

基于物联网技术的智慧公厕管理系统

王 虎, 胡建鹏, 瞿智豪, 魏 龙, 蔡管鸿

上海工程技术大学, 电子电气工程学院, 上海

收稿日期: 2021年11月11日; 录用日期: 2021年12月13日; 发布日期: 2021年12月15日

摘 要

智慧公厕作为智慧城市的重要组成部分, 其健康和成为智慧城市的重要组成部分, 因此, 以热释电红外传感器为核心的行人流量检测系统、温湿度传感器以及红外传感器, 及控制核心和ZigBee通信模块作为系统的主要组成部分。传感器采集的数据通过服务器进行可视化显示, 并上传到云服务管理平台进行多终端可视化, 通过此技术方案可全面掌握公厕运行维护情况。

关键词

智慧公厕, 热释电红外传感器, 红外传感器, 无线传感网络

Intelligent Public Toilet Management System Based on IOT Technology

Hu Wang, Jianpeng Hu, Zhihao Qu, Long Wei, Guanhong Cai

School of Electronic and Electrical Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Received: Nov. 11th, 2021; accepted: Dec. 13th, 2021; published: Dec. 15th, 2021

Abstract

The intelligent public toilet as an important part of the smart city, its health and safety become an important part of the construction of the smart city, therefore, the pyroelectric infrared sensor-based pedestrian flow detection system as the core, the temperature and humidity sensors as well as infrared sensors, control core and ZigBee communication module as the main components of the system. The data collected by the sensors are displayed visually through the server and uploaded to the cloud service management platform for multi-terminal visualization. Through this technical solution, the operation and maintenance of public toilets can be comprehensively monitored.

Keywords

Smart Public Toilet, Pyroelectric Infrared Sensor, Infrared Sensor, Wireless Sensor Network

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近几十年来,随着互联网技术的迅速发展,信息和通信技术在全球各方面都占据着主导地位[1]。城市的建设和对信息和通信技术的依赖以及对关键基础设施的有效管理解决了技术发展和可持续性的挑战。在过去几年中,信息科技技术的发展和研究一直依赖于物联网[2]的发展。物联网平台为大多数电子设备提供收集、处理和监控各种类型数据的设施。

现在,国内的大城市的公共卫生间,硬件条件较好的,也只有单独的烘手机和蹲位空闲显示,极少的高级场所配有自动洗手机、气味检测等设备。而在中小城市乃至县城的公共卫生间,则大部分都是较为老旧的,甚至有些没有抽水冲厕的坑位,这对公共卫生是很大的挑战,同时也对管理者造成不便。而且公共厕所的密度设置也存在不合理现象,有些人流量不大的地方的公厕密度高于人流量很大的地方,这样就造成了资源和空间的浪费。国内绝大部分公厕都没有配备自动洗手机等个人消杀设备,而是采用比较传统的手动按压式洗手、消毒和冲洗,这样不可避免地会产生人员间接接触,增大传染疾病交叉感染的风险。

文献[3]提出的基于物联网的智慧公厕系统,功能较少,只能用于公厕内环境信息的采集而缺乏对公厕内设备的控制,且没有直观的可视化界面。文献[4]主要针对在智慧城市的视角下进行智慧公厕的设计,只有相关功能的叙述,而没有对相关技术进行解释说明。文献[5]虽然在智慧公厕的功能模块、所用技术方面有较为全面的介绍,但相关技术细节和方法却涉及很少。

在我们实际调研中发现,上海市松江区的智慧公厕系统落地较多,但在功能上只停留在对公厕内状况的检测上,并没有利用相关数据对公厕内相关功能模块进行控制。

针对现有研究和实际落地项目的缺陷,本文提出的基于物联网的智慧公厕管理系统概念,利用不同的传感器,如红外传感器、气味传感器、温湿度传感器等构成几种功能不同但又互相关联的模块,将这些传感器的数据通过大数据、云计算[6]等先进技术,搭建公厕管理云平台。通过数字化、智能化达到公厕管理的需求,并完成公厕各功能模块的智能化控制,满足公众需求,减少人力的使用,提升管理效率,优化公厕使用体验。同时,针对现存的自动洗手机的一些问题进行了改进。在公厕的出入口处,添加了人流量检测的功能。

