

BCOC：资源受限AI天文望远镜STEM框架

Upendra Dhungana 崇志宏

东南大学计算机科学与工程学院，南京 210096

摘要 资源受限地区 STEM 教育面临“设备昂贵、网络依赖、AI 黑盒”三重落地困境。本文提出 BCOC（构建-定制-操作-贡献）四阶段教学框架，搭建低成本、全离线、AI 透明的天文望远镜 STEM 教学系统，包含渐进式硬件组装、可视化参数配置、离线多语种辅导与学生共识纠错四大核心模块。系统测试表明：学生累计提交 460 条 AI 纠错记录，天体识别准确率由初始 47.8% 提升至 81.5%。BCOC 框架为资源短缺地区提供了可复制、低成本的 STEM 教学新范式。

关键词 STEM 教育；边缘 AI；自动化天文望远镜；建构主义学习；离线大模型

BCOC: An AI Robotic Telescope STEM Framework for Resource-Limited Regions

Upendra Dhungana Zhihong Chong

School of Computer Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China

upendradhungana200@gmail.com; chongzhihong@seu.edu.cn

Abstract—STEM education in resource-limited regions faces three intertwined barriers: expensive equipment, internet dependency, and opaque AI. This paper proposes the BCOC (Build-Customize-Operate-Contribute) four-stage teaching framework, and constructs a low-cost, fully offline, AI-transparent robotic telescope STEM system. The framework integrates progressive hardware assembly, visual parameter configuration, offline multilingual tutoring, and student consensus-based AI correction. Student testing shows 460 AI correction entries submitted, improving celestial recognition accuracy from 47.8% to 81.5%. BCOC provides a replicable, low-cost STEM teaching paradigm for resource-deprived regions.

Keywords—STEM education; edge AI; robotic telescope; constructionist learning; offline large language model

1 引言

STEM 教育融合科学、技术、工程、数学多学科内容，是创新型人才培养的核心路径。自动化天文望远镜集成物理光学、机械传动、电子传感、嵌入式编程与人工智能技术，能够让学生在完整工程实践场景下完成传感器校准、电机闭环控制、算法调试，是优质跨学科 STEM 教学载体 [1-2,5]。

但在资源受限区域，天文 STEM 教学普及存在明显阻碍。以尼泊尔乡村教育现状为例，77% 乡村学校无稳定网络，仅 12% 配备标准化科学实验室，城市学校实验室配备率达 68%[3-4]。商用天文设备售价 600–4300 美元且依赖云端算力；成品智能望远镜为封闭黑盒无法修改底层算法；传统 DIY 望远镜跟踪精度仅 0.5° – 2° ；远程观测方案必须联网，学

生缺少实体实操机会 [9-10]。

针对以上痛点，本文提出 Build-

Customize-Operate-Contribute（BCOC）四阶段教学框架，以低成本、全离线、算法透明、学生共建为设计核心，搭建学生主导 AI 迭代优化的天文望远镜教学体系。依托尼泊尔校园实地完成原型开发与教学验证。图 1 展示系统全套硬件实物。



图 1 DIY 牛顿反射式望远镜系统硬件组成。

(来源：作者拍摄)

本文的主要贡献在于:

(1) 提出 BCOC 四层闭环教学框架, 将建构主义、认知学徒制与有效失败理论系统应用于天文 STEM 教学;

(2) 设计并实现了全离线、AI 透明的低成本天文望远镜系统 (硬件成本 \$367), 验证了其在无网络环境下的技术可行性;

(3) 通过 110 名学生的实地教学实践, 证明了学生参与 AI 迭代的有效性 (识别准确率 47.8%→81.5%);

(4) 为资源受限地区提供了一套可复制、低成本的 STEM 教学范式。

2 BCOC 框架设计与技术实现

2.1 教学问题拆解与 BCOC 映射

资源受限地区天文 STEM 教学困境可拆解为四个具体问题:

(P1) **设备价格过高**: 商用设备 \$600–\$4300, 超出多数乡村学校预算;

(P2) **网络依赖**: 云端 AI、在线星图、远程观测均需稳定互联网 (77% 乡村学校无网络);

