

## 冷链云服务系统研究与应用

陈世超<sup>1,2,3</sup>, 田滨<sup>1,2</sup>, 吕宜生<sup>1,2</sup>, 胡斌<sup>1</sup>, 韩双双<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院自动化研究所 复杂系统管理与控制国家重点实验室, 北京 100190;

2. 青岛智能产业技术研究院, 山东 青岛 266109;

3. 澳门科技大学资讯科技学院, 澳门 999078)

**摘要:** 针对目前冷链物流信息缺失、溯源难等问题, 基于物联网技术及微服务系统架构, 研究并设计端到端的冷链云服务系统, 实现冷链物流全周期、不同业务场景数据监控等功能, 解决现有冷链监测系统信息孤岛、数据无法共享等问题, 达到冷链监控不断链的实际需求。冷链云服务系统包括智能监测终端、云服务管理平台及冷链管家 App, 可应用到医药、生鲜、水果、鲜花等领域, 主要针对系统在医药冷链行业的应用, 尤其是医药冷链行业的存储、运输、销售三大业务场景展开详细说明。设计的系统运行稳定, 已被投入商业运营, 且被众多医药行业用户认可。

**关键词:** 物联网; 冷链物流; 云平台; 微服务

**中图分类号:** TP319

**文献标识码:** A

**doi:** 10.11959/j.issn.2096-6652.201919

## Research and application of cloud service system for cold chain

CHEN Shichao<sup>1,2,3</sup>, TIAN Bin<sup>1,2</sup>, LV Yisheng<sup>1,2</sup>, HU Bin<sup>1</sup>, HAN Shuangshuang<sup>1,2</sup>

1. The State Key Laboratory for Management and Control of Complex Systems, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

2. Qingdao Academy of Intelligent Industries, Qingdao 266109, China

3. Faculty of Information Technology, Macau University of Science and Technology, Macau 999078, China

**Abstract:** For the current challenges of lacking cold chain logistics information, traceability and other issues, the end-to-end cold chain cloud service system was designed in this paper, based on Internet of Things (IoT) technology and micro-service system architecture. Full cycle for cold chain logistics and data monitoring in different business scenarios could be realized by this system. It can solve the problem of information isolated island and data sharing in the existing cold chain monitoring system, and meet the actual demand of the constant chain of pharmaceutical cold chain monitoring. The designed cold chain cloud service system includes intelligent monitoring terminal, cloud service management platform and cold chain manager App. This system can be applied to logistics of medicine, fresh, fruit, flowers, etc. In this paper, the application of the system in the pharmaceutical industry was described in detail, especially in the three business scenarios of storage, transportation and sales of pharmaceutical cold chain. The proposed system is stable and has been applied in commercial operation. Besides, its advantages have been approved by many users in the pharmaceutical industry.

**Key words:** Internet of things, cold chain logistics, cloud platform, micro-service

收稿日期: 2019-04-26; 修回日期: 2019-05-29

通信作者: 韩双双, shuangshuang.han@ia.ac.cn

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.61773381, No.61773382, No.61533019, No.61501461, No.91520301)

**Foundation Item:** The National Natural Science Foundation of China (No.61773381, No.61773382, No.61533019, No.61501461, No.91520301)

## 1 引言

在现代物流行业——尤其是医药物流行业中，需要对医药物流供应链做全方位实时监测，以提高医药物品流通的可靠性。随着政府企业对医药流通质量的日益重视，冷链监测系统纷纷建设起来。但是由于建设和使用单位不同，建成的医药冷链监测系统形成了一个信息孤岛，无法实现对医药流通过程的追溯。目前医药冷链监控体系存在的最大问题是不同业务环节使用的监控系统不一致，因而造成数据无法共享，出现了监控数据“断链”的情况<sup>[1-5]</sup>。本文利用传感器技术、无线通信技术、GIS（地理信息系统）技术、物联网技术及大数据技术构建了一套贯穿全供应链的冷链云服务系统，对医药物流进行全方位的实时监测和实时预警，实现医药流通过程的可溯源，解决信息孤岛问题。另外，可根据冷链云服务平台，建立大数据分析模型，提供大数据营销服务，帮助企业提升竞争力<sup>[1]</sup>。

文章组织如下：第2节主要介绍冷链云服务系统整体框架，对冷链数据感知层、冷链数据传输层、冷链云平台服务层、冷链应用服务层进行详细说明，并着重对冷链应用服务层采用的微服务架构进行说明；第3节主要介绍实现的冷链云服务系统；最后一节对冷链云服务系统进行总结并给出系统升级及应用的方向。

