

基于嵌入式 GPU 的计算机视觉创新实验装置

肖成勇¹, 李擎¹, 栗辉¹, 崔家瑞¹

(1. 北京科技大学自动化学院, 北京 100083.)

摘要: 为满足智能制造背景下高校计算机视觉课程实践教学与时俱进的需求, 研制了基于嵌入式 GPU 的计算机视觉创新实验装置, 使得面向深度学习的计算机视觉创新实验可以在实验室规模配置。结合智慧矿山科研成果, 设计了矿石块度分布检测教学案例, 并应用于自动化、人工智能、计算机科学与技术 and 机械工程 4 个本科专业的实践教学。实践证明, 该装置有效提升了学生创新和解决计算机视觉领域复杂工程问题的能力。

关键词: 嵌入式 GPU; 智能制造; 深度学习; 计算机视觉; 实验装置

中图分类号: G642.0

文献标识码: A

Innovative Embedded GPU-Based Computer Vision Experimentation Device

XIAO Chengyong, LI Qing, LI Hui, CUI Jiarui

School of Automation & Electrical Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

Abstract: Under the background of intelligent manufacturing, computer vision experimental device based on embedded GPU is developed to meet the needs of practical teaching of computer vision courses in colleges and universities, So the computer vision innovation experiment for deep learning can be configured on the scale of the laboratory. Combined with the scientific research achievements of smart mine, a teaching case of ore block size distribution detection is designed on the platform and applied to the practical teaching of four undergraduate majors, automation, artificial intelligence, mechanical, and computer. The application results show that students' ability to innovation, and solving complex engineering problems in the field of computer vision have been improved effectively.

Key words: embedded GPU; intelligent manufacturing; deep learning; computer vision; experimental device

1 引言

智能制造作为“中国制造 2025”的主攻方向, 是促进我国传统制造业向智能化制造转型升级, 实现我国由制造大国向制造强国跨越的重大战略政策^[1]。计算机视觉在智能制造工业检测中发挥着检测识别

和定位分析的重要作用，为提高工业检测的速率、准确率、自动化以及智能化做出了重要贡献^[2]。

为培养计算机视觉人才，很多高校开设了计算机视觉、数字图像处理等课程。随着 GPU 的普及和算力的增加，深度学习算法已成为如今计算机视觉的标配^[3]，目标检测^[4-6]、工业检测^[7]、图像分割^[8]、图像理解^[9]等都用到深度学习方法。计算机视觉课程也与深度学习技术紧密联系，成为一门重要的、课程内容与时俱进的自动化、人工智能和计算机专业课程。但是深度学习对计算机硬件条件要求高，高性能显卡体积大，功耗高及售价贵，使其难以在高校实验室规模配置。为满足高校计算机视觉实践教学的需求，提升学生计算机视觉的创新和实践能力，基于嵌入式 GPU^[10-12]设计开发了一款成本低、功耗低、体积小、通用性、开放性与可扩展性强的计算机视觉创新实验装置。