2. 设计需求

2020年初以来,从湖北武汉爆发的新冠肺炎疫情牵动14亿中国人乃至全球70亿人的心,这次疫情中,国家给人民提醒最多的就是要保持个人卫生,勤洗手,多通风,只有这样才能最大程度上防止个人被病菌感染,保护个人生命安全。而如今公厕内的卫生状况和管理都有不同程度的缺陷,在现实和国家政策的双重推动下,必然会让国人公共卫生意识觉醒,这样必然会催生政府在公厕提升卫生水准,物联网与大数据技术的发展使这种需求成为了可能。

为了解决智慧公厕的管理问题，确保公厕的功能完善，对于传统公厕的设施进行数据化平台建设，引入传感器信息，通过物联网技术将各种信息汇集到一起，并对数据进行相应的处理和动作，使公厕内的各个区块和功能区分成一个有机整体。系统包括 4 个功能模块即：1) 人流统计模块；2) 坑位智能显示模块；3) 气味检测与清除模块；4) 温湿度调节模块，此外，为了方便使用者直观了解公厕内部状况，方便管理人员管理，我们提出了一种可视化智慧公厕管理系统。

3. 系统组成模块

该系统主要组成 智能洗手手机模块，坑位智能显示模块，异味检测与清除模块以及温湿度调节模块。这些模块都会将所依附的传感器数据的采集去实时显示在我们智慧公厕管理系统的数据库中。系统组成模块如图 1 所示：

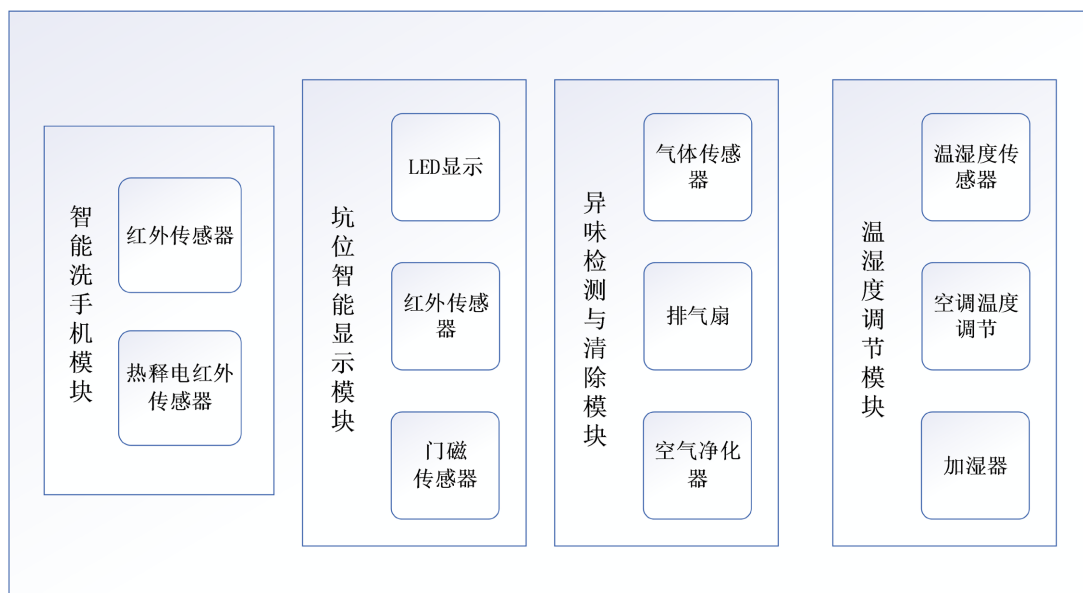


Figure 1. System composition module

图 1. 系统组成模块

智能洗手手机及人流检测模块，利用红外传感器感应人手并出液，由于红外传感器可能会出现受光线影响的异常出液可能出现的误操作的情况，对现有的设备做了两种改进。另外该模块配置热释电红外传感器进行人体的探测，基于该传感器还可以进行人流的监测，对使用洗手手机的人数进行统计，以方便管理人员及时更换耗材，并辅助整个厕所的人流量统计。

