

结构集群健康监测 信息处理技术研究及应用

JIEGOU JIQUN JIANKANG JIANCE
XINXI CHULI JISHU YANJIU JI YINGYONG

何 坚 陈 峰 著



暨南大学出版社
JINAN UNIVERSITY PRESS

结构集群健康监测 信息处理技术研究及应用

JIEGOU JIQUN JIANKANG JIANCE
XINXI CHULI JISHU YANJIU JI YINGYONG

何 坚 陈 峰◎著



暨南大学出版社
JINAN UNIVERSITY PRESS

中国·广州

图书在版编目 (CIP) 数据

结构集群健康监测信息处理技术研究及应用/何坚, 陈峰著. —广州: 暨南大学出版社, 2018. 7

ISBN 978 - 7 - 5668 - 2433 - 2

I. ①结… II. ①何… ②陈… III. ①建筑结构—监测—信息处理—研究
IV. ①TU317 - 39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 148662 号

结构集群健康监测信息处理技术研究及应用

JIEGOU JIQUN JIANKANG JIANCE XINXI CHULI JISHU YANJIU JI YINGYONG

著 者: 何 坚 陈 峰

出 版 人: 徐义雄

责任编辑: 古碧卡 姚晓莉

责任校对: 刘雨婷

责任印制: 汤慧君 周一丹

出版发行: 暨南大学出版社 (510630)

电 话: 总编室 (8620) 85221601

营销部 (8620) 85225284 85228291 85228292 (邮购)

传 真: (8620) 85221583 (办公室) 85223774 (营销部)

网 址: <http://www.jnupress.com>

排 版: 广州市天河星辰文化发展部照排中心

印 刷: 广州市穗彩印务有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 4.5

字 数: 83 千

版 次: 2018 年 7 月第 1 版

印 次: 2018 年 7 月第 1 次

定 价: 25.00 元

(暨大版图书如有印装质量问题, 请与出版社总编室联系调换)

前 言

传统结构健康监测系统多采用有线网络，针对单个工程结构构建，数据传输通过有线网络完成，各个结构健康监测系统之间表现为彼此孤立的“信息孤岛”。随着工程结构健康监测需求的日益增多，迫切需要一个能够有效实现多个工程结构（结构集群）实时健康监测的系统，但由于工程结构的地域分散性以及有线设备安装的复杂性，以往有线网络传输的监测方案不可避免地存在布线工作量大、监测设备体积大、成本高等缺点。

本书以无线物联为传输手段，以并行计算、并行存储为海量信息处理工具，以并行可视化三维显示技术精确展示结构细节，对结构集群健康监测系统的相关信息技术进行了研究。主要内容如下：

（1）基于无线物联的集群式结构健康监测系统架构设计。

在综合调研桥梁健康监测技术、物联网技术、集群技术的基础上，确定了以并行可视化集群技术构建海量信息处理平台，以无线物联技术实现结构集群监测数据远程无线传输的技术路线。在此基础上，设计了基于无线物联的集群式结构健康监测系统架构。

（2）基于无线物联的结构集群健康监测系统软硬件开发。

采用并行可视化集群技术，设计并建设了结构集群健康监测平台，将无线模块统一于 AT91SAM9G20 ARM 微处理器芯片，设计了桥梁健康监测系统下位机系统。采用 VC 软件，设计了桥梁健康监测中心上位机系统，从而实现了基于无线物联的结构健康监测数据的远程采集、本地存储和传输。

（3）结构健康监测并行三维可视化技术研究。

采用并行计算机集群技术，设计并建设了三维并行可视化集群用于结构健康并行三维可视化。之后，采用 CGLX 并行可视化中间件，以及 OpenSceneGraph 语言，以某钢构桥为例，建立了构建模型，开展了场景设计，并基于并行可视化集群，开发了结构健康监测并行三维可视化软件，开展了结构健康监测并行三维可视化的软硬件实现研究。

