式机器学习算法的运行效率及可扩展性分析。

申请人现为南开大学物联网工程学科带头人、计算机系统能力培养系列课程建设负责人、信息化建设与管理办公室副主任，CCF高级会员、CCF体系结构专业委员会常务委员、ACM和IEEE CS会员。申请者于2013年9月至2014年9月在明尼苏达大学双城分校计算机科学与工程系做访问学者，与对方建立了良好的合作交流关系。此外，项目组还与莱斯大学、贝勒医学院和中科院计算所、国防科大等建立了良好的合作交流关系，能够为本项目提供比较好的支持。

- [1] Song Guo, Kai Wang, Yingqi Gao, Hong Kang, Tao Li*. Bin loss for hard exudates segmentation in fundus. Neurocomputing, Oct. 13, 2018 (Accepted)
- [2] Tao Li, Jiabing Leng, Lingyan Kong, Song Guo, Kai Wang*. DCNR: Deep cube CNN with random forest for hyperspectral image classification. Multimedia Tools and Applications, May 1, 2018, 1~23
- [3] 李涛, 董前琨, 张帅, 孔令晏, 康宏, 杨愚鲁. 基于线程池的 GPU 任务并行计算模式研究, 计算机学报, 2018, 41(10): 2175~2192

工作条件：已具备实验条件（需要进行动物实验者，应注明动物实验室级别），尚缺乏的实验条件和拟解决的途径：

申请人所带领的研究团队（<http://trics.nankai.edu.cn>）主要设备有Nvidia的Tesla K40、Titan V和GTX 1080Ti等GPU模块和 workstation 等，并利用Infiniband 10口交换机搭建了GPU集群系统，能够为项目研究提供比较高效的实验测试平台。特别是，国家超级计算天津中心坐落在滨海新区，与南开大学建立了战略合作关系，所装备的CPU+GPU混合结构的“天河一号”超级计算机以及通过验收的“天河三号”原型系统都能够为项目提供更好的高性能计算和测试服务。

随着研究深度和规模的不断增加，尚需购置新型GPU模块以及FPGA平台，更好地在大规模应用处理上开展研究和测试工作。

十、预期的研究成果形式（包括形成样品、样机、工艺技术路线、专利技术和拟组织的重点的学术交流活动等）

		种类数	总数量		内容		
研制样品							
研制样机							
工艺技术							
学术交流							
专 利			申请		获得		
		发明专利	1				
		实用新型					
		外观设计					
专利统计		申请专利总数	1	国内申请	1	国外申请	
文 章		篇数	主题（或主要内容）				
	一般期刊						
	核心期刊	2	在深度网络模型设计、模型训练异构计算等方面形成论文。				
	其中预期收录	SCI	4	EI	4	ISTP	
文章统计		文章总数	8	国内文章	2	国外文章	6
科 技 报 告		篇数	说明				
	最终科技报告	1	项目结项前呈交				
	年度科技报告	2	每年 10 月份随年度执行报告呈交				
	专题科技报告 (可随时提交)	2	实验/试验报告	1	分析/研究报告	1	
工程/生产/运行报告				其他报告			
科技报告统计		科技报告总数	5				
培养人才数		博士后		博士生	1	硕士生	6
实现销售收入（万元）			利税合计（万元）			出口创汇（万元）	
版权著作权			2				

十一、可获得的成果及技术指标

该项目拟基于深度学习技术设计高效的神经网络模型来实现对眼底图像的智能分析和处理, 进而对青光眼、黄斑变性、脑卒中和糖尿病等疾病提供辅助诊疗。研究成果主要以论文形式提供, 预计在国内外高水平 SCI/EI 期刊和国际会议上发表论文 8 篇以上, 培养 6 名硕士, 培养 1 名博士。拟申请专利 1 项, 获得软件著作权 2 项, 争取在同仁医院等单位开展实际临床应用并形成人工智能医学示范。

