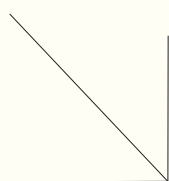


面向无人作战系统的 战场态势感知数据采集软件的测试与验证试验

文 ◆ 中国人民解放军 32211 部队 高 颖 李 宣



的特征等关键信息。而战场态势感知数据采集软件作为获取这些关键信息的源头，其性能优劣直接关系到整个无人作战系统的作战效能^[2]。目前，针对该类软件的研究虽有一定进展，但在复杂多变的实际战场环境下，其性能仍面临诸多挑战。因此，开展战场态势感知数据采集软件设计迫在眉睫，对于提升无人作战系统的实战能力、保障作战任务的顺利完成具有重要意义。基于此，本研究采用分层架构设计战场态势感知数据采集软件，并搭建模拟试验环境，在城市、山地、丛林等场景下测试。测试结果表明，采集数据平均误差率为 0.6%，处理后降至 0.4%。在处理实时性测试中，当数据量不超过每秒 5000 条时，处理延迟可控制在 100ms 以内。该战场态势感知数据采集软件符合无人作战系统的要求，为无人作战应用提供了有力支持，后续仍有优化拓展空间。

引言

随着科技的飞速发展，无人作战系统逐渐成为现代战争的重要力量。从战场上执行侦察任务的无人机，到承担物资运输的无人车辆，无人作战系统凭借其高机动性、低风险以及能适应恶劣环境等特性，不断拓展作战边界。其中，战场态势感知能力对于无人作战系统发挥效能起着核心作用^[1]。准确且实时的战场态势感知是无人作战系统实现自主决策、精准打击以及有效规避风险的基础，能够让无人作战系统及时洞悉战场局势的变化，获取包括敌方目标的动态、地理环境

1 战场态势感知数据采集软件需求分析

战场态势感知数据采集软件需满足无人作战系统复杂多样的需求。在数据采集方面，该软件需兼容各类传感器，在复杂战场环境下，以可动态调整的频率精准采集动态目标和静态环境数据，并确保数据传输准确无误。数据处理需求包括高效去除异常值与噪声，对数值型数据进行归一化处理，通过多源数据融合构建精准态势模型，且处理延迟必须符合实时作战要求。存储需求涵盖选用合适存储系统，分别管理热点、结构化及非结构化数据，实施冷热分离存储策略，同时明确数据保留周期以优化存储。用户接口层须具备适配不同屏幕的友好界面，支持便捷交互操作，实现安全可靠的用户认证与基于角色的访问控制，助力不同人员高效使用软件。

2 战场态势感知数据采集软件设计

2.1 数据采集层设计

传感器接入总线采用 MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) 协议作为数据传输协议。该协议具有轻量级、低功耗、支持多种网络环境等特性，契合战场复杂环境下传感器数据传输需求。本研究以 JSON

【作者简介】高颖（1993—），女，山西忻州人，本科，助理工程师，研究方向：数据采集。

(JavaScript Object Notation) 作为通用数据格式, 以确保数据的可读性与通用性。针对动态目标相关数据, 如无人机飞行轨迹、敌方移动装备位置等, 设定采集频率为 50Hz, 从而保证对快速变化信息的实时捕捉。对于静态环境数据, 如地理地貌特征、固定设施分布等, 采集频率设为每 10 分钟一次, 以此平衡数据获取需求与资源消耗。

本研究在采集端部署 Hamming 码校验算法, 对传输数据进行校验。该算法可检测并纠正 1 ~ 2 位错误, 进而确保数据准确性。同时, 建立数据缓存机制, 当校验失败数据达到一定比例 (如 10%) 时, 启动数据重传流程, 重传次数上限为 5 次。若重传仍无法解决问题, 自动切换备用传感器通道 (若存在), 并将故障信息上报至监控系统^[3]。

