同济大学大学生创新训练项目计划申请书

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目编号 | X2024492 | | |
| 项目名称 | 三维图像传感器信号增强网络的轻量化方法 | | |
| 项目负责人 | 林继申 | 联系电话 | 15143305542 |
| 所在学院 | 软件学院 | | |
| 学号 | 2250758 | 专业班级 | 软件工程 |
| 指导教师 | 曾进 | | |
| E-mail | 2250758@tongji.edu.cn | | |
| 申请日期 | 2023年12月13日 | | |
| 项目期限 | 一年期 | | |

同济大学 创新创业学院

**填写说明**

1. 本申请书所列各项内容均须实事求是，认真填写，表达明确严谨，简明扼要。
2. 申请人可以是个人，也可为创新团队，首页只填负责人。“项目编号”一栏不填。
3. 本申请书为大16开本（A4），左侧装订成册。可网上下载、自行复印或加页，但格式、内容、大小均须与原件一致。
4. 负责人所在学院认真审核，经初评和答辩，签署意见后，将申请书（一式两份）报送同济大学项目管理办公室。

#### 一、基本情况

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目名称 | 三维图像传感器信号增强网络的轻量化方法 | | | | | | |
| 所属学科 | 学科一级门：工学 学科二级类：计算机类 | | | | | | |
| 项目来源 | A、学生自主选题，来源于自己对课题的长期积累与兴趣  B、导师推荐课题  C、SITP直升课题 | | | | | | |
| 项目申请级别 |  | | | | | | |
| 申请金额 | 10000.00元 | | 项目期限 | | 一年期 | | |
| 负责人 | 林继申 | 性别 | 男 | 民族 | 汉族 | 出生  年月 | 2004年  3月 |
| 学号 | 2250758 | 联系电话 | 宅：15143305542 手机：15143305542 | | | | |
| 指导教师 | 曾进 | 联系电话 | 宅：13265807412 手机：13265807412 | | | | |
| 项目简介 | | **研究目的：**  三维成像与传感计数是获取物理世界几何信息的重要手段，为实现高精度的重建、识别、定位奠定了基础。基于飞行时间法（Time-of-Flight）是目前主流的三维成像方式。本研究旨在提升由ToF传感器采集的深度图和三维点云的成像质量，并致力于优化模型的推理效率，以满足轻量化的需求，使其适用于机器人、智能手机、自动驾驶等各种移动端应用。研究重点包括减少模型的计算复杂性，开发轻量级的算法和模型结构，并保证模型在不同应用场景下的适应性和泛化能力，这项工作的成功将大大推动智能设备在三维空间感知和理解方面的发展。  **研究内容：**  包括三维图像传感器数据分析，建立有效的神经网络进行画质提升，对网络进行轻量化设计，进行实际传感器数据的画质及计算复杂度评估等。  **国内外研究现状：**  国内外已有大量关于深度图及三维点云画质提升的研究，但已有基于深度学习的方法往往忽略网络性能优化，和传感器小型化背道而驰，亟需提出三维图像增强网络的轻量化方法。  **创新点：**  面向三维图像传感器，基于其成像原理进行三维图像增强，创新地提出基于动态稀疏卷积核的图像增强网络轻量化方法。 | | | | | |
| 负责人曾经参与科研的情况 | | 项目负责人曾参加同济大学创新创业训练计划项目2023年导师发布课题（定向2022级本科生）。 | | | | | |
| 指导教师承担科研课题情况 | | 主持国家自然科学基金青年科学基金、上海市启明星项目（扬帆专项） | | | | | |
| 指导教师对本项目的支持情况 | | 指导教师现任同济大学软件学院助理教授，香港科技大学博士，毕业后曾在商汤科技任高级研究员。主要研究方向为3D视觉，图信号处理，共发表20篇国际顶级期刊及会议，包括IEEE TIP，IEEE TSP，CVPR，ECCV等。 | | | | | |
| 项目组  主要成员 | 姓名 | 学号 | 专业班级 | 所在学院 | 项目分工 | | |
| 林继申 | 2250758 | 软件工程 | 软件学院 | 项目统筹和任务分工  文献调研  数据处理  模型搭建 | | |
| 刘垚 | 2253215 | 软件工程 | 软件学院 | 文献调研  数据处理  论文撰写 | | |
| 刘淑仪 | 2251730 | 软件工程 | 软件学院 | 文献调研  数据处理  经费管理 | | |
| 梁斯凯 | 2253540 | 计算机科学与技术 | 电子与信息工程学院 | 文献调研  数据处理  算法设计 | | |
| 杨宇琨 | 2252843 | 软件工程 | 软件学院 | 文献调研  数据处理  答辩演讲 | | |