本项目预期实现基于深度卷积神经网络模型的眼底图像智能分析, 通过准确率、召回率、AUC 等指标评估眼底病变点分割模型, 通过 Dice 系数等指标评估视杯视盘分割模型, 通过结构相似性等指标评估血管分割模型, 通过准确率等指标评估动静脉血管分类模型, 通过欧式距离等指标评估黄斑检测模型, 通过敏感性、特异性、准确率等指标评估糖尿病性视网膜病变分类模型, 在眼底图像智能分析领域形成高效稳定的深度网络模型, 并形成人工智能医学应用示范。最后, 在软件运行效率、界面友好程度以及扩展性等方面对眼底图像智能分析系统进行整体评估。

十二、研究工作的进度安排

研究工作的进度安排 (半年为一阶段):

2019-04——2019-09: 进一步收集和整理数据, 完成眼底图像视杯视盘分割的深度卷积神经网络模型设计, 并进行实验验证与模型优化。

2019-10——2020-03: 完成眼底图像黄斑定位的物体检测网络模型设计和优化, 并进行实验验证分析。

2020-04——2020-09: 面向眼底图像血管检测的问题设计全卷积分割网络, 并进行实验验证与模型优化。

2020-10——2021-03: 在前期血管分割结果的基础之上, 设计深度卷积神经网络实现血管动静脉分类, 并进行实验验证分析。

2021-04——2021-09: 完成眼底图像病变点分割模型的设计和优化, 并利用 CPU/GPU 异构计算等技术加速以上模型训练。

2021-10——2022-03: 将上述成果集成到应用示范系统中, 研发基于云平台的眼底图像智能分析系统。总结项目研究成果, 申请结题。

十三、研究人员业务情况

申请者和项目主要成员业务简历（按人填写主要学历和研究工作经历，近期发表的与本项目有关的主要论著目录，发明专利和科研成果名称，并注明出处及获奖情况）：

姓名：李涛

主要学历：1995.9-1999.6 南开大学，工学学士

2001.9-2007.6 南开大学，工学博士

研究工作经历：2001年9月-2007年6月于南开大学信息技术科学学院硕博连读，从事并行计算机体系结构和高性能计算方面的研究，并获工学博士学位。现为南开大学教授/博士生导师、信息化建设与管理办公室副主任、天津市优秀科技特派员；中国计算机学会（CCF）高级会员、ACM和IEEE CS会员，体系结构专业委员会常务委员；中国科技辅导员协会人工智能普及教育专委会委员、天津市青少年科技教育协会副理事长和天津市教育信息化协会理事。2009年-2011年在南开大学国家环境保护城市空气颗粒物污染防治重点实验室从事博士后研究，2013年9月-2014年9月在明尼苏达大学计算机科学与工程系从事访问学者合作研究，主要从事与机器学习和高性能计算相关的交叉合作。2005年起指导学生参加挑战杯、学校百项工程、电子设计大赛等并多次获得奖励，积极参加Intel多核技术研讨班、GPU通用计算研讨会和CCF ADL培训班等，深入理解了多核CPU和GPU的架构、编程模型及机器学习方面的内容。近年来一直从事异构计算和机器学习等领域的相关研究，在该领域已经培养20名硕士和1名博士；主持和参与多项国家自然科学基金、国家重点研发计划课题、天津市自然基金项目、天津市科技攻关项目、高等学校博士点专项以及校企合作项目，积累了比较丰富的研究开发和项目组织经验；主讲本科生专业必修课《计算机组成原理》，获得南开大学2012年教学成果二等奖和2016-2018年度实验教学效果三等奖。已发表SCI/EI检索论文60余篇，出版和翻译教材6部，获得软件著作权7项。

主要论著及出处：[1]Song Guo, KaiWang, Yingqi Gao, Hong Kang, Tao Li*. Bin loss for hard exudates segmentation in fundus. Neurocomputing, Oct. 13, 2018 (Accepted)

[2]李涛, 董前琨, 张帅, 孔令晏, 康宏, 杨愚鲁. 基于线程池的GPU任务并行计算模式研究, 计算机学报, 2018,41(10): 2175~2192

[3] QingqiongCai, Fuyuan Cao, Tao Li*, Hua Wang*. On distances in vertex-weighted tree. Applied Mathematics and Computation, Vol 333, 2018, 435-442

