

# 基于大数据的火灾智能预警系统<sup>①</sup>

车 辉<sup>1</sup>, 邢慧芬<sup>2</sup>, 樊玉琦<sup>3</sup>, 郑淑丽<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(湖州市 吴兴区 织里镇公共事业服务中心, 湖州 313000)

<sup>2</sup>(巢湖学院 信息工程学院, 合肥 238024)

<sup>3</sup>(合肥工业大学 计算机与信息学院, 合肥 230009)

通讯作者: 邢慧芬, E-mail: xhf870426@126.com



**摘 要:** 传统基于 GSM 蜂窝网的无线火灾预警系统由于成本高、感知终端电池耗电快等原因, 一直很难得到大规模的应用. 而 LPWAN 技术的快速发展, 极大地降低了系统成本和感知终端的能耗, 推动了火灾智能预警系统的快速发展. 本文设计了一种基于大数据的无线火灾智能预警系统, 通过该系统不但能够及时发现火灾, 实时掌握火灾发生位置, 还可以实现多个部门及个人的联动. 实际使用结果表明, 该系统不但通信成本低、电池寿命长, 而且有效地降低了城市火灾发生率, 提高了城市火灾救援效率和消防服务水平, 并得到了广泛的推广和应用.

**关键词:** 物联网; LoRa 协议; 大数据平台; 消防预警

引用格式: 车辉, 邢慧芬, 樊玉琦, 郑淑丽. 基于大数据的火灾智能预警系统. 计算机系统应用, 2020, 29(10): 120-126. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/7475.html>

## Fire Intelligent Early Warning System Based on Big Data

CHE Hui<sup>1</sup>, XING Hui-Fen<sup>2</sup>, FAN Yu-Qi<sup>3</sup>, ZHENG Shu-Li<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(Public Safety Supervision and Administration Center of Zhili Town, Wuxing District, Huzhou, Huzhou 230018, China)

<sup>2</sup>(School of Information Engineering, Chaohu University, Hefei 238024, China)

<sup>3</sup>(School of Computer Science and Information Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

**Abstract:** The traditional wireless fire warning system based on GSM costs too much and the battery on the sensing terminal drains so quickly that it has been difficult to obtain large-scale application. However, with the rapid development of LPWAN, the system cost and the energy consumption of the sensing terminal have reduced greatly, and the development of the intelligent fire warning system has been promoted quickly. In this study, a wireless fire intelligent early warning system is designed based on big data. Through this system, not only can the fire be discovered in time, but also the location of the fire can be grasped in real time. At the same time, the linkage between multiple departments and the individual can be realized. The actual results show that the system has low communication cost and long life of battery. Moreover, the system effectively reduces the incidence of the urban fire, as well as it has improved the efficiency of fire rescue and the level of fire service, which has been widely promoted and applied.

**Key words:** Internet of Things (IoT); LoRa; big data platform; fire early warning

在各种灾害中, 火灾是威胁到公众安全和社会发展的最主要灾害之一, 它威胁着人们的健康、生命和财产安全. 据初步统计, 2018 年全国共接报火灾 23.7 万

起, 造成 1407 人死亡、798 人受伤、直接财产损失达 36.75 亿元<sup>[1]</sup>. 因此设计一种能够及时探测火灾发生的智能预警系统就成为消防机构和科技工作者迫切解决

① 基金项目: 浙江省智慧城市示范试点工程之“智慧织里”项目

Foundation item: Smart City Pilot Project of Zhejiang Province “Smart Zhili”

