

doi: 10.7690/bgzdh.2020.12.012

基于 LDSW 风洞试验设备跟踪管控系统

徐 涛, 杜轶焜, 刘晨雨

(中国空气动力研究与发展中心高速所, 四川 绵阳 621000)

摘要: 为解决高速所主要风洞试验设备在管理过程中存在的不能实时监控、盘点困难、不够精细化等问题, 基于低占空比智能无线通信技术 (low duty cycle smart wireless, LDSW) 构建了风洞试验设备跟踪管控系统。介绍了 LDSW 技术的工作原理和技术特点, 分析现有定位技术存在的不足, 提出一种基于 LDSW 技术和无线传感网络中 RSSI 定位技术的设备跟踪管控系统研制方法。应用结果表明, 该系统能解决高速所主要风洞试验设备的实时跟踪定位、盘点和精细化管控难题。

关键词: LDSW 技术; 风洞试验设备; 无线传感; 跟踪管控系统

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A

Tracking Control System of Wind Tunnel Test Equipment Based on LDSW

Xu Tao, Du YiKun, Liu Chenyu

(High Speed Institute, China Aerodynamics Research & Development Center, Mianyang 621000, China)

Abstract: In order to solve the problems existing in the management of the wind tunnel test equipment of high-speed institute, such as the failure of real-time monitoring, the difficulty in inventory, and the lack of refinement, the tracking control system of wind tunnel test equipment was constructed based on low duty cycle smart wireless (LDSW). Introduces the working principle and technical characteristics of LDSW technology, analyzes the shortcomings of existing positioning technology, and proposes a development method of equipment tracking control system based on LDSW technology and RSSI positioning technology in wireless sensor network. The application results show that the system can solve the problems of real-time tracking, positioning, inventory and fine control of the high-speed wind tunnel test equipment.

Keywords: LDSW technology; wind tunnel test equipment; wireless sensor; tracking control system

0 引言

随着物联网的发展, 传感器技术已开始得到广泛关注和应用, 通过它构成的无线传感器网络 (wireless sensor network, WSN) 可连接物理世界和数字世界。目前, 国际上已有研究工作将其应用于环境监测和保护以及时发现和定位事故源、航空和航天的落点控制、军事目标的定位与跟踪等方面。在各种应用中, 位置信息对物联网的监测活动至关重要, 虽然可以通过全球定位系统 (global position system, GPS) 实现定位; 但其适用于无遮挡的室外环境, 且用户节点通常能耗高、体积大、成本较高, 还需要固定的基础设施^[1]。在 GPS 应用受限的场景下, 或是在人类难以胜任或无法到达的复杂环境中, 采用体积小、能量消耗低、价格低廉的传感器网络可很好地解决目标发现及定位等问题。

高速所现有的基于有源射频识别 (radio frequency identification, RFID) 的涉密设备出入管控系统^[2], 利用 RFID 标签和固定出入口自动识别,

有效控制了涉密设备的私自带出情况。该系统只在固定出入口处监控移动设备的进出行为, 仍属于粗放型的管理, 还存在不足: 1) 不能实时监控设备。只有设备经过固定出入口时, 系统才能检测到设备, 其余时间只能判定设备所处区域, 不能实时获取设备的具体位置信息, 管理不够精细化。2) 盘点困难。完成一次盘点, 需要管理员手持终端遍历所有设备存放场所, 完成后再将盘点信息同步到电脑, 自动化程度不高, 效率低。3) 能耗高。RFID 标签一直处于广播状态, 能耗高, 电池寿命短。4) 系统采用单向通信, RFID 标签主动给识别天线发送信号, 天线无法给 RFID 卡发送控制信息; 因此, 不能进一步向智能控制方向发展。

针对以上缺点和不足, 笔者基于 LDSW 构建了设备跟踪管控系统。该系统利用低占空比智能无线通信技术结合物联网和无线传感网络技术, 能够实时跟踪监控设备, 实时盘点设备和实时查看设备在位状况, 兼顾了室内室外定位、自动盘点、信息存储、信息自动采集和传输、智能控制等功能。

收稿日期: 2020-08-07; 修回日期: 2020-09-17

作者简介: 徐 涛(1985—), 男, 江西人, 硕士, 工程师, 从事风洞试验相关的信息化系统建设和软件研究。E-mail: xutaokd@163.com。

1 LDSW 技术简介

1.1 工作原理

LDSW 是一种世界领先的低功耗无线智能通信技术。在采用间隙性低占空比(一般为 1/10 000)工作方式的同时又能实现远距离双向多频道快速灵活的通信,用较低成本满足了物联网底层各种信息的采集和传输需要,已被国际标准化组织接受为新的有源电子标签国际标准的技术基础。其工作原理如图 1 所示。

