

山东信息通信技术研究院 优秀学术论文集

郭建民◎主 编



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

山东信息通信技术研究院 优秀学术论文集

郭建民 主编



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

山东信息通信技术研究院优秀学术论文集 / 郭建民主编. —北京: 科学技术文献出版社, 2013. 11

ISBN 978-7-5023-8422-7

I. ①山… II. ①郭… III. ①信息技术-文集 ②通信技术-文集
IV. ①G202-53 ②TN91-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 249752 号

山东信息通信技术研究院优秀学术论文集

策划编辑: 孙江莉 责任编辑: 孙江莉 责任校对: 张燕育 责任出版: 张志平

出 版 者 科学技术文献出版社
地 址 北京市复兴路15号 邮编 100038
编 务 部 (010) 58882938, 58882087 (传真)
发 行 部 (010) 58882868, 58882874 (传真)
邮 购 部 (010) 58882873
官 方 网 址 <http://www.stdp.com.cn>
发 行 者 科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销
印 刷 者 北京金其乐彩色印刷有限公司
版 次 2013年11月第1版 2013年11月第1次印刷
开 本 787×1092 1/16
字 数 701千
印 张 30.25
书 号 ISBN 978-7-5023-8422-7
定 价 98.00元



版权所有 违法必究

购买本社图书, 凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

《山东信息通信技术研究院优秀学术论文集》 编委会

主 编：郭建民

副主编：孙 军 程 冰 李百东 李晓军

编委会成员：巩玉滨 马德营 张 垚 张国伟

前 言

山东信息通信技术研究院（以下简称信通院）成立五年来，以科研平台和科研团队两大建设为抓手，以建设一流创新平台、打造一流创新团队、产出一流创新成果、提供一流创新服务为己任，着力推进科技创新，紧紧围绕产业发展需要，通过承担国家和省级重大科技项目，以及直接面向企业一线，开展自主创新，攻克技术难关，在高新技术和重要应用基础领域，初步取得了一批科研成果。

2013年是信通院建设发展承上启下的关键一年，在此关键时期，为深入贯彻落实群众路线教育实践活动的精神，信通院出版了《山东信息通信技术研究院优秀学术论文集》一书。这部文集展示了信通院广大信息通信工作者，在信通院五年建设时期，以党的十七大、十八大精神为指引，认真实践“三个代表”重要思想，深入贯彻落实科学发展观，为信息通信事业发展，结合工作实际开展信息通信理论研究的成果和富有创造性的思考。这是信通院信息通信工作者集体智慧的结晶。这些研究成果，对促进我省乃至我国信息通信事业的发展将发挥一定作用。

这部文集所选录的论文，只是大批研究成果的一部分，这些论文既有对信息通信产业发展的精辟论述，又有对信息通信工作的真知灼见。论文注重理论和实践的结合，有新意，富有时代气息。这部文集的出版，适应形势发展的要求，为各行业、各领域从事信息通信研究、开发、服务、教学的人员和有关领导及管理工作者，提供了很好的学习、参考文献，相信会受到读者的欢迎。

当今世界是一个全球化、信息化、网络化迅猛发展的时代，世界经济与社会正朝着信息化的方向大步迈进。在新的形势下，广大信息通信工作者不仅肩负着光荣的历史使命，还将面临新的机遇和挑战。因此，要不断地解放思想、更新观念，不断研究探索、与时俱进。要努力适应世界经济变化的新形势，积极借鉴和应用国内外先进的发展经验和手段，加速信息通信工作的现代化。希望广大信息通信工作者，承担起历史赋予的重任，抓住机遇，开拓进取，为在下一阶段的工作中创造辉煌而不懈努力。

