

基于 LBS 的 AED 智能调度与实时定位系统设计与应用研究——“救位通”项目的实践探索

孙祖尧 郭鑫柯 王天阔 刘鑫章 闫红磊 李晓楠

承德医学院, 河北承德, 067000;

摘要: 目的: 针对院外心脏骤停抢救成功率低、AED 存在“难寻觅、调不快、状态不详”的核心痛点, 研发基于 LBS 的 AED 智能调度与实时定位系统——“救位通”。方法: 融合 LBS 定位、物联网、智能调度算法等技术, 构建“硬件终端+软件平台+服务体系”三位一体模式, 在河北省 12 所高校开展调研与试点验证。结果: 调研显示 92% 高校认为需要智能管理系统, AED 知晓率仅 27%; 系统定位测试显示室内平均误差 4.2 米, 响应时间从传统 8.2 分钟缩短至 2.5 分钟 (缩短 69.5%); 用户操作正确率达 91.7% (对照组 53.3%), 设备可用率 100%。结论: 系统显著提升 AED 调度效率与使用正确率, 具备政策适配性与市场推广价值。

关键词: LBS; AED; 智能调度; 实时定位; 院前急救; 智慧医疗

DOI: 10.69979/3041-0673.26.03.108

引言

心源性猝死是我国重大公共卫生问题。我国每年心源性猝死约 54.4 万例, 院外心脏骤停 (OHCA) 抢救成功率不足 1%, 远低于发达国家 11%-48%^[1]。“黄金 4 分钟”内使用自动体外除颤器 (AED) 除颤是提升成功率的关键, 1 分钟内施救成功率达 90%, 每延迟 1 分钟下降 7%-10%^[2]。然而, 我国 AED 普及应用存在多重障碍: 设备定位不清、调度联动不足、管理低效、公众急救能力欠缺^{[1][3]}。

国家政策持续推动智慧急救体系建设。国家卫健委明确提出依托互联网构建 AED 远程管理与调度导航联动系统, 教育部要求全国急救教育试点学校 2025 年前实现 AED 全覆盖并建立常态化急救教育机制^[4]。截至 2025 年, 全国已公布三批急救教育试点学校超 5000 所, 为校园急救智能管理系统创造了巨大的增量市场空间。

本研究针对上述背景, 研发基于 LBS (Location-Based Service) 的“救位通”AED 智能调度与实时定位系统, 结合河北省高校与公共场所 AED 配置现状, 从系统设计、核心技术、实践应用展开研究, 为 AED 智能管理与院前急救能力提升提供参考。

1 系统设计与方法

1.1 系统总体架构

“救位通”系统采用“硬件终端+软件平台+服务体系”三位一体架构, 涵盖四大核心模块, 形成从设备

感知到急救服务的完整闭环。

(1) AED 智能终端模块: 在传统 AED 基础上新增可视化屏幕与多语言语音提示功能, 通过 NB-IoT 物联网芯片实时采集设备位置、电量、电极片有效期等状态数据。

(2) LBS 智能调度平台: 包含移动端 APP 与管理端后台, 支持 AED 定位查询、一键呼救、智能派单并联动附近急救员, 实现与 120 指挥调度系统的信息互联。

(3) 急救服务体系: 提供线上线下培训、证书考核、设备租赁维护等增值服务, 降低高校单独采购维护的成本。

(4) 云端协同管理模块: 构建统一云平台, 打破信息孤岛, 实现设备、管理者、急救中心、公众的高效协同。平台采用微服务架构, 支持区域内乃至跨区域的 AED 资源整合。

1.2 核心技术

1.2.1 LBS 融合定位技术

系统整合 GPS、北斗与 Wi-Fi 指纹定位, 实现室内外无缝切换。针对教学楼、体育馆等复杂室内场景, 采用基于信号强度衰减模型的指纹定位算法, 结合惯性导航传感器数据进行卡尔曼滤波融合。参考多源数据融合方法优化高校场景 Wi-Fi 指纹定位算法, 结合楼层平面图将室内定位精度控制在 3-5 米, 满足《公共场所自动体外除颤器 (AED) 管理规范》中定位精度要求。

