

学校编码: 10384
学号: 23320131153243

分类号 _____ 密级 _____
UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于 DP-LDPC 码的 JSCC 系统连接矩阵
优化设计

Connection Optimization of Joint Source and Channel
Coding Based on Protograph LDPC Codes

曹沙沙

指导教师姓名: 洪少华副教授

专业名称: 电子与通信工程

论文提交日期: 2016 年 月

论文答辩时间: 2016 年 月

学位授予日期: 2016 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2016 年 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

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(联合信源信道编码)课题(组)的研究成果,获得(联合信源信道编码)课题(组)经费或实验室的资助,在(宽带无线通信实验室)实验室完成。(请在以上(0-1)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):曹沙沙

2016年05月20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：曹沙沙

2016 年 05 月 20 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要

香农的经典分离定理已证明，信源和信道编码分别达到最优时，整个系统的性能仍能保持最优。然而分离系统适用于码长无限长的点对点传输系统，并不适用于实际的传输系统中，联合信源信道编译码系统因为其良好的传输性能和低功耗的特点吸引了更多的关注。

目前存在很多联合信源信道编译码系统的设计方案，其中低密度奇偶校验码（LDPC码）由于其良好的逼近香农限的特点且较低的译码复杂度，被引入到信源和信道的编译码联合系统（JSCC）中，称之为D-LDPC的JSCC系统，为了更好的改进联合系统的性能和降低译码复杂度，原模图LDPC码被引入到联合信源信道编译码系统中，即DP-LDPC的JSCC系统，较之D-LDPC系统，DP-LDPC系统的误码率（BER）曲线有相对低的错误地板。然而研究发现基于DP-LDPC的联合系统对信源的统计特性非常敏感，即当系统传输的整体码率较高时，需要非常稀疏的信源才能实现可靠传输，但这在实际传输系统中，往往有极大的局限性。

DP-LDPC的JSCC系统的BER性能主要有两部分构成，即瀑布区性能和错误地板区性能，一般而言，信源压缩编码主要影响错误地板区性能，信道编码主要影响瀑布区性能；然而，鉴于联合译码时，外信息在信源码与信道码间通过连接关系相互传递，对系统性能很是关键，且信源码和信道码都可以通过校验矩阵来表示，因此可以通过优化信源码与信道码之间的连接关系来改善DP-LDPC的JSCC系统的整体性能。本文将联合译码的因子图看作一个整体的联合矩阵，主要有四个模块阵构成，分别为信源矩阵，信道矩阵和两个连接矩阵；其中，两个连接矩阵表示的是因子图中信源校验节点到信道变量节点的连接关系，及信道校验节点到信源变量节点的连接关系。在传统的DP-LDPC的JSCC系统中，信道校验节点到信源变量节点是没有进行连接的，因此对应的连接矩阵是全零矩阵。

本文通过分别对两个连接矩阵进行优化设计，来提高系统的BER曲线瀑布区和地板区性能，并进一步将这种连接关系一般化为多边连接来适应实际传输的需求，通过修改的联合原模图外信息转移（JPEXIT）算法来分析改进设计的联合系统的迭代译码阈值，探究其不同连接关系对系统BER性能的影响，并在此基础上提出相应的连接优化算法。JPEXIT分析迭代译码阈值与仿真结果表明，通过

本文提出的优化算法，DP-LDPC的JSCC系统有了较大的性能改善。

关键词：DP-LDPC；联合信源信道系统；连接矩阵

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

According to Shannon's classical separation theorem, the source and channel coding can be individually optimized while still maintaining the optimality of the whole system. However, the theorem holds only for the end-to-end communication systems with infinite channel code block length, which are seldom met in practical applications. Joint source-channel coding (JSCC) schemes draw much attention for its good performance and high efficiency.

