

ADSN 多传感器定位的古民居自动绘图体系^①

王雪飞, 石 瑛, 沈来信, 袁 琴

(黄山学院, 黄山 245021)

摘 要: 便携快捷的无损绘图是 ADSN(Ancient Dwellings Sensor Network)的重要功能. 通过 ADSN 携带定位传感器与节点通信 RSSI 功能, 完成对不同角色节点之间精确定位与测距, 形成距离可知的拓扑. RSSI 信号散度测距与红外传感器的点到点精度定位校正近距离 RSSI 精度, 与远程超声点对点精确测距形成远程 RSSI 校正, 通过测距拟合使得 RSSI 测距在 50 米范围达到 10CM 的精度. 通过部署功能性节点(ID)完成对民居的功能性区域采样, 形成对不同功能区域定位; 形成拓扑后, 使用标准功能图样库进行匹配与修正, 完成对古民居的实景绘图. 实际应用证明了方法的实用性.

关键词: ADSN; 测距; 定位传感器; 自动绘图; 节点 ID

ADSN Multi-Sensor for Positioning to Automatic Plotting System of the Ancient Dwellings

WANG Xue-Fei, SHI Ying, SHEN Lai-Xin, YUAN Qin

(Huangshan University, Huangshan 245021, China)

Abstract: Portable and efficient lossless drawing is an important function of the ADSN (Ancient Dwellings Sensor Network). Through the function of the ADSN localization sensor with node communication RSSI to complete the accurate positioning and ranging between the different roles to form a topology which distance can get to know. Using the RSSI signal divergence ranging and the point-to-point precision positioning of the infrared sensor to correct the RSSI's accuracy of the close range, and with remote ultrasonic point-to-point precision ranging to form a remote RSSI correction together, make the accuracy reach to 10cm in the range of 50 meters by the range fitting. deploy functional nodes (ID) to corresponding functional areas of residential sampling, define different functional areas; the topology formation, using the standard functions pattern library to matching, complete the real drawing of the ancient dwellings. The practical application proven the usefulness of this method.

Key words: ADSN; distance measurement; localization sensor; automatic plotting; node ID

1 概述

ADSN(Ancient Dwellings Sensor Network, ADSN) 是利用 WSN 技术理论形成的古民居探测与传感网络应用, 是对 802.15.4B 网络协议的一个扩展. 无损探测与监控古民居是 ADSN 的主要技术应用. 古民居是指具有 100 年以上建造历史存在珍贵价值的建筑, 有损探测是不允许的, 但民居的地形、位置、形状以及环境探测是保护民居的重要内容. 无损而快速的探测是古民居数据保护的必备条件.

WSN 测距通常应用到包括 TOA^[1], TDOA^[2], AOA^[3], RSSI^[4]等算法中, 形成节点与网络定位; 定位可分为传感器定位与传统节点的定位. 利用节点的无线通信功能定位, 包括节点的通信电磁强度检测基础上的 RSSI 定位, 由于通信信道与环境因素相关, 定位的精度受环境影响大; 而通过到达节点时间差(Time Difference Of Arrival, TDOA)^[2]、到达角度(Angle Of Arrival, AOA)^[3]、视线可达(Line Of Sight, LOS)^[5]等方法为基础形成的测距完成定位, 具有计算量大问题, 但

^① 基金项目:国家文物局文化遗产保护领域科学和技术研究资助项目(2013-YB-HT-015)

收稿时间: 2014-11-12;收到修改稿时间:2014-12-25

减轻了环境的信道影响、提高了测距精度;而采用第三方辅助的定位,有定位信标节点与GPS^[6]等定位,同样存在精度不高,且强化了WSN的能量消耗.从精度角度,上述三类的定位最高精度分别为1m^[7]、5m^[8]级,但受环境影响产生的误差变化较大.采用定位传感器的高精度定位,有超声传感定位、红外定位、激光定位、机械定位与成像定位,在指定区域内精度均达到10cm级^[9],在考虑到能耗与环境因素,超声与激光、红外测距定位应用相对成熟,结合TDOA可以提高测量精度.