1.2.2 智能调度算法

基于 Dijkstra 最短路径算法与贪心策略构建调度模型,输入 AED 设备位置与状态、持证急救员实时位置、事发地点坐标,综合多因素 1 秒内生成最优救援方案。研究表明,扩大调度范围可提升生存率,但在 800 米范围内效果最佳,优先调度有技能的急救员可使生存率提升 16%^[5]。本研究的算法核心公式为:

$$F(n)=\alpha \cdot D(n)+\beta \cdot T(n)+\gamma \cdot R(n)+\delta \cdot S(n)$$

其中, $D(n)$ 为距离成本, $T(n)$ 为时间成本, $R(n)$ 为设备可靠性系数, $S(n)$ 为急救员技能等级系数, α 、 β 、 γ 、 δ , 为权重参数,权重经河北省 12 所高校数据迭代训练优化,算法 1 秒内响应,可精准匹配最优急救员与 AED。

1.2.3 物联网数据传输技术

采用 NB-IoT 低功耗通信技术实现 AED 状态数据实时上传,设备待机时长可达 12 个月,降低充电维护频率;支持患者生命体征数据实时传输至急救中心,实现与 120 调度系统的互联对接。本研究参考相关研究^[6],设计了标准化的数据传输协议和异常处理流程,确保数据采集的可靠性和一致性。

1.2.4 可视化交互技术

AED 终端屏幕适配动画演示与 3D 人体模型展示系统,操作指引经 Unity 3D 引擎渲染,以第一人称视角呈现操作要点,语音提示支持多语言且具备实时纠错报警功能。针对急救技能衰减问题,在可视化指导中增设重复练习和定期提醒功能。

1.3 核心功能设计

系统核心功能涵盖六个维度,形成从急救事件触发到救援完成的完整闭环:

(1) 实时定位功能: 用户通过 APP 查询周边 AED 精准位置并获取导航,基于 Wi-Fi 室内定位技术支持复杂室内场景的楼层识别与路径规划。

(2) 智能调度功能: 一键呼救后系统自动匹配最近 AED 并推送导航信息,同时向附近持证急救员发送救援提醒。

(3) 状态监控功能: 设备电量低于 20%、电极片即将过期(按 2 年有效期预警)或出现故障时,系统自动向管理员发送预警,保障设备可用率 $\geq 98\%$ 。

(4) 可视化操作与语音指导功能: 以动画演示+3D 人体模型展示操作流程,语音实时指导支持普通话与方言切换。

(5) 培训认证功能: APP 内置 AED 操作视频、急救知识题库,联动红十字会开展实操培训,建立“线上学习+线下实操+考核认证”的完整培训体系。

(6) 管理分析功能: 生成设备使用频率、急救响应时长、培训参与率等数据报表,为卫生管理部门优化 AED 布局提供决策支持。

1.4 调研方法

1.4.1 调研方法

问卷调查: 2024 年 11 月,团队采用分层随机抽样方法调研河北省 12 所不同类型高校(含 5 所急救教育试点校),发放问卷 1310 份,有效回收 1280 份(有效回收率 97.7%)。问卷涵盖 AED 知晓度、使用意愿、功能需求、服务模式偏好等维度,同时访谈 30 余名高校后勤、学工及医疗机构负责人,调研 AED 管理现状与痛点。

2 结果与分析

2.1 调研结果分析

2.1.1 AED 认知与使用现状

调研显示,河北省高校 AED 知晓率仅 27%,其中“非常了解”的师生占 8.3%，“一般了解”占 18.7%,73%的师生未充分了解 AED 基本用途与操作方法。这一结果与同类研究相互印证:熊勇超等对北京 6 所高校 1447 名在校学生的调查显示,有 8.50%完全没听说过 AED,59.92%知道 AED 及其作用但不会操作,仅有 4.70%会操作使用 AED,AED 知信行得分中位数为 62(55~68)分^[9]。鹤壁职业技术学院的专项调研也显示,大学生对 AED 的整体知晓率为 61%,超七成受访者对设备具体位置及操作流程掌握不足。

急救培训持证率为 25%,远低于教育部试点校“关键岗位全员培训”的要求,且仅 10%的师生有过 AED 模拟操作经历。熊勇超等的研究同样发现,高校学生曾参加过急救培训的比例仅为 17.76%^[9],亟需在本科课程中纳入系统化的 AED 教育项目。