[4] YongxinLan, Tao Li*, Yue de Ma, Yongtang Shi, Hua Wang. Vertex-based and edge-based centroid of graphs. Applied Mathematics and Computation, Vol 331, Aug. 15, 2018, 445-456

[5] HuiLei, Tao Li*, Yue de Ma, Hua Wang. Analyzing lattice networks through substructures, Applied Mathematics and Computation, Vol. 329, July 15, 2018, 297-314

[6] TaoLi, JiabingLeng, Lingyan Kong, Song Guo, Kai Wang*. DCNR: Deep cube CNN with random forest for hyperspectral image classification. Multimedia Tools and Applications, May 1, 2018, 1~23

[7] TaoLi, HanDong, Yongtang Shi, Matthais Dehmer. A comparative analysis of new graph distance measures and graph edit distance. Information Sciences, 403-404: 15-21, Sept. 2017

[8] HanDong, Tao Li*, Jiabing Leng, Lingyan Kong, Gang Bai. GCN: GPU-Based Cube CNN Framework for Hyperspectral Image Classification. Parallel Processing (ICPP), 2017 46th International Conference on. IEEE, 2017: 41-49.

[9] QiankunDong, Chao Liu, Tao Li*, Zhandong Liu. PIM: parallel Ising model for genetic data, The 3rd International Conference on Big Data Computing and Communications, Chengdu, China, Aug. 10-11, 2017

[10] LiTao, Gao Yingqi, Dong Qiankun, Wang Hua. Degree sums and dense spanning trees. PLoS ONE 12(9): e0184912. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184912>, 2017

[11] TaoLi, Qiankun Dong, Yifeng Wang, Xiaoli Gong, Yulu Yang. Dual buffer rotation four-stage pipeline for CPU-

GPUcooperative computing. Soft Computing,2017:1-11.

[12] TehuiHuang, Tao Li*, Kezhao Zhao,Qiankun Dong, Yulu Yang. Communication aware taskscheduling algorithm forheterogeneous computing, International Journal of HighPerformance Computing andNetworking. Volume 10 Issue 4-5, January2017, Pages 298-309

[13] LinChen, Tao Li*, Jinfeng Liu,Yongtang Shi, Hua Wang. On the Wiener polarityindex of lattice networks. PlosOne, DOI:10.1371/journal.pone.0167075, Dec. 8,2016

[14] JiabingLeng, Tao Li*, Gang Bai,Qiankun Dong, Han Dong. Cube-CNN-SVM: A novelhyperspectral image classificationmethod. The annual IEEE InternationalConference on Tools with ArtificialIntelligence, ICTAI 2016, Oct. 5-10, 2016

[15] TaoLi, Kezhao Zhao, Qiankun Dong,Jiabing Leng, Wenjing Ma, Yulu Yang.Data-Oriented Runtime Scheduling Frameworkon Multi-GPUs.Trustcom/BigDataSE/ISPA, 2016 IEEE. Aug. 23-28, 2016

[16] PeiXue, Tao Li*, Kezhao Zhao,Qiankun Dong, Wenjing Ma. GLDA: Parallel GibbsSampling for Latent DirichletAllocation on GPU. J.ACA 2016, CCIS 626,97-107.Springer, Singapore, Aug. 21,2016

[17]Xue Pei, Tao Li*, HanDong,Chunbo Liu, Wenjing Ma. GB-RC4: Effective brute force attack on RC4algorithmusing GPU. Green and Sustainable Computing Conference, 2016SeventhInternational. IEEE, 2016:1-6.

