

超宽带无线定位系统及算法研究

孙 杨 戴亚文*

(武汉理工大学理学院, 武汉 430070)

摘要 超宽带技术具有抗干扰效果好、安全性高、能提供精确定位等优点, 成为无线定位的首选技术。主要从传统的若干定位技术入手, 结合各种定位技术的优缺点, 提出一种结合波达时间差(TDOA)、波达时间和(TSOA)方法的超宽带无线混合定位算法, 该算法需要参考节点少, 定位精度高, 适用范围广。实验结果表明, 定位系统适合隧道定位, TDOA/TSOA 混合定位算法的测量距离为 200 m, 定位精度误差在 40 cm 以内。

关键词 超宽带技术 波达时间差 波达时间和 混合定位

中图法分类号 TN919.5; **文献标志码** A

超宽带技术成为全世界学者研究的热点, 超宽带定位技术主要是通过测距和测向的方式进行定位的, 一般包括三种方法: 一种是基于到达角度和方向的定位技术; 一种是基于接收信号强度的定位技术; 第三种是基于到达时间估计方法^[1,2]。现有的定位技术各有优缺点。基于到达角度和方向的定位技术, 其定位精度高, 但是设备比较复杂、价格高, 不适合民用。基于接收信号强度的定位技术非常简单, 然而定位精度非常的差。基于到达时间估计方法定位精度高, 但是有较高的时间同步要求。该系统应用在地铁隧道人员定位工程上, 单种定位算法需要至少三个节点来确定人员位置^[3], 只适合宽敞区域。因此, 本文提出一种 TDOA、TSOA 混合的定位算法。

1 超宽带定位技术

超宽带通信是通过发送和接收具有纳秒或次纳秒以下的极窄脉冲来进行数据传输, 从而具有 GHz 量级的带宽, 由于使用极窄的脉冲或很宽的带宽, 超宽带无线技术具有带宽极宽, 且系统容量大、传输速率高, 系统相对简单, 成本低, 功耗低、信号衰减小, 穿透能力强、定位精度高, 具有良好的多径分辨能力和时间分辨率能力等优点^[4,5]。

1.1 TOA/TDOA 定位技术

基于到达时间估计算法(Time of Arrival, TOA)通过测量标签到达节点的时间就可以估计出节点与标签之间的距离, 以此来推断出标签处于节点以距离为半径的圆上, 如果想确定标签的具体位置, 至少

需要三个节点才能确定标签的二维坐标^[6]。

基于到达时间差的定位算法(time difference of arrival, TDOA)与 TOA 稍有不同, 需要两个参考节点, 得到标签分别到达两个节点的时间, 计算出到达两个节点的时间差, 从而计算出标签距离两节点的距离差 L, 计算公式为:

$$| \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} - \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2} | = L \quad (1)$$

由式(1)可知, 可绘制出以 $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ 为焦点的双曲线, 由此可知标签处在这条双曲线的某一点上, 在二维坐标中, 需要至少 3 个节点确定标签的二维坐标, TDOA 原理如图 1 所示。

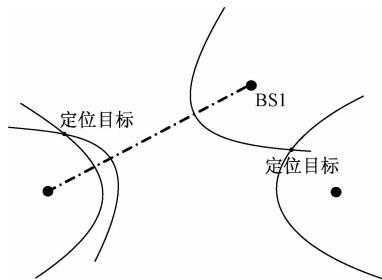


图 1 TDOA 定位原理

Fig. 1 The principle diagram of TDOA positioning technology

1.2 TSOA 定位技术

基于到达时间和(time sum of arrival, TSOA)定位算法同样是通过测量时间来进行定位的, 和 TOA/TDOA 定位原理相似, 其是通过计算两个节点和一个标签之间的到达时间和来计算距离的, 可列出以 $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ 为焦点的椭圆方程式:

$$\sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} + \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2} = L \quad (2)$$

2016 年 6 月 2 日收到

第一作者简介: 孙 杨, 硕士研究生。E-mail: 972279842@qq.com。

* 通信作者简介: 戴亚文, 博士, 教授。E-mail: daiyawen@163.com。

2 TDOA/TSOA 混合定位算法

现有的超宽带定位算法已经可以满足日常的需要,测量距离 200 m,定位精度可达到 20 cm 以内,但是只适用于宽敞的区域,不能满足狭窄区域的定位要求。本文提出的 TDOA/TSOA 混合定位算法,是运用基于超宽带通信技术的到达时间差算法 TDOA 来测量未知标签到达两个已知参考节点的时间差,运用到达时间和算法 TSOA 计算未知标签到达两个已知参考节点的时间和;再利用双曲线和椭圆关系计算出未知标签的二维坐标。TDOA/TSOA 混合定位算法既适用于宽敞区域的定位,又满足狭窄区域的定位要求,算法原理如图 2 所示。

