

基于 nanoLOC 的嵌入式定位系统^①

杨 锌, 林基明, 刘争红

(桂林电子科技大学 信息与通信学院, 桂林 541004)

摘 要: 研究了基于 nanoLOC 收发器的目标定位系统. 嵌入式定位系统由三星 S3C6410A 微处理器, 无线通信模块 nanoPAN 5375 以及液晶显示器等组成, 以 Linux2.6.38 为内核的 Linux 操作系统为嵌入式软件平台. 采用了双边双路对称测距算法(SDS-TWR), 具有较高的定位精度. 经过大量实验证明, 该系统定位精度可以实现在 1 米以内, 能满足室内外及对定位精度要求较高和恶劣环境下的定位, 可用于手持式移动定位设备, 具有很广的应用和推广价值.

关键词: 线性调频扩频; 嵌入式; 定位; 双边双路对称测距算法

Embedded Positioning System Based on nanoLOC

YANG Xin, LIN Ji-Ming, LIU Zheng-Hong

(School of Information & Communication, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: This paper mainly studies the target positioning system based on nanoLOC transceiver. An embedded positioning system consists of S3C6410A microprocessor of Samsung, nanoPAN 5375 wireless communication module and LCD. Linux operating system based on Linux 2.6.38 kernel is used as embedded software platform. The symmetrical double-sided two-way ranging algorithm is designed which has a high accuracy of positioning system. A lot of experiments show that the accuracy of positioning system is less than one meter, the system can achieves in indoor and outdoor as well as the high precision positioning in harsh environments, and be used in handheld mobile positioning equipment. The system has a great application and promotion value.

Key words: CSS; embedded system; positioning system; Symmetrical Double-Sided Two-Way Ranging (SDS-TWR)

随着移动通信技术的快速发展, 采用各种测距技术的无线定位服务已广泛应用于各个领域. 在室外环境下, 全球定位系统(GPS)已经比较成功地解决了定位问题. 而在室内和高定位精度要求环境下, 如物流跟踪、厂矿坑道人员定位等室内定位服务需求, GPS 系统因为卫星信号覆盖等原因无法完成定位, 因此室内定位技术的研究在近几年逐渐成为各大高校、研究机构和企业的一个研究热点. 目前已有的室内定位技术主要有: 超声波定位技术、移动通信网络定位技术、WLAN 网络定位技术、基于接收信号强度(RSSI)的定位技术及线性调频扩频(CSS)定位技术. 以上室内定位技术中, 基于移动通信网络的定位技术比较成熟,

可进行大范围定位, 且确定是依赖于已有移动通信网络基础设施, 精度相对较低, 只能达到几十米至几百米的定位精度. 基于 WLAN 的定位技术其射频信号易受环境干扰, 具有较大的时变特性, 训练数据采集工作量大, 在多个接入点同时覆盖的室内环境定位精度为 3~15 米左右, 但也仅限于已部署 WLAN 的室内. 基于 RSSI 的 Zigbee 定位技术具有低功耗、低复杂度、低冲突率等特点, 但其环境适应性差, 信号模型的估算方法容易受到射频环境的影响而产生较大的误差, 定位精度也只能达到 3~5 米左右. 基于 CSS 采用精确的双向到达时间测量以及内部反应时间测量实现距离测量和空间定位, 由于采用高质量的时钟电路, 精确

^① 基金项目: 广西区自然科学基金(桂科自 0991018Z)

收稿时间: 2012-01-05; 收到修改稿时间: 2012-02-22

度可以达到 1ns, 因而实际测量精度将达到 0.3 米, 而实际使用中, 由于前端多路径到达波检测、时间偏差等原因影响, 误差可以控制在 0.6-1.5 米; 在测量距离上, 0dBm 时可以达到 100m, 只要信号能够到达, 就可以实现测距, 测量范围为节点双向通讯所覆盖的范围, 其测量特性并不因为增加功率放大器这一环节而有所变差。

nanotron 公司的 nanoLOC 芯片能实现精确测距功能, 因为它能产生 Chirp 信号并采用独特的 CSS 全球专利技术. 将嵌入式系统与 nanoLOC 测距功能和定位算法相结合实现定位, 具有成本低, 通信距离远, 定位精度高等优点. 本设计以 ARM11 系列的嵌入式芯片为主控制器芯片, 以嵌入式 Linux 操作系统为软件平台, 将无线通信模块, 界面显示等模块有机的结合起来。