[18]Tao Li*, Xuechen Liu,QiankunDong, Wenjing Ma, Kai Wang. HPSVM: Heterogeneous Parallel SVMwithFactorization Based IPM Algorithm on CPU-GPU Cluster. The 24thEuromicroInternational Conference on Parallel, Distributed and Network-BasedProcessing,Feb. 17-19, 2016

[19] 张帅, 李涛, 焦晓帆, 王艺峰, 杨愚鲁. CPU-GPU 异构计算环境下的并行 T 近邻谱聚类算法[J]. 计算机研究与发展,2015, 52(11): 2555-2567

[20] ChenggangZhou, Qiankun Dong,Wenjing Ma, Guoping Long, Tao Li*. PE-TLD: ParallelExtendedTracking-Learning-Detection for Multi-target Tracking. The 15thInternationalConference on Algorithms and Architectures for ParallelProcessing. Hunan,China, Nov. 18-20, 2015

[21] ShuaiZhang, Tao Li*, QiankunDong, Xuechen Liu, Yulu Yang. CPU-assisted GPU threadpool model for dynamictask parallelism. 10th IEEE International Conference onNetworking,Architecture, and Storage. Boston, MA, USA, Aug. 6-7, 2015

[22] 李涛, 刘学臣, 张帅, 王恺, 杨愚鲁. 基于混合编程模型的支持向量机训练并行化. 计算机研究与发展, 52(5): 1098-1108, 2015.5

[23] TaoLi, Duo Wang, Shuai Zhang,Yulu Yang. Parallel rank coherence in networks for inferringdisease phenotypeand gene set associations. J. Wu et al. (Eds.): ACA 2014,CCIS 451, 163-176.Springer, Heidelberg, 2014

[24] ShaiZhang, Tao Li*, Xiaofan Jiao,Yifeng Wang, Yulu Yang. Hlanc: Heterogeneous parallelimplementation of theimplicitly restarted Lanczos method. The 3rdInternational Workshop onHeterogeneous and Unconventional ClusterArchitectures and Applications.Minneapolis, MN, Sept. 9-12, 2014

[25] TaoLi, Hua Li, Xuechen Liu, ShuaiZhang, Yulu Yang. GPU Acceleration of InteriorPoint Methods in Large Scale SVMTraining. 12th IEEE international conferenceon Trust, Security and Privacy inComputing and Communications (TrustCom).Melbourne, Australia. July 16-18, 2013,863-870

科研成果及获奖情况:

姓名: 王恺

主要学历: 1997.06-2001.06, 南开大学, 学士

2001.09-2016.06, 南开大学, 博士

研究工作简历: 博士, 南开大学计算机学院副教授, 研究方向包括机器学习、医学图像处理和计算机视觉等, 在人工智能领域主持国家自然科学基金、天津市自然基金项目、天津市滨海新区科技项目以及产学研合作项目多项, 参与国家级课题 5 项, 积累了丰富的研究和开发经验。在

CVPR、AAAI、TIP、Neurocomputing、ECCV、ICME、ICIP、ICDAR、ICPR、Soft Computing、软件学报、计算机研究与发展等国内外重要会议和期刊上发表人工智能领域的论文 30 余篇。

主要论著及出处: [1] Jun Chen, Hong Zhao, Jufeng Yang, Jian Zhang, Tao Li, Kai Wang*. An intelligent character recognition method to filter spam images on cloud, Soft Computing, 2017, 21(3):753-763

[2] Congchao Wang, Jufeng Yang*, Kai Wang, Shang-Hong Lai, Multi-scale energy optimization for object proposal generation, Multimedia Tools and Applications, 2017, 76(8): 10481-10499

[3] 李涛*, 刘学臣, 张帅, 王恺, 杨愚鲁. 基于混合编程模型的支持向量机训练并行化, 计算机研究与发展, 2015, 52(5): 1098-1108

[4] 王恺*, 李成学, 王庆人, 赵宏, 张健. 异态汉字识别方法研究, 软件学报, 2014, 25(10): 2266-228

[5] Jufeng Yang*, Jie Liang, Kai Wang, Yong-Liang Yang, Ming-Ming Cheng. Automatic model selection in subspace clustering via triplet relationships, AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI), 2018, Feb 2-7, New Orleans, USA

