

高层结构物智能分析及监测系统探究

田北平¹, 吴照群², 吴佳晔¹, 王东¹

(1. 四川理工学院建筑工程学院, 四川 自贡 643000; 2. 四川升拓检测技术有限责任公司, 成都 610072)

摘要: 高层结构物的安全直接关系到人民的生命财产安全, 结构物损伤诊断及健康监控等方面的研究和开发成为人们关注的重点。文章试图结合目前的现状提出高层结构物智能分析及监测系统存在的主要问题及研究现状, 为进一步研发提供一定的参考价值。

关键词: 监测系统; 智能传感器; 预警技术; 数据库

中图分类号: TU 971

文献标识码: A

引言

近年来, 随着科学技术的进步, 主要先进国家在地震监测、天气预报监测的基础上, 着重开展了有关结构物损伤诊断及健康监控等方面的研究和开发。美国 20 世纪 80 年代中后期开始在多座桥梁上布设监控传感器, 监测环境荷载、结构振动和局部应力状态, 用以验证设计假定、监视施工质量和实时评定服役安全状态。1989 年以后, 结构健康监测技术在土木工程中的应用研究就成为一个研究的热点。应用的对象包括桥梁、水坝、高层建筑和公路等。美国仅 1995 年就投资了 1.44 亿美元, 在 90 座大坝配备了安全监测设备。香港青马大桥安装了大量的传感器用以长期监测桥梁的服役安全性。国内不少新建大型建筑已在施工阶段就开始安装结构健康检测系统, 如江苏的苏通大桥、江阴大桥, 北京奥运场馆等。国内对于结构物健康监测领域的研究正在掀起高潮。另一方面, 地震后对结构物(特别是桥梁等重要社会基础设施)损伤状况的及时判断在稳定人心、救援物资的运送等方面有着非常重要的意义。2008 年 10 月, 新加坡政府 HOUSING & DEVELOPMENT BOARD(HDB 住房和发展委员会)立项 BUILDING STRUCTURE MONITORING SYSTEM (BSMS 建筑结构监测系统)对 25 座重要结构物进行了广域监控。其监测系统包括以下部分:

- (1) 结构物振动监测系统。
- (2) 基于 GPRS 的信号传送系统。
- (3) 基于服务器的数据存储、分析系统。
- (4) 结构物安全性评价系统。
- (5) 信息通报系统。

新加坡政府 HOUSING & DEVELOPMENT BOARD (HDB) 的 BSMS 项目代表了目前世界上该领域的发展趋势。具体体现在:

- (1) 广域监测(对分布在新加坡各地的 25 栋结构进行监测)、集中管理(在控制中心进行集中管理)。
- (2) 基于公共广域网(WAN)如 GPRS/WCDMA 的信号传送系统。
- (3) 通过对地震信号与结构物响应信号的高度化分析, 实时判断结构物的损伤状况。
- (4) 震后实时信息通报。

高层结构物的安全直接关系到人民的生命财产安全, 近年来频频发生的高层建筑倒塌等事件引起了各方面对于结构物安全的高度重视。此外, 5.12 汶川大地震更使得高层建筑安全的重要性得到了前所未有的重视。

随着结构物工作时间的增加, 维护的难度和费用也越来越高, 结构物出现突然损伤的可能越来越大。如能在结构物运营中监测结构物的安全状态, 可及时的发现、处理安全隐患, 排除安全问题于未然, 可避免发生更严重的安全事故, 可延长结构使用寿命, 为保障人民生

收稿日期: 2010-05-28

基金项目: 四川省科技厅重点科研项目(应用基础研究计划)(2009JY0135)

作者简介: 田北平(1963-), 男, 四川自贡人, 副教授, 主要从事基础与结构方面的研究。

命财产安全, 推动我国防灾、减灾以及结构安全监测、预警技术的发展, 高层结构物智能分析及监测系统是有重大意义和非常必要的。

1 目前高层结构物智能分析及监测系统存在的问题及研究现状

1.1 存在的主要问题

目前高层结构物智能分析及监测系统主要采用传统方式, 其结构方式如下即: 传感器 → 线路 → 放大器 → 线路 → A/D 转换 → 计算机存储及处理。

传统方式在防灾、减灾的监测及评估、地震影响评估、重要结构物的监测监控以及信息的实时通报方面具有非常重要的社会意义和经济意义。然而, 在具体的实施中又具有非常多的实际困难。

