

UWB定位技术在500 kV变电站的应用研究

崔宇中, 张晶焯, 杨丰阁, 许向明, 张瑞达, 余楚云, 伍国兴

深圳供电局有限公司, 广东 深圳
Email: 2278377886@qq.com

收稿日期: 2021年8月26日; 录用日期: 2021年9月23日; 发布日期: 2021年9月30日

摘要

UWB定位技术具有精度高, 功耗低及抗干扰能力强的特点, 使其在变电站现场作业风险管控和安全生产中扮演了重要角色。本文设计了一种基于超宽带技术的变电站精准定位系统, 并在500 kV变电站中搭建了应用平台。通过精度测试和场景特点设置定位策略, 设计基站部署方案。定位系统最终成功投入运行, 实现定位全站覆盖, 入场人员实时安全管控的效果, 填补了UWB技术在南网特高压变电站中应用的空白。

关键词

UWB, 变电站, 安全管控, 定位系统

Application of UWB Positioning Technology in 500 kV Substation

Yuzhong Cui, Jingzhuo Zhang, Fengge Yang, Xiangming Xu, Ruida Zhang, Chuyun She, Guoxing Wu

Shenzhen Power Supply Bureau Co., Ltd., Shenzhen Guangdong
Email: 2278377886@qq.com

Received: Aug. 26th, 2021; accepted: Sep. 23rd, 2021; published: Sep. 30th, 2021

Abstract

UWB positioning technology has the characteristics of high precision, low power consumption and strong anti-interference ability, which makes it play an important role in the risk management and safety production of substation field operation. This paper designs a precise positioning system based on ultra wideband technology, and builds an application platform in 500 kV substation.

文章引用: 崔宇中, 张晶焯, 杨丰阁, 许向明, 张瑞达, 余楚云, 伍国兴. UWB定位技术在500 kV变电站的应用研究[J]. 电气工程, 2021, 9(3): 115-124. DOI: 10.12677/jee.2021.93013

Base station deployment scheme is designed by setting positioning strategy through precision test and scene characteristics. Finally, the positioning system was put into operation successfully, realizing the coverage of the whole station and the real-time safety control of the personnel entering the site, which filled in the blank of the application of UWB Technology in the UHV substation of South grid.

Keywords

UWB, Substation, Safety Control, Positioning System

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

敞开式变电站作为典型的高危区域,其中的人身、设备及作业安全高度依赖于电力安全工作规程[1]。随着云大物移智等新一代智能技术和相关产业的持续迅速发展,智能变电站建设得到全面推进,大量外来施工人员涌入变电站进行智慧运维所需的基础设施建设,如何对施工人员现场作业实施准确有效的风险管控,确保安全生产是如今亟待解决的难题。

如今室外环境中应用最为广泛的定位技术是卫星导航定位系统(DPS) [2],但 500 kV 敞开式变电站安全距离大、设备多、环境复杂,且为了实现定位全站覆盖,系统需延伸至室内环境。信号经设备、墙壁、地面等物体产生反射,信号叠加导致多路径效应,且室内 GPS 信号覆盖率低,定位存在较大误差[3]。超宽带技术(Ultra Wide Band, UWB)因其耗电量低、高速数据通信、定位精度高、功率密度低、抗多径干扰能力与强电磁兼容性等优点从众多定位技术中脱颖而出,成为解决上述问题的重要手段[4]。本文通过在高压场站中进行超宽带技术多方测试选取最优解决方案,依据站端实际情况和定位策略设置基站以实现定位最大精度,并设计后台程序对上送定位数据进行功能开发及智能管理,最终实现了施工人员精准定位,填补了 UWB 技术在高电压等级大规模变电站中应用的空白。

