

文章编号:1671-251X(2016)11-0009-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2016.11.003

张航,孙效玉,田凤亮.基于iBeacon技术的井下人员设备定位系统[J].工矿自动化,2016,42(11):9-13.

基于 iBeacon 技术的井下人员设备定位系统

张航, 孙效玉, 田凤亮

(东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘要:为了更好地解决矿山井下人员设备定位问题,深入分析了 iBeacon 室内定位技术的定位原理和算法,提出了基于 iBeacon 技术的井下人员设备定位系统设计方案,详细介绍了系统的架构、信标布设、移动 App 开发。应用 iBeacon 技术进行井下人员设备定位,具有定位精度高、部署方便、导航快捷等优势。

关键词:iBeacon 室内定位; 人员定位; 设备定位; 信标; 移动终端

中图分类号:TD655

文献标志码:A

网络出版时间:2016-10-28 16:23

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20161028.1623.005.html>

Underground personnel and equipment location system based on iBeacon technology

ZHANG Hang, SUN Xiaoyu, TIAN Fengliang

(School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China)

Abstract: In order to solve the positioning problem of underground personnel and equipment, positioning principles and algorithms of iBeacon indoor positioning technology were deeply analyzed, and a design scheme of underground personnel and equipment location system based on iBeacon technology was put forward. At the same time, the system architecture, beacon layout, mobile App development were introduced. Applying iBeacon technology to underground personnel and equipment positioning has advantages of high positioning precision, easy deployment and quick navigation.

Key words: iBeacon indoor positioning; personnel positioning; equipment positioning; beacon; mobile terminal

0 引言

目前,国内的煤矿和非煤矿山都建立了安全生产“六大系统”。其中的井下人员设备定位系统一直是业界研究关注的焦点,出色的定位解决方案能极大地保证井下作业人员的安全,同时提升煤矿调度管理水平和矿山运转效率。

关于井下人员的定位问题,现阶段已形成了基于 WiFi^[1]、ZigBee^[1]、WSN 和 RFID^[2-4] 等多种解决方案。虽然已经有基于上述技术的成套解决方案出现,但或多或少都存在一些局限性。基于 WiFi 和 ZigBee 技术的井下人员设备定位系统需要较为复杂的硬件环境和较高的布设成本,而基于

WSN 和 RFID 的井下人员设备定位系统在定位精度和系统可靠性方面较为薄弱。

iBeacon 是一项新兴的室内定位技术,应用该技术的室内定位系统由布设在空间范围内的 iBeacon 信标和便于人员携带的移动终端 2 个部分组成。整套室内定位系统无需额外布设服务器,只需要预先将标志符和位置信息等数据写入 iBeacon 信标和移动终端配套的 App 中即可。

iBeacon 技术具有追踪实时性好、定位精度高、运行功耗小、传输距离远、信标可循环利用等一系列优点。目前,国内尚未有应用该技术进行井下人员设备定位的先例。本文提出了基于 iBeacon 技术的井下人员设备定位系统设计方案,探讨了系统架构、

收稿日期:2016-04-26;修回日期:2016-07-29;责任编辑:张强。

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(2015BAB15B01);国家自然科学基金项目(71321001/01)。

作者简介:张航(1992—),男,四川巴中人,硕士研究生,主要研究方向为数字矿山技术,E-mail:huhuhang@gmail.com。

信标布设、移动 App 开发等问题。

1 iBeacon 室内定位系统

1.1 系统组成

iBeacon 室内定位系统由 iBeacon 信标和移动终端 2 个部分组成,如图 1 所示。信标和移动终端之间采用蓝牙 4.0 通信协议。



图 1 iBeacon 室内定位系统组成

单个 iBeacon 信标尺寸小,由独立的钮扣电池供电,布设十分方便。移动终端基于 iOS 7.0 以上或者 Android 4.0 以上系统,并需要配套的应用软件以实现用户交互。

1.2 定位原理

iBeacon 室内定位系统的工作原理:人员随身携带的移动终端捕捉来自于布设在相应区域内的 iBeacon 信标发送的位置信息,并过滤出最强的 3 个信号。移动终端首先解算这些预先编码的位置信息,确定出人员的大致位置,再参照 RSSI(Received Signal Strength Indicator,接收信号强度指示)测距算法^[5-8]和三环定位算法进一步确定出人员的精确位置。从捕捉信号到确定最终位置的详细流程如图 2 所示。