1 SDS-TWR测距原理

为了获得节点的位置信息, 需获得节点之间的距离, 目前常用的测距算法有: RSS(received signal strength), AOA(angle of arrival), TOA(time of arrival), TDOA(time difference of arrival). RSS 方法通过测量接收信号的场强值, 利用已知信道衰落模型以及发射信号的场强值估算出标签到多个锚节点之间的距离, 此方法不需要时间同步和从多个节点测量, 但它受信道影响很大, 尤其是非视距衰落和衰减信道^[1]. AOA 方法需要测量到达角度信息, 这些信息可以从多传感器或者天线阵列获得, 此方法需要复杂昂贵的天线阵列, 由于多径传播的影响, 角度会产生高度的不确定性, 因此只能有条件地适用于 WSN 中的低成本解决方案或便携移动标签^[2]. TOA 方法需要精确的时间测量, 标签与锚节点之间必须保持同步. TDOA 方法通过检测信号到达两个基站的传播时间差, 降低了时间同步要求, 但基站之间必须保持时钟同步。

为了克服以上算法带来的弊端, 本系统中采用双边双路对称测距算法(SDS-TWR). 该算法不需要标签与锚节点之间, 锚节点与锚节点之间的时钟同步, 降低了系统对硬件时钟的要求^[3], 从而降低了系统的复杂性; 不需要固定的基础设施, 可以移动测距. 对称: 两端节点的应答时间是相同的($T_{replyA} = T_{replyT}$). 双边: 每个节点都执行一次往返测试. 两端节点的往返测试结果用来计算两端节点之间的传输时间(TOF, time-of-flight), 从而获得两端节点之间的距离. 测距

原理如图 1 所示.

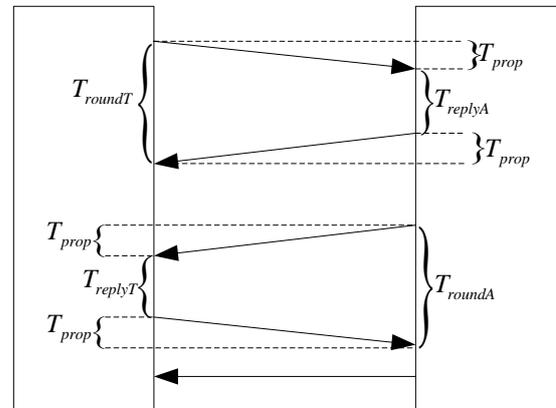


图 1 SDS-TWR 测距原理框图

SDS-TWR 测距过程为: 首先, 标签发送测距数据包给锚节点. 当标签进入 ready 状态后, 会把测距数据包发给与设置目的 MAC 地址相匹配的锚节点; 当锚节点接收到数据后经过一段时间(T_{replyA})处理, 硬件确认会自动发送到标签, 标签使用这个确认包产生一次往返时间值 T_{roundT} , 同理, 锚节点发送测距数据包给标签, 接收标签返回的硬件确认包, 这个过程产生处理时延 T_{replyT} 和往返时间 T_{roundA} . 此时标签已有三个时间值 T_{replyT} , T_{roundT} , T_{replyA} , 为了获得第四个时间值 T_{roundA} , 锚节点将带有时间值 T_{roundA} 的数据包发送给标签, 这样就完成一次测距过程. 根据这四个时间值, 可以得到理论的 TOF, 即:

$$T_{prop} = \frac{(T_{roundT} - T_{replyA}) + (T_{roundA} - T_{replyT})}{4} \quad (1)$$

则标签与锚节点之间的距离 $d = cT_{prop}$, 其中 c 为电磁波传输速度.

受晶体的时钟偏移影响, 实际的 TOF 为:

$$T_{prop}' = \frac{(T_{roundT} - T_{replyT})(1 + e_T) + (T_{roundA} - T_{replyA})(1 + e_A)}{4} \quad (2)$$

式(2)中, e_T 和 e_A 分别为标签和锚节点的晶体时钟偏移. 由式(1)和式(2)可得理论 TOF 值和实际 TOF 值之间的误差为:

$$\Delta T_{prop} = T_{prop}' - T_{prop} = \frac{(T_{replyA} - T_{replyT})(e_T - e_A)}{4} + \frac{T_{prop}(e_T + e_A)}{2} \quad (3)$$

当 $T_{replyA} = T_{replyT}$ 时, 则上式为:

$$\Delta T_{prop} = \frac{1}{2} T_{prop} (e_T + e_A) \quad (4)$$

测距误差(Ranging Error):

$$d(1 + E) = cT_{prop} \quad (5)$$

根据式(5)可计算出不同位置情况下理论测距误差, 如表 1.

