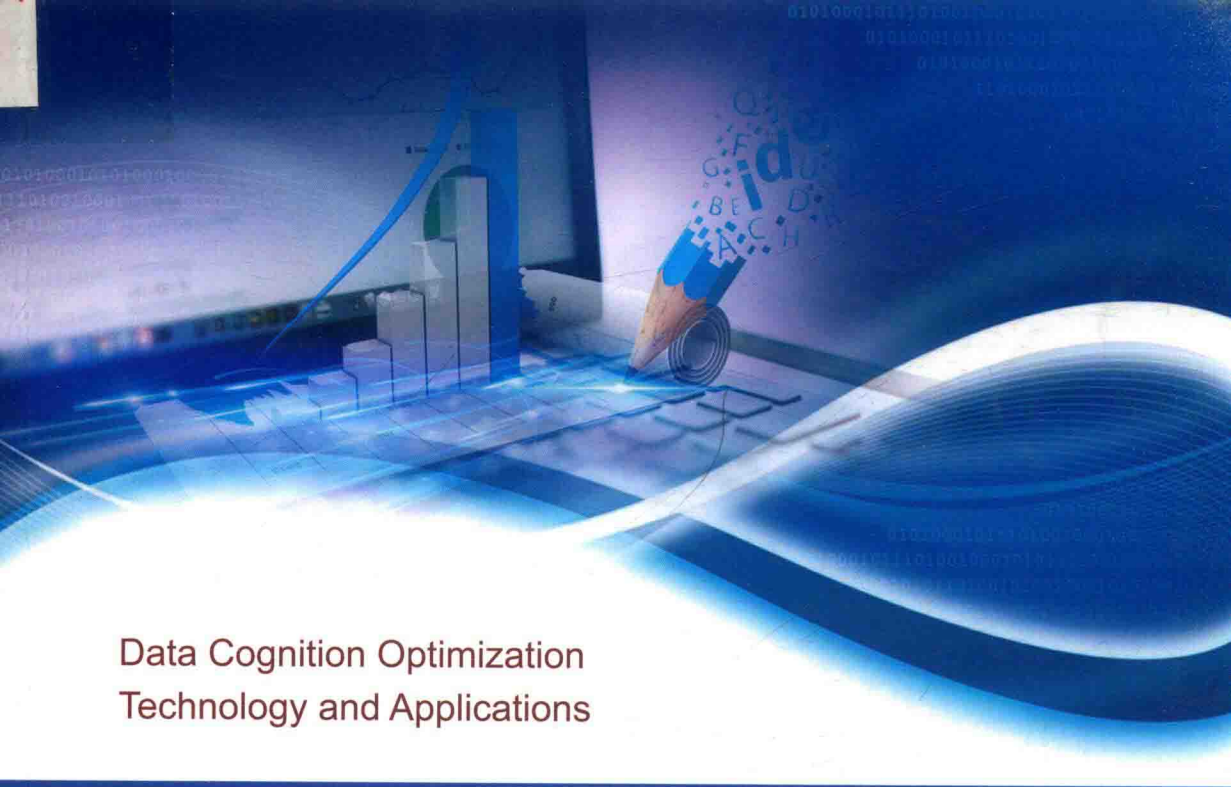




Data Cognition Optimization
Technology and Applications

数据感知优化技术及其应用

© 樊宽刚 张小根 陈仁义 徐文堂 王 渠 著



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn





江西理工大学清江学术文库

国家自然科学基金课题资助, 编号: 61763018

江西省教育厅重点课题资助, 编号: GJJ170493

数据感知优化技术及其应用

樊宽刚 张小根 陈仁义 徐文堂 王渠 著



北 京

冶金工业出版社

2018

内 容 提 要

本书通过无线传感器网络与压缩感知理论的融合研究,旨在找到更优的算法实现重构。根据已有的研究成果,总结了压缩感知理论中的两个重要组成部分——观测矩阵和重构算法,并列举了不同的观测矩阵,进行性能优劣的对比总结。研究了几种不同的重构算法——基追踪算法、梯度追踪优化算法和正交匹配追踪算法,比较它们的优缺点后,对各类算法进行了分析,分别给出了框架,并建立相应的模型进行仿真。通过研究改进后的算法进行数据融合,验证了该算法的可行性和有效性。

本书可作为数据感知优化技术设计提高的技术支持和设计参考,也可作为相关领域本科生、研究生和工程技术人员的教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数据感知优化技术及其应用/樊宽刚等著. —北京:冶金工业出版社, 2018. 8

ISBN 978-7-5024-7856-8

I. ①数… II. ①樊… III. ①数据处理—研究 IV. ①TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 167472 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcb@cnmp.com.cn

责任编辑 张熙莹 封面设计 北京京圣元文化传播有限公司 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7856-8

