

轻量化桥梁健康监测系统设计与实践

陈厚德

浙江润达检测科技有限公司 浙江 舟山 316000

摘要：随着桥梁工程的发展，桥梁健康监测已成为确保桥梁安全运行的重要手段。然而，传统的桥梁健康监测系统往往存在设备复杂、成本高昂、维护困难等问题。基于此，本文简要介绍了桥梁健康监测系统的基本原理，分析了轻量化桥梁健康监测系统的总体设计，并针对轻量化桥梁健康监测系统的实现进行了讨论，以为相关研究人员提供参考和借鉴。

关键词：轻量化；桥梁；健康监测；系统设计；实现

引言

桥梁作为重要的交通基础设施，其安全性和可靠性直接关系到人民群众的生命财产安全。然而，随着桥梁使用年限的增加，桥梁结构逐渐老化，加上自然环境和交通荷载的影响，桥梁的健康状态逐渐恶化，存在安全隐患。因此，对桥梁进行健康监测，及时发现和处理潜在的安全问题，对于确保桥梁的安全运行具有重要意义。

1 桥梁健康监测系统的的基本原理

桥梁健康监测系统的的基本原理是基于工程力学和结构动力学理论，通过一系列精密的传感器、数据处理设备和数据传输设备，对桥梁结构的状态进行实时监测与评估。这一系统旨在获取桥梁结构的变形、应力、振动等关键信息，进而判断桥梁的运行状态是否正常，并在特殊气候、交通条件下或桥梁运营状况异常严重时发出预警信号，为桥梁的维护、维修和管理决策提供科学依据与指导。首先，传感器作为桥梁健康监测系统的核心元件，扮演着至关重要的角色。它们被安装在桥梁结构上，能够实时监测桥梁的结构变化，精确捕捉如结构形变、强度、位移等关键数据^[1]。这些传感器种类繁多，包括应变计、温度计、锚索测力计、测斜仪、振动传感器等，每一种传感器都针对桥梁结构的不同参数进行监测。通过这些传感器，系统能够获取到桥梁在各种环境条件下的实时响应和行为数据。然后，经过处理的数据通过数据传输与通信技术，如互联网、移动通信网络等，被发送到远程的数据中心或管理终端，这使得桥梁管理部门能够实时访问和查看桥梁的健康监测数据，及时获取桥梁状态的最新信息。最后，数据处理设备是桥梁健康监测系统的另一个核心部分，它主要负责对传感器采集的原始数据进行处理和分析。通过特定的算法和模型，数据处理设备能够深入挖掘数据，提取出对桥梁健康状况有重要指示意义的信息。这些算法和模型通常

基于结构力学、动力学原理以及统计学方法，能够对桥梁结构的整体和局部行为进行实时监控，对结构的损伤位置和程度进行诊断，对桥梁的服役情况、可靠性、耐久性和承载能力进行智能评估。

2 轻量化桥梁健康监测系统的总体设计

2.1 系统设计的总体思路

轻量化并不意味着牺牲系统的性能或功能，而是要在确保系统稳定性和可靠性的基础上，通过优化硬件和软件的配置，降低系统的整体重量和能耗。在硬件方面，选择体积小、重量轻、功耗低的传感器和数据采集设备，可以减小对桥梁结构的负担，降低安装和维护的难度。同时，采用集成度高的硬件模块，可以减少硬件设备的数量，进一步降低系统的重量和复杂度。在软件方面，通过优化算法和代码，减少不必要的计算和资源消耗，提高软件的运行效率和响应速度。此外，采用云计算和大数据技术，可以将部分数据处理和分析任务转移到云端进行，减轻本地系统的负担，实现系统的轻量化。另外，高效性与实时性是桥梁健康监测系统的性能指标。高效性体现在系统能够快速采集、处理和分析数据，及时准确地反映桥梁的健康状况，为了实现高效性，系统需要采用高性能的传感器和数据采集设备，确保数据的准确性和完整性。并且，采用先进的数据处理和分析算法，可以快速地从海量数据中提取出有价值的信息，为桥梁的维护和管理提供科学依据^[2]。实时性则要求系统能够实时监测桥梁的运行状态，及时发现并预警潜在的安全隐患。为了实现实时性，系统需要采用高速的数据传输技术和实时数据处理技术，确保数据能够实时传输到监测中心并进行处理和分析。此外，系统还需要具备自动报警和预警功能，一旦监测到异常情况，能够立即发出警报，提醒相关人员采取应对措施。

