

课题编号：2022YFC3801102

密级：公开

国家重点研发计划项目
“建筑与市政公用设施智慧运维理论与方法”

课题二

“建筑与市政公用设施智慧运维性态全息
快速感知与多源异构数据融合”

专题四

“建筑与市政公用设施运维数据采集与融合
系统研发应用”

开题报告

承担单位：深圳市城市交通规划设计
研究中心股份有限公司
专题负责人：安茹

二零二三年二月

目录

- 1 前言 1
 - 1.1 研究背景 1
 - 1.2 目标和意义 2
- 2 国内外研究综述 3
- 3 研究内容与创新点 4
 - 3.1 研究内容 4
 - 3.1.1 系统设计与研发 4
 - 3.1.2 多场景智能运维服务的示范应用 5
 - 3.2 拟解决的关键科学和技术问题 5
 - 3.3 创新点 5
- 4 研究方法与技术路线 6
- 5 研究基础与研发进展 8
 - 5.1 研究基础 8
 - 5.2 研究团队 8
- 6 考核指标与工作计划 9
 - 6.1 考核指标与预期成果 9
 - 6.2 工作计划 9

1 前言

1.1 研究背景

建筑与市政公用设施的复杂性、高耦合性、多变性和社会性，对运维信息的全面、实时获取与融合共享提出了迫切需求。建筑与市政公用设施运维状态信息涵盖表观病害、结构变形、材料强度、动力特征、结构完整性等多维度性态指标以及人、车、气象、地质等运行环境指标，不同指标采用不同的检测监测技术与装备，对应的数据采集与分析系统也相对独立建设和运行，缺乏多维信息的协同感知，以及多源数据的共享、传输与融合利用，难以清晰、全面、快捷地为建筑与市政设施的性态分析及养护维修决策提供全面的数据支撑。

随着物联网、云计算、大数据等新一代信息技术的发展，运维管理部门针对建筑与市政公用设施的智慧管养推进开展了相关信息化平台建设工作，例如，“深圳市交通运输一体化智慧平台”中的“设施安全管养子系统”，以打破设施规建管养信息系统壁垒为目标，建立打通各业务系统之间的业务流程和数据库，实现基于 BIM 的“规、建、养”全要素指标数据的查询和可视化服务；上海城建城市运营公司搭建的“上海城市路网级智慧运管平台”，以大数据、云计算等技术为基石，汇集道路、桥梁、隧道的检测监测数据与管养数据，重点推进感知检测分析、性能评价分析、算法及策略研发应用，目前已接入 5000 路路网视频、1390 个智能监测设备，覆盖 105 个城市基础设施、1935km 城市路网，累积 4 年管养数据、形成 19 万条设施检测记录；福建省搭建的“城市交通设施智慧管养云平台”基于物联网、大数据、人工智能、BIM 等技术，实现对桥梁、隧道等交通基础设施运维期内的数据采集、展示、预警，主要汇集的数据包括桥隧巡检数据、桥隧结构健康监测数据、检测评估数据以及养护维修记录数据，目前平台已开展了福鼎市 19 桥 1 隧、宁德市 9 桥 2 隧检测监测维养一体化服务，开展了福州三江口大桥、新洪塘大桥、三明台江大桥等十余座大型复杂桥梁的长期监测等业务，接入传感器数量超 500 个。

上述平台主要聚焦于设施巡检、结构监测数据的汇聚以及单一维度的分析，缺乏对设施运行环境监测数据的采集融合，同时在感知技术多元化、协同化、全域化以及数据近实时传输与融合分析的发展趋势下，平台的功能架构、技术架构与服务

环境将难以支撑高频多源海量数据的汇聚、存储、融合与共享。

基于以上背景，本专题将在课题二“建筑与市政公用设施智慧运维性态全息快速感知与多源异构数据融合”的整体研究框架下，以专题 1 至专题 3 的技术为驱动，以实际工程项目为场景导向，研发构建一个具备随使用规模的扩大而灵活拓展的能力、接入多元异构大数据并进行融合与分析的能力、以及长期可靠运行能力的多源数据采集与融合系统，开发万级以上终端信息汇聚接入模块，搭建多源数据共享服务环境，面向道路、桥梁、隧道、交通枢纽、超高建筑等 5 类典型设施的实际运维场景，对多端感知、边缘计算、融合管理等技术进行集成验证应用和提升优化。