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2018 年 8 月第 1 版, 2018 年 8 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 9.75 印张; 188 千字; 145 页

42.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

随着科学技术的发展,传感器技术、微系统技术、无线通信等技术在生活中得到了更广泛的应用,多源传感器系统对应的应用领域正在不断地延伸,使得监测范围内的WSN拓扑结构变得越来越复杂,而且节点采集的数据量也变得越来越庞大。由于传感器节点受电池性能、处理能力、存储容量以及通信带宽等方面的限制,整个无线传感器网络在收集信息和能量消耗方面存在很多缺陷与不足,已成为无线传感器网络在可靠数据传输方面的最大挑战。本书针对上述问题,通过研究压缩和采样同步进行的压缩感知技术可以在很大程度上解决以上因素的限制,提高了信息的准确性和全面性,增加了系统的可靠性和实时性。

多传感器数据融合是一种多层次、多方面的处理过程,这个过程是对多源数据进行检测、互联、相关、估计和组合,并以更高的精度、较高的置信度得到目标的状态估计和身份识别以及完整的势态估计和威胁评估,为用户提供有用的决策信息。研究表明,对于一般的无线传感器网络,传感器节点的大部分能量都消耗在无线通信模块。对于大规模的传感器网络而言,如果感知数据直接通过传感器节点传送到汇聚节点,网络内部大量的数据传输使得其能量和带宽的要求提高,因此通过对数据进行压缩来减少存储和通信压力显得至关重要。

本书的研究内容包括以下三大部分:第2~3章主要研究无线传感器网络的体系结构以及数据管理技术,分别研究了数据管理的关键技术及数据管理系统,详细分析了DisWareDM的整体功能和系统结构设计;第4~7章主要研究压缩感知的优化算法,分别研究了基追踪算法、梯度追踪优化算法以及正交匹配追踪算法,得出不同种类的追踪算法的优缺点,根据结果对重构算法进行择优选择;第8章主要研究

数据的压缩及融合,研究了多源传感器的数据融合并建立了结构模型和功能模型,提出了基于块稀疏系数模型重构的压缩感知方法,通过仿真表明压缩率可达80%,进一步提出了集中式的压缩感知算法,仿真结果表明温度、湿度两个变量在正常的范围内波动,巷道的舒适度始终处于舒适状态。本书可作为数据感知优化技术设计提高的技术支持和设计参考,也可以作为相关领域本科生、研究生和工程技术人员的教材和参考书。

本书是由江西理工大学无线传感器网络实验室的人员编写,由樊宽刚统筹规划并做最后整理,王文帅、刘平川和侯浩楠参与了第1章和第9章的编写;陈仁义和刘汉森参与了第2~3章的编写;张小根、徐文堂和肖晶晶参与了第4~7章的编写;王渠和邱海云参与了第8章的编写。此外,也感谢其他人员对本书的大力支持。

本书获得江西理工大学资助出版,同时本书内容涉及的研究得到了国家自然科学基金课题(编号:61763018)和江西省教育厅重点课题(编号:GJJ170493)的资助,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,加之数据感知优化技术的发展十分迅速,不足之处,恳请读者不吝赐教,对本书提出宝贵意见。

樊宽刚

2018年6月

目 录

1 绪论	1
1.1 基本知识介绍	1
1.1.1 无线传感器网络基本知识	2
1.1.2 压缩感知基本知识	3
1.2 国内外研究现状	5
1.2.1 无线传感器网络的研究现状	5
1.2.2 压缩感知的研究现状	7
1.2.3 数据融合技术的研究现状	9
1.3 压缩感知在无线传感器网络中的应用	10
参考文献	10
2 无线传感器网络体系结构	14
2.1 无线传感器网络的基本概念及结构	14
2.1.1 无线传感器网络的概念	14
2.1.2 无线传感器网络的结构	15
2.1.3 无线传感器网络节点的体系结构	15
2.1.4 无线传感器网络的生成过程	16
2.2 无线传感器网络的特点	16
2.3 无线传感器网络的关键技术	17
2.4 无线传感器网络的应用	19
参考文献	20
3 无线传感器网络数据管理技术	21
3.1 无线传感器网络数据管理的基本概念	21
3.1.1 以数据为中心的无线传感器网络数据库	21
3.1.2 无线传感器网络数据管理系统的特殊性及设计目标	22
3.1.3 无线传感器网络数据管理技术的研究热点	22
3.2 无线传感器网络数据管理的关键技术	22
3.2.1 无线传感器网络数据存储结构	22

