

博物馆微环境保护系统通信设计与实现

吴健, 张阳, 徐悦, 张辉

(合肥工业大学 仪器科学与光电工程学院, 合肥 230009)

摘要: 博物馆内展柜数量众多, 且展柜中用于监测微环境的传感器和仪器类型也种类繁多, 使用数字化设备集中监控展柜微环境各项参数是趋势; 设计无线网关, 收集展柜内各仪器和传感器测试数据, 再转换成无线数据对外发送, 统一了展柜内传感器和仪器对外数据交换方式; 再以 C/S 架构为基础, 使用基于优先队列的通信代理机制, 集中管理通信消息, 并通过堆有序对优先队列进行优化, 实现了服务器在系统中的通信调度功能, 解决了文物保护系统中因保护需求多样化导致的通信方式难以兼容的问题, 取代了原有的依靠人工巡检来核查微环境保护数据的繁琐工作, 提升了效率和稳定性; 实践证明, 该系统在北京故宫等博物馆运行正常, 通信功能稳定, 可靠性好, 满足博物馆微环境保护需求。

关键词: 微环境保护系统; RS485; WiFi; 通信机制; 优先队列

Design and Implementation of Communication Mechanism for Museum Micro—Environment Protecting System

Wu Jian, Zhang Yang, Xu Yue, Zhang Hui

(School of Instrument Science and Opto—electronic Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: There are a large number of showcases in the museum, there are also various types of sensors and instruments for monitoring the micro—environment in the showcases. The use of electronic equipment to centralize monitoring micro—environment parameters is the trend. A wireless gateway was designed to unify the showcase external data exchange: It collect the communication data of each instrument and sensor in the showcase, and then it converts RS485 data to wireless data to send out. The priority queues based communication agent mechanism also play an important role to achieve communication dispatching function of the C/S architecture system. It realized centralizing management of communication messages, then using heapsort algorithm optimizes priority queues. Through using those methods, the dispute of incompatible communication problems caused by diversified demands in micro—environment protection system settled. And it replaced the original rely on manual inspection to verify the micro—environment protection data, improved efficiency and stability. Practice has proved that the system works well in many museums like the Imperial Palace, and the system communication mechanism is stable and reliable, which can better meet the needs of the museum micro—environment protecting demands.

Keywords: micro—environment protecting system; RS485; WiFi; communication mechanism; priority queue

0 引言

博物馆是人类历史文明的一种存储方式, 是人们了解历史的窗口。博物馆文物展览时, 展柜微环境系统中温度、湿度、光照、紫外线强度以及有害气体均会破坏文物化学成分, 造成无法逆转的文物损伤^[1]。为了更好开发和利用文物中蕴含的信息资源, 应保护好作为以物质形态形式存在的各种文化遗迹。目前大多数博物馆文物微环境监测主要依靠人工巡检, 定期读取展柜内的环境数据, 再根据数据开启和设置微环境调节设备。传统的人工巡检方式繁琐不便利, 易漏检、误操作, 信息交换不及时。博物馆文物微环境监测即利用数字传感器和仪器设备对博物馆展柜

内文物所处微环境进行集中化测量、预警和调节^[2-3], 使文物能长久地为人类文明的发展服务。本文提出了一种博物馆微环境监测平台中实时通信系统: 在展柜内使用无线网关与各种类型仪器设备交换数据, 统一对外通讯方式; 在服务器端使用基于优先队列的通信代理机制, 对通讯调度进行优化。实现监测平台中服务器与展柜自动、高效交换数据的目的。

1 博物馆微环境保护系统架构

博物馆展览区域一般分为多个展厅, 单个展厅内包含多个展柜, 博物馆文物微环境监测系统采用 C/S 架构, 服务器与客户端(展柜)通过局域网络进行 WiFi 通信。系统架构如图 1 所示。