2 计算机视觉创新实验装置

2.1 硬件设计

计算机视觉创新实验装置采用主板+扩展板的形式进行设计，总体框图如图 1 所示。

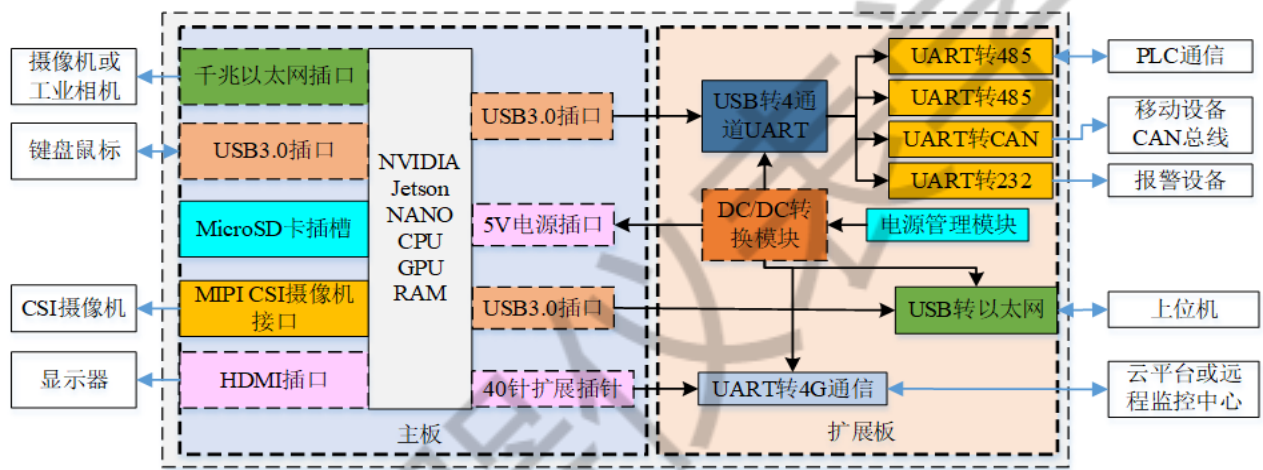


图 1 计算机视觉创新实验装置总体框图

2.2 嵌入式 GPU 介绍

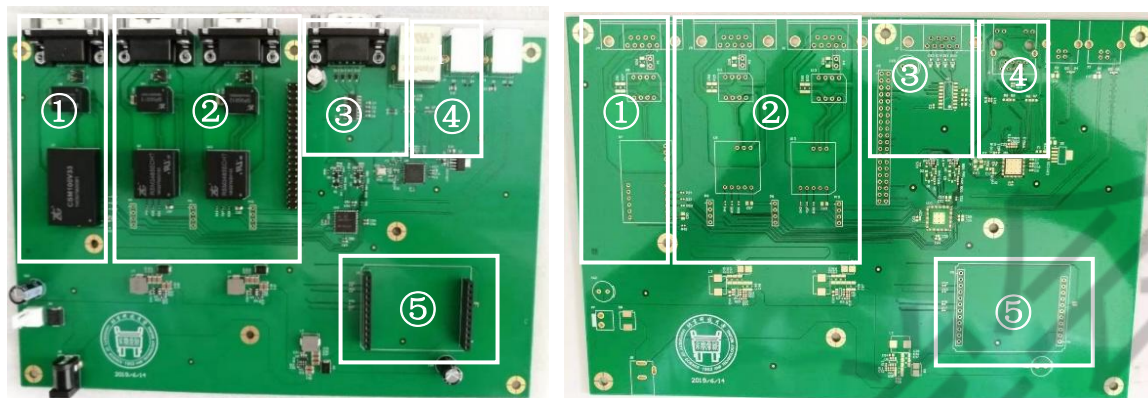
主板采用 NVIDIA 的高性价比器件 Jetson Nano，技术参数如表 1 所示。

表 1 Jetson Nano 技术参数

内置模块	技术参数
CPU	64 位 ARM A57@1.43GHz
GPU	128 个 CUDA 核心的 NVIDIA Maxwell@921MHz
内存	4GB LPDDR4 内存
视频编码器	4Kp30 (4×)1080p30 (2×) 1080p60
视频解码器	4Kp60 (2×)4Kp30 (8×) 1080p30 (4×)1080p60

2.3 扩展板电路

为了保证实验装置的通用性、开放性与可扩展性，扩展板利用 CP2108 将主板的 1 个 USB 口扩展出 4 个 UART 口，然后分别通过 RSM3485EHT、CSM100V33 和 TIMAX3232 转换为 2 个 RS485、1 个 CAN 和 1 个 RS232 口。再通过 LAN9500A 将主板的 1 个 USB 口转换为以太网接口。通过 Gport-G43 将主板上 GPIO 的 UART 针转换为 4G 通信接口。扩展板实物如图 2 所示。



(a) 扩展板顶面功能模块外观

(b) 扩展板底面电路图

①CAN 扩展 ②2 个 RS485 扩展 ③RS232 扩展 ④以太网扩展 ⑤4G 插口

图 2 扩展板实物图

(1) 电源管理模块

电源管理模块主要为 Jetson Nano 主板及扩展板电路供电。在实验装置中，需要使用+12V、+5V、和+3.3V 的直流稳压电源，本设计使用开关电源将 220V 转化为+12V 直流电源，其中，核心主板、4G 和以太网转换器件需要+5V 电源，另外部分外围器件需+3.3V 电源，为简化系统电源电路的设计，使用多个 SCT2331 做直流电压变换。

(2) USB 转多个串口接口

利用 CP2108 将主板的 USB3.0 接口转换成 4 个串口，用于扩展 CAN、RS485 和 RS232 接口。

(3) USB 转以太网扩展接口

高清网络摄像机是目前视频影像采集的主流设备，主板相应地提供了 USB、MIPI CSI2 和千兆以太网接口标准，在很多场景下，主板原有的千兆以太网接口经常被高清摄像机占用，为了使设备具备更好的通用性，方便接入有线网络，本装置利用 LAN9500AI 将主板的另一个 USB3.0 扩展为 1 个以太网接口。