1.2 目标和意义

本专题旨在通过工程应用对专题 1 至专题 3 研究中取得的技术成果进行检验、提升与集成，建设一个覆盖 5 类设施、支撑万级以上泛在感知终端数据汇聚、具备弹性扩展与互联能力的数据采集与融合系统，实现海量数据超低延时、超高可靠、超大带宽的实时采集和传输，全面、准确、高效地掌握设施运行动态信息，为设施性态分析与智能决策管控提供科学、全面、互联的数据资源支撑，高效开展养护运维与应急保障工作；同时，通过实际工程应用积累的经验与教训，可供其他基础设施数据采集与融合系统建设和智慧城市应用借鉴。

2 国内外研究综述

目前,国内外针对基础设施多源数据采集与融合系统的研究主要从采集感知、数据存储和管理等方面进行技术突破与工程实践应用。

多传感器数据融合方面,Davilia 等^[1]将 BIM 技术用于监测管理桥梁结构多源传感器设备,通过案例研究构建了基于预应力混凝土桥梁的内置结构性能监控系统。Liu 等^[2]基于 BIM 和私有云技术设计了地铁建设管理应用平台,基于多传感器数据实现电子集成,辅助于动态监控地下铁路相关设施的运行和维护。郑江华等^[3]提出了基于混合传感器网络的城市智能交通系统建设架构,打通了多类传感器系统间的数据壁垒,在一定程度上优化了实时效率和结果的可靠性。

数据存储和管理方面,Wu^[4]基于 GIS 技术对道路及桥梁基础设施信息数据进行了可视化与相关分析,构建了道路桥梁基础设施管理信息系统,实现了数据存储与管理、查询与统计、专题图表绘制、空间分析等多种功能,能够对道路和其他基础设施进行实时监控,有助于有效管理。毛华坚^[5]从异构云存储服务、地图匹配算法、并行计算等多项算法出发,为云计算环境下交通海量数据存储、管理与分析提供了有力的技术支撑。张绍阳等^[6]梳理了交通运输数据标准中数据存储、数据交换和决策支持应用的研究现状和不足。宋炜炜^[7]研究了智慧城市时空信息云平台建设,具体围绕空间大数据的存储管理、高性能空间计算和时空信息云平台构建关键技术展开了相关研究。Lu 等^[8]开发了一种涵盖 No-SQL 和关系数据的统一数据管理平台,以减少集成、迁移存在的问题,进一步简化数据管理的操作。

综上,现阶段基础设施数据采集与融合系统的研发仍普遍关注于单一的技术功能突破,统一的技术集成体系尚未成熟,无法形成合力,导致采集海量的数据,进行实时存储检索、深层次数据挖掘工作仍有不小挑战。

3 研究内容与创新点

3.1 研究内容

建筑与市政公用设施运维数据采集与融合系统本质上是一个以物联网大数据平台技术为基石的数据管理与应用服务系统，在体系架构上可以分为感知层、传输层、数据层、应用层四个层次。感知层以全面感知为目标，利用专题一提出的全息智能采集与多维实时感知方法，采集设施性态的多源运维数据；传输层以低延时可靠传输为目标，利用专题 2 研究建立的分布式边缘计算体系与网联架构，对感知层采集的数据进行传输；数据层以海量数据高效存储、融合为目标，利用专题 3 提出的融合模型与管理方法，对采集传输的数据进行存储管理；应用层是以数据共享服务为目标，向用户提供数据实时可视化、多维查询统计分析、异常状态智能诊断及预报预警、感知终端设备监控等智能服务功能。

基于建筑与市政公用设施运维数据采集与融合系统体系架构的理解，围绕运维性态全息快速感知与多源异构数据融合技术的集成应用验证，本专题将开展系统设计与研发、多场景智能运维服务的示范应用两个方面的研究。

3.1.1 系统设计 with 研发

（1）多源数据共享服务环境搭建

调研设施性态数据源，分析系统体系架构各层次的能力与资源需求，建立适配各类数据源的接口协议，利用支撑软件及相关的基础设施，如 GIS 系统、应用服务器、存储服务器、GIS 服务器、网络等，搭建支撑海量多源异构数据高可靠、低延时采集传输与融合的共享服务环境。

