

引文格式: 张倬胜,马方方,薛静远,等.基于iBeacon的精细室内定位方法研究[J].地理信息世界,2015,22(2):26-30.

# 基于iBeacon的精细室内定位方法研究

张倬胜, 马方方, 薛静远, 艾浩军

(武汉大学 计算机学院, 湖北 武汉 430072)

## 基金项目:

国家科技支撑计划  
(2012BAH35B03)资助

## 作者简介:

张倬胜(1995-),男,湖南永州人,大学本科生,物联网工程专业。

## E-mail:

zhangzhuosheng@whu.edu.cn

收稿日期: 2015-03-10

**【摘要】**苹果公司发布的iBeacon作为一种粗精度位置感知服务体系,得到了广泛关注。针对更精细的广域位置服务,提出了基于iBeacon的无线指纹定位方法,并给出了图书馆的位置服务示例。

**【关键词】**iBeacon; 近邻算法; 射频指纹定位; 智慧图书馆

**【中图分类号】**P208

**【文献标识码】**A

**【文章编号】**1672-1586(2015)02-0026-05

## Research on Elaborate Indoor Positioning Method Based on iBeacon Firmware

ZHANG Zhuosheng, MA Fangfang, XUE Jingyuan, AI Haojun  
(Computer School, Wuhan University, Wuhan 420072)

**Abstract:** Apple released iBeacon as a rough-precision position sensing distance service system, it has attracted extensive attention. For more sophisticated wide-area location services, wireless fingerprinting positioning method is proposed based on iBeacon, and an example of location based service system of library is given.

**Key words:** iBeacon; nearest neighborhood algorithm; RF fingerprinting location; intelligent library

## 0 引言

据统计,城市人群80%的活动时间和空间是在室内,我国目前通过移动互联网的位置服务日均请求已经超过100亿次<sup>[1]</sup>。移动互联网、物联网以及智慧城市的发展迫切要求位置服务由室外走向室内,商场、餐厅、宾馆、机场、地铁、车库、展馆、医院、导游等应用市场广阔,室内位置服务已成为移动互联网应用创新的主要方向。

目前,室内定位技术已经有了很多发展,出现了多种多样的解决方案<sup>[2]</sup>,例如WiFi定位、低功耗蓝牙定位、惯性传感器辅助定位、蜂窝网无线定位、RFID定位等等。

苹果公司在2013年9月发布的iBeacon技术用于室内定位具有部署容易,功耗低、成本低,相对于其他室内定位技术具有一定的优势。然而iBeacon信号覆盖范围较小的缺点限制了其应用。

iBeacon采用的通信协议为蓝牙低功耗(BLE)版本,大多数蓝牙4.0版的设备都支持蓝牙LE版。在日常生活中以商店为例,iBeacon可以用来确定客户的位置,通过与后台系统合作,提供位置感知、上下文感知等服务。iBeacon通过蓝牙LE接近感知(Proximity

Sensing)技术,传送统一编码的唯一ID(UUID),智能终端上的APP根据抓取的UUID和RSSI信息,可以将其转化为物理位置,从而触发位置感知应用。

iBeacon的通信频率使用的是开放公众使用的2.4GHz频段,其典型应用场景是公共服务场所的位置服务,利用射频信号的衰减特性,将离基站的距离由近及远划分为三个区域:贴近( $d < 50\text{ cm}$ )、附近( $50\text{ cm} < d < 2\text{ m}$ )、较远( $2\text{ m} < d < 30\text{ m}$ ),如图1所示。

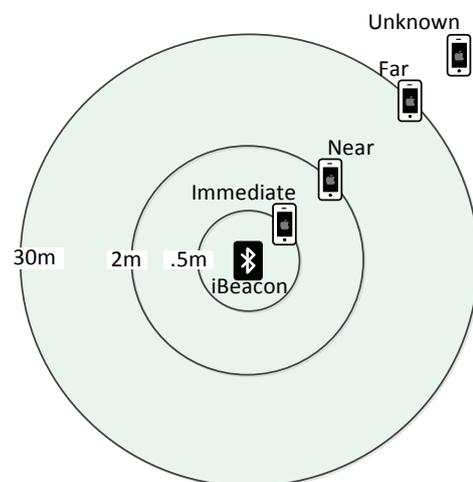


图1 iBeacon基站的覆盖距离划分

Fig.1 The covering range of iBeacon station

由于iBeacon采用了蓝牙一样的无线技术标准,文

献提出<sup>[3]</sup>的蓝牙定位方法可以用于更精细的位置感知。与传感器定位一样,由于iBeacon基站的位置信息已知,常用三角定位算法来计算位置。如果参考基站较多,可以利用最小二乘的方法,降低定位误差。然而,因为2.4GHz射频信号在室内空中传播特性,三角定位误差较大。