There have been lots of approaches to design JSCC schemes. An innovative JSCC scheme is firstly proposed, which uses low-density parity-check (LDPC) code as both source and channel codes, referred as double LDPC (D-LDPC) system. In order to improve the performance and reduce the computational complexity, protograph LDPC (P-LDPC) code was introduced into this JSCC scheme and a new JSCC framework is proposed, named as double protograph low-density parity-check (DP-LDPC) system. Compared with the D-LDPC system, the DP-LDPC system possesses better performance and lower error floor. Recently, it was found that the performance of this JSCC scheme based on D-LDPC codes is sensitive to the source statistics.

BER performance of the DP-LDPC system mainly consists of two parts: water-fall performance and error-floor performance. Commonly, source compression coding affects the performance in the error floor region while channel coding affects the performance in the water fall region. Since the exchange of extrinsic information through connection between source code and channel code is essential for the performance, the connection has an effect on the BER performance and should be optimized. In this article, the joint source-channel decoder factor graph is seen as a whole joint protograph matrix, which is comprised of four parts: the source protograph matrix, the channel protograph matrix and two linking matrices. The first linking matrix represents the connections among the source check nodes to the channel variable nodes while the second linking matrix represents the connections among the channel check nodes to the source variable nodes. In the traditional DP-LDPC system, there is no connection among the channel check nodes to the

source variable nodes. Thus the corresponding second linking matrix is a zero matrix.

This paper separately optimizes the two linking matrices to improve the BER performance of the DP-LDPC system. A novel modified joint protograph extrinsic information transfer (JPEXIT) analysis is introduced to calculate the decoding threshold of the joint protograph matrix and the relationship between the performance and the connection for the DP-LDPC system is analyzed. Moreover, the connection optimization algorithm for the two linking matrices is proposed. Both the JPEXIT analysis and simulation results demonstrate that the performance of the DP-LDPC system has been greatly improved by the use of the proposed connection optimization algorithm.

Keywords: DP-LDPC; Joint source-channel coding system; Linking matrix

目录

摘要.....	I
Abstract.....	III
第一章 绪论	1
1.1 课题来源以及研究意义.....	1
1.2 研究现状.....	2
1.2.1 分离设计到联合设计的发展历程.....	2
1.2.2 基于 LDPC 码的联合设计现状	3
1.3 本文主要工作与创新.....	4
1.4 论文结构安排.....	5
第二章 原模图 LDPC 码及联合系统	7
2.1 引言	7
2.2 LDPC 码的表示方法.....	7
2.2.1 矩阵表示法.....	7
2.2.2 因子图表示法.....	8
2.2.3 度分布表示法.....	9
2.3 LDPC 码编码算法.....	9
2.3.1 校验矩阵 H 的设计.....	9
2.3.2 编码算法.....	10
2.3.3 译码算法.....	11
2.4 原模图 LDPC 码构造方法	12
2.5 基于 DP-LDPC 码的 JSCC 系统.....	15
2.5.1 DP-LDPC 码的 JSCC 系统.....	16
2.5.2 传统 DP-LDPC 的 JSCC 系统编译码算法.....	16
2.5.3 传统 DP-LDPC 的 JSCC 系统 EXIT 分析.....	19
2.6 本章小结	24
第三章 基于 DP-LDPC 的 JSCC 系统因子图连接优化	25
3.1 引言	25
3.2 基于文献[3]的 D-LDPC 的 JSCC 系统.....	25
3.3 基于联合矩阵形式的 DP-LDPC 的 JSCC 系统.....	28
3.3.1 编码算法.....	28
3.3.2 译码算法.....	29
3.4 连接基矩阵 B_{L_1} 的优化设计及系统性能仿真.....	30
3.5 连接基矩阵 B_{L_2} 优化设计及系统性能仿真.....	34
3.5.1 连接不同数量信源变量节点 u_p 时的 BER 性能	35
3.5.2 连接信源的不同位置变量节点时的仿真结果分析.....	38