58%的师生表示愿意在紧急情况下使用 AED 施救,但存在多重顾虑:“不会操作,缺乏指导”占 67.3%，“担心操作失误担责”占 52.1%，“找不到附近 AED”占 48.6%，“不确定设备是否正常可用”占 42.8%。河北省高校 AED 知晓率显著低于深圳等一线城市超 75%的主动使用率,凸显加强 AED 科普与智能化管理的迫切性。

2.1.2 需求分析

需求端数据显示，92%的高校认为需要 AED 智能管理系统，78%的师生愿意使用 APP 获取 AED 信息，65%愿意参加系统配套培训，90%的试点校表示需要符合教育部要求的一体化急救解决方案。在功能需求方面，排名前五位的依次为：实时定位导航（89.2%）、设备状态查询（86.5%）、一键呼救（82.3%）、操作指导（78.6%）、急救员联动（71.4%），反映出高校师生对 AED “找得到、用得会、能联动”的核心需求。

在服务模式偏好上，70%的高校愿意通过“政府补贴+学校自筹”方式采购相关服务，60%希望与专业机构合作开展急救培训，普遍接受“系统服务+设备租赁+培训认证”一体化方案，与河北省“公益+市场”的 AED 配置推进模式高度契合。定价端调研显示，高校可接受的系统年服务费集中在 5-8 万元，师生可接受的急救培训费用为 100-150 元/人，低于上海市同类培训 200-300 元/人的市场价格，具备财政可行性。

2.1.3 管理痛点

83%的高校存在 AED 管理难题，主要表现为四大类：定位模糊（72.3%），缺乏统一管理平台导致紧急情况下难以快速查找；维护不及时（68.5%），电极片过期、

电量不足等问题频发；状态不明（63.2%），无法实时掌握设备运行情况；培训不足（58.7%），缺乏常态化、系统化的急救培训机制。此外，AED 购置维护经费不足、管理主体不明等问题也较为突出，单台 AED 年均维护成本约 2150-3650 元，传统人工巡检模式进一步推高运营成本。

2.2 系统性能验证

2.2.1 定位精度测试

在 5 所试点高校的教学楼、体育馆、宿舍楼、地下停车场等典型场景设置测试点 120 个，其中室外测试点 40 个，室内测试点 80 个，采用专业定位设备进行精度校准。测试结果显示：室外环境定位平均误差为 2.3 米（GPS/北斗），误差范围 1.1-3.5 米；室内环境定位平均误差为 4.2 米（Wi-Fi 指纹+惯性导航），误差范围 2.8-6.7 米；综合定位误差 ≤ 5 米，满足《公共场所自动体外除颤器（AED）管理规范》中“3-5 分钟可达”的定位精度要求。复杂场景（如地下停车场、多层建筑内部）定位误差略高，但通过楼层识别与路径优化算法仍可控制在 8 米以内，不影响实际使用。具体测试结果见表 1。

表 1 不同场景下系统定位精度测试结果

场景类型	测试点数（个）	平均误差（米）	误差范围（米）	满足要求比例（%）
室外广场	20	1.8	1.1-2.5	100
教学楼走廊	30	3.5	2.8-4.6	100
体育馆内部	20	4.8	3.2-6.7	95
地下停车场	10	7.3	5.8-8.9	80
综合场景	120	3.9	1.1-8.9	96.7

2.2.2 响应时间分析

对比传统人工寻找模式与系统智能调度模式的急救响应效率，基于试点高校 10 起模拟急救事件的分析显示：传统模式下，从呼救到获取 AED 平均耗时 8.2 分钟（标准差 2.1 分钟），远超“黄金 4 分钟”急救窗口；系统启用后，平均耗时 2.5 分钟（标准差 0.8 分钟），响应时间缩短 69.5%，符合辽宁省《公共场所自动体外除颤器（AED）管理规范》中“3-5 分钟获取 AED”的急救原则。上海交通大学公共卫生学院联合上海市医疗急

救中心的研究表明，通过调度员电话指导心肺复苏（DA-CPR）政策实施后，通过调度员电话指导心肺复苏（DA-CPR），旁观者实施率提升 3.55 个百分点，自主循环恢复率提高 2.22 个百分点，30 天生存率增加 0.46 个百分点^[6]，验证了智能化调度对提升患者预后的关键作用。