目前,许多学者提出基于Wi-Fi指纹的定位方法<sup>[4]</sup>,以此为基础,可以实现精细的室内定位。本文首先分析了iBeacon技术细节,然后提出了基于iBeacon的精细定位算法,并给出了测试结果。最后,基于此方法,提出了图书馆位置服务解决方案。

## 1 iBeacon指纹精细室内定位

### 1.1 iBeacon指纹定位过程

iBeacon指纹定位过程分为离线采样与动态定位两个阶段。离线采样阶段中采集的RSSI数据需要通过一定的准则和方式生成位置指纹以构建指纹数据库,并将指纹数据库导入智能手机。在动态定位阶段,智能手机实时采集各个iBeacon基站的RSSI指纹信息,与位置指纹数据库进行匹配,实现定位。

#### 1.1.1 离线采样阶段

1) 设定采集时间间隔和每次采集数据的持续时间,并写入XML文档缓存中;

2) 从手机获取当前的时间和手机所朝的方向,并写入XML文档缓存中;

3) 周期性扫描得到的所有iBeacon信息(包括UUID, Major, Minor和RSSI等)写入XML文档缓存区。

#### 1.1.2 在线定位阶段

将离线采样阶段的所有XML文件构建为一个树形数据结构,接着提取出所有名为“iBeacon”标签下的数据,建立一个矩阵,并将每个ID号对应的RSSI值填入矩阵中对应的位置,计算矩阵每一行的均值,即每个iBeacon的所有RSSI的均值,最后将得到的所有均值、location标签值和orientation标签值存到XML文件中。

处理完所有的XML文档后得到位置指纹库。将位置指纹库导入android手机中。

在线定位阶段访问位置指纹库,用户使用手机蓝牙与基站通信来采集RSSI指纹信息,与位置指纹数据库进行匹配,实现定位。

### 1.2 iBeacon定位算法

近邻法是确定性匹配算法中最具代表性的一种算法,通过计算实时RSS样本向量与数据库中各个指纹对应的RSS均值向量之间的欧式距离,得到距离最近或最相似的一个或多个指纹,再经过对选取指纹的位置坐标进行平均或加权平均得出待测点的位置。

#### 1.2.1 最近邻算法

最近邻算法(Nearest Neighborhood, NN)是最基本的近邻法。由公式(1)可计算出RSS测试样本向量与指纹均值向量间的欧式距离:

$$d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (\overline{RSS}_i^j - RSS^j)^2} \quad (1)$$

式中,  $RSS^j$  为实时测量时第  $j$  个AP的RSS值,  $\overline{RSS}_i^j$  为在第  $i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 个参考点上来自于第  $j$  个AP的RSS均值,其值存储在数据库中,  $n$  为选取参考点个数,  $m$  为AP的个数。

NN算法返回数据库中与实时RSS序列间欧氏距离最小的参考点位置信息相联系,并直接将其作为用户定位结果,所以,NN法只选取最近邻的一个指纹位置作为最终的定位结果将其返回,定位精度直接由最近邻指纹的匹配情况决定,匹配算法单一绝对化,因此,稳定性较差,定位精度不高。

K近邻算法<sup>[5]</sup>(K Nearest Neighborhood, KNN)是基于NN算法的改进算法,在计算出各个参考点相对于实时RSS值的欧式距离序列后,对距离序列进行升序排列,选取距离最小的前  $K$  ( $K \geq 2$ ) 个参考点作为候选点,对其位置信息进行均值处理后即可得到用户的最后位置坐标:

$$(x, y) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K (x_i, y_i) \quad (2)$$

式中,  $(x_i, y_i)$  为第  $i$  个候选点所对应的二维位置坐标,  $(x, y)$  为返回的用户二维位置坐标。

#### 1.2.2 加权近邻算法

加权近邻算法(Weighted Nearest Neighborhood, WKNN)在KNN算法的基础上对得到的候选点位置信息的处理有所不同,实际情况下,  $K$  个指纹与实测RSS信号距离的不同,则不同近邻参考点的权重应该是不同的。WKNN算法在计算得出最近邻的候选点后,不是计算它们的平均坐标作为最后用户的定位结果,而是给对应的参

考点坐标乘上一个归一化加权系数:

$$(x, y) = \sum_{i=1}^K \left\{ \frac{\eta}{d_i + \varepsilon} \times (x_i, y_i) \right\} \quad (3)$$