目 录

技术研究类

一种用于长码的快速 LDPC 码度分布优化方法	原 磊	郝 飞	(2)			
用于 MEMS 器件封装的预成型塑料空腔引线框架	户俊华	刘昭麟	(9)			
FPGA 输入输出电路片内终结电阻的策略及架构设计	朱璟辉		(19)			
基于 ARM 的 AgilentN9030A 频谱分析仪远程操控设计	王靖雯	牛英贤	王海磊	陈晓阳	崔 波	(25)
宽带卫星调制解调器中的 LDPC 编码	崔笑笑	薛丽丽	(30)			
新型共形相控阵天线方向图合成	肖红侠	吴 超	薛丽丽	杨 睿	方瑞银	(35)
变电站巡检机器人检测及控制系统研究	杨 墨	孙大庆	王贤华	胡清波	(43)	
盘式瓷绝缘子智能检测机器人系统的设计与研究	曹 涛	孙大庆	张永生	赵德利	(49)	
智能变电站辅助系统一体化信息平台的设计与研究	梁 涛	陈 姣	裴 森	李北斗	杨 森	(54)
智能变电站一体化电源系统的设计与实现	巩方彬	何军田	孙志周	(59)		
突破 MBD 实施中的数据封锁——华天软件自主轻量化技术	梅敬成	(64)				
一种超长点高速数字脉压系统的设计	邓 波	(70)				
连续变焦非制冷红外热成像仪	陈大明	(76)				
一种基于子特征融合的身份证照片验证方法	许野平	方 亮	张传锋	曹 杰	刘辰飞	(82)
城市防汛指挥调度系统	马述杰	(90)				
城市供水智能调度系统	马述杰	(97)				
城市排水综合管理系统	马述杰	(106)				
城市绿色智能照明监控管理系统	马述杰	(113)				
城市综合管网管理系统	马述杰	(119)				
社会管理信息系统平台	马述杰	(124)				
数字化城市管理应用平台	马述杰	(133)				
基于 Ranplan iBuildNet [®] CAD 图纸导入的三维建模方法	秦春霞	刘大扬	张 杰	(143)		

便携式激光瓦斯遥测仪的激光器稳频技术	孙延光 董作人 龚尚庆 侯绍森	(149)
Distributed Fault Diagnosis of Wireless Sensor Network	陈冬岩	(156)
无线传感器网络性能测试与智能故障诊断技术研究综述	陈冬岩	(166)
基于 Web 组态的物联网实时数据监测及预警系统	陶 鹏	(178)
在线舆情数据挖掘平台	陶 鹏	(196)
安全移动存储的新方向	袁迈克 刘福财	(214)
瀚高大数据解决方案	苗 健	(222)
纳米工艺集成电路中的互连线研究现状综述	王启振 李东浩	(226)
停车场出入口多车道 ETC 应用的实现	林敬东 李钢超	(231)
无人机操作系统导论	赵云鹏	(235)
芯片、封装及 PCB 协同设计	徐冠飞	(239)
Tm ³⁺ /Yb ³⁺ 共掺硝酸盐玻璃发光性质研究*	黄庆捷 季 伟 冯德军 宋 磊 朱亦鸣	(243)
基于 RoF 的 Wi-Fi 天线拉远系统设计	季 伟 朱亦鸣	(251)
光纤模场分析中的 Bessel 函数应用*	马德营 冯德军 朱亦鸣 宋 磊 黄庆捷 季 伟	(257)
全固态薄膜锂电池技术研究进展	尹从明 臧 亮 向 勇	(264)
微型锂电池设计与工艺技术	尹从明 臧 亮 向 勇	(270)
一种大功率白光 LED 驱动电路的设计与仿真	张万洋 王 永	(276)
局部断电设计问题及对策	杨震威 李长忠	(286)
阵列式红外测温技术在电力系统中的应用	杨震威 马宝国	(292)
基于 BYOD 的 OTO 模式的研究	吕 磊	(298)
基于智能交通数据挖掘的济南市拥堵现状分析	李文竹 崔星灿 禹晓辉	(309)
数据库关键字检索技术研究综述	周 婧 禹晓辉	(316)
基于质子交换的周期极化铌酸锂波导应用研究	郑名扬 谢秀平 张 强	(323)
多功能服务机器人设计	陈继文 于复生 杨晓伟 许方超	(329)
基于 51 单片机的并联电梯仿真系统	王敬义 陈继文 刘鹏翔 逢 波	(334)
基于 51 单片机的电梯仿真控制系统	焦 阳 陈继文 张 涵 刘鹏翔	(341)
基于 GPRS 的电梯门禁系统	杨金晖 陈继文 刘鹏翔 范文利	(346)
基于单片机的室内攀岩机模型设计	杨之含 陈继文 贾德芳	(352)
基于单片机的书房服务机器人控制系统	刘军鹏 杨红娟 逢 波	(357)
基于单片机的语音识别系统	史桂锋 杨红娟 秦广久	(362)
基于单片机的智能风扇控制系统	毕经龙 杨红娟 丛东升	(367)
基于单片机的智能旋转门控制系统	关新利 杨红娟 李 丽	(372)
基于单片机的智能摇篮控制系统	张树昌 杨红娟 董明晓	(379)
基于物联网技术的电梯远程监控系统	张思凡 陈继文 刘鹏翔 刘 辉	(384)
擂台机器人控制系统设计	范建功 陈继文 何 芹	(390)
书房服务机器人设计	曹广折 陈继文 卞 梅	(395)