(P3) **算法黑盒**: 成品设备不开放代码, 学生无法理解控制与识别逻辑;

(P4) **学习被动**: 学生仅为操作者而非参与者, 缺乏迭代优化机会。

上述四个问题分别对应 BCOC 的四层设计。四层并非并列关系, 而是从硬件到认知、从基础到高阶的递进闭环。

表 1 教学问题与 BCOC 层映射

问题	BCOC 层	解决机制
P1 设备昂贵	Build	低成本标准化方案 (\$367)
P2 网络依赖	Operate	全离线边缘 AI 部署
P3 算法黑盒	Customize	JSON 可视化参数配置
P4 学习被动	Contribute	学生参与 AI 纠错迭代

2.2 四层设计与理论基础

BCOC 框架遵循透明性、可定制性与可贡献性三大技术设计准则。其设计以建构主义学习理论、认知学徒制与有效失败理论为根基, 建立技术功能与教学环节的一一映射。

构建层 (Build) 将 Papert 的“做中学”理念

具象化为 12 步渐进式硬件组装任务 [5]。学生从 LED 闪烁、电位器调光等基础电子实验出发, 逐步完成双 IMU 姿态融合、背隙补偿与天文坐标解算。每一步都设置“预测-验证-修正”循环 (如“为什么 LED 不亮? → 检查电路 → 理解分压原理”), 使抽象知识在问题解决中被建构。

定制层 (Customize) 借鉴 Collins 认知学徒制的“专家思维显性化”策略 [6], 将 PID 增益、AI 融合权重等本应隐藏在代码中的专家决策, 以 JSON 配置文件形式可视化。学生无需编程即可调整 Kp、Ki、Kd 等参数并实时观察响应变化, 实现“专家-学徒”边界的消解。

运行层 (Operate) 基于边缘计算架构, 将大模型与检测模型全部部署于树莓派 5 本地。这不仅回应了 77% 乡村学校无网络的现实约束, 更确保了 AI 决策过程完全透明——学生可查看置信度、特征图等中间结果, 避免云端 API 带来的“算法黑盒”问题。

贡献层 (Contribute) 将 Kapur 的有效失败理论应用于 AI 模型迭代 [8]: 允许学生在安全沙箱环境中“挑战”AI 的判断, 通过识别错误、诊断原因、提交修正的完整流程, 将“失败”转化为深度学习体验。三人共识机制保障标注质量, 创造协作讨论的契机。

2.3 技术实现

构建层通过 12 步渐进式硬件组装完成整机搭建, 分为电子基础、电机控制、融合校准与天文集成四个递进阶段 (表 2)。定制层允许学生直接修改 JSON 文本完成 PID 参数设置:

```
{ "azimuth": { "Kp": 1.2, "Ki": 0.05, "Kd": 0.3 },  
  "altitude": { "Kp": 0.8, "Ki": 0.03, "Kd": 0.2 } }
```

运行层在树莓派 5 本地部署 Qwen2.5-1.5B、DeepSeek R1-1.5B 与 TinyLlama-1.1B 三款轻量化大模型, 实现全离线多语种教学答疑。贡献层建立学生提交错误 → 三人共识审核 (≥2 人有效) → 累计 100

条后自动重训练的完整链路。

系统硬件采用总成本 367 美元的标准化方案: 4GB 树莓派 5 主控, 双 WT901 九轴 IMU, 带背隙补偿的 12V 减速电机, 114mm f/4.4 牛顿反射镜, 胶合板多布森底座, 12V 铅酸电池 (26 小时续航)。图 2 展示光学组件与主控实物。

表 2 渐进式硬件组装 12 步流程

步骤	任务名称	阶段
1	LED 闪烁	电子基础
2	电位器调光	电子基础
3	按键控制	电子基础
4	电机调速	电机控制
5	编码器读取	电机控制
6	闭环控制	电机控制
7	IMU 姿态读取	融合校准
8	双 IMU 融合	融合校准
9	背隙补偿	融合校准
10	星历解算	天文集成
11	坐标转换	天文集成
12	整机联调	天文集成