收稿时间: 2019-12-01; 修改时间: 2019-12-23; 采用时间: 2020-01-02; csa 在线出版时间: 2020-09-30

的问题。

传统有线火灾预警系统是由多线制或总线制<sup>[2]</sup>构成,但这种系统存在网络结构复杂,施工布线困难,扩展性差和不易维护等缺点<sup>[3]</sup>,因此限制了其应用和发展。随着新一代通信技术的发展,实现了火灾探测技术与物联网技术的融合,无线火灾智能预警系统也逐渐取代了有线系统<sup>[4,5]</sup>。早期的无线系统利用 GSM (Global System for Mobile communications, 全球移动通信系统)<sup>[6]</sup>进行数据传输,但由于 GSM 通信成本偏高,因此无法大规模的应用;后来,系统数据传输采取了 GSM 与近距离通信技术相结合的方式,如 GSM 与 WiFi (Wireless-Fidelity, 无线保真度) 技术<sup>[7]</sup>相结合。这种设计虽然节省了成本,但终端设备功耗较大,因此应用范围依然受限。随着 LPWAN (Low-Power Wide-Area Network, 低功耗广域网)<sup>[8]</sup>技术的快速发展,火灾预警系统形成了以 NB-IoT (Narrow Band Internet of Things, 窄带物联网)<sup>[9]</sup>和 LoRa (Long Range, 远距离)<sup>[10]</sup>为数据传输的主流代表。而 LoRa 由于工作于非授权频段(免费频段),更适合局部专用网络的部署,完全契合无线火灾智能预警系统的要求,为城市智慧消防提供了

较优的解决方案。

本文设计了一种基于大数据的火灾智能预警系统,通过该系统不但能够实现及时发现火灾,还可以实时掌握火灾发生位置、楼层等关键信息。同时,通过该系统还可以实现消防机构、联网企业、维保企业、企业消防管理人员和个人的多级联动,从而提高了火灾预防和监管效率。应用效果证明,该系统能够有效降低火灾发生率,提高火灾救援效率和城市消防的服务水平。

## 1 系统架构

火灾智能预警系统框架由数据采集系统、传输网络、城市消防数据中心和联网用户组成。其中数据采集系统负责监视消防区域,并及时发出声光报警;传输网络是由城市消防专网或 3G/4G 网络组成,负责信息和控制信号的传输;城市消防数据中心负责消防数据的安全存储和管理,同时对采集的数据进行科学分析;联网用户则由消防机构、联网企业、维保企业、企业消防管理人员和个人组成。火灾智能预警系统的架构如图 1 所示。