(4) 485 扩展电路

485 是经常使用的工业现场总线之一，可以通过 485 总线将装置计算和分析结果传输到 PLC 控制器，利用 RSM3485EHT 将扩展出的 2 个串口转换成 2 路 485 接口。

(5) CAN 接口电路

CAN 具有可靠性高、成本低廉、使用普遍、方便应用到汽车等移动设备的特点，是一种应用广泛的工业现场总线。为了拓展嵌入式计算机视觉的应用范围，扩展了 CAN 接口，利用 CSM100V33 将 USB 转换的 1 路串口转换成 CAN，用来将深度学习计算和分析结果接入移动设备控制网络。

(5) 4G 通信模块电路

随着工业发展，嵌入式设备接入网络的需求日益强烈，在没有有线网络的环境下，通常通过 4G 连接运营商网络，因此扩展了 4G 通信接口，利用 Gport-G43 将主板上 GPIO 的 UART 转换扩展为 4G 通信接口，用于将实践教学过程和结果数据通过 4G 网络传输到实践教学管理平台。

2.4 计算环境设置

为了简化实践教学过程，本装置预先在计算机视觉创新实验装置中布置以下环境用于实践教学：

操作系统：Ubuntu 18.04

内存：64GB

Python 版本：Python3.7

深度学习框架：Keras+Tensorflow+Pytorch

编码环境：Jupyter Notebook

Python 包：jampell, contractions, spacy, json, numpy, paddle, smtplib, pyserial, threading 等。

3 实践教学案例

针对自动化、计算机科学与技术、人工智能和机械工程 4 个专业计算机视觉等 5 门课程相关的知识点，设计了 5 大类，共 29 个实验项目，如表 2 所示。

表 2 案例设计及支撑课程

实验 模块	实训 案例	支撑 课程	服务 专业
图 像 处理类	阈值分割	数字图 像处理 技 术	人工智能、 计算机科学 与技术
	边缘提取		
	图像滤波		
	边缘检测		
	角点检测		
	直线检测		
	圆弧检测		
	工件特征点检测		

工件尺寸测量			
尺 寸 测量类	齿轮齿长测量	计算机 视 觉	人工智能、
	连通域面积测量		计算机科学
	椭圆拟合		与技术
	角度测量		
工件歪齿检测			
缺 陷	划痕检测	机器	自动化、
检测类	啤酒瓶盖缺陷检测	视觉	机械工程
	焊点检测		
印刷体字符识别			
产品序列号识别			
模 式	目标识别分类	模式	人工智能、
识别类	细胞识别	识别	计算机科学
	基于卡尔曼滤波的目		与技术
	标跟踪		
矿石块度分布检测			
工 程 综	矿物类型自动识别		计算机科学
合 创 新	输送带表面检测	机器	与技术、
实 验	输送带跑偏检测	学习	人工智能
	输送带纵向撕裂检测		
	球团生球粒径检测		

其中工程综合创新实验结合项目组多年的智慧矿山科研成果，以满足智慧矿山所涉及的计算机视觉感知需求为出发点，以加强创新、工程实践能力培养为核心，坚持教学与科研相结合，本文以矿石块度分布检测为例，详细介绍实践教学案例。

矿石块度是选矿生产中的重要技术指标，反应了破碎过程中各级破碎机的工作状况，决定了整个选矿过程的生产质量和效率。近年来随着计算机视觉技术，特别是深度学习的发展，开始逐渐应用到矿石块度在线检测中^[13]。本案例设计的矿石块度检测实验是使用计算机视觉创新实验装置自动分析从摄像机获取的图像序列，使用机器学习算法对图像中的矿石进行分割，计算矿石块度尺寸，统计矿石块度分布，对超出设定阈值的矿石块自动预警。本案例包括图像读取、边缘分割、块度计算、块度分布统计和报警等五

个模块。图 3 显示了案例处理图像序列的流程与框架，系统读取图像后，首先检测并跟踪图像中的矿石目标，然后对矿石边缘进行分割，再进行等效直径和块度分布计算，最后对出现的大块进行预警。

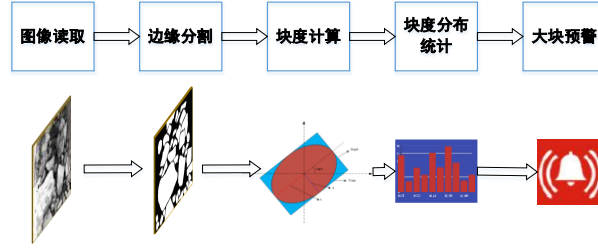


图 3 矿石块度分布检测案例的处理框架

(1) 图像读取模块。由于案例主要面向教学，为了简化过程，图像读取模块主要读取已经标注和预处理后的样本集，为了保证算法能够快速稳定运行，图片已经处理为 256*256 像素。