（2）多层级关联融合数据库开发

集成 MPP 数据库、关系数据库、内存数据、时序数据库、图数据库等多类型数据库资源，通过分布式的硬件资源架构、松耦合的软件设计架构，开发适应多源数据存储、融合和管理需求的大容量、易扩展、自由灵活的数据库，应用专题 3 提出的数据融合管理技术形成各类主题库、专题库和指标库。

（3）数据采集与融合系统功能研发

开发基于 BIM 和 GIS 的平台软件，集成化管理多源数据，通过 3D 互联网实现直观生动的数据可视化；开发可在个人电脑、移动设备等多种终端上信息浏览、数据发布和设备控制的应用引擎。

3.1.2 多场景智能运维服务的示范应用

选取深圳市重点区域的关键路段、桥梁、隧道、枢纽与超高建筑等五类设施，针对设施群、单体设施、局部构件等不同粒度场景下的运行动态感知场景，对研发的多源数据采集与融合系统进行应用验证。

3.2 拟解决的关键科学和技术问题

本专题是面向多端协同感知、边缘计算、数据融合等技术的集成验证，重点解决感知需求与技术不断发展变化的趋势下，如何设计构建一个支撑万级以上泛在感知终端数据汇聚、具备弹性扩展与互联能力的数据采集与融合系统。

3.3 创新点

虽然物联网、大数据平台技术已较为成熟，但是目前尚无全面、快速感知建筑与市政公用设施运维性态信息的多源数据采集与融合系统落地应用。本研究将通过对专题一至专题三的技术进行集成验证，创新性研发可复用、易扩展的运维数据采集与融合系统，实现海量多源异构运维数据的采集、融合与管理，并基于建筑和市政两类典型项目的应用验证，形成可推广应用的解决方案。

4 研究方法与技术路线

本专题总体实施路径将以应用验证场景需求为驱动，基于感知、传输、存储融合、应用服务等方面的技术支撑能力需求，设计研发多源数据采集与融合管理系统，以“场景设计-系统开发-反馈优化”的迭代循环的方式对平台架构及各项关键技术进行验证与优化升级。

如图 4-1 所示，专题研究工作将面向道路、桥梁、隧道、枢纽、超高建筑 5 类设施性态的全息感知为应用场景导向，按照系统原型设计、数据共享服务环境搭建、系统研发、应用验证、反馈优化的技术思路展开研究，最终实现万级终端的数据汇聚，构建具备弹性扩展与互联能力的数据采集与融合系统。

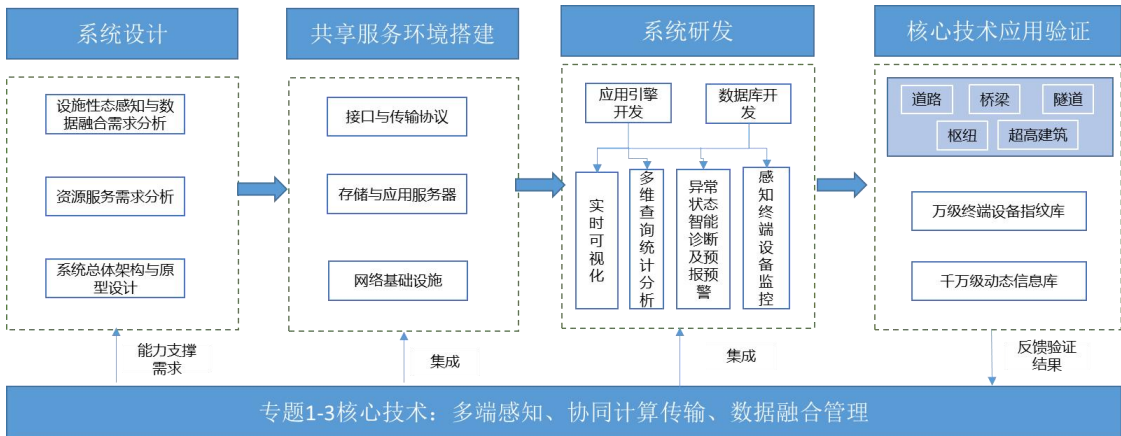


图 4-2 技术路线

基于团队前期对深圳市关键设施的调研成果，本专题计划针对深圳市南山区 486km 市政道路、华润前海中心大厦等 9 栋超高建筑，深圳市 57 座桥梁、4 座隧道，以及西丽高铁枢纽、福田高铁枢纽等关键设施开展数据采集与融合系统的应用验证，设施点位分布如图 4-2 所示。