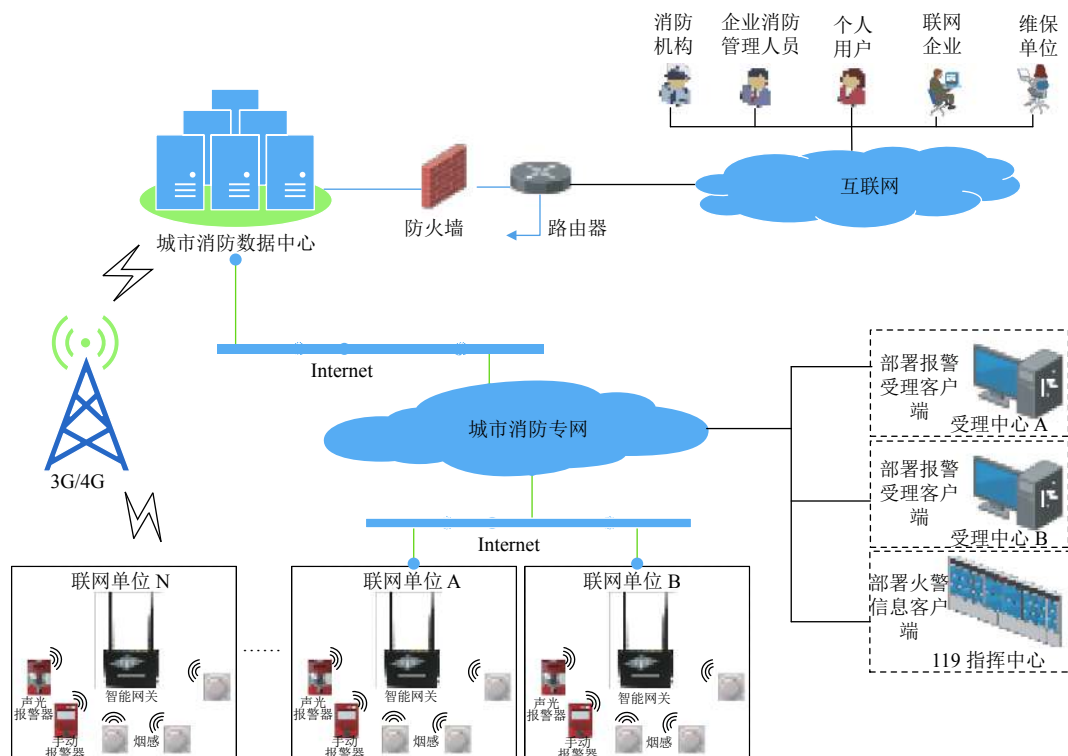


图 1 火灾智能预警系统架构

## 2 系统设计

火灾智能预警系统是由数据采集系统、火灾智能预警系统大数据管理平台和消防数据中心组成,其中数据采集系统负责火灾监测和声光报警;大数据管理平台实现数据的处理、统计分析等功能;消防数据中心负责数据的存储和安全管理等。

### 2.1 大数据采集系统设计

数据采集系统是由无线光电感烟探测报警器、无线声光报警器、无线手动报警器和无线智能网关等设备组成,并以无线智能网关为神经中枢组成星型网络拓扑结构。其中智能网关与终端设备之间通过 LoRa 协

议进行通信,而与云平台之间的信息传输则通过 3G/4G 或 Internet 网络。

### 2.2 大数据平台设计

火灾智能预警系统大数据管理平台采用 SOA (Service-Oriented Architecture, 面向服务的体系结构) 软件架构,利用 B/S 模式对一级和二级管理机构提供服务支持,使平台更有可扩展性。管理平台的主要功能包括终端系统采集数据加工处理、告警分析、设备管理、消防楼层地图、消防巡更管理、消防人员管理、消防报表和综合分析评估功能。大数据管理平台架构如图 2 所示。

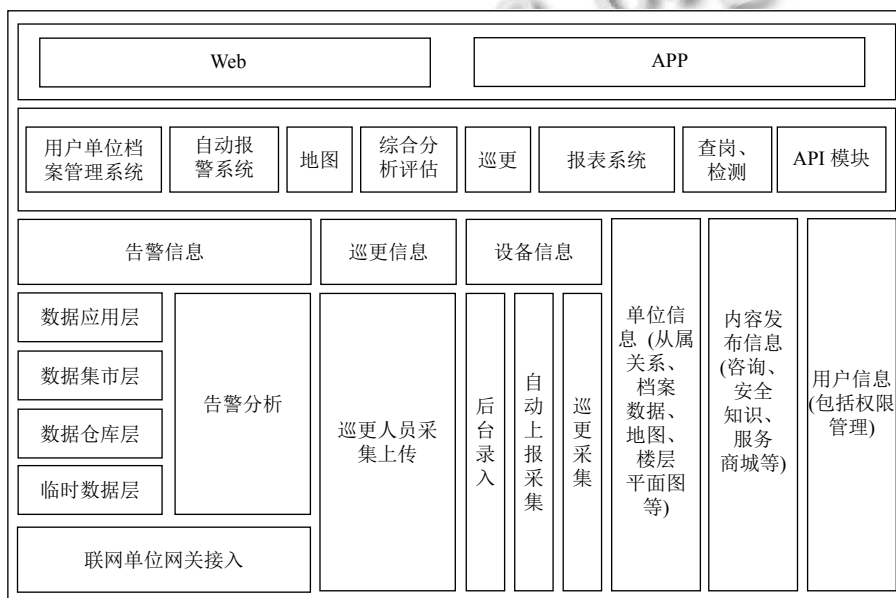


图 2 火灾智能预警系统大数据管理平台

(1) 数据处理模块: 为了提高火灾智能预警系统数据库的分析和查询性能,数据库按照分层的思想进行建设,即数据处理从临时数据层到数据仓库层、到数据集市层,最后到数据应用层。

