基于 UWB 的高精度测距算法研究及其在物联网中的应用

庞开鑫

成都大汇智联科技有限公司　四川成都

【摘要】伴随物联网技术的蓬勃发展，各应用场景对高精度测距的需求愈发强烈。UWB 技术凭借其独特的信号特性，在测距领域展现出巨大潜力。文章深入剖析 UWB 测距原理，针对传统算法存在的精度问题，提出优化方案，并探索其在物联网多场景中的应用。通过大量实验验证，优化后的算法有效提升测距精度，为物联网高精度测距提供切实可行的解决方案。

【关键词】UWB；高精度测距；算法研究；物联网；应用

【收稿日期】2025 年 2 月 24 日　　【出刊日期】2025 年 3 月 28 日　　【DOI】10.12208/j.jer.20250133

Research on high precision ranging algorithm based on UWB and its application in internet of things

Kaixin Pang

CHENGDUDAHUI ZHILIAN TECHNOLOGIES CO.,LTD, Chengdu, Sichuan

【**Abstract**】With the booming development of IoT technology, the demand for high-precision ranging in various application scenarios is becoming increasingly intense. UWB technology, with its unique signal characteristics, has shown great potential in the field of ranging. This article delves into the principles of UWB ranging, addresses the accuracy issues present in traditional algorithms, proposes optimization solutions, and explores its applications in multiple IoT scenarios. Through extensive experimental validation, the optimized algorithm effectively improves ranging accuracy, providing a practical solution for high-precision ranging in IoT.

【**Keywords**】UWB; High precision ranging; Algorithm research; Internet of Things; Application

引言

在物联网时代，智能家居、工业自动化、智慧交通等领域的蓬勃发展，对精准测距提出了严苛要求。传统测距技术在复杂环境下，常因信号干扰、多径效应等因素导致精度不足，难以满足日益增长的应用需求。在实际应用中，UWB 测距仍面临非视距误差、信号衰减等挑战。如何优化 UWB 测距算法，提升其在物联网场景中的应用效能，成为亟待解决的关键问题。

1 测距原理剖析

UWB 测距依托飞行时间（TOF）原理展开工作，其运作机制是通过精密测量脉冲信号于发射端与接收端之间往返所耗费的时间，再巧妙结合光速这一常量，精准计算出两点间的实际距离。UWB 的工作频段通常被设定在 3.1GHz-10.6GHz 这一宽广范围，其超宽带特性宛如赋予信号一把“利刃”，使其能够在复杂环境中披荆斩棘、有效传播[1]。面对墙壁、障碍物等阻碍，UWB 信号展现出良好的穿透能力，极大程度减少了信号遮挡带来的不利影响。这种独特的信号形式，犹如为 UWB 技术注入强大的“抗干扰基因”，赋予其较强的抗多径效应能力。

现实的应用环境远比理想中的场景要复杂得多，堪称荆棘密布。非视距（NLOS）传播便是其中影响 UWB 测距精度的关键“拦路虎”之一。当信号传播路径中不幸遭遇障碍物时，信号如同迷失方向的飞鸟，会发生折射、反射等复杂现象，这直接导致其实际传播路径大幅变长，进而不可避免地产生测距误差。以室内环境为例，家具的摆放错综复杂，墙壁林立，这些障碍物会像一个个调皮的“捣蛋鬼”，随意改变信号的传播方向，使得最终测量的距离与实际距离之间出现明显偏差。尽管 UWB 技术在一定程度上对多径效应具备抑制能力，但在极端复杂的环境下，多径效应仍会像隐藏在暗处的“幽灵”，造成信号叠加干扰，严重影响时间戳的准确获取。

为了攻克这些难题，研究人员开启了一场深入探

作者简介：庞开鑫（1986-）男，汉，四川阆中，本科，研究方向为人员数字化管理与应用。

索 UWB 信号传播特性的“征程”，从信号处理、硬件设计等多个维度同步发力。在信号处理环节，研究人员采用先进的滤波算法对接收信号进行精心预处理，旨在去除噪声干扰。以卡尔曼滤波算法为例，它巧妙利用系统状态方程和测量方程，如同一位睿智的“数据分析师”，对信号进行最优估计，从而有效滤除噪声，让信号更加纯净[2]。在硬件层面，研究人员将目光聚焦于优化天线设计，致力于提高信号接收灵敏度，增强设备对微弱信号的捕捉能力。选用新型材料制作天线，这种材料具备独特的电磁特性，能够更好地接收信号；精准调整天线的形状和尺寸，通过反复试验和模拟，找到最适合信号接收的参数组合，以全方位提升其接收性能。

