

基于STM32的航站楼环境参数实时无线监测系统

杜 鹏

中国南方航空南阳基地, 河南 南阳
Email: myowndu@163.com

收稿日期: 2021年5月1日; 录用日期: 2021年5月26日; 发布日期: 2021年6月3日

摘 要

过程控制系统具有的大滞后性给航站楼环境控制节能带来挑战。为提高航站楼内环境控制系统能效, 开发基于STM32和Zigbee技术的航站楼环境参数实时无线监测系统。采用STM32F103ZET6微控制器制作低功耗检测节点, 为降低系统损耗灵活调整数据传输周期。在Visual Studio平台通过开辟多线程实现监测软件高效率运行。实验和应用结果表明, 该系统与固定周期数据传输系统相比, 功耗显著降低, 系统稳定性好; 在提高能效方面, CO₂浓度比温度随客流量变化更加灵敏, 延迟时间短, 可为航站楼空调系统提高能效作为参考依据。

关键词

CO₂, 温度, 监测系统, 航站楼, 节能, 检测器

Real Time Monitoring System for Environmental Parameters in Terminal Based on STM32

Peng Du

Nanyang Base, China Southern Airlines, Nanyang Henan
Email: myowndu@163.com

Received: May 1st, 2021; accepted: May 26th, 2021; published: Jun. 3rd, 2021

Abstract

Process control system is a serious delayed system, which brings challenges for environmental

quality control systems in terminal. In order to improve the energy efficiency of environmental control system, a real-time monitoring system for terminal environmental parameters is developed based on STM32 and Zigbee technology. Low consumption detector node is developed by using STM32F103ZET6 as microcontroller. The system consumption is reduced through the data transmission mechanism of changing period. Efficient monitoring software is developed by creating multi-threads on the platform of Visual Studio. The experiment and application results show that the system has a lower consumption and better network stability compared with fixed period data transmission system. In terms of improving energy efficiency, CO₂ concentration is more sensitive and has shorter delay time to the change of the passenger flow than temperature. It can be used as an important parameter to improve the energy efficiency of air conditioning system in terminal.

Keywords

CO₂ Concentration, Temperature, Monitoring System, Terminal, Energy Conservation, Detector

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

据统计,大型机场的航站楼平均能源消耗占机场能源消耗总量的 60% [1] [2]。降低航站楼能源消耗是机场节能减排的关键[3] [4]。航站楼内环境控制系统存在的大滞后性给航站楼节能运行带来挑战。随着旅客出行对方便性、快捷性、舒适性的要求越来越高,精确测量航站楼主要环境参数,缩短环境控制系统滞后性,在提升旅客出行舒适度的同时,可以逐步降低能耗,实现节能环保。

传统监测系统多采用有线通信方式,存在布线复杂、维护困难、终端节点不能灵活部署等问题[5]。因为低成本、可大规模部署节点、节点自动组网等优点,无线传感器网络开始大规模使用。如基于蓝牙的分布式温室监控系统[6],基于 GSM 的温室监测系统[7]。以上无线传感器节点多数采取电池供电方式,电池电量有限,不能长久持续供电。鉴于此,提高传感器节点能源利用率、确保系统数据低功耗传输,使监控系统长时间稳定工作成为研究热点。

为解决现实存在的难题,根据 ZigBee 技术,使用 STM32 微控制器设计无线实时监测系统,实现机场航站楼内主要环境参数实时测量。根据碳浓度、温度等参数随旅客量变化,检测航站楼内碳浓度和温度,系统自动分析数据,优化航站楼内空调控制系统,不断降低能耗,实现节能目标。

2. 系统架构设计

本系统包括检测器节点、路由节点、协调器节点和上位机。航站楼环境参数:CO₂ 浓度、温度等由检测器节点采集后发送至路由节点。寻找、建立以及修复路由信息由路由节点完成,并向协调器发送数据包。协调器在 Zigbee 网络中负责网络的建立和配置,接收路由节点的数据并通过串口 RS232 与上位机通信[8]。上位机通过监测软件对采集数据进行存储、显示、分析,进行节点管理、历史数据查询。系统架构见图 1。