## 2 冷链云服务系统的研究与设计

冷链云服务系统的设计以医药流通过程中各

个环节的业务场景为基准，根据不同场景的业务需求采用不同的传感终端及通信方式感知业务数据，采用微服务架构设计解耦业务之间的相关性，构建全供应链、可溯源的服务系统。

### 2.1 系统架构

冷链云服务系统整体架构是典型的物联网架构，主要包括冷链数据感知层、冷链数据传输层、冷链云平台服务层和冷链应用服务层，如图1所示。

- 冷链数据感知层的作用主要是实时监测业务场景的温度信息，在移动业务场景中还要实时监测位置信息，并将监测信息实时上传至云端。其中，医药冷链物流主要包括3个场景：仓储、运输及销售。感知终端的功能根据应用场景的不同而不同。另外，感知终端需要具有断点续传及低功耗通信机制，以保证数据不丢失及终端具有更持久的工作时间。

- 冷链数据传输层的主要作用是实现感知数据的无线传输，而通信方式要根据业务场景选择。常用的通信方式包括GPRS、LoRa、NB-IoT、RFID、4G、ZigBee、BT。无论选择何种通信方式，均需根据场景要求确保通信网络稳定，数据传输安全可靠。

- 冷链云平台服务层提供终端设备接入管理、设备管理、应用使能和业务分析的能力，基于统一的协议和接口，实现不同类型终端设备及不同应用平台的统一接入和管理<sup>[6]</sup>。

- 冷链应用服务层主要依据不同的业务场景，基于平台服务层数据和接口，构建满足不同用户的应用服务，如监测数据分析、温度预警、能耗计算分析、设备维护提醒等。

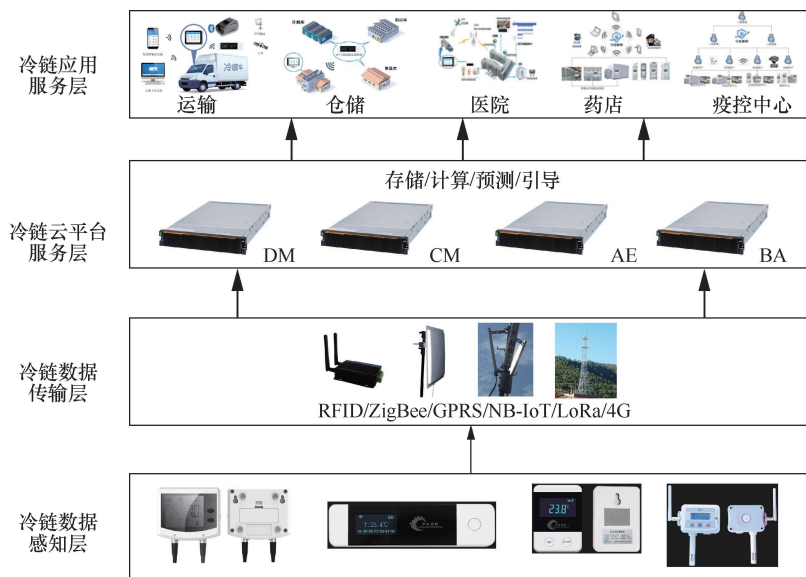


图1 冷链云服务系统分层架构

## 2.2 冷链数据感知层

冷链数据感知层主要利用冷链智能感知终端实现业务场景内的温度和位置信息监测。对于静态业务场景，只需要对实时温度信息进行监测；而对于移动业务场景，则需要监测实时温度和位置信息，图2为针对不同应用场景推出的冷链智能感知终端。针对不同的医药冷链储运温度需求（见表1），选用不同的温度测量传感器：对于超低温测量场景，一般采用PT100传感器；对于低温或常规温度测量场景，可采用满足监测需求的数字型温度传感器，如SHT系列、DHT系列等。如上文所述，医药冷链物流的应用场景主要包括仓储、运输和销售3个环节。仓储环节中，感知终端需要实时监测仓库各个监测点的温度信息。一般在仓储环节采用ZigBee、LoRa、GPRS及NB-IoT的通信方式<sup>[7-8]</sup>，实现监测数据的云端上传或监测命令的下发。另外，终端需要具有超限报警、采集频率可设置、监测数据本地存储、数据断点续传及低功耗通信机制等功能。仓储环节中要实现医药仓库的多点温湿度监测，构建合理、稳定的温度监测网络，监测点的部署需要满足GPS标准<sup>[9]</sup>。通常，每一个独立的药品库房或仓库间至少安装两个测点终端，并均匀分布。平面仓库面积在300 m<sup>2</sup>以下的，至少安装两个测点终端；300 m<sup>2</sup>以上的，每增加300 m<sup>2</sup>至少增加一个测点终端，不足300 m<sup>2</sup>的按300 m<sup>2</sup>计算。另外，设备在部署时尽量靠近仓库外接电源处，且保证节点间或者节点与基站之间的通信稳定可靠。