图 2 光学部件与树莓派 5 主控制器。

(来源: 作者拍摄)

软件层面, 双IMU 卡尔曼滤波降低静态噪声 96%, PID+ 背隙补偿将机械误差从 6.9° 压缩至 1° 以内, As-troPy 实现实时坐标转换; 天体检测采用混合集成架构

(经典视觉 + 两路冻结 YOLOv8n+ 可训练学生模型), INT8 量化后模型体积缩减 73%, 单帧推理 45ms; 离线大模型多语种问答准确率 92%。经 50 次四小时连续验证, 核心性能: 跟踪 RMS 精度 0.062° , 检测 F1 值 0.87, 功耗 4.2W, 离线可靠性 94%。

表 3 BCOC 四层教学逻辑总结

BCOC 层	理论依据	核心活动	能力目标
Build	Papert 建构主义	12 步渐进组装	知识建构
Customize	Collins 学徒制	JSON 参数调试	专家思维
Operate	边缘 AI	离线观测运行	系统集成
Contribute	Kapur 有效失败	AI 纠错迭代	AI 素养协作

3 教学实践与效果分析

依托 AWB 尼泊尔国家协调工作身份, 笔者于 2026 年 5 月在乡村、城郊与城市三类学校开展实地教学验证, 参与学生合计 110 人, 覆盖无稳定网络、频繁中断与稳定可用三种条件, 教学时长 1-2 天。AWB 社区界面见图 3。



图 3 AWB 全球天文科普社区。

(来源: AWB 官方截图)

表 4 实地验证场景信息

学校类型	网络条件	参与人数	教学时长
乡村学校	无稳定网络	35	2 天
城郊学校	网络频繁中断	42	2 天
城市学校	网络稳定可用	33	1 天

学生分组完成 IMU 接线与姿态读取、底座组装校准、夜间观测与纠错提交三项任务: 85% 小组完成电子连接, 70% 达成机械组装标准, 84% 完整走完观测纠错流程。系统在完全断网条件下全功能正常运行。

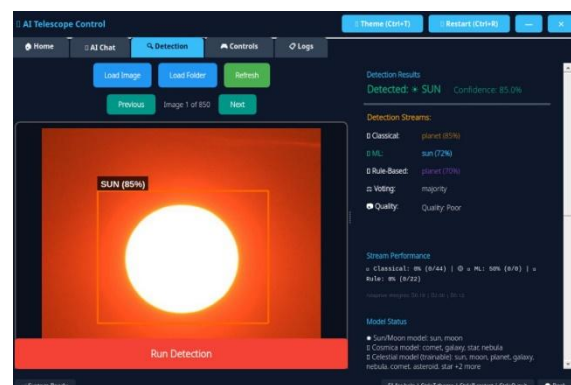


图 4 学生操作与标注后的 AI 天体检测界面 (检测到太阳, 置信度 85%)。

(来源: 系统截图)

图 4 展示了学生在观测与标注操作后, 系统 AI 检测界面的实际运行效果。界面中混合模型

成功检测到太阳 (Sun), 综合置信度达 85.0%。系统同时显示经典视觉、机器学习与规则基三条检测流的结果及自适应权重, 学生可直观对比不同方法的优劣。右侧“Celestial model (trainable)”标识表明该模型已积累学生标注数据, 持续迭代优化。该界面集中体现了BCOC的透明性设计——学生不仅看到检测结果, 还能追溯置信度来源与模型决策依据。学生累计提交 460 条 AI 纠错记录, 经三人共识审核后驱动可训练模型更新, 天体识别准确率由初始 47.8% 提升至 81.5%。系统工作流程涵盖硬件传感、闭环控制、AI 检测与学生贡献四个环节, 形成可持续改进的教学生态 (图 5)。

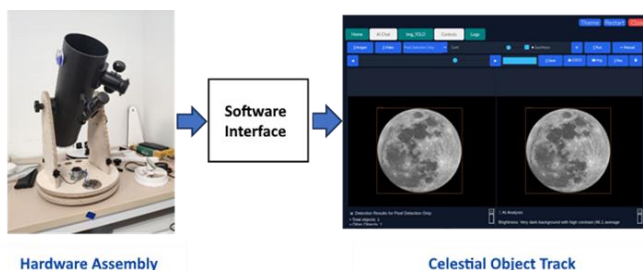


图 5 系统集成工作流程。

(来源: 作者绘制)