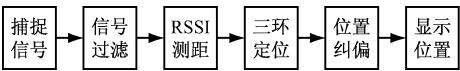


图 2 iBeacon 室内定位系统定位流程

每个 iBeacon 信标中的预存信息^[9]由 UUID 标志符、Major 特征值和 Minor 特征值组成,见表 1。

表 1 iBeacon 信标信息组成

数据类型	占用内存/ byte	描述
UUID	16	每个 iBeacon 信标具有的通用标志符,用于定义主体位置区域;同时用于移动终端确定是否是发送给自己的信息
Major	2	细分由 UUID 定义下的主体区域,定义相应的二级区域
Minor	2	进一步细分二级区域

定位过程中,iBeacon 信标不断将自己所包含的 UUID 及 Major 和 Minor 特征值广播出去。用户接收端在判断为对应的 UUID 后,接收并解析数据。

1.3 定位算法

人员与信标之间的距离依据信标与移动终端之间的 RSSI 数值变化判定。iBeacon 终端通过识别 RSSI 的变化,将自己与信标之间的距离判别为 4 种状态^[9],见表 2。状态判断完成之后,移动终端会利用集成的三环定位算法计算出更精确的位置关系。

表 2 iBeacon 定位终端与信标间距判断

状态	描述
Immediate	接收端与信标十分接近,大致在几厘米到几十厘米之间
Near	接收端与信标相距 1~3 m
Far	接收端与信标相距 10 m 以上
Unknown	无法确定接收端与信标之间的距离

在三环定位算法^[10-11]中,iBeacon 移动终端会选取当前范围内平均值最强的 3 个信号值作为参考。假设 3 个信标分别为 $i_1(x_1, y_1)$, $i_2(x_2, y_2)$, $i_3(x_3, y_3)$,目标终端 I 的位置为 (x_0, y_0) 。目标终端 I 距离 3 个固定信标的直线距离 $R_n(n=1,2,3)$ 可以通过 RSSI 测距得出。由于存在误差,I 与信标之间的实际距离应该位于 $(R_n - t, R_n + t)$ 包围的圆弧中。三环定位算法如图 3 所示,目标位置应该处于 3 个圆弧所重叠的阴影区域,而阴影区域的质心即为 I 的实际坐标位置。

目标终端 $I(x_0, y_0)$ 可由式(1)确定:

$$\begin{cases} x_0 = \frac{\frac{x_1}{R_3+t} + \frac{x_2}{R_1+t} + \frac{x_3}{R_2+t}}{\frac{1}{R_1+t} + \frac{1}{R_2+t} + \frac{1}{R_3+t}} \\ y_0 = \frac{\frac{y_1}{R_3+t} + \frac{y_2}{R_1+t} + \frac{y_3}{R_2+t}}{\frac{1}{R_1+t} + \frac{1}{R_2+t} + \frac{1}{R_3+t}} \end{cases} \quad (1)$$

图 3 三环定位算法

2 井下人员设备定位系统

2.1 系统组成

基于 iBeacon 技术的井下人员设备定位系统主要由固定在巷道壁上的信标和人员随身携带的移动终端 2 个部分组成。系统架构如图 4 所示。

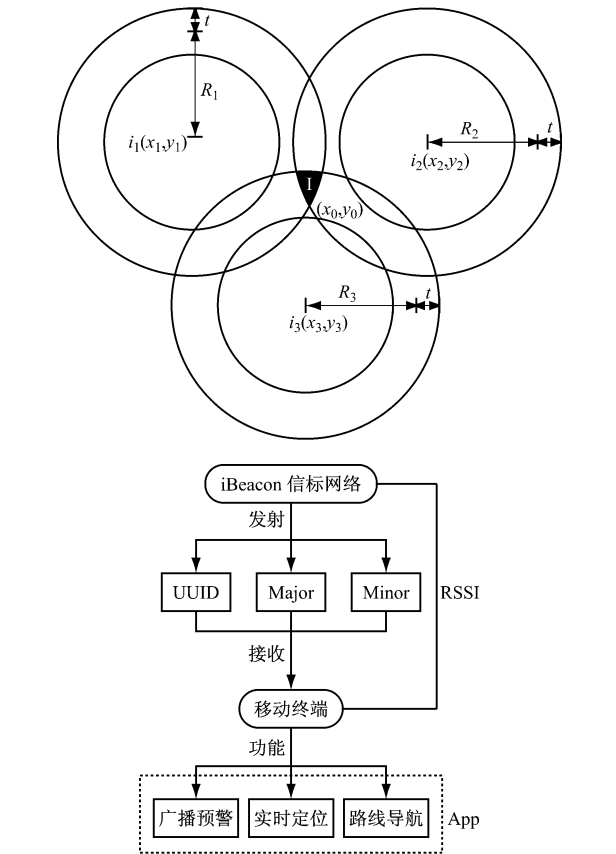


图4 基于 iBeacon 技术的井下人员设备定位系统架构

2.2 信标布设

在信标布设前,每一个信标都需要预先写入编码好的矿区信息。本设计方案中,同一个井田中的所有 iBeacon 信标采用相同的 UUID 标志符。Major 特征值用于区分不同的阶段水平,Minor 特征值用于区分同一阶段中的不同巷道。不同阶段水平中的每一条巷道都有与之相对应的信标位置信息。信标编码信息见表 3。