2. UWB 定位技术

2.1. UWB 定位技术原理

UWB 技术是指以时间间隔极小的脉冲进行非载波无线通信的技术[5]。UWB 通过在参考节点和目标节点之间进行测距和测向实现精准定位[6]。常见的方法有四种:到达角度法(Angle of Arrival, AOA)、到达时间法(Time of Arrival, TOA)、到达时间差法(Time Difference of Arrival, TDOA)及信号强度法(Received Signal Strength, RSS) [7]。其中,到达角度法(AOA)通过两个参考节点接收目标节点的到达角度和参考节点之间的距离计算出标签的位置。该方法受限于变电站设备较多,造成到达角度多为非直达角度,定位误差较大。到达时间法(TOA)通过三个参考节点接收目标节点信号的时间计算出标签的位置。TOA 要求标签同基站间时钟高度同步,在实际应用中稳定性较差,实现难度大。信号强度法(RSS)根据信号强度同传输距离成反比的关系,在已知传输衰减模型和信号强度的基础上估算出标签的位置。RSS 对通信信道十分敏感,不适用于复杂环境[8]。

到达时间差法(TDOA)将三个参考节点作为双曲线的焦点,标签设在双曲线上,以此构建双曲线方程计算出标签的位置[9],如图 1 所示。TDOA 不要求标签同基站之间时钟同步,只需要基站间时钟同步,

实现难度大大降低。且 TDOA 功耗小, 受障碍物影响小, 同时适用于室内和室外环境, 在变电站中应用较其他方法优势明显。

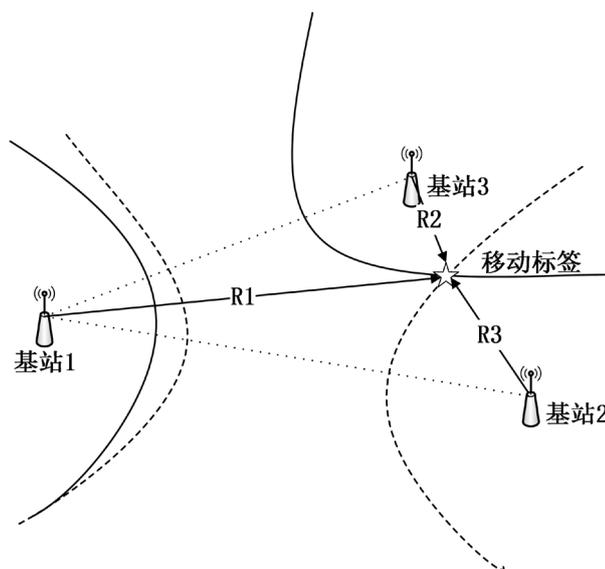


Figure 1. Three reference points of TDOA positioning
图 1.3 参考点 TDOA 定位

2.2. 应用情况

对物联网技术应用与需求的逐年增加, 驱动了精准定位技术长足而又快速的发展。UWB 定位已广泛应用在军事、民用机场、矿井、消防、工业控制等场景中[10] [11] [12], 实现人员设备跟踪、救援等用途。文献[13] [14]详细介绍了 UWB 技术在单兵作战、战术组网等几种在军事通信中的应用方式并给出了系统的基本性能和体系架构。文献[15]针对曲道对入井人员定位产生 NLOS 误差的问题提出了一种基于超宽带技术的改进算法, 提高下井人员的定位精度。文献[16]提出一种矿井下的资源定位模型, 使用 TDOA 算法降低井下环境定位误差并建立可靠的矿井安全体系。文献[17]将 UWB 技术运用在危化品仓储堆垛中, 通过对危化品位置的 UWB 精准定位参数和危化品尺寸实现仓储全景的三维重构, 进而完成对危化品五距的实时监控。

UWB 技术相对于其他定位产品, 具有产品价格适中且定位精准的特点。在如变电站这类需准确定位入场人员和车辆的高危场所中, UWB 技术具备可推广性和实用性。

3. 高压场地定位精度测试

3.1. 测试方案

为实现站内定位精度的最大化, 保证在多场景条件下的定位可靠性, 项目进行了前期调研测试, 对比多个厂家在有无遮挡、室内外等环境下的定位误差。室外场地有无遮挡实验如下。