BCOC 的构建层使学生全程动手实践, 契合 Papert 建构主义 [5]; 贡献层培养 AI 素养 [13-14]; 低成本、全离线、标准化特征便于批量复制。

本研究未设置前后测对照组, 原因有二: 乡村学校缺乏网络基础设施无法设置严格对照组; 研究处于原型验证阶段。为弥补局限, 采用多源交叉验证: 50次 4 小时连续测试验证可靠性; 460 条纠错记录反映参与深度; 识别准确率提升反映贡献有效性。

研究局限包括: 单台原型验证; 研究者本人授课; 验证周期较短; 助手仅支持中英双语; 缺乏严格对照实验。长期育人效果将在后续学期尺度对照实验中评估。

4 结束语

本文提出 BCOC 教学框架, 搭建低成本 (\$367)、全离线、学生可参与 AI 迭代的自动化天文望远镜 STEM 教学体系。110 名学生实地测试显示: 提交 460 条纠错记录, 识别准确率由 47.8% 提升至 81.5%。

未来工作: (1) 学期尺度对照教学实验 (实验班 BCOC vs. 对照班传统方案), 测量知识掌握、计算思维、学习动机; (2) 批量原型制造与一致性验证; (3) 尼泊尔语大模型本地化适配; (4) 教师标准化手册编制与

可迁移性验证。

参考文献

- [1] Fitzgerald M T, et al. A review of robotic telescopes for education[J]. Publications of the Astronomical Society of Australia, 2014, 31: e030.
- [2] Smith A. Educational robotic telescopes: A systematic re-view[J]. Journal of Astronomy & Space Education, 2018, 5: 1-15.
- [3] Jones E. Low-cost robotic telescopes for rural STEM education[J]. International Journal of Science Education, 2020, 42(11): 1329-1347.
- [4] UNESCO. Global Education Monitoring Report 2023[R]. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2023.
- [5] Papert S. Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas[M]. New York: Basic Books, 1980.
- [6] Collins A, Brown J S, Newman S E. Cognitive apprenticeship[J]. American Educator, 1989, 15(3): 6-11.
- [7] Kriege D, Berry R. The Dobsonian telescope: A practical manual for building large aperture telescopes[M]. Richmond: Willmann-Bell, 2016.
- [8] Kapur M. Productive failure in learning[J]. Educational Psychologist, 2016, 51(2): 289-298.
- [9] Lee S, Park J. Remote telescope networks for underserved schools[J]. Journal of Educational Technology & Society, 2022, 25: 112-125.
- [10] Harbeck D R, et al. 2024: A year of transition for LCOGT[C]//ASP Conference Series, 2025.
- [11] Kumar R, Patel S. TinyML for real-time astronomical source detection[J]. Journal of Astronomical Instrumentation, 2024, 13: 2450012.
- [12] Ng C, et al. Quantized large language models on Raspberry Pi 5 for educational applications[J]. IEEE Access, 2024, 12: 112345-112358.
- [13] Holmes W, Bialik M, Fadel C. Artificial intelligence in education[M]. Boston: Center for Curriculum Redesign, 2019.
- [14] Zawacki-Richter O, et al. Systematic review of AI applications in higher education[J]. International Journal of Educational Technology in Higher Education, 2019, 16: 39.
- [15] 谭貌, 段斌, 周彦, 旷怡. 面向产出落实工程教育认证标准的院系机制与实践 [J]. 计算机技术与教育学报, 2023, 11(5): 16-20.
- [16] 方维, 袁宝库, 梁峰琦. 基于 PTA 平台的程序设计类课程教学改革实践 [J]. 计算机技术与教育学报, 2022, 10(3): 97-100.
- [17] 曾德真. 基于大数据技术的企业安全警报系统设计与实现[J]. 计算机技术与教育学报, 2022, 10(3): 1-8