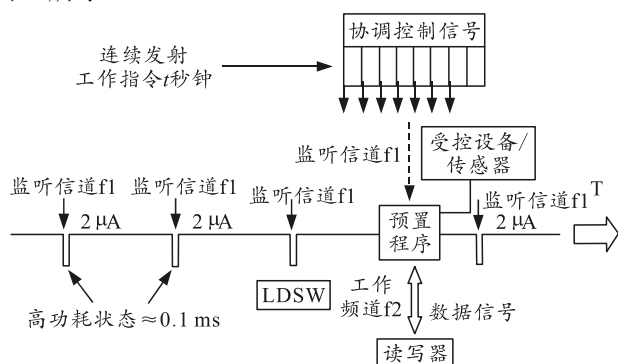


图 1 LDSW 工作原理

在受控端安装 LDSW 智能终端,智能终端通过 CPU 提供的 I/O 口与一个或多个传感器连接。在非工作状态,受控端处于周期性睡眠苏醒状态,即每 1 s 里有 1/10 000 s 时间为苏醒状态。在苏醒状态下,受控端会监听是否有读写器发来的工作指令。当受控端接收到读写器的工作指令后,进入工作状态,将传感器获取的数据传输到读写器。

1.2 技术特点

LDSW 技术包括超低功耗超远距离睡眠唤醒技术,多信道协同工作技术,海量标签自动分组和超低功耗快速盘点技术,动态授时技术(标签与标签通信),精确定位技术,超低功耗和超远距离无线遥测遥控技术。

2 系统设计与实现

2.1 系统研制目标

基于 LDSW 的设备跟踪管控系统研制的目标:在高速所建设覆盖试验及办公场所物联网的基础上,开发研制设备定位跟踪管控系统,能够实现受控设备的实时跟踪监控,实时盘点和实时查看在位状况等功能^[3]。

2.2 系统拓扑结构

如图 2 所示,系统划分为应用层、网络层以及

感知层。应用层,在网络中心布置控制服务器,利用计算机终端对整个系统与网络进行控制管理,形成控制管理中心,实现数据采集、存储、分析、监测、管理等功能;网络层利用所内的有线局域网和无线组网方式相结合,实现数据的传输;感知层安装于试验及办公场所,以读写器、位置标签和移动标签等各种感知终端为主。

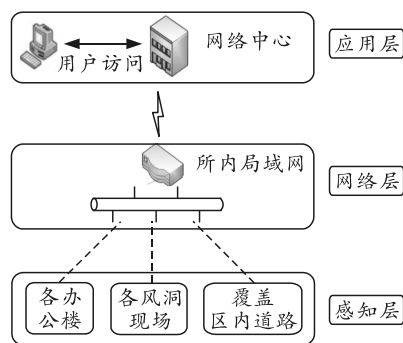


图 2 系统拓扑

2.3 系统工作模式

1) 在需要对移动目标进行定位的地方或房间内,根据定位精度要求安装位置标签,并在室外适当的地点安装 LDSW 读写器,LDSW 读写器通过网络与控制中心计算机连接,移动标签安装在受控终端上。

2) 在需要定位时,或每隔一定时间(时间可调),控制中心通过网络向 LDSW 读写器下达定位指令,LDSW 读写器将向所有标签广播下达定位指令,要求每个移动标签在给定的时刻(非常小的时隙内)读取最靠近它位置标签的 ID 信息(最多 4 个),收到位置标签信息后(包括 RSSI 强度信息),再将收到的信息,以防碰撞方式发给远处的读写器。控制中心计算机将根据这些信息计算得到移动标签位置以及它所采集到的传感器信息。

3) 如图 3 所示,根据反馈的位置及状态信息,由系统自动或人工下载控制指令到相应的设备,以实现智能控制。

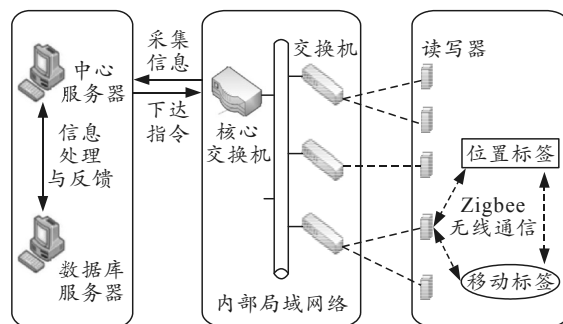


图 3 系统工作模式

2.4 系统硬件部署

2.4.1 读写器部署

在公共区域、具体的工作试验场地以及设备存放区域附近部署读写器，部署方式如图 4 所示。每个读写器的识别距离可在 5~150 m 内调节，综合考虑遮蔽、反射等因素，围绕建筑物布置合理数量的读写器，通过 RS485 光纤转换卡把读写器就近接入所内局域网，然后接入中心服务器，形成一个覆盖所区的物联网。