若距离节点A实际距离x米处的RSSI(LQI)是可知的^[10],则

$$RSSI(dBm)=K-10*nlgx$$

式中K为节点1米处的信号强度(dBm),n为传播因子,与环境尺度相关.其中的典型拟合公式为:

$$RSSI(dBm)=-46.0-3.0*nlgx$$

指出距离为45m时精度为3m以内,近距离精度可达1.5m.

实验采用lqi(link quality indicator)替代RSSI,提高精度.二者关系如下:

$$lqi=2.8*RSSI+0.89$$

或采用RSSI芯片中读取值,转换为

$$lqi=3*RSSI+305$$

继续的研究^[11]与芯片的发展,精度达到了1m范围,但对于室内测距精度是不够的.传感器辅助定位利用近距的红处可视测距精度高(10mm级)^[12],在5米范围内形成的节点RSSI测距参数,由红外测距进行校正,提高WSN节点的近距离测距定位精度,从而形成在20米视距内的10cm精度测距.另一方面对较长距离如50米级的测距,采用RSSI与超声测距相结合的方式^[13],利用超声测距的10cm级精度,校正远距离的RSSI信号散度质量,进行线性校正,使得RSSI测距可达60米以上.

自动绘图系统应用较成熟^[14,15].所形成的多点连续测试绘图,属于测距辅助绘图,人工参与度较高.自动绘图由自动测距、自动邻居(图)发现、功能节点(图)所定义形成的线、面、体形成平面绘图到多体实景绘图.由WSN形成物理测距与节点之间的逻辑拓扑,形成完整的古民居参数矩阵;通过对古民居的功能单元结构图库,查找到与功能节点(人工标识放置与参数识别)相应单元图,构造古民居的建筑与环境结构图.

2 ADSN测距体系

ADSN是古民居探测网络的简称,用于采集古民居与历史建筑的完整数据,是在WSN基础上形成的探测网络,强调了节点精确的定位与角色分配.由于古民居的功能明确,由卧室(厢房)、厅堂、厨房、储藏、院落、生产等功能组成,对这些功能建筑体与特定功能位置(水源、卫生设施、饲养)图库建设,在功能-图像库基础上,利用测距定位完成本应功能图(大小与类型)选择,形成绘图所需的数据.

2.1 测距x值的获取

ADSN选择简化的GEAR(Geographical and Energy Aware Routing)^[16]与GEM(Graph Embedding)路由^[17],主要是完成远程(多跳)数据可达(GEAR)与功能(测量)数据采集区的建立(GEM),并在目的地完成网络部署.节点使用基于RSSI的测距校正算法,形成1米到70米的10cm级精度测距.测距值x伪算法如下:

- (1) 红外测距值边界值x1(具体传感器参数定),超声测距边界值x2(同上);
- (2) 节点配对完成(传感器);
- (3) 获配对节点当前RSSI值rsi,获得节点当前公式距离xi;
- (4) 获配对节点传感器红外距离zj或超声距离yj;
- (5) 求 $\lambda z = zj/rsi$, $\lambda y = yj/rsi$;
- (6) 取 $\lambda = (\lambda z + \lambda y)/2$;
- (7) 当所得距离xi在[x1, x2]内时;
- (8) 取测距值 $x = rsi * \lambda$;
- (9) 否则 $x = zj$ 或 $x = yj$;
- (10) 发送到sink或数据中心.

实验取10次连续测距值形成点组(x_{amx} , x' , x_{min}),其中 x_{amx} 的为最大的测距值, x_{min} 为最小测距值, x' 为测试相同(在规定差值内)次数最多测距平均值.其中 x' 为点组代表值参与计算, (x_{amx} , x_{min})组为计算中的可允许范围,并在形成绘图过程中,适应边角(线间)、同一点(重合点)、面角(面间角)等规则的定位计算.

2.2 测距绘图协议

节点的测量角色功能由测距节点与物理参数节点的传感器携带类型决定.节点带有一个标识集合,完成节点的功能标识(12类)、传感器类型(27类)与绘图类型(五类)组成.节点功能标识由网络功能节点与部署功能节点组成,ADSN网络符合WSN协议,同时具有精确定位与功能定位;如表1所示.