表 1 理论测距误差(应答时间差异导致)表

$d(m)$	$\Delta d(m)$ ($\Delta t=20\mu s$)	$\Delta d(m)$ ($\Delta t=200\mu s$)	$\Delta d(m)$ ($\Delta t=2\mu s$)	$\Delta d(m)$ ($\Delta t=20\mu s$)
0.1	± 0.00012	± 0.0012	± 0.012	± 0.12
1	± 0.00012	± 0.0012	± 0.012	± 0.12
10	± 0.0005	± 0.0012	± 0.012	± 0.12
100	± 0.004	± 0.004	± 0.012	± 0.12
1000	± 0.04	± 0.04	± 0.04	± 0.12

表 1 中, d 代表测量的距离值, Δt 为标签和锚节点信号应答时间差, Δd 为 Δt 所引起的测量误差, 可以看出在 $\Delta t=20\mu s$, $d=0.1m$ 时, 测量误差相对于测量距离最大, 而其他应答时间差所引起的测量误差均较小, 并随着测量距离的增加, 可忽略不计. 实际系统中电路晶振的频率误差小于 40ppm, 且应答时间差远小于 $2\mu s$, 即使达到 $20\mu s$, 所引起的误差值也很小, 不影响测距结果.

2 系统硬件设计

本系统主要由信息处理模块, 无线通信模块, nanoPAN 5375 控制模块, 液晶显示模块等组成. 信息处理模块采用广州友善之臂的 mini6410 开发板, 负责处理测距数据, 无线通信模块采用德国 nanotron 公司的 nanoPAN 5375 射频模块, 负责产生 Chirp 扩频信号, nanoPAN 5375 控制模块采用 ST 公司的 STM32 系列微控制器, 负责控制 nanoPAN 5375 模块工作, 显示模块为 4.3 寸的真彩 LCD 显示屏, 分辨率为 480×272 , 带触摸功能, 负责显示节点位置信息. 系统结构如图 2 所示.

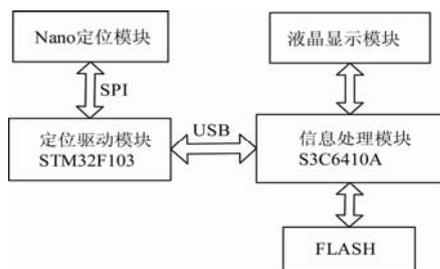


图 2 系统结构图

2.1 无线通信模块

nanoPAN 5375 模块集成了一个完整的射频模块所必须的组件, 包括巴伦电路、带通滤波器、20dbm 功率放大器、集成 2.4GHz 的芯片天线和 nanoLOC 芯片. 可产生线性调频信号, 并采用线性调频扩频技术完成线性调频信号发射与接收的整个过程, 高度集成化, 很大程度上降低了定位系统的复杂度, 使系统中标签与锚节点得以小型化.

nanoLOC 是采用了 nanotron 独特线性调频扩频 (CSS) 技术的高集成度混合信号芯片, 利用 nanoLOC 测距功能, 能够精确测量两个连接点之间的距离, 因此, 芯片能够支持包括基于位置的服务(LBS)、增强型 RFID, 以及资产跟踪(2D/3D RTLS)在内的应用. 由于测距是嵌入在正常的通讯过程中, 因此并不需要增加额外的电路、功率以及带宽. nanoLOC 工作在 2.4GHz 免授权频段, 提供了三个可自由调整中心频率的非重叠 2.4GHz ISM 频道, 支持多个独立物理层网络, 并能提高与现有 2.4GHz 无线技术共存时的网络性能^[4]. 可灵活地提供 125Kbps-2Mbps 范围的数据传输率, 测距距离远, 其片上点对点测距精度优于 0.6 至 1.5 米, 同时提供具有极佳传输范围的可靠数据通信, 可应用于高精度测距, 实时定位和无线传感器网络中^[5].

2.2 nanoPAN 5375 控制模块

STM32F103 是基于 32 位的 Cortex-M3 RISC CPU, 是专门设计于满足集低功耗、高性能、实时应用、具有竞争性价格等于一体的嵌入式领域的要求. 该控制器集成了 512KB 嵌入式 Flash 和 64KB 嵌入式 SRAM, 可以以 CPU 时钟速度进行读/写, 工作频率可达 72MHz, 具有串口, JTAG 接口, USB 接口, SPI 接口等多达 13 个通信接口^[6]. 单片机通过 SPI 接口使用 nanoLOC nTRX 驱动发送 MAC 层信息给 nanoLOC TRX 收发器来驱动无线通信模块, 负责控制 nanoPAN 5375 模块收发信号的工作, 并将测距数据通过 USB 接口传送到信息处理模块中.

