

文章编号:1671-251X(2014)10-0081-03 DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2014.10.022
刘书伦,王树森.基于超宽带技术的井下人员定位系统[J].工矿自动化,2014,40(10):81-83.

基于超宽带技术的井下人员定位系统

刘书伦, 王树森

(济源职业技术学院 信息工程系, 河南 济源 459000)

摘要:针对目前常用的井下人员定位技术存在传输距离短、抗多径效应差、定位精度低等问题,采用基于到达时间差的超宽带定位技术,提出了一种井下人员定位系统。该系统通过多个定位传感器发送测距信号,井下人员携带的目标节点接收信号并进行处理后回传给定位传感器,主定位传感器通过 WiFi 网络接收定位传感器发送的测距信息,并通过有线以太网发送至定位服务器来实现井下人员实时定位,有效提高了井下人员定位精度。

关键词:人员定位;超宽带;UWB;到达时间差;TDOA

中图分类号:TD655.3 文献标志码:A 网络出版时间:
网络出版地址:

Underground personnel positioning system based on ultra wideband technology

LIU Shulun, WANG Shusen

(Department of Information Engineering, Jiyuan Vocational and Technical College, Jiyuan 459000, China)

Abstract: In view of problems of short transmission distance, poor anti-multipath effect and low positioning accuracy existed in current underground personnel positioning technologies, an underground personnel positioning system was proposed by use of ultra wideband positioning technology based on time difference of arrival. The system sends ranging signal through multiple positioning sensors, target node carried by underground personnel receives the signal and returns it back to the positioning sensors after processing, then main positioning sensor receives ranging information sent by the positioning sensors through WiFi network and uploads it to positioning server through wired Ethernet, so as to realize real-time positioning of underground personnel, which effectively improves accuracy of underground personnel positioning.

Key words: personnel positioning; ultra wideband; UWB; time difference of arrival; TDOA

0 引言

常用于井下人员定位的有红外定位技术、超声波定位技术、射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)定位技术^[1]、蓝牙定位技术、ZigBee 定位技术^[2]、WiFi 定位技术^[3]等,然而这些定位技术大多存在传输距离短、抗多径效应差、定位精度低等问题,难以实现复杂地质条件下的人员精确定位。超宽带(Ultra Wideband, UWB)技术具有

抗干扰性能强、传输速率高、电量消耗低、发送功率小等特点^[4-5],目前基于 UWB 技术的定位精度已达到厘米级^[6]。因此,本文介绍了一种基于 UWB 技术的井下人员定位系统,可实现井下人员的实时精确定位。

1 UWB 定位技术分析

1.1 2 种 UWB 定位技术比较

常见的 UWB 定位技术可分为基于到达时间

收稿日期:2013-12-27;修回日期:2014-08-20;责任编辑:盛男。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(11261006);河南省科技攻关计划资助项目(132102210229)。

作者简介:刘书伦(1978—),男,河南许昌人,讲师,主要研究方向为物联网应用、软件开发,E-mail:ls1001@163.com。

(Time of Arrival, TOA) 的定位和基于到达时间差 (Time Difference of Arrival, TDOA) 的定位。基于 TOA 的定位采用测距方法, 得到定位传感器和目标节点之间的直线距离, 每一次 TOA 测距估计结果对应一个圆方程。基于 TDOA 的定位也是采用测距方法, 但得到的是 2 个定位传感器与目标节点之间的距离差, 每一次 TDOA 测距估计结果对应一个双曲线方程。无论是圆方程还是双曲线方程, 定位测距估计的最终目的就是要通过求解距离方程估计目标节点的位置坐标。

基于 TOA 的 UWB 定位技术最大优点是避免了时钟同步^[7]。一方面, 它大大降低了系统复杂度, 无需考虑复杂的同步解决方法以及同步误差对测距定位的影响; 另一方面, 只要能设计出合理的定位传感器接入机制, 有效避免定位传感器相互之间的干扰, 就能精确地测量脉冲信号的传播时间。但是基于 TOA 的 UWB 定位技术能够支持定位的人员数量有限, 不适合对井下众多作业人员进行实时定位, 并且定位的精度有限。基于 TDOA 的 UWB 定位技术不是直接利用信号到达时间, 而是利用多个定位传感器接收到信号的时间差来确定目标节点的位置。与基于 TOA 的 UWB 定位技术相比, 基于 TDOA 的 UWB 定位技术虽然需要时钟同步, 但其定位精度有了很大提高, 适合多用户实时精确定位, 是井下人员高精度定位系统的最佳选择方案。