在坑位门上部署门磁传感器，在坑位拥有红外测距传感器。该模块会对坑位进行监测并进行可视化的数据的显示。

在空间内拥有异味检测与清除模块，检测到空气质量影响人员体验时，会主动使用开启空气净化器以及排气扇消除异味。

温湿度调节模块通过检测厕所内的温湿度状况，对比人体最适宜温湿度，对温湿度进行一定的调节，使得公共空间更加舒适宜人。

3.1. 智能洗手手机及人流检测模块

智能洗手手机进行出液操作通过热传感器进行人体的感应，但如果仅仅依据温度，容易出现洗手液的

误触问题。

在人员流量监测领域，对于机器视觉的应用会使得人流量的统计更加精准[7]，但公共厕所其实是一个相对隐私的环境，且对人员流量统计的精度要求没有很高，热释电红外传感器作为性价比较高的热红外探测器，目前作为门禁系统已经被广泛的应用于多种公共场所。由于热释电红外传感器[2]本身所具有的低功耗、低成本、便于安装且不涉及人体隐私等优良特性，利用热释电红外传感器实现人体目标定位且红外传感器对于人体热红外信号比较敏感。因此，我们使用热释电红外传感器作为人流统计模块的检测工具。我们同时将该传感器集成于智能洗手池中，通过统计洗手池的使用次数，辅助人员统计。同时在智能公厕的男女厕入口门口设置一个热释电红外传感器，实现使用人数的统计。热释电红外传感器[5]是利用热释电效应探测红外辐射的光接收器件，其敏感单元主要采用钽酸锂、铌酸锂等热释电材料，通过真空镀膜工艺在上下两个表面制备电极，并在上表面镀一层黑色氧化膜来提高热释电晶体的转换效率。

RE200B 型热释电红外传感器的等效电路如图 2 所示，其原理结构上传感器元件类似一个电容器，当接收到人体红外辐射时，传感元件输出电压信号极其微弱，输出阻抗极高，为了提高传感器的探测精度，在传感器内引入一个厚膜电阻和一个阻抗变换场效应管组成源极输出级，提高传感器的输出电压。

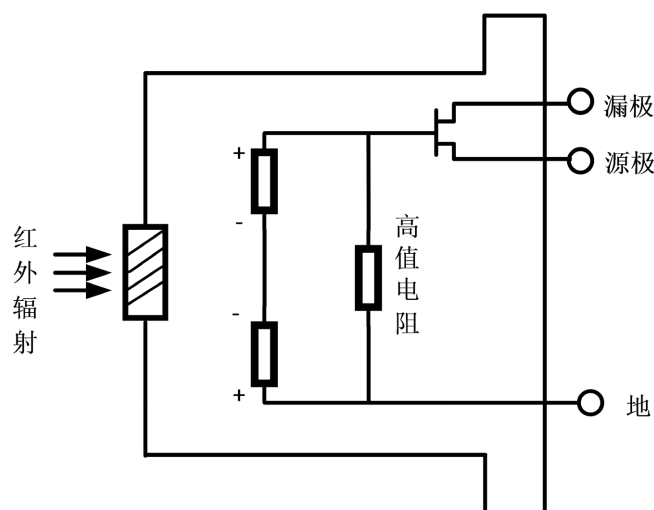


Figure 2. Circuit diagram of pyroelectric infrared sensor
图 2. 热释电红外传感器电路图

热释电红外传感器只对移动或运动的人体和与人体体温近似的物体起作用。通常情况下人体温度为 37℃，是非常好的红外线辐射源。由于人体温度和外界温度不同，两者之间持续的进行热交换，这样就为热释电传感器的检测创造了良好的条件。由普朗克法则可知，任何物体的辐射特性都遵循黑体辐射曲线。人体体温正常的时候，所发出的红外中心波长为 9~10 μm，该传感器能够检测的波长范围为 0.2~20 μm 内，其鲁棒性较强。