图2 应用于不同场景的感知终端

运输环节中，感知终端要实时监测运输药物的温度和位置信息，终端一般采用移动运营商网络（即GPRS、NB-IoT等通信技术），将监测数据实时上传至云端。

表1 医药冷链储藏/运输温度要求

| 场景     | 温度要求     | 备注     |
|--------|----------|--------|
| 疫苗库    | 0℃~8℃    | 疫苗、药剂  |
| 药品库    | 2℃~8℃    | 药品等    |
| 血液存储库  | 1℃~5℃    | 血液等    |
| 低温保温库  | -20℃~30℃ | 血浆、试剂等 |
| 超低温保温库 | -30℃~80℃ | 胎盘、精液等 |

另外，终端也需要具有超限报警、采集频率可设置、监测数据本地存储、数据断点续传及低功耗通信机制等功能。运输环节中要实现冷藏运输车的多点温湿度监测，构建合理、稳定的温度监测网络，监测点的部署需要满足GPS标准。通常情况下，每台独立的冷藏、冷冻药品运输车辆或车厢安装的测点终端数量不应少于两个。车厢容积超过20 m<sup>3</sup>的，每增加20 m<sup>3</sup>至少增加一个测点终端，不足20 m<sup>3</sup>的按20 m<sup>3</sup>计算。

销售环节主要是对医院、疾控中心及药店放置医药的冷藏柜和冷藏箱的温度监测。终端一般采用GPRS、ZigBee、LoRa及NB-IoT等技术实现数据传输，上传至云端。另外，终端也需要具有超限报警、采集频率可设置、监测数据本地存储、数据断点续传及低功耗通信机制等功能。通常情况下，冷藏箱中放置单个监测节点可满足监测要求，根据冷藏柜的空间大小分层部署不同数量的传感器，一般情况下放置2~3个监测点。

## 2.3 冷链数据传输层

冷链数据传输层的作用主要是实现感知数据的上传和云平台管理、配置等命令的下发，需要稳定可靠、可扩展的网络做支撑<sup>[10-11]</sup>。通常情况下，根据实际业务场景需求，可以采用自建的网络（如ZigBee、LoRa）或运营商的网络（如GPRS、NB-IoT等）。冷链物流的全业务场景涉及静态和动态等多种场景，单一的技术方式不能满足实际需求，所以通常需要根据业务场景选择不同的通信技术手段。医药冷链物流属于典型的IoT应用场景，具有小数据传输、低功耗运行、时延非敏感的特点。

仓储场景下一般采用ZigBee、LoRa或GPRS等技术手段进行数据传输。ZigBee、LoRa都属于低功耗的通信技术，监测节点之间首先进行星形自组网，然后通过网关将数据上传至云端；采用GPRS、NB-IoT技术的监测点主要利用运营商网络实现数据的上传与下发，网络拓扑如图3所示。节点接入

移动基站时会造成比较大的能量消耗，所以在采用 GPRS 技术时需要构建低功耗通信机制，减少 GPRS 入网频率和时间。

运输场景下一般采用 GPRS 或者 ZigBee、LoRa 等技术手段，其中 GPRS 技术是首选，其更有利于使用运营商的网络实现数据的上传和下发，且其网络技术程度更高、覆盖范围更广。当然，采用 ZigBee 或 LoRa 的方式也可实现数据的上传和下发，冷藏运输车厢内部部署自组网的监测点，其可与冷藏运输车驾驶室内的网关实现通信，通过网关将数据发送到云端。

销售场景下主要是对医院、疾控中心及药店的冷藏柜和冷藏箱进行实时监测，一般需要监测的点比较少，采用 GPRS、NB-IoT 技术是比较合理的方式，其网络拓扑如图 3 所示。