[6] Yun Liu, Ming-Ming Cheng*, Xiaowei Hu, Kai Wang, Xiang Bai. Richer convolutional features for edge detection, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Jul 21-26, 2017, Honolulu, Hawaii, USA

[7] Xiaoxiao Sun, Jufeng Yang*, Ming Sun, Kai Wang. A benchmark for automatic visual classification of clinical skin disease images, 14th European Conference Computer Vision (ECCV 2016), Oct 8-16, 2016, Amsterdam, Holland

[8] Ming Sun, Jufeng Yang*, Kai Wang, Hui Shen. Discovering affective regions in deep convolutional neural networks for visual sentiment prediction, 2016 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME 2016), Jul 11-15, 2016, Seattle, WA, USA

[9] Ming Sun, Jufeng Yang*, Bo Sun, Kai Wang. Shape-guided segmentation for fine-grained visual categorization, 2016 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME 2016), Jul 11-15, 2016, Seattle, WA, USA

[10] Qinwen Wang, Yixue Wang, Chenyang Wang, Jufeng Yang, Tao Li, Kai Wang*. Machine-readable region identification from partially blurred document images, 2015 13th International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), Aug 23-26, 2015, Nancy, France

科研成果及获奖情况: 无

姓名: 宫晓利

主要学历: 2001.09—2005.06, 南开大学, 学士

2005.09—2011.06, 南开大学, 博士

研究工作简历: 博士, 南开大学网络空间安全学院副教授, 研究方向包括嵌入式系统、物联网和机器学习等, 主持和参与国家自然科学基金、天津市自然科学基金项目、天津市优秀科技特派员项目以及产学研合作项目多项, 积累了丰富的研究和开发经验。在计算机研究与发展、Soft Computing、VEE 等国内外重要会议和期刊上发表论文 30 余篇, 参与获得天津市科学技术进步奖二等奖一项。

主要论著及出处: [1] A Webpage Offloading Framework for Smart Devices. Mobile Networks and Applications. (to appear in 2018).

[2] Dual buffer rotation four-stage pipeline for CPU-GPU cooperative computing, Soft Comput (2017).

[3] Automatically Difficulty Grading Method Based on Knowledge Tree. The 10th International Conference on Knowledge Science, Engineering and Management, KSEM2017

[4] WWOFF: An Energy Efficient Offloading Framework for Mobile Webpage, 13th Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking and Services, Mobiquitous 2016

[5] XOS: 面向用户体验质量的高能效异构多核调度算法, 计算机研究与发展, 2016.07.15 53 (7): 1467~1477

[6] Performance overhead Analysis of Virtualization on ARM. International Journal of Information and Communication Technology (to appear in 2018)

[7] A Novel earthquake education system based on virtual reality, IEICE Transactions on Information and Systems 2015.12.1 E98-D(12): 2242~2249

[8] Automatic Model Building and Verification of Embedded Software with UPPAAL, 2011 IEEE 10th International

Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications, TrustCom2011

[9] 自恢复的电子纸屏幕显示管理策略研究, 现代显示, 2011.1.5 10(1): 20~23

[10] 工程问题 C 语言求解 (译著), 机械工业出版社, 2016

科研成果及获奖情况: 1. 基于可信开放架构的出版型类纸电子阅读技术及阅读器装置, 天津市科委, 天津市科学技术进步奖, 二等奖, 2011

姓名: 康宏

主要学历: 1991.09-1995.06, 河北大学, 学士

1997.09-2002.06, 河北工业大学, 硕士

2005.09-2010.06, 南开大学, 博士

研究工作简历: 博士, 南开大学网络空间安全学院讲师, 研究方向包括数据挖掘、机器学习等, 主持和参与国家自然科学基金、国家 863 导向课题、天津市自然基金项目、高等学校博士点专项基金以及产学研合作项目多项, 积累了丰富的开发和研究经验。在计算机学报、计算机研究与发展、APWeb 等国内外重要会议和期刊上发表论文 20 余篇。

