

# 面向电网设备盘点的智能增强型标签识别方法<sup>\*</sup>

黄申茂 庄宇峰 路纯 宋子豪

(国网江苏省电力有限公司常州供电公司 常州 213000)

**摘要:** 在智慧电网的整体发展趋势下,为解决大规模设备管理中效率低下的问题,本文设计并提出了电网大规模设备盘点智慧系统。该系统通过整合机器人巡检技术、物联网数据采集手段及智能化数据处理技术,为大规模电网设备的自动化巡检与高效管理提供了一种系统化的解决方案。然而,RFID标签冲突问题成为该系统在密集标签场景下高效运行的关键瓶颈。为此,本文在智慧系统的设计基础上,面向该系统提出了一种智能增强型动态帧队列算法(EFQ)。EFQ算法通过动态帧调整与优先级优化策略,提升了高密度场景下的识别效率与系统稳定性。本文对EFQ算法与IABS算法、ICT算法的性能表现进行了对比。实验结果表明,EFQ算法在吞吐量和冲突率方面表现出显著优势,冲突率降低超过30%,系统效率提升约15%。尽管在识别时间上与其他算法相比无显著差异,但EFQ算法的整体性能更加稳定,尤其适用于密集标签场景的设备管理需求。

**关键词:** 电网电表;EFQ算法;自动化巡检;RFID;数据采集

**中图分类号:** TN929.5 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.604

## Intelligent enhanced label recognition method for inventory of power grid equipment

Huang Shenmao Zhuang Yufeng Lu Chun Song Zihao

(State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Changzhou Power Supply Branch, Changzhou 213000, China)

**Abstract:** Under the overall development trend of smart grid, in order to solve the problem of inefficiency in large-scale equipment management, this paper designs and proposes a large-scale equipment inventory intelligent system for power grid. The system provides a systematic solution for the automatic inspection and efficient management of large-scale power grid equipment by integrating robot inspection technology, Internet of Things data collection means and intelligent data processing technology. However, the problem of RFID tag conflict has become a key bottleneck for the efficient operation of the system in dense tag scenarios. Therefore, based on the design of the intelligent system, this paper proposes an intelligent enhanced Dynamic Frame Queuing (EFQ) algorithm for the system. The EFQ algorithm improves the recognition efficiency and system stability in high-density scenarios through dynamic frame adjustment and priority optimization strategies. In this paper, the performance of the EFQ algorithm is compared with the IABS algorithm and the ICT algorithm. Experimental results show that the EFQ algorithm has significant advantages in terms of throughput and collision rate, the collision rate is reduced by more than 30%, and the system efficiency is increased by about 15%. Although there is no significant difference in recognition time compared with other algorithms, the overall performance of the EFQ algorithm is more stable, especially for device management requirements in dense labeling scenarios.

**Keywords:** grid meters; EFQ algorithm; automated inspection; RFID; data acquisition

## 0 引言

随着智慧电网建设的推进,电网规模不断扩大,智能化水平持续提升,对电网设备的高效管理和精准巡检提出了

更高要求。智能电表作为智慧电网的重要组成部分,承担着用电信息采集的核心功能,直接影响电网的运行效率与稳定性。然而,国家电网预计到2025年接入的终端设备将超过10亿台,传统人工巡检方式因效率低、实时性差,已难

以满足大规模设备管理的需求。自动化和智能化巡检技术成为提升电网设备管理效率的关键手段。机器人凭借高机动性可在复杂环境中执行巡检任务,而射频识别技术(radio frequency identification,RFID)实现设备的非接触式远距离识别,从而提升巡检效率和异常检测能力<sup>[1-4]</sup>。然而,在高密度设备管理场景下,RFID 系统仍面临信号干扰、标签冲突等挑战,传统 RFID 算法采用固定帧格式,难以适应动态变化的电网设备管理需求。

现有研究针对 RFID 标签识别问题提出了多种优化方案。文献[5]基于 ALOHA 的改进方案(improved ALOHA-based scheme,IABS),通过标签分组和数量估算优化帧分配策略,在一定程度上降低了冲突率,提高了系统吞吐量,但在高密度环境中仍存在资源分配不均的问题。文献[6]提出的改进的碰撞树算法(improved collision tree algorithm,ICT)优化查询逻辑,减少了空闲周期,提高了识别速度,但其性能严重依赖标签 ID 分布特性,通信开销较高,限制了实际应用的广泛性。自动化巡检技术在多个领域得到应用。文献[7]提出基于激光传感器和图像数据的铁路车轮状态监测系统,通过测量轮廓和检测表面缺陷,实现高效巡检。文献[8]采用无人机巡检技术,通过三维飞行路线和实时图像传输,提高了电网巡检精度与效率。文献[9]将 RFID 技术用于消防设备管理,通过自动识别提升管理的准确性和及时性。