(2) 告警分析模块: 为了使终端告警的处理延时最小,系统设计了两个告警识别点,一是在刚收到网关数据的协议转换层,二是在数据加工过程中。当告警一旦识别出来,立即通过 API (Application Programming Interface, 应用程序接口) 通知受理中心服务模块。通过告警分析模块有效地降低了告警处理时延,提高了系统的响应时间。

(3) 报表系统模块: 主要功能包括对历史年、月、日的信息进行统计,比如报警次数、实时数据和异常

情况等。同时综合各种数据对消防区域安全指数进行综合评估,以供消防机构和消防责任部门参考。

(4) 设备管理模块: 主要功能包括设备发现、设备操作、设备升级和设备检测。系统会自动显示新接入设备的类型和设备 ID,并可对新设备进行位置标注和描述。同时,通过安装插件实现对同一类型设备的管理,比如设备升级、设备检测等。设备检测则是对系统插件监测、巡更人员报告和维保人员检测的结果进行存储和统计分析。

(5) 巡更管理模块: 主要功能包括巡更点设置、上报巡更状态、巡更查看和设备查看等。管理员通过系统对巡更位置和巡更频率进行设置,巡更人员在预设位置利用 APP 扫二维码后上报巡更状态和有异常的

设备. 管理者则通过系统检查巡更人员是否按照规定巡查.

(6) 查岗管理模块: 主要包括自动查岗和人工查岗. 自动查岗通过系统随机发出查岗问询, 值班人员通过摄像头进行确认; 人工查岗是管理员通过 PC 和 APP 上的手动查岗功能确认值班人员是否在岗.

(7) 楼层地图信息模块: 主要功能包括楼层地图预处理模块、底图加载模块、后台地图标注模块和离线地图标注模块. 楼层地图采取标准电子地图的格式进行设计, 通过该模块实现了建筑物信息、室内点位信息维护.

(8) 应用 API 模块: 该模块通过一个负载均衡模块跨 VPC (Virtual Private Cloud, 虚拟私有云) 和公网, 实现针对 APP 用户的非 VPN (Virtual Private Networks, 虚拟专用网络) 接入, 从而提高系统的安全性.

(9) 权限管理: 系统通过角色维度和区域维度来划分不同的权限, 并赋予不同的管理人员. 系统可以分为消防管理人员、企业业主、企业员工、企业消防管理人员、社区消防管理人员等不同的角色.

### 2.3 数据中心架构设计

火灾智能预警系统具有告警响应迅速、告警判断准确、系统可靠性和数据安全性高的特点. 为了满足应用性能需求, 系统对数据处理和网络架构进行了周全的设计. 为了提高火灾告警的响应速度和系统可靠性, 系统采取了高并发异步网络模型、负载均衡和分布式 KV 存储 (Redis 集群). 同时系统还采取了数据仓库数据分层思想, 即把数据处理分为临时存储层 (ODS)、数据仓库层 (PDW)、数据集市层 (MID)、应用层 (APP) 等 4 层, 从而提高数据库性能. 通过可扩展的告警分析引擎在系统设置的两个不同的告警识别点对终端告警信息进行判断, 从而增加系统告警判断的准确率. 为了提高系统终端接入设备的兼容性, 系统采取可扩展的协议转换层实现不同类型设备的接入.

消防网络安全是保障系统正常运行的基石, 为了提高系统的网络安全, 系统在负载均衡端开启 DDos (Distributed Denial of service, 分布式拒绝服务)、应用防火墙和 EC (Express Connect, 阿里云提供的低成本高速通道, 用作地区间的数据安全高速互通) 防护, 并与阿里云合作, 采用阿里 VPC 专网进行通信, 有效的保护后端服务避免攻击. 同时, 在数据传输时利用 VPN 链路与非 VPN 链路混合访问的方式提高系统的安全

性. 在数据完整性方面, 系统采取了主网和异地灾备网两个完全等价的镜像设计, 实现在阿里 VPC 专网内实现数据备份和跨地域灾备. 系统的网络架构如图 3 所示.