#### 二、立项依据

|  |
| --- |
| （1）研究目的 三维成像与传感技术是获取物理世界几何信息的重要手段，为实现高精度的重建、识别、定位奠定了基础，在自动驾驶、机器人、AR/VR、物联网等应用中发挥着重要作用，是视觉技术能真正落地在智慧城市、智能无人系统等领域的核心。根据半导体行业著名产业研究机构Yole预测，全球三维成像与传感市场将从2019年的50亿美元扩大至2025年的150亿美元，预示三维传感产业巨大的市场潜力和应用价值。  在众多三维传感技术中，基于飞行时间法（Time-of-Flight, ToF）的三维图像传感器得益于其成本优势和优越的实时三维感测能力，是目前主流的三维成像方式。Yole预测ToF传感器这一新兴行业在未来五年将呈现爆发式增长，ToF传感模组年出货量在2025年达到6.8亿个，占据60％的三维传感市场份额。因此，加快发展ToF三维成像技术，抢占ToF传感行业领先地位具有重要的经济价值和战略意义。  本研究旨在提升由ToF传感器采集的深度图和三维点云的成像质量，并致力于优化模型的推理效率，以满足轻量化的需求，使其适用于机器人、智能手机、自动驾驶等各种移动端应用。研究重点包括减少模型的计算复杂性，开发轻量级的算法和模型结构，并保证模型在不同应用场景下的适应性和泛化能力，这项工作的成功将大大推动智能设备在三维空间感知和理解方面的发展。 （2）研究内容 围绕“三维图像传感器信号增强网络的轻量化方法”这一课题，本项目的研究内容主要分为以下四个方面：  1.三维图像传感器数据分析  这一阶段聚焦于深入分析ToF传感器采集的深度图和三维点云数据，识别并理解其成像过程中的关键问题，如噪声等问题。  2.建立有效的神经网络进行画质提升  在此部分，重点是设计并实现一个深度神经网络模型，该模型旨在针对三维图像数据进行有效的去噪、清晰度提升和细节恢复。  3.对网络进行轻量化设计  本环节的核心是对已有的深度学习模型进行优化，通过采用诸如动态稀疏卷积核等策略，降低模型的计算复杂度和内存需求，使其更适合于移动设备。  4.进行实际传感器数据的画质及计算复杂度评估  本部分将通过使用真实的ToF传感器数据来评估优化后网络的画质提升效果和计算效率，确保其在实际应用中的实用性和高效性。 （3）国、内外研究现状和发展动态 ToF原始数据需要通过深度重建的过程，获得深度图或三维点云的输出，其中包括深度值解算、自动曝光控制、噪声去除、空洞修复等功能模块。  噪声在深度重建过程中被非线性放大，增大处理难度，所以目前越来越多的研究工作从数据的源头开始，针对原始数据进行处理，有助于更好地恢复真实深度。  面向ToF原始数据的复原算法研究目前还处于较为初级的阶段，从研究思路上可分为基于模型和基于深度学习两类方法，具体如下：  **1.基于模型的原始数据处理**  这类方法基于经典统计学模型，通过图像结构先验知识设计优化算法。首先，libfreenect2是基于Kinect v2开发的原始ToF信号处理软件，整体处理框架被广泛使用，其中复原模块基于双边滤波的去噪模块，可实现实时处理[1]。  Lenzen等人基于实验，对比了去噪模块在处理流程中位置和去噪方法的不同对结果锐利度、平滑度的影响，其中在原始自相关数据上使用双边滤波并加以中值滤波获得了最优的效果[2]。  Frank等人对深度重建过程进行建模，得到深度图噪声模型为偏移正态分布，并且噪声方差反比与信号幅值的平方，可以依据信号幅值推测噪声分布[3]。  基于此噪声模型，Reynolds利用信号幅值作为置信度，作为均值滤波的系数，从而避免低置信度的像素对滤波结果造成影响[4]。  总结：该类算法以先验知识为基础，可解释性强、可灵活调节，且功耗低实时性强；但使用的方法对ToF传感器缺乏针对性，精度有限。  **2.基于深度学习的原始数据处理**  近年来，深度学习的引入大大提升了三维成像质量，取得了令人鼓舞的成果。  Su等人利用端到端的深度神经网络整体替换模块化3D ISP，对ToF原始信号进行去噪和多径干扰纠正，输出经过复原的深度图[5]。  Guo等人建立了ToF的仿真数据集，并利用该数据集进行分阶段的深度神经网络训练，进行去噪、多径干扰纠正和运动模糊去除[6]。  Dong 等人通过考虑不同尺度下的场景全局几何信息，预测不同尺度下的深度残差并进行融合，提升去噪精度[7]。  另外，同时利用原始数据和深度图、信号强度图作为输入进行多次迭代[8]和表面法向量联合预测[9]，进行精细处理。  Agresti等人关注由于网络在仿真数据上训练，真实场景泛化能力不足，所以通过生成对抗网络在真实数据上进行自监督提升泛化性[10]。  总结：这类方法在特定场景下精度提升显著，算法设计尤其是深度神经网络忽略复杂度，导致功耗高，传感器小型化困难。  虽然对原始数据进行处理可以从源头上抑制错误的发生，但目前的研究依然较为初步，还存在以下局限性：  (1)准确度：缺乏针对成像过程的退化过程分析，导致算法准确度不足；  (2)泛化能力：基于深度学习的方法虽然在精度上有所提升，但在数据集之外的场景中泛化能力不足，缺乏表征能力和可解释性的平衡；  (3)功耗：算法设计尤其是深度神经网络忽略复杂度，导致功耗高，传感器小型化困难。  因此需要做到表征能力和可解释性的平衡（已解决，在已有基础中），以及准确度和功耗的平衡。  **3.三维图像传感器信号增强网络的轻量化**  最新的方法开始关注到三维图像增强网络的轻量化，在保证网络准确度的同时降低算法功耗。例如在深度补全任务中，LRRU[11]通过spatially-variant kernels对其进行迭代更新，迭代更新过程是内容自适应且高度灵活的，核范围（kernel scope）动态调整以捕获长到短范围的依赖关系（long-to-short range dependencies），有效地用较少的可学习参数和推理时间将其优化为准确的深度地图。  然而，针对ToF传感器原始数据处理的网络加速/轻量化还鲜有研究，因此亟需提出三维图像增强网络的轻量化方法，推动ToF传感器在实际应用中的使用。  **参考文献：**  [1] Lingzhu Xiang, et.al. libfreenect2: release 0.2. Zenodo, 2016.  [2] Frank Lenzen, Kwang In Kim, Henrik Schäfer, Rahul Nair, Stephan Meister, Florian Becker, Christoph S. Garbe, and Christian Theobalt. Denoising strategies for Time-of-Flight data. In Time-of-Flight and Depth Imaging. Sensors, Algorithms, and Applications, pp. 25-45. 2013.  [3] Mario Frank, Matthias Plaue, Holger Rapp, Ullrich Köthe, Bernd Jähne, and Fred A. Hamprecht. Theoretical and experimental error analysis of continuous-wave time-of-flight range cameras. Optical Engineering 48, no. 1: 013602. 2009.  [4] Malcolm Reynolds, Jozef Doboš, Leto Peel, Tim Weyrich, and Gabriel J. Brostow. Capturing Time-of-Flight data with confidence. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 945-952. 2011.  [5] Shuochen Su, Felix Heide, Gordon Wetzstein, and Wolfgang Heidrich. Deep end-to-end Time-of-Flight imaging. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 6383-6392. 2018.  [6] Qi Guo, Iuri Frosio, Orazio Gallo, Todd Zickler, and Jan Kautz. Tackling 3D ToF artifacts through learning and the FLAT dataset. In Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV), pp. 368-383. 2018.  [7] Guanting Dong, Yueyi Zhang, and Zhiwei Xiong. Spatial hierarchy aware residual pyramid network for Time-of-Flight depth denoising. In European Conference on Computer Vision, pp. 35-50. 2020.  [8] Zhuolin Zheng, Yinzhang Ding, Xiaotian Tang, Yu Cai, Dongxiao Li, Ming Zhang, Hongyang Xie, and Xuanfu Li. Iterative error removal for Time-of-Flight depth imaging. In International Conference on Artificial Neural Networks, pp. 92-105. 2021.  [9] Rongrong Gao, Na Fan, Changlin Li, Wentao Liu, and Qifeng Chen. Joint depth and normal estimation from real-world Time-of-Flight raw data. In 2021 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp. 71-78, 2021.  [10]Gianluca Agresti, Henrik Schafer, Piergiorgio Sartor, Yalcin Incesu, and Pietro Zanuttigh. Unsupervised domain adaptation of deep networks for ToF Depth refinement. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2021.  [11]Wang, Yufei, Bo Li, Ge Zhang, Qi Liu, Tao Gao, and Yuchao Dai. "LRRU: Long-short Range Recurrent Updating Networks for Depth Completion." In Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision, pp. 9422-9432. 2023. （4）创新点与项目特色 面向三维图像传感器，基于其成像原理进行三维图像增强，创新地提出基于动态稀疏卷积核的图像增强网络轻量化方法。 （5）技术路线、拟解决的问题及预期成果 **1.技术路线**  (1)三维图像传感器数据分析  ToF原始数据需要通过深度重建的过程，获得深度图或三维点云的输出，其中包括深度值解算、自动曝光控制、噪声去除、空洞修复等功能模块。对ToF传感器采集的数据进行详细分析。分析包括深度图和三维点云数据的特性，以及在成像过程中的潜在问题，如噪声等。  (2)建立有效的神经网络进行画质提升  设计和实现深度学习模型，专注于提升三维图像的质量。