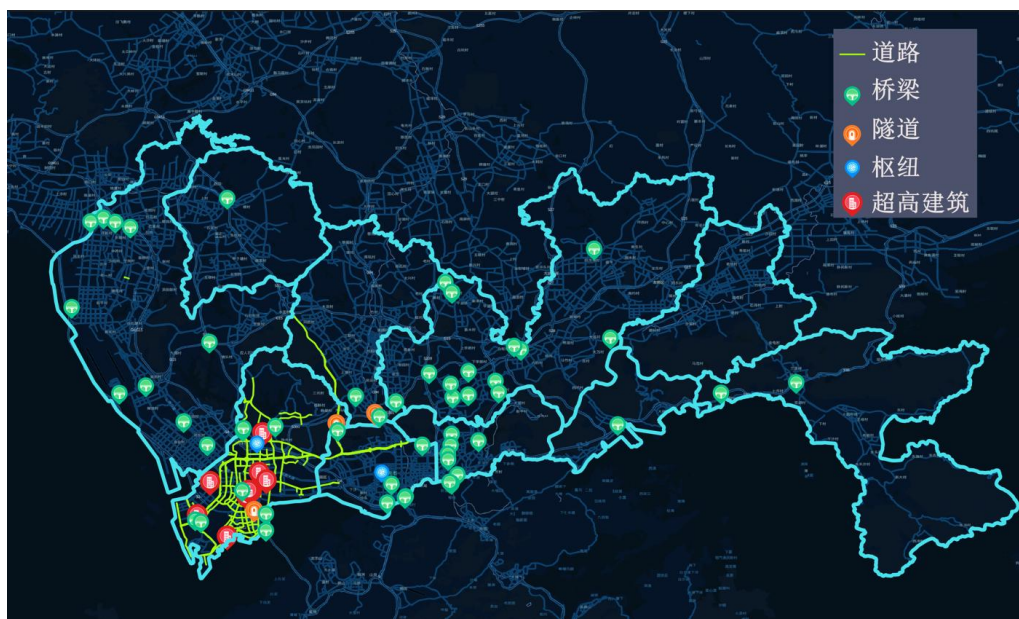


图 4-1 应用验证设施点位分布

其中，关键考核指标——“万级终端”的测算依据如下：

（1）道路 486km，选取 40km 重点路段安装高清摄像头、环境监测仪等实时监测设备，每公里 40 个设备，共计 1600 个；

（2）桥梁 57 座，每座桥 100 个设备（位移计、应变计、裂缝计、拾振器等），共计 5700 个

（3）隧道 4 条，每条隧道 100 个设备（静力水准仪、激光测距仪、温湿度计等），共计 400 个

（4）交通枢纽 2 座，每座枢纽 50 个设备（应变计、位移计、摄像头等），共计 100 个

（5）超高建筑 9 座，每座 3 台无人机智能巡检设备每，共计 27 个

上述设备累计 7827 个，现有部分基础设施已安装设备约 5000 个，合计 12827 个。

5 研究基础与研发进展

5.1 研究基础

深城交牵头承担了国家重点研发计划项目“城市地面基础设施群运行保障关键技术研究与应用示范”，构建了城市级多类型交通设施群安全监测平台，在设施性态多维感知、多源数据采集与融合系统研发方面拥有丰富的经验与研发能力，同时能够为本项目的实施提供设施静态属性信息、历史状态信息、运行环境信息等多源数据支撑。

5.2 研究团队

本专题研究团队成员构成与任务分工见表 5-1。

表 5-1 团队成员与任务分工

成员	任务分工
安茹（专题四组长）	统筹专题四整体进度及技术研发进度
贾磊	统筹技术方案
孟安鑫	业务需求分析
李梦蝶	系统整体设计方案
覃金庆	业务及数据需求分析
赵海云	功能设计
刘梦杨	数据库开发
钟志鑫	功能开发
曾豪圣	系统总体技术架构设计