针对冷链物流业务，不管采用何种通信方式，在部署监测节点时都要注意节点间或节点与基站之间的可靠通信，做到数据传输不丢失，从而保证整个业务流程不断链。

#### 2.4 冷链云平台服务层

冷链云平台服务层处于冷链数据传输层与冷链应用服务层之间，是整个系统架构的中间层，向下提供数据收集、命令下发、设备监控、设备接入

等功能，向上提供数据分析、数据存储等功能<sup>[12-13]</sup>。另外，冷链云平台服务层在整个系统架构中起到网络安全屏障的作用，由设备管理、连接管理、应用使能及业务分析 4 个模块组成<sup>[6,14]</sup>，图 4 所示为其架构。

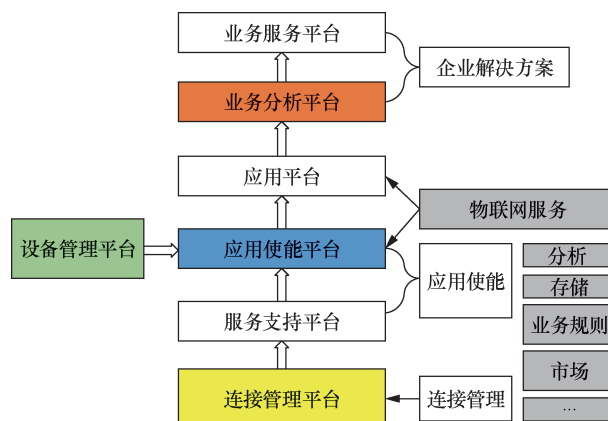


图 4 冷链云平台服务层架构

设备管理模块具有对终端设备进行远程监控、设置调整、软件升级、系统升级、故障排查、生命周期管理等功能；连接管理模块对联网设备进行连接配置和故障管理，保证终端联网通道稳定，并提供网络资源用量管理、连接资费管理、账号管理等功能；应用使能模块提供应用开发和统一数据存储

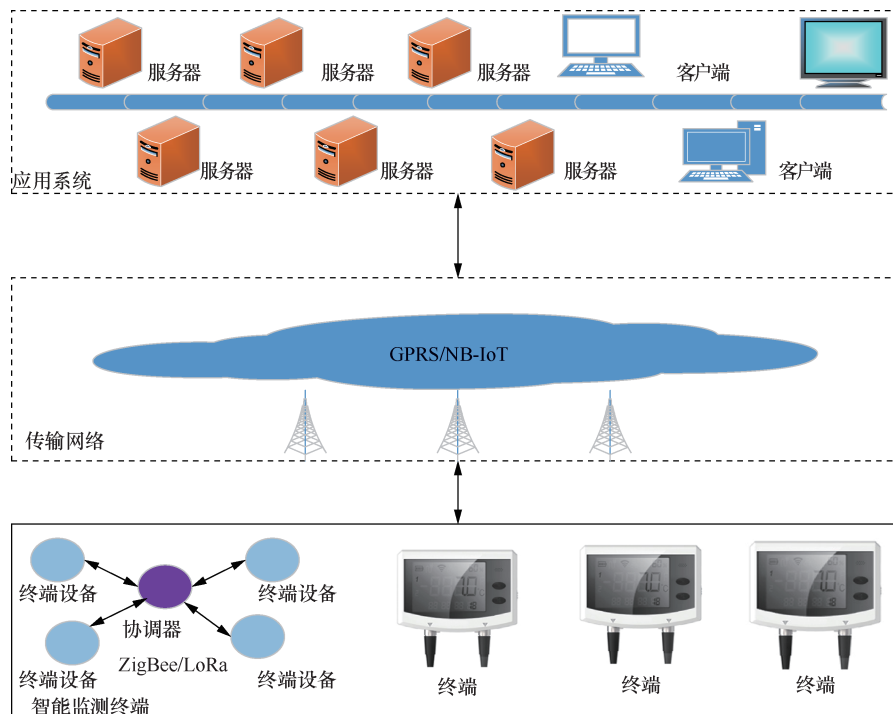


图 3 不同通信技术的网络拓扑

功能，构架在连接管理模块上；业务分析模块包括基础大数据分析服务和机器学习两大功能。大数据分析服务在集合各类相关数据后，进行数据分析处理，并提供可视化数据分析结果，通过实时动态分析监控设备状态予以预警；机器学习主要是通过对历史数据（结构化和非结构化数据）进行训练，生成预测模型，或者用户根据平台提供的工具自己开发模型，满足预测性的、认知的或复杂的分析业务逻辑<sup>[6,15]</sup>。

