

文章编号:1671-251X(2012)03-0031-04

DOI:CNKI:32-1627/TP.20120307.1652.011

无线传感器网络中的 TOA 测距方法研究

刘世森, 汤朝明, 吴畏

(中煤科工集团重庆研究院, 重庆 400037)

摘要:介绍了目前常用的无线传感器网络测距方法,对 TOA 测距方法进行了详细的误差分析,并提出采用 SDS-TWR 方法来降低 TOA 方法测距误差的方案。实验结果表明,SDS-TWR 方法能有效降低晶体振荡器频率漂移所带来的测距误差,提高 TOA 测距方法的测距精度。

关键词:无线传感器网络;测距方法;测距精度;TOA;SDS-TWR;频率漂移

中图分类号:TD655.3 文献标识码:A 网络出版时间:2012-03-07 16:52

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20120307.1652.011.html>

Research of TOA Ranging Method in Wireless Sensor Network

LIU Shi-sen, TANG Chao-ming, WU Wei

(Chongqing Research Institute of CCTEG., Chongqing 400037, China)

Abstract: The paper introduced several ranging methods commonly used in wireless sensor network, did error analysis of TOA ranging method specifically, and proposed a scheme of using SDS-TWR method to reduce ranging error of TOA. The experimental result showed that SDS-TWR method can effectively reduce ranging error caused by frequency drift of crystal oscillator and improve ranging accuracy of TOA.

Key words: wireless sensor network, ranging method, ranging accuracy, TOA, SDS-TWR, frequency drift

0 引言

在无线传感器网络中,节点的位置信息对传感器网络应用具有重要的意义^[1]。一般而言,无线传感器网络的定位技术分为基于距离的定位和不基于距离的定位。在基于距离的定位技术中,测距信息的准确度直接影响定位的准确度,而测距信息的准确度与距离测量方式有直接关系^[2]。本文分析了目前无线传感器网络中常用的几种测距方法的原理及其适用范围,对 TOA(Time of Arrival,到达时间)测距方法进行了详细的误差分析,并采用了对称双边双路测量(Symmetrical Double-Sided Two-Way Ranging,SDS-TWR)方法来降低 TOA 方法的测距误差。

1 无线传感器网络中的测距方法

常用的无线传感器网络测距方法有超声波测距法、接收信号强度(Received Signal Strength Indicator,RSSI)测距法、到达时间差(Time Difference of Arrival,TDOA)测距法和到达时间测距法等。

1.1 RSSI 测距法

RSSI 是最常用的测距方法。已知发送节点的发送信号强度,接收节点接收到信号后测量其信号强度,并计算传播过程中的损耗,使用已知的信号传播衰减模型^[3]将传播损耗转换为两节点间的距离。信号传播衰减模型为

收稿日期:2011-12-27

基金项目:中煤科工集团重庆研究院 2011 年自立项目(CQ1101)

作者简介:刘世森(1983-),男,湖北麻城人,硕士研究生,研究方向为测控技术与仪器仪表开发。E-mail:tian8935045@126.com

$$P(d) = P(d_0) - 10n \lg \frac{d}{d_0} \quad (1)$$

式中: d 为接收节点与发送节点之间的距离; d_0 为参考节点与发送节点之间的距离; $P(d)$ 、 $P(d_0)$ 分别表示经过距离 d 、 d_0 后的路径损耗; n 为同层衰减指数, 表示路径长度和路径损耗之间的比例因子。

由于发送节点具备通信能力, 因此 RSSI 是一种低功率、低成本的测距技术。在理想环境下, RSSI 表现出良好的测距特性, 但在受限空间范围内, 它极易受到障碍物遮挡、无线信号的反射、温度变化等因素的影响, 因此该测距方法难以应用到实际中, 通常被视为一种粗糙的测距技术。RSSI 测距误差为 $\pm 50\%$, 只适用于对误差要求不高的场合。

1.2 超声波测距法

超声波测距是一种反射式测距法。测量节点发射超声波并接收由障碍物反射的回波, 计算发射与接收超声波的时间间隔 Δt , 可推导出测量节点到障碍物之间的距离为 $c\Delta t/2$ (c 为超声波在介质中的传播速度)。超声波测距法测量精度很高, 误差只有 10 cm, 但超声波受多径效应和非视距传播的影响很大, 同时该方法需要投资额外的底层硬件设施, 成本较高。