（4）基于无线物联的结构集群健康监测系统应用研究。

将基于无线物联的结构集群健康监测技术应用于两个实际工程项目。其中，西丽机楼结构健康监测系统为新建项目，通过应用自主研发的无线测控

终端，将远程健康监测数据传回集群健康监测室，实现了房屋结构沉降的远程实时监测；新光大桥长期健康监测系统为改造项目，采用无线网关、VPN连接等现代通信技术，实现了远程数据访问；通过新建远程电源监控系统，实现了原系统的远程维护；通过调整数据库表结构以及编写新的查询软件，实现了在原有系统改动最小情况下的数据库远程搬迁及优化。

两套结构健康监测系统统一部署于远端的结构集群健康监测室，以无线物联的方式实现与远端结构的数据访问，系统长期运行良好，有效验证了基于无线物联的结构集群健康监测系统的可行性，极大地便利了系统维护及结构数据的科学研究。

作者

2018年3月

目 录

前 言	1
第 1 章 绪 论	1
1.1 研究意义	1
1.2 国内外研究现状	5
1.2.1 结构健康监测系统研究现状	5
1.2.2 物联网的发展趋势	6
1.2.3 集群技术发展现状	11
1.3 研究内容	12
1.3.1 研究目标	12
1.3.2 平台架构	13
1.3.3 主要研究内容	14
第 2 章 基于无线物联的集群式结构健康监测平台设计	16
2.1 基于可视化计算机集群的结构健康远程监测中心设计	17
2.1.1 中心存储容量设计	17
2.1.2 大屏幕显示及信息处理系统设计	18
2.2 结构安全监测嵌入式数据采集与处理子系统设计	20
2.2.1 无线模块相关电路设计	21
2.2.2 系统通用 I/O 接口电路设计	22
2.3 基于 ARM 的无线结构健康监测系统软件设计	23
2.4 小结	27
第 3 章 结构健康监测并行三维可视化技术研究	28
3.1 概述	28
3.2 三维可视化技术	28
3.3 并行图形绘制体系结构	32
3.4 结构健康监测并行三维可视化系统实现	34

3.4.1	三维可视化图像集群	34
3.4.2	三维可视化集群管理软件及开发工具	36
3.4.3	三维可视化应用程序开发	37
3.5	小结	39
第4章	基于无线物联的结构集群健康监测系统应用研究	40
4.1	概述	40
4.2	基于无线物联的西丽机楼结构健康监测系统应用研究	40
4.2.1	项目概况	40
4.2.2	远程实时监测方案	41
4.2.3	系统软硬件结构及界面	45
4.2.4	西丽机楼结构沉降监测结果分析	48
4.3	新光大桥远程健康监测改造	50
4.3.1	项目概况	50
4.3.2	项目改造方案	52
4.4	小结	62
参考文献		63

第1章 绪 论

1.1 研究意义

随着经济的快速发展,我国大型基础设施不断兴建,大量的建筑和桥梁等工程结构投入使用,满足了社会和经济发展的重大需求。与此同时,随着高负荷的使用和环境因素的影响,大量既有基础设施也面临着结构性能退化等问题,例如,我国桥梁总数的40%已属“老龄”桥梁。近年来结构垮塌事件时有发生,突发性、灾难性结构失效事故日益增多(见下表),给人民生命财产造成了严重损失。这些问题对工程结构健康监测提出了更高的要求。

近年新闻报道的结构安全事故不完全统计

时间	事故表现	后果
2009年6月27日	上海十三层新建楼房倒塌	1人死亡
2009年6月29日	黑龙江铁力西大桥垮塌	4人死亡,4人受伤
2009年7月20日	广西柳州3层拆迁楼房垮塌	2人死亡,13人受伤
2009年7月23日	石家庄晋州近200米在建电视塔雨夜折断	
2009年11月11日	深圳地铁3号线塌陷	13人死亡
2010年1月3日	昆明新机场在建桥梁坍塌	7人死亡,34人受伤
2010年1月12日	贵州福泉脚手架倒塌	8人死亡
2010年1月16日	南广高铁白云隧道重大塌方	5人死亡,1人失踪,4人受伤
2010年2月14日	四川洪雅铁索桥垮塌	28人受伤
2010年3月14日	贵阳国际会展中心工地发生垮塌事故	7人死亡,19人受伤
2011年7月14日	福建武夷山公馆大桥垮塌	1人死亡,22人受伤
2012年8月24日	哈尔滨阳明滩大桥引桥倾覆	3人死亡,5人受伤

