

# 基于压缩感知的双选信道下信道估计方法的研究

作者姓名 李世明

指导教师姓名、职称 葛建华 教授

申请学位类别 工学硕士



学校代码 10701  
分 类 号 TN92

学 号 1401120040  
密 级 公开

# 西安电子科技大学

## 硕士学位论文

### 基于压缩感知的双选信道下信道估计方法的研究

作者姓名：李世明

一级学科：信息与通信工程

二级学科：通信与信息系统

学位类别：工学硕士

指导教师姓名、职称：葛建华 教授

学 院：通信工程学院

提交日期：2017年4月



# **Thesis/Dissertation Guide for Postgraduates of XIDIAN UNIVERSITY**

A Thesis submitted to  
XIDIAN UNIVERSITY  
in partial fulfillment of the requirements  
for the degree of Master  
in Communication and Information Systems

By  
Li Shiming  
Supervisor: Ge Jianhua Professor  
April 2017



## 西安电子科技大学 学位论文独创性（或创新性）声明

秉承学校严谨的学风和优良的科学道德，本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢中所罗列的内容以外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果；也不包含为获得西安电子科技大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文若有不实之处，本人承担一切法律责任。

本人签名：\_\_\_\_\_ 日 期：\_\_\_\_\_

## 西安电子科技大学 关于论文使用授权的说明

本人完全了解西安电子科技大学有关保留和使用学位论文的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属于西安电子科技大学。学校有权保留送交论文的复印件，允许查阅、借阅论文；学校可以公布论文的全部或部分内容，允许采用影印、缩印或其它复制手段保存论文。同时本人保证，获得学位后结合学位论文研究成果撰写的文章，署名单位为西安电子科技大学。

保密的学位论文在\_\_\_\_\_年解密后适用本授权书。

本人签名：\_\_\_\_\_ 导师签名：\_\_\_\_\_

日 期：\_\_\_\_\_ 日 期：\_\_\_\_\_





## 摘要

摘要是学位论文的内容不加注释和评论的简短陈述，简明扼要陈述学位论文的研究目的、内容、方法、成果和结论，重点突出学位论文的创造性成果和观点。摘要包括中文摘要和英文摘要，硕士学位论文中文摘要字数一般为 1000 字左右，博士学位论文中文摘要字数一般为 1500 字左右。英文摘要内容与中文摘要内容保持一致，翻译力求简明精准。摘要的正文下方需注明论文的关键词，关键词一般为 3 ~ 8 个，关键词和关键词之间用逗号并空一格。

中文摘要格式要求为：宋体小四、两端对齐、首行缩进 2 字符，行距为固定值 20 磅，段落间距为段前 0 磅，段后 0 磅。

英文摘要格式要求为：Times New Roman、小四、两端对齐、首行不缩进，行距为固定值 20 磅，段落间距为段前 0 磅，段后 0 磅，段与段之间空一行。

**关键词：**XXX, XXX, XXX, XXX, XXX



## ABSTRACT

The Abstract is a brief description of a thesis or dissertation without notes or comments. It represents concisely the research purpose, content, method, result and conclusion of the thesis or dissertation with emphasis on its innovative findings and perspectives. The Abstract Part consists of both the Chinese abstract and the English abstract. The Chinese abstract should have the length of approximately 1000 Chinese characters for a master thesis and 1500 for a Ph.D. dissertation. The English abstract should be consistent with the Chinese one in content. The keywords of a thesis or dissertation should be listed below the main body of the abstract, separated by commas and a space. The number of the keywords is typically 3 to 5.

The format of the Chinese Abstract is what follows: Song Ti, Small 4, justified, 2 characters indented in the first line, line spacing at a fixed value of 20 pounds, and paragraph spacing section at 0 pound.

The format of the English Abstract is what follows: Times New Roman, Small 4, justified, not indented in the first line, line spacing at a fixed value of 20 pounds, and paragraph spacing section at 0 pound with a blank line between paragraphs.