### 3 告警大数据分析处理

消防安全关系到人的财产及生命安全, 如何能够更快、更准确地识别出火灾隐患是火灾预防系统的关键. 本系统为了提高火灾预警的准确性, 在终端和数据层分别设了火灾识别点. 在终端层, 在智能网关中设定火灾信息阈值, 当数据高于这一阈值时, 智能网关会启动报警装置, 并同时把数据传送到数据中心. 在数据层, 系统结合历史数据, 对多个终端采集的数据进行大数据分析处理, 并根据分析的结果生成告警信息, 从而提高火灾预警的准确性. 数据层告警分析模块是通过插件化设计, 从而进行告警信息的分析处理. 数据层告警分析插件接口如下:

```
{
var data_type; //告警源数据类型
function fire_warn_check(obj_id); //告警分析逻辑
}
```

数据层告警信息处理判断流程如图 4 所示.

### 4 火灾智能预警系统性能分析

表 1 给出了市场上常见的几种火灾预警系统的性能对比. 其中标“\*”选项是系统相应传输协议的理论技术参数, 无标注选项是终端设备实际测量的结果 (不同企业设计的系统虽然采取同一通信协议, 但数据会略有不同).

无线火灾智能预警系统的应用受到系统成本、通信距离和系统功耗的限制. 通过表 1 可以看出 GSM、GSM+WiFi 和 NB-IoT 由于工作在授权频段, 其通信成本偏高, 而且在一些偏远地区和农村无法使用. 并且基于 GSM 通信方式的系统由于功耗较大, 电池的寿命较短, 因此限制了系统的应用和发展. 虽然 NB-IoT 的同步协议较之蜂窝的同步次数有所减少, 但需要定时联网, 并且 NB-IoT 的峰值电流和休眠电流是 LoRa 的数倍, 自然功耗要高于 LoRa<sup>[11]</sup>. 而且 NB-IoT 也存在 GSM 系统同样的问题, 因此使用的范围受到一定的限制. 总体来说, 基于 LoRa 应用的无线网络系统完全契合了无线火灾智能预警系统的要求, 为城市智慧消防提供了完美的解决方案.