结构健康监测系统采用应变(应力)、位移、速度和加速度等结构响应类

传感器，以及温度、湿度、风速和风向等环境类传感器构成传感网络，通过现代通信技术将采集信息实时传输到信息中心进行分析和处理，从而实现对结构健康状况的实时监测、分析与评估，对出现危险的结构及时发出预警。

传统的结构健康监测中心多建在监测对象所在场址附近，采用工业控制计算机，通过有线方式构建各自独立的结构健康监测系统，而监测服务则根据监测对象及行政管辖区域的不同，由业主公司、管养单位、专业监测公司、高等院校、科研机构或相关管理部门各自完成。各监测系统表现为相对封闭的“信息孤岛”，在技术和管理上均无法进行直接的信息交流。传统结构健康监测系统如图 1-1 所示。

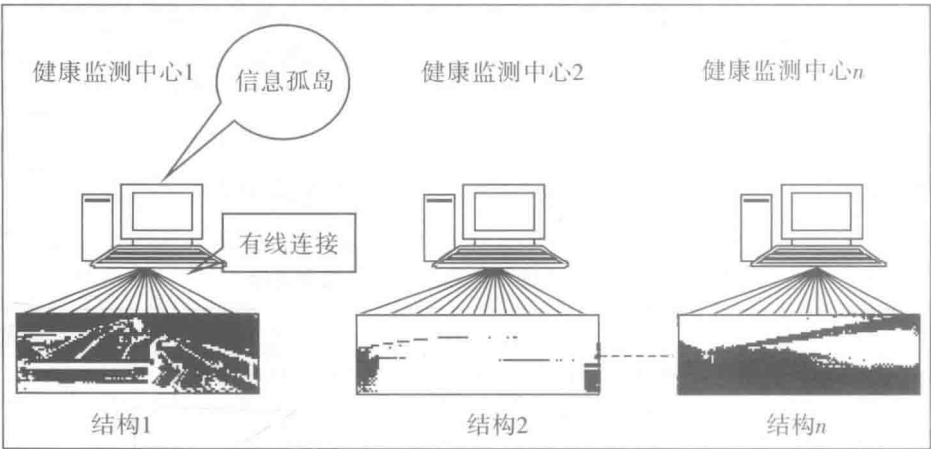


图 1-1 传统结构健康监测示意图

传统结构健康监测系统存在以下缺点：

(1) 结构健康监测传感网络与结构健康监测中心之间通过有线网络连接，所用的传感器专用线缆多为昂贵的屏蔽线缆，人工布线及线材成本往往占到结构健康监测系统总造价的 30% 以上，系统布线成本高。

(2) 针对单个结构健康监测对象建立各自的监测中心，系统重复投资严重，各个监测中心建设缺乏统一的规范标准，监测服务内容不明确，监测单位实力良莠不齐，一些监测系统甚至在建成之后长期处于闲置状态，造成极大的浪费。

(3) 各个结构健康监测中心形成各自的“信息孤岛”，区域内结构健康监测数据难以共享，难以实现区域内多座建筑结构或桥梁结构的统一监测和管养。

随着工程结构健康监测需求的日益增多，迫切需要能够有效实现多个工

程结构（结构集群）实时健康监测的系统，无线物联网的迅猛发展，为建设集群式结构健康监测系统提供了一种有效的技术手段。目前，无线网络已经覆盖中国多个大中型城市，为集群式结构健康监测提供了良好的通信网络基础。无线网络特有的覆盖面广、无缝漫游、大数据量、高速率等特点，特别适合集群式结构健康监测系统大范围海量数据采集的需要。

