

基于线性加权的蓝牙室内定位算法^①

韩旭海, 夏文龙, 周渊平

(四川大学 电子信息学院, 成都 610064)

摘要: 随着蓝牙设备的普及以及蓝牙 4.0 标准规范的应用推广, 使得依据蓝牙设备的室内定位技术发展迅速. 针对室内定位服务的社会需求, 搭建了利用线性加权算法实现室内移动蓝牙设备的实时定位系统. 该系统把线性加权算法与蓝牙设备结合在一起, 通过对蓝牙无线链路通信的信号强度, 链路质量值, 传输功率级等参数的加权运算处理, 实现对移动设备的算法定位. 仿真过程中该算法的平均定位误差在 1.5m 以下, 满足一定精度要求.

关键词: 蓝牙 4.0 标准规范; 室内定位; 线性加权算法; 实时性

Bluetooth Indoor Positioning Based on Linear Weighted

HAN Xu-Hai, XIA Wen-Long, ZHOU Yuan-Ping

(School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

Abstract: With the popularity of Bluetooth devices and the promotion of Bluetooth Specification Version 4.0, the indoor location technology based on the Bluetooth devices develops rapidly. Aiming at the huge demands of the indoor location service, a precise Bluetooth positioning system with a linear-weighted algorithm is presented. The system combines Bluetooth devices with linear-weighted algorithm. It locates the mobile devices through weighting the value of the received signal strength indicator, the link quality, and the transmit power level of the Bluetooth wireless communication link. The simulation results show that the average of location error in this algorithm is less than 1.5m, which meets certain accuracy requirements.

Key words: bluetooth specification version 4.0; indoor location; linear-weighted algorithm; real-time

近些年来随着经济的快速发展, 大中型城市的大型建筑和地下商场街道建设的越来越多, 然而由于 GPS 定位只能在室外能接收到卫星信号的位置使用, 这就使得对室内定位技术的需求越来越迫切, 并且产生了广阔的应用前景. 当前室内定位系统采用的主要有射频识别, 超声波, ZigBee, 视频, 超宽带, NFC, WIFI 等技术. 关于室内定位的算法主要分为基于测距和非测距两大类. 其中基于测距的主要有 TOA(Time of Arrive)、AOA(Angle of Arrive)、TDOA(Time Difference of Arrive)等方法. 基于非测距类的主要就是利用信号强度 RSSI(Received Signal Strength Indicator)的定位算法. 然而由于室内环境十分复杂导致的严重的信号多径传播, 以及在近距离状态下参考

时钟的不精确性导致距离误差过大等因素, 使得测距类的方法 TOA, TDOA 等方法在室内定位中基本无法使用. 而基于 RSSI 的定位技术则具有检测设备成本低, 测量信号稳定性好, 定位方法简单的好处, 所以现在的主流室内定位技术都是基于 RSSI 的一些定位算法^[1].

蓝牙作为一种短距离的无线通信技术, 发展成熟, 价格便宜, 性价比高, 并且已经成为移动设备上的标配. 蓝牙 4.0 标准工作在 2.4GHZ ISM 频段, 并能够通过自适应调频技术避免与其他同频段信号发生串扰, 具有超低功耗, 3ms 低延迟, 超过 100m 的通信距离等优点. 同时蓝牙 4.0 标准规范提供了一些与位置相关的参数, 接收信号强度指标值(received signal strength), 和链路质量值(link quality, LQ)以及传输功率级(Transmit

① 收稿时间:2014-04-21;收到修改稿时间:2014-05-14

Power Level, TPL). 而这些数值都可以通过调用函数来获取^[2]. RSSI 值和距离之间存在着一定的类似于对数的对应关系, 距离不同, RSSI 值就不同. LQ 值的范围在 0 到 255 之间, LQ 值越大, 表示信道质量也就越好^[3].

因此, 基于蓝牙的 RSSI 技术可以在现有的移动设备上通过获取固定的 AP 节点的蓝牙参数值, 以纯软件的方式对这些参数值进行算法处理从而实现室内定位, 而不需再单独设计硬件设备, 相比其他定位技术具有很大的优势和便捷性.

