

基于蓝牙 4.0 的课堂签到系统设计与开发

戴志诚 周家瑶

(华中师范大学国家数字化学习工程技术研究中心 湖北 武汉 430000)

摘要 针对校园环境下课堂签到耗时耗力的现状,设计并实现了一种方便、快捷且实现成本低的课堂签到系统。系统利用基于蓝牙 4.0 的信标设备使人物、事件、时间和地点之间相互联系,从而在课程指定时间和地点实现主动签到。系统采用 B/S 模式 + C/S 模式。对基于蓝牙 4.0 的室内定位技术进行研究,提出了在实际应用中易于实现并且满足定位精度需求的室内定位方法。实验结果表明,基于蓝牙 4.0 的课堂签到系统能够快速准确地完成主动签到过程,效率高、易于管理,系统可扩展性强。

关键词 蓝牙 4.0 室内定位 主动签到 签到系统 课堂管理

中图分类号 TP3 文献标识码 A DOI:10.3969/j.issn.1000-386x.2018.02.049

DESIGN AND DEVELOPMENT OF CLASSROOM SIGNING SYSTEM BASED ON BLUETOOTH 4.0

Dai Zhicheng Zhou Jiayao

(National Engineering Research Center for E-Learning, Central China Normal University, Wuhan 430000, Hubei, China)

Abstract Aiming at the time-consuming and energy-consuming situation of classroom sign-in in campus environment, a convenient, fast and low-cost classroom attendance was designed and implemented. In the system, people, events, times and places were connected by beacon device based on Bluetooth 4.0, which enabled students to sign in automatically at specified times and locations. B/S mode and C/S mode were used in this system. To research the indoor location technology based on Bluetooth 4.0, an indoor localization method was proposed which was easy to implement in practical application and in accordance with the requirement of localization accuracy. The experimental results showed that the classroom active signing system based on Bluetooth 4.0 could quickly and accurately complete the automatic check-in process, which was efficient and easy to manage.

Keywords Bluetooth 4.0 Indoor localization Active signing Signing system Classroom management

0 引言

当我国高校教学管理从传统的学年制向西方的学分制转型时,大学生的逃课情况突显出来,受到了较高的关注。^[1]如何加强高校课堂管理和促进高校良好学风的养成一直是值得思考和研究的问题。目前,高校课堂签到方式呈现出多样化。但是大多数教师仍采用原始纸质名单点名的方式来签到,部分教师采用了电

子化的签到方式,如感应卡^[2]、指纹识别^[3]、人脸识别^[4]等,这些方式各有优点和缺点。而这些电子化签到方式没能在课堂签到中大范围推广使用,主要原因是校园环境下课堂签到同一时段签到人数较多,接触式或近距离感应式的方法会产生拥堵现象,且成本较高。另外,随着移动互联网和智能终端的飞速发展,自带设备 BYOD^[5] (Bring Your Own Device) 成为现实,蓝牙 4.0 也成为各智能终端的标准配置。基于蓝牙 4.0 技术在室内定位的应用前景^[6],课堂主动签到系统采

用其定位技术实现位置感知,将部署在教室内的多个基于蓝牙 4.0 信标设备作为参考节点,移动终端接受参考节点信号并计算出相对位置^[6],从而判断移动终端持有者是否在该教室内,达到课堂主动签到的目的。系统以一种不引起学生的负面情绪的方式记录学生的到课情况和学习行为,营造学生和教师之间和谐友好氛围,促使教学相长。

近几年,在互联网信息技术行业中,大数据的研究成为热点,大数据同样被认为在教育领域会大有所为,大数据将给教育领域带来革命性的变化。学生的位置信息是学生学习行为的重要数据,也是教育大数据的重要来源。基于蓝牙 4.0 的课堂签到系统及其扩展应用,能主动记录学生的位置信息,为教育大数据及其分析提供了必要的支撑。

1 系统设计

1.1 系统框架和功能设计

课堂签到系统主要由三部分构成:移动端、服务器端和 PC 端。签到服务采用 C/S + B/S 的架构,其中 C/S 中的 Server 端是后台 Web 服务器,主要进行数据存储和计算并提供相应的接口服务,Client 端是指移动 APP,供学生或教师使用。B/S 中的 Server 同 C/S 中的 Server,Client 端是 PC 端浏览器。移动端设备需配备 BLE(Bluetooth Low Energy),当携带移动设备的用户进入有部署信标设备的地方时,移动设备接收参考信标发送的信号,定位当前所在位置。通过无线网络与后台的服务器做数据交换和数据确认,而 PC 端则可以即时更新最新数据。课堂签到系统拓扑图如图 1 所示。