对于区域内结构集群健康监测所带来的海量数据分析、处理与图像显示问题，并行计算技术提供了一个良好的解决方案。并行计算技术利用大量的通过网络互联的分布式计算机构成强大的具有计算、存储功能的资源池，通过网络以按需、易扩展的方式提供所需的计算服务。基于并行图像处理的并行三维可视化技术，以通用计算机构建计算机集群，将整体液晶显示拼墙以四块屏为单元进行划分，在主节点计算机的统一调配、组织下，由子节点控制器将图像并行渲染到显存中，然后显示到高清 LCD 拼接显示屏上，可以实现超高分辨率的图像显示，以及在传输带宽允许下的屏幕无限扩展。这种基于 CUDA 技术的 GPU 云计算技术以有限的硬件设备，利用强大的服务器集群并行处理能力，实现大容量、复杂图像的快速渲染，从而实现大容量数据的快速展现，如图 1-2 所示。

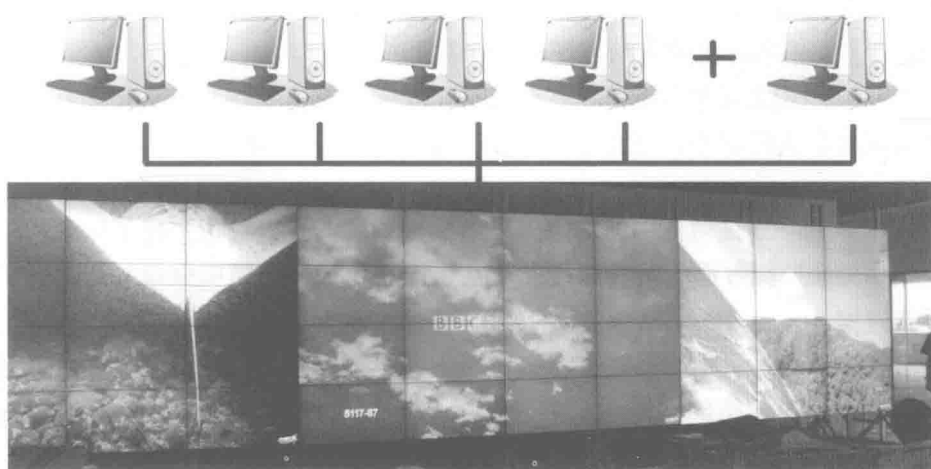


图 1-2 并行可视化三维展现示意图

本书将无线物联网、嵌入式监测系统、基于云计算的数据分析与存储以及并行三维展示技术相融合，提出了建设基于无线物联的集群式结构健康监测平台的解决方案：采用嵌入式数据采集系统代替传统的工业计算机，实现监测数据的初步采集与滤波处理；以无线网络为基础，构成区域内工程结

构健康监测传感器物联网；以并行计算技术为基础，构建结构集群健康监测海量数据存储分析平台，同时建设并行三维可视化系统，快速展示复杂结构内部细节。基于无线物联的集群式结构健康监测平台架构如图 1-3 所示。