室外实验在 220 kV 高压场地进行, 因线路均在运行中, 始终保持较强的电磁干扰。现场环境如图 2 所示, 可以看到场地中存在大量设备干扰阻挡 UWB 通信信道。定位实验在 $45\text{ m} \times 38\text{ m}$ 面积内布署 4 个定位基站, 使用 POE 供电有线连接方式进行搭建, 基站使用移动三脚架在高约 2.2 m 处架设以减轻障碍物干扰, 通过人员佩戴定位标签测试位置改变时的定位精度。



Figure 2. Testing site environment
图 2. 测试现场环境

3.2. 测试结果对比

5 个厂家的高压场地有无遮挡定位测试效果如图 3 所示，各个厂家定位测试效果对比如表 1 所示，根据对比表中结果表明，UWB 定位在有强电磁干扰的情况下仍可以进行准确定位，测试效果较好的厂家在无遮挡的条件下可控制定位误差在 10 cm 以内。定位精度受遮挡影响会有所降低但幅度不大，仍可以满足变电站定位需求。不同厂家定位效果差距很大，侧面反映前期调研测试的重要性。

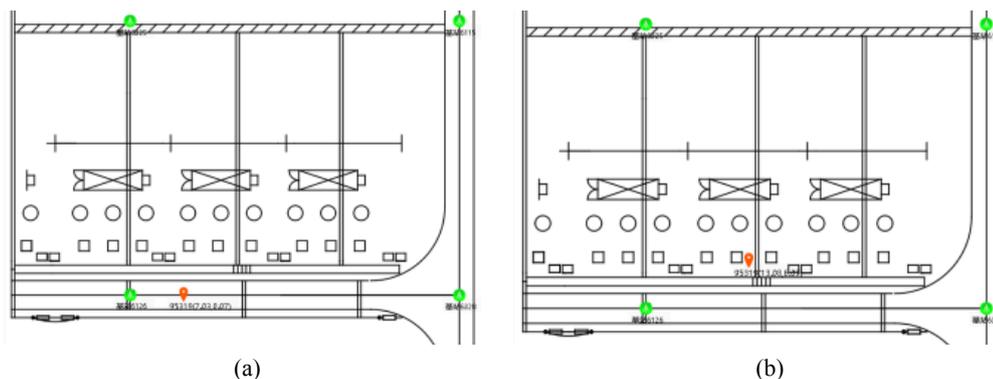


Figure 3. Testing site effect. (a) No occlusion test effect; (b) Occlusion test effect
图 3. 测试效果。(a) 无遮挡定位效果；(b) 有遮挡定位效果

Table 1. Positioning effect test comparison
表 1. 定位测试效果对比

	高压场地无遮挡	高压场地有遮挡
厂家 A	50 cm	>50 cm
厂家 B	30 cm	40 cm
厂家 C	10 cm	20 cm
厂家 D	30 cm	50 cm
厂家 E	10 cm	30 cm

4. 500 kV 深圳站定位策略

4.1. 500 kV 深圳站概况

500 kV 深圳站由 220 kV 敞开式场地、#3、#4、#5 主变及其对应低压侧 35 kV 敞开式场地、500 kV GIS 室和主控楼构成。因敞开式变电站不同电压等级的设备安全距离、布置方式均不同，导致高压场地环境构成十分复杂。220 kV 场地不同间隔设备呈规律性布置且较为分散，但端子箱和就地操作机构箱附近设备密集，易造成遮挡。35 kV 敞开式场地有大量电容器组和电抗器，设备高大、布置紧凑且电磁干扰严重。#3、#4、#5 主变皆为单相变压器，每相周围建有高于主变的围墙，主变本体四周环布消防管道，遮挡情况最为严重。

深圳站主控楼一楼、二楼为工作区域，其中一楼为创新室、电缆层、展示厅等区域，房间里设备布置分散，人员活动少。二楼由主控室、继保室、会议室等房间组成，人员活动较多。其中继保室中安装有大量的屏柜，柜与柜之间直接相连，布置紧凑。且继保室有关二次设备的操作较多，人员出入频繁。