系统采用 HC-SR501 型热释电红外开关，它集成了 RE200B 型热释电红外传感器和 BISS0001 数模混合型传感器信号处理专用集成芯片，当有人经过时，该开关输出 3.3 V 高电平，当无人时，则输出低电平。系统通过统计开关输出高电平的次数实现人员进出的计数，从而实现人员统计。RE200B 型热释电红外传感器和 HC-SR501 型热释电红外开关如图 3、图 4 所示：

针对人流量检测系统，文中的系统通过人员计数统计以及相关情况在热释电红外传感器，对于人员的进出进行讨论，考虑到要进行人员流量的统计[8]，我们部署两个红热释电传感器进行人员进出的情况记录。

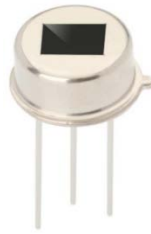


Figure 3. Pyroelectric infrared sensor
图 3. 热释电红外传感器



Figure 4. HC-SR501 type pyroelectric infrared switch
图 4. HC-SR501 型热释电红外开关

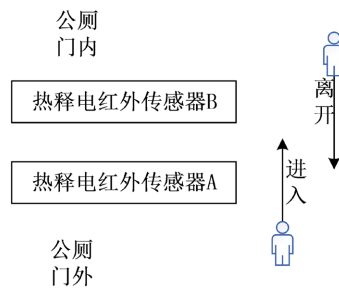


Figure 5. Human entry and exit judgment diagram
图 5. 人体进出判断示意图

人体进出判断示意图如图 5 所示。根据两路传感器的触发状态，当有人进入，目标先触及 A 传感器，此时完成计数器加 1 功能，当有人离开，目标先触及 B 号传感器，此时完成计数器减 1 功能。人流监测系统流程图如图 6 所示：

由表 1 可得，该系统对于单人的计数统计监测效果较好，基本不会出现误差。但对于一些多人并行的情况，表现稍差，因为在多人同时出现的情况出现时，会造成传感器只触发一次，后续研究可以继续对该情况进行分析讨论。

Table 1. Experimental test results
表 1. 实验测试结果

进出统计	人工统计	系统监测	误差
连续单人	40	40	0
断续单人	40	40	0
连续多人	40	37	3

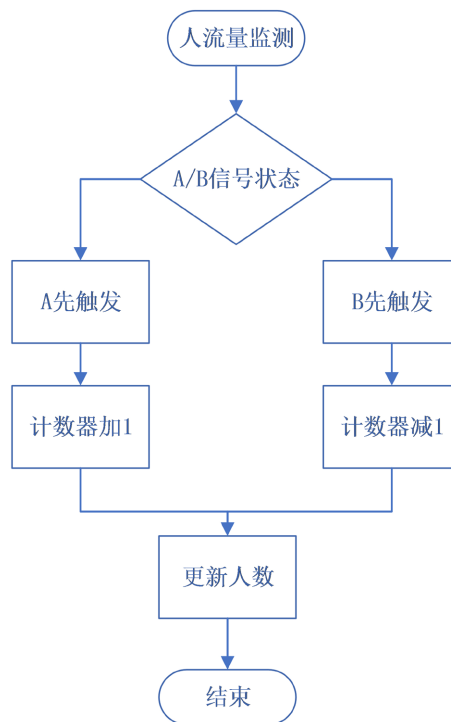


Figure 6. Flow chart of human flow detection system
图 6. 人流检测系统流程图

3.2. 坑位智能显示模块

系统使用红外线检测仪加上门磁检测技术，通过检测坑门的开合和红外测距传感器来判断坑位是否有人使用，通过红外测距结果可在男厕实现使用者如厕状态检测。将坑位状态(有人、无人)显示在每个坑位门上 LED 上，并将全部坑位状态显示在可视化界面中。通过坑位状态显示，可引导使用者快速找到空闲的坑位，在男厕显示使用状态，可让使用者更好地控制等待时间。