3.6 本章小结	40
第四章 因子图多边连接优化及阈值分析	43
4.1 多边连接因子图模型	43
4.2 改进的联合 PEXIT 算法	44
4.3 多边连接系统性能分析	45
4.3.1 不同列重的 B_{L_2} 时 B_j 的迭代阈值及系统性能	45
4.3.2 多边连接系统与单边连接系统性能比较	49
4.4 本章小结	50
第五章 总结与展望	53
5.1 本文总结	53
5.2 工作展望	54
参考文献	57
致谢	61
攻读硕士期间研究工作	62
1. 项目情况	62

CONTENTS

Abstract in Chinese.....	I
Abstract in English	III
Chapter 1 Preface	1
1.1 Backgrounds	1
1.2 Current Research Situation.....	2
1.2.1 Development from Separate Coding to Joint Source-Channel Coding	2
1.2.2 Current Situation of Joint Design Based on LDPC Codes.....	3
1.3 Contents and Contributions of the Thesis.....	4
1.4 Outline of the Thesis.....	5
Chapter 2 Protograph LDPC Codes and JSCC Systems Based on Protograph LDPC Codes	7
2.1 Introduction.....	7
2.2 Representation of LDPC Codes.....	7
2.2.1 Matrix Representation.....	7
2.2.2 Tanner Graph Representation	8
2.2.3 Degree Distribution Representation.....	9
2.3 Encoding Algorithm of LDPC Codes	9
2.3.1 Design of Check Matrix.....	9
2.3.2 Encoding Algorithm.....	10
2.3.3 Decoding Algorithm of LDPC Codes	11
2.4 Construction of Protograph LDPC Codes.....	12
2.5 JSCC Systems Based on Protograph LDPC Codes	15
2.5.1 System Model of JSCC	16
2.5.2 Encoding and Decoding Algorithm of Traditional JSCC System.....	16
2.5.3 EXIT Analysis of Traditional JSCC System.....	19
2.6 Conclusions.....	24
Chapter 3 Tanner Graph Optimization Based on DP-LDPC JSCC System	25
3.1 Introduction.....	25
3.2 D-LDPC JSCC System Based Literature[3].....	25
3.3 Description of DP-LDPC JSCC System Based on Joint Matrix.....	25

.....	28
3.3.1 Encoding Algorithm	28
3.3.2 Decoding Algorithm	29
3.4 Optimized Design of Linking Matrix B_{L1} and System Performance Simulation	30
3.5 Optimized Design of Linking Matrix B_{L2} and System Performance Simulation	34
3.5.1 Performance Vs. the Number of u_p	35
3.5.2 Performance Vs. the Position of u_p	38
3.6 Conclusions	40
Chapter 4 Multilateral optimization of Tanner Graph and Threshold Analysis	43
4.1 Tanner Graph Model Based on Multilateral connection	43
4.2 Improved algorithms of joint PEXIT	44
4.3 Performance Simulation of Multilateral connection system	45
4.3.1 Performance and Threshold Vs. the degree of B_{L2}	45
4.3.2 Performance Vs. the Connection.....	49
4.4 Conclusions	50
Chapter 5 Conclusion and Suggestions	53
5.1 Conslusions	53
5.2 Suggestions	54
References	57
Acknowledgment	61
Research Achievements During the Period of M.SC Degree	62
1. Projects	62

第一章 绪论

1.1 课题来源以及研究意义

本课题是在国家自然科学基金及福建省自然科学基金的联合支持下对基于双原模图 LDPC (DP-LDPC) 联合信源信道编译码 (JSCC) 系统的优化设计。

信源信道分离设计虽然使问题变得简单, 但是却没有充分的利用信源编码和信道编码之间的关联信息。JSCC 系统的建立是基于以下一个基本条件: 信源编码不可能将信源压缩到极限, 因此在信源压缩后必然存在冗余信息, JSCC 系统在进行译码时可以利用这些冗余信息来提高整个系统的传输性能。基于原模图 LDPC 的联合信源信道编译码系统是用一个原模图的 LDPC 信源矩阵压缩去除信源比特的冗余信息, 将压缩后的信息比特通过一个原模图 LDPC 的信道编码矩阵来进行保护, 采用二进制相移键控 (Binary Phase Shift Keying, BPSK) 进行调制, 传输采用标准传输信道, 即高斯白噪声 (White Gaussian Noise, AWGN) 信道, 经过解调, 在译码端采用联合译码来获取信源信息比特。联合信源信道编译码系统虽然具有低功耗及较低的译码复杂度, 但文献[1]发现, 此系统对信源的统计特性非常敏感, 当传输较大信源熵时, 系统的误比特率 (BER) 在高信噪比区 (即地板区) 的性能较差, 使得系统的整体性能不能满足实际传输的要求。

