



基于新型无源物联网的中大型物流仓库智慧仓储建设方案研讨

李志, 栗新汉, 张鼎铭, 张智文

(中国移动通信集团设计院有限公司黑龙江分公司, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘 要: 随着产业数字化进程的深入推进, 中大型物流仓储管理面临着全要素可感可连、全流程可管可控的迫切需求。传统RFID技术因读写距离短、识别准确率低、自动化程度不高等局限性, 已难以满足现代智慧仓储的管理要求。基于中国移动“中移百灵”组网式无源物联网系统, 探讨了一种面向中大型物流仓库的新型无源物联网建设方案。方案采用主从架构创新设计, 通过协同组网和连续部署实现上万平米仓库空间的全覆盖, 支持超10万标签的快速读取与米级定位精度。详细分析了该系统的技术原理、架构设计、创新特性及实施路径, 并结合国家电网、燕东微电子等实际应用案例, 验证了方案在提升仓储管理效率、降低运营成本、增强数据准确性方面的显著效果。研究结果表明, 新型无源物联网技术可有效解决中大型物流仓库的自动化盘点、精准定位、智能管理等痛点, 为仓储物流行业的数字化转型提供了可靠的技术路径。

关键词: 无源物联网; 智慧仓储; 组网式架构; RFID; 自动化管理

中图分类号: TP391.4

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2025311

0 引言

产业数字化深入推进, 行业对人员、资产、物料、产品等全生产要素、全生命周期的智能化、自动化、可视化的管理需求日益迫切。全要素可感可连、全流程可管可控成为支撑产业数字化新需求和新业态的基础。在这一背景下, 物流仓储作为供应链管理的核心环节, 其管理效率直接影响整个供应链的运营效能。

然而, 传统物流仓库管理仍面临诸多挑战。根据天津国网电力公司供应链服务智慧园区项目的调研结果, 现有仓库管理模式普遍存在以下问题: 一是作业效率偏低, 出入库管理依赖手工记

账, 人工操作工作量大, 盘点管理需要人工开箱盘点, 人工成本高; 二是缺乏有效监控手段, 专项仓储地理位置分散, 监控不到位; 三是安全无法保障, 问题无法及时发现, 安全性受到挑战。此外, 库存货物日常盘点无法有效实现, 货物无法精确定位, 查找效率低下, 对库管人员依赖程度较大。

传统RFID技术作为物联网感知层的重要组成部分, 虽然在一定程度上提升了仓储管理的信息化水平, 但其固有的技术局限性限制了应用效果。传统RFID设备通常是单点式形态, 常见手持机或读写器, 存在读写距离短(通常3~5 m)、识别准确率低、自干扰强、互干扰强等问题。在海量资产管理中需要人工辅助, 自动化程度



低,无法满足行业客户对生产管理的精细化要求。

为解决上述问题,中国移动自主研发了“中移百灵”系统——业界首个组网式无源物联商用产品,支持协同组网和连续部署,实现大中型面积的覆盖,且对现有RFID标签不做改动,支持系统的无缝切换升级及快速部署。该系统具备规模组网(支持上万平米连续组网覆盖)、远距离识别(>100 m)、海量并发(>10万标签快速读取)等特点,为中大型物流仓库提供了全新的技术解决方案。

本文旨在深入探讨新型无源物联网技术在大型物流仓库中的应用方案,分析其技术原理、系统架构及实施路径,并通过实际案例验证其应用效果,为物流仓储行业的数字化转型提供理论参考和实践指导。

1 无源物联网技术演进与创新优势

1.1 无源物联网技术基本原理

无源物联网终端不需要电池供电,常见形态是电子标签,标签主要包括芯片和天线两部分,芯片内置编码信息。当网络设备或者手持设备发射电波到标签时,标签收集到足够的射频能量后

可启动芯片,并与设备之间完成通信。超高频RFID作为典型的无源物联技术,具有低成本、易部署、免维护等特点,广泛应用于仓储、工业、医疗、物流等领域。与传统有源物联网技术相比,无源物联网技术具有显著优势:一是不需要电源供电,免维护;二是成本低廉,适合大规模部署;三是体积小巧,易于安装贴附。这些特性使得无源物联网技术特别适合物流仓储环境中的资产、物资管理应用。

1.2 从传统RFID到组网式无源物联网的演进

无源物联网技术的发展经历了从单点式无源1.0到组网式无源2.0,再到蜂窝式无源3.0的演进过程。传统单点式RFID读写器采用同频收发一体架构,存在系统自干扰和互干扰强、读写距离短、识别准确率低、自动化管理困难等局限性。无源物联网演进路线如图1所示。