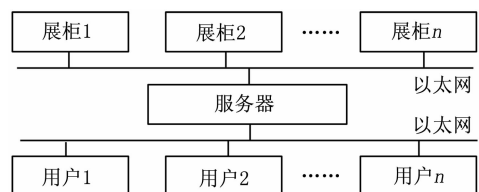


图 1 博物馆文物微环境保护系统架构

收稿日期:2017-12-11; 修回日期:2018-01-15。

基金项目:安徽省科技成果转化及产业化重点项目(IMICZ2015004)。

作者简介:吴健(1992-),男,安徽安庆人,硕士研究生,主要从事仪器及测控系统设计方向的研究。

张辉(1963-),男,江苏海门人,教授,博士生导师,主要从事环境检测技术与系统的研究。

用户可通过访问服务器查看实时监测数据,或针对保护需求下达环境控制指令。服务器运行通信调度软件,负责博物馆微环境保护系统的所有通信功能,并将数据保存至本地数据库中;展柜内放置传感器、仪器等环境控制设备和网关,传感器、仪器用于测量微环境各种物理数据,以及调节和净化展柜微环境,网关负责收集展柜中各仪器、传感器数据,并与服务器进行无线通信。

通过对各展柜进行组网连接,形成博物馆微环境网络化、系统化、集中化监测控制,实现信息化监测管理。系统通信参数要求为:

1) 通信展柜节点最大容纳数量不低于 800。实际应用中,博物馆展柜数量一般为 50~500,考虑到冗余设计要求,系统能接入的展柜节点数量应达到 800。

2) 服务器轮询周期为 15 min,且用户控制指令时延小于 2 s。微环境物理量变换速度相对平缓,例如展柜温湿度,一般半小时内只会产生微小幅度的变换,根据文物保护装备标准^[4],监测终端的通信周期应小于 30 min,轮询周期设置为 15 min 满足要求,可实现对微环境的全面监测。由用户发出的调控指令不可被长等待延时,否则人工调控将变得缓慢滞后,用户指令需即时送达指定展柜,时延小于 2 s。

3) 通信可靠程度高,文物保护装备标准要求监测终端的通信失败率不大于 0.3%^[4]。

2 通信方式

系统使用无线 WiFi 通信,博物馆内无线 WiFi 局域网络所能覆盖区域的展柜和用户均可接入文物微环境保护系统。服务器和展柜、服务器和用户均通过 TCP^[5]交换数据。图 2 为博物馆微环境监测系统网络连接示意图。

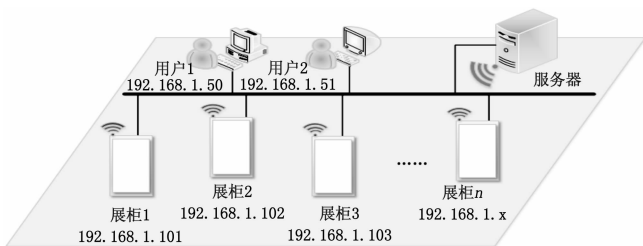


图 2 博物馆微环境监测系统网络连接示意图

平台中所有展柜、服务器、用户处于同一局域网环境中。所有展柜内均含有通信收发装置,并设有固定 IP 地址。例如,图 2 所示展柜 1、2、3 的 IP 分别为 192.168.1.101、192.168.1.102、192.168.1.103,服务器根据指定 IP 主动连接各个展柜进行通信:服务器主动握手连接 192.168.1.101 所代表的展柜 1,成功交换数据后,服务器断开与展柜 1 的连接,展柜 1 的数据获取完成;服务器再通过 192.168.1.102 连接展柜 2,完成数据交换后,再依此类推逐个连接其他展柜并交换数据。成功获取监测数据后,服务器将微环境数据信息整理、汇总并存入数据库中。

服务器与展柜采用轮询机制:将服务器设为 TCP 的

client 端,展柜设为 TCP 中的 server 端,通信连接主动权在服务器方,服务器同一时间只和一个展柜进行数据交换,逐个展柜交换数据。将展柜的 IP 输入服务器中,服务器将该 IP 对应的展柜纳入系统,服务器在合适的时刻根据 IP 主动 TCP 连接对应展柜,完成数据交换后,服务器断开与展柜的 TCP 连接,该次通信完成。