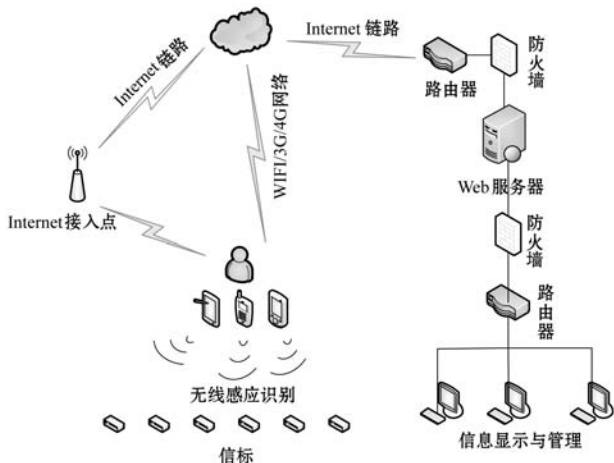


图 1 课堂签到系统拓扑图

课堂签到系统主要设置三大功能模块,分别为:面

向学生的信息管理模块提供学生基础数据管理功能,包括注册与签到管理和课程查询功能,以及签到记录的查看,方便学生对于教室安排以及个人课程签到信息的了解;面向教师的课程实时签到管理模块提供课程当前签到情况以及课程以往签到情况汇总,方便教师即时了解课程签到情况;面向管理人员的教室信息管理,方便管理人员对于教室课程安排的登记和变更管理。

课堂签到系统需要应对大量的用户对服务器发送请求以及对数据库高频次访问,服务器须具备处理高并发信息的能力。签到系统采用的是 MVC 体系结构,其功能模块利用 PHP 语言来实现的。PHP 脚本在服务器端运行,各终端是经由 HTTP 请求向服务器请求服务,无需考虑用户终端和操作系统上的差别,用户端应用支持 HTTP 请求签到系统就能够使用。课堂签到实时管理使用 MQTT 协议即时获取最新签到信息。学生、教师以及信息管理员通过应用表示层来访问系统,用户在进行身份认证之后赋予相应的权限,用户填写修改数据并提交等则需要通过业务逻辑层来实现,由业务逻辑层提交给资源访问层录入和修改数据库中的相关数据项。签到系统架构如图 2 所示。

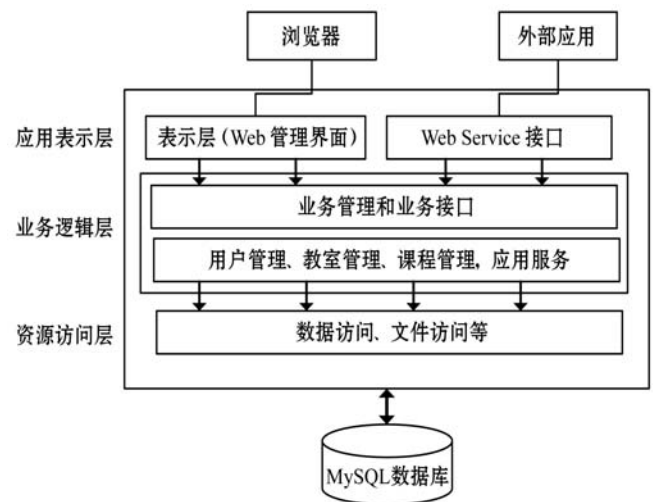


图 2 签到系统架构图

1.2 系统流程设计

新用户需要在移动端的应用注册、填写账号密码等相关信息,这些信息提交之后账号会与移动设备端的 MAC 地址绑定,将学生的学号作为账号名。账号与 MAC 地址绑定之后,该设备就只能登录与之绑定的账号。设置 MAC 地址绑定可以防止代替签到现象。