针对 RFID 技术在大规模设备管理中的应用,ALOHA 算法及其改进方案被广泛研究。文献[10]提出基于标签分组的基于改进分组的防碰撞算法(improved grouping-based anti-collision algorithm,IGA),通过冲突时隙比例估算标签总数,有效减少空闲时隙和冲突帧。文献[11]结合 BP 神经网络优化 ALOHA 算法,通过反向传播调整权重,提高标签读取效率。然而,ALOHA 算法基于随机访问,在高密度场景下冲突率较高,影响识别效率。为克服 ALOHA 算法的局限性,二叉树和查询树算法成为另一类主流方案。文献[12]提出了一种改进混合查询树防碰撞算法(improved hybrid query tree algorithm,IHQQT),通过分支预测避免空闲时隙,减少查询开销,提升吞吐率。文献[13]的非线性混合查询树算法(non-linear hybrid query tree,NLHQT)通过锁定冲突位预测碰撞信息提高识别效率。文献[14]通过在传感器上添加特殊材料,提高 RFID 标签的可检测性和读取距离。文献[15]提出基于全排列轮询的二进制搜索防碰撞算法(full permutation-based binary search,FP-BS),利用全排列轮询减少碰撞,提高系统性能。然而,查询树算法在超大规模标签环境中仍面临树深度增长导致的查询效率下降问题。

面对智慧电网设备管理的高密度、高动态需求,本文提出基于 RFID 的智慧设备盘点系统,并在此基础上设计了增强型模糊队列算法(enhanced fuzzy queue,EFQ)。EFQ 通过动态帧调整和标签优先级优化,提高 RFID 在高密度

环境下的识别效率和稳定性,结合机器人巡检技术,提升电网设备巡检的自动化水平。

## 1 电网大规模设备盘点智慧系统设计

### 1.1 系统总体架构

本文提出了一种基于智能机器人、RFID 数据采集和人工智能分析的电网设备自动化巡检系统,以提升电表管理的效率和智能化水平。系统由 RFID 巡检机器人、RFID 读取模块和后台管理系统组成,协同完成电网电表的高效巡检、数据采集与实时监控。

如图 1 所示,系统核心组件包括 RFID 自动巡检机器人、RFID 读取模块和后台智能管理系统。巡检机器人沿着预设路径读取电表上的 RFID 标签(Tag1~TagN),采集设备信息并实时传输至后台管理系统。机器人配备高性能 RFID 读写器,确保在多标签环境下精准、高效采集数据,并通过无线通信与后台系统保持连接。后台管理系统对采集数据进行存储、分析和处理,为设备健康监控提供决策支持,实现电网设备巡检的智能化、实时化和精准化。

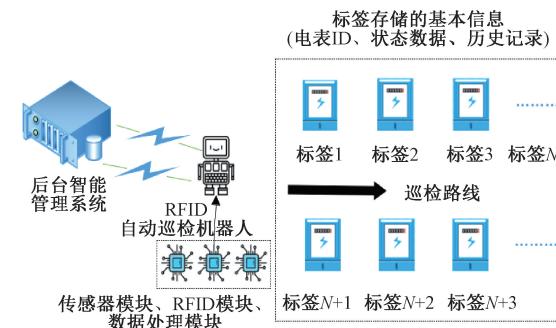


图 1 系统架构

Fig. 1 System architecture

RFID 数据采集模块作为系统的数据入口,结合改进的 EFQ 算法优化标签管理,提高读取准确性,减少标签冲突。机器人在巡检过程中,通过 RFID 读取模块自动采集电表信息,并进行初步处理,确保数据的高可靠性。后台智能管理系统作为系统的大脑,接收机器人上传的数据,并进行集中处理和管理。系统结合卷积神经网络(convolutional neural network,CNN)对采集的设备图像进行特征提取和缺陷检测,实现设备状态的智能识别和异常监测。后台可实时更新电表状态、预测故障并生成巡检报告,同时优化巡检任务调度,确保巡检策略能动态调整,以适应实际需求。

