

# 面向用户可配置的建筑安全监测平台设计与实现

金智献<sup>1,2</sup>, 王正肖<sup>1</sup>, 彭涛<sup>1</sup>

(1. 浙江大学 机械工程学院, 杭州 310027; 2. 上海市经济和信息化委员会, 上海 200125)

**摘要:** 针对传统人工建筑安全巡检周期长、难度大、响应慢等问题, 以及典型的建筑安全监测平台架构不可扩展、配置门槛高等短板, 以通用性和可扩展性为设计原则, 开发实现了面向用户可配置的建筑安全监测平台; 该平台由传感网络、数据中心、数据处理、应用模块和配置管理等 5 个模块组成, 支持用户对新项目、新监测设备的自主配置, 支持项目、建筑和传感器的实时接入, 满足多样化的安全监测需求; 在实验测试中, 平台在数据采集、数据传输通讯、传感器配置、预警响应等方面的效率、稳定性、柔性等优于典型架构, 危险突变误判率为 0, 综合准确率为 99.97%, 具有精准的监测效果, 可以提升建筑安全治理效能。

**关键词:** 用户可配置; 建筑安全; 智能监测; 管理平台; 治理效能

## Design and Implementation of User-Configurable Building Safety Monitoring Platform

JIN Zhixian<sup>1,2</sup>, WANG Zhengxiao<sup>1</sup>, PENG Tao<sup>1</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

(2. Shanghai Municipal Commission of Economy and Informatization, Shanghai 200125, China)

**Abstract:** Aiming at the problem that the traditional manual inspection method has many inconveniences, such as long detection cycle, low consistency, slow response, as well as the typical architecture of building safety monitoring platform has shortcomings, like non-scalable and low-reconfigurable. Based on the design principle of universality and scalability, a user-oriented configurable building safety monitoring platform is developed and implemented. It consists of five modules: sensor network, data center, data processing, application module and configuration management. It can support the independent configuration of new projects and new monitoring equipment, and support real-time access to projects, buildings and sensors. It can meet the diverse needs of building safety monitoring. In the testing operations, the efficiency, stability and flexibility of the platform in data acquisition, data transmission and communication, sensor configuration and warning response were better than those of the typical architecture. The misjudgment rate of dangerous mutation is 0, and the comprehensive accuracy rate is 99.97%, which has accurate monitoring effect, can improve the effectiveness of building safety governance.

**Keywords:** user-configurable; building safety; intelligent monitoring; management platform; governance effectiveness

## 0 引言

21 世纪以来, 建筑安全事故给人民生命安全和经济社会发展带来重大影响。加强建筑关键部位的安全监测, 从社会效应和经济效应等方面都具有重要意义<sup>[1]</sup>。建筑安全监测已经成为安全生产、生活的保护伞。建筑安全监测主要通过分析建筑的指标测量数据, 定期分析建筑安全状态<sup>[2-3]</sup>。但采用人工定期测量的传统做法, 具有较多局限性。随着物联网技术的发展, 建筑安全监测平台逐步向信息化和智能化方向发展<sup>[4]</sup>。据有关方面预测, 整个建筑安全监测市场可达千亿级规模。随着市场规模不断扩大, 满足面向用户可配置、面向建筑可扩展需求的安全监测平台成为发展重点方向。

## 1 基于物联网的建筑安全监测平台

### 1.1 建筑安全监测平台的典型框架和应用

基于物联网的建筑安全监测平台, 主要是搭建终端物联网传感器集群, 实时采集建筑监测数据, 并通过 5G 等无线网络, 将数据传输到数据中心。平台按照设定的数据处理模型, 对建筑安全状态进行评估, 并对评估结果进行响应。响应主要包括三类: 1) 安全可控, 系统定期发送评估结果, 并形成监测日志; 2) 安全可控但有倾向性风险发生可能, 系统发布维护提示, 建议进行系统性检修, 做好风险防范; 3) 风险极大增加, 影响建筑内的生命财产安全, 立即预警并提示紧急转移。图 1 所示为典型的基于物联网的建筑安全监测平台架构图。

收稿日期: 2021-08-09; 修回日期: 2021-10-11。

作者简介: 金智献(1991-), 男, 浙江台州人, 硕士研究生, 主要从事工业工程、制造业信息化方向的研究。

王正肖(1972-), 男, 浙江嵊州人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事工业工程、制造业信息化方向的研究。

彭涛(1984-), 男, 河南郑州人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事可持续制造系统、工业大数据分析、智能产品服务方向的研究。

引用格式: 金智献, 王正肖, 彭涛. 面向用户可配置的建筑安全监测平台设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(3): 25-31, 73.