该部分主要依靠门磁传感器，门磁传感器的原理就是，当磁铁接近时，电线输出闭合信号，当磁铁远离时，两条电线输出开路信号。不带电线的一端装在门的顶部，带电线的一端装在门框上。当厕门关好时，两端正好重叠接近。其基本原理电路图如图 7 所示：

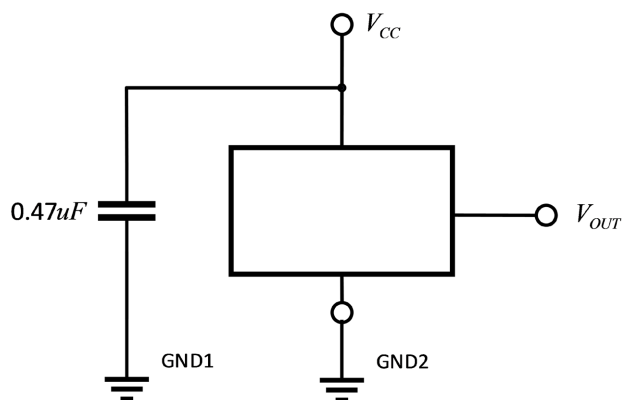


Figure 7. Door magnetic sensor basic principle circuit diagram
图 7. 门磁传感器基本原理电路图

3.3. 气味检测与清除模块

厕所臭味的来源主要是人体排泄的尿液以及粪便中含有的刺激性气味的物质，影响厕所臭味的主要气体是尿液中的尿素分解反应后产生的氨气味，但其臭味不是非常明显，而厕所中大部分臭味主要来自粪便，究其原因就是粪便在肠道的形成过程中产生，一般是由粪便排泄物经发酵代谢等作用产生的混合气体等挥发性物质引起的，由于这些物质往往是含氮，硫，氢，氧等元素的有机化合物，通过复杂的化学作用会产生氨气、硫化氢等有强刺激性气味的气体，臭味往往是这些混合气体作用的结果。

恶臭气体除造成感觉污染外，对人体呼吸、内分泌等方面也有较大危害，并可能伴随致癌风险[9]，增加疾病发生的危险性。在智慧公厕的气味检测模块只需要检测氨气和硫化氢浓度的模块即可。

通过气体传感器检测公厕中各种气体的含量，含量达到一定值时，及时进行通风以及通风程度，并适时调节空气净化器的的工作状态，同时，由于普通用户对气体浓度数值所代表的空气状态不甚了解，所以系统采用优、良好，一般、较差四个等级将相应状况显示于公厕门外可视化界面，以提醒工作人员和使用者公厕内部环境状况，方便工作人员介入人力清扫以保持公厕环境的清洁、干净。

气味检测模块使用的传感器的型号是 TGS2602，它属于金属氧化物半导体传感器，对于空气污染物，尤其是一些恶臭气体有较强的敏感性。并且其特点是造价低，寿命长，易操作。TGS2602 的工作原理是：传感器的感应元件由一个金属氧化物半导体层构成的传感芯片，与一个跟它集成在一块的加热器构成。传感器的半导体电导率随被测气体浓度的增加而增加，通过分压电路能够将这种变化，转化成相应的输出信号导出。TGS2602 气体传感器如图 8 所示：



Figure 8. TGS2602 gas sensor
图 8. TGS2602 气体传感器

3.4. 温湿度调节模块

在公厕中，最影响使用体验的除了气味，就是温湿度的状态，当环境温度在 18℃到 25℃，相对湿度在 40%到 70%时，人体感觉最舒适。所以，为了检测环境温湿度的变化，需要在公厕内安装温湿度检测装置，以便于系统即时了解温湿度状态，从而调节空调和加湿器等设备使环境温湿度到达最适宜的数值。公厕内实时温湿度状况也会同步显示在可视化界面上，以便使用者了解公厕内的温湿度状态。