2.2 系统的总体架构

桥梁健康监测系统的总体架构是确保系统高效、稳定运行的基石，它通常包含数据采集层、数据传输层、数据处理与分析层这三个核心层次。这一架构的设计旨在实现桥梁结构状态的全面监测、数据的实时传输、高效处理与深入分析，以及监测结果的直观展示与便捷应用。第一，数据采集层作为系统的最前端，扮演着至关重要的角色，它负责通过安装在桥梁上的各类高精度传感器，实时捕捉桥梁的变形、应力、振动等关键数据。这些传感器包括但不限于应变计、位移计、加速度计、温度计等，它们被精心布置在桥梁的关键部位，以确保能够全面、准确地反映桥梁的实际运行状态。数据采集层不仅要求传感器具有高精度和稳定性，还需要具备数据预处理能力，如信号放大、滤波、去噪等，以提高数据的可靠性和准确性。第二，数据传输层则是连接数据采集层与数据处理与分析层的桥梁，它负责将采集到的数据实时、可靠地传输到后端处理中心。为了实现这一目标，传输层通常采用有线或无线传输方式，如光纤通信、4G/5G移动通信、LoRa、NB-IoT等物联网通信技术^[3]。这些技术具有传输速度快、覆盖范围广、抗干扰能力强等优点，能够确保数据在传输过程中的稳定性和安全性。第三，数据处理与分析层是系统的核心，它负责接收传输层传来的数据，并进行深入的处理和分析。这一层通常采用高性能的计算平台和先进的算法，对原始数据进行预处理、特征提取、模式识别等操作，以提取出对桥梁健康状况有重要指示意义的信息。

2.3 系统的功能模块划分

(1) 传感系统模块是桥梁健康监测系统的“眼睛”和“耳朵”，它负责实时捕捉桥梁结构的各种物理参数，如变形、应力、振动、温度等。这一模块通常由高精度、高稳定性的传感器组成，它们被精心布置在桥梁的关键部位，能够全面、准确地反映桥梁的实际运行状态。传感系统模块不仅要求传感器具有高精度和长期稳定性，还需要具备抗干扰能力强、适应恶劣环境等特性，以确保数据的准确性和可靠性。(2) 数据采集与处理模块是连接传感系统模块与后续模块的桥梁，它负责将传感器采集到的原始数据进行预处理和初步分析。这一模块通常包括数据采集单元和数据处理单元两部分。数据采集单元负责接收传感器的信号，并将其转换为数字信号进行存储和传输；数据处理单元则对采集到的数据进行滤波、去噪、校准等预处理操作，以提高数据的准确性和可靠性。(3) 信息传输模块负责将数据采集与处理模块处理后的数据实时、可靠地传输到监控中心。这一模块通常采用有线或无线传输方式，如光纤通信、

移动通信网络等，以确保数据的实时性和安全性。信息传输模块还需要具备数据压缩和加密功能，以降低数据传输的带宽占用和防止数据泄露。(4) 监控中心模块通常包括数据存储单元、数据展示单元和分析单元三部分。数据存储单元负责存储所有采集到的数据和分析结果，以确保数据的完整性和可追溯性；数据展示单元则以直观、易懂的方式展示数据和分析结果，如通过图表、报告等形式；分析单元则利用先进的算法和模型对数据进行深入分析，以提取出对桥梁健康状况有重要指示意义的信息。

3 轻量化桥梁健康监测系统的实现

3.1 系统的硬件实现

系统的硬件实现涉及多个关键环节，包括传感器的安装与调试、数据采集设备的配置与连接以及信息传输设备的选择与部署，这些步骤共同构成了桥梁健康监测系统的硬件基础。在传感器的安装与调试方面，这是整个硬件实现的首要步骤，传感器的选择需根据桥梁的结构特点和使用情况来确定，常见的监测指标包括位移、沉降、倾斜、振动、加速度等。对于不同类型的传感器，如倾角传感器、加速度传感器、应变计等，其安装方式和位置也有所不同。例如，倾角传感器和加速度传感器需要确保安装面与被测结构的测量面完全贴紧，且传感器的轴线与被测结构的轴线保持平行，以减少测量误差。在安装过程中，还需考虑传感器的布置优化，通过有效独立法、MAC方法或序列法等优化方法，确保传感器能够最大程度地反映空间结构的信息。另外，数据采集设备的配置与连接是硬件实现的另一个重要环节，数据采集设备负责将传感器采集到的数据传输至数据中心进行处理和分析。在选择数据采集设备时，需要考虑其采样频率、精度、通道数等参数，以满足不同传感器的数据采集需求。而在连接方面，需要确保数据采集设备与传感器之间的连接稳定可靠，避免数据传输过程中的信号丢失或干扰。此外，还需配置相应的数据采集软件，以实现数据的实时采集、存储和传输。最后，信息传输设备的选择与部署则关系到数据的实时性和可靠性，在桥梁健康监测系统中，信息传输设备负责将数据采集设备传输的数据实时发送至数据中心或远程监控平台。在选择信息传输设备时，需要考虑其传输速度、稳定性、安全性等因素。