用户通过终端设备访问服务器,随时调取微环境监测数据和分析统计图表了解系统监测状态;用户还可通过终端来控制设备仪器运转:向展柜下达用户控制指令,对微环境参数进行调整,控制指令经由服务器转达至目标展柜的仪器中。

博物馆微环境保护系统中,服务器与客户端(展柜)之间的通信内容主要分为两类:

1) 定时通信:服务器采集展柜内微环境监测数据。服务器按照用户设置的周期时间与展柜进行通信,采集展柜内文物微环境监测数据信息。

2) 随机通信:服务器控制展柜内仪器运行状态。用户通过界面输入控制指令调整展柜内的微环境状态,服务器需及时将用户指令发送给对应的展柜,实现对展柜内仪器运行状态的控制。

3 展柜通信功能设计与实现

3.1 展柜内通信架构

展柜中仪器和传感器种类随着展柜中所存放文物种类的不同而改变。例如纸质书画类文物需要测量温湿度、光照、紫外线等物理量,而对于铜器等金属物质需要测量有害气体的浓度,并及时净化气体,抑制氧化还原反应。RS485^[6-7]总线具有较好的扩展性,节点数量可灵活调整。将展柜内数量、种类不固定的仪器和传感器通过 RS485 连接通信,灵活度高,实现简单。

如图 3 所示,仪器和传感器连接至网关,网关一端具备 RS485 通信能力,另一端具备 WiFi 传输功能。网关接收来自服务器的无线数据,再将数据转成 RS485 数据传输至传感器和仪器,同理,仪器和传感器发送的数据由网关完成 RS485 到 WiFi 的转换后传输至服务器。

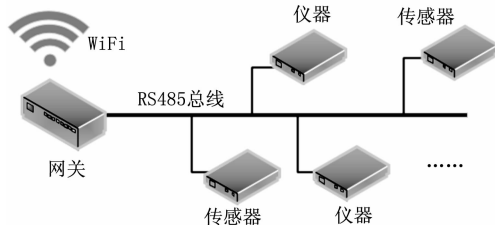


图 3 展柜内通信架构

3.2 RS485 通信

系统选用 MAX487 芯片完成 RS485 通信接口功能设计。该器件的主要作用是将 MCU 的 TTL 电平通信信号转换为 RS485 通信电平信号。MAX487 芯片内部含驱动器和接收器,使用方式较简单。RO 引脚是接收器的输出端,DI

是驱动器的输入端, 将二者分别与单片机的 RXD 引脚和 TXD 引脚相连。RE 和 DE 端分别为接收和发送的使能端, RE 低电平时处于接收状态, DE 高电平时处于发送状态。MAX487 工作在半双工状态, 所以可使用 MCU 的一个 I/O 控制器件的数据收发方向。A、B 引脚是数据接收与发送的差分信号引脚端, 当 A 引脚的电平高于 B 时, 发送的数据为 1; 当 A 的电平低于 B 端时, 发送的数据为 0。此外, 在 A 引脚和 B 引脚之间应加匹配电阻, 一般阻值可选 120 Ω, MAX487 及其外围器件电路原理如图 4 所示。

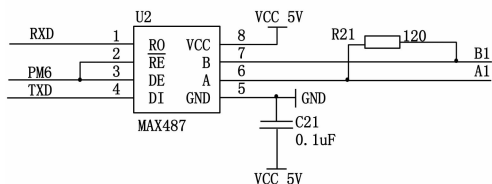


图 4 MAX487 及其外围器件原理图

3.3 无线网关设计

无线网关选用 16 位汽车级 MCU 芯片 MC9S12XS128, 该器件包括 16 位中央处理单元, 2 个异步串行通信接口 (SCI), 一路用于扩展 RS485 通信, 一路用于扩展无线 WiFi 模块。如图 5 所示, MAX487、无线模块与 MCU 的两路 SCI 相连。