在实际的传输中, 信源并不可能一直为稀疏信源, 如传输一幅图片时, 不同色彩度的部分对应的信源熵值不同, 故信源熵值不会一直满足系统的传输要求, 因此该系统有极大的局限性, 优化 DP-LDPC 联合系统来适应实际传输的需要迫在眉睫。

为了解决此问题, 文献[2]提出两个方法, 一个是增加信源码字的长度, 另一种是减少信源压缩率, 但是这些解决方法有诸多缺陷。首先增加码字的长度将会削弱联合系统的优势, 即在非渐进方案下的获取良好性能的可能性。其次减少信源压缩率时, 系统的性能并不会呈现线性增长。文献[3]则通过对联合系统因子图进行改进来降低系统的错误地板。本文将文献[3]中的方案运用到基于 DP-LDPC 的 JSCC 系统中, 并分别优化联合矩阵中的两个连接矩阵来改善系统

的 BER 性能。并通过修改的原模图外信息转移 (JPEXIT) 算法对联合译码因子图的优化设计进行指导, 最后提出了相应设计标准。

1.2 研究现状

1.2.1 分离设计到联合设计的发展历程

通信理论的基础是分离设计^[4], 然而根据文献[5]信源信道译码分离系统的最优解是在码长为无穷长的时候得到的。分离设计适用于点对点传输的通信系统中, 对于有限长度的信息比特来说, 分离定理并不适用, 信源压缩后残留的冗余信息在译码端应该被利用从而来降低系统的误码率。联合信源信道编译码系统由于其低功耗及较低的译码复杂度等特点受到了越来越多的关注。联合信源信道系统的标准方法是假定由于时延或者复杂度的限制, 信源压缩后存在一些冗余信息, 在联合译码端, 可以利用这些冗余信息来降低错误地板。

在 1990 年早期, turbo 码提出后, 许多研究学者开始探究可变长度码运用于联合系统中, 如 Huffman 码和代数码, 被用于图像或者音频编码中^[6]。这些联合译码方案基于两个中心思想: 1) 可变长度编码器不是最理想的, 并非所有的比特流都可以使用; 2) 可变长度编码可以像卷积码一样进行软译码。在 1995 年, Hagenauer 等人提议在联合译码端运用软判决 Viterbi 算法, 在译码端运用信源的先验概率来控制信道译码^[7]。参考文献[8], [9], [10], 和[11]提出运用交织的 Huffman 码, 译码端运用线性的信道码 (如 turbo 码)。文献[12]把此思想扩展到代数码中, 文献[13], [14]和[15]把提议运用 LZ (Lempel-Ziv) 码和信道码来联合译码。在文献[16]中, 作者用模型来描述信源残留的冗余信息, 把隐马尔科夫信源和 turbo 码运用到联合系统中。文献[17]中提出了基于可变长度码与 LDPC 码的联合系统方案, 信源通过可变长度码来进行压缩, 信道运用 LDPC 码进行保护, 在译码端, 信源译码使用 BCJR 算法, 信道译码则采用经典的置信传播 (BP) 译码算法, 同时文中分析了联合系统的迭代译码性能, 并给出了系统收敛的条件。在 2001 年, 文献[18]提出了基于可变长度码与卷积码的联合系统方案, 即信源编码使用可变长度码, 信道编码使用卷积码, 在译码端采用联合译码的算法。为了降低联合译码的复杂度, 同时提高联合译码的性能, 文献[19]提出了一种通过

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts 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 for delivery details.