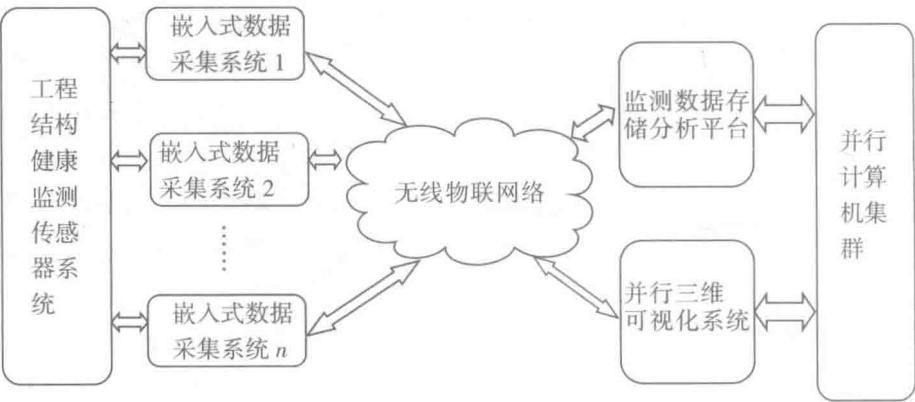


图 1-3 基于无线物联的集群式结构健康监测平台架构

基于无线物联的集群式结构健康监测平台具有显著的经济效益和社会效益，主要表现在：

（1）可为区域内建筑、桥梁等工程结构健康监测和管理养护提供有效的技术手段，有效降低重大结构安全事故爆发风险。

（2）采用无线物联传输，具有数据无线传输的高效性和灵活性，有效降低了综合布线的成本，避免了多个监测中心的重复建设，节省了大量人力、物力。

（3）对一定区域范围内多座工程结构进行集群式监测，实现了区域内工程结构健康监测数据的共享与信息交互，提高了区域内结构健康监测系统的反应速度。

（4）在发生强台风、地震等突发性重大自然灾害时，系统可提供监测区域内所有受损结构的第一手资料，对应急抢险与防灾救灾具有显著的现实意义。

（5）中心数据库大量不同或相似结构的长期运营监测数据，可为工程结构的优化设计、损伤识别、安全评估提供大量宝贵的实例研究材料，从而有利于我国结构工程学科的发展。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 结构健康监测系统研究现状

国际上结构健康监测系统的研究始于20世纪80年代。英国在总长为522米的三跨变高度连续钢箱梁 Foyle 桥上布设传感器,监测大桥运营阶段在车辆及风载作用下主梁的振动、挠度和应变等响应,同时监测风环境和结构温度场,该系统是最早安装的较为完整的监测系统之一,它实现了实时监测、实时分析和数据网络共享。此后,随着桥梁结构健康监测技术的发展,20世纪90年代之后,许多既有或新建的国外大跨度桥梁中都安装了长期结构健康监测系统,例如,挪威的 Skamsundet 斜拉桥(主跨530米)、美国主跨440米的 Sunshine Skyway 斜拉桥、日本主跨1990米的明石海峡悬索桥(Akashi-Kaikyo Bridge)、丹麦主跨1624米的 Great Belt East 悬索桥以及加拿大的 Confederation 桥等。

我国自20世纪90年代起也在一些重要的大跨度桥梁上建立了不同规模的长期监测系统,如香港的青马大桥、汲水门大桥、汀九大桥和昂船洲大桥,内地的南京长江大桥、润扬长江大桥、江阴长江大桥、东海大桥、苏通大桥以及新光大桥等。目前我国已经约有100座桥梁安装了结构健康监测系统,其中多数系统是在2000年后建成的。国内桥梁初期安装的监测系统多是传感器数量较少、类型较单一的简单系统,其中一些系统经过几年的运行后根据桥梁管理部门的要求进行了升级。近年来,桥梁健康监测系统的设计和实施越来越趋于实用化和大型化,几乎所有的大跨度桥梁都安装了或者正在考虑安装健康监测系统。

结构健康监测系统需要采集结构关键位置应力、应变、结构变形与振动等响应数据,以及温度、湿度、风速和风向等多种环境参数,需要建设庞大且复杂的传感系统。目前,国内外大型结构健康监测系统的数据传输多通过有线网络完成,或通过构建小范围无线局域网进行单个结构信息的数据交换,难以实现对多个大型结构(结构集群)健康状况的同时监测。

无线物联通信作为一种高效、低成本的无线分组数据业务,可通过移动终端与 Internet 网络自由联通,向移动通信用户提供高速可靠的数据业务。由于其具有无线传输、成本低廉、传输距离远、通信实时可靠等诸多优点,在银行、证券、保险等领域得到了广泛的应用。然而,国内外鲜见无线网络在结构健康监测系统中的应用报道。

1.2.2 物联网的发展趋势

业内专家认为,物联网一方面可以提高经济效益,大大节约成本;另一方面可以为全球经济的复苏提供技术动力。目前,美国、欧盟等都在投入巨资深入研究探索物联网。我国也高度关注、重视物联网的研究,工业和信息化部会同有关部门正在开展新一代信息技术方面的研究,以形成支持新一代信息技术发展的政策措施。