## 2.5 冷链应用服务层

冷链云服务系统的应用服务层以云平台服务层的数据为基础，实现监测数据的计算与分析、智能监测终端的管理与配置、大数据营销服务等。应用服务层具有实时监控、实时报警、定位跟踪、历史数据查询与下载、设备管理与配置、可视化展示、设备维修提醒、分级管理、能耗测算、供应链信息预测等功能<sup>[17-18]</sup>。

- 实时监控主要实现对业务场景温度的实时监控，以及对监测设备的最新电量信息、位置信息进行监测等。

- 实时报警主要根据监测数据及预警阈值对超限监测场景进行实时报警，系统应具有个性化的预警策略便于用户分批处理。另外，系统支持短信报警、Web端报警、App报警，用户可以随时随地查看报警历史及报警原因，从而及时处理相应的报警设备。

- 定位跟踪主要针对冷藏车等移动场景实现实时位置的跟踪定位。系统可根据用户需求设置电子围栏，超出电子围栏的监测点将在服务层产生报警提醒。

- 设备管理与配置主要根据监测场景需求，修改监测终端的数据传输频率、报警阈值、报警频率、报警方式等，实现监测终端在云管理平台的增加、删除、查看、修改。

- 历史数据查询与下载功能主要是对监测节点的历史监测数据进行查看及下载。用户可以按照时间维度选择任意时间段进行查看，对单点数据进行下载，也可以批量下载监测节点。

- 可视化展示主要实现监测数据、历史监测数据、定位跟踪的可视化展示。以曲线方式展示监测数据，利用GIS技术以地图为基础实时展示车辆运行轨迹，并可对移动监测点的历史轨迹进行回放，从而实现定位跟踪。

- 设备维修提醒主要实现依据设备运行状态数据，精准定位设备故障，为用户提供设备维护及替换指导。

- 分级管理主要是针对医院、疾控中心等多级化管理需求，实现不同管理者不同管理权限的功能，保证信息安全可靠。

- 供应链信息预测主要是依据区域性监测建立医药供应链信息测算模型，对医药供应链进行预测，以指导医药生产方、运输方、使用方制定不同的生产、调度、采购策略。

由以上分析可见，医药冷链具有业务场景多、系统数据异构性强、功能模块多等特点。

传统的整体式架构（monolithic architecture，如图5所示）开发效率低、代码维护难、部署不灵活、稳定性不高、扩展性不够，不能满足新需求不断增加及快速变化的要求。为满足冷链云服务系统功能模块快速扩展、业务场景逻辑功能解耦、全链条监测数据可共享等需求，冷链云服务系统采用微服务架构，将业务场景逻辑进行分解，实现系统模块化的开发与迭代。微服务架构（如图6所示）的主要特点是组件化、松耦合、自治、去中心化<sup>[19-20]</sup>。

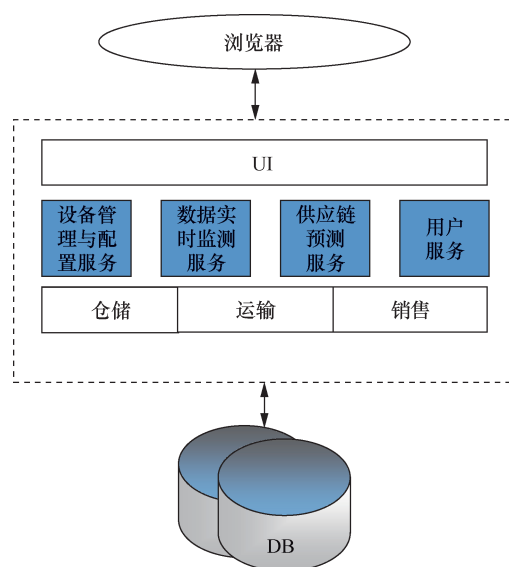


图5 传统的整体式架构

## 3 冷链云服务系统的应用

依据医药冷链行业需求实现全业务链的医药冷链物流云服务系统解决方案，根据不同的业务场景推出不同的感知终端，覆盖冷藏库、冷藏运输车、冷藏柜及冷藏箱的实时温度和位置监测，冷链云平

台提供设备状态监控、设备管理、数据统计与分析、历史数据查询与下载、定位跟踪、异常数据报警等功能,完全符合产品供应规范(good supply practice, GSP)要求,图 7 为医药冷链物流全业务流程。