主要论著及出处: [1] 康宏, 郭蒙雨, 袁晓洁. 一种应用驱动的基于流式框架的实时数据库分区算法, 计算机应用研究, 2018 年 04 期。

[2] 李涛, 董前琨, 张帅, 孔令晏, 康宏*, 杨愚鲁. 基于线程池的 GPU 任务并行计算模式研究, 计算机学报, 2017 年 11 月接收

[3] 郭蒙雨, 康宏*, 袁晓洁. 大数据环境下基于流式框架的数据库实时分区系统, 计算机工程, 2017.43(11):8-15

[4] 康宏, 袁晓洁, 黄亚楼, 黄晓骋, 官莹, 孙博实. 基于局部路径加锁模型的 XML 数据并发控制协议, 计算机工程, 2010.36(21):7-11

[5] 官莹, 袁晓洁, 黄晓骋, 孙博实, 康宏*. X&R: 一种有效的 XML 与关系数据并发控制协议集成模型, NDBC, 计算机研究与发展, 2010.47 (z1):000048-53

[6] Hong Kang, Mengyu Guo, Xiaojie Yuan. A Workload-Driven Vertical Partitioning Approach Based on Streaming Framework. Asia-Pacific Web Conference. Sept 23-25, 2016, Suzhou, China.

[7] Mengyu Guo, Hong Kang. The Implementation of Database Partitioning Based on Streaming Framework. Web Information Systems and Applications Conference, Sept 23-25, 2016, Wuhan, China

[8] Hong Kang, Xiaojie Yuan, Yalou Huang, Boshi Sun, Xiaocheng Huang, Ying Guan. XML Document Correction Based on Update Conflict Detection. International Conference on Advanced Information Management and Service, Nov.30-Dec.2, 2010, Seoul, South Korea

[9] Boshi Sun, Xiaojie Yuan, Hong Kang, Xiaocheng Huang, Ying Guan. Incremental Validation of XML Document Based on Simplified XML Element Sequence Pattern. The 7th Web Information System and Application, Aug 20-22, 2010, Huhehaote, China

[10] Hong Kang, Xiaojie Yuan, Boshi Sun, Yalou Huang, Ying Guan. A XML Update Pattern Based on XQuery Update Facility and Seamlessly Integrated with Relational Databases. International Conference on Information Science and Engineering, Dec 26-28, 2009, Nanjing, China

科研成果及获奖情况: 无

姓名: 董前琨

主要学历: 2007.09-2011.06, 南开大学, 学士

2012.09-2015.06, 南开大学, 硕士

研究工作简历: 硕士, 南开大学网络空间安全学院助理实验师, 研究方向包括异构计算、机器学习、物联网等, 参与国家自然科学基金、天津市自然基金项目、天津市滨海新区科技项目以及产学研合作项目多项, 积累了比较丰富的研究和开发经验。在计算机学报、Soft Computing、Plos One、ISPA 等国内外重要会议和期刊上发表论文 10 余篇, 申请软件著作权 3 项。