智能割草机器人控制系统设计	王 康 陈继文 于复生	(400)
籽晶对 DKDP 晶体光学质量的影响	孙绍涛 王正平 孙 洵	许心光 (405)

综合类

智能卡发展概述	窦 博	(412)
国产软件发展问题探讨	康良亭	(416)
知识管理在研发项目管理中的应用研究	耿祖群	(422)
浅谈石墨烯应用对智能手机产业发展的影响	李善峰	(431)
大数据时代下的数据分析*	吴学淞 曹建文	许建波 (437)
山东信息通信技术研究院建设新型创新服务模式探讨	邱 冬 薛俊龙	(441)
制造业大数据应用的研究与思考	轩辕思思 李 岩	(446)
浅谈物联网关键概念	任春晓 吴玉晓	(453)
山东省集成电路产业发展状况综合评估	孙绍涛 孙 涛 黄 斌	常国雷 (457)
山东省通信设备计算机及其他电子设备制造业发展分析	张国伟 马德营	(462)

技术研究类

一种用于长码的快速 LDPC 码度分布优化方法

原 磊¹ 郝 飞²

1. 山东量子科学技术研究院技术有限公司

2. 山东信息通信技术研究院管理中心

摘 要 度分布优化是构造高性能不规则 LDPC 码的关键技术。针对目前最常用的结合离散密度进化和差分进化的度分布优化方法所存在的度分布性能估算运算量大和优化样本取值规模较小的缺点。本文结合离散密度进化和全局迭代的 Downhill Simplex 优化算法, 实现 LDPC 码的度分布优化。离散密度进化是一种快速的近似算法, 全局迭代的 Downhill Simplex 优化算法增加了初始样本种群的多样性。实验证明, 本文算法所获的优化的度分布在用于长码时具有较好的性能。

关键词 LDPC, 度分布, 高斯近似密度进化, 离散密度进化

1 引言

LDPC (Low Density Parity Check) 码是一种基于稀疏奇偶校验矩阵的分组码, 是 Callager 于 1962 年发现的。然而, 当时由于计算机处理能力的限制, 并未受到足够重视。1996 年, LDPC 码被 D. Mackay “重新发现”。如今随着计算机技术的增强和相关理论的发展, LDPC 码又重新引起了人们的兴趣。目前, LDPC 码被认为是迄今为止性能最好的码, 是当今信道编码领域最令人瞩目的研究热点。最近的研究表明, 被优化的不规则 LDPC 码采用置信传播 (Belief Propagation) 译码算法时, 能得到比 turbo 码更好的性能, 甚至当码长较长的时候可以非常逼近香农限。