传统无源RFID方案存在明显不足,在入库管理环节,需要人工逐件扫描,效率低下,易出现漏扫、误扫;在库管理环节,人工盘点效率低,大型仓储难以盘全,物料查找耗时长;出库管理环节同样依赖人工逐件扫描,效率低且差错率高。

“中移百灵”创新采用组网式架构并运用通信组网技术,解决单点式读写器自干扰和互干



图1 无源物联网演进路线

扰问题, 识别标签距离更远, 速度更快, 可灵活组网, 拓展了无源物联的应用场景和商业模式, 复用现有产业能力, 具备良好的快速推广的基础。

1.3 新型组网式无源物联网的技术创新

新型组网式无源物联网系统在架构、算法和能力3个方面实现了创新突破。

- 架构创新: 新型组网式无源物联网架构如图2所示, 采用主从架构, 支持多节点灵活组网、协同部署和连续覆盖, 解决了传统RFID系统的自干扰和互干扰问题。

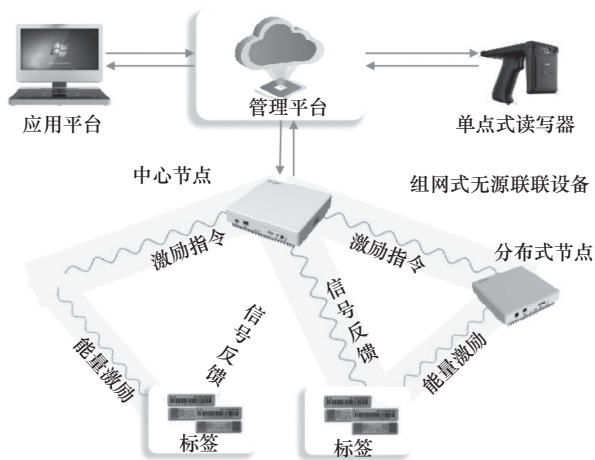


图2 新型组网式无源物联网架构

- 算法创新: 通过协同调度、防碰撞机制和干扰消除算法, 大幅提升了系统识别准确率和并发处理能力。

- 能力创新: 具备无源定位能力、盘点出入库能力和定向查找能力, 支持米级定位精度和超过10万标签的快速读取。

这些技术创新使得新型无源物联网系统在性能上远超传统RFID方案, 实现了从“手持、点对点”到“自动化、网络化管理”的理念突破, 为物流仓储管理提供了全方位的技术支撑。

2 中大型物流仓库无源物联网系统总体设计

2.1 建设目标与设计原则

中大型物流仓库新型无源物联网系统的建设目标是, 基于无源物联网的全库覆盖管理能力, 实现部署区域一键自动盘点、精准定位等功能, 解决人工盘点费时费力等问题, 打造端到端的智慧仓储资产管理服务。新型无源物联网系统的建设效果如图3所示。

系统设计遵循以下原则, 一是模块化与接口化设计, 实现系统功能的灵活拆分与高效集成, 支持按需部署与快速对接; 二是原子化能力构建, 提供多种模块化能力与标准化接口, 提升系统复用性与交付效率; 三是可扩展性设计, 支持未来功能扩展和业务拓展, 适应不同规模仓储场景需求。