表 3 信标编码信息	
信标位置信息	井田 I
UUID 标志符	E2A4FG3G-2467-65D2-45G2-2G42B3UJI87F
Major	
—120 阶段水平	120
—220 阶段水平	220
—320 阶段水平	320
...	...
Minor	
运输大巷	10
回风巷道	20
采区巷道	30
...	...

信标布设需要根据其单个信标的覆盖范围和巷

道的特点决定。根据相关实验证明,信标布设间隔在 15 m 以内^[11-12]能保证较好的精度。

为了保证移动终端在任意位置同时能接收到来自至少 3 个信标的位置信息,在巷道两帮间隔 10 m 左右交替布置信标。复杂地段和水量较大的地段需要适当增加信标密度以保证定位精度。信标布设示意和某矿实际信标布设如图 5 和图 6 所示。

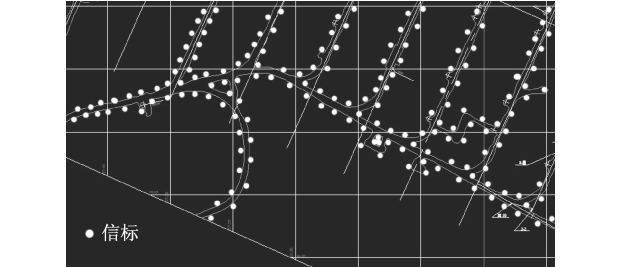
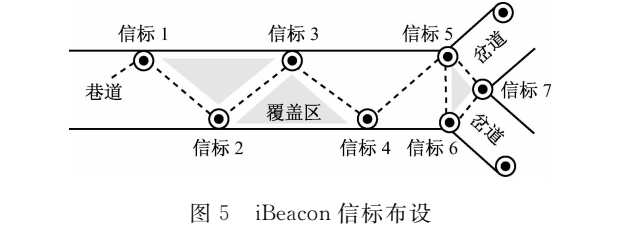


图6 某矿—320 水平信标布设

iBeacon 信标具有独立区域布设特性,实际操作过程中,可以仅对炸药库、水泵房、掘进巷道等重点区域进行布设,从而降低系统应用成本。

2.3 移动终端

移动终端采用兼容蓝牙 4.0 功能的 iOS 或者 Android 系统硬件设备,需要针对不同的系统开发出相应的 App。App 的主要功能包括:实时显示人员地理位置信息,到达特定位置的路径导航及触发基于地理位置的广播预警功能。移动终端操作界面如图 7 所示。

- (1) 实时追踪。当人员携带移动终端走动时,移动终端会实时解算捕捉到的信标数据,显示在矿区电子地图界面。另外,配合移动终端集成的陀螺仪和协处理器可以实时追踪运动状态。
- (2) 路线导航。系统可以实现类似于地面使用的车载 GPS 系统的导航功能,可以根据设定的位置采用相关算法计算并显示出最优路径,能方便井下人员到达特定区域,方便安全撤离和避免井下迷路。
- (3) 广播预警。iBeacon 信标本身不能推送信息,但是能触发提前集成在 App 中的通知信息。当人员到达不同区域时,移动终端会推送相应的文字或语音提示。基于地理位置的广播功能在方便人员

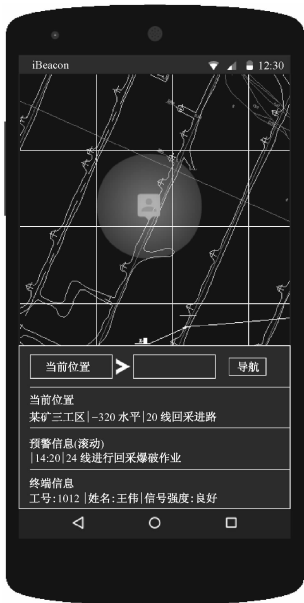


图 7 移动终端操作界面

作业的同时,还能提供危险预警,避免井下人员进入危险区域。

2.4 精度表示及影响因素

RSSI 数值会根据信标和移动终端的距离变化而变化。当信标和移动终端近距离移动时,RSSI 数值会成比例减少或增加。而当两者距离较远时,RSSI 数值会出现不同程度的波动。

iBeacon 移动终端会根据信号强度的变化将定位精度图像化,并实时显示在终端界面上,供作业人员参考。参考精度共分为 3 级:优、良好和较差。

要确保基于 iBeacon 技术的井下人员设备定位系统的精度,就必须保证良好的信号强度。信号强度会随着信标和移动终端之间的距离变化而变化。另外,基于蓝牙 4.0 的 iBeacon 信标发射的信号强度也会受到来自固体障碍物、环境湿度和温度,甚至人体自身的影响。