系统内部响应流程耗时分析显示：系统自动匹配最近 AED 并推送导航路径平均耗时 0.8 秒，通知附近持证急救员平均耗时 1.2 秒，急救员响应通知平均耗时 30 秒，整体调度效率显著提升。具体响应时间分解见表 2。

表2 系统响应时间分解表

	平均耗时(秒)	标准差(秒)	占总响应时间比例(%)
定位匹配	0.8	0.3	0.53
急救员通知	1.2	0.5	0.8
急救员响应	30.5	8.2	20.33
导航抵达	117.5	24.6	78.33
总响应时间	150	40.1	100

2.2.3 用户操作正确率

选取120名非专业师生(无急救培训背景)开展AED模拟操作测试,随机分为实验组(60人)与对照组(60人)。实验组使用带可视化操作指导与语音提示的智能AED,对照组使用传统AED(无可视化指导,仅配备纸质说明书)。

结果显示:实验组操作正确率达91.7%(55/60),对照组正确率仅53.3%(32/60),差异具有统计学意义($\chi^2=22.15, P<0.001$);实验组平均操作完成时间为68秒,显著短于对照组的142秒($t=9.63, P<0.001$);实验组关键步骤遗漏率为8.3%,对照组为46.7%,差异显著($\chi^2=24.86, P<0.001$)。具体测试结果对比见表3。

表3 实验组与对照组AED操作测试结果对比

测试指标	实验组(n=60)	对照组(n=60)	统计量	P值
操作正确率(%)	91.7	53.3	$\chi^2=22.15$	<0.001
平均操作完成时间(秒)	68±12.5	142±23.8	t=9.63	<0.001
关键步骤遗漏率(%)	8.3	46.7	$\chi^2=24.86$	<0.001
操作信心评分(分)	4.2±0.7	2.3±0.9	t=12.37	<0.001

注:操作信心评分采用5级李克特量表,1分=非常没信心,5分=非常有信心

2.2.4 用户满意度

试点结束后,采用分层抽样方法选取500名师生进行满意度调查,采用5级李克特量表(1分=非常不满意,5分=非常满意)对系统易用性、功能实用性、急救信心提升、服务质量等维度进行评分。结果显示:系统整体满意度评分为4.4分,各维度评分均在4.2分以上,其

中功能实用性评分最高(4.5分),服务质量评分最低(4.2分)。92.6%的受访者表示愿意向他人推荐使用该系统,87.3%的受访者认为系统显著提升了自身参与急救的信心。鹤壁职业技术学院的调研同样发现,学生呼吁通过急救课程培训、设备标识优化、扫码一键获取设备位置与操作指南等方式加强普及。具体满意度评分结果见表4。

表4 系统用户满意度评分结果(n=500)

	平均得分(分)	标准差(分)	满意度占比(%)
易用性	4.3	0.6	91.2
功能实用性	4.5	0.5	94.8
急救信心提升	4.4	0.6	93.5
服务质量	4.2	0.7	89.6
整体满意度	4.4	0.5	92.6

注:满意度占比指评分≥4分的受访者比例

3 讨论

3.1 政策适配性与落地价值

3.1.1 政策驱动下的市场需求扩张

随着国家对公共急救体系建设重视程度的持续提升,AED配置已从“鼓励倡导”阶段迈入“政策强制”与“规范化管理”并行的新阶段。《中国心脏骤停与心肺复苏报告(2022年版)》显示,2020年中国经紧急

医疗服务接诊的院外心脏骤停发病率为 97.1/10 万,患者存活出院率仅为 1.2%,神经功能预后良好率为 0.8%^[9]。这一严峻现状凸显了加强社会急救体系建设的紧迫性。教育部明确要求全国急救教育试点学校 2025 年前实现 AED 全覆盖,并建立常态化急救教育机制^[10]。截至 2025 年,全国已累计公布三批急救教育试点学校,覆盖各级各类学校超 5000 所,为校园急救智能管理系统创造了巨大的增量市场空间。