3.2.2 数据查询处理技术	25
3.2.3 数据压缩技术	28
3.2.4 数据融合技术	29
3.3 几种常见的数据管理系统	31
3.3.1 TinyDB 系统	31
3.3.2 Cougar 系统	32
3.3.3 现有无线传感器网络数据管理系统分析	32
3.4 无线传感器网络数据管理系统 DisWareDM	33
3.4.1 基于移动 Agent 中间件的传感器网络数据管理概述	33
3.4.2 DisWareDM 整体功能和系统结构设计	34
3.4.3 DisWareDM 系统的详细设计	35
3.4.4 DisWareDM 的系统功能	37
参考文献	40
4 压缩感知理论基本原理	41
4.1 概述	41
4.2 压缩感知的工作原理	42
4.3 信号的稀疏表示	43
4.4 观测矩阵的设计	45
4.5 压缩感知的实际应用	46
4.5.1 压缩成像	46
4.5.2 信道编码	47
4.5.3 天文观测	48
4.6 压缩感知的基本算法	48
4.6.1 观测矩阵的基础知识	48
4.6.2 重构算法的基础知识	50
参考文献	59
附件	60
5 基追踪算法	65
5.1 基追踪算法的研究现状	65
5.2 基追踪算法的基础知识	65
5.2.1 预备知识	65
5.2.2 基追踪的使用	66
5.2.3 基追踪算法的运算	66

5.2.4 改进的基追踪算法	67
5.3 匹配追踪算法的基础知识	68
5.3.1 信号的稀疏表示	69
5.3.2 匹配追踪算法的运算	69
5.4 Bregman 迭代算法的基础知识	70
5.4.1 Bregman 距离	70
5.4.2 Bregman 迭代算法的运算	70
5.5 几种算法的对比	71
5.6 基追踪算法仿真	71
5.6.1 用于压缩感知的基追踪算法程序	71
5.6.2 正交匹配追踪算法程序	73
5.6.3 基追踪与压缩感知的仿真	73
5.6.4 匹配追踪与压缩感知的仿真	75
5.6.5 基追踪和匹配追踪的对比	76
5.6.6 基追踪在压缩感知上的实际应用	77
参考文献	79
附件	81
6 梯度追踪优化算法研究	86
6.1 概述	86
6.2 不同种类的梯度追踪算法总结	86
6.2.1 基于最速下降法的梯度追踪算法	86
6.2.2 基于牛顿法的梯度追踪算法	87
6.2.3 基于共轭梯度法的梯度追踪算法	88
6.3 梯度追踪算法仿真及结果分析	91
6.3.1 梯度追踪算法实验仿真	91
6.3.2 仿真结果分析	93
参考文献	95
7 正交匹配追踪算法	97
7.1 正交匹配追踪 (OMP) 算法的基础知识	97
7.1.1 利用 OMP 算法重构一维信号	98
7.1.2 利用 OMP 算法重构二维图像信号	98
7.2 基于 OMP 算法的优化方案	101

7.3 StOMP 算法的实际应用	102
参考文献	103
附件	105
8 基于无线传感器网络的压缩感知及数据融合技术	111
8.1 概述	111
8.2 数据融合的作用	111
8.3 多源传感器数据融合	112
8.3.1 多源传感器数据融合的基础知识	112
8.3.2 多传感器数据融合的优势	112
8.3.3 多传感器多源数据融合模型	114
8.3.4 数据融合的结构模型	114
8.3.5 数据融合的功能模型	115
8.4 数据的压缩、重构及仿真结果的数据分析	116
8.4.1 压缩率分析	117
8.4.2 数据分析	118
8.5 基于联合稀疏模型的分布式压缩算法	121
8.5.1 两级压缩感知算法	121
8.5.2 分布式稀疏随机投影算法的基础知识	121
8.5.3 分布式稀疏随机投影的改进算法	123
8.5.4 改进算法的网络模型选择与数据处理	123
8.5.5 数据仿真处理与分析	126
8.6 基于集中式的数据压缩算法	128
8.6.1 集中式压缩算法描述	128
8.6.2 选择传感器矩阵	129
8.6.3 集中式压缩感知算法的模型分析	129
8.6.4 仿真及结果分析	133
参考文献	138
附件	140
9 总结与展望	143
9.1 总结	143
9.2 展望	144

1 绪 论

1.1 基本知识介绍

无线传感器网络 (wireless sensor networks, WSN) 定义: 无线传感器网络是由部署在监测区域内大量的廉价微型传感器节点组成, 通过无线通信方式形成的一个多跳的自组织的网络系统, 其目的是协作地感知、采集和处理网络覆盖区域中被感知对象的信息, 并发送给观察者。传感器、感知对象和观察者构成了无线传感器网络的三个要素。

压缩感知 (compressed sensing) 定义: 压缩感知也被称为压缩采样 (compressive sampling)、稀疏采样 (sparse sampling)、压缩传感。作为一个新的采样理论, 它通过开发信号的稀疏特性, 在远小于 Nyquist 采样率的条件下, 用随机采样获取信号的离散样本, 然后通过非线性重建算法完美的重建信号。