3. 检测器节点设计

检测器节点主要由电源部分、传感器部分、微控制器和无线模块等组成[9]。检测器节点设计见图 2。

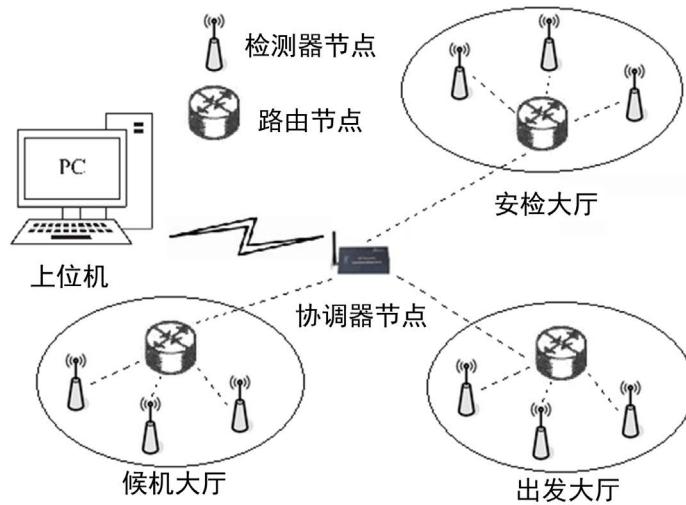


Figure 1. System architecture diagram
图 1. 系统架构图

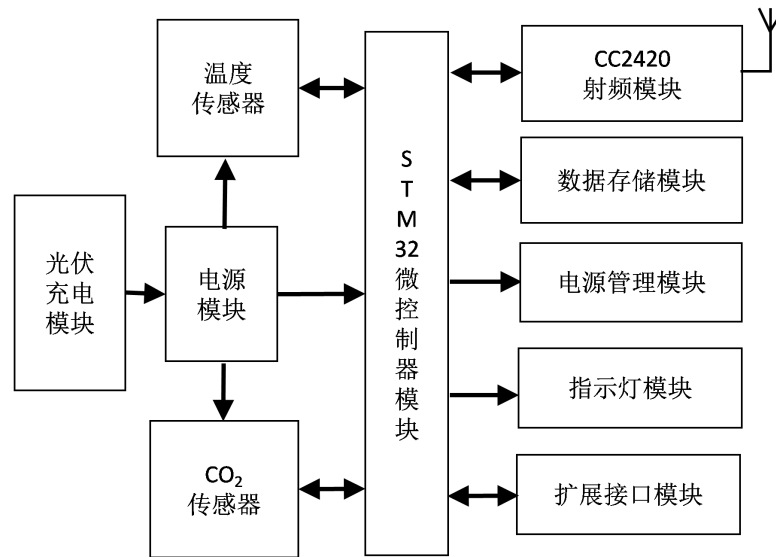


Figure 2. Design of detector node
图 2. 检测器节点设计图

3.1. 光伏供电和可控电源部分

监测系统需要在航站楼内长时间运行，当采用普通电池供电，电量耗尽后会造成检测器节点停止工作。经常更换检测器的电池将会提高维护成本。航站楼多采用屋顶镂空设计，因此设计太阳能电池板在阳光充足时给锂电池供电[10]，锂电池给检测器节点供电，可保证检测器长时间工作。

微控制器通过可控电源模块 RT9167/A 芯片控制锂电池仅在系统采样时向传感器等部件供电。在两个采用周期之间，通过关闭传感器等模块的电源实现降低检测器能耗[11]。

3.2. 二氧化碳浓度传感器和温度传感器

选用 COZIR-AX-5000 型号 CO₂ 浓度传感器和 DS18B20 温度传感器作为检测器节点的主要传感器。该型号 CO₂ 浓度传感器测量范围为 0~5000 ppm，测量误差小于 ±10 ppm。DS18B20 测温范围大，在 -55℃

到+125℃之间，精度为正负 0.5℃，优点有：精度高、体积小等。以上传感器均满足航站楼环境监测需求。

3.3. 微控制器变周期数据传输机制设计

作为检测器节点的控制核心，微控制器负责控制各模块协调工作，其主要功能有：加入网络、环境参数检测、数据存储、数据分析后传输、接收指令等。微控制器接收指令后进入中断程序，主要实现的功能有：传输已采集的数据、参数设置、同步时间等。微控制器计算本周期数据与前一周期数据差值，差值在设置范围内则本次采集数据保留，差值大于设置范围则发送本次采集数据。当上位机收到数据时，实时显示数据；当上位机未收到本周期数据时，判定为环境参数未超出设置范围，显示前一周期数据；从而实现降低数据传输造成的能耗。检测器节点工作原理见图 3。