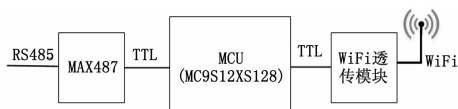


图 5 无线网关设计

无线通信选用 HX-M02 WiFi 无线透传模块, HX-M02 WiFi 是基于 UART 与 SPI 接口的符合 WiFi 无线网络标准的嵌入式模块, 内置无线网络协议 IEEE802.11 以及 TCP/IP 协议栈, 能够实现用户嵌入式设备数据到无线网络之间的转换。

4 服务器通信功能设计与实现

4.1 单点通信功能设计与实现

仅一个展柜时, 服务器与展柜通信流程如图 6 所示。

用户的控制指令的优先级高于定时采集监测数据指令, 服务器启动定时器后, 先判断用户是否对仪器运行状态进行控制。若用户申请控制, 则先执行该控制指令, 直至无用户申请控制; 然后判断采集监测数据事件定时时间是否已到, 时间到则执行采集监测数据指令, 否则继续查询是否有用户申请控制, 直至定时时间到, 一个周期的单点通信功能完成。

实际通信过程中, 通信质量受限于传输距离、传输介质等影响出现传输不稳定的现象, 通信成功率不可能为 100%, 为此设计通信等待和通信失败重试机制。服务器通信等待和重试流程如图 7 所示。

服务器与展柜连接成功后即发送通信指令, 在通信状

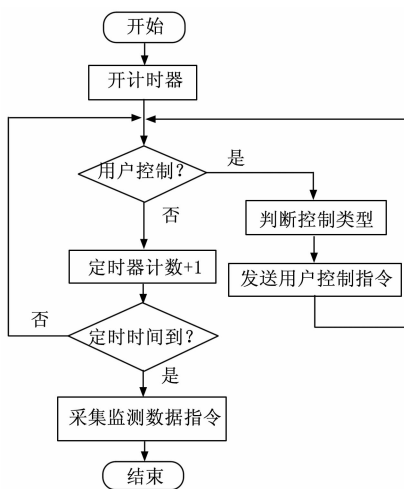


图 6 单点通信流程

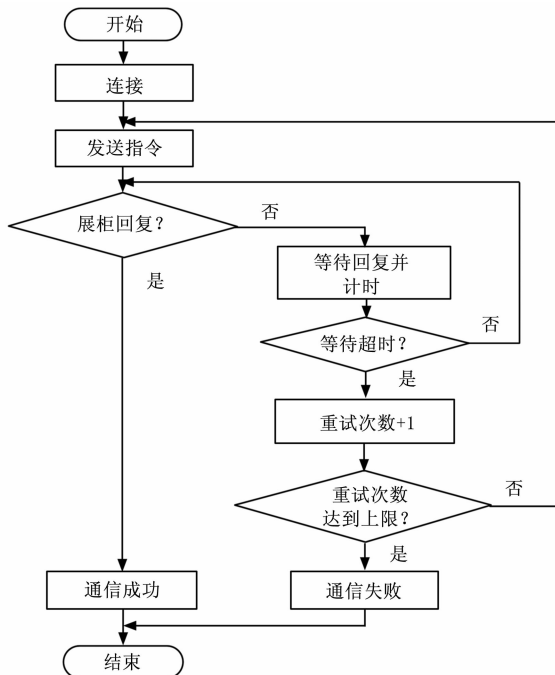


图 7 通信等待与重试流程

态良好的情况下, 展柜会立即回复服务器数据, 通信成功。如果通信不畅, 服务器发出相应指令后等待指定时间, 展柜未能回复, 服务器判定该次通信超时, 启动重试, 再次连接该展柜并发送相同指令。经过指定次数的通信重试后, 服务器仍未能获取正确数据, 将判定通信失败。经过反复试验, 发现重复次数上限设定为 3 次最合适, 既能改善通信干扰导致的通信失败问题, 又避免由于无线网关等设备故障导致的服务器反复无意义重试。