3.2 系统的软件实现

系统的软件实现是桥梁健康监测系统中不可或缺的一环，它涉及数据采集与处理软件的编写与测试、信息传输软件的配置与优化、监控中心软件的开发与部署以

及评估与预警模块的实现与验证等多个方面。一方面,在数据采集与处理软件的编写与测试方面,这是软件实现的首要任务,数据采集软件需要能够实时接收来自传感器的数据,并进行初步的处理和存储。这包括数据的滤波、去噪、校准等预处理操作,以确保数据的准确性和可靠性。同时,数据采集软件还需要具备数据压缩功能,以降低数据传输的带宽占用。在编写过程中,需要采用高效、稳定的编程语言和技术框架,如Java、C++等,以确保软件的性能和稳定性。完成编写后,还需对软件进行严格的测试,包括单元测试、集成测试等,以确保其满足设计要求。另一方面,信息传输软件的配置与优化是确保数据实时、可靠传输的关键,信息传输软件负责将数据采集软件处理后的数据实时发送至监控中心或远程服务器^[4]。在配置过程中,需要根据实际网络环境和传输需求,选择合适的通信协议和传输方式,如TCP/IP、HTTP、MQTT等。最后,监控中心软件的开发与部署是软件实现的核心环节,监控中心软件需要能够实时接收、存储、展示和分析来自信息传输软件的数据。在开发过程中,需要采用先进的软件开发技术和框架,如Java EE、Spring等,以确保软件的可扩展性和可维护性。

3.3 系统的高效性和实时性实现

轻量化桥梁健康监测系统的高效性主要体现在数据采集、处理和传输的各个环节中。在数据采集阶段,系统采用了高精度、低功耗的传感器,这些传感器能够实时、准确地捕捉桥梁结构的各种物理参数变化,如位移、形变、应力、振动等。这些传感器通常被精心布置在桥梁的关键部位,以确保能够全面覆盖桥梁结构的各个重要区域。而在数据处理阶段,轻量化桥梁健康监测系统采用了高效的数据处理算法和模型,这些算法和模型能够对采集到的数据进行深入挖掘和精细处理,以提取出有用的信息,如桥梁结构的模态参数、损伤指标等。同时,系统还具备强大的数据分析和评估能力,能够对桥梁结构的健康状况进行实时评估,并预测其未来

的发展趋势。在数据传输方面,轻量化桥梁健康监测系统采用了先进的通信技术,如5G、物联网等,以实现数据的实时传输和远程访问。这些通信技术具有高速、稳定、可靠的特点,能够确保监测数据在传输过程中的准确性和完整性。此外,为了实现系统的实时性,轻量化桥梁健康监测系统采用了多种技术手段。首先,系统采用了实时数据采集和处理技术,能够实时捕捉桥梁结构的各种参数变化,并对其进行快速处理和分析。其次,系统采用了实时监测和预警机制,能够及时发现潜在的安全隐患并发出预警信号。这种实时监测和预警机制不仅提高了系统的响应速度,还为桥梁管理部门提供了及时、准确的决策依据。最后,系统还支持远程监控和远程操作,使得桥梁管理部门能够随时随地访问和查看监测数据,并采取相应的维护措施。

结语

总之,通过对轻量化桥梁健康监测系统的设计与实现进行深入研究,提出了一种基于物联网技术、传感器技术和数据处理技术的轻量化桥梁健康监测系统。实验结果表明,该系统具有较高的准确性和可靠性,能够及时发现和处理潜在的安全问题,可为桥梁的安全运行提供有力保障。未来,我们将继续优化系统的性能和功能,提高系统的智能化水平,为桥梁健康监测领域的发展做出更大的贡献。

参考文献

- [1]徐衍亮.基于轻量化监测的桥梁加固改造后评估方法研究[J].运输经理世界,2022,No.24,114~116
- [2]贺效鹏,郑益斌,罗晓玲,张艳.新型公路桥梁健康监测与安全预警云平台设计及应用[J].交通节能与环保,2023,19(3):123~127
- [3]朱舒婷.典型大跨径桥梁轻量化健康监测技术研究[J].科技资讯,2023,No.24:149~151
- [4]伊廷华,郑旭,杨东辉,李宏男.中小跨径桥梁结构健康监测系统轻量化设计方法[J].振动工程学报,2023,36(2):458~466