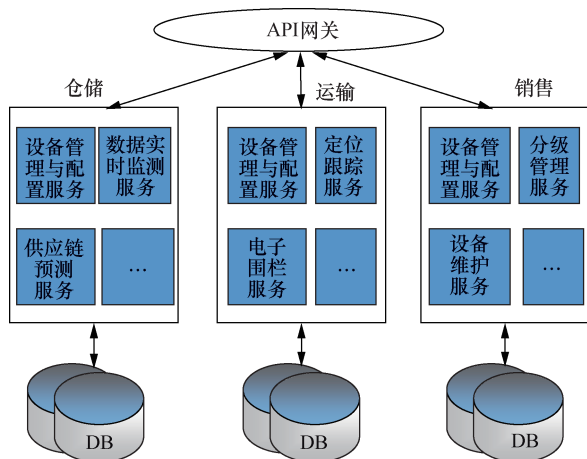


图 6 冷链云服务系统微服务架构

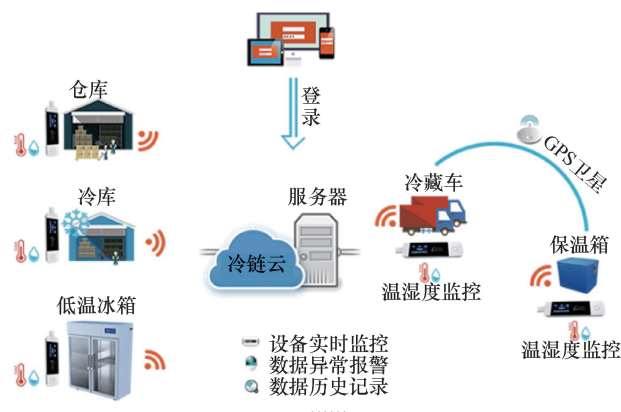


图 7 医药冷链物流全业务流程

### 3.1 智能监测终端

基于 Wi-Fi/BT 技术的温湿度监测终端如图 8 所示,该终端以 STM8L 低功耗单片机为处理器,选用低功耗 Wi-Fi/BT 模组和大容量锂电池,可自动识别 PT100 及 SHT 系列等 6 种传感器,具有部署方便、待机时间长、操作简单等特点,可实现温湿度监测、断点续传、掉电报警、数据本地存储等功能。



图 8 基于 Wi-Fi/BT 技术的温湿度监测终端

基于 GPRS 技术的温湿度监测终端如图 9 所

示,该终端以 STM32 系列单片机为处理器<sup>[21]</sup>,选用低功耗 GPRS/NB-IoT 模组及大容量锂电池,可自动识别 PT100 及 SHT 系列等 6 种传感器,具有部署方便、待机时间长、操作简单等特点。另外,采用低功耗通信机制设计,可实现两周以上的超长监测,并可实现温湿度监测、断点续传、掉电报警、数据本地存储等功能。



图 9 基于 GPRS 技术的温湿度监测终端

### 3.2 冷链云服务管理平台

冷链云服务管理平台采用 Spring Cloud 微服务架构,构建分布式的冷链云服务系统<sup>[22]</sup>,系统后台采用 Spring Boot 开发,前端采用 VUE 框架,使用 MySQL 构建业务逻辑数据库。系统平台具有设备管理、设备接入管理、数据监测、异常报警、定位跟踪、统计分析等功能,图 10 至图 12 为冷链云服务管理平台部分功能模块。

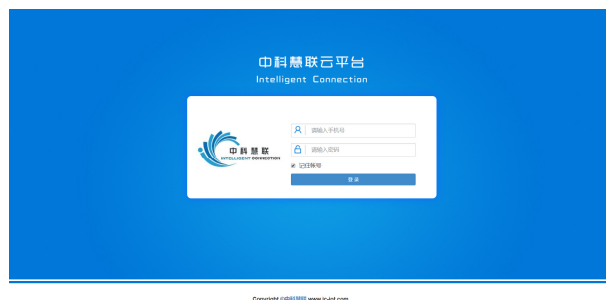


图 10 冷链云服务管理平台登录页

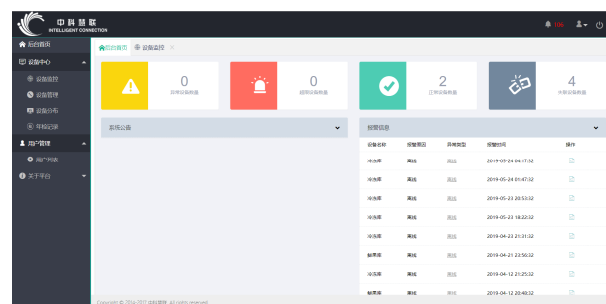


图 11 冷链云服务管理平台首页

### 3.3 冷链管家 App

冷链管家 App 是为用户开发的移动端应用,可

以为用户提供远程设备管理与配置、异常报警提醒与处理、远程数据查看与下载等服务, 用户可随时随地对监管设备进行操作, 图 13 为冷链管家 App 部分功能模块。冷链管家 App 采用 MVC 架构, 使用 Java 语言开发, 运行在 Android 4.0.3 或更高版本的系统上。