2 算法优化探索

传统 UWB 测距算法在复杂环境的“狂风暴雨”中，暴露出精度不足的严重问题，犹如一位在恶劣路况下难以精准行驶的司机，难以满足物联网高精度应用的严苛需求。以多边定位算法为例，它如同一个高度依赖团队协作的“运动员”，极其依赖锚节点布局和信号传输质量。但在实际场景中，锚节点的位置误差就像运动员在比赛中的失误，信号遮挡等因素宛如比赛中的意外状况，都会导致定位偏差[3]。设想在大型仓库中，货架等障碍物如同林立的“碉堡”，会无情阻挡信号传播，使得多边定位算法这个“运动员”无法准确获取目标位置，从而陷入困境。研究人员另辟蹊径，将卡尔曼滤波算法巧妙引入 UWB 测距系统。卡尔曼滤波基于最小均方误差准则，犹如一位严格按照规则执行任务的“裁判”，能够根据系统状态方程和测量方程，对目标状态进行最优估计。它在系统中如同一个高效的“数据净化器”，有效抑制噪声干扰，平滑数据波动，显著提高测距数据的稳定性和准确性。

除了融合滤波算法这一策略，研究人员还对多边定位算法本身进行了深度改进。通过精心优化锚节点布局策略，采用动态调整锚节点位置、增加冗余节点等巧妙方式，如同精心布置棋局，减少因节点分布不合理导致的定位盲区。在空旷的工厂车间，设备的分布情况如同多变的棋局，研究人员可以根据其动态调整锚节点位置，确保信号覆盖无死角，让每个角落都能被信号“照亮”。研究人员将加权质心算法引入其中，根据各锚节点与目标节点之间的距离、信号强度等因素，如同为不同棋子赋予不同的“权重”，赋予它们不同权重，进一步提高定位精度。

大量实验数据成为了验证优化算法性能的“试金石”。在室内定位场景中，优化后的算法与传统算法相比，如同一位经过专业训练的运动员超越了普通选手，测距误差降低了 30%以上；在工业自动化环境中，即便存在强电磁干扰这种恶劣“气候”，优化算法依然能够像一位坚守岗位的勇士，保持较高的测距精度，为设备的精准控制提供了可靠保障[4]。在某汽车制造车间的实验中，优化算法使机械臂定位精度大幅提升，如同为机械臂安装了更精准的“眼睛”，生产效率显著提高。这些成果有力地验证了算法优化策略的有效性，为 UWB 技术在物联网中的广泛应用提供了强有力的支撑，如同为 UWB 技术在物联网领域的发展插上了翅膀。

3 物联网应用实践

在智能仓储领域，UWB 高精度测距宛如一颗璀璨的“明珠”，发挥着至关重要的作用。回顾传统仓储管理模式，货物定位主要依靠人工扫码或 RFID 标签，这种方式效率低下，犹如老牛拉车，而且极易出错，就像在黑暗中摸索前行。引入 UWB 技术后，整个仓储管理场景焕然一新，通过在货物和货架上精心部署 UWB 标签与基站，系统能够像一位不知疲倦的“侦察兵”，实时、精准地获取货物位置信息[5]。基于这些精准信息，系统可根据货物位置自动规划最优存取路径，极大提高仓储作业效率。在大型电商仓库中，货物种类繁多、摆放复杂，系统却能像一位经验丰富的导航员，快速规划出叉车取货的最短路径，减少行驶时间，提高物流周转速度。利用 UWB 测距实现库存动态监测，系统如同一位敏锐的“管家”，实时掌握货物数量和存放位置，有效避免货物积压或丢失，降低仓储管理成本。

智慧安防领域同样是 UWB 技术大显身手的舞台。在人员密集场所，如商场、学校、医院等，这些地方人员流动频繁，情况复杂，通过为人员佩戴 UWB 定位标签，结合安装在建筑物内的基站，系统可实现对人员位置的实时监测和轨迹追踪，如同为每个人配备了一个“隐形保镖”。当发生紧急情况时，系统能够像一位快速响应的“救援指挥官”，快速定位人员位置，为救援工作提供准确信息。设想在商场发生火灾时，现场浓烟滚滚、情况危急，救援人员可通过系统迅速找到被困人员位置，争分夺秒开展救援行动。在监狱、看守所等特殊场所，UWB 定位系统如同一位坚守岗位的“忠诚卫士”，可防止人员非法越界，一旦检测到标签超出预设区域，立即触发报警，有效维护场所秩序。