主要论著及出处: 无

科研成果及获奖情况: 无
姓名: 郭松 主要学历: 2010.09-2014.07, 三峡大学, 学士; 2014.09-2017.07, 大连大学, 硕士; 2017.09-至今, 南开大学, 博士在读 研究工作简历: 无 主要论著及出处: 无 科研成果及获奖情况: 无
姓名: 刘蒙蒙 主要学历: 2015.09-至今, 南开大学, 已保送直博 研究工作简历: 无 主要论著及出处: 无 科研成果及获奖情况: 无
姓名: 高颖琪 主要学历: 2013.09-2017.06, 南开大学, 学士; 2017.09-至今, 南开大学, 硕士在读 研究工作简历: 无 主要论著及出处: 无 科研成果及获奖情况: 无
姓名: 李宁 主要学历: 2014.09-2018.07, 河北工业大学, 学士; 2018.09-至今, 南开大学, 硕士在读 研究工作简历: 无 主要论著及出处: 无 科研成果及获奖情况: 无
姓名: 张潺 主要学历: 2013.09-2017.07, 东北林业大学, 学士; 2017.09-至今, 南开大学, 硕士在读 研究工作简历: 无 主要论著及出处: 无 科研成果及获奖情况: 无
姓名: 董世超 主要学历: 2014.09-2018.07, 鲁东大学, 学士; 2018.09-至今, 南开大学, 硕士在读 研究工作简历: 无 主要论著及出处: 无 科研成果及获奖情况: 无
姓名: 宋秋迪 主要学历: 2013.09-2017.07, 中国海洋大学, 学士; 2017.09-至今, 南开大学, 硕士在读 研究工作简历: 无 主要论著及出处: 无 科研成果及获奖情况: 无
姓名: 刘术生 主要学历: 2013.09-2017.07, 青岛科技大学, 学士; 2017.09-至今, 南开大学, 硕士在读 研究工作简历: 无 主要论著及出处: 无 科研成果及获奖情况: 无
姓名: 王大召 主要学历: 2011.09-2015.07, 河南农业大学, 学士; 2017.09-至今, 南开大学, 硕士在读

研究工作简历: 无 主要论著及出处: 无 科研成果及获奖情况: 无
姓名: 颜旭东 主要学历: 2009.09-2013.07,天津科技大学,学士; 2016.09-至今, 南开大学, 硕士在读 研究工作简历: 无 主要论著及出处: 无 科研成果及获奖情况: 无
姓名: 刘腾 主要学历: 2013.09-2017.07, 重庆邮电大学, 学士; 2017.09-至今, 南开大学, 硕士在读 研究工作简历: 无 主要论著及出处: 无 科研成果及获奖情况: 无

十四、申请者承担天津市自然科学基金资助项目情况

项目编号	来源	项 目 名 称	起止年月	负责或参加	资助经费 (万元)	项目 状态	进展或完成情况说明
16JCYBJ C15200	天津市自然科学基金	基于深度CNN的高光谱图像分类及其CPU/GPU异构计算	2016.04- 2018.10	负责	10	完成	提前完成并结题

简述正在承担研究项目的主要研究内容及与申请项目相关情况:

十五、申请者正在承担的其它研究项目情况

项目编号	来源	项 目 名 称	起止年月	负责或参加	资助经费 (万元)	项目 状态	进展或完成情况说明
61872200	国家自然科学基金	基于深度学习的小物体检测及其异构计算技术研究	2019.01- 2022.12	负责	75.2	执行中	进展良好

简述正在承担研究项目的主要研究内容及与申请项目相关情况:

该项目主要针对小物体检测开展深度网络模型设计及其 CPU/GPU 异构计算技术研究, 首先针对小物体特征区分度低、易受噪声干扰而导致的高误报率问题, 提出一种短连接反馈式的深度神经网络模型 (DNN) 及其训练方法。其次, 剖析 TensorFlow 和 Caffe 等开源深度学习框架, 面向异构 NUMA 结构下的 GPU 加速器设计基于流处理器多任务模式的 DNN 模型并行计算方法, 提升 DNN 模型的训练效率。再次, 针对寒武纪和 FPGA 等嵌入式平台特征, 研究 DNN 模型的压缩方法及其硬件加速技术, 提升 DNN 模型的推理效率。该申请侧重针对眼底图像进行智能分析, 并搭建应用示范系统, 该项目为开展眼底图像的智能处理提供了良好的技术基础。

推荐意见

（不具备高级专业技术职务或博士学位的申请者，须有两名具有高级专业技术职务的同行专家推荐。推荐时，请认真负责地介绍申请者及项目组成员的业务基础、研究能力、科研态度及研究条件等。项目组成员不能作推荐者。）

推荐意见：		
推荐者（签章）：	专业技术职务：	专长：
所在单位：		
推荐日期：		

推荐意见：		
推荐者（签章）：	专业技术职务：	专长：
所在单位：		
推荐日期：		

申请者所在单位学术委员会或同行专家初步评审意见

(包括本项目的研究意义、研究方案的合理性、预期成果的应用前景及经费预算是否合理等)