图 12 冷链云服务管理平台设备监控



图 13 冷链管家 App

## 4 结束语

针对现阶段医药冷链监测信息孤岛、各业务环节数据无法共享、监测数据“断链”等问题, 本文研究并设计了端到端的冷链云服务系统, 并在医药物流行业进行应用。系统对医药物流进行全方位实时监测和实时预警, 实现了医药流通过程的可溯源。目前该系统已经投入试用, 并被青岛附属医院、华仁药业股份有限公司、青岛市中心血站、中国医药集团有限公司等多家行业客户使用, 系统监测准确、运行稳定, 受到了用户的一致好评。但冷链云服务系统的现有功能模块仍需进一步优化, 且更多的功能模块仍需开发扩展, 如供应链信息预测、能耗测算、可视化分析等。另外, 其他冷链需求行业, 如生鲜、水果、鲜花等, 亦可以此云服务

系统为基础, 根据具体的行业业务场景, 对系统进行优化补充, 便可满足相关垂直行业的应用需求。

## 参考文献:

- [1] 张大伟. 供应链一体化思路构建医药冷链全程监控体系[J]. 物流技术与应用-冷链增刊, 2017, 3: 44-46.  
ZHANG D W. To construct the whole monitoring system of pharmaceutical cold chain with the idea of supply chain integration[J]. Logistics Technology and Application. Cold Chain Supplement, 2017, 3:44-46.
- [2] 肖颖, 胡雨璐, 郭焯庭, 等. 我国医药冷链物流发展现状分析[J]. 物流工程与管理, 2015, 4(37): 1-2.  
XIAO Y, HU Y L, GUO Z T, et al. Analysis of pharmaceutical cold chain's development status in China[J]. Logistics Engineering and Management, 2015, 4(37): 1-2.
- [3] 赖小珍. 探究冷链物流“断链”原因及解决对策[J]. 中国市场, 2013, 30: 17-18.  
LAI X Z. To explore the causes and countermeasures of “chain breaking” in the cold chain logistics[J]. China Market, 2013, 30: 17-18.
- [4] 袁学国, 邹平, 朱军, 等. 我国冷链物流发展态势、问题与对策[J]. 中国农业科技导报, 2015, 17(1): 7-14.  
YAN X G, ZOU P, ZHU J, et al. Development trend, problems and countermeasures for cold chain logistics industry in China[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2015, 17(1): 7-14.
- [5] 王雨来, 卢振, 张剑, 等. 医药冷链物流自动监测报警系统的现状及问题研究[J]. 中国药业, 2015, 24(16): 4-6.  
WANG Y L, LU Z, ZHANG J, et al. Research on the status and problems of automatic monitoring and alarm system for pharmaceutical cold chain logistics[J]. China Pharmaceuticals, 2015, 24(16): 4-6.
- [6] 安信通信研究. 物联网平台最详尽分析: 从产业生态看物联网平台价值[R]. 2016.  
ANXIN Communication Research. The most detailed analysis of IoT platform: the value of IoT platform from the perspective of industrial ecology[R]. 2016.
- [7] 秦旭, 谢亚莲, 陈焕. 基于 GPS/GPRS 的冷链物流信息监控系统设计[J]. 电子科技, 2015, 28(10): 103-107.  
QIN X, XIE Y L, CHEN H. Design of cold chain logistics monitoring system based on GPS/GPRS [J]. Electronic Sci. & Tech, 2015, 28(10): 103-107.
- [8] 杨文武, 笄东旭, 黄俊林, 等. 冷链物流监控系统设计[J]. 电子科技, 2013, 26(3): 116-118.  
YANG W W, DA D X, HUANG J L, et al. Design of cold chain logistics monitoring system[J]. Electronic Sci. & Tech, 2013, 26(3): 116-118.
- [9] 国家食品药品监督管理总局. 药品经营质量管理规范[S]. 2017.  
China Food and Drug Administration. Good Supply Practice[S]. 2017.
- [10] 王飞跃, 杨柳青, 胡晓娅, 等. 平行网络与网络软件化: 一种新颖的网络架构[J]. 中国科学: 信息科学, 2017, 47(7): 811-831.  
WANG F Y, YANG L Q, HU X Y, et al. Parallel networks and network softwarization: a novel network architecture[J]. Scientia Sinica Informations, 2017, 47(7): 811-831.
- [11] WANG F Y, YANG L Q, CHENG X, et al. Network softwarization and