2.2 系统总体架构

新型无源物联系统采用分层架构设计, 包括感知层、网络层、平台层和应用层。

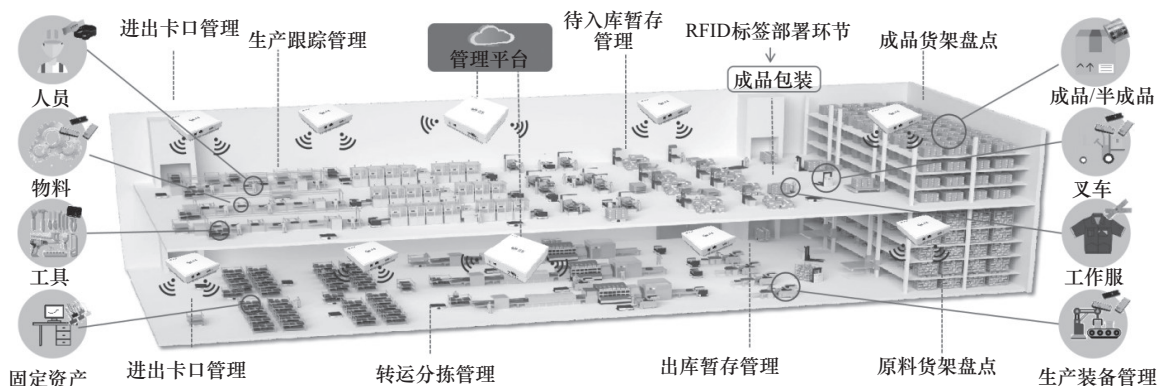


图3 新型无源物联网系统的建设效果



- 感知层：由各类无源RFID标签和传感器组成，包括“中移繁星”系列无源电子标签，面向全行业数字化转型需求打造全场景全品类标签，如面单标签、库位标签、托盘标签、容器标签、资产标签、扎带标签、工卡标签、模具标签等。
- 网络层：由“中移百灵”组网式无源物联网设备组成，包括中心节点设备（R设备）、分布节点设备（Q设备），以及各类天线和连接设备，实现仓库空间的全面覆盖。
- 平台层：“中移载物”资产管理平台面向全行业的数字化资产管理需求，基于无源物联网提供赋码、资产盘存、定位、出入库管理、与现有系统对接等一站式综合管理服务。
- 应用层：提供仓储管理各项业务功能，包括自动化盘点、出入库管理、定位追踪、智能分析等，支持与WMS/ERP/HR/TMS/OMS/WCS等系统对接。

2.3 硬件组成与部署方案

中大型物流仓库无源物联网系统的硬件组成如下。

- 电子标签：每个货托或物资上贴附唯一标识的RFID标签，含有电子芯片存储必要信息。
- 读取设备：固定式读写设备器（安装在仓库顶部挂高关键位置并组网）。
- 天线与扩展器：增强信号覆盖能力，确保所有标签都能被有效读取。
- 网络设备：POE交换机、光模块、交换机机柜等网络连接设备。
- 辅助设备：手持读写器、标签打印机及桌面发卡器，可按需定制应用。

2.4 软件平台功能设计

“中移载物”平台提供全面的仓储管理功能，主要如下。

- 基础管理模块：提供平台页面、用户信息管理等基础功能，支持权限管理与数据隔离。
- 业务功能模块：包括出入库管理、自动盘点、货架定位、可视化呈现、库位规划等核心业务功能。
- 智能决策支持：基于大数据分析与人工智能算法，实现库存预测、滞库预警、库位预警等功能，辅助管理人员科学决策。
- 系统对接服务：提供标准API，与客户现有系统进行对接，支持本地、云化部署。

平台采用模块化架构设计，提供标准化API，全面兼容企业现有ERP、WMS、OMS、TMS等系统，满足不同行业客户的个性化对接需求。

3 关键技术创新与解决方案

3.1 组网式覆盖与抗干扰技术

新型无源物联网系统通过组网式架构创新，有效解决了传统RFID系统的自干扰和互干扰问题。系统采用主从架构设计，将传统的读写一体设备分离为中心节点设备（R设备）和分布节点设备（Q设备），通过空间分离和时序调度避免自干扰。

在抗干扰算法方面，系统采用了多项创新技术：一是协同调度算法，通过精确的时间同步和资源分配，避免多个设备之间相互干扰；二是自适应频点选择技术，根据环境电磁状况动态选择最优工作频点，避开干扰源；三是智能功率控制算法，根据标签距离动态调整发射功率，既保证读取效果又降低干扰。

这些技术的综合应用，使系统能够在复杂仓库环境中保持稳定的读写性能，识别准确率超过99%，远超传统RFID方案85%的准确率。

3.2 智能业务功能与算法应用

新型无源物联网系统集成多项智能业务功

能,通过人工智能算法提升仓储管理效率。

- 智能库位分配算法:通过算法建模和数据分析,自动为入库货物分配最优存储位置,以提升仓储空间利用率、缩短拣选路径、优化库存管理效率。算法综合考虑物资属性(同类型的物资放置位置接近)、物资尺寸及重量(体积更大、重量更重的物资放置在货架底层)、物资关联度(经常一起被购买的物资应放置得更近)以及物资周转率(快速周转的物资可能更适合存放在靠近出入口的位置)等多维度因素。
- 智能拣选规划算法:为订单拣选路径和拣选库位提供最优方案,以提升拣选效率、降低人工成本并减少错误率。算法应用先进先出(先入库的物资先出库)、物资周转率(优先拣选能提高周转率的货物)、最近邻原则(选择离当前拣货点最近的物资进行下一次拣选)和波次拣货(在特定时间段内集中处理某一类或几类订单)等策略。
- 智能决策支持系统:基于大数据分析与人人工智能算法,实现库存预测、滞库预警、库位预警等功能,辅助管理人员科学决策。库存预测通过采集和分析历史数据,建设库存预测模型,对未来一段时间内的库存需求进行科学预估;滞库预警通过分析库存周转数据和商品流动情况,及时识别长期滞留、周转缓慢的库存;库位预警通过实时监控仓库中各库位的占用状态和使用效率,及时发现库位不足、库位利用不合理等问题。