6 考核指标与工作计划

6.1 考核指标与预期成果

成果名称	成果形式	对应的考核指标	具体交付物
建筑与市政公用设施运维数据采集与融合系统	■新技术 ■软件	a) 正本系统研发, 包含至少 4 个系统功能块; b) 万级感知终端的数据汇聚、弹性扩展与互联能力; c) 系统技术就绪度不低于 7 级, 应用验证覆盖至少 5 类典型基础设施。	系统平台与信息库; 第三方测试报告; 用户证明
软著	/	申请或授权软件著作权 1 项	软著证书
论文	/	发表中文核心或以上级别的学术论文 1 篇	检索证明和论文全文

6.2 工作计划

以 2022 年 11 月为起点, 以 6 个月为时间间隔, 将专题研究周期分为 6 个阶段, 将课题目标、考核方式、实施路径分解落实到专题研究的不同的阶段中, 制定形成项目进度计划如下:

2022.11-2023.04: 完成系统需求分析与初步设计, 形成系统设计方案;

2022.05-2023.10: 建立支撑多端感知、协同计算传输的数据共享服务环境, 完成 1 篇论文的投稿;

2023.11-2024.4: 开展系统详细设计与研发, 申请 1 项软著, 形成系统详细设计方案;

2024.05-2024.10: 完成系统研发, 构建多层次关联融合数据库;

2024.11-2025.04: 完成系统正式版本研发与示范应用, 实现万级以上泛在感知终端的数据汇聚、弹性扩展与互联能力, 技术就绪度不低于 7 级, 完成第三方测试方案评审;

2025.05-2025.10: 完成考核指标第三方测试, 提交应用证明, 完成结题绩效评价材料。

参考文献

- [1] DAVILA DELGADO J M,BUTLER L J,GIBBONS N, et al.Management of Structural Monitoring Data of Bridges Using BIM[C]// ICEE.Proceedings of the Institution of Civil Engineers-bridge Engineering.Kansas City:Thomas Telford Ltd,2017:204-218.
- [2] LIU B,SUN X.Application Analysis of BIM Technology in Metro Rail Transit[C]// IOP.IOP Conf.Series:Earth and Environmental Science.London:Springer,2018:120-128.
- [3]郑江华, 晏磊, 刘岳峰, 等. 基于混合传感器网络的城市智能交通系统构建[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2009,42(3):362-367.ZHENG Jiang-hua,YAN Lei,LIU Yue-feng,et al. Construction of Urban Intelligent Transportation System Based on Hybrid Sensor Networks[J].Journal of Wuhan University:Engineering Edition,2009,42(3):362-367.
- [4] WU X,YAO H,XIE D,et al.Developing of Management Information System of Road and Bridge Infrastructure Based on ArcGIS Engine[C]//IEEE.2012 2nd International Conference on Remote Sensing,Environment and Transportation Engineering.Los Angeles:IEEE, 2012:1-3.
- [5] 毛华坚. 云环境中的移动文件存储和时空数据分析关键技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2013.MAO Hua-jian.Research on Key Technologies of Mobile File Storage and Spatiotemporal Data Analysis in Cloud Environment[D].Changsha:University of Defense Science and Technology,2013.
- [6] 张绍阳, 葛丽娟, 安毅生, 等. 交通运输数据标准研究现状与发展[J]. 交通运输工程学报, 2014,14(2):112-126.ZHANG Shao-yan,GE Li-juan,AN Yi-sheng,et al.Research Status and Development of Transportation Data Standards[J].Journal of Transportation Engineering,2014,14(2):112-126.
- [7] 宋炜炜. 基于时空信息云平台的空间大数据管理和高性能计算研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2015.SONG Wei-wei.Research on Spatial Big Data Management and High-performance Computing Based on Spatiotemporal Information Cloud Platform[D].Kunming:Kunming University of Science and Technology,2015.
- [8] LU J.UDBMS:Road to Unification for Multi-model Data Management[C]//Springer.International Conference on Conceptual Modeling.Seattle:Cham,2018:161-182.