1 系统组成

系统主要由五部分组成, 其模型如图 1 所示.

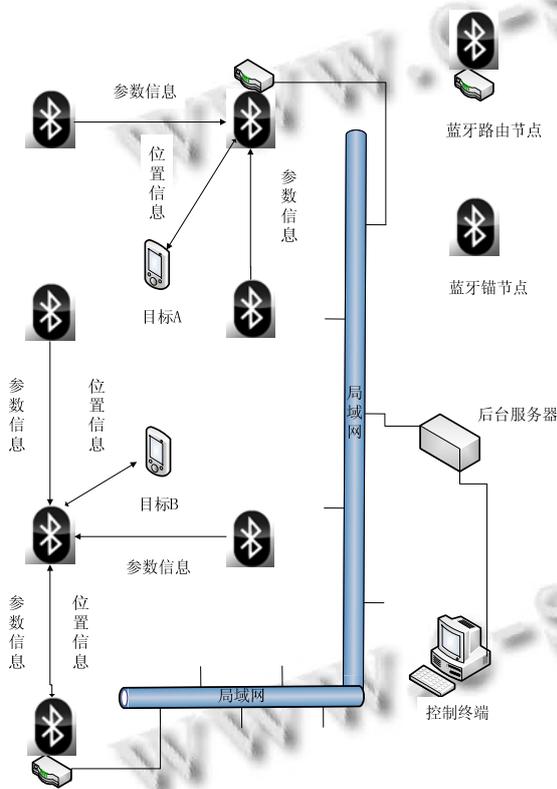


图 1 室内定位系统模型

① 被定位移动设备: 被定位的移动设备如手机或者平板电脑需要打开蓝牙设备, 并将蓝牙设置为可被搜索到. 使用者可以自由定义蓝牙设备的名称, 最后能在定位程序界面上显示出来. 移动设备要接收蓝牙节点发回的定位信息并在定位程序中以坐标形式显示在坐标图中, 或者以定位点形式显示在地图画面中.

② 蓝牙锚节点: 该类节点的主要作用就是检测出周围的蓝牙移动设备, 并且获取设备的 RSSI, LQ, 以及传输功率级(TPL), 并将这些参数值通过蓝牙路由节点发送给后台数据服务器, 最后把服务器处理后的定位信息通过一对多连接发送回移动设备.

③ 蓝牙路由节点: 该类节点功能是管理蓝牙自组织网络, 并作为蓝牙网络与局域网之间的网关, 建立蓝牙网络与局域网通信的桥梁. 蓝牙路由节点也能够通过一对多连接将定位信息发送给移动设备.

④ 数据服务器: 接收各个锚节点获取的关于移动设备的蓝牙参数的数据包, 采用线性加权的算法对参数进行处理, 从而计算出移动设备的坐标位置, 并将定位结果通过蓝牙网络发送给被定位设备的客户端程序.

⑤ 后台控制端: 通过局域网控制各个蓝牙节点设备的开启与关闭, 并控制数据服务器的定位算法的加权调整, 使得定位信息误差最小.

2 蓝牙参数获取

蓝牙锚节点在系统开启后, 各个节点均建立一个线程, 对周围可以检测到的蓝牙设备进行固定时间的扫描轮询. 当第 k 个节点扫描到目标设备时, 该节点停止扫描, 并建立一对多连接, 分别获取该节点所能检测到的所有目标节点参数信息以及所有参考锚节点的参数信息. 其中有目标定位设备参数

$$A_{k,0}(x_{k,0}, y_{k,0}, z_{k,0}) = A_{k,0}(RSSI, LQ, TPL)$$

$$B_{k,0}(x_{k,0}, y_{k,0}, z_{k,0}) = B_{k,0}(RSSI, LQ, TPL)$$

以及获取的对第 i 个蓝牙参考锚节点的参数

$$C_{k,i}(x_{k,i}, y_{k,i}, z_{k,i}) = C_{k,i}(RSSI, LQ, TPL)$$

其中 $1 \leq k \leq R$ (R 为蓝牙节点总数), $1 \leq i \leq R$. 具体流程如图 2 所示. 如果没有发现目标节点, 则继续扫描轮询.