3.3 多模态终端协同与交互创新

新型无源物联网系统支持多端协同办公,通过差异化终端实现仓储管理全链路数字化升级。

- 大屏端:打造数据驾驶舱,实时呈现库存动态、周转效率等核心指标并集成AI算法辅助智能调度决策。大屏可视化界面提供仓库整体运营状况的一目了然视图,支持多维度数据钻取和分析。
- 中屏端:作为业务管理中枢,覆盖订单处理、库位规划、设备监控等全维度操作,实现仓储流程可视化与精准管控。中屏界面提供详细业务操作功能,支持批量处理和流程跟踪。
- 小屏端:化身移动作业终端,支持一线人员通过扫码/语音交互完成高效收发货,形成“决策-管控-执行”的闭环协同机制。小屏移动应用特别适合现场作业人员使用,提供简洁明了的操作界面和实时数据同步。

此外,系统还创新性地引入了仓库智能助手-“仓小满”,构建仓储领域大模型,集成智能对话、知识检索、数据统计等功能。通过语音识别与播报技术,精准转化仓储环境中的语音指令为可执行操作,实现作业指令秒级响应。例如,工作人员可以通过语音查询“5G无线主设备放在什么地方”,系统即时响应“5G无线主设备放在2号仓F区域第8排货架,库位为2F08010101”。

3.4 柔性部署与生态融合方案

新型无源物联网系统支持多种部署模式,适应不同规模仓储场景需求。中大型仓库和小型仓库的部署示意图如图4所示。

- 中大型规模仓库:采用“智慧仓库平台+无源物联组网+PAD手持终端”组合,实现全链路可视化管理、自动数据采集与高效协同作业。这种模式适合面积超过3 000 m²的大型仓库,支持全方位无源物联网覆盖。
- 小型仓库及堆场:采用“智慧仓库平台+无源分布式节点+PAD手持终端”的组



合,仓库门安装分布式节点,出入库自动采集信息。这种模式适合面积较小的仓库,以较低成本实现核心功能。

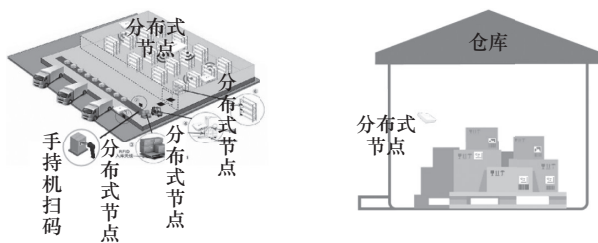


图4 中大型仓库和小型仓库的部署示意图

系统还深度融合生态产品资源,具备手持扫码枪、通道机/门、机器人、无人机、标签打印机等生态产品集成能力,为客户提供覆盖全场景的端到端解决方案。生态合作伙伴包括优博讯、东集技术、远望谷、新北洋、海康、大疆等行业领先企业,共同构建无源物联网生态系统。

4 应用案例与效益分析

4.1 国家电网全仓资产自动化管理案例

天津国网电力公司供应链服务智慧园区二期项目是新型无源物联网系统的典型应用案例。项目目前,该仓库管理面临诸多挑战,项目管理流程为按季度进行人工盘点,盘点耗时较长、效率相对较低;仓库智能化水平较低,货物进出库、日常库存盘点、存储定位等都靠人工,效率低;库存货物日常盘点无法有效实现,货物堆放无序,堆放密度大;货物无法定位,查找效率低下。

项目实施后,通过对1号库及两个室外罩棚进行无源物联系统全面覆盖,实现了全自动一键盘点。1号库长86 m,宽42 m,高10 m,管理面积约3 000 m²;室外罩棚1仓库长75 m,宽50 m,高4.5 m,管理面积3 500 m²;室外罩棚2长60 m,宽42 m,高6 m,管理面积2 000 m²。

项目部署方案包括:在1号库安装4台R设备,8台Q设备(16端口),28副RX天线(9 dBi),72副TX天线(12 dBi);在1号罩棚安装2台R设

备,4台Q设备(16端口),16副RX天线(9 dBi),48副TX天线(9 dBi);在2号罩棚安装2台R设备,6台Q设备(16端口),16副RX天线(9 dBi),84副TX天线(12 dBi)。