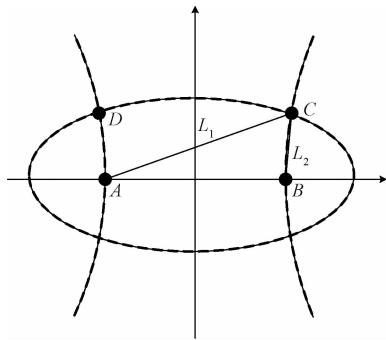


图 2 TDOA/TSOA 混合定位原理图

Fig. 2 The principle diagram of TDOA/TSOA hybrid positioning

TDOA/TSOA 混合定位算法的定位过程主要分为以下三步。

2.1 TDOA 算法测量到达时间差

由图 2 可知,A、B 两个节点对标签 C 进行定位,根据 TDOA 定位算法的原理,可求出以 A、B 为焦点的双曲线方程式,绘制出图中的双曲线,故标签 C 处于双曲线上。

2.2 TSOA 算法测量到达时间和

同第一步相同,A、B 两个节点对标签 C 进行定位,根据 TSOA 定位算法,求出以 A、B 为焦点的椭圆方程,绘制出图中的椭圆,故标签 C 处于椭圆上。

2.3 求解未知标签的二维坐标

对椭圆方程和双曲线方程进行联立,可以解出 x 的两个值和 y 的两个值, x 和 y 坐标随机组合,可以解出四个满足未知标签位置的坐标,由于本文只考虑处于已知参考节点前方的情况,因此只有 $y > 0$ 的两种情况满足条件,再根据判断 L_1 和 L_2 的大小,最终判断出满足条件的坐标。若 $L_1 > L_2$, 标签 C 则处于 y 轴的右侧($x > 0$);若 $L_1 < L_2$, 标签 C 则处于 y 轴的左侧($x < 0$);若 $L_1 = L_2$, 标签 C 则处于 y 轴上($x = 0$),再根据三角形原理,可求出标签的具体

位置。

3 定位系统设计

超宽带定位系统主要包括两个部分:定位参考节点和定位标签。定位参考节点主要任务是确定定位标签的距离,将定位标签的距离信息通过 USB 方式、wifi 方式或网口方式传输给上位机进行处理;定位标签放置在人员身上,主要作用是发射无线电波信号。

3.1 定位参考节点设计

定位参考节点的设计框图如图 3 所示。

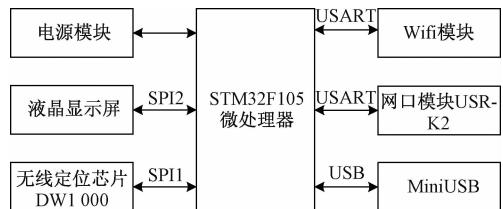


图 3 定位参考节点框架图

Fig. 3 The frame diagram of locate reference frame

定位参考节点的主控制器采用 STM32F105 系列芯片,其内核为 ARM 32 位的 CortexTM-M3 CPU,拥有最高 72 MHz 的工作频率,4 个 16 位定时器,5 个 USART 接口,SPI 接口和 USB 接口等通信接口,处理速度快,满足系统设计要求。无线定位芯片采用 DecaWave 公司生产的 DW1000 芯片,服从 IEEE 802.15.4-2011 通信协议,射频带宽从 3.5 GHz 到 6.5 GHz,传感器具有精度高、能耗小、尺寸小的优点。WiFi 模块、网口模块和 miniUSB 这三种方式主要是用于传输定位数据,根据测试环境的不同,采用不同的传输方式,miniUSB 可以把数据传输给电脑进行处理或数据保存;WiFi 模块和网口模块是采用无线或有线的方式传输给处在同一路由器的接收端进行处理或保存。WiFi 模块和网口模块采用同一串口,通过跳线帽的方式进行选择。