4.2 多点轮询通信代理机制

多展柜接入系统时, 要求服务器能尽快响应用户的操作, 并且保持与各展柜轮询的节拍, 保证所有通信功能完整。

多点接入系统时与单点时通信机制略有差别: 图 6 所

示单点通信流程不能完全适用于多点通信，例如，用户可能会在服务器与展柜 1 交换数据时请求控制展柜 2，此时服务器应优先相应用户请求，暂缓与展柜 1 的连接，优先去连接展柜 2，而不能仅仅判断自身的定时时间是否已到。

微环境监测系统通信时：采集监测数据指令对时间响应要求不高，可延迟执行；用户的控制指令对时间响应要求较高，需要立即执行。基于此，对系统所有可能的通信消息进行优先级分类，并按优先级由高至低的顺序排列形成通信消息队列，再按顺序逐个处理队列中的通信消息^[8-10]。

系统采用图 8 所示基于通信代理机制的服务器通信调度模型，该机制中包含一个通信线程和通信消息优先级排序线程。通信线程执行图 7 所示流程，优先级排序按照指定顺序将所有通信消息进行排列，供通信线程取用。

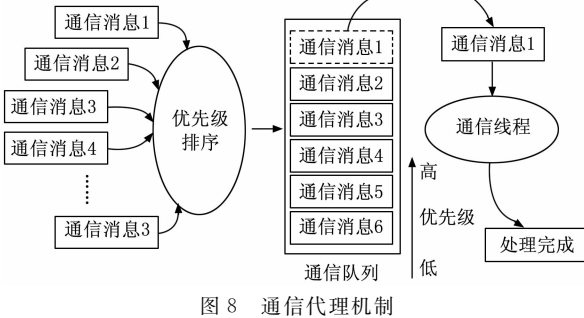


图 8 通信代理机制

通信代理机制的主要功能是采用一个独立通信线程对通信消息进行集中管理与处理。当一个通信消息被加载进来后，触发优先级排序，将新的通信消息插入通信队列；通信线程每次取出一条优先级最高的通信消息进行处理，处理完成后删除该消息并检查通信队列是否为空，如不为空则继续取出当前优先级最高的消息进行处理，直至队列为空。

通信代理机制主要有两个功能模块：维护通信队列和处理通信消息，两个模块之间的纽带是通信消息组成的队列：

1) 维护通信队列模块确保消息队列始终有序。该模块执行流程清晰简明：如图 9 所示，将新生成的通信消息插入队列中，队列长度变化，重新排序；每完成一次通信后删除一条消息，并再次重新排序^[11-12]。

2) 处理通信消息模块负责通信和删除通信消息。该模块执行流程如图 10 所示：每次取出优先队列中第一条（优先级最高）通信消息，并根据消息内容与展柜进行通信，通信完成后，删除该消息。重复此过程，直至通信队列为空。

4.3 基于二叉堆排序的通信代理机制优化

处理通信消息模块每次只取出当前优先级最高的消息进行通信并删除。故维护通信队列模块不需要对通信队列进行完全有序排列，只需要保证优先级最高元素被标注出来即可。

二叉堆是一组能够用堆有序的完全二叉树排序的元素，并在数组中按照层级存储。当一颗二叉树的每个结点都大于等于它的两个子节点时，它被称为堆有序^[13]。使用二叉堆排序算法可高效实现优先队列的两种基本操作：删除最大元素和插入元素，二叉堆插入和删除元素的时间复杂度