1.1.1 涉及内容众多, 技术要求高

如, 对于一座城市的防灾、减灾等, 包括:

- (1) 自然灾害: 如洪水、地质滑坡等。
- (2) 人为灾害: 如工厂的事故、市政施工等。
- (3) 次生灾害: 如地震造成的结构物损坏、洪水造成的堤防决口等。

这些监测及健全性评估包括众多领域, 如传感器技术、信号采集与传输、通信、信号识别和结构安全分析等领域, 涉及机械、电子、计算机、通信和土木等学科, 十分复杂。

1.1.2 工程量大, 初期费用高

由于需要监测的对象、地点通常数目众多。然而在传统的监测系统中, 往往存在设置工作量大, 初期费用高的问题。其主要原因在于信号传输问题。传统的监测系统一般采用如下的结构方式即: 传感器 → 线路 → 放大器 → 线路 → A/D 转换 → 计算机存储及处理。但是, 由于需要监测的地点往往比较分散, 因此监测地点到计算机处理的地点一般有相当的距离。这样一来, 信号线路很长, 从而造成:

- (1) 信号衰减的问题: 对于采集的模拟信号, 当传输线路长时, 会造成较大的衰减, 严重影响信噪比 (S/N)。
- (2) 线路铺设成本高: 如需要铺设专用信号传输线路, 在距离长时其成本相当可观。
- (3) 维护困难, 长期运行费用高。

1.1.3 扩张和升级困难

目前, 不管是国内还是国外的结构物监测系统大多采用星型拓扑结构, 以中央控制站为中心, 传感器分散安装于各监测点, 传感器通过专用电缆与中央控制站通信。整个系统中的各种传感器, 包括目前最流行的光纤光栅传感器都只是信号感知元件, 只能采集传送数据,

不具备任何数据处理能力。这种工作模式就造成:

(1) 中央控制站负荷大: 整个监测系统的数据全部集中在中央控制系统进行分析、处理和存储, 中央控制系统数据处理量大, 对控制系统的软硬件设备要求高, 中央控制站负荷大。

(2) 通信网络复杂: 通信网络数据传输量大, 系统中传感器采用的数据输出方式也不一样, 有的输出是电压信号或电流信号直接进入计算机进行模拟数字转换; 有的输出是 RS232 通信协议和计算机相连; 有的输出则直接是 TCP/IP 通信协议和计算机网口相连, 需要重复铺设多种通信线缆, 一方面增加了监测系统的成本, 另一方面限制了监测网络覆盖领域。如系统中采用 GPS 及光纤应变传感时, 还需要构筑专用的光纤网络, 因为它们的通信协议不同于 TCP/IP 协议, 大大增加了系统构筑、运营成本和网络复杂性。网络越复杂, 其可靠性也越难保证。

(3) 监测范围窄: 由于监测系统的结构和通信网络方面的特点, 造成监测范围比较小, 一座结构物就需要单独搭建一套监测系统, 造成了资源的浪费, 不利于信息资源的整合。在系统升级、运行维护方面也会带来诸多的不便, 使得费用上升。

1.2 主要研究现状

随着国民经济发展总量不断攀高, 高层建筑工程量也连续逐年上升, 其工程竣工后的长期安全性一直是业主 (单位) 极为关注的问题, 而传统的检测、监测手段在数据传输的实时性、数据分析的智能精确性、价值信息的预判断和安全状态的预警等方面都存在天然的缺陷或者障碍。同时也应清醒的看到高层建筑安全的监测以及损伤评估是一项非常艰巨的工作, 涉及面广、技术要求苛刻, 并且构筑及维护成本高。尽管国内对其重要性已经有了深入的认识, 防灾减灾、结构物安全健康监测已成为学者们的研究热点, 但广域范围的安全监测系统仍未建立。只有少数重要建筑如北京奥运场馆、特大型桥梁等才部署安装了结构安全监测系统, 鉴于成本造价、运营维护的原因, 高层建筑等民用结构物还处于监测盲区。为此, 应开发一套跨平台的, 面向各类高层结构物安全的监测, 并可应用于高层结构物安全性的评估、预警及报警系统。基于此目前国内外倾向于将传感器技术、通信、信号处理、嵌入式技术等应用于高层结构物的安全监测中, 开发一套通用性强、监测范围广、智能化程度高和成本低的高层结构远程安全监测系统。目前对高层结构远程安全监测系统的研发已取得了一些成果并形成了一些共识, 具体反映在以下三个方面:

(1) 智能传感器平台

将先进嵌入式技术、无线通信技术、微电子技术应用于传感器平台的开发中,开发具有数据采集、分析、判断、存储和无线网络数据传输功能的无线智能型传感器平台,现有研究表明由于传感器采用了智能化嵌入式传感器平台,所以可同时采集多种监测信号,有较强的数据处理和存储能力,能对监测数据进行 A/D 转换、频率分析等预处理,进行基本状态判断。传感器群目前的研发思路主要是采用主从式结构,由智能传感器平台组成。从传感器(如加速度、位移、应变和压力等)主要负责数据的采集和信号转换,主传感器充当服务器控制和处理群内传感器数据,并与控制中心通信。传感器平台与中央控制系统之间通信主要使用 GPRS(General Packet Radio Service,通用分组无线业务)网络,不用单独布线,这样可大大的降低监测系统的构筑成本。同时,采用数据预处理、数据压缩等技术,可以大大缩减数据传送量和数据传输资费。这样完全有可能通过本智能传感器平台,实现对广域、分散的各类重要对象(如桥梁等重要结构、边坡斜面等自然灾害易发地域等)的安全进行实时监控。鉴于目前我国 GPRS 网络覆盖范围已经非常广,即使在有线电缆不能覆盖的偏远山区,这样的监测系统一样能进行有效的监测。因此通过采用智能传感器平台,可以集信号放大、A/D 转换、数据存储、数据处理、调制解调以及信号传送于一体,在接上不同的专用传感器如加速度传感器后,即可简易地对测点进行测试。从目前来看与传统的监测系统相比,采用该方式具有以下明显的长处,可表现为:

① 信号衰减小,抗干扰能力强:由于已在传感器内部进行了 A/D 转换,数据传送全数字化,因此无论传送距离有多远,信号仍然能够保持很高的信噪比(S/N)。

② 无需专用的信号传送线路,可大大降低系统构筑成本:该智能化网络型传感器平台由于具有调制解调以及信号传送机能,可以支持公共通信网络(Internet/GPRS)的信息传输。同时,该平台具有极强的数据处理能力,对所监测的数据可以预先进行各种信号分析和处理,这样可以极大地减少数据传送量。因此,利用该平台,当监测对象附近可以接入公共电话线时,可利用 Internet 传送数据;无公共电话线时,则可利用 GPRS/WCDMA 等(手机)传送数据,从而极大地降低了线路铺设成本,使得构筑广域范围内的监测系统成为可能,从目前的情况来看还有许多问题尚未解决。

(2)异常信号识别及预警系统

研究表明为了对监测对象的安全性进行有效、确实的监测,需要对各种测试信号进行分析处理。其中,从测试对象的振动信号中识别结构的安全或者损伤状态

是非常有效的方法之一。现有的研发思路主要是以测试对象的振动信号为基础,结合其他的诸如压力、位移等测试量,从而判断分析对象的安全状况。同时,根据监测结果,可以实时地进行预警和报警,最大程度地避免生命财产的损失。智能传感器对收集的信号(如环境激励下的结构物振动相应信号、边坡的水压等)进行处理,筛选出可疑信号,捕捉结构物可能的损伤以及滑坡、崩塌的先兆并进行预警。但这对预警的方法提出很高的要求。既不能将正常信号判断为可疑信号,也不能漏过出关键的可疑信号。作为中央控制系统的服务器计算机对各个传感器群的信号要进行进一步的综合、处理和分析,以判定可疑信号是否是表明异常特征的信号。对于重要高层结构,要确定其是否损伤,初步判定损伤部位及程度。同时,从多个传感器的信号中可取得结构物的固有模态参数,从而对结构物的损伤部位和程度作进一步的确认。这些问题还须进一步研究与探索。