现代信号处理的一个关键基础是 Shannon 采样理论: 一个信号可以无失真重建所要求的离散样本数由其带宽决定。但是 Shannon 采样定理是一个信号重建的充分非必要条件。在过去的几年内, 压缩感知作为一个新的采样理论, 它可以在远小于 Nyquist 采样率的条件下获取信号的离散样本, 保证信号的无失真重建。压缩感知理论一经提出, 就引起学术界和工业界的广泛关注。

压缩感知理论的核心思想主要包括两点。一点是信号的稀疏结构。传统的 Shannon 信号表示方法只开发利用了最少的被采样信号的先验信息, 即信号的带宽。但是, 现实生活中很多广受关注的信号本身具有一些结构特点。相对于带宽信息的自由度, 这些结构特点是由信号的更小的一部分自由度决定。换句话说, 在很少的信息损失情况下, 这种信号可以用很少的数字编码表示。所以, 在这种意义上, 这种信号是稀疏信号 (或者近似稀疏信号、可压缩信号)。另一点是不相关特性。稀疏信号的有用信息的获取可以通过一个非自适应的采样方法将信号压缩成较小的样本数据来完成。理论证明压缩感知的采样方法只是一个简单地将信号与一组确定的波形进行相关的操作。这些波形要求是与信号所在的稀疏空间不相关的。

压缩感知方法抛弃了当前信号采样中的冗余信息, 它直接从连续时间信号变换得到压缩样本, 然后在数字信号处理中采用优化方法处理压缩样本。这里恢复信号所需的优化算法常常是一个已知信号稀疏的欠定线性逆问题。

随着科学技术的发展, 传感器技术、微系统技术、无线通信等技术在生活中

得到了更广泛的应用,在此背景下诞生的无线传感器网络技术,可更好地服务于人类生活中的各个领域。由于多源信息系统的应用领域不断延伸,使得监测区域的无线传感器网络的结构越来越复杂。由于传感器节点受电池性能、处理能力、存储容量以及通信带宽等方面的限制,将压缩和采样同步进行的压缩感知技术可以在很大程度上解决以上因素的限制。因此,本书对基于无线传感器网络的压缩感知优化算法及数据融合技术进行了研究。

在现代的传感器技术、通信技术和微电子技术的飞速突破的过程中,多源传感器系统对应的应用领域正在不断延伸,使得监测范围内的 WSN 拓扑结构变得越来越复杂,而且节点采集的数据量也变得越来越庞大,因此数据融合技术将会得到很好的利用与发展,成为前沿的技术领域。此项技术的核心思想是把节点处采集的原始数据进行有效地融合,降低数据的传输量,进而降低网络中能量的浪费,优化各项性能指标。因为在现实的环境中 WSN 具有可靠的动态性,所以在以往的采用传统数据融合技术时会一直受到数据的实时性、准确性、可靠性等现实问题的干扰与困惑。这一问题提出后,引起了广大研究者的关注,压缩感知理论为解决 WSN 中的问题带来了新的解题思路。此理论不仅可以有效解决采集数据时的精准性与可靠性等问题,而且还能够大幅减少网络中传输数据时的数据量。

压缩感知理论的出现为信号压缩采样研究开辟了一个全新的思路,根据国内外研究的现状,在将压缩感知理论和无线传感器网络结合时,必须考虑无线传感网络受自身条件限制的影响,而最大限度地突破这些条件的限制是压缩感知理论能有效应用于无线传感网络的关键所在,因此,对于压缩感知算法的优化也是发展趋势。

1.1.1 无线传感器网络基本知识

无线传感器网络(WSN)是在传感器技术、微系统技术、无线通信等技术的快速发展的基础上诞生的。WSN 实质上是由随机分布在监测区域内的微小节点在无线通信技术的基础上形成的一个自组织网络。WSN 能起到桥梁的作用,将客观世界的物理信息与传输网络的信息紧密联系在一起,这对人们获取信息的能力有很大的扩展和延伸。近年来,无线传感器网络在军事、环境监测和预报、健康护理、智能家居、建筑物状态监控、复杂机械监控、城市交通、空间探索、安全监测等领域都有非常广阔的应用^[1]。现如今,无线传感器网络快速发展,存在并服务于人们生活的各个领域。无线传感器网络作为一个热门的研究领域,在基础理论和实际应用两个层面向科技工作者提出了大量挑战性的研究课题^[2]。