式中,  $d_j$ 为计算得出的欧式距离,  $\eta$ 为加权系数归一化参数,  $\varepsilon$ 为很小的正常数, 以防止分母出现零的情况。加权系数与信号欧式距离成反比, 因此与实时测量的RSS距离越小的候选点其位置坐标的权重越高, 其计算结果更接近真实性, 一定程度上提高了定位精度。

我们采用的加权近邻算法与上面有所不同, 是参考倒数距离加权插值方法的思想, 确定权值。倒数距离加权插值, 又称“反距离加权平均”或“Shepard方法”。其思想是设有 $n$ 个点, 平面坐标为 $(x_i, y_i)$ , 垂直高度为 $z_i (i=1, 2, \dots, n)$ , 倒数距离加权插值的插值函数为

$$f(x, y) = \begin{cases} \frac{\sum_{j=1}^n \frac{z_j}{d_j^p}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{d_j^p}} & \text{当 } (x, y) \neq (x_i, y_i), i=1, 2, \dots, n \text{ 时} \\ z_i & \text{当 } (x, y) = (x_i, y_i), i=1, 2, \dots, n \text{ 时} \end{cases} \quad (4)$$

式中,  $d_j = \sqrt{(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2}$ 是 $(x, y)$ 点到 $(x_j, y_j)$ 点的水平距离,  $j=1, 2, \dots, n$ 。  $p$ 是一个大于0的常数, 称为加权幂指数。参考上述思想, 采用如下算法确定权值:

假设有 $n$ 个参考点, 对应第 $i$ 号参考点 $i=1, 2, \dots, n$ 的权值为 $w_i$ , 若存在参考点 $i$ 与待定位点 $(x, y)$ 的欧式距离 $d_i=0$ , 则该 $i$ 参考点的权值 $w_i=1$ , 其他 $n-1$ 个参考点的权值均为0; 若任一参考点与待定位点 $(x, y)$ 的欧式距离均不为0, 则

$$w_i = \frac{1/d_i}{\sum_{j=1}^n 1/d_j}, i=1, 2, \dots, n \quad (5)$$

最后由 $x, y = \ln \{w_i \times (x_i, y_i)\}$ 得到待定点位置。

### 1.2.3 定位算法测试

在60 m<sup>2</sup>的区域部署10个iBeacon基站, 随机选取6个已知坐标的测试点, 使用Nexus 5手机在该6个测试点采集RSSI值, 使用定位算法得出测试坐标, 分别计算与实测坐标之间的欧式距离, 通过Matlab绘制出误差累计分布图如图2所示, X轴表示误差(单位: m), Y轴表示误

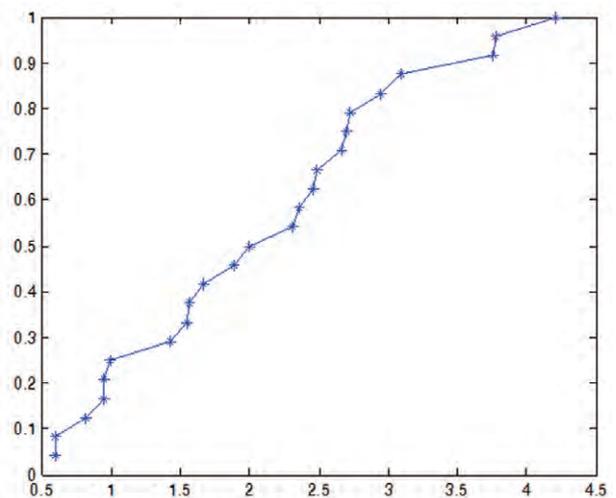


图2 定位精度曲线图

Fig.2 The positioning accuracy curve

差小于X轴的测试点个数占总测试点数的比率。由图2可见, 在90%的情况下能达到3.25 m的定位精度。

## 2 图书馆应用示范

### 2.1 整体架构

系统采用iBeacon指纹定位技术, 基于J2EE技术框架, 支持多种设备的接入、支持空间信息的加载、用户注册。基于SaaS的软件架构能够在服务层向第三方提供开放的API, 数据通信采用HTTP访问方式、数据规范符合KVP标准。系统分层架构图如图3所示。