3 系统优势分析

基于 iBeacon 技术的井下人员设备定位系统相对于传统的人员定位系统有如下优势:

(1) 施工简便。蓝牙信标体积小,使用纽扣电池供电,施工简单,只需要简易地固定在巷道两壁或顶板即可。相比于传统方案,不需要搭建基站和部署专用电缆。

(2) 定位精度高。iBeacon 井下定位系统能保证定位精度在 1.5~2.5 m 以内,较传统方案 3~5 m 不等的精度有明显的提升,更好地满足了井下

人员设备定位需求。

(3) 强大的拓展功能。iBeacon 技术有相应的 SDK 开发套件,通过调用相应的 API 接口,可实现丰富的拓展功能。

iBeacon 井下定位系统在实时追踪人员位置的同时,还能基于地理位置推送广播消息,方便井下特殊环境的预警,还可以实现井下导航功能,指引作业人员到达特定区域。

(4) 功耗低,安全性高。iBeacon 信标使用的蓝牙 4.0 低功耗技术,通常情况下,一枚纽扣电池足以保证系统正常工作 2~3 a 时间,远优于传统水平。通信传输采用 AES-128 加密技术,保证信息传输安全。

(5) 信标价格低,可循环利用。单枚 iBeacon 信标的售价在几元到几十元不等,成本较低。信标通过特殊处理后还能抵抗恶劣环境。信标的信息可以重复写入,并且可以随着矿床的回采逐步回收并用于新矿床的开采中,从而大大降低了成本。

(6) 信号干扰小。相比于传统基于 WiFi 的室内定位技术而言,iBeacon 信标传输周期占空比小,相互之间的干扰会小很多。经研究测试,置于同一狭小空间内的百余枚信标均能同时正常工作,而传统技术的通信信道容易相互干扰,导致信号损失大。

4 结语

基于 iBeacon 技术的井下人员设备定位系统可以实时、精准地向井下作业人员反馈自己的位置信息,通过移动终端还能实现井下导航及预警信息广播功能,解决了传统定位系统功能简单、准确度差、布置不方便等问题,对于提升矿山的安全技术水平和综合效益有一定帮助。

目前,该套系统可能会受制于移动终端的价格和矿业形势不景气的影响,先期只能在部分复杂、高危等重点区域应用。

参考文献:

- [1] 蒋磊,于雷,王振翀,等. 基于 WiFi 和 ZigBee 的井下人员无线跟踪与定位系统的设计[J]. 工矿自动化, 2011,37(7):5-10.
- [2] 李凡甲,徐钊,颜丙磊,等. 基于 WSN 的煤矿井下人员定位系统防碰撞算法的研究[J]. 工矿自动化, 2009,35(1):9-12.
- [3] 李靖,樊晓明. 基于 RFID 技术的井下人员定位管理

系统的应用[J]. 工矿自动化,2011,37(5):85-87.

[4] 吴杰. 基于 WSN 与 RFID 融合技术的井下定位与追踪算法研究[D]. 银川:宁夏大学,2015.

[5] 詹杰,刘宏立,刘述钢,等. 基于 RSSI 的动态权重定位算法研究[J]. 电子学报,2011,39(1):84-90.

[6] 朱剑,赵海,孙佩刚,等. 基于 RSSI 均值的等边三角形定位算法[J]. 东北大学学报(自然科学版),2007,28(8):32-35.

[7] 孙波,刘冬阳,徐奉,等. 基于 RSSI 的煤矿井下巷道定位技术误差分析[J]. 煤炭学报,2014,39(增刊 2):319-324.

[8] 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.

[9] Apple Inc. Getting started with iBeacon[EB/OL]. (2014-06-02)[2016-03-09]. <https://developer.apple.com/ibeacon/Getting-Started-with-iBeacon.pdf>.

[10] 莫倩,熊硕. 基于蓝牙 4.0 的接近度分类室内定位算法[J]. 宇航计测技术,2014,34(6):70-74.

[11] 石志京,徐铁峰,刘太君,等. 基于 iBeacon 基站的室内定位技术研究[J]. 移动通信,2015,39(7):88-91.

[12] PAUL WHYTOCK. Bluetooth beacon kit lights the way on varying RSSI levels[J]. Microwaves & RF, 2014,53(5):38-38.