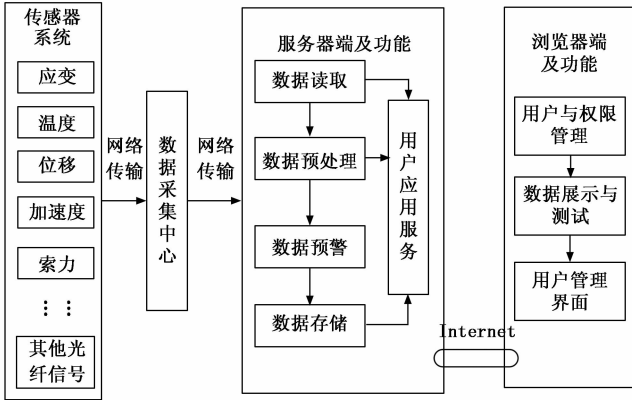


图 1 典型的基于物联网的建筑安全监测平台架构图

文献 [5] 开发设计了一套专门针对桥梁结构的健康监测系统，形成了监测桥梁安全的硬件组合思路。文献 [6] 开发了面向钢构建筑的安全监测预警系统，对钢构建筑的多种安全数据实现自动采集、处理和预警等，为建筑安全可控提供了解决方案。

同时，专家分别针对不同应用行业研究了定制化方案。文献 [7] 设计了基于物联网的楼宇健康监测系统，为楼宇的全生命周期预警维护提供了依据。文献 [8] 结合无线传感器网络技术，设计出一套具备实时采集楼宇现场数据能力的无线监控系统。文献 [9] 提出以人为中心的参与式智能感知计算，通过利用移动智能设备中的传感器、个人设备等进行自主式采集、传输和分析，为解决传感网络大规模部署成本高的问题提供了新方法。文献 [10] 针对水质监测领域，进行基于 SOA 架构的系统设计。文献 [11] 针对桥梁健康监测领域，进行了系统设计和实现。文献 [12] 基于“互联网+”的建筑安全反馈平台，建立了以数据采集、储存、处理和反馈四模块化的建筑安全监测平台。文献 [13] 研究了基于物联网的环境感知网络和传感基础设施的智慧健康系统，为建筑安全从云端到边缘的系统框架设计提供了有益借鉴。

整体来看，许多专家围绕特定场景，设计开发了定制化的安全监测平台。分别开展了关键技术的研究，如传感物联网技术、数据实时传输技术、数据融合处理技术、智能监测技术等，搭建了行业共性技术研发测试平台，还逐步从预警监测拓展到楼宇全面健康综合评估<sup>[14]</sup>。但主要共同点是都只针对某一特定建筑的安全监测研究。

### 1.2 现有框架和应用的局限性

目前已经开展了大量的建筑安全系统研究和实践，为行业发展积累了经验。但从现有系统研究和框架设计来看，对重点建筑的监测是孤立、封闭和离散的，不具有通用性、灵活性和可配置性<sup>[15]</sup>。通常情况下，一个机构或建筑就独立拥有一个监测平台，形成了“信息孤岛”和“数据烟囱”，不利于信息融合和系统扩展<sup>[16]</sup>。比如，上海作为一座超大型城市，拥有 8 000 多座大楼的安全数据需要监测评估，上海市提出实现“一网统管”，旨在减少管理资源配置浪费，

推动社会高效能、精细化治理。同时，从实践情况来看，现有系统没有配置界面，需要专业人员在后台手动配置，提高了系统操作门槛，不利于系统推广应用。

因此，有必要设计一种面向用户具有可配置性的安全监测管理平台。平台主要满足通用性和可配置要求，实现对不同建筑、传感器、客户定制化需求的配置和管理。实际应用场景如图 2 所示。

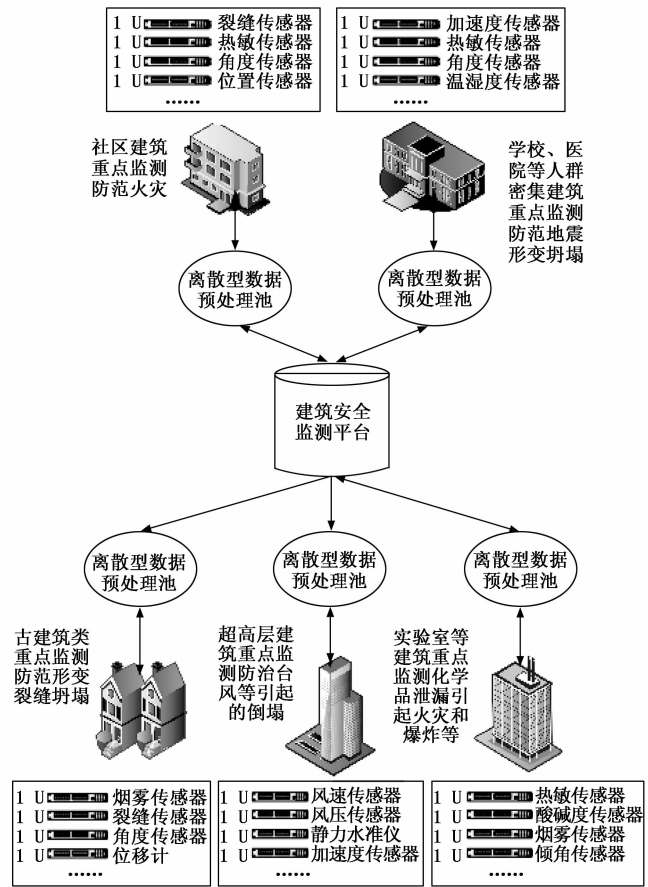


图 2 多建筑体安全集成监测的应用场景

## 2 建筑安全监测平台架构优化和可配置技术研究

### 2.1 建筑安全监测平台总体架构设计

可配置的建筑安全监测平台总体架构如图 3 所示，划分为 5 个部分：传感网络系统、数据缓存中心、数据处理模块、数据中心和平台管理层。平台对外与管理系统进行交互，将处理后的评估结果通过可视化的形式交付给用户。