LDPC 码的极限性能分析和构造方法设计是 LDPC 码研究的两个重要方向。结合极限性能分析实现高性能不规则 LDPC 码的构造, 是 LDPC 码构造方法设计研究的一个最新趋势, 这一方法实现了一些更加逼近香农限的不规则 LDPC 码的构造。LDPC 码的性能研究表明, 不规则 LDPC 码的性能与其度分布有直接关系。度分布优化是不规则 LDPC 码构造的一个关键技术, 该技术一般包括两个方面: 一是 LDPC 码性能估算或基于译码算法的具有固定度分布的一类 LDPC 码的性能估算; 二是选择合适的优化算法。迄今为止, 较为有效的度分布优化算法主要有以下两类:

一类是基于构造具体矩阵估算度分布性能的度分布优化算法^[1]。采用优化算法搜索度分布空间, 对每一种度分布采用 PEG 方法构造一个具体的 LDPC 码校验矩阵, 然后用译

码算法测试具体矩阵的性能,估算具有此种度分布的 LDPC 码矩阵的性能,作为优化算法的对比标准,选择具有最优性能的度分布。由于长码的构造和译码的运算复杂度太高,故此种算法只能通过构造中短码验证度分布的性能,不适合用于长码较复杂的度分布优化。

另一类是基于连续密度进化或离散密度进化的性能估算方法和差分进化的优化算法实现度分布优化。Richardson 等^[2]基于消息传递机制的置信传播译码算法提出了密度进化分析 (Density Evolution) 的思想,并给出了密度进化的直接算法。通过跟踪译码器中传递消息的概率密度函数在迭代过程中的变化情况,分析译码收敛特性,得到特定信道下的门限值。这种迭代分析方法非常复杂,计算量巨大,每一次性能估算运算量巨大,需要较长的运算时间;随着度分布空间维数的增加,每一次度分布优化均需要非常长的时间。当度分布优化的过程中需要频繁更换度分布非零节点的度数时,这种度分布优化方法的缺点更为明显。离散密度进化虽然在运算量方面相对于连续密度进化有所降低,但并没有质的改变。性能运算的高复杂度降低了优化算法取值样本的规模,因此其优化性能受到了很大的限制。

针对目前 LDPC 码度分布优化所存在的缺点,本文结合高斯近似密度进化和全局迭代的 Downhill Simplex 优化算法提出一种用于长码的信道无关的快速 LDPC 码度分布优化方法。实验表明使用该方法所获得的 LDPC 码度分布构造的长码 LDPC 校验矩阵具有比较好的译码性能。

2 算法

2.1 高斯近似密度进化

N. Wiberg 的研究表明^[3],BP 译码过程中传递的变量节点的对数似然比 (LLR) 消息逼近高斯分布。Sae-Young Chung 等^[4]也指出:即使信道输入不是高斯分布,根据中心极限定理,当满足独立性假设的随机的变量节点其样本数量足够大时,变量节点的 LLR 消息接近于高斯分布。

基于上述理论,本发明使用高斯近似密度进化方法^[4]实现用于长码的 LDPC 码度分布的性能估算:

不规则二进制 LDPC 码的变量节点度分布函数 $\lambda(x)$ 和校验节点度分布函数 $\rho(x)$ 如下:

$$\lambda(x) = \sum_{i=2}^{dl} \lambda_i x^{i-1}, \rho(x) = \sum_{j=2}^{dr} \rho_j x^{j-1} \quad (1)$$

其中, dl 和 dr 分别表示变量节点和校验节点的最大度数。

高斯近似密度进化的迭代公式为:

$$m_u^{(k)} = \sum_{j=2}^{dr} \rho_j \phi^{-1} \left(1 - \left[1 - \sum_{i=2}^{dl} \lambda_i \phi \left(m_{u0} + (i-1) m_u^{(k-1)} \right) \right]^{(j-1)} \right) \quad (2)$$