**Keywords:** XXX, XXX, XXX, XXX, XXX



## 插图索引

|                |   |
|----------------|---|
| 4.1 插图示例 ..... | 7 |
|----------------|---|



## 表格索引

|                |   |
|----------------|---|
| 4.1 表格示例 ..... | 8 |
|----------------|---|





符号对照表

| 符号  | 符号名称 |
|-----|------|
| XXX | XXX  |
| XXX | XXX  |
| XXX | XXX  |
| ... |      |



## 缩略语对照表

| 缩略语 | 英文全称 | 中文对照 |
|-----|------|------|
| XXX | XXX  | XXX  |
| XXX | XXX  | XXX  |
| XXX | XXX  | XXX  |
| ... |      |      |



# 目录

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 摘要 .....                  | I   |
| ABSTRACT .....            | III |
| 插图索引 .....                | V   |
| 表格索引 .....                | VII |
| 符号对照表 .....               | IX  |
| 缩略语对照表.....               | XI  |
| 第一章 绪论 .....              | 1   |
| 1.1 课题背景 .....            | 1   |
| 1.2 国内外研究现状.....          | 1   |
| 1.3 本文的主要工作及内容安排.....     | 1   |
| 第二章 压缩感知理论.....           | 3   |
| 2.1 欠定线性系统及稀疏解 .....      | 3   |
| 2.2 压缩感知理论 .....          | 3   |
| 2.3 稀疏解的唯一性.....          | 3   |
| 第三章 基于压缩感知的双选信道信道估计 ..... | 5   |
| 3.1 线性时变系统 .....          | 5   |
| 3.2 多载波系统 .....           | 5   |
| 3.3 使用压缩感知进行信道估计.....     | 5   |
| 第四章 改善压缩感知信道估计的方法 .....   | 7   |
| 4.1 过采样技术 .....           | 7   |
| 4.2 改进导频设计 .....          | 8   |
| 4.3 改善基 .....             | 8   |
| 第五章 降低压缩感知信道估计的复杂度 .....  | 9   |
| 5.1 支撑集的稀疏度.....          | 9   |
| 5.2 改进的OMP算法.....         | 9   |
| 第六章 总结与展望 .....           | 13  |
| 6.1 研究总结 .....            | 13  |
| 6.2 研究展望 .....            | 13  |
| 致谢 .....                  | 15  |
| 作者简介 .....                | 16  |



## 第一章 绪论

### 1.1 课题背景

学位论文的封面由研究生院按国家规定统一制定印刷，封面内容必须打印，不得手写。

### 1.2 国内外研究现状

(1) 行间距：固定值 20 磅（题名页除外）。

(2) 字符间距：标准。

(3) 页眉设置：单面页码页眉标题为章节题目，每一章节的起始页必须在单面页码，双面页码页眉标题统一为“西安电子科技大学博/硕士学位论文”，页眉标题居中排列，字体为宋体，字号为五号。页眉文字下添加双横线，双横线宽度为 0.5 磅，距正文距离为：上下各 1 磅，左右各 4 磅。

(4) 页码设置：学位论文的前置部分和主体部分分开设置页码，前置部分的页码用罗马数字标识，字体为 Times New Roman，字号为小五号；主体部分的页码用阿拉伯数字标识，字体为宋体，字号为小五号。页码统一居于页面底端中部，不加任何修饰。

(5) 页面设置：为了便于装订，要求每页纸的四周留有足够的空白边缘，其中页边距为上 3 厘米、下 2 厘米；内侧 2.5 厘米、外侧 2.5 厘米；装订线为 0.5 厘米；页眉 2 厘米，页脚 1.75 厘米。