1.2 基于 TDOA 的 UWB 定位技术实现

当定位传感器与目标节点之间时钟不同步, 而定位传感器之间时钟同步时, 可采用基于 TDOA 的 UWB 定位技术, 其定位原理如图 1 所示, 通过在定位区域内布置冗余定位传感器的方法来改善定位性能。

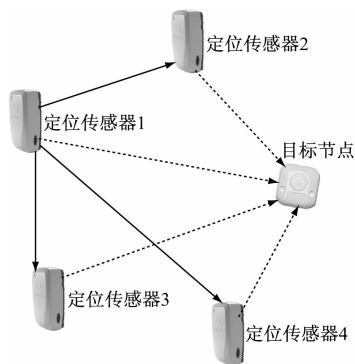


图 1 基于 TDOA 的 UWB 定位原理

设目标节点的位置坐标为 (x, y) , 定位传感器的位置坐标为 (x_i, y_i) , $i=1, 2, 3, 4$ 。由单向测距机制可知, 收发端节点需要时钟同步。由于定位传感

器之间时钟同步, 定位传感器与目标节点的时钟偏差相同, 假设为 Δt , 则基于单向测距可建立距离方程组为

$$\begin{cases} \sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2}=c(\tau_1-\Delta t) \\ \sqrt{(x-x_2)^2+(y-y_2)^2}=c(\tau_2-\Delta t) \\ \sqrt{(x-x_3)^2+(y-y_3)^2}=c(\tau_3-\Delta t) \\ \sqrt{(x-x_4)^2+(y-y_4)^2}=c(\tau_4-\Delta t) \end{cases} \quad (1)$$

式中: c 为自由空间中的光速; τ_i 为第 i 个定位传感器向目标节点发送测距脉冲后目标节点测量得到的脉冲传播时间。

将式(1)中第 2, 3, 4 个等式分别减去第 1 个等式消掉时钟偏差 Δt , 可得

$$\begin{cases} \sqrt{(x-x_2)^2+(y-y_2)^2}-\sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2}=c(\tau_2-\tau_1) \\ \sqrt{(x-x_3)^2+(y-y_3)^2}-\sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2}=c(\tau_3-\tau_1) \\ \sqrt{(x-x_4)^2+(y-y_4)^2}-\sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2}=c(\tau_4-\tau_1) \end{cases} \quad (2)$$

基于单向测距得到 τ_i 后, 结合 4 个定位传感器的位置信息, 利用数值求解方法求解方程组, 从而估计出目标节点的位置坐标。

基于 TDOA 的 UWB 定位流程:

(1) 初始化, 确定定位传感器的位置和顺序。定位传感器 1 通过无线网络给定位传感器 2, 3, 4 发送电平下降沿信号, 定位传感器 2, 3, 4 收到下降沿信号后进行时钟调整, 以实现与定位传感器 1 时钟同步 (如图 1 实线所示)。

(2) 定位传感器 1 发射 UWB 测距脉冲, 同时定位传感器 2, 3, 4 开始计时。

(3) 目标节点收到测距脉冲进行 TOA 估计得到 τ_1 。

(4) 定位传感器 2, 3, 4 分别计时 $t, 2t, 3t$ 后发射 UWB 测距脉冲 (如图 1 虚线所示), 等待时间 t 用来保证前一个定位传感器的 UWB 测距脉冲已完全被目标节点检测到。

(5) 目标节点检测测距脉冲, 分别计算得到 τ_2, τ_3, τ_4 。

(6) 将 $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ 代入式(2)计算目标节点的位置坐标 (x, y) 。

(7) 返回步骤(2), 开始下一次测量。

基于 TDOA 的 UWB 定位技术最大优点在于

目标节点不需要发送数据。当定位传感器发射功率足够大时,其用户数目在理论上不受定位系统限制,各个目标节点只需负责接收定位传感器的信号即可,因此该方法特别适用于多用户实时定位系统。