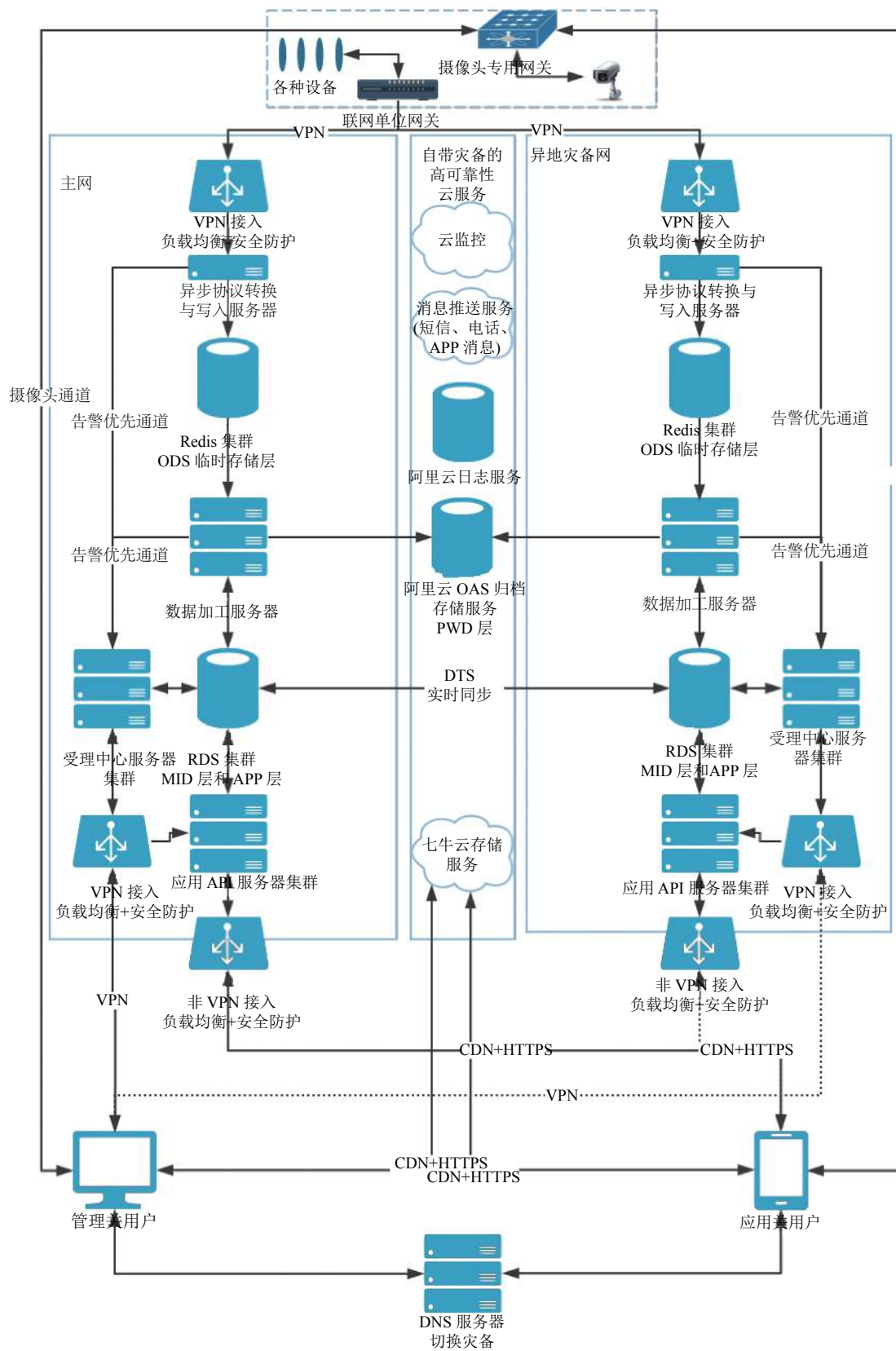


图 3 火灾智能预警系统网络架构

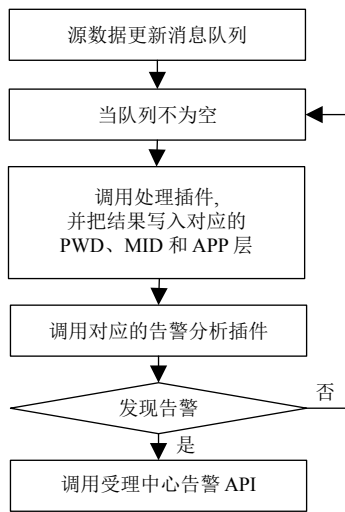


图4 数据层系统告警识别流程

表. 同时为了能够更加直观的展示城市消防状态, 系统还开发了直观展示页面. 通过该页面不但能够了解历史数据、统计图标、消防地图等静态数据, 还可以实时掌握告警信息位置、告警类型等, 从而为消防预警提供更加直观的展示画面. 某单位火警、故障、成灾和巡检的趋势图如图6所示.



图5 火灾智能预警系统数据墙

表1 多种火灾智能预警系统性能对比

通信方式	GSM	GSM+WiFi	NB-IoT	LoRa
*工作频段	1800/900 MHz	2.4 GB+900/1800 MHz	1 GHz以下 授权频段	1 GHz以下 非授权频段
*链路预算(dB)	144	144	164	157
*通信距离(m)	35 000	50-300	35 000	15 000
*室内通信	室内弱	室内稍强	室内强	室内强
*连接数量	1	50	200 k/cell	>200 k/hub
电池寿命	一般	短	较长	最长
通信成本	高	较高	一般	低
应用范围	受限	受限	受限	非受限
响应时间(s)	30	25	10	≤3
告警定位	较粗略	定位准确	精准定位	精准定位