(3)数据库、控制中心及用户端

研究认为控制中心的作用为对传感器平台发来的信息进行综合分析,通过异常信号识别、模态参数识别等技术实时判断结构物、边坡的安全状态;可对传感器发出指令,以控制传感器的工作状态;同时,现有研究表明作为数据存储中心,应构建安全数据库系统。这样监控人员不仅可以通过监控终端查看监测对象状况,控制传感器工作状态,还可以通过公用的 Internet 网络方便的监控系统监测状态,及时的掌握结构物的运行状态。为了更加准确地对结构物等监测对象的安全状态进行判断,构筑安全监测数据库是非常必要的。通过对不同类型、不同条件的对象的长期监测/评价数据进行数据库管理、检索、对比和分析,可以大大提高判别和预报精度。

尽管目前在高层结构物智能分析及监测系统研发中取得了一些成果,但在有些问题上还须进一步研究与探索,如:

① 智能传感器的扩展:在现有的以振动为中心的监测项目中,增加其他所必要的监测项目(如位移、应变、压力等)。今后可否进一步与 GPS(全球卫星定位系统)、太阳能电池等结合,真正做到无线、无源,当可在更大程度上、更广泛的应用场合上拓展适用领域。

② 适合于 Ethernet 和 GPRS/WCDMA 双模的通讯网络的构筑。

③ 高度的信号分析及异常信号的识别能力:现有研究中传感器采集信号多为非稳态信号,能否运用小波及 HHT 的方法对数据进行处理。

④ 环境激励(如车辆的交通荷载、风荷载等)下的

结构模态参数识别, 构筑了一系列的模态分析方法模块, 以适应不同的结构物。

2 结束语

高层结构物智能分析及监测系统的研发是通过搭建一个具有充分可扩张性、开放的监测/评价/报警平台, 以便能够适用于大范围(无区域限制)、不同对象(高层建筑、塔台设施等结构物)、不同目的(防灾、减灾、安全等)的长期监测和预警、警报, 同时随着研发工作的深化基于智能传感器平台的分析及监测系统其部署成本和日常运营管理方面优越性将日益凸显, 相信将逐步具备进入民用建筑领域的主、客观条件, 我们应该认识到高层结构物智能分析及监测系统的研发在我国显得尤为重要。具体体现为:

(1) 在线监测高层结构物的安全状况, 并能对异常情况进行识别和预警。

(2) 能在天灾人祸发生以后, 及时对监测场所、对象结构物的安全及损伤情况进行准确判断, 为救援及重建提供重要决策支持。

(3) 能在灾害发生以后, 及时向广大群众通报灾情

及损害信息, 有利于社会稳定。

所以为保障人民生命财产安全, 推动我国防灾、减灾以及结构安全监测、预警技术的发展, 高层结构物智能分析及监测系统的研发是具有重大意义的。

参考文献:

- [1] 沈琪. 基于 CAN 总线的嵌入式监控系统研究与应用 [D]. 上海: 上海海事大学, 2005
- [2] 保华富, 唐建华, 董泽荣. 崩塌堆积体边坡滑坡安全监测成果分析 [J]. 地下空间与工程学报, 2006, 2(6): 1007-1013
- [3] 王云剑. 房屋建筑强度评估的无损检测方法 [J]. 地震工程与工程振动, 1993, 13(3): 83-88
- [4] 唐坤, 刘保东. 建筑结构损伤的改进模态参数估计法 [A]. 沿海地区混凝土结构耐久性及其设计方法科技论坛与全国第六届混凝土耐久性学术交流论文集 [C]. 深圳: 2004
- [5] 吴佳晔, 安雪晖, 田北平. 混凝土无损检测技术的现状和进展 [J]. 四川理工学院学报: 自然科学版, 2009, 22(4): 4-7.

Research on the Intelligent Analysis and Monitoring System About High-level Structures

TIAN Beiping¹, WU Zhao-qun², WU Jia-ye¹, WANG Dong¹

(1 School of Architecture Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

2 Sichuan Central Inspection Technology Co. Ltd, Chengdu 610072, China)

Abstract The security of high-level structures is directly related to the safety of people's lives, so people pay more attention to structure damage detection and health monitoring development. This paper attempts to put forward main problems and research directions of the intelligent analysis and monitoring system about High-level structures, the result has certain reference value to the further research.

Key words monitoring system; intelligent sensor; warning technology; database