- parallel networks: beyond software-defined networks[J]. IEEE network, 2016, 30(4): 60-65.
- [12] DASIK K, YUNSIK K, DOJIN C, et al. Design of cold chain application framework (CCAF) based on IoT and cloud[C]// 8th International Conference on u- and e-Service, Science and Technology. 2015: 25-28.
- [13] CHEN S C, XIONG G, XU J, et al. The smart street lighting system based on NB-IoT[C]// 2018 Chinese Automation Congress. 2018: 1196-1200.
- [14] 张弛, 张晓东, 王登位, 等. 基于组件库的生鲜农产品冷链物流云服务系统设计与实现[J]. 农业工程学报, 2016, 32(12): 273-279.
- ZHANG C, ZHANG X D, WANG D W, et al. Design and implementation of cloud service system for cold chain logistics of fresh agricultural products based on component integration[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(12): 273-279.
- [15] 陈妮亚, 阮佳阳, 黄金苗, 等. 结合深度学习与生物特征识别在冷链拣选中的算法研究[J]. 智能科学与技术学报, 2019, 1(1): 89-95.
- CHEN N Y, RUAN J Y, HUANG J W, et al. Algorithm design for food-picking combining deep learning and biometrics recognition[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2019, 1(1): 89-95.
- [16] 吴玉荣. 冷链物流云服务架构与动态配送研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2016.
- WU Y R. Research on cloud service architecture and dynamic distribution of cold chain logistics[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2016.
- [17] 段萍, 高雪, 朱志辉. 基于云服务的大棚温湿度远程监控系统研究[J]. 现代电子技术, 2018, 41(14): 178-181.
- DUAN P, GAO X, ZHU Z H. Research of greenhouse temperature and humidity remote monitoring system based on cloud service[J]. Modern Electronics Technique, 2018, 41(14): 178-181.
- [18] 沈大勇, 王晓, 刘胜. 平行装卸: 迈向智慧物流的智能技术[J]. 智能科学与技术学报, 2019, 1(1): 34-39.
- SHEN D Y, WANG X, LIU S. Parallel loading and unloading: smart technology toward intelligent logistics[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2019, 1(1): 34-39.
- [19] 纽曼. 微服务设计[M]. 崔力强, 张骏, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2016.
- NEWMAN S. Building microservices[M]. CUI L Q, ZHANG J. Beijing: Posts & Telecom Press, 2016.
- [20] 爱德华·克劳利, 布鲁斯·卡梅隆, 丹尼尔·塞瓦. 系统架构: 复杂系统的产品设计与开发[M]. 北京: 机械工业出版社, 2016.
- CRAWFEY E, CAMERON B, SELVA D. System architecture strategy and product development for complex systems[M]. Beijing: China Machine Press, 2016.
- [21] HAN Y, GUO T H, LI M. Design of data transfer module based on STM32 in monitoring system of cold chain transportation[C]//Fifth International Conference on Instrumentation and Measurement, Com-

puter, Communication and Control. 2015: 77-79.

- [22] 约翰·卡内尔. Spring 微服务实践. Spring 微服务实战[M]. 陈文辉, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2018.

CARNELL J. Spring microservices in action[M]. CHEN W H. Beijing: Posts & Telecom Press, 2018.

#### [作者简介]



**陈世超** (1987—), 男, 山东日照人, 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室工程师, 澳门科技大学资讯科技学院博士生, 主要研究方向为平行感知、物联网、机器学习、智能制造等。



**田滨** (1986—), 男, 山东济南人, 博士, 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室副研究员, 主要研究方向为计算视觉、自动驾驶、智能交通。



**吕宜生** (1983—), 男, 山东蒙阴人, 博士, 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室副研究员, 主要研究方向为智能交通、人工智能、平行交通管理与控制系统。



**胡斌** (1976—), 男, 山东烟台人, 博士, 中国科学院自动化研究所助理研究员, 中科院云计算中心高级工程师, 主要研究方向为人工智能、机器人、无人驾驶、深度学习等。



**韩双双** (1984—), 女, 山东东营人, 博士, 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室助理研究员, 主要研究方向为智能网络、物联网、智能交通、无线通信关键技术等。