图6 火警、故障、成灾和巡检的趋势图

### 5 系统实现

在应用中, 系统通过数据采集系统、数据网络传输系统、火灾消防物联网平台对消防数据的采集、传输、存储和分析, 实现了火灾早期的监测和预防处理. 通过该系统, 消防部门可掌握辖区内消防设施运行情况, 消防联网企业可查阅和维护本单位消防设施运行情况, 个人则能够掌握火灾信息, 实现及时逃生, 维保单位也可定位故障设备所处位置, 及时进行维修保养. 可以说通过该系统实现了监管机构、企业、个人联系起来, 实现了城市消防的多级联动. 某单位火灾智能预警系统数据墙如图5所示.

此外, 系统的报表系统模块对终端采集的数据进行统计分析, 并生成报表. 如按照日、周、月、年对各类告警、误报、故障、成灾等信息的统计分析生成报

### 6 结束语

本文设计了一种基于大数据的火灾智能预警系统, 并对系统的数据采集终端、大数据平台和数据中心架构进行了设计, 并对系统进行了实现. 通过与其他系统对比分析可知, 该系统完全契合了城市火灾消防预警的需求, 为城市智慧消防提供了较优的解决方案. 实际应用证明, 该系统不但能够实现及时发现火灾, 实时掌握火灾发生位置、楼层等关键信息, 还可以实现消防机构、联网企业、维保企业和个人的多级联动, 从而有效降低火灾发生率, 提高了城市火灾救援效率和城市消防服务管理水平. 目前, 该系统已经得到了大规模的推广和应用.

#### 参考文献

- 1 中国消防网. 数说 2018 年全国火灾及出警情况. <https://new.fire114.cn/news/67960.html>. [2019-01-28].
- 2 于志军. 火灾自动报警控制系统发展概述. 工程建设与设计, 2007, (3): 55-58. [doi: 10.3969/j.issn.1007-9467.2007.03.017]
- 3 韩敬. 火灾报警系统及发展. 山西建筑, 2002, 28(7): 85-86.

- [doi: 10.3969/j.issn.1009-6825.2002.07.057]
- 4 杨启尧, 葛泉波. 物联网技术在智能无线消防系统中的应用. 消防科学与技术, 2014, 33(5): 552–555. [doi: 10.3969/j.issn.1009-0029.2014.05.023]
  - 5 吕银华, 车辉, 樊玉琦, 等. 基于物联网的智能消防预警系统的实现. 消防科学与技术, 2018, 37(11): 1548–1551. [doi: 10.3969/j.issn.1009-0029.2018.11.030]
  - 6 张勇, 杨邦荣, 蒋觉先. 基于 GSM/GIS 的火灾自动报警系统. 计算机工程, 2006, 32(2): 243–244, 247. [doi: 10.3969/j.issn.1000-3428.2006.02.087]
  - 7 杜毅, 吴刚. 基于物联网平台的无线火灾 GSM 报警系统. 计算机技术与发展, 2018, 28(2): 196–199. [doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2018.02.042]
  - 8 Thoen B, Callebaut G, Leenders G, *et al.* A deployable LPWAN platform for low-cost and energy-constrained iot applications. *Sensors*, 2019, 19(3): 585. [doi: 10.3390/s19030585]
  - 9 Agiwal M, Maheshwari MK, Jin H. Power efficient random access for massive NB-IoT connectivity. *Sensors*, 2019, 19(22): 4944. [doi: 10.3390/s19224944]
  - 10 Augustin A, Yi JZ, Clausen T, *et al.* A study of lora: Long range & low power networks for the Internet of Things. *Sensors*, 2016, 16(9): 1466. [doi: 10.3390/s16091466]
  - 11 徐冬冬. LoRa 与 NB-IoT 技术开启物联网新格局. 科学技术创新, 2017, (24): 116–117. [doi: 10.3969/j.issn.1673-1328.2017.24.075]