该智慧系统结合 RFID 精准识别、机器人灵活巡检和人工智能分析,在电网环境中实现自动巡检、实时数据采集和异常检测,为电网管理提供高效可靠的技术支持。

### 1.2 RFID 的设备盘点系统硬件设计

如图 2 所示,本系统硬件由巡检机器人、RFID 读写端和标签端组成,协同完成电表巡检任务,适应复杂电网环境。

巡检机器人是核心执行单元,采用高性能移动平台,集成激光雷达、超声波传感器和视觉摄像头,实现自主导航、环境感知和避障。激光雷达构建环境地图,超声波传感器防碰撞,视觉摄像头采集电表图像,实现设备状态监测。

RFID 读写端作为数据采集核心,如图 2(b)所示,包含数字电路、模拟电路和射频电路,支持高密度标签环境的数据读取。数字电路执行防碰撞算法,模拟电路优化信号处

理,射频电路生成 900 MHz 射频信号,实现远距离读取。此外,相控阵天线(如图 2(d)所示)内置 14 dBi 相控圆极化技术,具备强方向性与无感触发功能,确保机器人精准识别目标标签。标签端负责设备身份标识和信息存储,每个电表配备抗干扰 RFID 标签,可稳定运行于高温、高湿、电磁干扰环境。合理布置标签位置,提高巡检效率,避免信号遮挡导致的数据丢失。

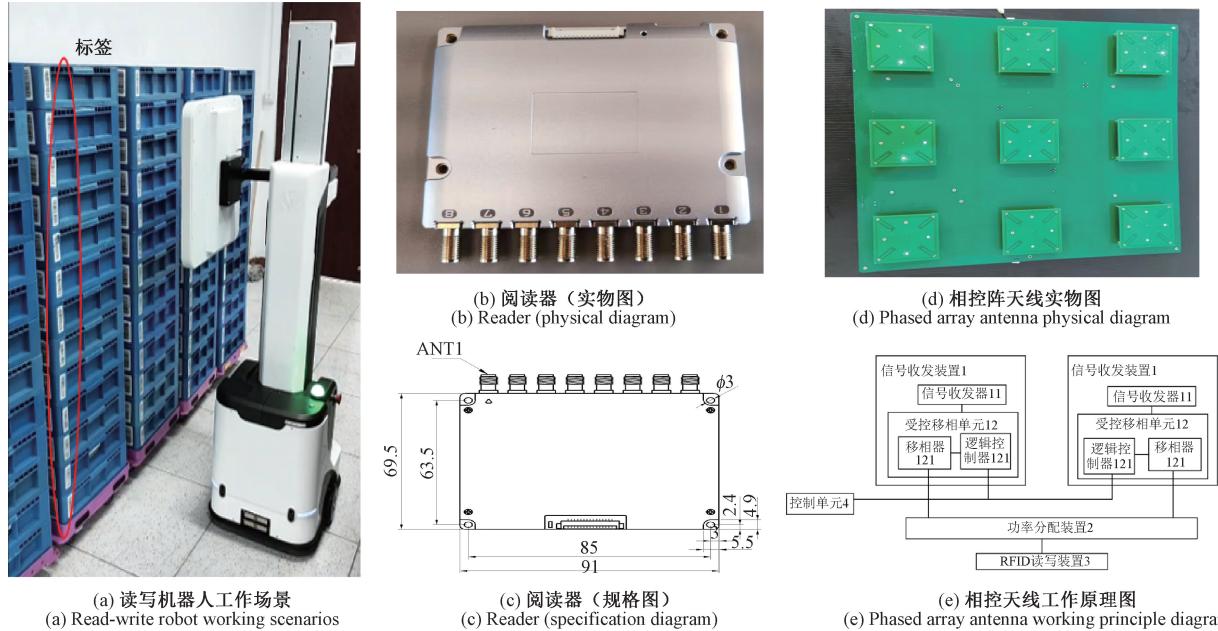


图 2 RFID 自动巡检机器人系统硬件示意图

Fig. 2 Hardware schematic diagram of RFID automatic inspection robot system

机器人按照设定路径巡检电表,RFID 读写器与标签实时交互,将数据上传至后台管理系统,实现数据分析、任务优化与闭环管理。该硬件设计提升了巡检智能化水平,确保系统在复杂环境中高效稳定运行。