1) 传感网络系统：该模块负责采集建筑现场数据，是平台物理支撑。根据监测指标需要，配置不同类型的传感器。借鉴基于 Bezier 曲线的多路径路由算法，实现低能耗绿色计算，提高了网络寿命和质量<sup>[17]</sup>。

2) 数据缓存中心：传感器将实时监测的现场数据通过 ZigBee 技术传送到缓存中心<sup>[18]</sup>。从数据安全性、管理便捷性等方面考虑，设置了多个分布式的数据缓存中心，负责数据的分类接收和预处理工作。

3) 数据处理模块：按照传感网络系统设定的编码格

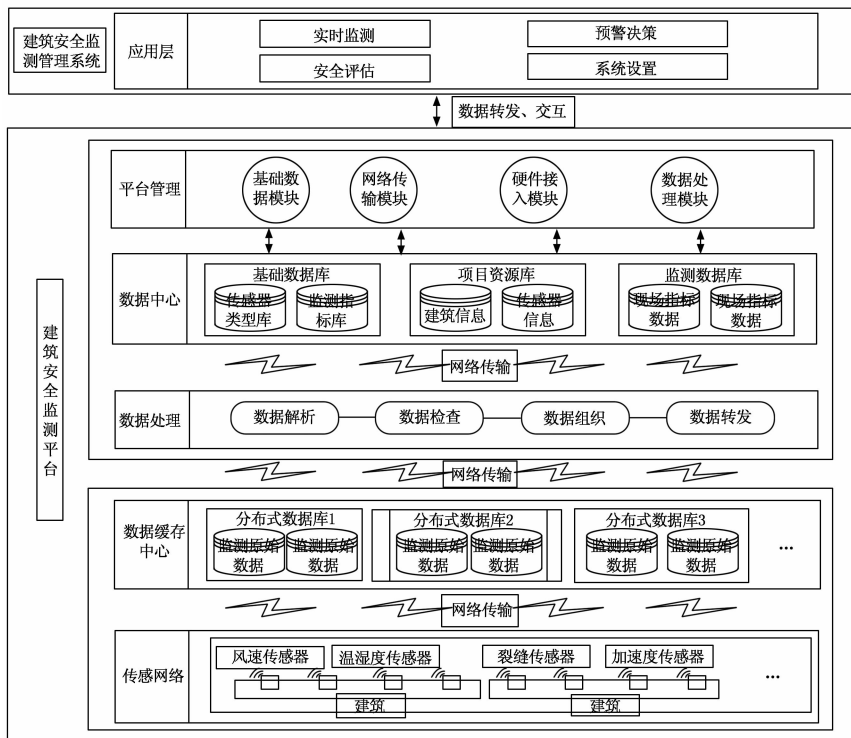


图3 建筑安全监测平台的总体架构

式, 对数据缓存中心的原始数据进行解析, 并存储到平台数据库。

4) 数据中心: 主要存储了三大类数据, 分别是: 基础数据, 如监测指标、换算工具箱、映射关系等; 监测项目数据, 如建筑基本信息、管理人员等; 监测数据, 是指实时接收并预处理后的传感器数据。