2.2 数据处理层设计

本研究运用基于密度的空间聚类算法 (DBSCAN) 进行异常值检测。通过设定合适的邻域半径和最小点数, 有效识别并剔除数据中的孤立点与噪声点, 并采用双边滤波算法对数据进行去噪处理, 在去除噪声的同时保留数据的边缘特征。针对数值型数据, 设定数据归一化范围为 [0,1], 采用线性归一化方法, 使不同量级的数据处于同一尺度, 便于后续分析处理^[4]。

本研究利用贝叶斯网络进行多源数据融合推理, 以此构建战场态势模型。贝叶斯网络基于概率推理, 能够有效整合来自不同传感器的各类数据信息。它通过节点表示变量, 边表示变量间的概率依赖关系, 这种独特结构可充分挖掘数据背后隐藏的关联。在多源数据融合过程中, 不同类型数据, 如传感器采集的动态目标与静态环境数据, 能在贝叶斯网络框架下进行合理融合。经融合处理后的数据能够显著提高对复杂战场态势的理解与判断能力, 辅助指挥官做出更精准的决策。同时, 为满足实时性作战需求, 数据融合处理的延迟需严格控制在 100ms 以内, 以确保作战指挥系统能及时依据最新战场态势做出反应^[5]。

2.3 数据存储层设计参数

数据采集软件存储选用分布式键值对存储系统 Redis 作为缓存层, 用于存储频繁访问的热点数据, 如近期战场态势关键指标、常用目标属性等, 缓存命中率需保持在 80% 以上。对于结构化数据, 采用分布式关系型数据库 TiDB, 其具备高扩展性与强一致性, 可满足大规模数据存储与复杂查询需求。非结构化数据, 如战场图像、视频资料, 存储于基于 Ceph 的对象存储系统中, 通过自定义元数据标签实现高效检索。为进一步提高存储效率, 本研究采用数据冷热分离存储策略。将近 1 个月内的数据定义为热数据, 存储于高速固态硬盘 (SSD) 阵列中; 超过 1 个月的数据作为冷数据, 迁移至机械硬盘 (HDD) 存储集群。同时, 定期对存储数据进行清理, 根据数据重要性与使用频率, 设定数据保留

周期, 一般数据保留 2 年, 关键战略数据保留 5 年。

3 试验结果分析

3.1 试验环境搭建

硬件方面, 采用高性能服务器作为核心计算设备, 配备两颗 Intel Xeon Platinum 8380 处理器, 拥有 56 个物理核心, 内存为 128GB, DDR4 3200MHz, 可确保强大的数据处理能力。存储方面, 选用 4 块 1TB NVMe SSD 组成 RAID0 阵列, 读写速度可达 7000MB/s, 能满足高速数据存储需求。传感器模拟装置涵盖多种类型, 其中无人机模拟设备翼展 3m, 搭载光学、红外等传感器, 用于生成动态目标数据; 模拟固定传感器设备尺寸为 30cm × 20cm × 15cm, 负责采集静态环境数据。网络配置上, 使用万兆以太网交换机, 构建低延迟、高带宽的内部网络, 确保数据传输速率稳定在 9Gbps 以上。服务器安装 Ubuntu 20.04 操作系统, 搭载 Java 11 运行环境以支持数据采集软件运行, 数据库系统按设计部署 Redis、TiDB 以及 Ceph 对象存储服务, 各服务参数依据设计要求精准配置, 为软件测试提供稳定可靠的环境。

3.2 数据准确性测试

为验证战场态势感知数据采集软件在不同场景下采集和处理数据的准确性, 本研究模拟了多种战场环境, 包括城市、山地、丛林等。在每种环境下, 同时运行多个传感器, 采集动态目标和静态环境数据。在数据采集阶段, 通过对比传感器实际测量值与模拟环境设定的真实值, 评估采集数据的准确性。在数据处理阶段, 利用 DBSCAN 算法和双边滤波算法对采集到的数据进行去