### 1.3 RFID 的设备盘点系统软件设计

本系统的软件设计围绕机器人控制、RFID 数据采集与处理、后台智能管理展开,结合 CNN 与支持向量机(support vector machine, SVM)等人工智能方法,实现电网电表巡检自动化、数据采集高效化和设备状态智能分析,提高管理效率和巡检精度。

机器人控制模块实现自主巡检,结合激光雷达、超声波传感器和视觉摄像头实时感知环境,确保在复杂电网场景中精准运行。激光雷达构建环境地图,超声波传感器避障,视觉摄像头采集电表图像,记录设备状态。机器人通过无线通信与后台交互,动态调整任务和巡检路径,增强执行适应性。RFID 数据采集模块作为数据入口,嵌入改进的 EFQ 算法,优化标签管理,减少冲突,提高读取效率。RFID 读写设备高效采集多标签信息,并进行初步筛选,确保数据完整准确。

后台智能管理系统利用 CNN 对电表图像进行特征提

取和异常检测,自动识别设备状态。结合 SVM 对电表运行数据进行分类,精准区分正常与异常设备,实现健康评估和故障预警。两者协同优化数据分析,提升预测能力,减少突发故障对电网运行的影响。

系统通过机器人、RFID 模块和后台系统的协同工作,实现电表巡检、数据采集、状态分析与任务调度的全流程自动化,大幅提升电网管理效率与设备维护能力。

## 2 面向智慧盘点系统的动态帧队列防冲突算法设计

### 2.1 算法简介

在电网设备巡检中,RFID 系统需要同时读取大量标签,但高密度环境下的信号冲突严重影响识别效率。标签同时发送信号导致时隙重叠,识别失败率上升,吞吐量下降。传统防碰撞算法虽有所优化,但仍存在局限。ALOHA 类算法难以适应动态标签密度,帧长固定或调整滞后,导致时隙浪费或冲突过多。查询树算法虽能拆分冲突标签,但查询过程复杂,通信开销大,处理效率低。

针对这些问题,EFQ 算法通过动态调整帧长和优化标签优先级,提高 RFID 系统的识别效率和稳定性。它能实

时检测冲突状态,适应不同密度环境,减少无效时隙,同时确保关键标签优先识别。相比传统方法,EFQ 算法不仅降低冲突率,还提升了系统吞吐量,使其更适用于电网设备的智能巡检。

## 2.2 算法设计与原理

EFQ 算法是一种基于动态帧调整和智能标签管理的改进型 RFID 防碰撞算法,针对高密度标签环境优化识别效率。通过动态帧分配、标签数量估算和优先级优化,提升系统吞吐量和实时响应能力,适用于电网电表巡检等复杂场景。

1)核心思想:EFQ 算法借鉴 ALOHA 框架,结合动态调整机制,实时估算标签数量,优化帧大小,减少冲突,提高读取成功率,并确保关键标签优先识别。其核心优化目标包括:提高吞吐量(优化帧长度,减少时隙浪费)、降低冲突率(自适应调整帧大小),增强实时响应(根据标签反馈动态调整读取策略)。

2)算法设计:EFQ 算法主要包括以下几个步骤:

初始帧长度设置,初始化帧长度  $F_0$ ,并通过历史数据或环境特征估计标签总数  $N$ 。

时隙状态检测,根据读取帧中的时隙反馈,将标签响应分为 3 种状态:成功时隙( $P_{succ}$ ):仅有一个标签响应;冲突时隙( $P_{coll}$ ):多个标签同时响应;空闲时隙( $P_{empty}$ ):没有标签响应。

标签数量估算,利用冲突和成功时隙的数据,估算当前帧中未识别标签数量  $\hat{N}$ ,公式为:

$$\hat{N} = \frac{C_{coll}}{1 - e^{-C_{coll}/F}} \quad (1)$$

其中,  $C_{coll}$  为冲突时隙数,  $F$  为帧长度。

动态帧调整,根据估算的未识别标签数量,更新帧长度  $F$ ,公式为:

$$F_{new} = round(\alpha \cdot \hat{N}) \quad (2)$$

其中,  $\alpha$  为调整因子,通常在实验中通过调参获得最佳值。

标签优先级优化,通过对关键标签分配额外时隙,提高其识别概率。

迭代读取,重复上述步骤,直至所有标签被成功识别。

动态帧调整机制,EFQ 算法的关键在于动态帧调整策略。具体包括:冲突检测与调整,当连续冲突时隙超过阈值  $Th_{coll}$  时,增加帧长度以减少冲突;空闲时隙检测与调整,当连续空闲时隙超过阈值  $Th_{empty}$  时,减少帧长度以提升资源利用率。帧长度更新规则:

$$F_{next} = \begin{cases} F_{current} + \Delta F, & C_{coll} > Th_{coll} \\ F_{current} - \Delta F, & C_{empty} > Th_{empty} \\ F_{current}, & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