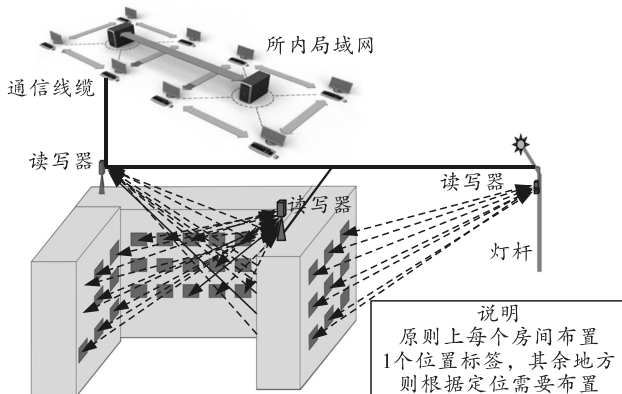


图 4 建筑物读写器

读写器具备 3 方面的能力：1) 能够与位置标签和移动标签进行通信，接收标签发送的信息；2) 能够定位识别；3) 能够方便地实现功能和设备的扩展，成为无线智能网络的通用节点。

2.4.2 位置标签部署

位置标签的作用在于向移动标签提供位置信息。每个房间布置 1 个位置标签，其余地方根据定位需要布置。位置标签可以不需外接电源也不需要有线网络连接，不仅安装维护简单方便，而且不受电源和线路的制约，系统可靠性高，大大降低了系统的建设成本和维护成本。

2.4.3 移动标签部署

移动标签是系统的最终节点，需要受控的设备均可通过移动标签接入系统，具有低功耗、智能接入等功能，适合在试验设备、便携式计算机、移动硬盘、U 盘和测量仪器仪表等设施上安装。

2.5 移动节点定位

目前，典型的 WSN 定位技术有基于接收信号强度指示 (received signal strength indicator, RSSI)^[4]、基于到达时间 (time of arrival, TOA)^[5]、基于到达时间差 (time difference on arrival, TDOA)^[6]和基于到达角度 (angle of arrival, AOA)^[7]

等方法。其中，因 RSSI 定位技术无需额外硬件设备支持，且符合低功率、低成本等要求，故而得到更广泛的应用。该系统采用 RSSI 定位方法。

2.6 跟踪管控系统软件研制

服务端数据采集软件采用标准 C++ 语言进行开发，最终以后台服务形式在服务器上运行。采集服务实时侦听网络中的数据包，对其进行解析后存储到本地数据库中；服务端数据发布软件采用 B/S 架构，基于 ASP.NET 开发，主要功能是将数据库中的标签定位数据呈现给用户，由于采用 B/S 架构，用户在浏览器上就能进行访问。

系统可定时 (例如每 3 min) 或随时根据需要查看所有受控设备所在的具体位置，例如定位到具体的房间。将跟踪结果以日志的方式记录在系统数据库中。在位置跟踪的基础上，加入 GIS 系统，实现可视化的位置跟踪。

根据采集到的信息，了解所有受控设备的工作状况，自动或手动下达控制指令，实现控制效果。

2.7 系统运行效果

1) 网络识别覆盖范围：办公区和科研试验场区，及场区内所有主要道路同时覆盖；

2) 定位精度：建筑物内位置定位到房间，室外小于或等于 5 m；

3) 实时报警：受控设备离开受控区域时，能够在值班人员处实时报警；

4) 每 3 min 完成一次自动盘点和设备位置信息收集；

5) 根据设备的位置信息，计算受控设备的历史轨迹。

3 关键技术及解决途径

3.1 复杂环境下的设备安装与信息传输

已有光纤网络只能通向人员密集的建筑区域、公共区域、具体的工作试验场地以及设备存放区域。由于环境复杂，不利于线路敷设和设备安装，采用移动检测装置不能有效解决日常管理的所有问题。

在该系统中，使用固定位置标签代替传统的定位读写器，向移动标签提供位置信息，克服空间和线路传输的限制。移动标签获取固定位置标签信息，并将其位置和识别信息通过无线网络传到附近的读写器，读写器再通过有线网络将采集数据传输到管理控制主机，形成一个有效的管理网络。