签到系统需感知学生在手持移动设备时所处的位置并判断是否执行签到动作。具体签到流程如图 3 所示。

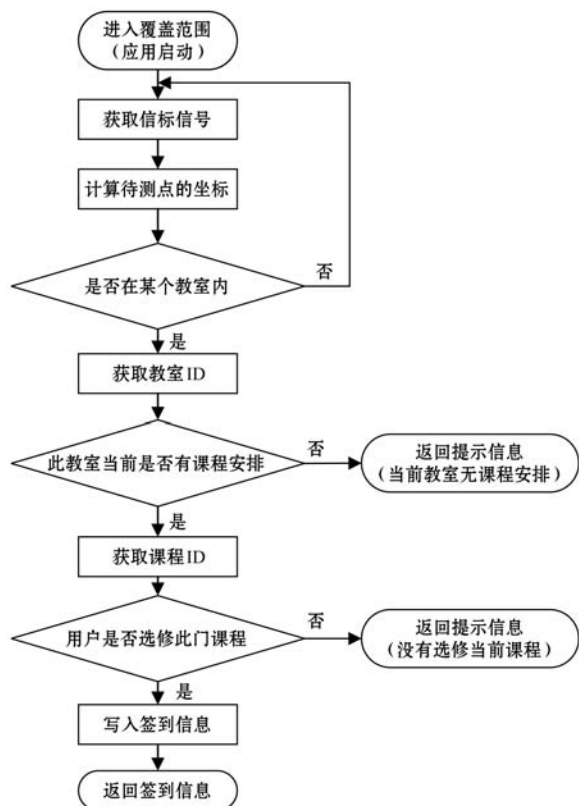


图 3 签到流程图

1.3 相关设备

系统使用了基于 BLE 的室内定位技术来确定移动端的位置,从而判断是否进行课程签到,这是系统中进行主动签到最主要的部分。信标设备的蓝牙模块由 NORDIC nRF51822 芯片实现。信标设备发送无线信号,移动终端接受无线信号。iPhone5c 智能移动终端作为信号接收端,其支持蓝牙 4.0 协议。蓝牙信标有相应的 UUID、major 和 minor 来区分它们,信标使用的是广播模式,移动设备端无需与信标设备连接即可接收到信标广播的信号。

2 定位算法研究

随着无线通信和传感器网络的发展,室内定位系统的研究在最近十年也取得了比较大的进展。已经有许多室内定位技术得以实现,并且各自有不同的硬件需求和定位精度^[6]。无需测距的定位算法虽然有着成本较低、能耗也低、计算量和通信量较小的优势,但是基于测距的定位算法定位精度一般都要高^[7]。基于 BLE 的室内定位技术属于测距定位类定位精度高,并且蓝牙 4.0 协议使得基于 BLE 定位技术的实现成本降低。

定位的实现需要考虑多个方面,有准确度、精确度、复杂性、可扩展性、鲁棒性和成本,系统实现需要在

这些方面进行权衡^[6]。根据课堂签到的实际情况,定位误差在 0.5 米左右就可以满足课堂主动签到系统对定位精度的要求,同时需要综合考虑定位算法的复杂度、鲁棒性以及定位的延时时间和耗电等因素。

2.1 定位算法分析

基于距离的加权质心算法定位法用于已知待测点距参考节点距离的定位。已知三个参考节点的坐标 $AP1(x_1, y_1)$ 、 $AP2(x_2, y_2)$ 、 $AP3(x_3, y_3)$ 和待测点坐标 $MP(x, y)$, 已知待测点到各个参考节点的距离分别为 r_1 、 r_2 , 以及 r_3 的情况下, 可以作三个圆:

$$\begin{cases} (x+x_1)^2 + (y+y_1)^2 = r_1^2 \\ (x+x_2)^2 + (y+y_2)^2 = r_2^2 \\ (x+x_3)^2 + (y+y_3)^2 = r_3^2 \end{cases} \quad (1)$$

若测距无误差,三个圆两两相交于一点,可以通过计算得出待测点 MP 的坐标(如图 4 所示三个虚线圆相交于点 MP)。由于 RSSI 通过路径损耗传播模型获得的距离有一定的误差^[10],三个圆是两两相交构成一个区域(图 4 所示的三个实线圆两两相交的交点 A、B、C 以及成的阴影区域),待测点在该区域内。为获得较为精确的定位结果,采用加权质心算法^[12-13]来估测待测点坐标,以获取相对于单一算法较为精确的定位结果。