2.3 信息处理模块

mini6410 采用 Samsung 公司的 S3C6410A 作为主处理器, 十分适用于开发 MID、汽车电子、工业控制、导航系统、工业控制等领域. 具有双 LCD 接口, USB Host1.1, mini USB 2.0-OTG 接口, 100M 标准网络接口, 标配 RAM 内存 256M, 32 位数据总线, 1GB Nand Flash, 处理器主频可达 667MHz. S3C6410A 总共有四个串口, 其中 UART0 经过 RS232 电平转换, 对应于 COM0, 通

过串口交叉线与 PC 机相连进行系统开发. mini6410 支持多种操作系统如 Linux, WindowsCE, Android, 由于 Linux 源代码开放, 网络功能强大等优势, 本系统中采用 Linux OS 作为嵌入式操作系统.

mini6410 通过 USB 接口与无线通信控制模块通信, 利用定位算法对接收到的数据进行数学处理, 计算出标签的具体位置, 并通过 Qt 编写的界面显示在液晶显示屏上. 由于嵌入式系统存储容量有限, 且开发板体积较小, 因此需要在 PC 机上建立一个用于开发板的交叉编译环境, 所有程序通过 PC 机交叉编译后下载到开发板上运行.

3 系统软件设计

系统软件方面主要包括嵌入式操作系统剪裁和移植, 及控制程序, 包括发射控制程序, 主要负责测距信号的发送; 接收控制程序, 主要负责测距信号的接收; 中断服务程序; 接口驱动程序; 定位算法, 主要负责将测得数据进行数学处理, 提高定位精度; 显示程序, 主要负责显示界面控制, 及显示节点位置信息. 主流程图如图 3 所示.

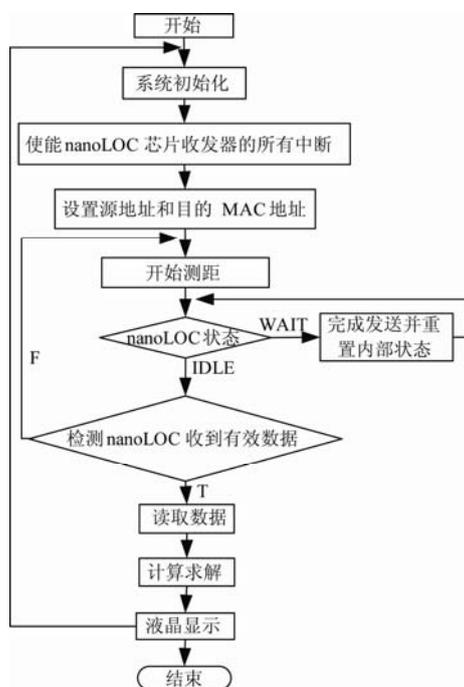


图 3 程序主流程图

标签与多个锚节点测距后, 结合定位算法计算出标签的位置. 基于时间测量的定位算法中主要有两种: 一种是三圆相交法(CLOP, circular lines of position), 一

种是线性位置线算法(LLOP, linear lines of position)^[7]. LLOP 算法由 Caffery 提出, 每两个圆的两个交点可以确定一条直线, 任意两条直线的交点即为标签的位置. 此算法比传统的三圆相交法更容易计算出标签的位置, 且具有一定的抗非视距(NLOS, non-line-of-sight)干扰能力. 在没有误差的理论情况下, LLOP 方法可以精确计算出标签的位置, 但在实际环境中, 肯定会存在干扰误差, 可采用最小二乘法(LS, least squares)进行优化, 估算出标签的位置, 本系统中采用 LLOP-LS 算法计算标签的位置.

在嵌入式系统开发过程中, 与传统的单片机最大的区别就是可以移植操作系统, 使软件设计层次化, 从 BSP 到 RTOS, 再到上层文件系统、GUI 图形界面及用户层的应用软件等各部分都可以清晰地划分开来^[8], 这样可以完成更加复杂的功能, 提高系统的可扩展性, 便于软件维护. 根据 S3C6410A 芯片建立引导加载程序 Bootloader, 移植内核, 制作专门运行于 mini6410 开发板上的嵌入式 Linux 操作系统.

编写好系统控制程序后, 需要将其移植到 Linux 操作系统中, 有两种方法可以实现: 一是可以直接将驱动编译入内核, 这需要重新修改内核源代码, 然后重新编译内核, 这样驱动就被添加到内核中; 另外一种是以模块的形式加载, 在需要的时候由系统管理员动态地加载, 也可以将已加载模块动态地卸载下来^[9].