1.3 TDOA 测距法

TDOA 测距法是指发送节点同时发送两种不同的信号, 接收节点根据接收到的两种信号的时间差及其传播速度计算其与发送节点的距离。由于射频信号和超声波信号传播速度不同, 因此通常采用这两种信号。时间差 Δt 可表示为

$$\Delta t = \frac{d}{c_1} - \frac{d}{c_2} \quad (2)$$

式中: c_1 、 c_2 分别为超声波信号和射频信号在空气中的传播速度; d 为发送节点与接收节点之间的距离。

在正常的温度和湿度条件下, $c_1 \approx 344$ m/s, $c_2 \approx 3 \times 10^8$ m/s, 由于 $c_2 \gg c_1$, 则距离 d 可近似表示为^[4]

$$d = c_1 \Delta t \quad (3)$$

TDOA 测距法的测距精度可达厘米级, 但受限于超声波传播距离和非视距对超声波信号传播的影响, 该方法在复杂环境下精度很低。

2 TOA 测距原理及误差分析

2.1 TOA 测距原理

TOA 测距原理如图 1 所示^[5]。

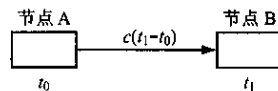


图1 TOA 测距原理

TOA 测距法根据信号的传播速度和时间来计算节点间的距离。假设两个节点时间同步, 发送节点 A 在发送信号的同时发送一个同步消息, 告知接收节点 B 信号发送时间为 t_0 ; 节点 B 接收信号的同时接收同步消息, 并记录接收信号的时间 t_1 , 则两节点间的距离 $L = c(t_1 - t_0)$ (c 为信号在介质中的传播速度)。

2.2 TOA 误差分析

在节点 A 和节点 B 同步条件下, 假设节点 B 的晶体振荡器输出并经倍频后的精确时钟脉冲频率为 f , 则其脉冲周期 $T = 1/f$; 设信号传输经过 N 个时钟周期, 则节点 B 测得的信号传输时间 t 为

$$t = NT = \frac{N}{f} \quad (4)$$

该值是理想条件下测得的信号传输时间。然而, 实际晶体振荡器受温度变化、制造工艺等因素影响, 输出的时钟脉冲存在频率偏移, 即实际时钟脉冲频率 $f' = f + \Delta f$, 其中 Δf 是随时间变化的随机量, 则实际脉冲周期 T' 为

$$T' = \frac{1}{f + \Delta f} \quad (5)$$

若节点 B 测得的信号到达时间真实值为 t , 则实际时钟周期 $N' = \frac{t}{T'} = t f' = t(f + \Delta f)$ 。在实际测量中, 假设节点 B 接收到节点 A 发送的无线信号时, 时钟脉冲频率为标准值 f , 则节点 B 实测的信号传输时间 t' 为

$$t' = N'T = \frac{t(f + \Delta f)}{f} = t(1 + \frac{\Delta f}{f}) \quad (6)$$

由式(6)可知, 晶体振荡器的频率漂移使得节点 B 测量的信号传输时间与实际信号传输时间之间存在误差。

3 基于 SDS-TWR 方法的测距误差消除方法

本文采用 SDS-TWR 方法来降低晶体振荡器频率漂移带来的测距误差。SDS-TWR 原理如图 2 所示。

该方法包括两次对称测量。第一次测量: 节点 1 测量从发出数据包到接收确认包的时间 T_1 ; 节点 2 在接收到节点 1 的数据时开始计时, 并在返回应答后停止计时, 设节点 2 的处理延时为 T_2 ; 用 T_1 减

去 T_2 就是数据包往返的时间。第二次测量:由节点 2 发送数据包,节点 1 接收并应答,设节点 2、节点 1 测得的时间分别为 T_3 、 T_4 ,则数据包往返时间为 $T_3 - T_4$ 。