表 1 功能节点标识表

序号	功能标识符 (16 进制)	功能	说明
1	0	ADSN 白节点	未初始化节点
2	1	成员节点	路由通信节点
3	10	根节点	锚通信节点, 有定位锚
4	11	簇头节点	功能节点无传感功能
5	100	远测距节点	RSSI、超声测距配对 ID
6	101	邻近测距节点	RSSI、超声测距配对 ID
7	110	锚节点	同 10
8	111	测距网络簇头	测距数据原点(锚)
9	1001	通用传感器节点	RSSI、物理传感器
10	1100	房间功能标识节点	RSSI、物理传感器、标识 ID
11	1101	特殊节点	网关与现场数据采集节点
12	1111	民居外环境节点、配对节点	RSSI、物理传感器、配对 ID

表 2 五类绘图标识符

代码	类别	参数与需求	说明
0	边界线	100 类节点形成	线段类
10	隔离线	101-100 或 101 类节点形成	功能边界
100	逻辑线	由拓扑算法形成的线	RSSI 与逻辑节点形成的拓扑
110	补充或修改线	110 或 1111 节点与 11X 形成	辅助线或修正线
111	特殊边或辅助线	110 与 1111 节点形成	遗址或其它线(巷、水渠等)

2.3 ADSN 绘图步骤

绘图由二个步骤完成探测, 前一阶段完成以确定点测距为目标的, 建筑与民居布局、结构拓扑绘制, 形成精确的绘图数据采集; 后一阶段在 ADSN 在线状态下, 完成功能自动绘图(表 2). 主要过程逻辑如下:

[面角点确定]

; i 节点点组 $node_i(x_{amx}, x', x_{min})$

; 开始节点 $i=0$, 并形成 $hash_{house}$ 表(i, 点组值), 完成最大节点确定

; 形成通信网络(路由)坐标, 确定以 x' 为代表的民居功能拓扑

; 在点组中, 依据网络拓扑形成重合点计算(相交的边的端点坐标组选择点组坐标)

; 在点组中, 依据网络拓扑形成角边计算(至少二个端点组坐标符合)

; 在点组中, 依据网络拓扑形成面边计算(至少二

个层(第三坐标, 高度), 坐标符合)

; 将点组中的用确定值代替 x'

; 替换所有节点位置, 结束

[定位数据采集]

; 连续 10 次

; 人工确定锚节点(110 类)与 100 类节点部署

; 确定房间功能 1100 类标识(携带功能 ID)的 101 类节点

; 启动邻居节点与配对节点算法, 形成线段

; 通信拓扑由 RSSI 形成

; 选择簇头或网关

; 判断拓扑与配对节点线段, 若完全对应则下一步, 否则重复上述过程

; 收集测距与相关 ID、功能 ID 数据

[自动绘图]

; 在上述坐标系中, 引入 $hash_{house}$

; 利用识别后的点组、角边组、面边组形成绘图线段类型, 并标出线段 ID

; 确定锚(民居中的实际位置, 如门口)节点在坐标(图)中位置

; 绘制边界线, 确认封闭(矩形)

; 读功能标识, 形成功能区域与门、窗、天井位置

; 绘制隔离线, 形成楼层、多间(门)位置

; 绘制其它线, 形成楼梯或临时定义功能位置

; 修正线默认线间角度为 90 度

; 修正 $hash_{house}$

; 启动绘图引擎, 显示

3 ADSN 报文结构

802.15.4 协议的帧报文结构如表 3. 其中净荷为数据所在. ADSN 的净荷部分由三个部分组成: 功能节点类型(4bit)、传感器类型(5bit)与绘图类型(3bit), 并对节点状态类型{固定节点 00、移动节点 01、其它节点 11}, 计 2bit. 共计 14bit, 占 2 字节(16bit).