其中, m_{u0} 为来自于信道的对数似然比消息的均值,即变量节点的初始 LLR 消息的均值, $m_u^{(k)}$ 为第 k 次迭代的校验节点的对数似然比消息的均值,校验节点的初始 LLR 消息 $m_{u0} = 0$, 函数

$$\phi(x) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{\sqrt{4\pi x}} \int_0^x \tanh \frac{u}{2} e^{-\frac{(u-x)^2}{4x}} du, & \text{if } x > 0 \\ -1, & \text{if } x = 0 \end{cases} \quad (3)$$

μ 是均值为 m_u ，方差为 $2m_u$ 的高斯密度。

利用迭代公式，可验证对于具有度分布对 $(\lambda(x), \rho(x))$ 的 LDPC 码校验矩阵，在初始 LLR 消息为 m_{u0} (假设 $m_{u0} > 0$)，时 BP 译码收敛的可能性；对于固定的度分布总可以验证使 $m_u^{(k)} \rightarrow \infty$ 的 m_{u0} 的最小值 $m_{u0}^{(\min)}$ ，即每一种度分布对 $(\lambda(x), \rho(x))$ 对应一个 $m_{u0}^{(\min)}$ 。其中， $m_{u0}^{(\min)}$ 表示译码器获得的初始信息量。一般来讲，相同码率下使上述 $m_u^{(k)}$ 收敛的 $m_{u0}^{(\min)}$ 的值越小，表示度分布 $(\lambda(x), \rho(x))$ 的性能越好，即由度分布 $(\lambda(x), \rho(x))$ 生成的校验矩阵能够正确译码所需要的先验信息的平均值越小，表示此度分布的性能越好。根据中心极限定理，为了满足高斯分布假设，优化的度分布最好用于长码。

使用高斯近似密度进化的迭代公式 (简称迭代公式) 进行度分布性能估计的具体步骤如下：

- (1) m_{u0} 初始化， m_{u0} 取一个较小的初值，将 m_{u0} 代入迭代公式进行迭代计算，使 $m_u^{(k)} \rightarrow 0$ ；
- (2) $m_{u0} = m_{u0} + s$ ，其中， s 为预先设定的迭代取值步长，本实施例中 $s = 0.001$ ，将 m_{u0} 代入迭代公式进行迭代计算；
- (3) 判断 $m_u^{(k)} \rightarrow \infty$ 是否成立，如果不成立，返回步骤 (2)；如果成立，则记录此时的 m_{u0} 作为性能评估结果。

2.2 全局迭代的 Downhill Simplex 优化算法

Downhill Simplex 优化算法是一种非常有效的数值优化方法，其不足之处在于易收敛与局部极小值。为了增加参与优化的样本的多样性，本文采用一种全局迭代的 Downhill Simplex 优化算法，实验证明只要全局迭代的次数足够多，可有效克服 Downhill Simplex 算法的不足。

采用全局迭代的 Downhill Simplex 优化算法实现 LDPC 码度分布优化的具体算法如下所述。

预先设定变量节点的非零度分布系数的维数 l ，相应的 l 个度分布系数非零的变量节点的度数，校验节点的非零度分布系数的维数，以及度分布系数非零的校验节点的度数差，校验节点的度分布根据变量节点的具体度分布和码率计算确定。

按照下列步骤进行 LDPC 码的度分布优化：

- 第一步，阈值初始化，包括全局迭代阈值和单纯形顶点的平均距离阈值；
- 第二步，最优度分布初始化，随机赋值最优度分布的 l 个分量，并进行校正；
- 第三步，创建 $2l - 2$ 维单纯形，单纯形的每一个顶点对应一个度分布，将最优度分布作为单纯形的一个顶点，对其他每个顶点所对应度分布的 l 个分量随机赋值，并进行校正；

第四步，按照度分布的性能估计方法，评估每个顶点的度分布性能，更新性能最差的顶点，每次顶点更新后计算单纯形顶点的平均距离；

第五步,若所述单纯形顶点的平均距离不小于单纯形顶点的平均距离阈值,则重复第四步,直到此单纯形顶点的平均距离小于单纯形顶点的平均距离阈值;