5) 平台管理层: 包括基础数据、网络传输、硬件接入和数据处理等模块, 支持平台管理人员对不同监测建筑、传感器、管理员、响应机制的实时配置和调整。

### 2.2 可配置技术研究

建筑安全监测平台的核心功能是可配置技术, 通过可配置技术实现对多建筑、多类型传感器和多用户定制化管理需求的管理。

#### 2.2.1 支持多建筑的配置

将被监测的建筑安全信息按照监测指标分类, 可以分为必须配置的基础信息、监测指标要求的基础信息和可选配置的基础信息。

1) 必须配置的基础信息: 用于标记被监测建筑的唯一性, 以及链接不同建筑实体在系统中的关系。

2) 指标要求的基础信息: 为监测某项指标, 指标数据处理模型中往往需要建筑的特定信息。如监测建筑的应力值和倾斜度时, 需要建筑高度及截面积等基础信息。

3) 可选配置的基础信息: 从需求出发, 配置管理者关注的建筑基础信息。如建筑施工方、运维单位等。

平台根据预选的监测指标, 配置指标的监测方法, 并组合出基础信息配置界面。定制化配置的流程如图4

所示。

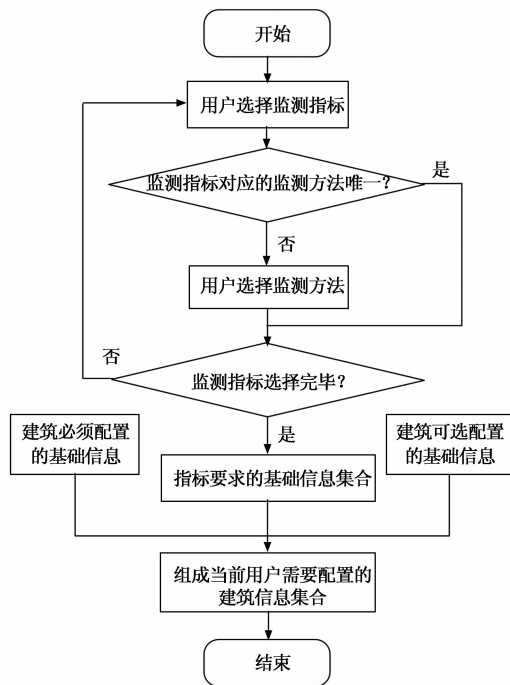


图4 信息配置界面定制化流程图

为实现建筑基础信息的可扩展配置, 本研究采用的是XML数据扩展模型<sup>[19]</sup>。该模型可在不改变数据库表结构的情况下实现对字段的扩充, 模型扩展数据灵活, 并基本适用于各类主流数据库。通过扩展模型, 建筑属性被记录在

XML 中，实现同步添加或修改数据字段的功能，保证了系统柔性、可配置性和可扩展性要求。

### 2.2.2 支持多类型传感器的配置

为实现支持不同类型传感器的配置需求，平台重点设计了基础配置模块和通讯配置模块。原理图如图 5 所示。

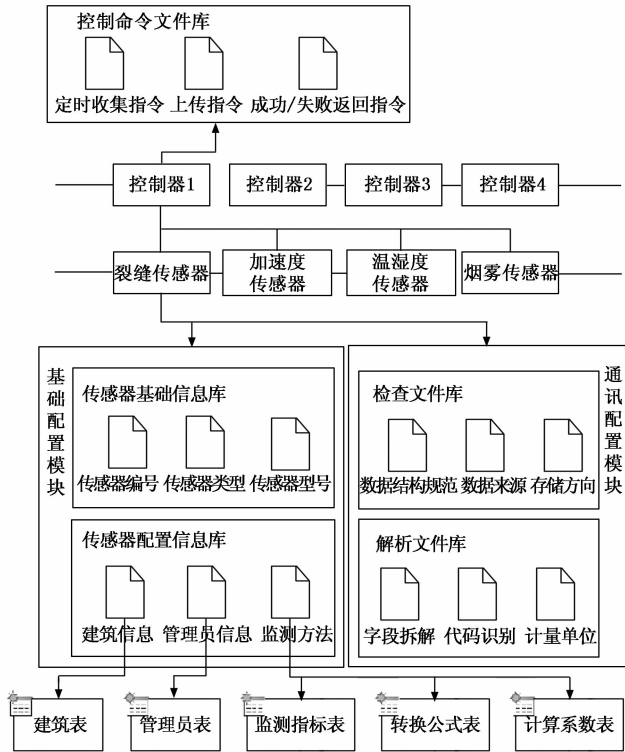


图 5 多类型传感器配置原理图

基础配置模块负责配置和维护传感器编号、类型、型号等基础信息。

### 2.2.3 支持用户定制化需求的配置

用户的定制化配置需求分为三类：监测配置、预警配置和权限配置。

监测配置是指根据用户需求，对监测指标、传感器、监测方法等的静态配置。

预警配置是指明确故障预警联络人、预警方式等，对传感网络数据传输发生的故障进行应急响应。

权限配置是指对管理员的管理范围、查看、配置、修改等权限进行管理。

平台将需求提取、归纳成配置特征，设计了多用户定制化需求配置模块，映射到底层的数据关系和配置文件。实现原理图如图 7 所示。

## 3 建筑安全监测平台的实现

本节重点介绍建筑安全监测平台的三大核心功能——数据采集传输、通讯交互设计、可配置功能的实现。

### 3.1 数据采集传输功能的实现

数据采集传输通过以下流程实现：

- 1) 启动实时监听。数据缓存中心调用 socket () 建立一个套接字，调用 listen () 使数据缓存中心保持监听状态。
- 2) 建立传输联系。传感器适时调用 connect () 和数据缓存中心建立联系。数据缓存中心调用 accept () 来接收响应。
- 3) 实现数据传输。传感器和数据缓存中心建立联系后，传感器可以访问数据缓存中心提供的接口，并调用 send () 和 recv () 来发送和接收数据。
- 4) 完成数据传输。调用 closesocket () 关闭套接口 [21]。实现流程图如图 8 所示。