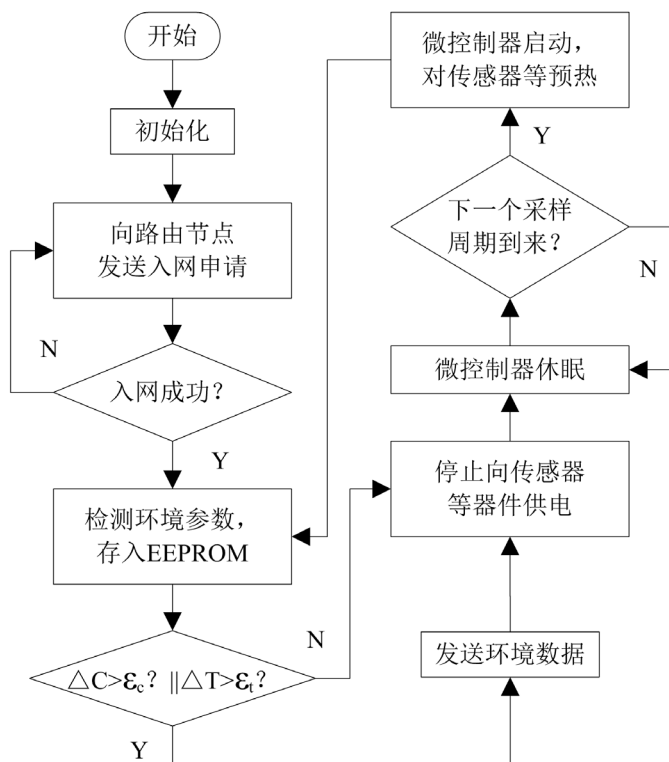


Figure 3. Operating principle of detector node
图 3. 检测器节点工作原理

图 3 中， ΔC 表示本周期 CO_2 浓度与上一周期 CO_2 浓度差值， ΔT 表示本周期温度与上一周期温度差值。系统初始化后，直接发送首个周期检测到的数据，不进行判断。 ϵ_c 和 ϵ_t 表示航站楼内 CO_2 浓度和温度设定的参数变化阈值。

为确保检测器能够顺利实现上述功能，选择 STM32F103ZET6 作为微控制器[12]。它具有 SPI 接口，能够满足无线通信需求。且 STM32F103ZET6 具有休眠模式，在两个采样周期之间进入休眠状态可以降低检测器功耗。因此，该款微控制器十分适用于实时监测系统[13] [14] [15]。检测器实物见图 4。

系统无线传输模块选用 CC2420 射频模块，它符合 2.4 GHz IEEE802.15.4 协议规范，是广泛应用与无线网络汇总的低功耗、低电压的射频收发芯片。CC2420 通过 SPI 接口与微控制器进行数据读写、指令收发等通信。



Figure 4. Picture of the detector
图 4. 检测器实物图

4. 高效率监测系统软件设计

监测系统软件设计主要指上位机用户监测软件设计。选用基于微软 Visual Studio 平台的 C#语言进行监测系统用户界面软件开发。Visual C#具有功能强大的用户开发环境，提供很多方便应用开发的工具，可以大大提高软件开发效率[16]。

上位机监测系统软件设计主要有：实时数据显示功能和历史数据查询功能。实时数据显示功能包括：接收环境数据、分析数据、存储数据，通过图像和表格等多种形式实时、直观地显示航站楼中 CO₂ 浓度和温度等环境参数，还可通过操作按钮向节点发送指令。历史数据查询功能根据用户选择的日期和检测器节点读取历史数据并显示。

考虑到上位机接收数据时，如果仅采用单个线程，用户进行查询历史数据时，会造成数据接收延误，甚至数据丢失。为确保监测软件在查询历史数据的同时也可以实时接收数据，通过开辟新的线程实现历史数据查询功能。从而实现两个主要功能同时运行而不受彼此影响，保证上位机监测系统高效、快速运行。