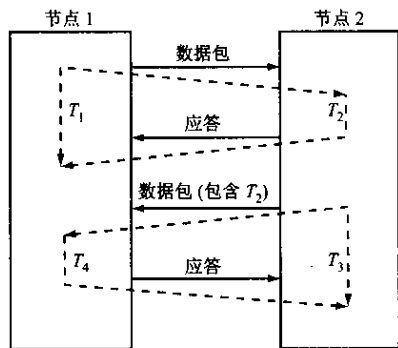


图 2 SDS-TWR 原理

设信号在介质中的传播速度为 c ,则两节点之间的理论距离 d 为

$$d = c \frac{(T_1 - T_2) + (T_3 - T_4)}{4} \tag{7}$$

由于晶体振荡器存在频率漂移,假设 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 的测量偏差分别为 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 ,则两节点之间的实际距离 d' 为

$$\begin{aligned} d' &= c \frac{(T_1 + \lambda_1) - (T_2 + \lambda_2) + (T_3 + \lambda_3) - (T_4 + \lambda_4)}{4} \\ &= c \frac{T_1 - T_2 + T_3 - T_4}{4} + c \frac{\lambda_1 - \lambda_2 + \lambda_3 - \lambda_4}{4} \end{aligned} \tag{8}$$

T_1 、 T_4 由节点 1 的晶体振荡器测得,因此 $\lambda_1 = \lambda_4$, T_2 、 T_3 由节点 2 的晶体振荡器测得,因此 $\lambda_2 = \lambda_3$,则式(8)可化简为

$$d' = c \frac{T_1 - T_2 + T_3 - T_4}{4} \tag{9}$$

从式(9)可看出,SDS-TWR 方法消除了晶体振荡器频率漂移所带来的测距误差。

4 测距实验

4.1 实验准备

采用英国 Jennic 公司的 JN5148-EK010 开发平台完成 TOA 和 SDS-TWR 测距实验。JN5148-EK010 开发平台中的高性能射频芯片收发器可利用双向通信时间来测量距离,因此可用于传统 TOA 和采用 SDS-TWR 方法的 TOA 测距实验。

实验环境选取某大楼的地下车库过道,其特征:空间狭长,过道两旁各有 4 根方柱,中间没有遮挡物。车库过道平面示意图如图 3 所示。

4.2 实验描述

在实验平台中选择两个节点,分别作为定位节点

A、信标节点 B。节点 A 通过串口和 PC 机相连,实时上传测量结果。分别采用传统 TOA 测距法和采用 SDS-TWR 方法的 TOA 测距法进行测距实验。由于走廊的实际长度有限,测距范围为 5~80 m,每隔 5 m 进行一次测试。为了减小测试误差,每个点测量 10 次,去除最大值和最小值后,取平均值作为测量距离。

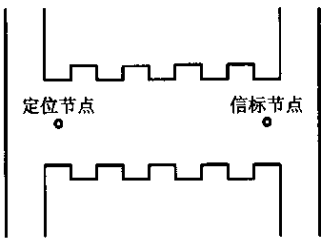


图 3 车库过道平面示意图

4.3 实验结果及分析

实验结果如表 1 所示。

表 1 测距实验结果

实际距离/m	测量距离/m		误差值/m		误差百分比/%	
	TOA	SDS-TWR	TOA	SDS-TWR	TOA	SDS-TWR
5	10.8	6.6	5.8	1.6	116.0	32.0
10	14.6	10.8	4.6	0.8	46.0	8.0
15	18.9	16.3	3.9	1.3	26.0	8.7
20	24.1	21.4	4.1	1.4	20.5	7.0
25	30.3	26.6	5.3	1.6	21.2	6.4
30	34.8	31.0	4.8	1.0	16.0	3.3
35	38.9	36.9	3.9	1.9	11.0	5.4
40	44.3	41.2	4.3	1.2	10.8	3.0
45	48.1	47.3	3.1	2.3	11.3	5.1
50	54.5	51.2	4.5	1.2	9.0	2.4
55	58.6	56.6	3.6	1.6	6.5	2.9
60	64.8	62.5	4.8	2.5	8.0	4.2
65	70.2	66.8	5.2	1.8	8.0	2.8
70	73.8	71.2	3.8	1.2	5.4	1.7
75	78.9	76.7	3.9	1.7	5.2	2.3
80	84.8	82.1	4.8	2.1	6.0	2.6