3 关键算法

为了减少 RSSI 值过低带来的误差, 计算时先要设定一个合理阈值组 $T(x_l, y_l, z_l)$, (l 为传输功率等级数), 按照一定的条件对参数进行判断, 对于不满足阈值组条件的数据剔除, 剩余的都是距离目标移动设备较近的蓝牙节点采集到的数据.

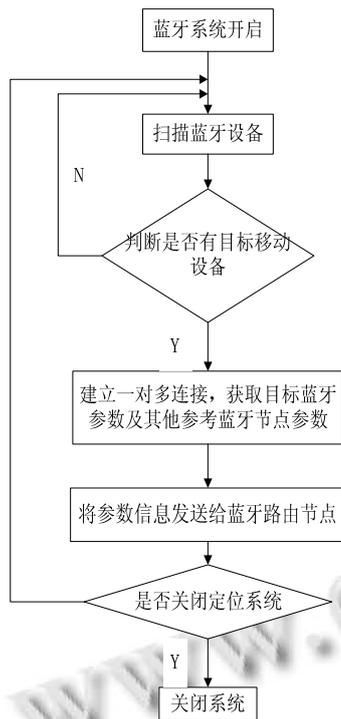


图 2 扫描程序流程图

由距离与功率的关系模型可知，描述接收信号功率与距离之间关系最典型的方法就是根据接收信号功率 P_r 与发送器和接收器之间距离的某个特殊的 δ 次幂成比例关系，称之为距离功率斜率公式，即 $P_r = P_0 d^{-\delta}$ ，用分贝形式可表示为

$$10\lg(P_r) = 10\lg(P_0) - 10\delta\lg(d)$$

因此在离线训练阶段对于各个蓝牙节点，需获取在其单位距离 ($d = 1m$) 时的信号强度 RSSI 集合

$$R = \{T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, \dots, T_k\}$$

另外根据蓝牙通信协议，可知对于任一蓝牙设备，其只有三个固定的传输功率级，分别为 LV1(20dBm) LV2(4dBm) LV3(0dBm)，在忽略误差的情况下，任一移动设备在其单位距离处所对应的信号强度 RSSI 为集合 $P = \{p_1, p_2, p_3\}$ 中的某一值，其中 p_1, p_2, p_3 分别对应不同传输功率级，在定位过程中用 p 表示。

在在线定位阶段，对于第 i 个与移动设备有关的蓝牙锚节点可以由(1)式

$$\begin{bmatrix} x_{1,i} \\ x_{2,i} \\ \vdots \\ x_{k,i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_i \\ T_i \\ \vdots \\ T_i \end{bmatrix} - 10 \begin{bmatrix} \delta_{1,i} \lg(d_{1,i}) \\ \delta_{2,i} \lg(d_{2,i}) \\ \vdots \\ \delta_{k,i} \lg(d_{k,i}) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\text{得到 } k \text{ 维向量 } S = \begin{bmatrix} \delta_{1,i} \\ \delta_{2,i} \\ \vdots \\ \delta_{k,i} \end{bmatrix}$$

其中 $d_{k,i}$ 为第 k 个和第 i 个蓝牙节点之间的已知距离，根据 $d_{k,i}$ 的大小设定一个由不同权重值组成的一个向量，其中 $d_{k,i}$ 越小，表明两节点距离越近， $\delta_{k,i}$ 越接近于 δ_i 的准确值，故使其权重越大，然后由向量 S^T 与权重向量相乘，

$$\delta_i = \begin{bmatrix} \delta_{1,i} \\ \delta_{1,i} \\ \vdots \\ \delta_{k,i} \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} q_{1,i} \\ q_{2,i} \\ \vdots \\ q_{k,i} \end{bmatrix} \quad (\sum_1^k q_{l,i} = 1) \quad (2)$$