定位参考节点主要作用是接收定位标签发送的无线信号,获得两个参考节点接收无线信号的时间差和接收无线信号的时间和,从而求出定位标签分别到达两参考节点的距离,然后把距离信息通过 USB、WiFi 或网口形式发送给接收端进行数据处理或保存。当采用 USB 方式时,由 0 号参考节点进行两个参考节点的数据传输;当采用 WiFi 或网口形式时,各个参考节点的距离信息分别传输,定义不同的格式进行发送,以便接收端解码,区分不同参考节点的数据。

3.2 定位标签设计

定位标签的作用是发送无线信号,使定位参考

节点计算出与定位标签的距离信息,硬件设计比定位参考节点简单得多,只需要电源模块、无线定位芯片 DW1 000 和主控制器 STM32F105 芯片。由于定位标签采用 1 200 mAh 电池供电,因此需要考虑系统低功耗问题,故采用 STM32 的闹钟模式,每 5 min 启动 20 s,降低系统的功耗,同时使用 STM32 自带的 ADC 进行电池电压检测,当电压低于一定值时,系统指示灯自动报警。标签系统不同状态下的功耗如表 1 所示。

表 1 标签系统不同状态下的功耗

Table 1 Power consumption of tagging system in difference condition

	功率/W	电流/A
开机状态	0.305	0.610
工作状态	0.250	0.049
低功耗模式	0	0

按照每天 24 h 开机计算,电池充满电后,标签可以连续使用 15 d 左右。

4 实验与性能分析

为了验证系统和算法的实用性,选取半径为 3m 的圆形地铁施工隧道进行实验,图 4 为隧道及参考节点安装位置图片,主要进行三组实验测试,第一组实验:定位节点使用支架安装在隧道的中间(图 4 中①位置);第二组实验:定位节点安装在隧道的侧边中间位置(图 4 中②位置);第三组实验:定位节点安装在隧道转弯处(图 4 中③位置),进行弯道测试。地铁隧道中的一环水泥板的宽度为 1.5 m,方便进行实验测试,只需记录定位标签处在离定位节点的环数。



图 4 隧道及参考节点安装位置

Fig. 4 Tunnel and installation location of reference node

4.1 隧道中间实验

按照图 4 中①位置放置参考节点,两个参考节点之间相距 150 m,每隔 3 m 进行一次数据记录,图 5 表示测量距离与误差的关系。

由图 5 可知,随着测量距离的增加,误差呈上升趋势,直线测量的误差在 40 cm 以内。

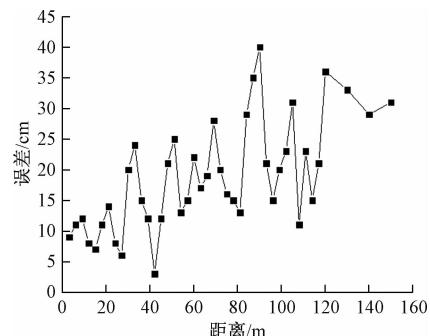


图 5 测量距离和误差的关系图

Fig. 5 Measure error of distance

4.2 隧道侧边实验

按照图 4 中②位置放置参考节点,两个参考节点之间的距离为 80 m,分别取 $y = 150$ cm、250 cm、350 cm 时进行数据测量,记录两节点的距离信息,通过 MATLAB 对数据进行处理,求出定位标签坐标,图 6 为测量坐标和实际坐标对比。

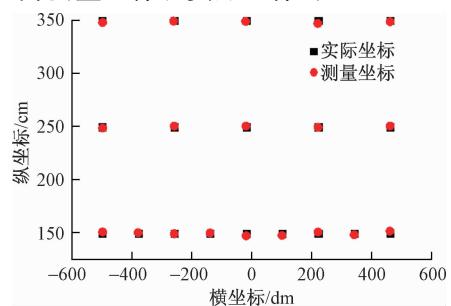


图 6 实际坐标与测量坐标对比

Fig. 6 The actual coordinates and measurement coordinates

由图 6 可知,本文提出的 TDOA/TSOA 混合定位算法满足狭窄区域定位要求,定位坐标精度在 50 cm 以下。

4.3 隧道弯道实验

地铁隧道的弯道为 800 m 弯道,可以等效为直道,定位节点安装在图 4 中③位置,两定位节点之间的距离为 80 m,按照隧道直道侧边实验的方法进行测试和处理,测量坐标与实际坐标的误差在 1 m 以内,误差主要来自弯道自身的误差,距离误差在 40 cm 以下。