### 2.2 系统部署

在图书馆搭建基于iBeacon的LBS系统, 图4为系统硬件部署图。系统设备包括iBeacon基站、智能手机、后台服务器、3D监管终端。

**iBeacon基站:** 作为智慧图书馆定位的基础硬件设备, 用于发送蓝牙RSSI信号, 与移动终端进行通信; 每40 m<sup>2</sup>布置一个iBeacon基站。

**智能手机:** 采集RSSI信号, 通过加权指纹算法与卡尔曼滤波算法实时计算出当前坐标, 参照指纹信息库, 解算出读者位置; 向服务器发送服务请求来获取相应的位置服务;

**后台服务器:** 存储、管理与转发系统内的数据;

**3D监管终端:** 实时显示图书馆的运行情况, 包括读者状态与馆区状态;

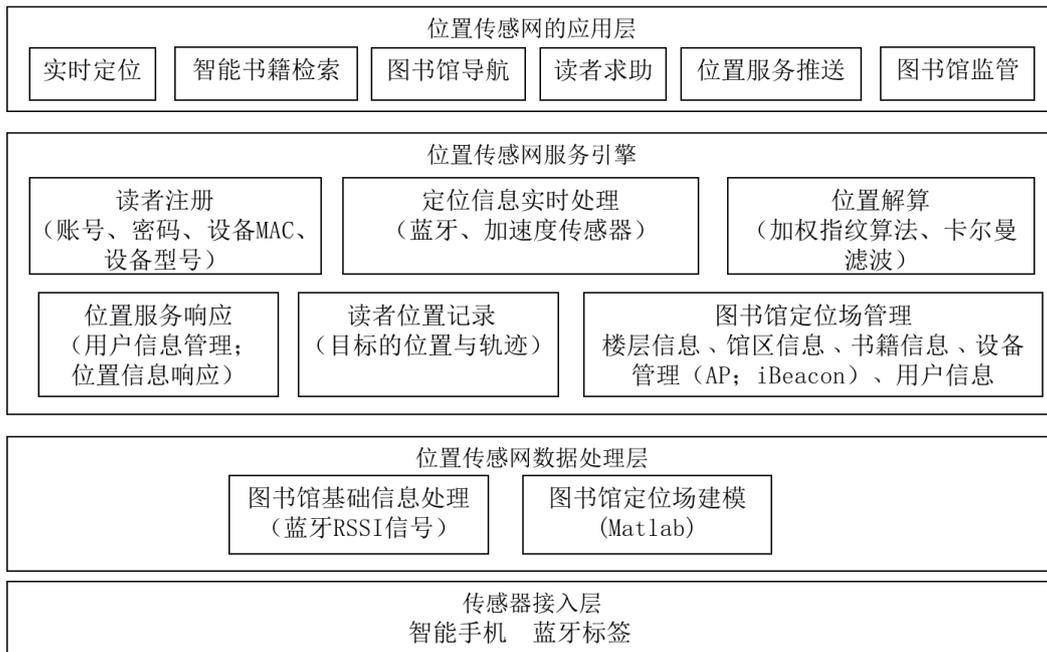


图3 整体架构图

Fig.3 The overall architecture diagram

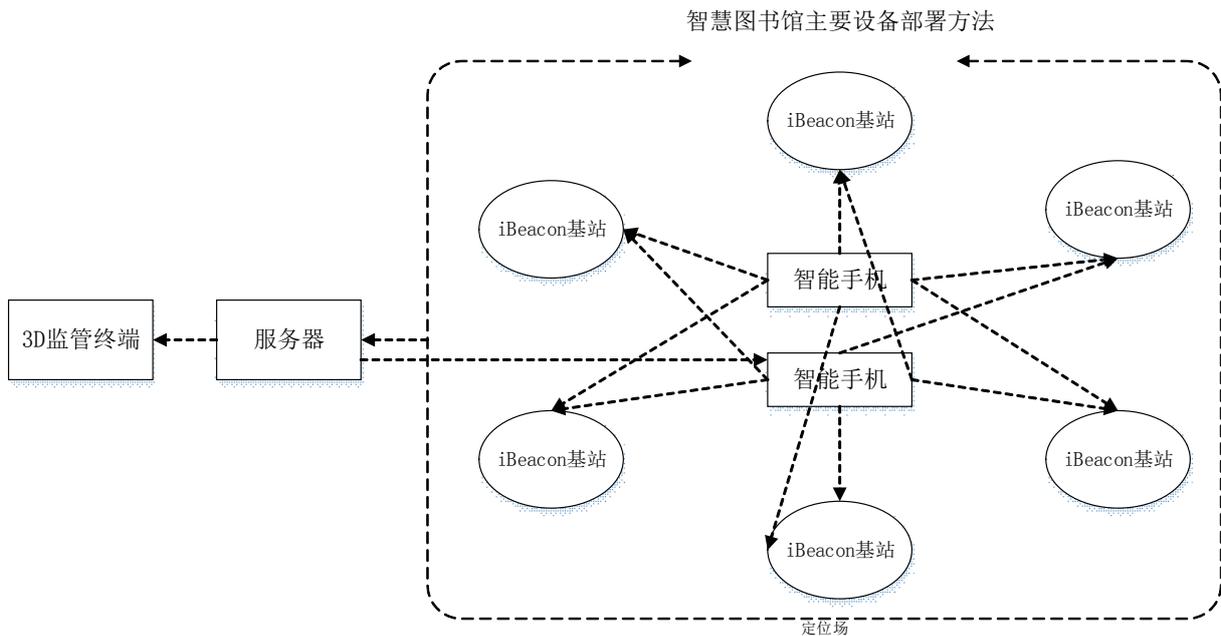


图4 系统部署图

Fig.4 System deployment diagram

### 2.3 系统功能

智慧图书馆系统分为图书馆后台管理系统、移动端LBS系统、3D全景监管系统三个子系统,如图5所示。

后台管理系统实现数据的存储、管理和转发;移动端LBS系统供图书馆用户使用,提供定位与导航服务;3D全景监管系统供监管人员使用,实时监管图书馆运行情况。

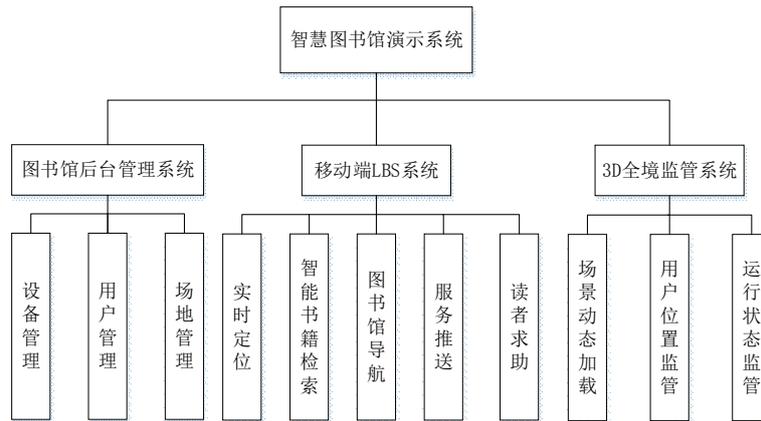


图5 系统功能图  
Fig.5 System function diagram

### 3 结束语

本文以苹果公司发布的iBeacon技术规范及其设备为基础，提出了加权指纹算法，给出了在90%情况下误差精度为3.25 m的精细定位方法，并以此算法为基础，提出了图书馆位置服务解决方案。目前的指纹采集方法需要耗费大量的人力，在未来的研究上将基于众包的思想，加快数据采集速度，但是，其中的数据清洗是一项有挑战性的工作。同时，结合建筑物的内部结构来提高定位精度和导航的实用性。