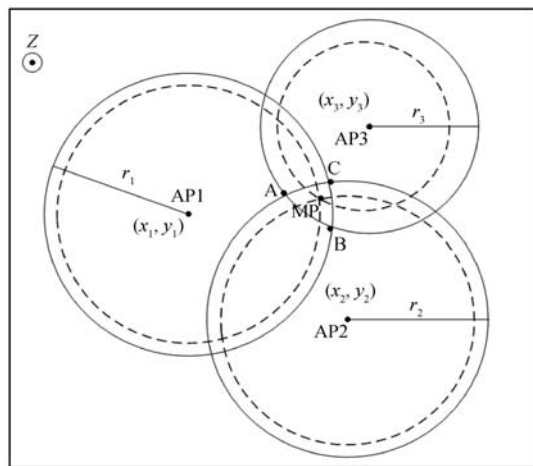


图 4 信标节点定位图

2.1.1 无线电传播路径损耗模型分析

RSSI 利用已知发射信号强度,接收节点根据收到的信号强度,计算信号在传播过程中的损耗,使用理论或经验的信号传播模型将传播损耗转化为距离^[8]。RSSI 测距利用接收信号强度和理论或经验的路径损耗传播模型计算距离,其统计模型^[9]如下:

$$P(d) = P_0 - 10n_p \log_{10} \frac{d}{d_0} \quad (2)$$

式中: $P(d)$ 为在距离 d 处的信号强度; n_p 为路径损耗因子,取值范围在 2 到 4 之间^[10]; P_0 为参考距离 d_0 处

的信号强度(单位为 dBm)。\$d_0\$ 的取值为 1 米时, \$P_0\$ 的值为距离信标节点 1 米处的 RSSI 的值, 在此情况下, 距离与 RSSI 值之间的关系如下:

$$d = 10^{\frac{P(d) - P_0}{-10n_p}} \quad (3)$$

式中: \$P(d)\$ 为距离 \$d\$ 处的 RSSI 的值, 参数 \$P_0\$ 和 \$n_p\$ 即可确定距离 \$d\$ 和 RSSI 的值 \$P(d)\$ 之间的函数关系。然而, RSSI 的值受环境因素影响较大, 不稳定具有较大的波动性^[11]。所以实际在接受 RSSI 的值时, RSSI 由于环境因素的影响, 不会是一个固定的值, 有一定的波动性。将 RSSI 分别做中值滤波、均值滤波和混合滤波优化之后做拟合, 拟合结果表明在数据较少时中值滤波优化后的拟合效果最好。优化后 RSSI 值与距离的对应关系如表 1 所示。

表 1 距离与 RSSI 值的对应关系

实际距离/m	RSSI 值/dBm	实际距离/m	RSSI 值/dBm
0.5	-68.00	5.5	-94.00
1.0	-76.00	6.0	-91.00
1.5	-82.50	6.5	-91.00
2.0	-86.00	7.0	-94.00
2.5	-85.00	7.5	-94.00
3.0	-87.00	8.0	-93.50
3.5	-91.00	8.5	-95.00
4.0	-88.00	9.0	-93.00
4.5	-92.50	9.5	-94.00
5.0	-91.00	10.0	-94.00

将表 1 中的数据采用式(2)的函数做最小二乘法曲线拟合。拟合结果如图 5 所示, 其中参数 \$P_0\$ 和 \$n_p\$ 的初始值分别为 -76 dBm 和 2, 拟合得到的曲线中参数的值分别为 \$P_0 = -77.42\$ dBm, \$n_p = 1.87\$。两个参数的初始值和拟合结果之间的误差分别为 1.42 和 0.13, 拟合结果可靠。实验表明, RSSI 的值与对应的距离关系的确存在函数关系, 通过曲线拟合、参数优化等方法, 可以通过 RSSI 的值得到对应的距离 \$d\$。