5 结论

本文提出的超宽带定位系统,既适用于宽敞区域的定位,又满足狭窄区域的定位要求,功耗低、尺寸小、安装方便,多种数据传输方式;基于 TDOA/TSOA 混合定位算法,主要是利用了超宽带技术带宽极宽,且系统容量大、传输速率高,系统相对简单、成本低、功耗低、信号衰减小、穿透能力强、定位精度高,具有良好的多径分辨能力和时间分辨率能力等。

特性;结合椭圆和双曲线方程的特性,求出定位标签的坐标,定位精度高,需要参考节点数量少。经过地铁隧道实验表明,隧道直道定位坐标精度在 50 cm 以内,隧道弯道距离误差在 40 cm 以下,定位坐标精度在 1 m 以内,误差增大主要原因是弯道自身产生的误差,满足地铁隧道定位要求。

参 考 文 献

- 1 肖 竹,王勇超,田 斌,等. 超宽带定位研究与应用:回顾和展望. 电子学报, 2011, 39(1): 133—141
Xiao Z, Wang Y C, Tian B, et al. Development and Prospect of Ultra-Wideband Localization Research and Application. *Tien Tzu Hsueh Pao/acta Electronica Sinica*, 2011;39(1): 133—141
- 2 张令文,杨 刚. 超宽带室内定位关键技术. 数据采集与处理, 2013;28(6):706—713
Zhang L W, Yang G. Ultra-Wide-Band Based Indoor Positioning Technologies. *Journal of Data Acquisition & Processing*, 2013; 28 (6):706—713
- 3 施长宝,李 瑾. 基于超宽带技术的室内无线定位的研究. 科技信息, 2012;(7):171—171
Shi C B, Li J. Research of Indoor Wireless Positioning Based on UWB. *Science & Technology Information*, 2012;(7):171
- 4 王 磊,张洪顺,柏 熙. 超宽带定位技术及应用. 通信对抗, 2007;(3): 33—36
Wang L, Zhang H S, Bai X. UWB positioning technology and It's application. *Communication Countermeasures*, 2007;(3): 33—36
- 5 杨 洲,汪云甲,陈国良,等. 超宽带室内高精度定位技术研究. 导航定位学报, 2014(4): 31—35
Yang Z, Wang Y J, Chen G i, et al. Research on high precision indoor positioning Technology of UWB. *Journal of Navigation and Positioning*, 2014;(4):31—35
- 6 张 华,宋正勋,石 云,等. 基于超宽带的 TOA 定位技术研究. 吉林大学学报(信息科学版), 2008; 26(1):106—110
Zhang H. Research of TOA ranging technology based on UWB. *Journal of Jilin University*, 2008;26(1):106—110
- 7 童凯翔,周 轩,李广侠,等. 超宽带在无线定位技术中的应用综述. 导航定位学报, 2015;(1): 10—14
Tong K X, Zhou X, Li G X, et al. A Review of UWB application in wireless location technology. *Journal of Navigation and Positioning*, 2015;(1): 10—14
- 8 张福洪,莫晨晨,王利强. 基于 TOA/TDOA 超宽带无线定位算法的改进. 电子器件, 2009;32(1): 93—96
Zhang F H, Mo Chenchen, Wang L Q. Improvement the algorithm of UWB wireless location based on TOA/TDOA. *Chinese Journal of Electron Devices*, 2009;32(1): 93—96

System Design and Algorithm Research of UWB Wireless Location

SUN Yang, DAI Ya-wen *

(School of Science, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, P. R. China)

[Abstract] Because the ultra-wide band technology possesses many advantages, such as the good anti-interference effect, high security, and the precise positioning, the ultra-wide technology becomes the primary choice in the wireless positioning technology. Positioning system small size, low power consumption, convenient installation, Algorithm mainly started with the traditional positioning technology, combined with the advantages and disadvantages of various positioning technology, proposes an ultra-wide band wireless hybrid positioning algorithm which is the combination of the TDOA and the TSOA. This algorithm can use few reference nodes, have a high positioning precision and applied in a wide range. The results show that, the hybrid location algorithm of TDOA/TSOA measured the distance at 200 m, the error of the location accuracy is within 40 cm.

[Key words] UWB technology TDOA TSOA hybrid location algorithm