主任或副主任委员（签章）：
日 期：

所在单位：
从事专业：

学术委员会或同行专家主要成员：

姓 名	专业技术职务	单 位	从 事 专 业	签 字

天津市自然科学基金项目申请书

项目负责人承诺：

我保证申请书内容的真实性，不存在知识产权争议。如果获得项目资助，我将履行项目负责人职责，严格遵守天津市科技计划项目的有关规定，切实保证研究工作时间，认真开展工作，按时报送年度执行报告和科技报告，按时结题。若填报失实或违反规定，本人将承担全部责任。如获资助额不足时将自筹资金完成项目。如遇重大事项，将及时向市科委履行报告程序。

签字：日期：

项目组主要成员承诺：

我保证有关申报内容的真实性。如果获得项目资助，我将严格遵守天津市计划项目的有关规定，切实保证研究工作时间，加强合作、信息资源共享，认真开展工作，及时向项目负责人报送年度执行报告和科技报告。若个人信息失实、执行项目中违反规定，本人将承担相关责任。

序号	姓 名	证件号码	工作单位	项目分工	每年工作时间 (月)	签 字
1	王恺	120107197902057831	南开大学	神经网络模型设计	8	
2	宫晓利	370786198307226919	南开大学	异构计算加速设计	8	
3	康宏	130703197302020010	南开大学	数据处理	8	
4	董前琨	61252419900312061X	南开大学	异构计算技术设计	8	
5	郭松	130930199104183313	南开大学	深度网络模型优化	8	
6	刘蒙蒙	411104199612100109	南开大学	深度网络模型设计	10	
7	高颖琪	622426199511170065	南开大学	深度网络模型设计	10	
8	李宁	130981199401026613	南开大学	深度网络模型验证	10	
9	张潺	410621199402162582	南开大学	模型优化算法设计	10	
10	董世超	370781199608010516	南开大学	模型优化算法实现	10	
11	宋秋迪	130224199512127649	南开大学	异构计算技术实现	10	
12	刘术生	370786199502225115	南开大学	应用系统研发	10	
13	王大召	411381199112027113	南开大学	应用系统研发	6	

天津市自然科学基金项目申请书

14	颜旭东	120104199102052530	南开大学	模型与系统 测试	6	
15	刘腾	13018119940420301X	南开大学	模型与系统 测试	6	

承担单位审查意见与保证：

已按填报说明对申请人的资格和申请书内容进行了审核。项目无知识产权争议。申请项目如获资助，我单位保证对研究计划所需要的人力、物力和工作时间等条件给予保障，严格遵守天津市计划项目的有关规定，督促项目负责人和项目组成员以及本单位项目管理部门按照天津市计划项目管理规定及时报送年度执行报告和科技报告，并按期结项验收，完成项目。

承担单位公章：

负责人（签章）：

日期：

日期：

合作单位审查意见与保证：

同意参加合作研究，保证对参加合作研究人员时间及工作条件的支持，督促其按计划完成所承担的任务。

公章：

负责人（签章）：

日期：

日期：

合作单位审查意见与保证：

同意参加合作研究，保证对参加合作研究人员时间及工作条件的支持，督促其按计划完成所承担的任务。

公章：

负责人（签章）：

日期：

日期：

合作单位审查意见与保证：

同意参加合作研究，保证对参加合作研究人员时间及工作条件的支持，督促其按计划完成所承担的任务。

合作单位公章：

负责人（签章）：

日期：

日期：

局级主管部门审查意见：

主管部门公章：	负责人（签章）：
日期：	日期：

十六、其它附件目录（附件按目录清单顺序装订）

序号	附件名称
1	1 Bin loss for hard exudates segmentation in fundus(Neurocomputing)190118114004.pdf
2	2 DCNR deep cube CNN with random forest for HSI classification(MTA)190118114012.pdf
3	3 基于线程池的 GPU 任务并行计算模式研究(计算机学报)190118114017.pdf
4	4 优秀结题 190118114145.pdf
5	