从而得到 δ_i 值。

由此得到移动设备周围所有相关蓝牙节点的 δ_i 值，由于该值只与信道环境有关，所以可以由蓝牙节点的 δ_i 值通过线性加权预测出移动设备的 $\hat{\delta}$ 值。对于移动设备 A，根据不同蓝牙节点接收到的链路质量值 $y_{k,0}$ 大小设定不同的权值，其中 $y_{k,0}$ 值越高，代表该节点与移动设备距离越近，其 $\hat{\delta}$ 值越接近，故其权值越大。由(3)式得出移动设备的 $\hat{\delta}$ 值。

$$\hat{\delta} = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \vdots \\ \delta_i \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_i \end{bmatrix} \quad (\sum_1^i q_n = 1) \quad (3)$$

由(4)式可以得出各个蓝牙节点与移动设备之间的距离。

$$\begin{bmatrix} x_{1,0} \\ x_{2,0} \\ \vdots \\ x_{k,0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p \\ p \\ \vdots \\ p \end{bmatrix} - 10\hat{\delta} \begin{bmatrix} d_{1,0} \\ d_{2,0} \\ \vdots \\ d_{k,0} \end{bmatrix} \quad (4)$$

由此对于各个蓝牙节点，以 $d_{m,0}$ ($1 \leq m \leq k$) 为半径的圆的交点，即为算法定位出来的移动设备可能位置，

根据几何算法得出这些均匀可能点的质心,作为最终定位位置^[4]。

4 实验仿真

本文的仿真主要以验证算法为主,算法的有效性和合理性作为验证的重点。在 MATLAB7.0 验证平台上,假定定位区域面积为 $10\text{m} \times 5\text{m}$,仿真实验地图如图3所示。定位区域中共部署6个蓝牙节点,其中两个为路由节点。相邻的蓝牙节点之间距离为 5m ,形成两个 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 的正方形区域,从这6个节点获取到36组 (RSSI, LQ, TPL) 数据信息,将其代入算法,调整加权权值,得到不同的定位位置。

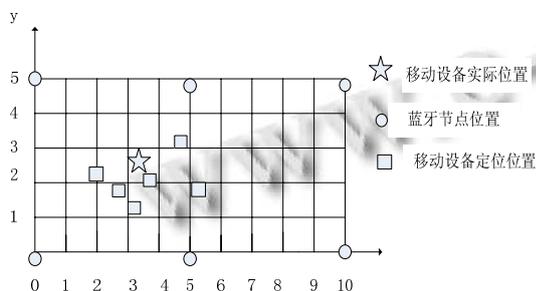


图3 仿真坐标图

根据仿真坐标图可以看出,在不同权值情况下,定位的位置在实际位置附近漂移,具有一定的定位误差,其中最大误差在 2.5m ,最小误差在 0.8m 。根据实际定位应用需要,在精度平均误差要求为 1.5m 的环境中,该算法系统已经满足需求。在蓝牙4.0的标准规范中, 3ms 的瞬时连接速度也为实时定位提供了必要的

时效前提。因此,蓝牙4.0标准下的线性加权蓝牙室内定位算法在理论中是可用的。

5 结语

基于蓝牙4.0标准规范,本文提出了一种满足精度要求,资源占用率低的蓝牙室内定位算法,该算法主要依靠 RSSI, LQ, TPL 值作为参数,对移动设备进行室内定位。本研究在 MATLAB7.0 仿真平台上验证了算法的有效性和合理性。

蓝牙室内定位可以校园管理,停车场停车服务,大型楼宇及商场内部人员定位导航提供良好的应用。在矿井安全方面,室内定位系统也可以帮助安全监管部门定位矿工的井下位置,能够更好的进行安全指引并且在矿难发生时及时定位矿工位置,为矿下救援提供节约宝贵的时间^[5]。

参考文献

- 1 万群.室内定位理论、方法与应用.北京:电子工业出版社,2012.
- 2 李娟娟,张金艺.蓝牙4.0标准规范下的模糊指纹定位算法.上海大学学报,2013,19(2).
- 3 江德祥,胡明清,陈益强,刘军发,周经野.基于核岭回归的自适应蓝牙定位方法.计算机应用研究,2010,(9): 3487-3489.
- 4 石晓伟,张会清.基于BP神经网络和改进质心算法的室内无线定位技术的研究[学位论文].北京:北京工业大学,2012.
- 5 张浩,赵千川.蓝牙手机室内定位系统.计算机应用,2011,(11).