中国移动总裁王建宙提及,物联网将会成为中国移动未来的发展重点。他表示将会邀请台湾生产 RFID、传感器和条形码的厂商与中国移动合作。上海移动已运用物联网技术为多个行业客户度身打造了集数据采集、传输、处理和业务管理于一体的整套无线综合应用解决方案。最新数据显示,上海移动目前已将超过 10 万个芯片装载在出租车、公交车上,形式多样的物联网应用在各行各业大显神通,确保城市的有序运作。在上海世博会期间,“车务通”全面运用于上海公共交通系统,以最先进的技术保障世博园区周边大流量交通的顺畅;面向物流企业运输管理的“e 物流”,将为用户提供实时准确的货况信息、车辆跟踪定位、运输路径选择、物流网络设计与优化等服务,大大提升物流企业综合竞争能力。

此外,在物联网普及以后,用于动物、植物、机器和物品的传感器与电子标签及配套的接口装置的数量将大大超过手机的数量。物联网的推广将会成为推进经济发展的又一个驱动器,为产业开拓了又一个潜力无穷的发展机会。按照目前对物联网的需求,在近几年内就需要数亿计的传感器和电子标签,这将大大推进信息技术元件的生产,同时增加大量的就业机会。

要真正建立一个有效的物联网,有两个重要因素。一是规模性,只有具备了规模,才能使物品的智能发挥作用。比如,一个城市有 100 万辆汽车,如果我们只在 1 万辆汽车上装上智能系统,就不可能形成一个智能交通系统。二是流动性,物品通常都不是静止的,而是处于运动的状态,必须保证物品在运动状态,甚至高速运动状态下都能随时实现对话。

美国权威咨询机构 Forrester 预测,到 2020 年,世界上物物互联的业务,跟人与人通信的业务相比,将达到 30 : 1,因此,物联网被称为下一个万亿级的通信业务。

1.2.2.1 物联网应用广泛

物联网用途广泛,遍及智能交通、环境保护、政府工作、公共安全、平安家居、智能消防、工业监测、环境监测、老人护理、个人健康、花卉栽培、

水系监测、食品溯源、敌情侦查和情报搜集等多个领域。

国际电信联盟 2005 年的报告中曾描绘过物联网时代的图景：当司机出现操作失误时汽车会自动报警；公文包会提醒主人忘带了什么东西；衣服会“告诉”洗衣机对颜色和水温的要求等。物联网在物流领域内的应用则比如：一家物流公司应用了物联网系统的货车，当装载超重时，汽车会自动告诉超载了，超载多少，如果空间还有剩余，会告诉轻重货怎样搭配等。

物联网把新一代 IT 技术充分运用在各行各业之中，具体地说，就是把感应器嵌入和装备到电网、铁路、桥梁、隧道、公路、建筑、供水系统、大坝、油气管道等各种物体中，然后将物联网与现有的互联网整合起来，实现人类社会与物理系统的整合，在这个整合的网络当中，存在一个能力超级强大的中心计算机群，能够对整个网络内的人员、机器、设备和基础设施实施实时的管理和控制，在此基础上，人类可以以更加精细和动态的方式管理生产和生活，达到“智慧”状态，提高资源利用率和生产力水平，改善人与自然的关系。

毫无疑问，人类正走向物联网时代，但这个过程可能需要很长的时间。

1.2.2.2 中国移动结合物联网发展

物联网是基于互联网的“泛”网络。当前，物联网技术的重要基础和核心仍旧是互联网，必须接入各种有线、无线网络与互联网融合，才能将“物”的信息实时准确地传递出去。物联网上预先设置的传感器定时采集的信息必须通过网络传输，由于其数量极其庞大，形成了海量信息，在传输过程中，为了保障数据的可信性，必须适应各种异构网络和协议。

近些年，大量基于物联网的新概念层出不穷，“感知中国”、IBM 的“智慧地球”等，其本质都是要实现物联网服务的应用。作为物联网服务实现的载体，无线通信至关重要，以目前的技术发展态势来看，无线无疑将是各国发展物联网的依托。作为我国自主知识产权的无线标准，中国移动 TD-SCDMA 无疑将在中国的物联网产业中发挥独特的作用。