4.2. 定位策略

定位基站的部署需以下几个方面考虑：

4.2.1. 网线布置

深圳站占地面积达 58,262 平方米且构成复杂，具体施工时也要考虑网线布置问题和物料使用合理性。深圳站在高压场地中共布置 16 台智能端子箱，其内部可以安装交换机进行通信和取电。端子箱通过光纤接入主控楼网络机柜室中，即基站只需连接到智能端子箱中即可与后台的网络互通。以距离短、易走线、汇聚多为原则选取智能端子箱安装 POE 交换机，减少不必要的施工和物料消耗。

4.2.2. 基站密度

根据场地设备密集程度、区域重要性和危险度确定不同位置基站部署的密度。如 220 kV 场地面积大，但设备相对分散，可小密度布置基站；主变区域面积较小，但四周有围墙，遮挡严重，且设备重要性高，需布置较多基站。

4.2.3. 基站高度

高压场地设备为保证安全距离普遍布置较高，易对工作人员所带标签产生遮挡，基站应安装在高处以实现较高的定位精度。但安装过程中工作人员需同高压设备保持安全距离，所以要根据选点位置周边环境折中考虑基站高度问题。

4.2.4. 室内布置

室内布置条件同室外相比受限很多，首先室内无法立杆，只能安装在墙或者屋顶上。同时需考虑布置基站的位置是否会对运行人员造成不便。且与室外不同，室内不同房间使用率差距很大，基站也需根据房间使用情况灵活部署。室内因封闭环境定位精度较差，人员流动性大，基站布置密度应大于室外。

考虑到上述问题，基站部署方案如下：

因设备普遍偏高，室外基站统一用 3 m 的立杆，并在立杆的 2.8 m 处，用 0.5 m~1.2 m 的横向支架支起基站，并尽量保证所安装的基站在同一水平高度，以达到相邻基站天线间无遮挡，互相之间可以直视的效果。室外基站安装效果如图 4 所示。

在不经常使用，人员流动少的房间使用零维基站(即房间内只有一个基站)。零维基站贴顶安装，其余室内基站接入 30 cm 的支架，便于网线走线和更换设备。



Figure 4. Outdoor base station
图 4. 室外基站

继保室二次机柜遮挡性强,使用一维定位(即使用两个基站定位一条线上的移动标签),在每条过道上装设两个基站。该方案基站间基本无遮挡,有效提升继保室定位准确率。室内基站安装效果如图 5 所示。



Figure 5. Indoor base station
图 5. 室内基站

室外基站最终布点方案如图 6 所示,图中星形标记即为基站部署位置,图中长方形标记为汇聚连接基站网线的交换机所在的智能端子箱。室外共布置 89 个室外基站,由 8 个 16 口 POE 交换机为基站供电。实现深圳站整体定位信号的全覆盖。

室内基站最终布点方案如图 7 所示,图中无边框星形为零维基站,带边框星形为二维基站,共部署 68 个室内基站,其中室内 1 层 11 个,2 层 57 个。所有基站直接通过网线汇聚到主控楼网络机柜室 6 个 16 口交换机中,实现主控楼内部定位信号的全覆盖。