可针对一个具体建筑物，部署少量 (两三个) 读

写器，结合大量的位置标签，以无线传输网络替代传统的线路，以解决覆盖和数据传输问题。

3.2 设备精确定位

当前设备或人车定位多采用基于单点 RSSI 信号强度定位法，由于受到环境噪声的干扰，很难测到真正信号源的 RSSI 值，计算不准确。笔者采用标杆定位法，即多点 RSSI 信号强度定位法，通过消除环境噪声的办法解决这一难题。

如图 5 所示，利用同一时刻测得的来自 3 个位置标签 A、B 和 C 信号强度，A、B 和 C 点的位置坐标是已知数据，可以根据信号强度与信号源距离的关系求出受环境噪声影响移动标签的坐标 (X_0, Y_0) 信息。计算方法为：

$$L_A^2 = (X_A - X_0)^2 + (Y_A - Y_0)^2,$$

$$L_B^2 = (X_B - X_0)^2 + (Y_B - Y_0)^2,$$

$$L_C^2 = (X_C - X_0)^2 + (Y_C - Y_0)^2,$$

$$[\text{RSSI}(A) - N_A] = AQL_A^{-n},$$

$$[\text{RSSI}(B) - N_B] = AQL_B^{-n},$$

$$[\text{RSSI}(C) - N_C] = AQL_C^{-n}.$$

式中： A 为常数， n 为衰减指数，两者可通过实测获得，或使用经验值； Q 为发射功率（皆为已知）； N 为环境噪声。

$$N = f(t, x, y)^n.$$

当在同一时刻测量 RSSI 时， $t_A = t_B = t_C$ ， $N_A = N_B = N_C = N$ 。

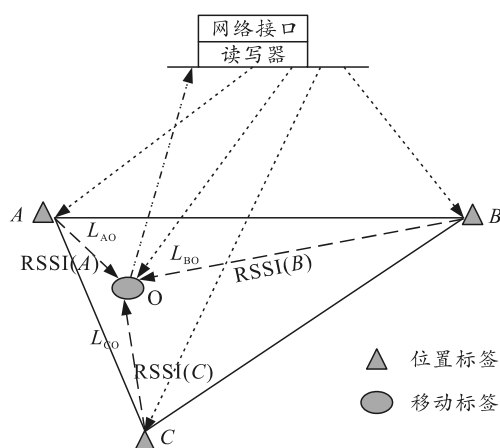


图 5 定位计算原理

3.3 降低能耗提高节点寿命

传统的非接触式移动标签工作方式是单向广播方式。为便于被读写器识别，实际使用中设备处于

持续广播模式，造成电池的使用寿命缩短；移动标签为防止非法拆装，一般均为一次性设备，电池寿命到期也就意味着卡寿命的终结；因此，频繁更换移动标签带来维护工作和持续成本也是系统应用需要解决的一个难题。

在该系统中，选用的标签系统采用了基于 LDSW 的应答方式和超低功耗睡眠唤醒技术，根据需要选择性唤醒和工作指令一次到位的特点。设备平时处于超低功耗的待机状态，只有在被唤醒时才短暂工作，可以有效延长电池使用寿命。

4 结束语

基于 LDSW 的设备跟踪管控系统，利用低占空比智能无线通信技术结合物联网和无线传感网络技术，实现了受控设备的实时跟踪监控，实时盘点和实时查看在位状况，同时兼顾了信息存储、信息采集和传输、智能控制等功能。通过该系统的研制进一步强化了高速所科研装备的智能化管理能力，促进了高速所管理和科研试验综合能力的提高。

参考文献：

- [1] 孙利民, 李建中, 陈渝, 等. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 136.
- [2] 何福, 王小飞, 李春彦, 等. 基于物联网的涉密设备出入管控系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(7): 2424-2426.
- [3] 陈海峰, 高鹏, 阎成, 等. 某跨超声速风洞运行监测及故障诊断系统[J]. 兵工自动化, 2019, 38(9): 35-38.
- [4] BAH L P, PADMANABHAN V N. Radar: An in-building RF-based user location and tracking system[C]//INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE, 2000: 775-784.
- [5] HARTER A, HOPPER A, STEGGLES P, et al. The anatomy of a context-aware application[C]//Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking. On Mobile Computing and Networking. Seattle, USA: IEEE, 1999: 59-68.
- [6] GIROD L, ESTRIN D. Robust range estimation using acoustic and multimodal sensing[C]//Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS 01). Maui, Hawaii, USA: IEEE Computer Society, 2001: 1312-1320.
- [7] NICULESCU D, NATH B. Ad hoc positioning system(APS) using AoA[C]//INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE, 2003: 1734-1743.