表 3 802.15.4 数据帧与 ADSN 帧定义

802.15.4	2	1	0-20	变量(净荷)						2
	帧控制	序列号	地址信息	功能	绘图	传感器	状态	传感值	帧校验	
ADSN				4bit	3bit	0	5bit	2bit	0	净荷

其中的 ADSN 报文数据在 WSN 的数据报区域, 包括节点功能角色、传感器类型、绘图节点以及节点的状态(移动节点与固定节点)字节. 数据长度 2 字节, 用于传送传感器数据, 如 zigbee 节点的数据帧长 47 字节, ADSN 中占 20 字节用于传送传感测距参数. 主要步骤:

- (1) 部署节点, 形成正确的节点角色在确定的位置上;
- (2) 启动节点测距值 x 收集;
- (3) 每节点形成一个数据{本节点测量代码集合(功能代码,测距代码,绘图代码), 组(本节点地址 ID, 配对节点地址, RSSI 值);
- (4) 形成网络拓扑与线段值(距离);
- (5) 启动传感测距, 每节点返回数据{本节点测量代码集合(功能代码,测距代码,绘图代码), 组(本节点地址 ID, 配对节点地址, 超声距离)};
- (6) 获取校正后 x 值;
- (7) 完成绘图拓扑并形成线段值(距离).

4 徽州古民居的绘制算法

4.1 绘制软件的结构

绘制软件由三个部分组成: 绘图模块、绘图数据采集模块、图库管理模块. 绘图模块完成绘图采集模块提交的绘图框架数据, 并通过功能节点的标号与线段提取图库中的匹配图, 在确定的功能位置完成绘图, 绘图完成后由人工确定图纸的正确性或直接保存. 结构如图 1 所示.

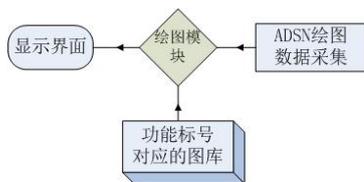


图 1 自动绘图软件框架结构图

功能标号节点是由部署或通过识别完成的功能房间标定位置代表, 而在徽州古民居中, 功能性的房间由 11 类 57 种房型组成, 通过对不同的类型(功能)确定, 与功能房间的测距线段判断, 形成功能房间的大小, 以快速完成对古民居的建筑或布局绘制. 古民居中徽州功能性房间的 11 类如表 4 所示.

表 4 11 类室内民居功能 1100 标号 ID 房间构件简介

序号	标号 ID	房间功能	说明	典型矩形(m)
1	0001	厢房(卧室)		5 种

2	0010	客用厢房(卧室)		3 种
3	0101	无天井厅堂		5 种
4	0110	有天井厅堂		11 种
5	0111	楼梯		4 种
6	1001	储藏式厨房	储藏食物与柴草含饲养	5 种
7	1010	厨房	储藏食物与食料加工	5 种
8	1100	门		8 种
9	1101	窗		3 种
10	0100	楼层高		3 种
11	1111	进数	古民居分几进	5 种

4.2 实际民居绘制过程

节点与传感器选择英国 Jennic 公司推出的高性能、低功耗的一系列无线 SoC 模块 Jennic5139 节点. 配套超声 HC-SRF05 与红外测距传感器 GP2D12 对. 所有套件分为发射头与接收头(自制, 增加发送脉冲功率), 同步时钟由传感器电磁同步时钟控制, 以确定测距信号的开始与接收时间, 做为实验, 对测距红外与超声信号进行简单编程(连续发送)101(间隙周期发送), 开始与结束时间由测距配对节点时间戳完成. 主要用于精度控制与误差限制, 增加 lqi(RSSI)形成的测距精确性. 参数如下表 5 所示:

表 5 JN5139-Z01-M01R1 参数应用简表

名称	参数
Receiver sensitivity	-96.5dBm
TX power	+2.5dBm
TX current	37mA
RX current	37mA
Ultrasonic range	≅ 6m
Infrared range	≅ 1m
Sleep current	2.8uA
VDD power	3V
Connector	SMA connector

位于五城镇 80 与 82 号的二栋民居, 规模较大, 有 300 多年历史. 民居内有民居生活, 常规测量基本上不可行. 部署均有测距功能无线节点 18 个(配对 4 套, 功能标识节点 8, 其它节点 2 只), 配对节点完成点对点测距, 功能节点完成构件标识, 其它节点为一只簇头节点, 用于完成数据拓扑锚点与远程数据收集, 另一只节点用于形成矩形功能间对角线, 用以提高民居的绘图数据精度. 部署如图 2 所示, 测绘结果如图 3.