### 1.3 本文的主要工作及内容安排

(1) 打印：学位论文必须用 A4 纸页面排版，双面打印；

(2) 装订：依次按照中文题名页、英文题名页、声明、摘要、插图索引、表格索引、符号对照表、缩略语对照表、目录、正文、附录（可选）、参考文献、致谢、作者简介的顺序，用学校统一印制的学位论文封面装订成册。盲审论文必须删除致谢部分的文字内容（致谢标题须保留）以及封面和研究成果中的作者和指导教师姓名，研究成果列表中应体现作者的排序，如第一作者、第一发明人等。





## 第二章 压缩感知理论

信号处理中，传统的奈奎斯特（Nyquist）采样理论要求信号的采样频率必须大于等于信道带宽的两倍，采样获取大量数据，同时也包含了大量冗余信息。这极大的限制了高速信号处理发展要求。

2006年，Donoho等发表题为“Compressed Sensing”的文章，标志着压缩感知理论框架正式被提出。对于稀疏信号或者可以稀疏表示的信号，信号本身是可以压缩的，压缩感知理论可以通过远低于奈奎斯特采样定律的采样点，通过合适的重建算法，准确的恢复出原始信号。

其后，压缩感知理论在图像处理，信号处理，通信，人工智能等领域得到了广泛的应用。

### 2.1 欠定线性系统及稀疏解

### 2.2 压缩感知理论

### 2.3 稀疏解的唯一性



## 第三章 基于压缩感知的双选信道信道估计

研究生学位论文必须是学位申请者本人在导师的指导下独立完成的学术成果，要求立论正确，推理严谨，数据可靠，层次分明，文字通畅，不得抄袭和剽窃他人成果。研究生学位论文的撰写语言为中文和英文两种，硕士学位论文篇幅一般不低于 3 万字，博士学位论文篇幅一般不低于 5 万字。

研究生学位论文中使用的术语、符号、代号必须全文统一并符合规范化要求，计量单位一律采用国务院 1984 年 2 月 27 日发布的《中华人民共和国法定计量单位》标准。

### 3.1 线性时变系统

### 3.2 多载波系统

### 3.3 使用压缩感知进行信道估计



## 第四章 改善压缩感知信道估计的方法

图：包括曲线图、示意图、流程图、框图等。图序号一律用阿拉伯数字分章依序编码，如：图 1.3、图 2.11。

每一个图应有简短确切的图名，连同图序号置于图的正下方。图名称、图中的内容字号为五号，中文字体为宋体，英文字体为 Times New Roman，行距一般为单倍行距。图中坐标上标注的符号和缩略词必须与正文保持一致。引用图应在图题右上角标出文献来源；曲线图的纵横坐标必须标注“量、标准规定符号、单位”，这三者只有在不必要标明（如无量纲等）的情况下方可省略。

### 4.1 过采样技术

图与正文之间一般应空一行。

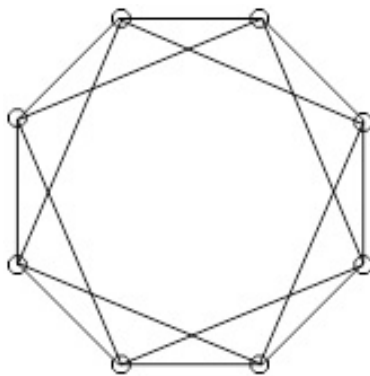


图 4.1 插图示例

公式：正文中的公式、算式、方程式等必须编排序号，序号一律用阿拉伯数字分章依序编码，如：(3-32)、(6-21)。

对于较长的公式，另起行居中横排，只可在符号处（如：+、-、\*、/、<>等）转行。公式序号标注于该式所在行（当有续行时，应标注于最后一行）的最右边。连续性的公式在“=”处排列整齐。大于 999 的整数或多于三位的小数，一律用半个阿拉伯数字符的小间隔分开；小于 1 的数应将 0 置于小数点之前。公式的行距一般为单倍行距。

## 4.2 改进导频设计

公式与正文之间一般应空一行。

$$X_{e1}(s, n_1, k_1) = \binom{k_1}{s} \frac{n_1!}{(n_1 - s)!} \sum_{v=0}^{\min(n_1-s, k_1-s)} (-1)^v \binom{k_1-s}{v} \times \frac{(n_1-s)!}{(n_1-s-v)!} (n_1-s-v)^{k_1-s-v} \quad (4-1)$$