2009 年 8 月，温家宝总理视察江苏时明确指出：把传感系统和无线中的 TD-SCDMA 技术结合起来，在国家重大科技专项中，加快推进传感网（即物联网）发展。因此，物联网和 TD-SCDMA 相结合，具有十分重要的意义，将是物联网发展史、移动通信发展史的一个重大机遇。

首先，物联网与 TD-SCDMA 相结合，将对国内经济增长方式的调整与产业结构的升级产生极为重大的影响。有专家曾估算，物联网产业链会带动超过 1 000 亿元规模的 GDP，而 TD-SCDMA 网络建设和运营也将带动一个巨

大的产业市场。两个高科技产业相互依存、相互支撑，将有助于推动经济增长方式的调整与产业结构的升级。

其次，物联网与 TD-SCDMA 相结合，将对国家信息安全领域产生重要影响。与互联网一样，物联网同样面临信息安全的问题，而且物联网越发达、涉及应用领域越广泛，其牵涉到的信息安全问题就越突出。为此，使用掌握核心技术的无线标准、技术和设备以支撑物联网的发展，将有助于维护我国信息战略安全。

再次，物联网与 TD-SCDMA 相结合，将促进 TD-SCDMA 自身的发展建设。无线最为主要的特色业务，就是非语音领域。结合应用领域来看，物联网将对非语音业务产生极大的需求，因而将对无线自身的发展有很大的促进作用。同时，物联网的发展带动技术、设备等标准的制定，如果 TD-SCDMA 与物联网相结合形成系列完整的标准，将对 TD-SCDMA 自身建设极为有利。

与此同时，中国移动当前快速、深入的发展，也做好了全面融入物联网的准备：

(1) 政策支持：TD-SCDMA 是我国掌握自主知识产权的无线技术，已得到政府和重点行业企业的扶植，将有助于促进中国移动在物联网产业链的话语权；

(2) 标准先行：中国移动已开始着手制定终端和平台的协议标准，有助于引导物联网产业链的标准化与规范化；

(3) 网络广覆盖：GSM 与 TD-SCDMA 融合组网方式的网络覆盖范围和质量已达到较高标准，加之与 WiFi 融合，将有助于形成高质量、全覆盖的网络环境；

(4) 客户规模：拥有超过 5 亿的用户，客户群覆盖全面，在具有较强应用需求的移动信息化企业客户中占有绝对和相对规模；

(5) 应用多领域：自 2002 年首次尝试在重钢生产过程中实施远程监控之后，2008 年推出电梯卫士、数字城管等多个产品，2009 年形成了 5 大类 18 项移动物联网产品体系，至 2010 年时，第一、第二、第三产业中的物联网应用领域都已初步显现中国移动的身影，并且其仍在不断地扩大应用领域和影响力。图 1-4 为物联网应用拓扑图。