2 基于 UWB 技术的井下人员定位系统原理

基于 UWB 技术的井下人员定位系统主要由目标节点、定位传感器、定位服务器组成,如图 2 所示。所有定位传感器位置已知,目标节点位置未知,目标节点由井下人员携带。目标节点按工作距离的远近可分为有源目标节点和无源目标节点,由于系统采用基于 TDOA 的 UWB 定位技术,选择工作距离更远的有源目标节点。定位传感器具有目标节点读/写功能和测距功能,并含有用于目标节点和定位传感器测距定位的 TOA 探测器。为实现绝对定位和时间的同步,定位传感器集成了 WiFi 网络模块和有线以太网模块,以实现定位服务器和定位传感器之间、定位传感器与定位传感器之间网络的互联互通。

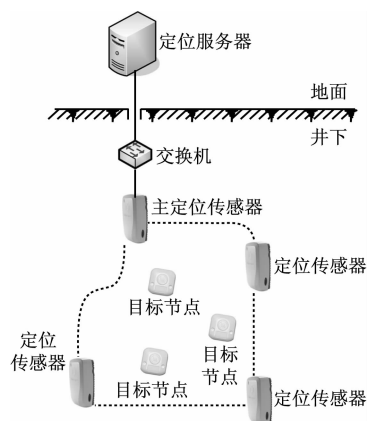


图 2 基于 UWB 技术的井下人员定位系统组成

定位系统工作时,定位区域内所有定位传感器发射 UWB 脉冲信号,当定位传感器脉冲信号到达待定位的目标节点之后,具有读/写功能的有源目标节点对定位传感器脉冲信号进行数据调制,加载 ID 信息,并通过内部集成的放大电路对脉冲进行放大,最后将处理完毕的脉冲信号回传给定位传感器。定位传感器接收目标节点发射的 UWB 脉冲信号,识别 ID、估算 TOA 等信息,并通过 IEEE 802.11n 标准(WiFi)网络将这些测距信息传送至主定位传感器。主定位传感器通过有线以太网将测距信息传送至定位服务器,定位服务器利用多个定位传感器获

得的关于目标节点的测距信息,采用基于 TDOA 的 UWB 定位技术确定目标节点的位置坐标。

3 系统测试

为了验证基于 UWB 技术的井下人员定位系统的可行性,在实验室搭建测试系统来测试定位精度。测试系统由 1 个主定位传感器、3 个定位传感器、若干目标节点及服务器平台组成,给定定位传感器的位置信息,分别对目标节点进行静态定位测试和动态定位测试。测试结果表明,在测试区域的边缘,定位精度出现了较大的误差,其他区域总体定位精度在 30 cm 以内,个别位置达到 10 cm 以内。

4 结语

为有效提高井下人员的定位精度与实时性,将基于 TDOA 的 UWB 技术应用于井下人员定位系统中,可实现井下人员的精确定位。但 UWB 技术还处于发展阶段,存在缺乏标准、产品类型少、部署成本高等问题,因此基于 UWB 技术的井下人员定位系统还不适合全矿井的人员定位。目前可以采用 RFID+UWB 相结合的方式,对于个别人员密集、需要精确定位的矿井工作区域采用基于 UWB 技术的定位方法,对于其他大部分工作区域采用基于 RFID 的定位方法。

参考文献:

- [1] 邵国强. 矿用无线通信及人员定位管理系统设计[J]. 工矿自动化, 2013, 39(3): 10-12.
- [2] 蒋磊, 于雷, 王振翀, 等. 基于 WiFi 和 ZigBee 的井下人员无线跟踪与定位系统的设计[J]. 工矿自动化, 2011, 37(7): 1-6.
- [3] 张鹤丹, 卢才武. 基于 WiFi 技术的井下人员定位系统研究[J]. 金属矿山, 2012(9): 99-102.
- [4] 祖军, 郝润科, 杨光. UWB 技术在消防员位置定位系统研究与应用[J]. 计算机系统应用, 2012, 21(8): 156-159.
- [5] 梁冰. 具有灵活频谱特性的认知超宽带信号生成技术的研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2010.
- [6] 张忠娟. 基于 UWB 的室内定位技术研究[D]. 天津: 天津大学, 2012.
- [7] 陈方晓. 基于异步 TOA 估计的超宽带室内定位系统的研究与实现[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.