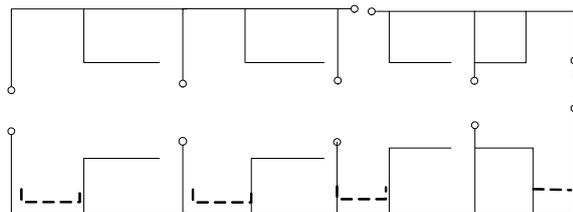


图 2 休宁五城老街 82 号民居建筑平面测绘节点部署示意图

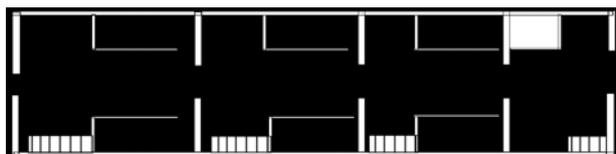


图 3 自动绘图与简单功能件完成的民居平面图

5 结论

通过引入无线节点的 RSSI(lqi)测距定位与传感器定位相结合,形成了 10cm 级的建筑构件定位,并形成了 ADSN 的定位数据结构与协议体系,高精度定位形成的坐标系与自动绘图形成完整体系,通过对节点定位报文,形成以测距为基本单元的定位点组,并通过后期的数据库与 hash 处理,完成最终的坐标系精确定位,为图形建筑功能单元的放置提供了基础,也同时形成了对民居的功能区域绘制.建立具有 ADSN 标准的 RSSI 计算与距离探测模型,提高测距精度到 cm 级,是可期待的.

参考文献

- 1 Guvenc I, Chong C. A survey on TOA based wireless localization and NLOS mitigation techniques. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2009, 11(3): 107–123.
- 2 姚光乐.基于无线网络的定位系统的设计与实现[硕士学位论文].成都:成都理工大学,2009.
- 3 Sichitiu M, Ramadurai V. Localization of wireless sensor networks with a mobile beacon. *Proc. of Mobile Ad-hoc and Sensor Systems*. 2004. 174–183.
- 4 Girod L, Bychovski V, Elson J, Estrin D. Locating tiny sensors in time and space: A case study. In: Werner B, ed. *Proc. of the 2002 IEEE Int'l Conf. on Computer Design, VLSI in Computers and Processors*. Freiburg. IEEE Computer Society. 2002. 214–219.
- 5 王福豹,史龙,任丰原.无线传感器网络中的自身定位系统和算法. *软件学报*, 2005, 16(5): 857–868.
- 6 刘小慧. GPS 系统概述及其定位原理. *科技资讯*, 2006, 6: 11.
- 7 史翔禄,汪洋.基于 WSN 的目标定位系统设计与优化[硕士学位论文].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012.
- 8 胡心怡.基于 RSSI 的 WSN 定位算法优化及定位系统的实现[硕士学位论文].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012.
- 9 Priyantha NB. *The Cricket Indoor Location System*[PhD Thesis]. Massachusetts Institute of Technology, 2005.
- 10 方震,赵湛,郭鹏,等.基于 RSSI 测距分析. *传感技术学报*, 2007, 11: 2526–2530.
- 11 张洁颖,孙樊衍,王侠.基于 rssi 与 lqi 的动态距离估计算法. *电子测量技术*, 2007, 2: 142–145.
- 12 Rubenstein M, Payne K, Will P, et al. Docking among independent and autonomous CONRO self-reconfigurable robots. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*. New Orleans. 2004.
- 13 Priyantha NB, Chakraborty A, Balakrishnan H. The cricket location-support system. *MobiCom '00 Proc. of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*. 2000. 32–43.
- 14 冯仲科,陈于恒.巷道大断面实时自动测绘系统的建立与应用. *矿山测量*, 1996, 4: 16–18.
- 15 Huang RY. *Dynamic interface simulation for construction operations*. Dept. of Civ. Envir. Engrg, Purdue University, West Lafayette, Ind. 1998. 32–41.
- 16 Yu Y, Govindan R, Estrin D. Geographical and energy aware routing: A recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks. *UCLA Computer Science Department*. 2001. 1–23.
- 17 Newsome J, Song D. graph embedding for routing and data-centric storage in sensor networks without geographic information. *Proc. of the 1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*. SenSys 2003. Los Angeles, California, USA. November 5–7, 2003.