

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号: 23320080150539

UDC\_\_\_\_\_

厦门大学

博士学位论文

无线传感网络数据的稀疏修复和压缩传输

Sparsity-based Missing Data Recovery and Compressive  
Transmission in Wireless Sensor Networks

郭迪

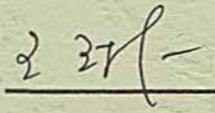
指导教师姓名: 姚彦 教授

专业名称: 通信与信息系统

论文提交日期: 2012 年 3 月

论文答辩时间: 2012 年 4 月

学位授予日期: 2012 年 月

答辩委员会主席: 

评阅人: \_\_\_\_\_

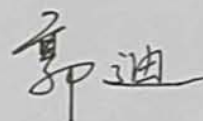
2012 年 4 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):



2012年4月9日

厦门大学博硕士学位论文摘要库



## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

郭迪  
2012年4月9日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 专有名词英汉对照表

Atom	原子
Basis Pursuit Denoising, BPDN	基追踪去噪算法
Basis Function	基函数
Channel Impulse Response, CIR	信道冲激响应
Compressed Sensing=CS	压缩感知
Coverage Holes	覆盖空洞
Diffusion Wavelets	扩散小波
Discrete Cosine Transform, DCT	二维离散余弦变换
Discrete Wavelet Transform	二维离散小波变换
Distributed Wavelets	分布式小波
Experimental Variogram	实验变差函数
Graph Wavelets	图小波
Highly Compressible	高可压缩
High Incoherent	高相干
Inverse Distance Weighted Averaging, IDWA	距离倒数加权平均
K-Nearest Neighbor, KNN	K最近邻居
Least Square	最小二乘法
Networked Data	网络数据
Normalized Root Mean Square Error, RMSE	归一化均方根误差
Null Space	零空间
Overcomplete Dictionary	过完备字典
Overdetermined	超定的
Restricted Isometry Constant, RIC	受限等距常数
Restricted Isometry Property, RIP	受限等距性质
Sampling Matrix	采样矩阵
Signal-to-Noise Ratio, SNR	信噪比
Sink Node	汇聚节点

Strict $k$ -balancedness	严格 $k$ 平衡条件
T Average Mutual Coherence, TAMC	$t$ -平均相干性
Wireless Sensor Network	无线传感网
Variogram Model	变差函数模型

厦门大学博硕士学位论文摘要库

# 目 录

摘 要.....	I
Abstract .....	II
第一章 绪论.....	1
1.1 课题的研究背景 .....	1
1.1.1 无线传感网络概述.....	1
1.1.2 无线传感时-空采样网络及所面临问题.....	2
1.1.3 数据的稀疏性.....	4
1.2 数据修复 .....	5
1.3 压缩传输 .....	7
1.4 论文的主要贡献和创新 .....	8
1.5 论文结构安排 .....	9
参考文献 .....	10
第二章 压缩感知基本理论及算法.....	14
2.1 压缩感知基本理论 .....	14
2.2 CS 的贝叶斯解释.....	17
2.3 典型的 CS 重建算法 .....	18
2.4 本章小结 .....	20
参考文献 .....	21
第三章 基于稀疏性的空域数据修复.....	23
3.1 问题描述 .....	23
3.2 模型建立 .....	25
3.3 字典选择 .....	28
3.4 优势说明 .....	29
3.5 迭代软阈值算法 .....	30
3.6 仿真结果及分析 .....	32
3.6.1 低频信号的影响.....	32
3.6.2 高频信号的影响.....	33
3.6.3 混合信号的影响.....	36