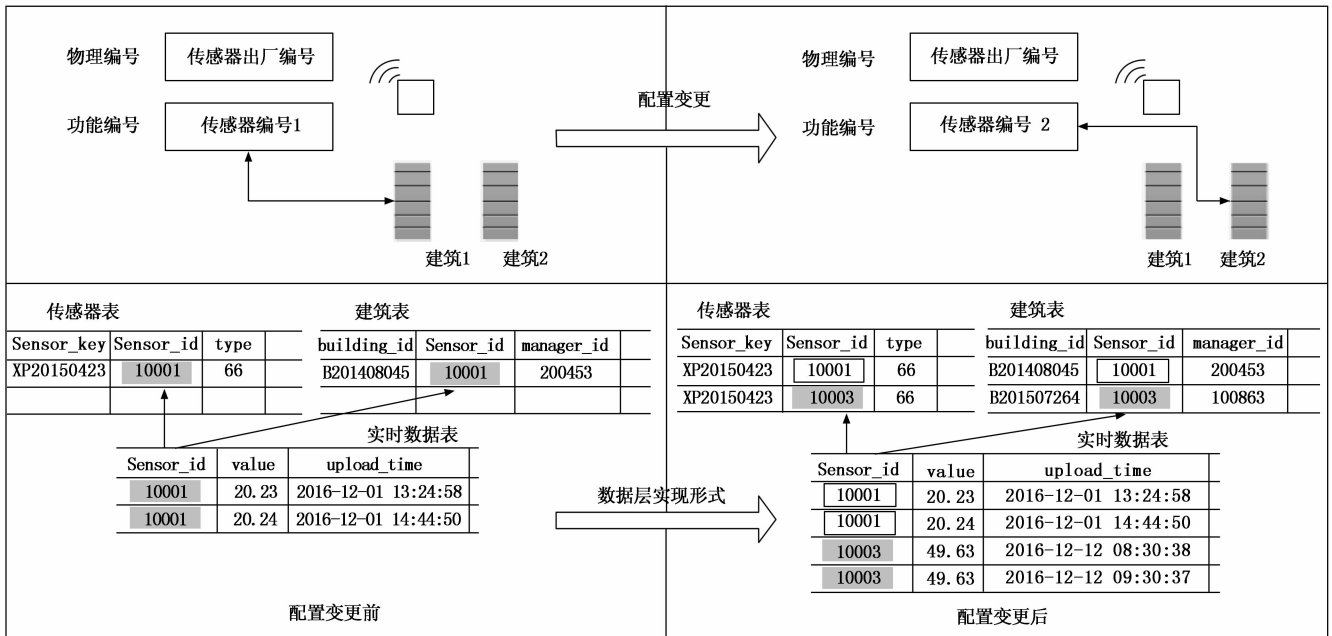


图 6 传感器变更配置原理图

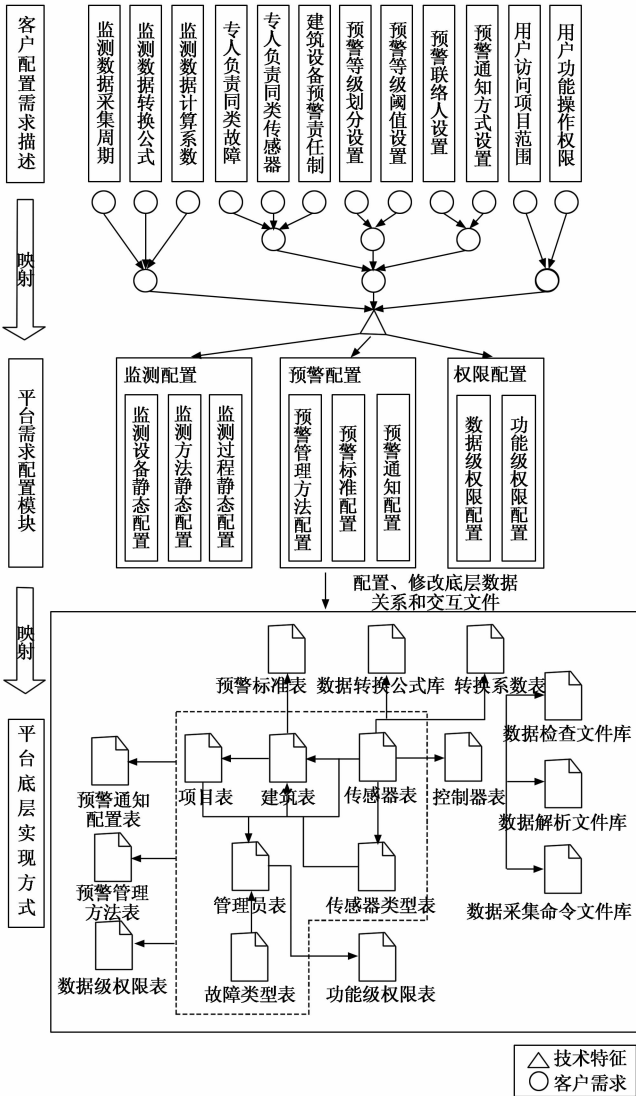


图 7 多用户定制化需求的配置实现原理图

### 3.2 平台通讯交互功能的实现

平台通讯交互负责将数据缓存中心的原始数据经转换处理后, 传输存储至数据中心。通过以下流程实现:

- 1) 进行数据转换处理。数据缓存中心的原始数据通过元数据转换器, 转换为平台可识别的元数据, 加入到数据队列中。随着 5G 技术发展, 信号频率和数据速率都会提高。需要数模转换器拥有更高的性能<sup>[22]</sup>。
- 2) 存储到逻辑数据库。平台业务层的侦听单元从数据队列中读取经处理的元数据, 存储到逻辑数据库。
- 3) 创建回复信息。将回复信息转换成元数据格式, 加入数据发送队列, 发送到数据缓存中心。平台通讯交互流程图如图 9 所示。

### 3.3 面向用户可配置功能的实现

平台的可配置功能主要包括传感器新增配置、变更管理、基础信息定制化配置等内容。本节重点介绍基础信息定制化配置的实现方式, 如图 10 所示。

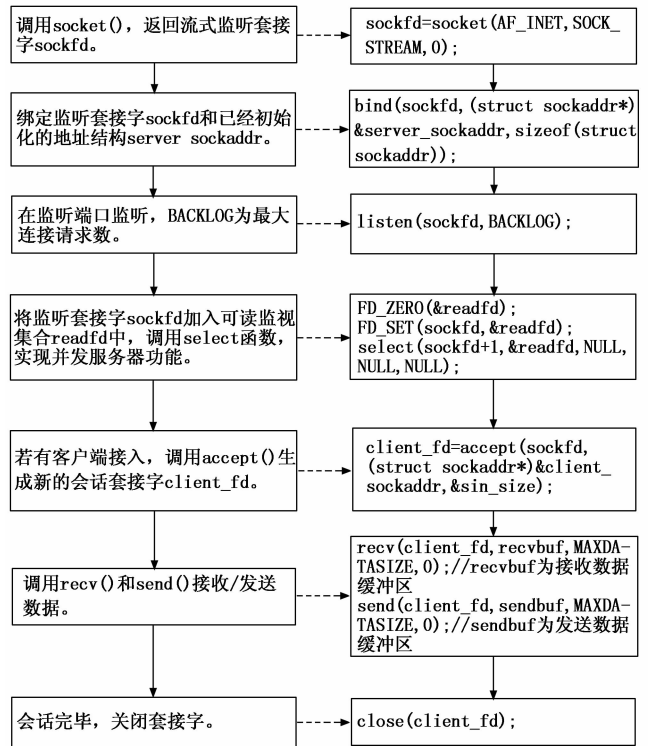


图 8 数据采集传输实现流程图

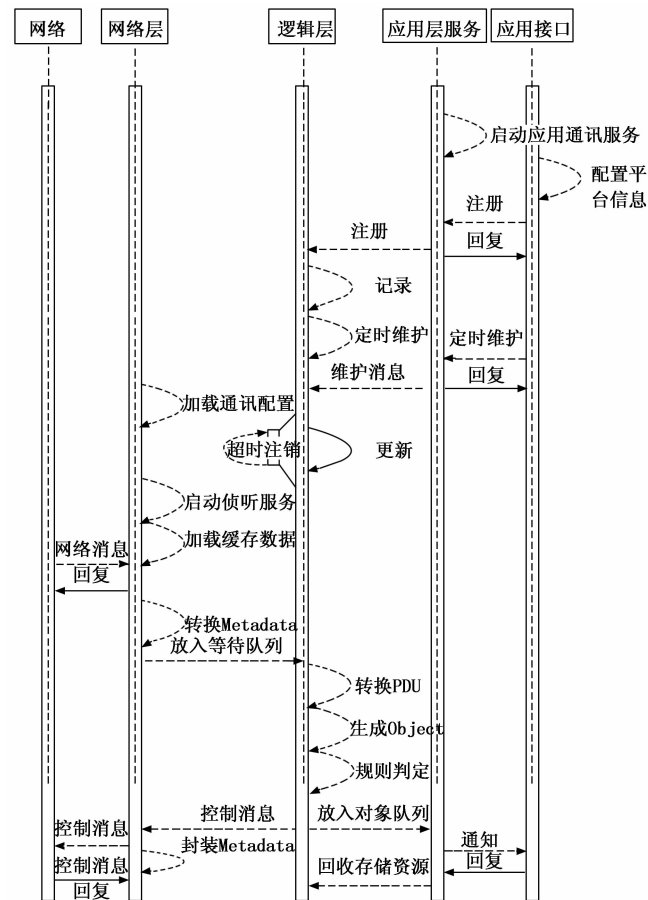


图 9 平台通讯交互流程图

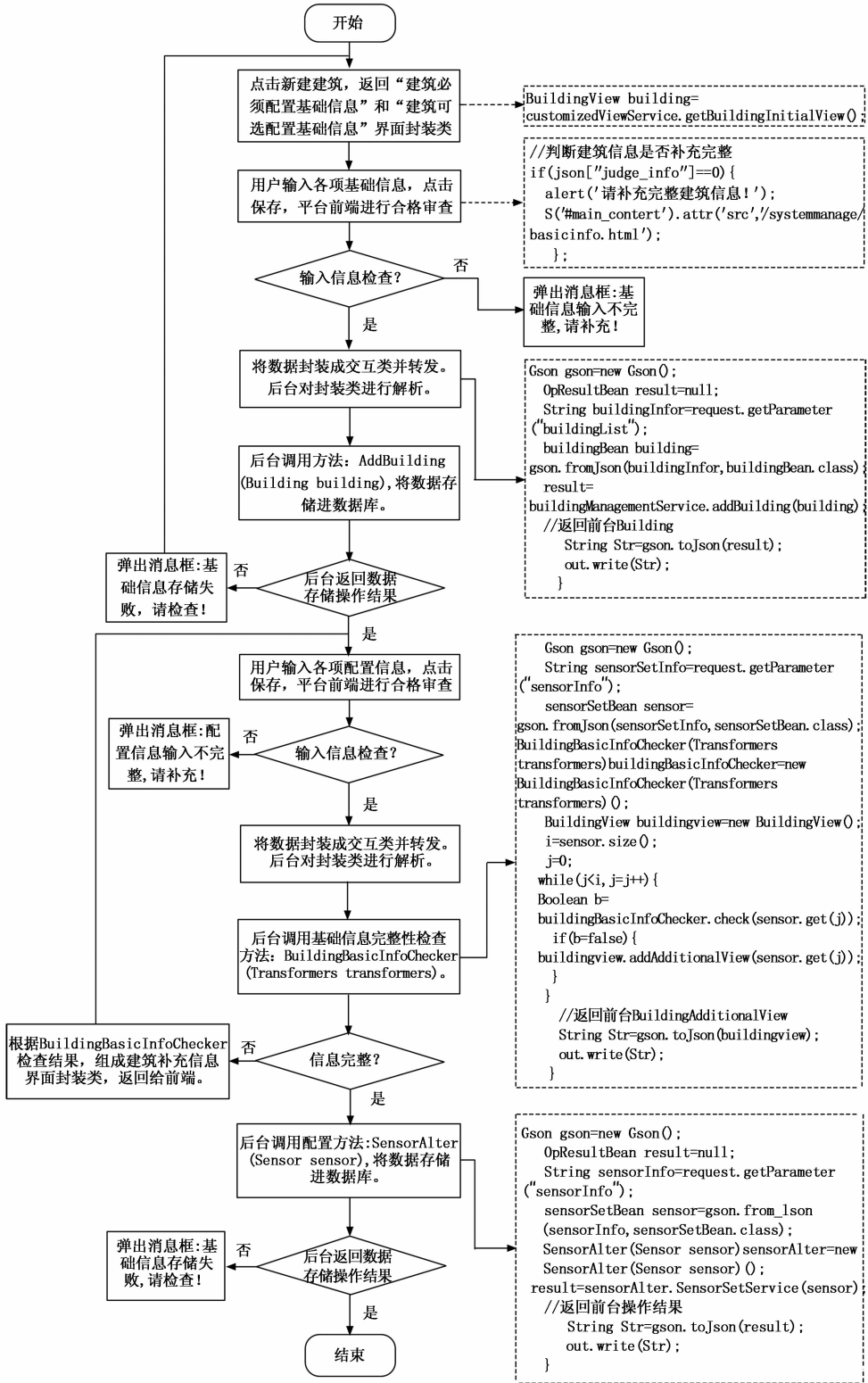


图 10 基础信息的定制化配置实现流程图

1) 点击“新建建筑”，调用方法 getBuildingInitialView ()；回传新增建筑管理界面的封装类。