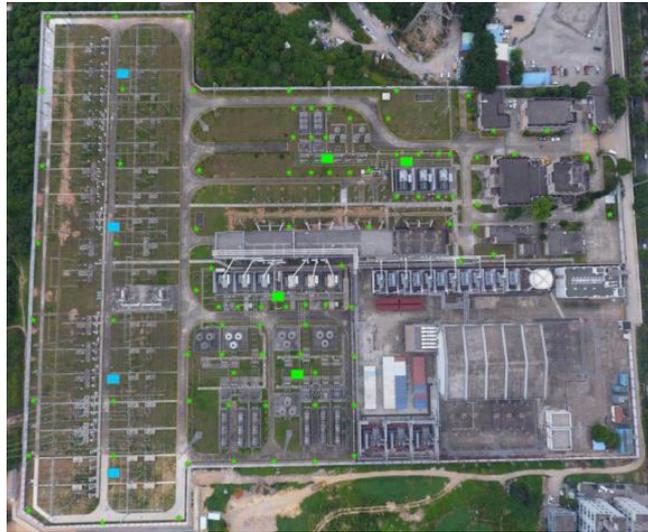


Figure 6. Outdoor base station layout scheme
图 6. 室外基站布点方案

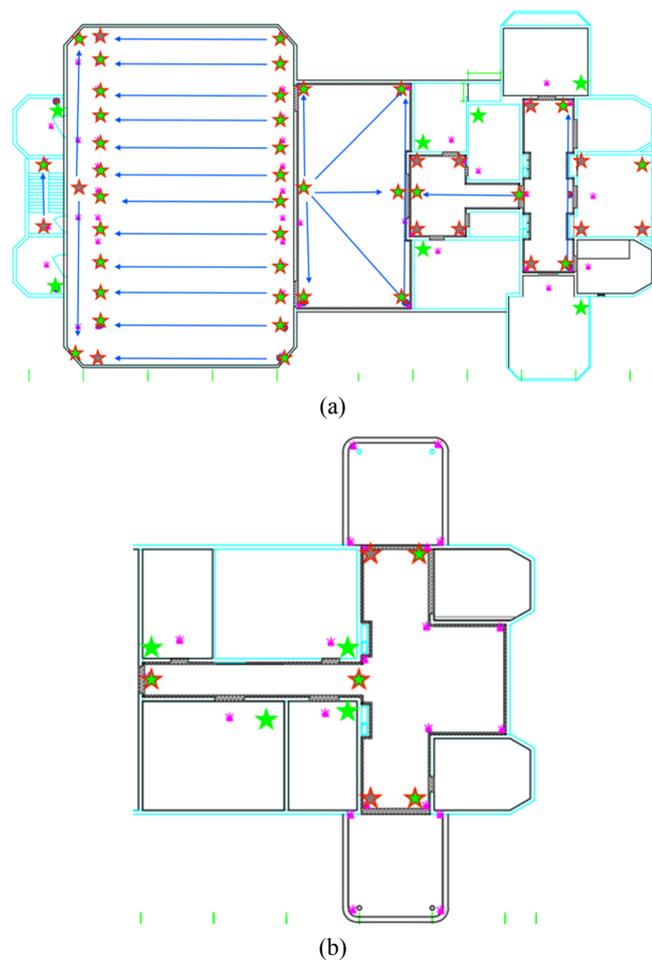


Figure 7. Indoor base station layout scheme. (a) Second floor, main building; (b) First floor, main building
图 7. 室内基站布点方案。(a) 主控楼二层；(b) 主控楼一层

5. 防疫期间应用实例

5.1. 施工作业安全管控

为验证 UWB 定位系统的可行性与实用性,深圳站在防疫期间投入使用精准定位平台。在#5 主变 GOE 套管更换相关工作中,深圳站首创将厘米级精准定位系统与现场工作相结合,对疫情期间施工的人身、设备、作业安全进行管控,为安全生产提供技术保障。

深圳站通过收集入场工作人员的资料、工作票信息录入定位后台系统,将每位进场的工作人员、车辆同特定的标签进行绑定。根据工作票上的工作区域设置电子围栏,一旦出现擅自扩大自身工作范围,进入非工作区的行为,定位后台就会第一时间发出告警通知运行人员,如图 8 所示。通过定位后台可调出工作人员任何时间段的历史轨迹(如图 9 所示)和告警记录,实现工作人员全程跟踪,违规行为准确追责。并设计快速点名功能,记录未到岗位的,即未在电子围栏中的工作人员,实现工作人员快速管控。