利用深度神经网络处理原始ToF信号，实现去噪等功能。  (3)对网络进行轻量化设计  在确保画质提升效果的基础上，对深度学习模型进行轻量化处理，降低其计算复杂度和内存需求。采用诸如动态稀疏卷积核等先进技术，减少模型的参数数量和计算负担；此外，通过量化压缩或混合精度处理对模型进行压缩，使模型适合于资源受限的移动设备，如智能手机、机器人和自动驾驶系统。  (4)进行实际传感器数据的画质测试及计算复杂度评估  对轻量化后的模型进行实际测试，使用ToF传感器采集的数据评估模型的画质提升效果和计算效率。评估包括对比轻量化前后的画质差异、运行速度、功耗等指标，以确保模型在实际应用中的有效性和实用性。  **2.拟解决的问题**  本项目旨在解决当前三维图像传感器信号处理网络在轻量化方面的不足。目前，许多基于深度学习的方法虽然在画质提升方面效果显著，但它们往往具有较高的计算复杂度和功耗，这在资源受限的移动设备上尤为突出。这些问题包括但不限于：  (1)高功耗：现有的深度学习模型通常需要大量计算资源，导致在移动设备上运行时耗电量大。  (2)计算复杂度高：复杂的模型结构导致处理速度慢，不利于实时应用场景，如自动驾驶或机器人导航。  (3)模型尺寸大：大型模型难以部署在存储和内存受限的移动设备上。  (4)优化效率不足：现有模型对于ToF传感器的特定需求优化不足，可能无法充分发挥传感器的潜能。  **3.预期成果**  项目的核心目标是实现三维图像传感器信号增强网络的轻量化，以提升模型在移动设备上的应用潜力。预期成果包括：  (1)降低功耗：通过轻量化设计，大幅减少模型在移动设备上的能耗。  (2)提升处理速度：简化网络结构，减少计算量，实现快速处理，以适应实时应用需求。  (3)减小模型参数量：通过剪枝、参数量化等技术减小模型尺寸，使其适合于存储和内存受限的设备。  (4)优化模型效率：定制化模型设计，针对ToF传感器的特点进行优化，提高其在特定应用场景下的效能。  (5)实用性验证：通过实际传感器数据对模型进行全面评估，尝试在移动端部署模型，确保其在真实应用环境中的有效性和实时性。 （6）项目研究进度安排 **第一季度项目研究安排**  文献调研和基础学习  (1)深入研究相关文献，包括三维图像传感器技术、深度学习在图像处理中的应用，特别是ToF传感器数据的处理。  (2)学习前人在该领域的研究基础，包括已有的方法和技术难点。  **第二季度项目研究安排**  1.三维图像传感器数据分析  (1)收集和分析ToF传感器采集的数据，包括深度图和三维点云。  (2)识别和分析成像过程中的潜在问题，如噪声等。  (3)基于分析结果设计初步的数据处理策略。  2.初步神经网络模型设计  (1)开始设计用于画质提升的初步深度神经网络。  (2)实施初步的去噪和图像质量提升实验。  **第三季度项目研究安排**  1.建立有效的神经网络进行画质提升  (1)完善深度神经网络模型，优化其在画质提升方面的性能。  (2)进行深入的实验，以验证模型在不同场景下的效果。  (3)开始探索网络轻量化的可能性。  2.网络轻量化初步实验  (1)初步尝试对神经网络进行轻量化处理。  (2)评估轻量化对画质提升效果的影响。  **第四季度项目研究安排**  1.对网络进行轻量化设计  (1)完成神经网络模型的轻量化设计。  (2)优化模型以降低计算复杂度和功耗，同时保持画质提升效果。  2.进行实际传感器数据的画质及计算复杂度评估  (1)使用实际ToF传感器数据进行综合测试，评估轻量化后模型的性能。  (2)对比轻量化前后的画质、处理速度和功耗，以确保模型的有效性和实用性。  (3)准备项目结题报告与结题答辩，整理研究成果与实验数据，进行对未来工作的展望。 （7）已有基础 **与本项目有关的研究积累和已取得的成绩**  1.基于ToF成像原理，提出confidence-aware graph Laplacican regularization（CGLR）作为信号先验，与深度神经网络的结合得到DeepCGLR网络。一方面利用DNN增强信号先验的准确性，同时通过信号先验限制DNN的解空间，提升模型泛化能力，结果相比现有方法在FLAT数据集上MAE指标提升77.2%。  2.面向图神经网络（GNN）的图结构及参数稀疏化，提出一种自适应的图神经网络联合稀疏框架（简称AdaGLT），从而进行网络轻量化。该方法针对不同数据集和GNN的层自适应稀疏结构，以支持更深层的GNN；将剪枝和训练过程整合，实现动态工作流程，包括剪枝和恢复；自动识别不同稀疏级别的图彩票，无需广泛的剪枝参数调整。理论上证明了AdaGLT能够在深层GNN场景中缓解过平滑问题，并获得改进的稀疏结构，结果在Cora、Citeseer、PubMed等数据集上均超过现有方法。  **已具备的条件，尚缺少的条件及解决方法**  **1.已具备的条件**  (1)与本项目有关的研究积累和已取得的成绩  ①基于ToF成像原理，提出confidence-aware graph Laplacican regularization（CGLR）作为信号先验，与深度神经网络的结合得到DeepCGLR网络。  ②面向图神经网络（GNN）的图结构及参数稀疏化，提出一种自适应的图神经网络联合稀疏框架（简称AdaGLT），从而进行网络轻量化。  (2)指导老师在相关领域有着较高的研究水平，能够给予我们专业指导。  (3)随着计算机科学技术的发展，有关三维成像与传感技术的相关文献与参考资料丰富，便于我们查阅相关资料以获取专业指导。  (4)团队拥有符合本项目研究的技术基础。  **2.尚缺少的条件及解决方法**  (1)本项目成员均为本科二年级学生，相关的专业基础知识和科研经历较少，应大量查阅相关的文献资料，努力提高相关专业领域的知识水平，提升科研素养。  (2)缺少kinect v2或Azure Kinect传感器用于ToF数据采集，可以使用经费购置相关设备。  (3)缺少足够的图形计算资源（GPU），可以考虑申请电子与信息工程学院的机房机器使用。 |