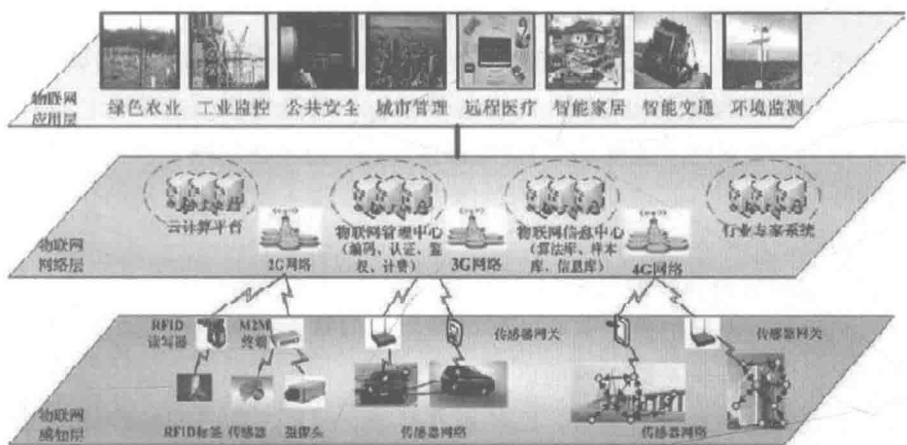


图 1-4 物联网应用拓扑图

1.2.2.3 物联网的应用及挑战

物联网的研究和开发既是机遇，更是挑战。物联网是无线网络、嵌入式系统和智能控制系统的集成，由于物体的种类繁多，功能不同，并且数量巨大，需要解决各种传感器网络异构、信道复用、协同处理等问题。在物联网环境下，事件检测和决策操作凡是涉及空间和时间的都要准确无误，以保证应用层的命令准确执行。

另外，在已有的系统之上开发物联网系统，需要高昂的投入。在建立系统之后需要定期的维护，并且存在信息安全以及能源消耗的问题，如何建设经济、绿色的物联网，是对物联网技术的一大挑战。应采取以下措施：

首先，完善并逐步地扩大规模优势，特别是优质客户、集团客户、对移动信息化有特定需求的客户，以需求和应用为导向，构建业务丰富、需求细分、应用性强的物联网平台，并实现与现有平台的对接。

其次，以自主创新为契机，积极参与物联网标准的建设，赢得标准的话语权。从互联网发展史可以看出，美国由于率先制定了互联网的标准并拥有核心技术，因而对互联网的发展拥有了至高的发言权与主导权。

再次，进一步拓展应用领域，深入行业、地区和服务层次。物联网最大的贡献在于应用。应用领域的拓展、应用层面的深入标志着物联网发展的成熟。中国移动在现有业务基础上，应当不断推出适合第一、第二和第三产业发展特点的业务项目，如近海区域鱼苗、蟹苗的投放，大棚蔬菜的控温浇灌，煤矿系统中的瓦斯监控，城市公交系统的交通路况手机监控等，注重行业与物联网应用相结合。

(1) 电子与建筑行业是切入点，产业链合力做多。

电子与建筑行业是未来物联网发展的起点和重点。对电信运营商来说，是产业融合带来的信息化应用；对科技界来说，是第三次信息革命；对企业来说，是上千亿元的“蛋糕”；对商家来说，是无所不在的电子商务；社会各界对物联网理解不一，说明其应用范围之广，要深入挖掘物联网的价值，产业链合力做多未来的发展趋势。

(2) 应用将由分散走向统一。

虽然物联网发展仍处于各自为政的状态，但技术的成熟度，为物联网的快速发展提供了物质基础。目前电子元器件技术作为传感网发展的基础，工艺已经十分成熟，且价格便宜，已经普及开来。另外，物联网的产业分工也非常明确，有专门做电子标签和射频识别的企业，也有专门做各种传感元器件的企业等。随着物联网发展的推动，诸多产业链上的企业，其生产的产品将越来越多地被汇聚在一起，应用将由分散走向统一。电信运营商作为产业链中的重要参与者，将在应用的推广和整合过程中起到关键作用。

(3) 物联网的终极目标。

物联网的终极目标是达至全球物物互联的理想状态，在这个目标实现的过程中，物联网的各个局部网应用可先各自发展，最后形成一个事实的标准，从小网联成中网，再由中网联成大网，在此过程中逐渐解决遇到的技术、标准等各种问题。届时，物联网的产业链几乎可以包容现在信息技术和信息产业相关的各个领域。有关权威咨询分析机构预测，未来物联网的发展将经历四个阶段，包括：

阶段一：2010 年之前 RFID 被广泛应用于物流、零售和制药领域；

阶段二：2010—2015 年物体互联；

阶段三：2015—2020 年物体进入半智能化；

阶段四：2020 年之后物体进入全智能化。

物联网是当前最具发展潜力的产业之一，它将有力量带动传统产业转型升级，引领战略性新兴产业实现经济结构和战略性调整，引发社会生产和经济发展方式的深度变革，具有巨大的战略增长潜能，是后危机时代经济发展和科技创新的战略制高点，已经成为各个国家构建社会新模式和重塑国家长期竞争力的先导力。