2) 填写信息并保存后，前端对数据内容进行检查，并封装数据。数据检查包括数据类型、格式、限制性条件等。

3) 平台业务层对前端发来的数据进行解析，并调用方法 AddBuilding (Building building)，将数据存到数据库。

4) 数据存储成功后，跳转到配置界面。填写配置信息并保存后，前端对数据内容进行检查。

5) 业务层调用数据检查方法 BuildingBasicInfoChecker, 检查所需数据完整性。齐全后, 调用 SensorAlter 方法, 将数据存到数据库。

#### 4 实验结果与分析

平台在某院两栋实验楼做了试验性运行, 重点测试了数据采集、数据传输通讯效率、传感器配置技术、预警响应技术等, 通过远程监测软件将数据进行汇总分析, 获取建筑物倾斜、沉降、缺陷变化情况。一般情况下, 数据采集每 30 分钟采集 1 次。为检验数据预处理和传输效率, 试验时按照 1 秒/次采集设置。测试结果显示, 本平台通过分布式数据缓存中心预处理, 上传至数据中心的速度明显快于典型框架的直接上传写入数据中心速度。

试验性运行模拟了传感器故障、数据缓存中心故障等情形, 平台数据中心能保持接收其他分布式数据缓存中心的数据, 不影响其他建筑的连续性监测。同时, 平台能及时预警, 反馈故障传感器和故障数据缓存中心的具体信息。相比典型的监测框架, 具有较好的灾备能力和调节韧性。