实施效果显著,实现了全仓物资一键盘点,人工成本节省70万元/年;实时定位查找,物资周转率提高18.5%;盘活实物资源、高效账实核查、快速应急保供。具体而言,出入库效率从原来的10 min缩短到20 s内;盘点效率从4~5人耗时1~2天提升到0人操作、10 min内完成。

4.2 燕东微电子资产精准化管理案例

燕东微电子项目展示了新型无源物联网在精密制造行业的应用效果。项目目前,该企业面临以下问题:大量资产手动盘点效率低下;资产借用未及时更新位置信息,难以找寻;区域设备出入管理耗费人力。

项目实施后,实现了一键自动盘点,15 min完成上万平米资产盘点;资产高效定位,精度达到米级;关键资产进出形成日志文件并通知管理员。这些功能大幅提升了资产管理效率和精度,为精密制造企业的生产运营提供了可靠保障。

4.3 宁德时代人员管理与安全管控案例

宁德时代项目展示了新型无源物联网在人员管理和安全管控方面的应用价值。目前,该企业面临以下挑战:危险工作区人员无法定位,存在安全风险;人员查找依赖现场广播,效率低;工序工作时长依赖人工估算,数据不准确。

项目实施后,实现了3 m级人员实时定位,降低人员安全风险;定位可视化及实时查找,提升找人效率;工序级工时自动统计,优化作业时长。这些功能不仅提升了人员安全管理水平,还为生产流程优化提供了数据支持。

4.4 综合效益分析

新型无源物联网系统在中大型物流仓库中的应用带来了显著的综合效益。

- 经济效益:大幅降低人工成本,自动化

盘点减少 90% 的人工投入；提高物资周转率 18.5%，减少资金占用；降低差错率，减少因管理失误导致的经济损失。

- 管理效益：实现仓储管理流程的标准化和规范化；提升数据准确性和实时性，支持精准决策；增强仓储运营的透明度和可控性。
- 安全效益：实时监控仓库运营状况，及时发现问题并进行处理；通过电子围栏、人员权限管理等功能，保障物资安全；降低人工操作风险，提高生产安全性。
- 战略效益：支撑企业数字化转型战略实施；提升企业供应链协同效率；增强企业市场竞争力和客户满意度。

5 结束语

本文深入探讨了新型无源物联网技术在中大型物流仓库中的应用方案，分析了其技术原理、系统架构及实施路径，并通过实际案例验证了应用效果。研究表明，新型无源物联网技术通过组网式架构创新，有效解决了传统 RFID 系统的自干扰和互干扰问题，实现了大规模、远距离、高并发的标签识别能力，支持上万平米仓库空间的全覆盖和超过 10 万标签的快速读取。集成智能算法和多项创新功能，包括智能库位分配、智能拣选规划、智能决策支持等，大幅提升了仓储管理

效率和精度，实现了从“手持、点对点”到“自动化、网络化管理”的转变。实际应用案例表明，新型无源物联网系统在提升仓储作业效率、降低运营成本、增强数据准确性方面效果显著，为物流仓储行业的数字化转型提供了可靠的技术路径和支持。

参考文献：

- [1] 刘毅, 郭宝, 邱宝刚. 面向 5G-A 的无源物联网技术应用研究[J]. 山东通信技术, 2024, 44(1): 13-15, 27.
- [2] 秦秉东, 陈保豪, 刘博林, 等. 基于 Transformer 模型的 5G P-IoT 在高压设备测温中的应用[J]. 广东电力, 2025, 38(4): 109-116.
- [3] 李光亮. 基于 RFID 的医院资产管理信息系统设计[D]. 成都: 电子科技大学, 2016.
- [4] 黄宇红, 万鸿俊, 王楚豫, 等. 基于 RFID 的无源物联网无线感知研究现状与发展趋势[J]. 软件学报, 2025: 1-17.

[作者简介]

李志（1995-），男，中国移动通信集团设计院有限公司黑龙江分公司工程师，主要研究方向为模式识别与智能信号处理、数智规划咨询。

栗新汉（1980-），男，中国移动通信集团设计院有限公司黑龙江分公司高级工程师，主要研究方向为传输网规划与设计、信息化集成服务等。

张鼎铭（2002-），男，中国移动通信集团设计院有限公司黑龙江分公司助理工程师，主要研究方向为数智化转型咨询。

张智文（1997-），男，中国移动通信集团设计院有限公司黑龙江分公司工程师，主要研究方向数智化转型咨询。