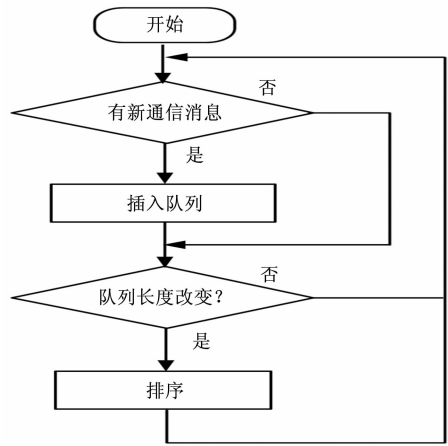


图 9 优先队列构建流程

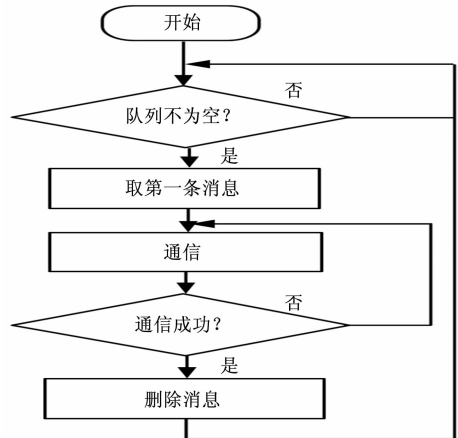


图 10 通信处理流程

均为 $O(\log n)$ 。图 11 所示是一个简单的堆有序二叉树，“15”是最大的元素，位置处于最高层的父节点上。

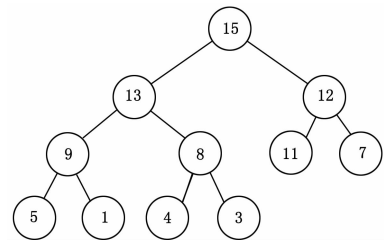


图 11 一个简单的堆有序二叉树

堆有序的二叉树每个节点都大于等于其两个子节点，根据这一特性，处理通信消息模块每次只需要取二叉堆最顶层的父节点即可。实际实现方式为：在通信消息形成时即标记其优先级，并插入二叉堆中。通信处理程序检查通信队列是否为空，不为空则取出堆顶消息通信，通信成功后，删除堆顶元素，保持堆有序。该过程不要求队列始终有序，相比较于全排序，操作时间降低，性能得到提高。

5 实验结果与分析

将服务器设置为固定 IP: 192.168.1.2，且子网掩码设置为 192.168.0.0，扩大网段范围，系统理论上可容纳的 IP 范围为 192.168.1.3 - 192.168.255.255，节点数量高达

65534 个, 实际测试中发现, 使用性能较好的路由器、交换机、AP 组网, 接入 800 展柜节点时系统运转正常。

展柜内无线网关收集各个仪器数据, 通信所需最大时间为 300 ms, 服务器与无线网关通信所需时间约 50 ms, 网络质量较差启动重试机制时, 通信时间约为 300 ms, 超过 300 ms 未获取到数据的判断为通信失败。故服务器与单个展柜节点通信一次总的所需时间最大值为 600 ms。服务器单次遍历 800 个展柜, 所需时间为 480 s, 即 8 分钟, 满足 15 分钟的设计要求。通过使用基于优先队列的通信轮询机制, 不论服务器处于何种通信状态, 都能及时响应人工控制指令; 理论上, 当服务器正在向某展柜询问监测数据, 此时用户下发控制指令, 响应时间最长, 为 1 200 ms, 低于 2 000 ms, 满足设计要求。实际操作中发现, 用户控制指令响应时间均在 2 000 ms 内, 大部分指令都在 300 ms 以内完成。

服务器启动重试机制、重试失败时, 会自动记录操作日志, 分析系统在实验室测试以及系统在博物馆中实际运行日志得出表 1 所示数据。

表 1 通信测试数据记录

数据分组	运行时间/h	展柜节点数量	启动重试次数	通信失败次数	总通信次数	失败率/%
第一组	24	40	0	0	3 840	<0.001
第二组	72	155	6	0	44 640	<0.001
第三组	168	220	10	1	14 784 0	<0.001
第四组	72	800	16	1	23 040 0	<0.001

由表 1 数据分析可得出结论, 系统通信功能运转良好, 通信重试、通信失败偶发情况极少, 失败率很低, 小于 0.001%, 满足设计要求。

6 小结

本文使用 C/S 架构实现博物馆微环境保护系统中展柜与服务器之间的通信。在展柜内使用无线网关将仪器、传感器的 RS485 数据转换成无线 WiFi 传输形式, 实现与服务器端的数据交换, 并在服务器端设计了一种基于优先队列