有研究表明,对于一般的无线传感器网络,传感器节点的大部分能量都消耗在无线通信模块^[3]。对于大规模的传感器网络而言,如果感知数据直接通过传感

器节点传送到汇聚节点 (SINK), 网络内部大量的数据传输将使其对能量和带宽的要求提高, 因此通过对数据进行压缩来减少存储和通信压力显得至关重要。

WSN 结构如图 1-1 所示。

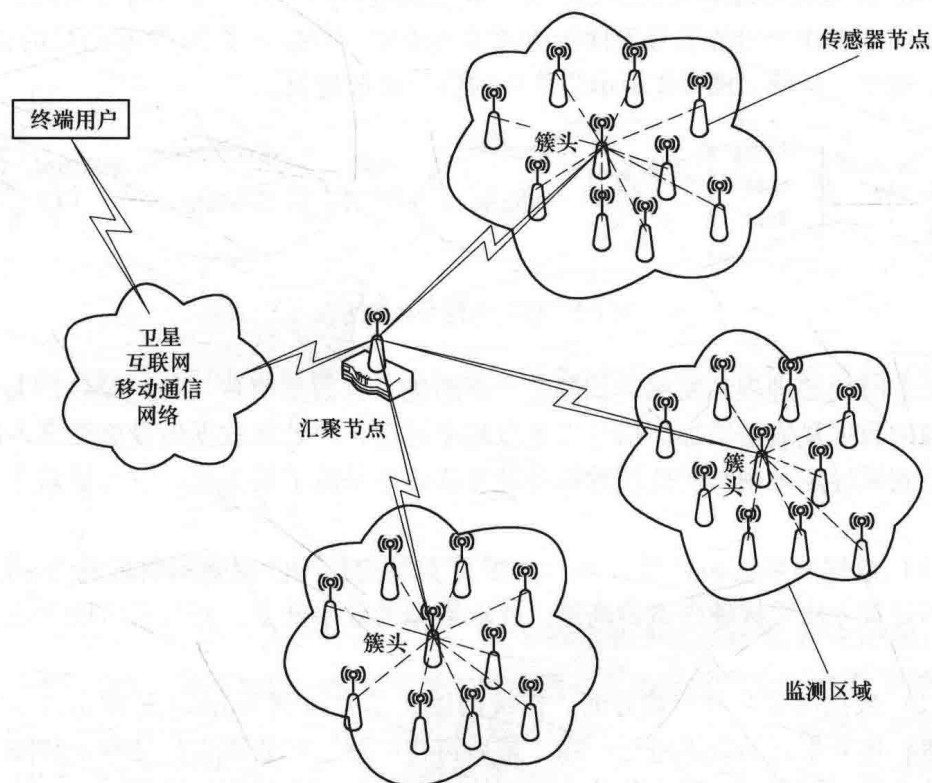


图 1-1 WSN 结构示意图

在现实的运用里, 数据传输量减少能够降低网络时延与能耗, 优化网络性能, 降低网络拥塞。压缩感知的核心思想是将压缩与采样合并同时进行, 即首先采集信号的非自适应线性投影测量值, 然后根据相应重构算法由测量值重构原始信号^[6]。其优越性在于信号所投影的数据量大大减少。压缩感知理论能够将网络的存储和传输数据的能力实现质的提升, 这也使得它在 WSN 领域能够大有作为。随着无线传感器网络的发展, 应用的场景也越来越复杂, 导致压缩感知理论不能很理想地运用于无线传感器网络。因此, 找到更优的算法将压缩感知理论更好地应用于无线传感器网络中意义非凡。

1.1.2 压缩感知基本知识

在传统的信号采样过程中, 人们必须根据 Nyquist 采样定理来对信号采样。Nyquist 采样定理是由 Nyquist 提出的采样定理, 其要求采样频率 f_s 必须大于信号

频谱中最高频率 $f_{\max}$ 的2倍,即:

$$f_s > 2f_{\max} \quad (1-1)$$

只有这样才能根据采样点精确恢复出原始数据,否则信号将无法精确恢复出来。Nyquist 采样定理后来又经过 Shannon 等人进一步完善,使得信号领域快速发展。采样定理作为传统信号采样所应遵循的规律,它指导了20世纪信号的采集、压缩、储存、传输。图1-2所示为传统的信号处理过程。



图1-2 传统的信号处理方法

随着时代的进步和发展,我们正在逐渐进入大数据时代(big data),人们需要处理的数据量成倍增加,信号带宽也越来越宽,对处理数据的设施要求不断提高。受到采样定理制约的传统数据处理方法逐渐暴露了其不足,它的缺陷主要有两点:

(1) 数据的采集和处理方面。在很多实际应用中,受到采样定理制约的传统数据处理方法采样硬件造价高昂,获取数据的效率低下,而且有可能无法成功采集。

(2) 数据的储存和传输方面。传统的做法是先按照 Nyquist 采样定理采集数据,然后将采集到的数据进行压缩,最后再将压缩后的数据进行储存或传输。显而易见,这样的数据存储和传输方式会造成相当大程度的资源浪费。