5. 监测系统实验及应用

选取天津滨海国际机场 T2 航站楼作为监测系统实验及应用场所。

5.1. 系统部署

将监测系统部署在天津滨海国际机场 T2 航站楼出发大厅。分别在 E、F、G、H 四个值机岛分别布置 10 个检测器节点，检测出发大厅环境参数。每个值机岛布置一个路由节点，整个系统设置一个协调器节点，上位机使用一台电脑运行监测软件实现功能。每个检测器的基本采样周期设置为 5 min， ε_c 设置为 15 ppm， ε_t 设置为 0.5℃。为进行对比实验，部署第二套相同硬件的上述设备，设置其为固定周期传输数据。

5.2. 监测系统性能实验

在天津滨海国际机场 T2 航站楼出发大厅进行主要环境参数采集，根据采集过程中系统能耗和系统稳定性进行性能分析。

5.2.1. 检测器节点能耗测试

系统正常运行时，检测各模块功耗，结果见表 1。

Table 1. Power consumption statistics of each module
表 1. 各模块功耗统计表

模块	平均功耗(mW)
CO ₂ 传感器	3.5
温度传感器	3.3
CC2420 无线射频模块	57.4

根据表 1 得出：功耗最大的模块是无线射频模块，检测器能耗与发送数据量呈正比。实验期间，统计 31 天中两种模式(传统固定周期传输和变周期数据传输)下数据传输字符总长度，统计结果见图 5。

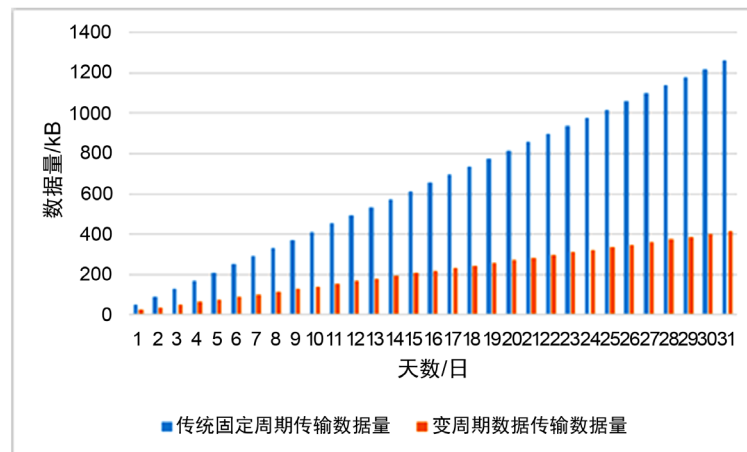


Figure 5. Comparison of total data character length
图 5. 数据字符长度累加对比图

实验结果显示：采用变周期传输模式比传统固定周期传输模式节能 67.22%。变周期传输模式中监测系统传输数据总量大大小于传统传输模式，显著降低功耗。

5.2.2. 系统稳定性测试

为验证监测系统稳定性，采用变周期传输模式传输一组数据，重复 30 次，纪录上位机监测软件接收情况。对照组采用传统固定周期传输模式进行相同数据传输，系统稳定性测试结果见图 6。

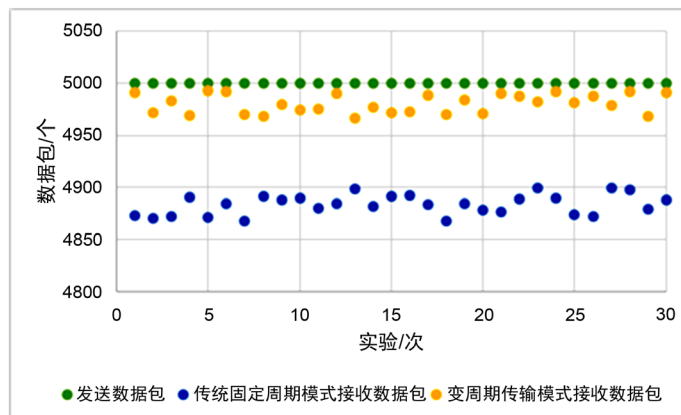


Figure 6. Result of system stability test
图 6. 系统稳定性测试结果

分析上位机接收数据结果，传统固定周期传输模式下，所有检测节点相同周期发送数据造成数据传输网络堵塞，数据丢失率为 2.3%。变周期传输模式下，避免重复数据传输，减小网络负荷，大大降低数据丢失率，数据丢失率仅为 0.49%，数据传输稳定性好，系统更加可靠。