第六步,按照度分布的性能估计方法的评估结果选择并记录单纯形的最优顶点,其对应的度分布作为最优度分布;

第七步,根据全局迭代阈值判断是否符合全局迭代终止条件,如果符合,优化结束;否则,返回第三步。

所述第四步中度分布的性能估计方法为高斯近似密度进化方法。

所述第二步和第三步中度分布的随机赋值及校正方法如下所示,其中 Δ 为具有 l 个分量的度分布向量。

所述随机赋值方法:

for $i = 1$ to l

$$\Delta_i \leftarrow \text{Random}[0,1]$$

end

i 为度分布向量的分量的序号, $\text{Random}[0,1]$ 为区间 $[0,1]$ 的随机数生成函数。

所述校正方法:

计算 $\text{sum} = \sum_i \Delta_i$, 令 $\Delta_i = \Delta_i / \text{sum}$, 以满足 $\sum_i \Delta_i = 1.0$ 。

所述第四步中的顶点更新步骤如下,其中单纯形的 $2l-2$ 个顶点用 $\Delta^j (j = 1, 2, \dots, 2l-2)$ 表示:

(1) 根据度分布的性能估计方法,找出最差的顶点 Δ^W 和次最差的顶点 Δ^w ,

$$P_e^W = \max_{1 \leq j \leq 2l-2} P_e^j, P_e^w = \max_{1 \leq j \leq 2l-2, j \neq W} P_e^j \quad (4)$$

其中, P_e^j 为第 j 个顶点的按照性能估计方法得到的评估结果, P_e^W 为 $P_e^j (1 \leq j \leq 2l-2)$ 中的最大值, P_e^w 为 $P_e^j (1 \leq j \leq 2l-2)$ 中除 P_e^W 以外的最大值。

(2) 计算最差的顶点 Δ^W 的反射顶点 Δ^r ,

$$\Delta^r = (1 + \alpha)\Delta^R - \alpha\Delta^W, \quad (5)$$

$\Delta^R = \frac{1}{2l-3} \sum_{j=1, j \neq W}^{2l-2} \Delta^j, 0 < \alpha < 1$, 其中, Δ^R 为单纯形的除顶点 Δ^W 外的其他 $2l-3$ 个顶点的中心点, α 为 <1 的正实数。

(3) 基于 Δ^r 搜索一个新的顶点 Δ^n ,使 Δ^n 的性能优于次最差顶点 Δ^w 的性能,用 Δ^n 替代 Δ^W 形成一个新的单纯形。

所述基于 Δ^r 搜索一个新的顶点 Δ^n 的方法如下:

1) 如果 Δ^r 的某一个分量 <0 ,则将该分量加上一个远 <1 的正实数 δ ,作为该分量的新分量值;如果的某一个分量 >1 ,则将该分量减去一个远 <1 的正实数 δ ,作为该分量的新分量值;

2) 如果新的 Δ^r 的某一个分量 <0 或者 >1 ,则重复步骤1);将新的 Δ^r 进行校正,使之满足度分布的要求;

3) 用度分布的性能估计方法,估计 Δ^r 的度分布性能,如果 Δ^r 的性能优于所述的次最差顶点 Δ^w 的性能,则 Δ^r 即为新的顶点 Δ^n ;否则,令 $\Delta^r = (\Delta^R + \Delta^r)/2$,返回步骤1)。

所述基于 Λ^r 搜索一个新的顶点 Λ^n 的具体方法如下:

- ①重复下述过程, 使顶点分量满足 $0.0 < \Lambda_i^r < 1.0, i = 1, 2, \dots, l$,
for $i = 1$ to l
if $\Lambda_i^r < 0.0$ then $\Lambda_i^r = \Lambda_i^r + \delta$
if $\Lambda_i^r > 1.0$ then $\Lambda_i^r = \Lambda_i^r - \delta$
end

其中, δ 为远 < 1 的正数;