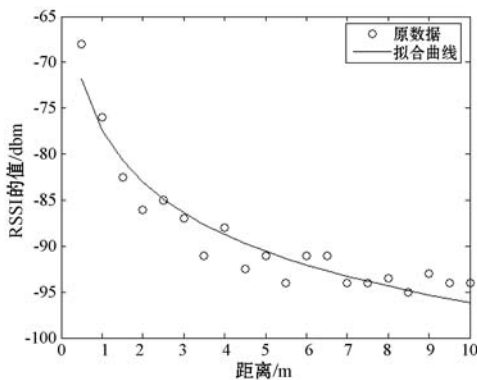


图 5 距离与 RSSI 值关系的拟合曲线

2.1.2 质心算法的分析

确定 RSSI 与距离对应的函数关系, 计算得到相应的参数后, 可以由 RSSI 确定待测点距离信标节点的距离, 就可由质心定位算法得到待测点的坐标。在传感器网络中使用的基于 RSSI 测距的质心定位, 往往需要大量的锚节点来估测待测节点的位置, 覆盖待测点的锚节点越多, 通过估算得到的待测节点坐标数越多, 根据获取的这些待测点坐标构成的多边形, 取这个多边形的质心。在传感器网络仿真中, 这种方法的确能得到精确度很高的定位结果, 但是在具体实现时, 受到成本、以及定位的时延等的限制, 不能大密度地在一个空间内布置信标节点。具体实现时需要的定位精度和成本之间做出衡量, 需要找到既能满足定位精度要求, 同时成本也在可接受范围内的定位方法。

三个已知圆心和半径的圆两两相交的交点可以通过解高次方程式(1)得到, 三个交点如图 4 所示的 A、B、C。其坐标分别为 \$A(x_a, y_a)\$、\$B(x_b, y_b)\$、\$C(x_c, y_c)\$。为满足系统定位的实现, 将原本的质心定位做了一定的简化, 不需要大量的锚节点覆盖待测节点, 只需要三个信标节点覆盖待测节点来锁定误差漂移。在实验中发现, 取 A、B、C 三个点构成的三角形的质心作为待测点的坐标时, 定位误差较大。实验过程中发现, 待测点位置坐标与两圆的交点分别和两个圆心的距离成反比关系, 最后考虑采用修正后的质心算法获得待测点 MP(\$\hat{x}, \hat{y}\$) 的坐标, 如式(4)、式(5)所示。

$$\hat{x} = \frac{\left(\frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}\right)x_a + \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_3}\right)x_b + \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)x_c}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}} \quad (4)$$

$$\hat{y} = \frac{\left(\frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}\right)y_a + \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_3}\right)y_b + \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)y_c}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}} \quad (5)$$

2.2 定位算法可行性实验

以上提出的定位算法, 减少了信标节点数, 同时简化了修正质心算法, 对于定位精度是否能达到预期的效果, 需要通过具体的实验来验证。

由图 5 中的拟合曲线可知, 在距离为小于 5 m 时, RSSI 值随距离增大变化明显; 在距离大于 5 m 以后, 随距离增大 RSSI 的值变化较为平缓。为了获得较为精确的定位结果, 部署信标时将每个信标的有效覆盖范围当作 5 m 来部署, 待测点至少被三个信标节点覆盖才可通过定位算法获得其坐标。使用 MATLAB 做算法可行性仿真实验, 在大小为 800 cm × 1 200 cm 的空间, 按照每个点至少被三个信标节点覆盖的布点规

则设置新表节点的位置,总共设置 8 个信标节点,定位实验结果如图 6 所示。

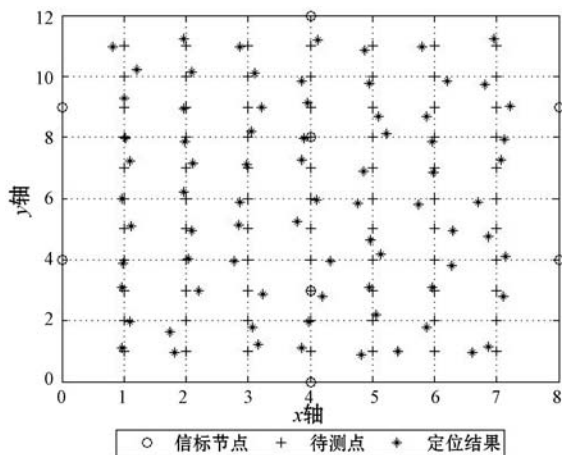


图 6 MATLAB 定位实验结果

直线误差的计算如下:

$$LE = \sqrt{(\hat{x} - x_s)^2 + (\hat{y} - y_s)^2} \quad (6)$$

$$x_{er} = \hat{x} - x_s \quad (7)$$

$$y_{er} = \hat{y} - y_s \quad (8)$$

式(6)中 LE 表示定位误差; (x, y) 表示待测点坐标; (x_s, y_s) 表示定位结果;式(7)中 x_{er} 表示 x 值的偏移;式(8)中 y_{er} 表示 y 值的偏移。在 MATLAB 做算法测试时,随机选取 10 个点的定位结果如表 2 所示,定位误差在 0.6 米左右满足课堂主动签到系统对定位精度的要求。实验结果表明,理论上简化后的修正算法是可行的,在制定地点的主动签到中,此算法达到基本的定位精度要求。

表 2 定位结果以及定位误差

待测点坐标	定位结果	误差偏移	定位误差
(9,1)	(9.30,1.00)	(-0.30,0.00)	0.30
(2,2)	(1.64,1.75)	(-0.36,-0.25)	0.44
(2,3)	(1.78,3.07)	(-0.22,0.07)	0.23
(5,3)	(5.12,2.85)	(0.12,-0.15)	0.19
(5,4)	(5.25,3.78)	(0.25,-0.22)	0.33
(3,5)	(3.09,4.95)	(-0.09,0.05)	0.10
(1,6)	(0.98,5.41)	(-0.02,-0.59)	0.59
(7,6)	(6.86,5.98)	(-0.14,-0.02)	0.14
(1,7)	(0.94,6.61)	(-0.06,-0.39)	0.39
(10,7)	(9.72,6.82)	(0.28,0.18)	0.32

3 系统实现

为验证系统的性能,在华中师范大学的一间智慧教室进行签到实验,教室内的信标节点按照算法测试

部分的部署规则进行部署。实际情况如图 7 所示。图 7 中圈出的物体就是信标设备,参考信标节点是部署在教室天花板上。



图 7 实验环境

服务器在 Linux 平台上搭建,采用的是 Apache HTTP Server 和 MySQL 数据库。Web 服务器后台采用 PHP 语言进行开发,PHP 是一种开源的脚本语言,具有跨平台、效率高等特性。感知平台后台服务器为平台中的 Service 提供基础信息服务接口,包括基础信息获取、统一身份验证、集中权限管理、统一事件记录等基础服务。为了平台中各个子系统接入安全和方便,签到系统接口设计采用一定的规范。首先,参数中带有敏感信息的接口采用 POST 方法代替 GET 方法,防止敏感信息泄露。其次,接口返回给客户端的数据格式采用常用的 JSON 格式,该格式比较轻量、简洁,且各平台都有成熟的解析方案。同时,所有返回的 JSON 信息都按照统一的格式规范,方便客户端的进一步处理,其统一结构如表 3 所示。

表 3 服务端 JSON 数据格式规范

键(key)	值(value)类型	描述
code	整数	自定义的状态码,标志不同的请求结果
info	字符串	对状态码的简单描述信息
data	JSON	返回的具体数据信息,通常情况下是一个 JSON 对象或 JSON 数组

其中,code 字段是返回的状态码信息,方便客户端开发,该字段也做了统一的规定;info 字段是返回的简单描述信息,描述返回的状态,用于提示客户端开发者;data 字段是返回的核心数据,可能是一条 JSON 数据,也可能是 JSON 数组,需要客户端根据具体场景对数据进行解析。

签到服务后台主要为移动客户端和 PC 端提供 API 接口,其中最重要的接口是签到接口。除了认证接口和签到接口外,Web 服务器还需要提供课程查询、签到记录查询等接口信息。

移动端应用使用 Xcode 作为开发平台,程序开发语言使用的是 Object-C,移动端使用 iPhone5c 完成学生身份识别以及位置感知的功能,定位算法在移动端实现。移动客户端通过 2G、3G、4G 或是 Wi-Fi 与服务器相连接,根据位置感知确认执行签到动作,签到信息会存储到数据库中。移动客户端可通过无线连接服务器获取已选课程信息或是查看各课程的签到记录等。移动终端的签到应用的部分功能界面如图 8 所示。