(2) 边缘分割模块。边缘分割模块用来对图像中矿石边缘进行分割，是后续块度计算、统计和预警的基础。目前有基于阈值、基于边缘、基于区域和基于深度学习的语义分割 4 类算法，由于前三类分割方法大多是基于图像本身的低阶视觉信息，计算复杂度低，而矿石图像存在目标和背景相似的特点，并且常常会有阴影等问题，因此这些方法很难在矿石图像分割这类复杂分割任务上取得令人满意的效果，而深度学习对大量标注样本的学习，可以获得具有较强鲁棒性的图像分割模型。为了让学生对边缘分割各种算法有更好的理解，实践教学管理平台上建立了算法模型库，可以提供 Canny、Sobel、Prewitt 边缘检测算子、分水岭、形态学和 VGGNet、GoogLeNet、ResNet、UNet 等算法供学生调用，并且鼓励学生设计自己的深度学习算法提升矿石分割精度和速度。

(3) 块度计算模块。矿石块度是指矿石所占空间大小的尺度，通常用面积径来表示。面积径是矿石在图片上占有的像素数，实际面积 $S=m \cdot G$ ， m 表示像素个数， G 表示每个像素大小。

$$\text{面积径: } D_s = 2\sqrt{S/\pi}$$

其中 S 为矿石的实际面积。

(4) 块度分布统计模块。由于采集的矿石图像是由许多矿石块组成，使用矿石块度分布来反映所有矿石的尺寸分布规律。为了表示块度分布，从小到大按一定的规则选多个代表块度尺寸， $x_1, x_2, \dots, x_n$ 组成一定的块度区间 $[x_1, x_2]$, $[x_{n-1}, x_n]$ ，采用各块度区间内的矿石数量表征矿石块的频度分布 $f_1, f_2, \dots, f_n$ ， $\sum_{i=1}^n f_i = 1$ ，其中