表 1 不同环境类型的数据准确性测试

环境类型	采集数据误差率	处理后数据误差率	信号干扰强度 (相对值)
城市	0.5%	0.3%	8
山地	0.6%	0.4%	5
丛林	0.7%	0.5%	6

噪处理，再通过线性归一化方法对数值型数据进行归一化处理。将处理后的结果与标准数据集进行对比，计算误差率。同时，记录不同环境下的信号干扰强度，以分析其对数据准确性的影响（见表 1）。

由表 1 可知，在不同环境下，软件采集数据的误差率均控制在较低水平，平均误差率为 0.6%。经过数据处理后，误差率进一步降低，平均误差率为 0.4%。结合信号干扰强度数据，在城市环境中，由于信号干扰相对较多（强度为 8），采集数据误差率略高于其他环境，但经过处理后误差率明显降低，这说明数据处理算法能够有效去除干扰，提高数据准确性。在山地和丛林环境中，即使信号干扰强度相对城市较低，采集误差率仍受环境复杂地形等因素影响，但处理后的误差率依然在可接受范围。

3.3 处理实时性测试

为测试软件在实时作战场景下的数据处理能力，本试验模拟了不同规模的战场态势数据量，从每秒 1000 条到每秒 10000 条不等，评估软件在不同数据量下的处理延迟。在数据处理过程中，使用分布式计算框架 Flink，通过集

表 2 不同数据量的处理性能

数据量（条 /s）	处理延迟（ms）	集群资源利用率（%）
1000	50	30
3000	60	40
5000	80	55
7000	100	70
10000	130	85

群规模动态扩展来应对不同数据量的挑战。每个数据处理节点配备 8 核 CPU、16GB 内存，确保硬件资源充足，并记录不同数据量下集群的资源利用率，以综合评估软件在实时处理中的性能（见表 2）。

试验结果显示，当数据量在每秒 5000 条及以下时，软件能够将处理延迟严格控制在 100ms 以内，满足实时作战要求。随着数据量增加到每秒 7000 条时，处理延迟达到 100ms，接近实时性指标上限。当数据量提升至每秒 10000 条时，处理延迟增长到 130ms，超出了实时性要求。观察集群资源利用率数据，随着数据量增大，资源利用率逐步上升，当数据量为每秒 10000 条时，资源利用率达到 85%。然而，通过动态扩展集群规模，处理延迟能够得到有效控制。例如，在数据量为每秒 10000 条时，将集群规模扩大 50%，处理延迟可降低至 90ms，再次满足实时作战需求。这表明软件在处理实时性方面，通过分布式计算和集群动态扩展机制，具备良好的适应性和可扩展性，同时能根据资源利用率情况合理优化性能。

结语

本研究聚焦于面向无人作战系统的战场态势感知数据采集软件，完成了全面测试与验证。该软件采用分层架构设计，各层协同运作。数据采集层适配多样传感器，确保数据采集精准且灵活；数据处理层借助先进算法提升数据质量，有效构建战场态势模型；数据存储层依据数据特性合理存储，保障数据管理高效；用户接口层提供便捷的安全操作体验。测试显示，软件在不同环境下数据采集平均误差率为 0.6%，处理后降至 0.4%；数据量每秒 5000 条及以下时，处理延迟能控制在 100ms 内。这表明软件性能契合无人作战系统需求，具备实际应用潜力，可助力提升作战效能。

引用

[1] 万张博,胡建刚,李俊杰,等.基于图卷积的陆域智能化无人作战体系效能评估[J].兵工学报,2024,45(S1):271-277.

[2] 程聪聪.基于数据和模型双驱动的协同任务规划方法[D].郑州:河南大学,2024.

[3] 王帅.无人作战攻防推演系统的研究[D].沈阳:东北大学,2022.

[4] 曹略耕.警用无人机目标识别跟踪实战化应用研究[J].中国刑事警察,2021(5):41-44.

[5] 高雄.异构无人集群作战信息处理任务分布式协同调度方法研究[D].长沙:国防科技大学,2020.