3.6.4 真实数据的仿真.....	38
3.6.5 稀疏变换的影响.....	41
<b>3.7 本章小结 .....</b>	<b>42</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>42</b>
<b>第四章 基于稀疏性的联合时-空数据修复.....</b>	<b>45</b>
<b>4.1 问题描述 .....</b>	<b>45</b>
<b>4.2 相关工作 .....</b>	<b>46</b>
<b>4.3 基于稀疏性的时-空域修复方法 .....</b>	<b>46</b>
4.3.1 基本方法 (SROD).....	47
4.3.2 更新字典法 (RCD).....	49
4.3.3 将来帧补偿法 (RFFC).....	52
<b>4.4 仿真建立 .....</b>	<b>53</b>
4.4.1 微软数据及预处理.....	53
4.4.2 评价指标.....	55
4.4.3 参数设置.....	55
<b>4.5 仿真结果及分析 .....</b>	<b>56</b>
4.5.1 SROD 与 3-D KNN 的比较 .....	56
4.5.2 RCD 和 RFFC 与 SROD 的比较 .....	58
4.5.3 噪声的影响.....	60
4.5.4 数据包长度的影响.....	61
<b>4.6 本章小结 .....</b>	<b>62</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>62</b>
<b>第五章 基于稀疏性的空域数据压缩传输.....</b>	<b>64</b>
<b>5.1 问题描述.....</b>	<b>64</b>
<b>5.2 压缩感知理论 .....</b>	<b>65</b>
<b>5.3 基本 CIR 模型.....</b>	<b>67</b>
5.3.1 模拟信号空中叠加.....	68
5.3.2 分布式小波基.....	68
5.3.3 欠采数据稀疏重建.....	69
<b>5.4 低相干 CIR 模型.....</b>	<b>71</b>

5.5 低相干局部 CIR 模型 .....	72
5.6 $d_{\min}$ 和 $d_{\max}$ 的优化 .....	74
5.6.1 能量模型 .....	74
5.6.2 优化过程 .....	76
5.7 仿真结果 .....	77
5.7.1 功率控制的必要性 .....	78
5.7.2 $d_{\min}$ 的作用 .....	79
5.7.3 局部 CIR 与全局 CIR 的比较 .....	79
5.7.4 定位误差的影响 .....	80
5.8 本章小结 .....	81
参考文献 .....	82
第六章 总结及展望 .....	84
6.1 总结 .....	84
6.2 展望 .....	85
攻读博士期间论文发表情况 .....	86
获奖情况 .....	87
致 谢 .....	88

厦门大学博硕士学位论文摘要库

# CONTENTS

<b>Abstract in Chinese</b> .....	I
<b>Abstract</b> .....	II
<b>Chapter 1 Preface</b> .....	1
<b>1.1 Research background and significancy</b> .....	1
1.1.1 Overview of WSN.....	1
1.1.2 The problem of spatial-temporal sampling WSN .....	2
1.1.3 The sparsity of sensing data .....	4
<b>1.2 Missing data recovery</b> .....	5
<b>1.3 Compressive transmission</b> .....	7
<b>1.4 Main work of this thesis</b> .....	8
<b>1.5 Structure of this thesis</b> .....	9
<b>Reference</b> .....	10
<b>Chapter 2 Theory and algorithms of Compressed Sensing</b> .....	14
<b>2.1 Basics of Compressed Sensing</b> .....	14
<b>2.2 The Bayesian view of CS</b> .....	17
<b>2.3 Typical reconstruction algorithms of CS</b> .....	18
<b>2.4 Conclusion</b> .....	20
<b>Reference</b> .....	21
<b>Chapter 3 Sparsity-based spatial data recovery</b> .....	23
<b>3.1 Problem statement</b> .....	23
<b>3.2 Model formulation</b> .....	25
<b>3.3 Dictionary choice</b> .....	28
<b>3.4 Advantage of the proposed method</b> .....	29
<b>3.5 Iterative Soft-thresholding algorithm</b> .....	30
<b>3.6 Simulation results and analysis</b> .....	32
3.6.1 Effect of low-frequency signal.....	32
3.6.2 Effect of high-frequency signal.....	33
3.6.3 Effect of hybrid signal.....	36
3.6.4 Simulation on a real dataset .....	38
3.6.5 Effect of sparsifying transform .....	41
<b>3.7 Conclusion</b> .....	41