$$f_i = \frac{\text{块度在区间}[x_{i-1}, x_i]\text{内的矿石数量}}{\text{矿石总数量}}$$

(5) 预警显示模块。块度计算模块一旦检测到矿石面积径超过设定阈值，系统给出报警提示，并将报警记录到日志。报警事件记录要素包括报警类别、时间以及报警时刻的图片。

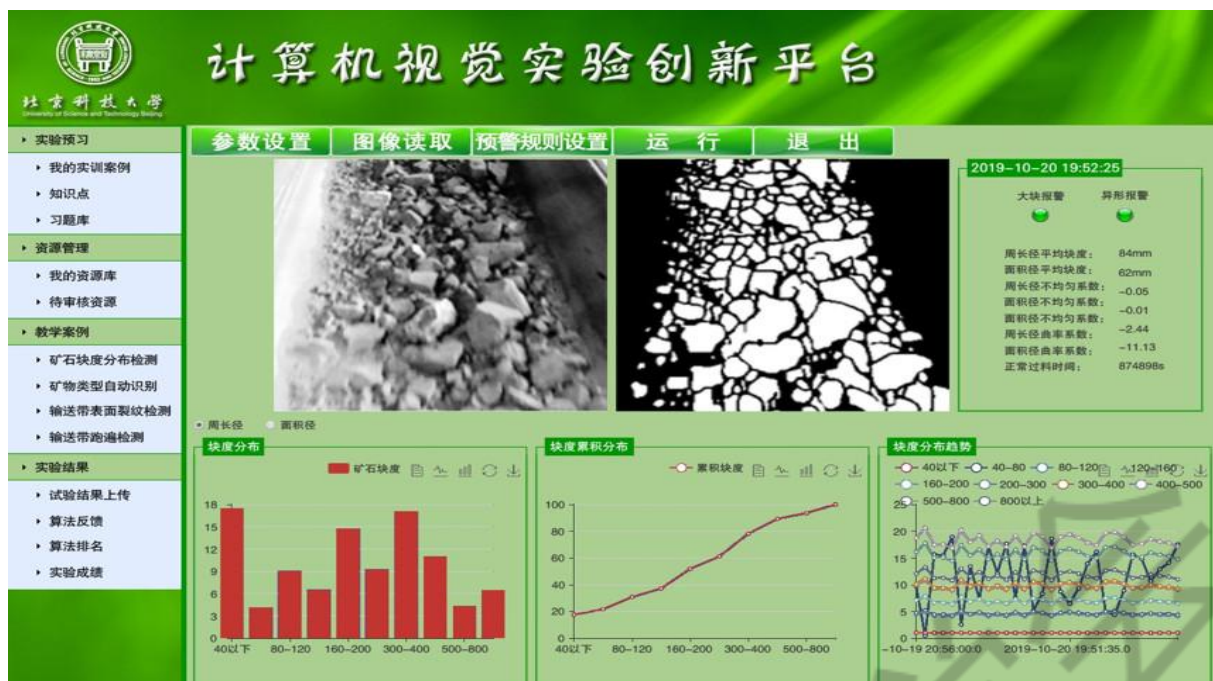


图 4 人机交互及教学管理界面

案例设计了人机互动的 GUI 用户界面，如图 4 右侧所示，实现了图像读取、边缘分割、块度计算、块度分布统计和报警等功能，并对结果进行可视化展示。首先，学生根据所选的教学案例设计算法和设置参数。其次，学生导入待处理的图像。再次，学生根据案例要求设置大块报警规则。最后点击运行，即可在界面上观察到边缘分割、块度分布、块度累积分布、块度分布趋势和报警处理结果，加深对算法和实验结果的理解。

4 建设成效

装置由教师整体设计学生参与，三年来覆盖了自动化、人工智能、计算机科学与技术 and 机械工程 4 个专业，支撑了 5 门课程的 29 个实验项目，共 1500 余人次的实验教学工作，全方位提升了学生的动手实践能力、创新意识和解决复杂问题的能力。在实验装置研制过程中授权发明专利 2 项，登记软件著作权 4 项。在实验装置支撑下，学生在 2019 年和 2020 年 CCF 大数据与计算智能大赛、Kaggle 商业竞赛和“天池大数据竞赛”三次获得一等奖。

5 结语

智能制造背景下，设计并实施了基于嵌入式 GPU 的计算机视觉创新实验装置和实践教学案例，具有以下特色：①基于嵌入式 GPU 的面向深度学习算法的计算机视觉计算硬件装置和软件系统；②支撑了计算机视觉、数字图像处理和机器学习等多门核心课程和相关专业的实践教学。实践证明，该装置有助于学生理解计算机视觉，特别是深度学习相关的理论和实用价值，拓展了学生的视野、激发了学生的想象力，提升了学生创新实践能力。

参考文献

- [1] 周济. 智能制造-“中国制造 2025”的主攻方向[J]. 中国机械工程,2015,26(17):2273-2284.
- [2] 雷林建,孙胜利,向玉开,等. 智能制造中的计算机视觉应用瓶颈问题[J]. 中国图像图形学报,2020,25(07):1330-1343.
- [3] 张政旭,庞为光,谢文静,等. 面向实时应用的深度学习研究综述[J]. 软件学报,2020,31(9):2654-2677.
- [4] 邹勇搏,陈明,冯国富. 基于嵌入式 GPU 的低功耗渔船驾驶舱人员检测方法[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2020,51(2):289-293.
- [5] 柳佳园. 基于嵌入式异构 GPU 平台的实施目标检测系统设计[D]. 山东:山东大学,2019.
- [6] 张乾,肖永菲,杨玉成,等. 基于计算机视觉的室外停车场车位检测实验设计[J]. 实验技术与管理,2019,36(7):138-140+146.
- [7] 崔光茫,赵巨峰,辛青. 基于工业生产设备表面缺陷检测的实验设计[J]. 实验室研究与探索,2017,36(4):164-166+244.
- [8] 张刚,马震环,雷涛,等. 基于嵌入式 GPU 的运动目标分割算法并行优化[J]. 应用光学,2019,40(6):1067-1065.
- [9] 周自维,王朝阳,徐亮. 基于融合门网络的图像理解算法设计与应用[J]. 光学精密工程,2021,29(4):906-915.
- [10] 杜慧敏,顾文宁,张霞. 基于 FPGA 的深度学习分类算法高效实现[J]. 计算机工程与设计,2019,40(12):3425-3430.
- [11] 程福安,魏舜昊,徐帅,等. 基于嵌入式技术的机器视觉系统设计与应用 [J]. 工业控制计算机,2020,33(2):59-60.
- [12] 杜慧敏,顾文宁,张霞. 基于 FPGA 的深度学习分类算法高效实现[J]. 计算机工程与设计,2019,40(12):3425-3429.
- [13] 柳小波,张育维. 基于 U-Net 和 Res_UNet 模型的传送带矿石图像分割方法[J]. 东北大学学报,2019,40(11):1623-1629