#### 三、经费预算

| **开支科目** | **预算经费（元）** | **主要用途** |
| --- | --- | --- |
| 预算经费总额 | 10000.00 | 项目研究经费 |
| 专用设备费  （购置、维修、租赁） | 4000.00 | 购置Kinect或realsense传感器、租用服务器等 |
| 材料费 | 500.00 | 购买专业书籍和资料等 |
| 测试化验加工费 | 0.00 | 无 |
| 差旅费 | 500.00 | 差旅费等 |
| 会议费 | 0.00 | 无 |
| 国际合作与交流费 | 0.00 | 无 |
| 出版/文献/信息传递/知识产权事务费 | 5000.00 | 专利费、会议注册费、学术论文发表费用等（若预算充足） |
| 劳务费  （含专家咨询费） | 0.00 | 无 |

#### 四、项目组成员签名

|  |
| --- |
|  |

#### 五、指导教师意见

|  |
| --- |
| **导师（签章）：**  **年        月        日** |

#### 六、院系大学生创新创业训练计划专家组意见

|  |
| --- |
| **教学负责人（签章）：**  **年        月        日** |

#### 七、学校大学生创新创业训练计划专家组意见

|  |
| --- |
| **负责人（签章）：**  **年        月        日** |

|  |  |
| --- | --- |
|  | 15 / 15 |