5.3. 监测系统在航站楼中的应用

监测系统在航站楼中的应用主要包括：根据监测系统采集的数据，结合出发大厅内旅客量，进行参数延迟时间和变化率分析，可以为旅客提供舒适环境，并对提高环境控制系统能效提供参考依据。

5.3.1. 出发大厅内环境参数分析

出发大厅 E、F、G、H 四个值机岛中，H 值机岛代理航空公司数量占机场运营航空公司总数的 60%，因此选择布置在 H 值机岛 H06 节点检测的环境数据进行分析[17]。使用监测软件通过历史数据查询功能，读取 H06 检测器节点内存储在 EEPROM 中的数据，读取 3 月 31 号 CO₂ 浓度和温度数据，如图 7 所示。

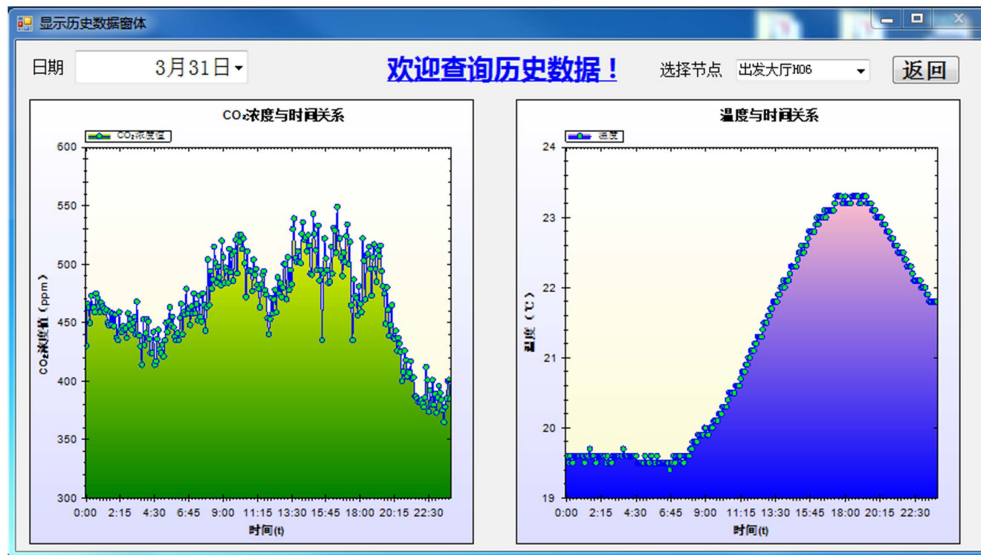


Figure 7. Curve: environmental parameters in departure hall
图 7. 出发大厅内环境参数曲线

根据图 7 可以看出，当日 CO₂ 浓度参数曲线主要出现四个波峰，分别在 10:00、14:55、16:30 和 18:10 达到峰值 525 ppm、543 ppm、549 ppm 和 522 ppm。CO₂ 浓度值小于中国《室内空气质量标准》国标 GB/T18883-2002 中规定的 CO₂ 室内空气质量标准 1000 ppm，航站楼内空气质量良好。但温度参数曲线仅存在两个波峰，在 17:20 达到主峰值 23.3℃，在 18:54 达到次波峰 23.2℃。监测上述指标，当 CO₂ 浓度高于室内空气质量标准，或者温度过高(过低)时，会给旅客带来不适，可以通过空调系统增加新风量降低 CO₂ 浓度，调节空调供冷(或供暖)来优化航站楼内环境质量。

5.3.2. 出发大厅内客流量分析

为分析 CO₂ 浓度、温度随旅客变化规律，对出发大厅内客流量进行统计、分析。根据 Gamma 分布规律将相同时间段内每个航班旅客到达数量累加，取 Gamma 分布下形状参数为 3.87，尺度参数为 3.6，计算出出发大厅内旅客数量[18]。设出发大厅内旅客计算周期为监测系统固定采样周期 5 分钟。考虑旅客办理值机手续、托运行李等时间，旅客在出发大厅内平均停留时间为 20 分钟[19]。根据 3 月 31 号航班计划离港信息可以得到 T2 航站楼出发大厅内旅客数量见图 8。