在工业自动化场景中，UWB 高精度测距成为助力设备实现精准控制与协同作业的“得力助手”。在汽车制造车间，机械臂的操作精度直接影响产品质量，

UWB 技术用于监测机械臂位置，如同为机械臂安装了高精度的“定位仪”，确保其在装配过程中准确抓取和放置零部件，提高生产精度和效率[6]。在某汽车生产线中，UWB 系统使机械臂装配精度误差控制在极小范围内，产品次品率显著降低，为企业节省了大量成本。在港口物流领域，UWB 系统可实时监测集装箱位置，如同一位精准的“调度员”，优化起重机调度，减少等待时间，提升港口作业效率。通过 UWB 技术实现设备之间的高精度测距和定位，使工业生产流程更加智能化、自动化，推动制造业向高端化发展，为工业 4.0 的实现提供技术支持，如同为工业发展注入了强大动力。

4 成果与展望

优化后的 UWB 测距算法在智能仓储、智慧安防、工业自动化等多个物联网场景中得到成功应用，宛如一颗种子在肥沃的土壤中生根发芽、茁壮成长。它有效提升了测距精度和系统可靠性，为物联网应用的智能化发展提供了关键技术支撑，如同为物联网的智能化发展装上了强大的引擎[7]。在实际应用中，该算法显著提高了工作效率，降低了运营成本，产生了良好的经济效益和社会效益。在智能仓储中，节省了大量人力成本，提升了仓库空间利用率，使仓储管理更加高效有序；在智慧安防中，保障了人员安全，减少了安全事故损失，让人们的生活环境更加安全稳定。

展望未来，随着 5G、人工智能等技术的快速发展，UWB 与这些技术的融合将更加紧密，如同不同的河流汇聚成一片广阔的海洋。在智慧城市建设中，UWB 高精度测距有望与 5G 网络结合，实现城市基础设施的精准管理与智能调控，比如对路灯、垃圾桶等设施的智能管理，让城市运行更加智能便捷。在自动驾驶领域，UWB 技术可作为辅助定位手段，与其他传感器协同工作，提高车辆定位精度和行驶安全性，为自动驾驶的发展增添一份保障[8]。随着研究的不断深入，UWB 技术在物联网领域的应用场景将进一步拓展，为构建更智能、更高效的物联网生态系统发挥更大作用，如同为物联网生态系统的繁荣发展注入源源不断的活力。

5 结语

UWB 高精度测距算法经优化后，在物联网多场景应用成效显著。智能仓储提升盘点效率与库存准确率，智慧安防实现人员精准定位与安全管控，工业自动化助力设备高效协同作业。该技术切实增强了测距精度与系统可靠性，带来良好效益。未来，伴随 5G、人工智能等技术发展，UWB 与之融合将更为深入，在智慧城市、自动驾驶等领域有望发挥更大价值，持续拓展物联网应用边界，推动其向更智能高效方向迈进。

参考文献

[1] 罗忠渝,汤杰友,赵忠华.基于差分测距的高精度 UWB 定位算法[J].压电与声光,2025,47(01):163-171.

[2] 刘玄,杨珊珊,臧荣春.重力卫星高精度测距系统观测量的降速率滤波算法[J].空间科学学报,2023,43(01):156-163.

[3] 翟小羽,孟昭鹏,胡浩丰,等.水下飞秒双光梳高精度测距算法设计与实现[J].海洋信息技术与应用,2022, 37(04):1-11.

[4] 白迪,毕小妍,陈锟,等.基于能量加权算法的高精度伪码测距机载无线电高度表设计[J].实验技术与管理,2022, 39(08):38-44.

[5] 崔学荣,周靖超,李娟,等.最小均方信道均衡的 UWB 测距方法研究[J].导航定位学报,2021,9(05):66-72+81.

[6] 闫佳兴,郑霖,杨超.基于包络锁相的 AMCW 高精度测距算法[J].无线电工程,2021,51(07):585-590.

[7] 刘上,朱国富,王玲,等.LFMCW 雷达高精度测距相位差改进算法[J].雷达科学与技术,2021,19(03):287-291+297.

[8] 周爱国,杨思静,沈勇,等.融合 UWB 测距信息的室外高精度定位算法[J].导航定位学报,2020,8(01):26-31.

版权声明：©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/