的通信代理机制, 实现服务器与博物馆众多展柜稳定高效交换数据的目的。该系统已经在故宫、天坛等博物馆内运行, 实际运转中, 系统通信状态稳定、可靠。

参考文献:

- [1] 黄河, 吴来明. 馆藏文物保存环境研究的发展与现状 [J]. 文物保护与考古科学, 2012, 24 (S1): 13-19.
- [2] 吴来明, 徐方圆, 黄河. 博物馆环境监控及相关物联网技术应用需求分析 [J]. 文物保护与考古科学, 2011, 23 (3): 96-102.
- [3] Blades N. Pollutants in the museum environment — practical strategies for problem solving in design, exhibition and storage [J]. Journal of the American Institute for Conservation, 2013, 42 (2): 485.
- [4] 文物保护装备产业化及应用协同工作平台. 文物保护装备标准汇编 (一) [S]. 北京: 文物出版社, 2016.
- [5] 刘志蕾, 陈艳花, 冯志亮, 等. 基于 TCP/IP 协议的测控系统的开发 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (10): 3418-3420.
- [6] 张卫星, 张桂香, 谭成午, 等. 基于 STM32 的环境多点监测系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (10): 3141-3143.
- [7] Zhang W, et al. Application of RS485 for communication and synchronization in distributed electromagnetic exploration system [A]. International Conference on Electric Information and Control Engineering [C]. IEEE, 2011: 4815-4818.
- [8] 李金龙, 练益群. 优先队列在实时混合数据传输中的应用 [J]. 计算机工程与应用, 2013, 49 (5): 111-115.
- [9] 葛君伟, 蒋 仙, 方义秋. 消息代理机制下的 MapReduce 数据流优化 [J]. 计算机工程与应用, 2013, 49 (5): 120-122.
- [10] 张 政, 侍守创. 基于消息中间件的制造执行系统的设计与实现 [J]. 计算机应用与软件, 2016, 33 (10): 118-121.
- [11] 崔慎智, 陈志泊. 基于多代理和多优先队列的短信实时并发算法 [J]. 计算机工程, 2011, 37 (3): 278-280.
- [12] 刘晨亮, 许家栋, 杨少军. 大排队长度优化的优先队列算法 [J]. 计算机应用, 2004, 24 (S1): 97-98.
- [13] 塞德威克, 韦恩谢路云. 算法: Algorithms [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2012.
- [9] Dollár P, Tu Z, Perona P, et al. Integral Channel Features [A]. British Machine Vision Conference, BMVC 2009 [C]. London, UK, 2009.
- [10] 邱天圆. 基于多特征融合的行人检测算法研究 [D]. 南京: 南京邮电大学, 2015.
- [11] 王 刚. Haar 型 LBP 纹理特征的行人检测研究 [D]. 长沙: 长沙理工大学, 2015.
- [12] 王 斌. 基于深度学习的行人检测 [D]. 北京: 北京交通大学, 2015.
- [13] 高 宗, 李少波, 陈济楠, 等. 基于 YOLO 网络的行人检测方法 [J]. 计算机工程, 2017: 1-6.
- [14] 李海龙, 吴震东, 章坚武. 基于区域卷积神经网络的行人检测 [J]. 通信技术, 2017, 50 (4): 662-667.
- [15] Kearns M J, Vazirani U V. An Introduction to Computational Learning Theory [M]. MIT Press, 1994: 3-176.

(上接第 162 页)

- [4] Dalal N, Triggs B. Histograms of oriented gradients for human detection [A]. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005 [C]. IEEE, 2005: 886-893.
- [5] 刘 威, 段成伟, 遇 冰, 等. 基于后验 HOG 特征的多姿态行人检测 [J]. 电子学报, 2015, 43 (2): 217-224.
- [6] 张凯翔. 基于改进的快速特征金字塔行人检测算法的研究 [D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2016.
- [7] 贾 楚. 基于改进 HOG 特征的行人检测算法研究 [D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2016.
- [8] Felzenszwalb P F, Girshick R B, Mcallester D, et al. Object detection with discriminatively trained part-based models [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2010, 32 (9): 1627.