其中,  $\Delta F$  为帧长度的调整步长。

EFQ 算法基于 ALOHA 优化,针对高密度 RFID 识别

瓶颈进行改进。它通过动态帧调整,实时估算标签数量并优化帧长,减少时隙浪费,提高吞吐量。同时,引入标签优先级机制,优先识别关键设备标签,确保重要数据可靠采集。此外,EFQ 优化标签读取顺序,减少冗余查询和重复读取,提升系统稳定性和效率,在大规模电网巡检中表现优越。

## 2.3 EFQ 算法工作流程与步骤

EFQ 算法的核心是动态调整帧长度和优化时隙分配策略,以适应电网环境中高密度标签的读取需求。图 3 所示为 EFQ 算法的主要流程,包括初始化、时隙状态检测、标签数量估算、帧长度调整、标签优先级优化和迭代读取等步骤。通过这些步骤,算法能够在不同的电网电表巡检环境中实现高效的数据采集。

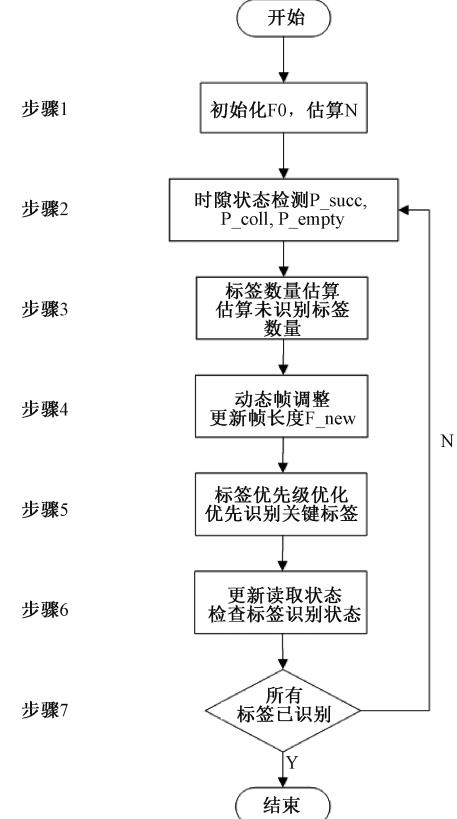


图 3 算法流程图

Fig. 3 Algorithm flow chart

图 3 描述 EFQ 算法的流程具体如下:

步骤 1) 输入参数初始化。输入初始参数,包括帧长度  $F_0$ 、标签总数估算值  $N$ 、帧长度调整因子  $\alpha$ 、冲突阈值  $Th_{coll}$  和空闲时隙阈值  $Th_{empty}$  等。同时初始化读取状态,标记所有标签为未识别状态。

步骤 2) 时隙状态检测。根据当前帧长度  $F$ ,通过 RFID 系统采集时隙状态反馈,统计成功时隙( $P_{succ}$ )、冲突时隙( $P_{coll}$ )和空闲时隙( $P_{empty}$ )的数量。

步骤 3) 标签数量估算。利用时隙状态数据估算当前未识别的标签数量  $\hat{N}$ ,为动态调整帧长度提供参考依据。

步骤 4) 帧长度调整。根据估算的标签数量  $\hat{N}$  和调整因子  $\alpha$ , 动态计算新的帧长度  $F_{new}$ 。判断当前帧是否需要调整: 如果冲突时隙数量  $P_{coll} > Th_{coll}$ , 增加帧长度以减少冲突; 如果空闲时隙数量  $P_{empty} > Th_{empty}$ , 减小帧长度以提高利用率; 否则, 维持当前帧长度。

步骤 5) 标签优先级优化。对重要标签分配额外时隙, 提高关键标签的识别优先级。此过程通过对重要标签的动态调整优化整体识别效率。

步骤 6) 更新读取状态。更新标签识别状态, 并检查是否所有标签都已识别: 如果所有标签均已成功识别, 则进入“终止条件”; 如果仍有未识别的标签, 则返回步骤 2), 进行下一轮迭代。