Reference.....	42
<b>Chapter 4 Sparsity-based online spatial-temporal data recovery ....</b>	<b>45</b>
<b>4.1 Problem statement .....</b>	<b>45</b>
<b>4.2 Related work.....</b>	<b>46</b>
<b>4.3 Proposed methods .....</b>	<b>46</b>
4.3.1 Sparsity-based recovery using overcomplete dictionary ( <i>SROD</i> ) .....	47
4.3.2 Recovery with corrected dictionary ( <i>RCD</i> ) .....	49
4.3.3 Recovery with Future Frame Compensation ( <i>RFFC</i> ).....	52
<b>4.4 Simulation setup.....</b>	<b>53</b>
4.4.1 Microsoft dataset and preprocessing.....	53
4.4.2 Evaluation criterion.....	55
4.4.3 Parameter setting.....	56
<b>4.5 Simulation results and analysis.....</b>	<b>56</b>
4.5.1 Comparison of <i>SROD</i> and 3-D <i>KNN</i> .....	56
4.5.2 Comparison of <i>RCD</i> , <i>RFFC</i> and <i>SROD</i> .....	58
4.5.3 Effect of noise .....	60
4.5.4 Effect of the payload size.....	61
<b>4.6 Conclusion .....</b>	<b>62</b>
Reference.....	62
<b>Chapter 5 Sparsity-based spatial data compressive transmissison ....</b>	<b>64</b>
<b>5.1 Problem statement .....</b>	<b>64</b>
<b>5.2 Compressed sensing in WSN.....</b>	<b>65</b>
<b>5.3 Basic CIR model.....</b>	<b>67</b>
5.3.1 Superposition in the air .....	68
5.3.2 Distributed wavelet transform basis.....	68
5.3.3 Sparse reconstruciton of undersampled data.....	69
<b>5.4 Low-coherent CIR model .....</b>	<b>71</b>
<b>5.5 Low-coherent local CIR model .....</b>	<b>72</b>
<b>5.6 Optimization of <math>d_{\min}</math> and <math>d_{\max}</math> .....</b>	<b>74</b>
5.6.1 Energy model .....	74
5.6.2 Optimizaition process .....	76
<b>5.7 Simulation results and analysis.....</b>	<b>77</b>
5.7.1 Necessity of power control .....	78

5.7.2 Effect of $d_{\min}$ .....	79
5.7.3 Comparison of local CIR and global CIR.....	79
5.7.4 Impact of positioning error .....	80
<b>5.8 Conclusion</b> .....	81
<b>Reference</b> .....	82
<b>Chapter 6 Conclusion and future work</b> .....	84
6.1 Conclusion .....	84
6.2 Future work.....	85
<b>Publications</b> .....	86
<b>Awards</b> .....	87
<b>Acknowledgements</b> .....	88

厦门大学博硕士学位论文摘要库



厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 摘要

在无线传感网中，节点断电、故障等多种原因常导致传感节点数据丢失。同时，传感器节点能量和带宽均非常有限。本论文利用数据本身的稀疏性，在稀疏重建的理论框架下，研究无线传感网中的数据修复和压缩传输问题。本文主要工作包括：

(1) 提出二维空间数据修复方法，将数据看成一个整体，在不进行重传的情况下，用最小化  $l_1$  范数算法修复空间平面上丢失的数据。零空间理论分析表明对于空间数据丢失，稠密型的二维 DCT 基是一种较合适的稀疏变换。DCT 基不仅适合传感网数据低频分量多的特点，同时能保留数据的结构信息，比局部基函数（如小波变换）更能抵抗局部大范围的数据丢失。假设能接受的修复误差水平是  $10^{-4}$ ，所提方法重建稀疏的低频信号时，与  $4 \times 4$ 、 $2 \times 2$  和  $1 \times 1$  丢失块对应的丢失率拐点分别是 0.3、0.6 和 0.8。

(2) 提出时-空三维数据在线修复方法，针对三维实时的传感器数据，用历史数据帧与二维 DCT 基构造完备字典来稀疏表示当前帧，进而通过稀疏性来修复当前帧内丢失的传感数据。在容许一定延迟下，假设相邻帧的差符合高斯分布，提出利用将来数据帧校正字典或直接利用将来数据帧的信息进一步降低当前帧的修复误差。所提方法在降低修复误差、抵抗连续突发性丢失和中低噪声水平上都优于传统的平均插值算法。实际数据测试表明，所提方法比传统插值算法降低修复误差达 20%~30%。利用相邻帧的差若符合独立同分布的高斯分布，可进一步降低修复误差达 10%，将来帧补偿法可进一步降低误差达 25%。

(3) 为节省网络通信成本，提出一种基于压缩感知技术的压缩传输机制，即低相干（Channel Impulse Response, CIR）模型。利用压缩感知技术实现在不规则传感网络下，提出用电磁波局部叠加的方式实现对邻近节点数据随机线性和的采集，采用分布式小波变换来稀疏表示采样到的信号。通过分析采样矩阵与稀疏矩阵的相干性，提出功率控制的低相干性传输和重建方法，明显降低了重建信号误差。仿真结果表明，低相干性是成功重建的必要条件，且低相干局部 CIR 模型的重建误差约为基本 CIR 模型的 1%。

**关键词：**传感网络；稀疏性；数据修复；压缩传输；最优化

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库