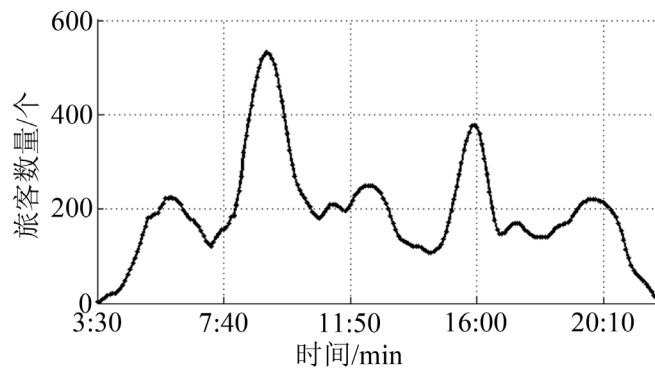


Figure 8. Number of passengers in departure hall
图 8. 出发大厅内旅客数量

根据图 8 可知：当日出发大厅中旅客最早到达和最晚离开的时刻分别是 3:30 和 22:05。当日旅客数量变化曲线图共存在五个主要波峰，其中在 8:50 达到当日旅客最大峰值 532 人，在 15:50 达到当日第二个峰值 378 人[20]。

5.3.3. 延迟时间分析

结合客流量曲线图及监测系统采集的环境数据，分析 CO₂ 浓度和温度随旅客量变化存在的延迟时间。分析 3 月 31 号客流量开始增加的时刻、当日主波峰、次波峰时刻环境参数的延迟时间见表 2。

Table 2. Analysis of delay time
表 2. 延迟时间分析

时刻	客流量/个	客流量状态	CO ₂ 响应时刻	CO ₂ 延迟时间 /min	温度响应时刻	温度延迟时间 /min
3:30	1	开始增加	4:30	60	6:40	190
8:50	532	主波峰	10:00	70	17:20	510
15:50	378	次波峰	16:30	40	18:54	184

根据表 2 可知：CO₂ 浓度随客流量变化的平均延迟时间为 57 min，温度随客流量变化的平均延迟时间为 295 min。CO₂ 浓度参数随客流量变化响应更快，比温度参数对客流量变化延迟时间缩短 5.2 倍，CO₂ 浓度参数对客流量变化更加灵敏。

5.3.4. 参数变化率分析

客流量在 19:20 时达到当日第五个波峰 200 人后逐渐减少，为掌握环境参数每个周期的变化情况，监测系统采用传统固定周期采集出发大厅环境参数，数据见表 3，根据表 3 数据详细分析 CO₂ 浓度和温度数据变化规律。

Table 3. Environmental parameters in departure hall
表 3. 出发大厅环境参数

时间	温度/°C	温度变化率/%	CO ₂ /ppm	CO ₂ 变化率/%
19:20	23.3		516	
19:25	23.2	0.43	494	4.26
19:30	23.2	0.00	481	2.63

Continued

19:35	23.2	0.00	475	1.25
19:40	23.2	0.00	449	5.47
19:45	23.1	0.43	480	-6.90
19:50	23.1	0.00	461	3.96
19:55	23.1	0.00	439	4.77
20:00	23.0	0.43	448	-2.05
20:05	23.0	0.00	465	-3.79
20:10	23.0	0.00	437	6.02
20:15	23.0	0.00	436	0.23
20:20	23.0	0.00	443	-1.61
20:25	22.9	0.43	426	3.84
20:30	22.9	0.00	437	-2.58
20:35	22.9	0.00	432	1.14
20:40	22.8	0.44	425	1.62
20:45	22.8	0.00	400	5.88

根据表3可知:温度和CO₂均伴随客流量减小而逐渐降低。其中温度平均值为23℃,降低速率为0.13%;CO₂浓度平均值为452 ppm,降低速率为1.40%,CO₂浓度降低速率是温度降低速率的10.77倍,CO₂浓度随客流量变化更迅速。

6. 结束语

本文开发基于STM32和Zigbee技术的航站楼环境参数实时无线监测系统,完成变周期数据传输检测器节点的开发,在监测软件界面可以实时了解航站楼内环境参数。通过实验和航站楼实际应用,得出如下结论:

- 1) 与传统固定采样周期系统相比,变周期数据传输系统降低超67%的能耗,数据丢失率小于0.5%,系统更加可靠,功耗显著降低。
- 2) 监测系统在航站楼应用过程中,能够稳定、准确监测内CO₂浓度和温度环境参数。CO₂浓度参数比温度参数对客流量变化延迟时间缩短5.2倍,且CO₂随客流量变化速率为温度变化速率的10.77倍。CO₂浓度对客流量变化更加灵敏,显著降低航站楼内环境控制系统滞后性,可以作为航站楼环境控制系统提高能效的一项重要参数。
- 3) 通过检测CO₂浓度,可以实时掌握旅客量变化情况。当旅客量逐渐增多时,提前向航站楼内增加新风量、进行温度调节。当旅客数量减小时,逐渐减小新风量和空调系统运行功率,可显著减低航站楼空调系统能耗。

参考文献

- [1] 柴秀宇. 建筑暖通空调节能优化设计方法探微[J]. 科技创新导报, 2015, 12(26): 87-88.
- [2] 童灿. 深圳宝安机场T3航站楼智能化优化集成设计[J]. 安全&自动化, 2012(4): 116-117.
- [3] 金德雄, 朱孝良. 机场航站楼能耗预测的灰色马尔可夫方法[J]. 资源节约与环保, 2016(7): 11, 13.
- [4] 忻奇峰, 茆贻. 机场航站楼运行节能绩效评价方法[J]. 资源节约与环保, 2016(7): 9-10.

- [5] 袁佳, 焦志曼, 余建波. 基于 Internet 和 ZigBee 的制造车间分布式远程监测系统[J]. 机械制造, 2014, 52(8): 70-74.
- [6] 魏兆宝. 基于蓝牙技术的温室环境监测系统设计[J]. 民营科技, 2016(1): 226.
- [7] 周光发. 基于 GSM 的温室监控系统[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(26): 13173-13175.
- [8] 陈静杰, 顾泽龙, 陆道溢. 航站楼环境参数分布式监测系统设计[J]. 电子器件, 2018, 41(6): 1532-1537.
- [9] Chen, J., Du, P. and Ren, D. (2016) A Sort of CO₂ Concentration Monitoring System Based on Energy Efficiency for Terminal. 2016 *Chinese Control and Decision Conference*, Yinchuan, 28-30 May 2016, 6814-6817. <https://doi.org/10.1109/CCDC.2016.7532225>
- [10] Wang, D., Agrawal, D.P., Toruksa, W., Chaiwatpongsakorn, C., Lu, M. and Keener, T.C. (2010) Monitoring Ambient Air Quality with Carbon Monoxide Sensor-Based Wireless Network. *Communications of the ACM*, **53**, 138-141. <https://doi.org/10.1145/1735223.1735257>
- [11] 甄成方. 无线传感器网络声目标定位中能耗控制技术研究[D]: [博士学位论文]. 太原: 中北大学, 2016.
- [12] 徐洋, 马跃. STM32F103 系列微控制器在应用编程技术研究[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2013, 13(8): 35-37, 40.
- [13] 唐定兵, 高晓丁, 薛世润. 基于 STM32F103ZET6 的开放式数控运动控制系统[J]. 机电工程, 2014, 31(8): 1062-1066.
- [14] 李路遥, 王志新, 邹建龙. 采用 STM32F103ZET6 的移动应急照明电源人机交互系统设计[J]. 电源技术, 2014, 38(4): 697-699.
- [15] 石含飞, 何勇灵. STM32F103ZET6 单片机的叉车式 AGV 的寻迹算法[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2016, 16(1): 33-36.
- [16] 高利业, 杜艳丽, 查红艳, 严惠民. 便携式拉曼光谱仪嵌入式应用程序的设计[J]. 计算机工程与设计, 2013, 34(12): 4172-4177.
- [17] 杜鹏. 航站楼非平稳碳浓度调节系统研究与设计[D]: [硕士学位论文]. 天津: 中国民航大学, 2017.
- [18] 刘浩. 基于 Anylogic 的航站楼旅客离港业务流程仿真研究[D]: [硕士学位论文]. 广汉: 中国民用航空飞行学院, 2016.
- [19] Chiu, C.-Y. and Michaelwalton, C. (2003) Impact of New Large Aircraft on Passenger Flows at International Airport Terminals. No. 78712, Southwest Region University Transportation Center for Transportation Research University of Texas, Austin, 20-120.
- [20] 陈静杰, 杜鹏, 陆道溢, 顾泽龙. 基于数据驱动的航站楼碳浓度控制系统设计及应用仿真[J]. 机床与液压, 2017, 45(12): 57-64.