步骤 7) 终止条件。检查是否满足终止条件: 若标签全部识别成功或达到最大迭代次数, 则终止算法; 否则, 返回步骤 3), 继续执行。

EFQ 算法相较于传统算法具备动态适应性强、资源利用率高、关键标签优先识别的优势。通过动态调整帧长和优化时隙分配, 在高密度标签环境下减少冲突和空闲时隙, 提高系统吞吐量和识别效率。针对电网稠密标签分布和实时性需求优化, 确保关键标签优先识别, 满足复杂场景下的高效数据采集需求, 为智慧电网自动化巡检提供技术支持。

### 3 实验与结果分析

#### 3.1 实验目的

本实验旨在验证 EFQ 算法在大规模电网设备盘点中的性能, 并与 IABS 和 ICT 算法对比, 评估其在识别时间、吞吐量、冲突率和系统效率四个关键指标上的表现。IABS 通过标签分组优化帧分配, 但高密度环境下资源分配不均; ICT 优化查询逻辑减少空闲周期, 但通信开销较高且受标签 ID 分布影响。本实验通过仿真和实际测试, 分析 EFQ 算法在高密度标签场景中的优化效果, 验证其在提升数据采集效率、降低冲突率方面的优势。

#### 3.2 实验设置

实验采用 RFID 自动巡检机器人作为测试平台, 配备高精度 RFID 读写设备和 14 dBi 相控阵天线, 确保稳定读取性能。实验模拟 1 000 个电表电子标签的高密度环境, 使测试条件尽可能贴近实际电网巡检场景(如图 4 所示)。

实验步骤如下:

初始化标签数量: 从 100 个标签开始, 每次递增至 1 000 个, 模拟不同密度环境。

算法加载与参数设定: 分别运行 EFQ、IABS 和 ICT 算法, 设定相同的初始帧长度、调整因子和阈值, 确保公平对比。

数据采集: 机器人沿设定路径巡检, RFID 模块实时读取标签数据。



图 4 现场测试图片

Fig. 4 Field test picture

动态调整: EFQ 算法根据冲突和空闲时隙调整帧长度, 并优先识别关键标签。

记录数据: 在不同标签数量下, 测量识别时间、吞吐量、冲突率、系统效率, 多次重复测试确保数据稳定性。

#### 3.3 实验结果及分析

实验结果(如图 5~8 所示)表明, EFQ 算法在高密度标签环境下优于 IABS 和 ICT, 展现出更优的识别效率和吞吐量。

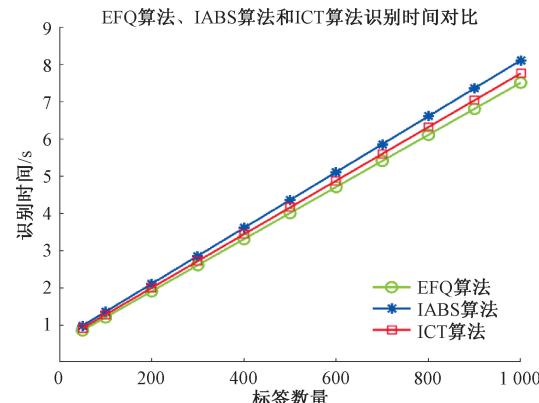


图 5 算法识别时间对比

Fig. 5 Comparison of algorithm recognition time

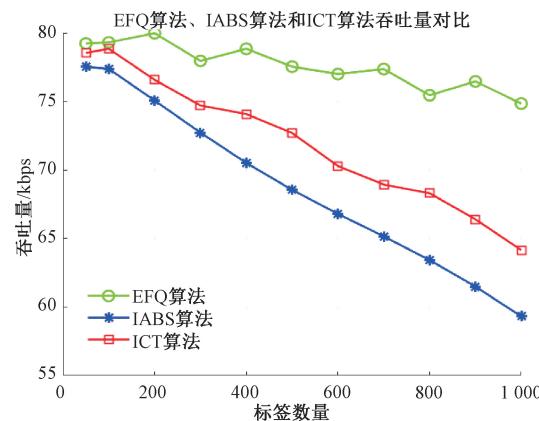


图 6 算法吞吐量对比

Fig. 6 Comparison of algorithm throughput

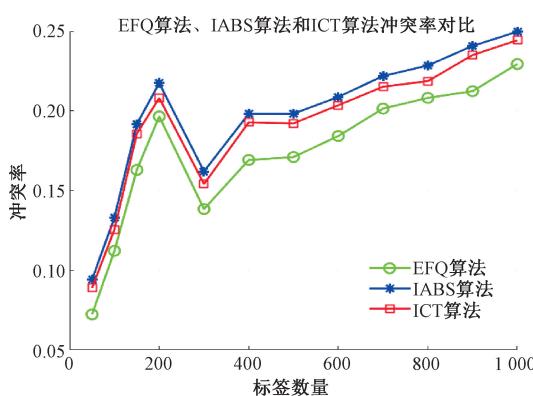


图 7 算法冲突率对比

Fig. 7 Comparison of algorithm conflict rates

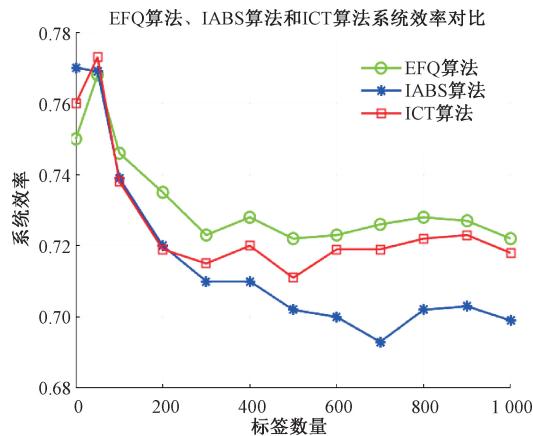


图 8 算法系统效率对比

Fig. 8 Comparison of algorithm system efficiency

吞吐量:EFQ 算法在高密度环境下保持较小的吞吐量下降幅度,IABS 因固定帧长下降较快,ICT 优化查询逻辑略有改善,但通信开销限制了吞吐能力。

冲突率:IABS 因固定帧长,在高密度场景下冲突率迅速上升,ICT 优化查询逻辑略有缓解,但受 ID 分布影响。EFQ 通过实时冲突检测和帧动态调整,冲突率始终最低,在 1 000 个标签场景下比 IABS 降低 30%,比 ICT 降低 15%。

系统效率:EFQ 在不同标签数量场景下都能保持较高效率,在 700 个以上标签的高密度环境中,系统效率稳定在 0.73,明显高于 IABS(0.69)和 ICT(0.72),展现出更优的数据采集能力。

### 3.4 实验结论

实验结果表明,EFQ 算法在高密度 RFID 标签环境下的稳定性和高效性明显优于 IABS 和 ICT。EFQ 能够动态调整帧长,优化标签管理,有效降低冲突,提高吞吐量和系统效率,在大规模电网设备巡检中展现出更强的适应性和可靠性。

## 4 结 论

本文提出了一种面向电网大规模设备盘点场景的智慧系统,旨在解决传统电网设备管理模式效率低下、精准性不足的问题。该系统通过整合机器人巡检技术与 RFID 技术,为智慧电网的设备自动化管理提供了一种创新性解决方案。然而,RFID 技术在高密度标签环境中面临的信号干扰和标签冲突问题,限制了系统在大规模场景下的应用性能。针对这一关键瓶颈,本文提出了智能增强型动态帧队列算法(EFQ)。EFQ 算法通过动态调整帧长度与优化标签优先级管理,显著提升了 RFID 系统在高密度场景下的识别效率和稳定性。实验结果表明,EFQ 算法相较于 IABS 和 ICT 算法,在吞吐量与冲突率两方面展现了显著优势,其中冲突率降低超过 30%,系统效率提升约 15%。尽管识别时间差异不明显,但 EFQ 算法在复杂环境中的整体性能更加稳定,适用于密集标签场景下的电网设备管理需求。未来,针对 EFQ 算法的实际部署,仍需进一步优化其在超大规模场景中的性能,并探索与更多智能技术的深度融合,以推动智慧电网设备管理效率的持续提升。