显然 Nyquist-Shannon 理论已经渐渐不能满足人们的需要,人们迫切希望寻找一种新的信号处理方式来取代 Nyquist-Shannon 理论。事实证明,要精确地重构信号采样频率并不一定要大于信号频谱中最高频率的2倍。

2004年,D. Donoho(斯坦福大学教授)、E. Candes(斯坦福大学教授)及华裔科学家 T. Tao(加利福尼亚大学教授)等人一起提出了一种新的数据处理指导理论,即压缩感知理论。压缩感知理论表示,即使采样频率低于信号频谱中最高频率2倍,依然有可能利用这些采样得到的数据来精确地还原出原始信号。应用压缩感知技术后,将会大大降低实际应用中人们对采样设备的要求,节省大量存储资源,方便更快地数据传输。图1-3所示为压缩感知理论框架。

与传统的信号处理方式相比,压缩感知把数据的采集部分和压缩部分合二为一了,大大减少了对信号的观测次数,然后把还原信号交给计算能力强的计算机进行处理,这将大大有利于人们对信号的处理。很显然压缩感知技术能突破人们当前在信息领域所遇到的瓶颈,能有效地减少人们对数据的采样,能用很少的数据还原出大量所需的数据,方便对数据的存储和运输。虽然目前压缩感知理论的

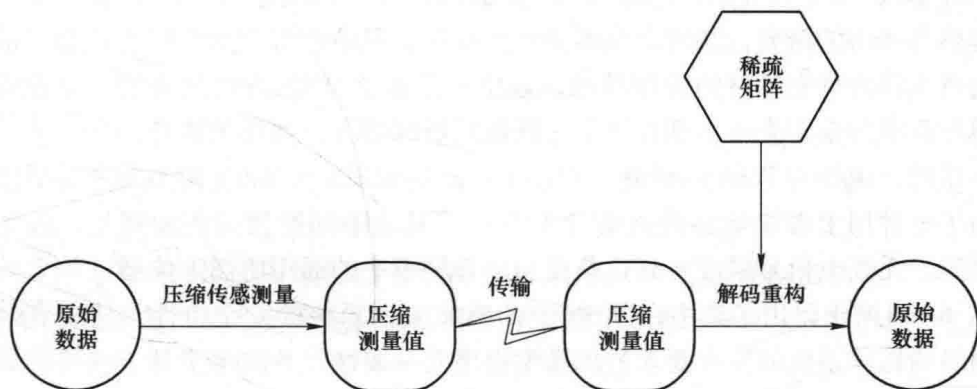


图 1-3 压缩感知理论框架

研究才刚刚起步，但它表现出来的应用前景十分可观，它将让信号处理领域产生巨大的变化。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 无线传感器网络的研究现状

WSN 是无线和信息科学的新趋势。WSN 原本源于美国国防研究课题，尽管开展 WSN 的研究时间很短，但其发展十分迅速。发达国家密切观察着 WSN 的动态，很多高校都建立了 WSN 相关技术的研究团队。Crossbow 公司很早就开始开展了 WSN 的工作，许多其他的公司都使用它的成果。各个机构都在此基础上进行 WSN 相关技术的科研。

最先研究 WSN 的是美国军方，其研究的 TPD6V8LP-7 的项目包括 CEC、REMBASS、TRSS、Sensor IT、WINS、Smart Dust、SeaWeb、 μ AMPS、NEST 等，隶属于美国国防部的远景计划研究局，为支持大学进行 WSN 技术研发，已经投入了几千万美元。美国国家自然基金委员会（NSF）非常重视 WSN 的研究，支持了大量与 WSN 相关的科研项目，2003 年，美国国家自然基金委制定并通过了关于 WSN 的科研计划，计划每年投入 3400 万美元支持研究，还在加州大学洛杉矶分校建立了 WSN 研究中心。不仅如此，美国能源部、美国交通部、美国国家航空航天局等部门也都对 WSN 相当重视，都采取了一定的措施投入研究。2009 年 1 月，IBM 总裁彭明盛提出“智慧地球”的崭新理念，美国总统奥巴马密切响应，他表示要把 WSN 上升到国家级发展战略。美国的著名院校基本上都成立了专门从事 WSN 研究的研究小组，Crossbow、Moteiv 等一批以 WSN 节点为主营产品的公司已经家喻户晓，他们研发的产品为众多研究机构创造了便于研究的硬件平台，因此许多研究机构开始研究大规模的无线传感器网络。

加拿大、芬兰、英国、德国、意大利和日本等国家也都争先恐后地开始了无线传感器网络的研究,涌现出众多的研究机构。其中欧盟第六个框架计划将信息社会技术作为优先发展的科技领域,其中多处涉及 WSN 方面的研究。企业界中欧盟与日本的众多企业也都开展了无线传感器网络方面的相关研究。