4 系统测试

将四个锚节点分别放置在 $100 \times 50(m)$ 区域的四个顶角处, 在视距情况下, 将标签放置在区域内已知距离的不同位置上, 分别进行 10 次测试, 结合 LLOP-LS 算法, 计算出标签的位置, 根据 10 组数据绘出定位误差累积分布图, 如图 4 所示.

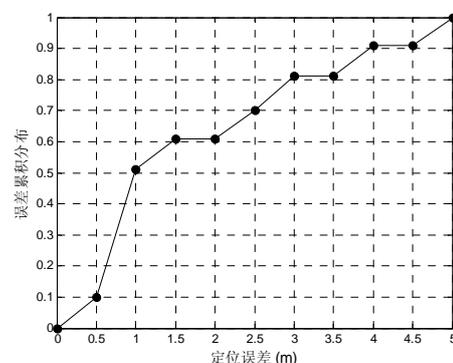


图 4 定位误差累积分布图

在图4中,定位误差为1m时,误差累积分布已达到0.5,意味着定位均方根误差在1m以内的点数达到了总实验点数的一半.而定位误差为5m时,误差累积分布为1.从以上数据可知,相对于定位点所处的区域大小,该系统定位精度较高,能较为准确的对标签进行定位,有比较理想的实用性.

5 结语

本系统在LOS情况下具有定位精度高、便携、系统可维护等优点,适合具有挑战性环境下的定位,若在NLOS传输情况下,由于信号直达路径被障碍物阻挡,延长了信号传播时间,导致定位结果偏离真实坐标点位置较大,定位精度会有所下降.因此,后续的研究中需不断地改进定位算法,提高NLOS情况下的定位精度,同时可将此系统构建成为一个具有精确定位和通信功能的自组织无线传感器网络,具有很大的应用背景和研究意义.

参考文献

- 1 Dulmage J, Cioffi R, Fitz MP, Cabric CD. Characterization of Distance Error with Received Signal Strength Ranging. IEEE Conference on Wireless Communications and Networking Conference. 2010. 1-6.
- 2 Wang S, Waadt A, Burnic A, Xu D, Kocks C, Bruck GH, Jung P. System Implementation Study on RSSI based Positioning in UWB Networks. IEEE Conference on 7th International Symposium on Wireless Communication Systems. 2010. 36-40.
- 3 余芳文,胡旭科.基于线性调频的 nanoLOC 新技术与应用研究.信息通信,2011,(2):4-6.
- 4 Nanotron P. nanoLOC TRX Transceiver. http://www.nanotron.com/EN/pdf/Factsheet_nanoLOC-NA5TR1.pdf.
- 5 Brugger M, Christ T, Kemeth F, Nagy S, Schaefer M, Pietrzyk MM. The FMCW Technology-Based Indoor Localization System. IEEE Conference on Ubiquitous Positioning Indoor Navigation and Location Based Service. 2010. 1-6.
- 6 王永虹,徐炜,郝立平.STM32 系列 ARM Cortex-M3 微控制器原理与实践.北京:北京航空航天大学出版社,2008.40-51.
- 7 Caffery J. A new approach to the geometry of TOA location. The 52nd IEEE Vehicular Technology Conference. 2000. 1943-1949.
- 8 朱宇,张鑫,李斌.基于嵌入式定位系统的研究.微电子学与计算机,2011,28(4):181-183.
- 9 钱晨,徐荣华,王钦若.基于 Linux 操作系统的设备驱动程序开发.微计算机信息,2004,20(9):131-133.
- 10 朱宇,张鑫,李斌.基于嵌入式定位系统的研究.微电子学与计算机,2011,28(4):181-183.
- 11 Hu M, Liu B. Mining Opining Features in Customer Reviews. 19th National Conf. on Artificial Intelligence (AAAI'04). 2004: 755-760.
- 12 Tong R. An Operational System for Detecting and Tracking Opinions in On-line Discussion. SIGIR Workshop on Operational Text Classification. 2001
- 13 Liu B. Web 数据挖掘.北京:清华大学出版社,2009.296-318.
- 14 赵卫东.商务智能.北京:清华大学出版社,2009.
- 15 纪系禹.数据挖掘技术应用实例.北京:机械工业出版社,2009.

(上接第13页)

- 8 Turney P. Thumbs Up or Thumbs Down Semantic Orientation Applied To Unsupervised Classification of Reviews. Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL'02). 2002: 417-424.
- 9 Kim S, Hovy E. Determining the Sentiment of Opinions. Int'l Conf. on Computational Linguistics(CONLING'04). 2004.
- 10 Riloff E, Wiebe J. Learning Extraction Patterns for Subjective Expressions. Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing(EMNLP'03). 2003.
- 11 Hu M, Liu B. Mining Opining Features in Customer