在工作全程中,精准定位系统共产生了 56 条告警记录。其中超时滞留 29 条,非授权闯入 27 条。通过电子围栏警告和历史记录准确的找到相关责任人,对其进行了批评教育。精准定位系统有效减少了违规情况漏检、误检,通过精准追责和全时段管控,消除了工作人员侥幸心理,违规情况大大减少,提高了运行人员的整体工作管理效率。

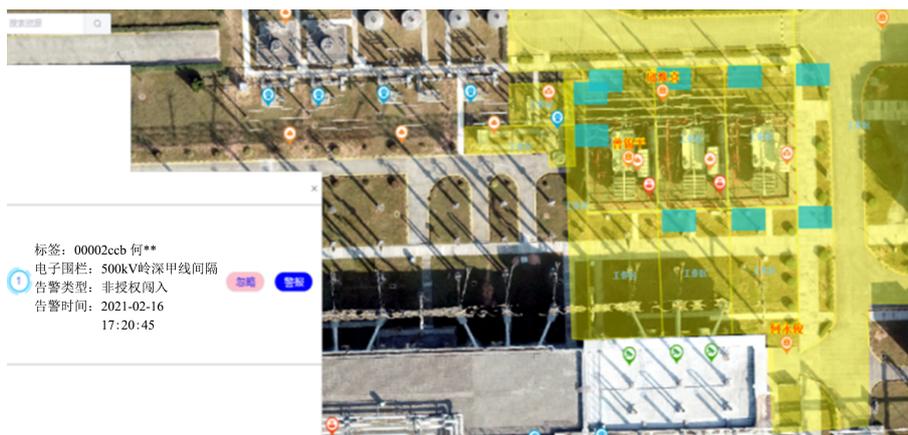


Figure 8. Alarm across electronic fence

图 8. 电子围栏告警

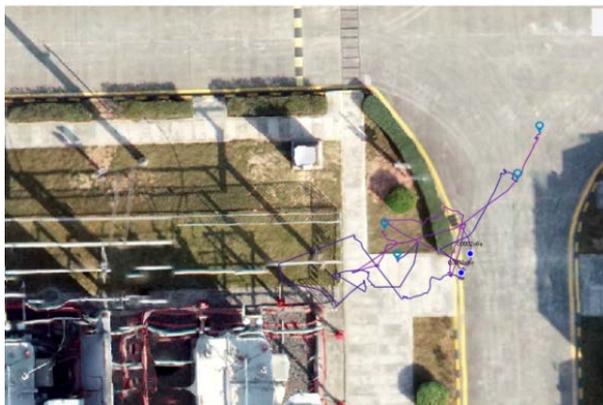


Figure 9. Historical trajectory

图 9. 历史轨迹

5.2. 人员间距管控

在疫情期间的的工作中，为最大限度减少人群聚集传播风险，深圳站对定位数据进行再开发，实时对场地中的工作人员进行距离管控，记录人人间距小于 1.5 m 的情况。人员距离管控程序机制如下：

- 1) 每分钟记录一次所有在线工作人员的实时位置、坐标以及时间；
- 2) 后台计算在线人员之间的距离(循环计算两位工作人员坐标差的平方根)，如果小于 1.5 m，将两人的信息输出在表格中；
- 3) 记录时间设定在早 8 点至晚 6 点，后台记录当天所有违规信息，可自行选择输出所需时间段的数据。通过自动生成输出人员距离管控报告，实现违规距离、人员、时间全记录。

现场施工人员距离管控记录表如图 10 所示，通过查询该天的违规人员，对警告数过多的人员进行安全教育，使其注意同其他工作人员间的安全距离，并利用精准定位系统的实时监控功能，对需重点观察的人员进行点对点管控，达到了管制人群聚集，减少传播风险的作用。