目前,国外对 WSN 的研究已取得了一定的成果。S. Wang 博士及其科研团队提出了一种用于无线传感器网络 (WSN) 并具有不同类型的测距测量,包括到达时间、无线电信号强度、到达角度和多普勒频率的通用协调定位器 (UCL)^[7]。H. Y. Jeong 博士得出了集中在 WSN 中的整体应用系统的安全特性,从现有的基于网络的软件系统的安全要求和标准中得出安全属性,并演示了基于网络的软件系统和具有分析层次过程的 WSN 应用系统的相对优先级的改变^[8]。L. Shen 针对数据完整性保护,为 WSN 给定了一个指定验证者的基于身份的聚合签名 (IBAS) 方案,其不仅可以保持数据的完整性,还可以降低无线传感器网络的带宽和存储成本^[9]。B. Zebbane 提出了一种用于无线传感器网络的分布式轻量级冗余感知拓扑控制协议 (LRTCP),它通过将网络划分成组来利用相同区域中的传感器冗余,以便通过保持最小的工作节点并关闭冗余网络来维持连接的骨干网,提高了网络容量和能量效率^[10]。Z. Jia 博士及其科研团队在 2017 年提出了基于角度 (APS) 和源位置增强协议 (EAPS) 的 WSN 中的源位置的隐私保护协议,来改进无源传感器网络 (WSN) 中的源位置隐私安全保护和节点能量利用^[11]。

我国对 WSN 的研究开始得相对较晚,目前有很多关于 WSN 的实验,许多关于无线传感器网络的实验室也陆续成立,一些无线传感器网络论坛也陆续开办。2001 年,中国科学院为实施 WSN 方面的研究工作,在上海微系统与信息技术研究所成立了微系统研究与发展中心。我国越来越多的学者开始重视 WSN 的研究,南京邮电大学、哈尔滨工业大学和北京邮电大学等高校均已开始了该领域的科研工作,南京邮电大学的无线传感器网络研究中心成绩较为突出,在 WSN 领域已经有了一些优秀科研成果。国家自然科学基金委员会审批了与 WSN 相关的多项课题,2005 年,将 WSN 的基础理论和关键技术列入计划,2006 年又将水下移动 WSN 的关键技术列为重点研究项目。国家发改委下一代互联网 (CNGI) 示范工程中,也设置了与 WSN 相关的课题。2009 年 8 月,温家宝总理在无锡考察时提出“感知地球”的战略构想^[12],之后的一段时间里他又陆续地强调了传感网络以及互联网技术的重要性。在这其中,已经小有成就的主要是部分高校,如清华大学、浙江大学、中国科学技术大学等高校已经研发出来了部分基站和终端节点。与此同时,中国移动、华为和中兴等很多国内知名企业也开始研究 WSN 的相关技术。我国提出了许多与 WSN 相关的研究项目,如“新一代宽带无线移动通信网络”等,这些项目基本是由高校、科研机构和企业承担或者共同参与完成。近几年有一些成果不断涌现出来。于海从无线传感器网络存在威胁、提高路

由协议安全性、减少能量消耗等方面研究了如何提高网络的安全性与生存时间^[13]。西安电子科技大学方德亮老师与他的团队针对无线传感器网络多目标跟踪传感器分配问题,考虑节点能量受限,提出了一种保证跟踪精度、高效节能的分布式传感器管理算法^[14]。谭营军结合能量消耗在无线传感器网络的具体特点,在无线传感器网络中引入蚁群算法,提出了基于蚁群算法的能量均衡的无线传感器网络路由方法^[15]。范燕和她的科研团队提出了一种将互联网、移动通信、WSN、传感器网络以及自动控制等多种技术融为一体的远程监控方案^[16]。蒋锐针对无线传感器网络非测距定位方法的应用,提出了基于质心迭代估计的节点定位算法,通过多次迭代的方法提高了节点定位精度^[17]。

总的来说,WSN正处于迅速发展时期,国内外都对WSN进行着密切的研究工作。但是由于研究的时间较短和所花费的资源较大等原因,实际应用情况相对较少。但随人们继续深一步探究,在不久的将来,WSN技术肯定会有更多惊人的成就。

1.2.2 压缩感知的研究现状

近些年,随着无线传感器网络技术领域的拓展,大数据时代的到来,越来越庞大的数据量对现存的采集和传输工具提出了更高的要求,因此压缩感知应运而生。目前,压缩感知理论对采集数据的有效压缩已成为极热门的研究方向,备受瞩目。