在传统 TOA 测距实验中,测量 160 次样本数据的平均误差为 4.58 m,最大误差为 5.8 m;在采用 SDS-TWR 方法的 TOA 测距实验中,测量 160 次样本数据的平均误差为 1.58 m,最大误差为 2.5 m。传统 TOA 和采用 SDS-TWR 方法的 TOA 测距结果与实际距离的关系曲线如图 4 所示,两种方法测距误差百分比曲线如图 5 所示。

文章编号:1671-251X(2012)03-0034-04

DOI:CNKI:32-1627/TP.20120307.1653.012

基于时差法的超声空化强度测量方法

徐斐

(河海大学计算机与信息学院(常州), 江苏 常州 213022)

摘要:针对目前超声空化强度测量方法存在的测量过程复杂、测量设备昂贵等问题,提出了一种基于时差法的超声空化强度测量方法;介绍了该方法的测量原理,根据该方法设计了超声空化强度测量装置,并通过实验验证了超声波在液体空化时和未空化时的传播时间差与输入电功率在一定范围内成正比关系。

关键词:超声波;超声空化;时差法;空化泡

中图分类号:TP206.1

文献标识码:A

网络出版时间:2012-03-07 16:53

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20120307.1653.012.html>

收稿日期:2011-12-30

作者简介:徐斐(1991-),男,江苏常州人,本科在读,主要研究方向为检测技术与自动化装置。E-mail:410593952@qq.com

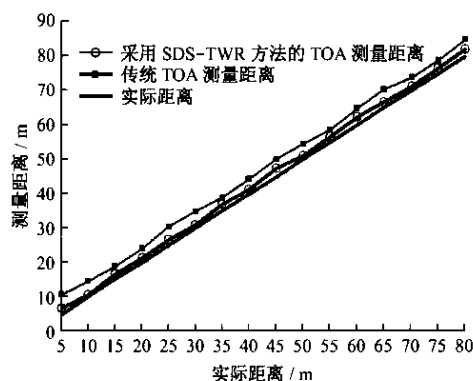


图4 两种方法测距结果与实际距离的关系

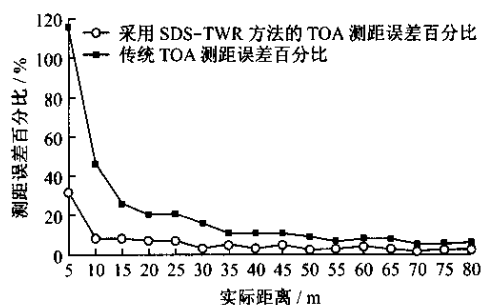


图5 两种方法测距误差百分比曲线

从图4可以看出,采用 SDS-TWR 方法的 TOA 测距法测距结果比传统 TOA 测距法更接近实际距离。从图5可以看出,当距离超过 10 m 后,采用 SDS-TWR 方法的 TOA 测距法误差趋于平稳。实验数据表明,采用 SDS-TWR 方法的 TOA 测距法测量精度较高,能有效降低晶体振荡器频率

漂移所带来的测距误差。

5 结语

介绍了基于 TOA 原理的测距技术,分析了同步条件下晶体振荡器频率漂移对测距准确度的影响,提出了采用 SDS-TWR 方法来降低 TOA 方法测距误差的方案,并通过实验验证了 SDS-TWR 方法能够提高 TOA 方法的测距精度。

参考文献:

- [1] 方震,赵湛,郭鹏,等. 基于 RSSI 测距分析[J]. 传感技术学报,2007,20(11): 2526-2530.
- [2] 彭宇,王丹. 无线传感器网络定位技术综述[J]. 电子测量与仪器学报,2011,25(5): 389-399.
- [3] 俞建平. 基于无线传感器网络的定位技术研究[实现[D]. 杭州:杭州电子科技大学,2010.
- [4] 赵海,张宽,朱剑,等. 基于 TDOA 的超声波测距误差分析与改进[J]. 东北大学学报:自然科学版,2011(6): 802-805.
- [5] 王沁,于锋,李刚. R-TWR: 一种基于时钟频率比的 TOA 测距新方案[J]. 小型微型计算机系统,2010(7): 1261-1266.
- [6] 包建军,霍振龙,徐炜,等. 一种高精度井下人员无线定位方法[J]. 工矿自动化,2009(10): 18-21.
- [7] 刘平,李国民. 一种用于井下人员定位的 TOA 定位算法研究[J]. 西安科技大学学报,2007(3): 439-442.