在配置技术测试方面, 试验时增加了第 3 座实验楼。通过本平台, 用户可以配置新的监测建筑、传感器、指标等, 并能成功从端点接收数据。相比典型的监测框架, 无法提供可视化配置界面, 需要技术人员从后台配置。本平台在系统柔性配置、扩展性方面表现较好。

在预警响应功能测试方面, 通过对台风作用下实验楼的风速、变形以及振动特性监测结果的分析, 系统处于正常稳定运行范围内, 实验楼在台风作用下及作用后处于安全状态。试验还模拟了火灾等极端情景, 本平台能及时预警。同时, 根据预警阈值设置不同, 预警触发机制也不同, 相比典型监测框架, 为用户提供了定制化的预警方案。

作为建筑安全监测平台的核心功能, 实验重点测试了建筑危险预警的判断准确度和响应速度。实验过程中, 为模拟实验楼倾斜倒塌等灾难情况, 采用仿真数据分段存入平台的方式, 测试平台对异常变化的响应效果。共选取 20 000 组数据, 其中 10 000 组是危险突变数据, 10 000 组是正常数据。模拟的正常数据误判率为 0.6%, 主要原因是灵敏度太高; 模拟的危险突变数据误判率为 0。综合准确率为 99.97%, 能满足紧急情况下的安全预警。系统平均响应速度 2 530 毫秒/次, 具有较好的性能。如表 1 所示。

表 1 性能测试数据

类型	样本 /组	误判数 /组	误判率 /‰	综合准确 率/%	响应速度 /(ms/次)
正常数据	10 000	6	0.6	99.97	2 530
危险突变数据	10 000	0	0		

#### 5 结束语

本文研究并实现了面向用户可配置的建筑安全监测平台, 解决了多建筑体、多类型传感器的统一配置与联合分析问题。平台具有高可配置性、高可扩展性等特点, 有效

得提升了建筑安全检测的效率。本文的主要贡献有: 1) 研究了建筑监测数据采集和通讯交互技术。采用本地数据缓存中心接收来自建筑传感器网络的原始数据。在本地完成数据解析、检查、重构等任务后, 将监控数据转发到中心化的数据中心。为此, 本文设计并实现了高效的数据采集和交互的方案, 提升数据采集的效率。2) 研究了面向不同监测设备的配置技术。以支持不同建筑、不同类型传感器以及不同用户需求为目标, 重点设计并实现了设备配置模块和通讯配置模块, 提高了平台的可扩展水平。3) 研究了面向终端用户的配置技术, 开发了配置页面, 降低了安全监测平台的配置门槛, 提高了平台的可推广性。

#### 参考文献:

- [1] LYNCH J P. Decentralization of wireless monitoring and control technologies for smart civil structures [D]. California: Stanford University, 2002.
- [2] SUN X M, FENG X, ZHOU J. A method for optimum sensor placement based on damage identifiability [J]. Journal of Dalian University of Technology, 2010, 50 (2): 264-270.
- [3] 高盛立. 老旧危楼的鉴定和加固机制探索 [J]. 工程质量, 2014, 32 (9): 8-12.
- [4] CHEN Z D, CHENG Q A, QIU Y H, et al. Dynamics stability in wireless sensor networks active defense model [J]. Journal of Computer and System Sciences, 2014, 80 (8): 1534-1548.
- [5] 陈浩. 珠江黄埔大桥健康监测与状态评估技术研究 [D]. 西安: 长安大学, 2016.
- [6] 姜印平, 顾营迎. 基于振弦式传感器的钢构建筑监测预警系统的设计 [D]. 天津: 天津大学, 2009.
- [7] 姜帅. 基于物联网技术的楼宇健康监测系统的研究与设计 [D]. 西安: 长安大学, 2014.
- [8] 牛同威. 基于 ZigBee 网络的楼宇电气火灾定位预警系统 [D]. 大连: 大连理工大学, 2014.
- [9] 于瑞云, 王鹏飞, 白志宏, 等. 参与式感知: 以人为中心的智能感知与计算 [J]. 计算机研究与发展, 2017, 54 (3): 457-473.
- [10] 贾佳, 邱曙光, 白若琛, 等. 基于 SOA 的智慧河道水质监测预警平台设计及应用 [J]. 计算机应用与软件, 2021, 38 (2): 13-18.
- [11] 武智霞, 韩鹏, 郑树泉. 桥梁健康监测及养护平台设计与实现 [J]. 计算机应用与软件, 2018, 35 (5): 109-114.
- [12] ZHANG L M, CHEN H Y, LI H X, et al. Perceiving interactions and dynamics of safety leadership in construction projects [J]. Safety Science, 2018, 106: 66-78.
- [13] 邱宇, 王持, 齐开悦, 等. 智慧健康研究综述: 从云端到边缘的系统 [J]. 计算机研究与发展, 2020, 57 (1): 53-73.
- [14] 左路路. 建筑结构健康监测系统关键技术研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2020.
- [15] MIYAMOTO, TOSHIYUKI. A multi-agent based manufacturing resource planning and task allocation system [J]. Communications and Computer Sciences, 2003, 86 (4): 574-582.

(下转第 73 页)