现场施工人员距离管控记录表

序号	工作人员一	标签编号	工作人员一实时坐标	工作人员二	标签编号	工作人员二实时坐标	工作人员间距	告警时间
1	唐凤明	00002c6d	POINT(114.17857335390985 22.630888285966645)	商毅	00002cd0	POINT(114.1785784097451 22.630882625040726)	0.845	2020-2-26 10:00
2	唐凤明	00002c6d	POINT(114.17857335390985 22.630888285966645)	商毅	00002cd0	POINT(114.1785784097451 22.630882625040726)	0.845	2020-2-26 10:01
3	邱焕喜	00002c6c	POINT(114.17837638652297 22.63066135453931)	罗灼	00002c6e	POINT(114.17838206639263 22.630669620819507)	1.116	2020-2-26 10:02
4	唐凤明	00002c6d	POINT(114.17857335390985 22.630888285966645)	商毅	00002cd0	POINT(114.1785784097451 22.630882625040726)	0.845	2020-2-26 10:02
5	蒋宇	00002c6f	POINT(114.17828280414732 22.630267898457646)	曾锦平	00002ccf	POINT(114.17828949098121 22.630257308889323)	1.394	2020-2-26 10:02
6	唐凤明	00002c6d	POINT(114.17857335390985 22.630888285966645)	商毅	00002cd0	POINT(114.1785784097451 22.630882625040726)	0.845	2020-2-26 10:03
7	邱焕喜	00002c6c	POINT(114.17838125130535 22.630663442441126)	罗灼	00002c6e	POINT(114.17838009644296 22.63067435919472)	1.222	2020-2-26 10:04
8	唐凤明	00002c6d	POINT(114.17857335390985 22.630888285966645)	商毅	00002cd0	POINT(114.1785784097451 22.630882625040726)	0.845	2020-2-26 10:04
9	唐凤明	00002c6d	POINT(114.17857335390985 22.630888285966645)	商毅	00002cd0	POINT(114.1785784097451 22.630882625040726)	0.845	2020-2-26 10:05
10	蒋宇	00002c6f	POINT(114.17825084626571 22.63028898488947)	曾锦平	00002ccf	POINT(114.17825667335936 22.630288307381978)	0.653	2020-2-26 10:05
11	唐凤明	00002c6d	POINT(114.17857335390985 22.630888285966645)	商毅	00002cd0	POINT(114.1785784097451 22.630882625040726)	0.845	2020-2-26 10:06
12	蒋宇	00002c6f	POINT(114.17825111101872 22.630289716187725)	曾锦平	00002ccf	POINT(114.17825667335936 22.630288307381978)	0.639	2020-2-26 10:06
13	唐凤明	00002c6d	POINT(114.17857335390985 22.630888285966645)	商毅	00002cd0	POINT(114.1785784097451 22.630882625040726)	0.845	2020-2-26 10:07
14	蒋宇	00002c6f	POINT(114.17824613564389 22.630281249209204)	曾锦平	00002ccf	POINT(114.17825667335936 22.630288307381978)	1.412	2020-2-26 10:07
15	唐凤明	00002c6d	POINT(114.17857335390985 22.630888285966645)	商毅	00002cd0	POINT(114.1785784097451 22.630882625040726)	0.845	2020-2-26 10:08
16	蒋宇	00002c6f	POINT(114.17825475278214 22.63029037444292)	曾锦平	00002ccf	POINT(114.17825667335936 22.630288307381978)	0.314	2020-2-26 10:08
17	唐凤明	00002c6d	POINT(114.17857335390985 22.630888285966645)	商毅	00002cd0	POINT(114.1785784097451 22.630882625040726)	0.845	2020-2-26 10:09
18	蒋宇	00002c6f	POINT(114.17824902764458 22.630288184336827)	曾锦平	00002ccf	POINT(114.17825667335936 22.630288307381978)	0.851	2020-2-26 10:09
19	唐凤明	00002c6d	POINT(114.17857335390985 22.630888285966645)	商毅	00002cd0	POINT(114.1785784097451 22.630882625040726)	0.845	2020-2-26 10:10
20	邱焕喜	00002c6c	POINT(114.17823760281155 22.630667434890128)	欧家明	00002cd3	POINT(114.17823512017753 22.630657618112952)	1.127	2020-2-26 10:11