(a) 应用界面 (b) 签到返回信息界面
图 8 签到应用

PC 端的实现使用了 HTML 和 JavaScript 等语言。PC 端通过 WebSocket 与服务器实现长连接,通过 MQTT 协议 PC 端可以从服务器获取最新的即时签到信息并显示相应的统计结果。图 9 是 PC 端获取的课程实时签到信息,包括相应课程的应到人数,实到人数,到课率以及学生的签到信息。

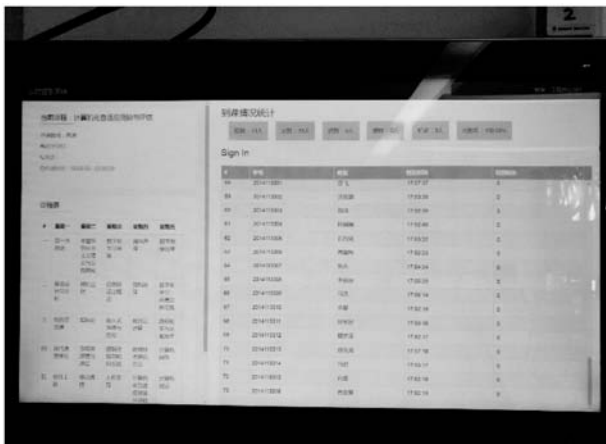


图 9 PC 端实时签到统计页面

4 结 语

系统在华中师范大学的一间智慧教室运行良好。结果表明,系统对于位置感知的签到能准确地判断并完成主动签到,为课堂签到提供了一种新的签到体验方式,且签到效率高。签到系统使用基于蓝牙 4.0 的

定位技术实现位置感知的功能,从而实现指定地点的主动签到。蓝牙 4.0 低功耗、低成本的特征使得系统实现成本低。信标设备布设简单,在不同的室内空间只需根据测试部分的部署规则进行部署,只需更改定位算法中和信标信息,如位置信息、UUID 等相关的数据就可使用。系统不足之处是在教室范围的临界处时,由于定位误差会对签到过程有影响。后期的研究工作需要根据具体的地理位置信息建立 BeaconMap 来实现对教室的管理,以及研究自适应的容错技术来解决实际签到时的定位误差对签到结果的影响。

参 考 文 献

- [1] 殷晓东. 加强高校课堂管理促进高校良好学风养成[J]. 江苏高教, 2009(4): 94-95.
- [2] 张晨亮, 凌云峰, 王文, 等. 基于 RFID 的实验签到系统设计与实现[J]. 现代电子技术, 2015, 38(1): 106-108.
- [3] 章通, 陈金玉. 网络指纹考勤系统的设计与实现[J]. 计算机应用与软件, 2011, 28(2): 73-75.
- [4] 茹峰, 彭晓宏, 侯立刚, 等. 基于人脸识别的学生课程出勤管理系统设计[J]. 现代电子技术, 2016, 39(1): 81-84.
- [5] 赵慧臣, 杜振良. 混合学习理念下“自带设备”(BYOD)教学应用的问题分析与对策建议[J]. 中国电化教育, 2015(12): 126-131.
- [6] Liu H, Darabi H, Banerjee P, et al. Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems [J]. IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics Part C, 2007, 37(6): 1067-1080.
- [7] 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): 82-88.
- [8] Oguejiofor O S, Okorogu V N, Adewale Abe, et al. Outdoor Localization System Using RSSI Measurement of Wireless Sensor Network [J]. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE), 2013, 2(2).
- [9] Shen X, Wang Z, Jiang P, et al. Connectivity and RSSI Based Localization Scheme for Wireless Sensor Networks [J]. Lecture Notes in Computer Science, 2005, 3645: 578-587.
- [10] 陶为戈, 朱映华, 贾子彦. 基于 RSSI 混合滤波和最小二乘参数估计的测距算法[J]. 传感技术学报, 2012, 25(12): 1748-1753.
- [11] 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.
- [12] 李娟, 王珂, 李莉, 等. 基于锚圆交点加权质心的无线传感器网络定位算法[J]. 吉林大学学报(工), 2009, 39(6): 1649-1653.
- [13] 周艳, 赵海, 张君. 普适计算中的定位误差分析[J]. 电子学报, 2009, 37(2): 382-386.