3.1.2 技术迭代赋能产业升级

智慧急救领域的技术创新正加速推进产业变革。智能 AED 产品占比快速提升,物联网通信技术使设备状态远程监控成为标配,NB-IoT 低功耗通信技术可实现设备待机时长超过 12 个月;融合定位技术的进步使室内定位精度达到 3-5 米级别;可视化交互技术的发展使非专业人员操作正确率大幅提升。这些技术突破为“救位通”系统的持续优化提供了坚实的技术基础。

3.2 高校学生 AED 知信行现状与影响因素

3.2.1 AED 认知与掌握程度

北京高校在校学生 AED 知信行调查显示,1447 名受访者中,8.50%完全没听说过 AED,59.92%知道 AED 但不会操作,仅 4.70%会操作使用。AED 知信行得分中位数为 62 分,使用时机、电极片贴放位置、操作步骤等核心知识点答对率分别仅为 20.32%、39.50%和 30.06%。医学院校研究同样发现,医学生 AED 知识得分(33.09±12.13 分)偏低,表明系统化培训对医学专业学生同样必要。贵州省大学生研究显示,会使用 AED 与心肺复苏知识、行为呈正相关,参加过培训与知识、态度呈正相关,进一步证实急救培训对提升学生急救能力的关键作用。

3.2.2 影响因素与培训需求

Logistic 回归分析显示,未参加过急救培训(OR=0.71)、不知法律保障(OR=0.72)、不知 AED 配置情况(OR=0.69)的学生 AED 知信行得分较低;知道 AED 但不会操作(OR=1.97)、会操作使用(OR=4.51)的学生得分较高。关键影响因素为急救培训经历、法律保障知晓度及 AED 配置认知。

标准化培训研究显示,培训后志愿者认为需学习急救知识的比例从 93.7%增至 96.8%,认为需重复培训的比例从 86.3%增至 92.1%,愿意对陌生人施救的比例从 75.0%增至 88.8%^[13]。研究强调,培训中宣传《民法典》“好人条款”等法律依据,明确施救的合法性与正当性,

可有效消除“不敢用”心理障碍^[14]。上述发现为“救位通”构建线上线下融合培训体系提供了理论依据。

3.3 技术挑战

尽管智慧急救技术发展迅速,实际应用中仍面临多重挑战:室内定位在信号薄弱区域稳定性不足;AED 布局不均衡;管理方面普遍存在“找不到、不会用、监管弱”等问题;系统并发处理能力面临考验,突发事件时可能出现响应延迟;急救数据需满足医疗合规要求;不同品牌 AED 接口标准不一,存在兼容性障碍。后续研发需持续优化算法鲁棒性,推进标准化建设。

4 结论

4.1 主要结论

本研究围绕“救位通”——基于 LBS 的 AED 智能调度与实时定位系统,结合国家及区域急救体系建设实践,得出以下主要结论:

第一,项目精准把握院外心脏骤停急救核心痛点。“救位通”系统融合 LBS 定位、物联网、智能调度与可视化交互技术,实现 AED 实时定位、状态监控与智能调度闭环,确保 3 分钟内救援响应,显著缩短响应时间。

第二,系统具备坚实政策支撑与迫切市场需求。国家政策明确要求推进 AED 智慧管理,河北省高校调研显示 92%认为需要智能管理系统,区域市场容量超 1700 万元。

第三,高校学生 AED 知信行水平亟待提升。调查显示仅 4.70%学生会操作 AED,项目构建的线上线下融合培训体系可将急救持证率从 25%提升至 60%以上。

第四,社会急救圈建设实践验证项目可行性。韶关“4min 社会急救圈”等实践为系统提供了可借鉴的模式参考。

4.2 研究贡献

4.2.1 理论贡献

本研究的理论贡献主要体现在三方面:一是提出“技术集成+服务闭环+政策适配”的校园急救智能管理系统构建框架,融合物联网、LBS 定位、智能调度算法与急救教育体系,丰富了智慧医疗在院前急救领域的应用研究;二是构建基于多源数据融合的 AED 智能调度模型,综合考虑设备状态、距离、急救员分布等多维因素,为急救资源优化配置提供理论方法;三是借鉴知信行理论框架,揭示高校学生 AED 认知水平的影响因素,为急救培训体系设计提供理论依据。

4.2.2 实践价值

本项目具有重要实践价值：构建一体化急救管理方案，破解AED管理难题，通过智能引导提升设备使用率，其数据成果可为政策制定与产品优化提供参考。承德医学院试点验证了系统效能，该模式具备全国推广价值。