Figure 10. Distance control record of on-site construction personnel

图 10. 现场施工人员距离管控记录表

6. 结论

本文设计搭建了一个基于超宽带技术的变电站精准定位系统，并成功应用在变电站实际生产工作中。针对变电站内多变的环境设置对应的解决方案，最终实现定位全站覆盖，精度厘米级的效果。实际应用结果表明，变电站精准定位系统具有实用性，可以帮助运行人员对变电站内人、车、物进行实时准确的位置掌控，安全措施在定位后台线上部署，有效提升运行人员监管效率，实现站内活动区域全局管控。

参考文献

- [1] 沈海平, 马娜, 吴波, 等. 用于变电站运维人员定位的时间同步算法研究[J]. 华东电力, 2014, 42(5): 961-964.
- [2] 丁亚男, 张旭, 徐露. 基于 UWB 的室内定位技术综述[J]. 智能计算机与应用, 2019, 9(5): 91-94.
- [3] 魏永, 范海波, 贾曲, 等. 基于 UWB 和 GIS 的变电站智能巡检系统的设计与实现[J]. 地理信息世界, 2018, 25(4): 100-104.
- [4] 王建彬, 李鸣华. 超宽带(UWB)无线技术在电力系统中的应用[J]. 电力系统通信, 2005, 26(5): 48-50, 64.
- [5] 梁菁. 超宽带(UWB)无线技术的应用及其市场化分析[C]//2005 年全国超宽带无线通信技术学术会议论文集. 南京: 南京邮电大学出版社, 2005: 360-364.
- [6] 童凯翔. UWB 在无线定位技术中的应用综述[C]//第五届中国卫星导航学术年会论文集. 2014: 181-185.
- [7] Northardt, T. and Kasilingam, D. (2017) Spectral Extrapolation for Ultra-Wide Band Radio Frequency Super-Resolution Tumor Localization in the Breast. *Biomedical Engineering Letters*, 7, 25-30.

<https://doi.org/10.1007/s13534-016-0001-4>

- [8] 刘国栋. 基于 UWB 的室内定位技术研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2014.
- [9] 罗勃. 基于 UWB 技术的 TDOA 定位算法的研究与实现[D]: [硕士学位论文]. 海口: 海南大学, 2017.
- [10] 靳宇航, 赵文秀. 陷波超宽带天线技术在矿井下的应用[C]//全国煤矿自动化与信息化学术会议暨中国煤矿信息化与自动化高层论坛. 北京: 工矿自动化, 2019: 28-31.
- [11] 王军, 王宏, 徐皓冬. UWB 技术在工业控制系统中的应用[J]. 计算机工程, 2008, 34(2): 242-244.
- [12] 于荣欣, 汪梓超. 军事通信中 UWB 技术的应用探析[J]. 赤子, 2018(6): 125.
- [13] 高浪. UWB 技术的军事应用探析[C]//全国青年通信学术年会. 全国物联网与信息安全学术年会. 北戴河: 中国通信学会, 2012: 47-49.
- [14] 李利, 任玲. 超宽带(UWB)关键技术及其在军事上的应用[C]//制导与引信专业信息网学术交流会. 西宁: 中国航空学会, 2006: 31-33.
- [15] 郭继坤, 丁龙. 矿井非视距环境下 UWB 人员定位算法[J]. 黑龙江科技学院报, 2013, 23(2): 181-184.
- [16] 马春光, 张成龙. 基于 UWB 技术的矿井资源实时定位系统设计[J]. 信息与电脑: 理论版, 2017(19): 104-106.
- [17] 戴波, 吕昕, 刘学君, 徐文星, 李志超, 杨光. 基于改进的超宽带危化品仓储堆垛定位技术[J]. 上海交通大学学报, 2016, 50(6): 963-967+974.