表：包括分类项目和数据，一般要求分类项目由左至右横排，数据从上到下竖列。

分类项目横排中必须标明符号或单位，竖列的数据栏中不要出现“同上”、“同左”等词语，一律要填写具体的数字或文字。表序号一律用阿拉伯数字分章依序编码，如：表 2.5、表 10.3。

每一个表格应有简短确切的题名，连同表序号置于表的正上方。表名称、表中的内容居中排列，字号为五号，中文字体为宋体，英文字体为 Times New Roman，行距一般与正文保持一致。表格线统一用单线条，磅值为 0.5 磅。

## 4.3 改善基

表格与正文之间一般应空一行。

表 4.1 表格示例

| 馈电方式<br>电性能参数                      | 探针       | 环形缝隙    | 探针和缝隙   |         | 缝隙和CPW  |         |
|------------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                                    |          |         | 探针      | 缝隙      | 缝隙      | CPW     |
| 谐振频率                               | 9.5 GHz  | 8.8 GHz | 9.4 GHz | 9.8 GHz | 9.2 GHz | 9.3 GHz |
| 带宽<br> S <sub>11</sub>   < -10 dB) | 7.3%     | 4.5%    | 6.9%    | 6.8%    | 4.9%    | 5.3%    |
| 隔离度<br>(带内最差)                      | -16.5 dB | -17 dB  | -31 dB  |         | -22 dB  |         |
| 方向图                                | 不对称      | 对称      | 不对称     | 对称      | 对称      | 对称      |
| 交叉极化电平                             | 高        | 低       | 高       | 低       | 低       | 低       |

计量单位：学位论文中出现的计量单位一律采用国务院 1984 年 2 月 27 日发布的《中华人民共和国法定计量单位》标准。

## 第五章 降低压缩感知信道估计的复杂度

我校研究生学位论文包括以下几个部分：

### 5.1 支撑集的稀疏度

(1) 题目：题目是最恰当、最简明的词语反映论文中最重要的特定内容的逻辑组合，力求简短切题。中文题目（包括副标题和标点符号）一般不超过 20 个字，英文题目一般不超过 10 个实词。

题目位于确定位置的文本框中，文本框格式为水平位置：相对于右侧页边距绝对位置 0.5 厘米；垂直位置：相对于下侧页边距绝对位置 15 厘米；文字环绕方式为浮于文字上方；文本框大小：高度为绝对值 3.2 厘米，宽度为绝对值 15 厘米。文字格式为中文宋体、英文 Times New Roman，二号加粗，居中对齐，左右不缩进，段前段后不留空，行距为固定值 30 磅。

(2) 责任者姓名：包括论文作者姓名、指导教师姓名及职称（博士学位论文、学术型和同等学力硕士学位论文）以及学校、企业导师姓名及职称（专业学位硕士学位论文）。没有企业导师的专业学位类别请将“企业导师姓名及职称”栏目删除。

(3) 申请学位类别：按照学科门类和学位层次填写，如工学博士、工学硕士、工程硕士、工商管理硕士等。

作者姓名、指导教师姓名职称、申请学位类别信息位于确定位置的文本框中，文本框格式为水平位置：相对于右侧页边距绝对位置 3.5 厘米；垂直位置：相对于下侧页边距绝对位置 20 厘米；文字环绕方式为浮于文字上方；文本框大小：高度为绝对值 3.5 厘米，宽度为绝对值 9 厘米。标题字体为黑体四号加粗，具体内容的文字格式为中文宋体、英文 Times New Roman，四号加粗，左对齐，左右不缩进，段前段后不留空，行距为固定值 30 磅。