早在1970年,人们在一次数据处理中就发现了Nyquist采样定理的限制是可以突破的,但是当时还没有完善的理论证明这一点。随着人们对Nyquist采样定理研究的深入,“新息率”的采样策略被提出,某个信号在单位时间内具有有限自由度,称该自由度为新息率,这就是压缩感知理论发展的基础。随着对稀疏信号的重构和新兴采样定理研究的不断深入,人们发现有时候仅仅利用远低于原始信号的测量数据就可以还原出原始信号,前提是信号必须是稀疏的。压缩感知理论由斯坦福大学的E. Candes^[18]、加州大学洛杉矶分校的T. Tao^[19]、斯坦福大学的D. Donoho^[20](美国科学院院士)以及莱斯大学的R. Baraniuk^[21]等该领域的先驱者于2006年提出,后来人们在测量原始信号时就只测量自己重构原始信号所需要的测量值,这就是压缩感知的理论基础。自从压缩感知理论提出之后,发达国家中许多高校都专门成立了压缩感知实验室,随后许多国际公司和实验室也都开始了对压缩感知技术的研究^[22]。2015年,L. F. Polania及其科研团队提出利用ECG信号的小波表示的结构来提高基于压缩感知的ECG信号压缩和重构方法的一种新算法^[23]。2017年,R. Stantchev及其科研团队演示了与压缩感知测算法兼容的近场太赫兹(THz)成像的形式^[24]。X. Li及其科研团队在2017年提出了一种用于不相干稀疏字典设计的替代措施,开发了用于搜索最优字典的迭代过程,

其中使用基于梯度下降的算法执行字典更新从而实现优化压缩感知系统^[25]。2017年, C. Sun 及其科研团队提出了一种基于压缩感知的降低高分辨率压力传感器阵列系统的采样时间并且保持相同分辨率和精度的新算法^[26]。2017年, T. Yaacoub 及其科研团队提出了一种基于压缩感知的无线超宽带 (UWB) 通信系统中信道的估计方法^[27]。Q. Chen 及其科研团队于 2017 年提出了一种基于非负矩阵分解 (NMF) 和压缩感知技术 (CS) 的新型红外小目标检测方法^[28]。S. Liu 及其科研团队在 2017 年提出了一种基于结构化压缩感知 (SCS) 的贪心算法^[29]。

国内对压缩感知的研究虽然发展迅速, 但仍处于起步阶段, 也取得了一定的成果。张帆和他的科研团队提出了一种矿井视频监控图像分块压缩感知方法^[30]。曹思扬老师提出了一种基于压缩感知稀疏向量特征提取的电能质量扰动信号分类识别方法^[31]。刘金龙和他的科研团队提出了一种改进的联合全变差与自适应低秩正则化的压缩感知重构方法^[32]。刘洲洲提出了一种时序信号分段压缩算法来解决在信号稀疏度未知及高稀疏度条件下, 压缩感知数据重构算法中存在的重构效率低、重构精度差、影响网络生命周期的问题^[33]。沈燕飞和他的科研团队将压缩感知图像恢复问题作为低秩矩阵恢复问题来进行研究, 采样非局部相似度模型, 将相似图像块作为列向量构建一个二维相似块矩阵, 以压缩感知测量作为约束条件对这样的二维相似块矩阵进行低秩矩阵恢复求解^[34]。翁嘉文基于压缩感知理论, 根据自干涉非相干数字全息的光学记录与再现过程, 建立与该物理过程相适应的传感矩阵, 从理论上构建实现光场分层重构的数值重建算法框架^[35]。王冲和他的科研团队提出了一种基于稀疏分块对角矩阵进行压缩感知的分簇 (SBDMC) 数据收集算法^[36]。

压缩感知技术对于传统压缩的优势是显而易见的, 它势必会取代传统压缩。研究压缩感知主要从三个方面入手: 信号的稀疏表示、观测向量的选择、信号的重构算法的研究。

在测量矩阵研究方面, R. Baraniuk、D. Donoho 等人为压缩感知理论奠定了基础, 建立起了比较完善的理论框架。D. Donoho 提出了测量矩阵所要满足的三个特征^[37]: 测量矩阵的列向量须满足一定的线性独立性, 测量矩阵的列向量体现某种类似噪声的独立随机性, 满足稀疏度的解是满足范数最小的向量。目前通常选用的测量矩阵是随机矩阵^[38], 使用该种测量矩阵进行计算后, 只能保证恢复信号的概率很高, 但不能保证信号百分之百地能够被重构。E. Candes 和 T. Tao^[39]等人证明并提出的高斯随机矩阵因其超高的重构精度而被广泛采用。

在信号还原算法方面, Tropp 和 Gilbert 提出了正交匹配追踪算法^[40] (orthogonal matching pursuit, OMP), 该算法是贪婪算法中最基本也是最重要的算法之一, 但其准确性较低。之后, 研究者们对 OMP 进行了改进, 获得了一系列新的算法。速度快且易实现是贪婪算法的优越之处, 但其最大的弊端是重构效果不