本系统中温湿度检测模块采用的是数字式传感器 DHT11，该传感器是温湿度复合传感器，主要包含测湿元件和电阻式测湿元件各一个，它利用先进的数字模块采集技术和温湿度传感技术有效提高了产品的可靠性和稳定性。基本指标如下：该传感器采用全量程校准标准，校准精度高，并且其响应时间<5 s，响应时间快，低功耗，信号传输距离长，适用于公厕环境。DHT11 温湿度传感器如图 9 所示：

该温湿度传感器可以将温度和湿度复合显示，通过温湿度检测模块，检测厕所内的空气质量和温湿度，从而调节厕所内的通风度、空调温度、空气加湿器工作，相关数值显示在可视化界面中。

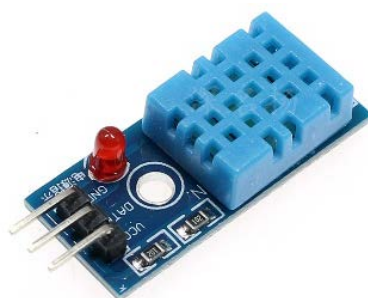


Figure 9. DHT11 temperature and humidity sensor
图 9. DHT11 温湿度传感器

3.5. 控制器模块

控制器选用意法半导体公司的 STM32，该芯片基于 ARM Cortex-M3 内核的 32 位控制器。其内部拥有 A/D 转换模块、以及高速数据处理的能力，可以满足系统对于数据的实时处理与显示的需求。STM32 主控制器如图 10 所示：



Figure 10. STM32 controller
图 10. STM32 控制器

4. 系统架构

本文通讯模块采用 ZigBee 通信模块，主要因为其稳定性好，ZigBee 是基于 IEEE 的 802.15.4 标准的低功耗局域网协议。根据国际标准规定，ZigBee 技术是一种短距离、低功耗的无线通信技术[10]。其特点是近距离、复杂度较低、自组织、低功耗。主要适用于自动控制 and 远程控制领域，可以嵌入传感器设备。方便传感器进行数据传输。

4.1. 设备拓扑图

传感器数据传输是基于 ZigBee 通信协议，传感器之间通过 ZigBee 进行数据传输，并通过大，其设备网络拓扑如图 11 所示：

数据管理平台如图 12 所示，传感器采集的数据通过设备网络拓扑中的总路由，将其数据上传到传感数据管理云平台，通过云平台进行数据的管理，并将数据可视化的展示在智慧大屏，手机 APP 端，以及 PC 端，进行多角度，多途径的数据可视化。云平台管理数据[11]，可以对数据进行安全有效，长期的保存。

通过手机 APP 进行寻找厕所，通过位置信息对于用户周边的厕所进行位置的导航，快速定位筛选厕所，使得用户第一时间查看附近厕所的距离、厕所位置的使用情况、厕内空气传感器、并提供评价窗口，真实反映用户的公厕体验。