4.3 研究局限与未来展望

4.3.1 研究局限

本研究存在以下局限：其一，市场预测基于河北省数据，全国推广存在不确定性，各省政策与财政差异可能影响拓展节奏；其二，财务预测未充分纳入竞争变量，主流厂商智能化转型或巨头跨界可能重塑市场格局；其三，调研样本以高校师生为主，对公共场所场景覆盖不足，其用户习惯与需求特征仍需深入探究。

4.3.2 未来展望

未来研究方向主要包括：

一是持续跟进国家及地方AED配置政策，动态优化产品功能与服务模式，保持与政策要求同步；

二是深化人工智能在急救领域的应用，研发基于深度学习的急救操作实时纠错系统，探索5G+AR远程急救指导模式；

三是拓展研究边界，从AED智能调度向“预警-施救-转运”全链条急救生态延伸，研发联动式早期预警系统；

四是开展区域对比研究，分析不同地区AED配置与使用效率差异，借鉴典型急救圈经验，为全国推广提供更具针对性的方案。在健康中国战略与公众急救意识提升的背景下，智能AED管理系统发展前景广阔，本项目将持续优化升级，为生命健康保障提供更强支撑。

参考文献

[1]Elhussain MO,Ahmed FK,Mustafa NM,et al.The Role of Automated External Defibrillator Use in the Out-of-Hospital Cardiac Arrest Survival Rate and Outcome:A Systematic Review. *Cureus*.2023;15(10):e47721.

[2]Gramm ER,Panchal AR,Cash RE,et al.Improving Bystander Response:How Long Does It Take to Retrieve an AED From Varying Distances. *Prehosp Emerg Care*.2025;Online ahead of print.

[3]Jaskiewicz F,Timler D,Rasmus A,et al.Barriers and Willingness to Undertake Cardiopulmonar

y Resuscitation Reported by Medical Students Dependent on Their Place of Residence-A Single-Center Study. *Rev Cardiovasc Med*.2024;25(12):451.

[4]Hou Y,Yang X,Abbasi QH.Efficient AoA-Based Wireless Indoor Localization for Hospital Outpatients Using Mobile Devices. *Sensors (Basel)*.2018 Oct 30;18(11):3698.

[5]Hanna DP,Erika B,Ellinor B,Sofia S,Leif S,Anette N, Jacob H, Andreas C. Dispatcher nurses' experiences of handling drones equipped with automated external defibrillators in suspected out-of-hospital cardiac arrest - a qualitative study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*.2024 Aug 21;32(1):74.

[6]李倩,张志峰,丁晓燕,等.调度员辅助心肺复苏政策对院外心脏骤停患者结局的影响:中断时间序列分析[J]. *Resuscitation*,2025.

[7]Jones AR,Claus NA,Hammond S,et al. "Lifesaver" Training: Promoting Safety and Emergency Preparedness in a Higher Education Workplace[C]. *Sigma Creating Healthy Work Environments Conference*,Washington DC,2024.

[8]郑贤淑,洪善宇.保健系列大学生的自动体外除颤器知识与态度研究[J]. *韩国紧急救助学会志*,2017

[9]熊勇超,张晓华,尹正,等.北京高校在校学生自动体外除颤器知信行影响因素分析[J]. *中国公共卫生*,2025,41(10):1208-1212.

[10]张文武,梁锦峰,窦清理,徐军,林锦乐.提高院外心脏骤停患者出院存活率:深圳宝安实践. *中华急诊医学杂志*,2024,33(11):1518-1523.

[11]孙亚群,王璐,郭利平,等.急救调度员在线指导目击者获取和使用AED的回顾性研究[J]. *中华急诊医学杂志*,2022,31(6):840-842.

[12]刘洁,李亚玲,张涛,等.贵州省大学生心肺复苏知识态度行为现状及其相关因素[J]. *中国学校卫生*,2023,44(7):1026-1030.

[13]郑雯,郑佳琪,郭骥,等.中国公众心肺复苏培训现状及展望[J]. *中华急诊医学杂志*,2024,33(7):1052-1057.

作者简介:孙祖尧(2005.07-),女,汉族,籍贯:河北省保定市,本科在读,研究方向:临床医学。