### 5.2 改进的OMP算法

题名页包括中文题名页和英文题名页，主要由学校代码、分类号、学号、密级、论文题目、作者姓名、一级学科、二级学科（博士学位论文、学术型和同等学力硕士学位论文）、领域（专业学位硕士学位论文）、学位类别、指导教师姓名、职称（博士学位论文、学术型和同等学力硕士学位论文）、学校、企业导师姓名、职称（专业学位硕士学位论文）、提交日期等部分组成。没有企业导师的专业学位类别请将“企业导师姓名及职称”栏目删除。

- (1) 学校代码：指本单位编号，我校代码是“10701”。
- (2) 分类号：指在《中国图书资料分类法》中的分类号（填写前四位即可）。
- (3) 学号：按照入学时研究生院编制的统一编号填写。
- (4) 密级：密级由导师确定，分为公开和秘密两种。

学校代码和分类号位于确定位置的文本框中，文本框格式为水平位置：相对于右侧页边距绝对位置 0.2 厘米；垂直位置：相对于下侧页边距绝对位置 0.3 厘米；文字环绕方式为浮于文字上方；文本框大小：高度为绝对值 1.1 厘米，宽度为绝对值 4.5 厘米。学号和密级位于确定位置的文本框中，文本框格式为水平位置：相对于右侧页边距绝对位置 10.9 厘米；垂直位置：相对于下侧页边距绝对位置 0.3 厘米；文字环绕方式为浮于文字上方；文本框大小：高度为绝对值 1.1 厘米，宽度为绝对值 4.5 厘米。中文题名页中的学校代码、分类号、学号和密级的字体为宋体，字号为五号加粗，行距为多倍行距 1.2，段落间距为段前 0 磅，段后 0 磅；

学位论文题目位于确定位置的文本框中，文本框格式为水平位置：相对于右侧页边距绝对位置 0 厘米；垂直位置：相对于下侧页边距绝对位置 11 厘米；文字环绕方式为浮于文字上方；文本框大小：高度为绝对值 3.2 厘米，宽度为绝对值 15.5 厘米。字体为宋体，字号为二号加粗，行距为固定值 30 磅，段落间距为段前 0 磅，段后 0 磅；

作者姓名、指导教师姓名职称、一级学科、二级学科、领域、学位类别、提交日期位于确定位置的文本框中，文本框格式为水平位置：相对于右侧页边距绝对位置 4.5 厘米；垂直位置：相对于下侧页边距绝对位置 16 厘米；文字环绕方式为浮于文字上方；文本框大小：高度为绝对值 8.6 厘米，宽度为绝对值 8.5 厘米。标题和具体内容的字体为宋体，标题字号为四号加粗，具体内容的字号为四号不加粗，行距为固定值 32 磅，段落间距为段前 0 磅，段后 0 磅。

英文题名页中的学科填写二级学科（专业学位填写领域或类别），学位论文题目字体为 Times New Roman，字号二号加粗，行距为固定值 30 磅，段落间距为段前 0 磅，段后 0 磅，其他内容的字体为 Times New Roman，字号三号，行距为固定值 30 磅，段落间距为段前 0 磅，段后 0 磅。学位论文题目位于确定位置的文本框中，文本框格式为水平位置：相对于右侧页边距绝对位置 0 厘米；垂直位置：相对于下侧页边距绝对位置 0 厘米；文字环绕方式为浮于文字上方；文本框大小：高度为绝对值 3.5 厘米，宽度为绝对值 15.5 厘米。学科信息文本框格式为水平位置：相对于右侧页边距绝对位置 0 厘米；垂直位置：相对于下侧页边距绝对位置 6 厘米；文字环绕方式为浮于文字上方；文本框大小：高度为绝对值 5.5 厘米，宽度为绝对值 15.5 厘米。作者信息文本框格式为水平位置：相对于右侧页边距绝对位置 0 厘米；垂直位置：相对于下侧页边距绝对位置 18.7 厘米；文字环绕方式为浮于文字上方；文本