## 参考文献

- [1] 童枭军,陈洋,路浩,等.面向表计读数的变电站巡检机器人路径规划[J].电子测量与仪器学报,2022,36(8):167-177.  
TONG X J, CHEN Y, LU H, et al. Path planning of substation inspection robot for meter reading [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2022, 36(8):167-177.
- [2] 赵倩楠,黄宜庆.融合 A\* 蚁群和动态窗口法的机器人路径规划[J].电子测量与仪器学报,2023,37(2):28-38.  
ZHAO Q N, HUANG Y Q. Robot path planning based on the fusion of A\* ant colony and dynamic window method [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2023,37(2):28-38.
- [3] 朱洪波,殷宏亮.分层平滑优化 A\* 引导 DWA 用于机器人路径规划[J].电子测量与仪器学报,2024,38(9):155-168.  
ZHU H B, YIN H L. Layered smoothing optimization A\* guided DWA for robot path planning[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2024, 38(9): 155-168.
- [4] 巫宇航,王强,肖瑶,等.燃气管道巡检四足机器人的改进沙猫群优化 SLAM 算法研究[J].电子测量与仪器学报,2024,38(10):128-136.  
WU Y H, WANG Q, XIAO Y, et al. Research on improved sand cat swarm optimization SLAM algorithm for gas pipeline inspection quadruped robot[J]. Journal of

- Electronic Measurement and Instrumentation, 2024, 38(10): 128-136.
- [5] XIAO T, YU G, JIN Z, et al. Improved ALOHA-based RFID tag anti-collision algorithm[C]. 2022 12th International Conference on Information Science and Technology(ICIST). IEEE, 2022: 351-355.
- [6] ZHENG K, ZHANG K T, XIA L X, et al. A fast anti-Collision algorithm for RFID tag identification[C]. 2022 IEEE 6th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC). IEEE, 2022: 1392-1395.
- [7] EMOTO T, RAVANKAR A A, RAVANKAR A, et al. Automatic inspection of railcar wheels using laser and image sensor [C]. 2021 60th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan(SICE). IEEE, 2021: 1282-1287.
- [8] SU J, HE B, ZHANG J, et al. Smart grid power fault detection and safe transmission method of UAV automatic patrol inspection[C]. 2023 2nd International Conference on Clean Energy Storage and Power Engineering(CESPE). IEEE, 2023: 179-184.
- [9] LIU Z, ZHU L, JIANG T, et al. Research on university fire equipment management system based on RFID technology[C]. 2022 IEEE Conference on Telecommunications, Optics and Computer Science (TOCS). IEEE, 2022: 296-301.
- [10] QU J, WANG T. An adaptive frame slotted ALOHA anti-collision algorithm based on tag grouping [J]. Cognitive Computation and Systems, 2021, 3(1): 17-27.
- [11] ZHOU X, XU C, HE J, et al. A cross-region wireless-synchronization-based TDOA method for indoor positioning applications [C]. 2019 28th Wireless and Optical Communications Conference (WOCC). IEEE, 2019: 1-4.
- [12] 史露强,何怡刚,罗旗舞,等.改进的混合查寻树 RFID 防碰撞算法[J].电子测量与仪器学报,2017,31(8): 1281-1288.
- SHI L Q, HE Y G, LUO Q W, et al. Improved hybrid search tree RFID anti-collision algorithm[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2017,31(8): 1281-1288.
- [13] LI G, WANG J. A RFID anti-collision approach for efficient query tree[J]. International Journal of RF Technologies, 2023, 13(1): 21-36.
- [14] PUTRI B D C, SAPUTRA G, NUZULIA F A, et al. Implementation of RFID HF reader for detecting of multi-tag reader using anti-collision algorithm based on binary tree[C]. 2023 1st International Conference on Advanced Engineering and Technologies(ICONNIC). IEEE, 2023: 120-125.
- [15] YAN X. Full permutation based binary search (FP-BS) anti-collision algorithm for RFID[C]. 2023 IEEE International Conference on Image Processing and Computer Applications (ICIPCA). IEEE, 2023: 42-46.

### 作者简介

黄申茂,硕士,高级工程师,主要研究方向为电能计量、用电信息采集等。

E-mail:858025303@qq.com

庄宇峰(通信作者),本科,工程师,主要研究方向为电能计量、用电信息采集、计量资产管理等。

E-mail:357005752@qq.com

路纯,硕士,工程师,主要研究方向为行政管理、自动控制理论、电力系统稳定性分析等。

E-mail:kklse@126.com

宋子豪,硕士,工程师,主要研究方向为电力营销计量技术、仪器仪表状态监测。

E-mail:2509864897@qq.com