### 参考文献

[1] 蒋云染. 百度地图标注吸引超过2000家大型连锁企业入驻[EB/OL]. 2014-10-29. <http://www.sootoo.com/content/525564.shtml>.

[2] 马静宜. 室内定位技术现状和发展趋势[J/OL]. 2014-10-28. <http://www.eepw.com.cn/article/264519.htm>.

[3] 韩旭海, 夏文龙, 周渊平. 基于线性加权的蓝牙室内定位算法[J]. 计算机系统应用, 2015, 24(1): 119-122.

[4] 杨铮, 吴陈沐, 刘云浩. 位置计算: 无线网络定位于可定位性[M]. 北京: 清华大学出版社, 2014.

[5] 桑应宾. 基于K近邻的分类算法研究[D]. 重庆: 重庆大学出版社, 2009.

(上接第14页)

[53] 周晓军. 基于室外辅助和惯性导航的室内定位方法的研究与实现[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2014.

[54] Rtm智慧图[EB/OL]. (2015-03-12). <http://www.rtm.com/index.php?m=sample#xunlu>.

[55] Wagner J, Isert C, Purschwitz A, et al. Improved vehicle positioning for indoor navigation in parking garages

through commercially available maps: Proceedings of the International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN' 10), 2010[C]. pp. 875-882

[56] 聚美物联[EB/OL]. (2015-03-12). <http://www.joymake.com/>.

[57] 丁伟峰. 室内定位走进医院[EB/OL]. <http://www.36kr.com/p/205753.html>.