框大小：高度为绝对值 4.5 厘米，宽度为绝对值 15.5 厘米。



## 第六章 总结与展望

我校研究生学位论文包括以下几个部分：

### 6.1 研究总结

(1) 题目：题目是最恰当、最简明的词语反映论文中最重要的特定内容的逻辑组合，力求简短切题。中文题目（包括副标题和标点符号）一般不超过 20 个字，英文题目一般不超过 10 个实词。

题目位于确定位置的文本框中，文本框格式为水平位置：相对于右侧页边距绝对位置 0.5 厘米；垂直位置：相对于下侧页边距绝对位置 15 厘米；文字环绕方式为浮于文字上方；文本框大小：高度为绝对值 3.2 厘米，宽度为绝对值 15 厘米。文字格式为中文宋体、英文 Times New Roman，二号加粗，居中对齐，左右不缩进，段前段后不留空，行距为固定值 30 磅。

(2) 责任者姓名：包括论文作者姓名、指导教师姓名及职称（博士学位论文、学术型和同等学力硕士学位论文）以及学校、企业导师姓名及职称（专业学位硕士学位论文）。没有企业导师的专业学位类别请将“企业导师姓名及职称”栏目删除。

(3) 申请学位类别：按照学科门类和学位层次填写，如工学博士、工学硕士、工程硕士、工商管理硕士等。

作者姓名、指导教师姓名职称、申请学位类别信息位于确定位置的文本框中，文本框格式为水平位置：相对于右侧页边距绝对位置 3.5 厘米；垂直位置：相对于下侧页边距绝对位置 20 厘米；文字环绕方式为浮于文字上方；文本框大小：高度为绝对值 3.5 厘米，宽度为绝对值 9 厘米。标题字体为黑体四号加粗，具体内容的文字格式为中文宋体、英文 Times New Roman，四号加粗，左对齐，左右不缩进，段前段后不留空，行距为固定值 30 磅。

### 6.2 研究展望

题名页包括中文题名页和英文题名页，主要由学校代码、分类号、学号、密级、论文题目、作者姓名、一级学科、二级学科（博士学位论文、学术型和同等学力硕士学位论文）、领域（专业学位硕士学位论文）、学位类别、指导教师姓名、职称（博士学位论文、学术型和同等学力硕士学位论文）、学校、企业导师姓名、职称（专业学位硕士学位论文）、提交日期等部分组成。没有企业导师的专业学位类别请将“企业导师姓名及职称”栏目删除。



## 致谢

本论文是在导师的悉心指导下完成的，从论文的选题到论文的撰写，无不渗透着导师的心血，……值此论文完稿之际，谨对导师的辛勤培育以及谆谆教诲表示最衷心的感谢！



## 作者简介

### 1. 基本情况

张三，男，陕西西安人，1982年8月出生，西安电子科技大学XX学院XX专业2008级硕士研究生。

### 2. 教育背景

2001.08～2005.07，西安电子科技大学，本科，专业：电子信息工程

2008.08～，西安电子科技大学，硕士研究生，专业：电磁场与微波技术

### 3. 攻读硕士学位期间的研究成果

#### 3.1 发表学术论文

- [1] XXX, XXX, XXX. Rapid development technique for drip irrigation emitters[J].RP Journal,UK.,2003,9(2): 104-110.(SCI: 672CZ, EI: 03187452127)
- [2] XXX, XXX, XXX. 基于快速成型制造的滴管快速制造技术研究[J]. 西安交通大学学报, 2001, 15(9): 935-939. (EI: 02226959521)
- [3] ...

#### 3.2 申请（授权）专利

- [1] XXX, XXX, XXX等. 专利名称: 国别,专利号[P]. 出版日期.
- [2] ...

#### 3.3 参与科研项目及获奖

- [1] XXX项目, 项目名称, 起止时间, 完成情况, 作者贡献.
- [2] XXX, XXX, XXX等. 科研项目名称. 陕西省科技进步三等奖, 获奖日期.
- [3] ...