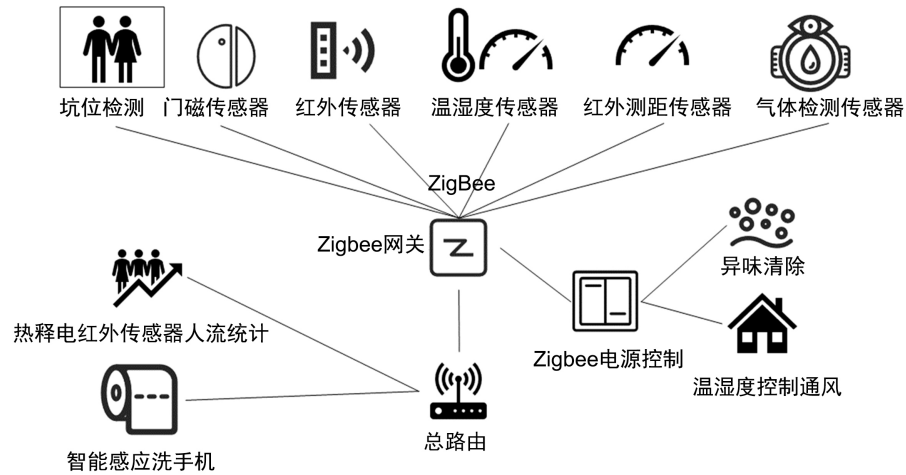


Figure 11. Device topology diagram
图 11. 设备拓扑图

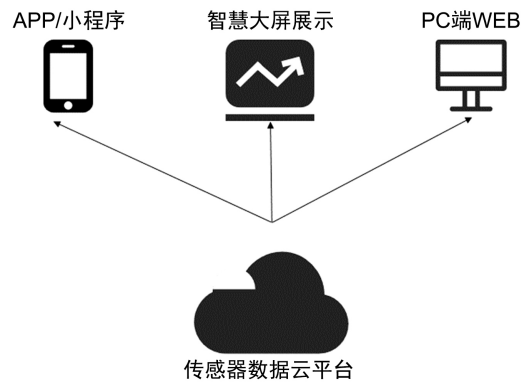


Figure 12. Data management platform
图 12. 数据管理平台



Figure 13. Visual display interface
图 13. 可视化显示界面

4.2. 智慧公厕管理系统显示界面

将厕所内信息集成在一起可视化显示，置于公厕最显眼的位置，帮助用户引导到空位，了解当前厕所内环境，温湿度，协助管理人员管理，并设有反馈系统，方便用户反馈使用情况，用户可以通过触屏进行在反馈系统上进行厕所体验的反馈的评价，协助工作人员加以改进。其可视化显示页面如图 13 所示。

5. 总结

本文提出了一种智慧公厕的解决方案，该方案融合各种传感器，进行数据监测，致力于为城市市民提供良好的公共卫生环境。本文主要针对基于热释电红外传感器的人流监测系统的设计。该人流监测系统成本较低，稳定性较高，适合低成本大范围的使用。另外，通过多种数据的检测，也有助于城市管理者进行城市公共设施的管理。科学化、数字化的管理，可以有效提升管理效率，并且可以将一些数据进行分析，基于采集的数据对公共厕所的改造提供更多的意见。后续可以利用大数据等预测技术，对于采集的数据进行更进一步地分析量化，为城市公共服务的进一步提升添砖加瓦。

参考文献

- [1] 鄢江兴. 新型网络技术发展思考[J]. 中国科学(信息科学), 2018, 48(8): 1102-1111.
- [2] 吴梅. 基于物联网智慧公厕解决方案[J]. 物联网技术, 2019, 9(8): 72-74+77.
- [3] 秦豆豆, 郭凯瑞, 李宇浩, 王美涛. 基于物联网技术的智慧公厕设计[J]. 电子技术与软件工程, 2021(15): 25-26.
- [4] 王云鹤, 王冰冰. 智慧城市视野下的智慧公厕设计探索[J]. 智能建筑与智慧城市, 2021(1): 96-98.
- [5] 李颖, 李佳, 王睿, 王坚, 韩晓松, 刘心悦. 基于物联网的公厕大数据分析[J]. 科技创新与应用, 2020(4): 38-42+44.
- [6] 张杨燚, 谢辉, 毛进, 等. 面向城市数据画像构建的多源数据需求与融合方法研究[J]. 情报理论与实践, 2020, 43(6): 88-96.
- [7] 李仁刚. 基于机器视觉技术的智慧城市人流量统计系统设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2019.
- [8] 吴勤勤, 李希才, 王元庆, 等. 基于热释电红外探测器的人体定位技术[J]. 红外与毫米波学报, 2020, 39(2): 228-234.
- [9] Zhou, J., You, Y., Bai, Z., *et al.* (2011) Health Risk Assessment of Personal Inhalation Exposure to Volatile Organic Compounds in Tianjin, China. *Science of the Total Environment*, **409**, 452-459.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.10.022>
- [10] 任秀丽, 于海斌. ZigBee 无线通信协议实现技术的研究[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(6): 143-145.
- [11] 邓志龙. 云计算背景下的数据安全研究——评《云存储安全: 大数据分析计算的基石》[J]. 中国安全科学学报, 2020, 30(9): 214.