- ②计算 $\text{sum} = \sum_i \Lambda_i^r$, 令 $\Lambda_i^r = \Lambda_i^r / \text{sum}$, 以满足 $\sum_i \Lambda_i^r = 1.0$;

- ③按照性能估算方法获得 Λ^r 的评估结果 P_e^r , 如果 $P_e^r < P_e^w$, 那么
 $\Lambda^n = \Lambda^r, P_e^n = P_e^r$,

否则

$$\Lambda^r = (\Lambda^R + \Lambda^r) / 2$$

返回子步骤①中。

所述第七步中, 如果全局迭代次数小于全局迭代阈值, 应返回第三步; 否则终止全局迭代, 将此时得到的最优度分布作为度分布优化的结果。

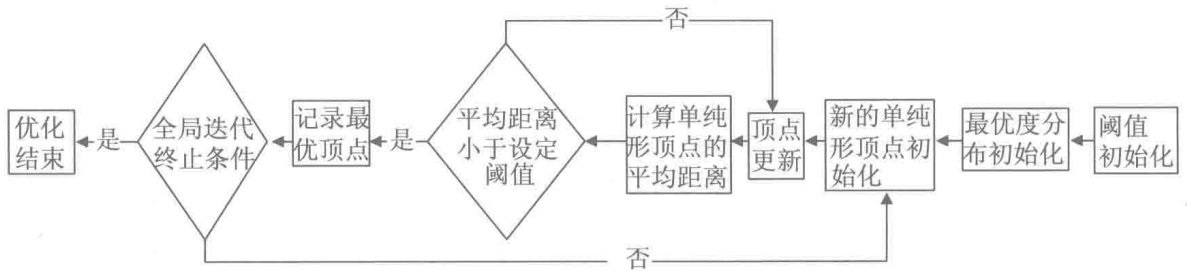


图 1

3 仿真结果

图 1 所示为本文 LDPC 码度分布优化算法的实现流程图。按照此流程图, 本节给出了本文优化算法的一个仿真实例, 使用本仿真实例生成的度分布构造 LDPC 码校验矩阵, 并测试校验矩阵的性能, 以证明算法的有效性。

仿真实验中, 设定变量节点的非零度分布系数的维数为 7 维, 相应的度分布系数非零的变量节点的度数分别为 2、3、5、9、17、21、29, 校验节点的非零度分布系数的维数为 2 维, 度分布系数非零的校验节点的度数差为 1。LDPC 码的码率为 0.85。检验节点的度分布可以根据变量节点的度分布和码率计算确定。

表 1 是本仿真实验得到的优化的 LDPC 码的度分布。

性能对比方面, 使用表 1 优化的度分布, 构造码长为 40000、码率为 0.85 的校验矩阵; 采用由离散密度进化和差分进化优化的码率为 0.85 的度分布, 构造码长为 40000、码率为 0.85 的检验矩阵。通过比较这两种校验矩阵的译码性能, 来对比两种优化的度分布的性能。

表 2 是两种优化的度分布生成的校验矩阵的译码性能对比, 效率指数 = $(1-R)/(1-C)$, 其中, R 为码率, C 为 BSC 信道的信道容量。优化方法 A 是指采用离散密度进化和差分进化进行度分布优化的方法。优化方法 B 是指本文采用的方法。

由表 2 的对比结果可见, 用于长码时, 用本文所采用的度分布优化方法所得到的度分布构造的校验矩阵的性能接近于用优化方法 A 所得到的度分布构造的校验矩阵的性能, 其构造的校验矩阵的门限误差也非常接近, 这表明了本文优化方法的可用性。

表 1 优化的度分布

节点名称	节点度数	度分布
变量节点	2	0.137868
	3	0.156590
	5	0.167398
	9	0.079272
	17	0.118241
	21	0.105902
	29	0.234729
校验节点	36	0.665453
	37	0.334547

表 2 性能对比

信道误码率	效率指数	优化方法 A 的误帧率	优化方法 B 的误帧率
0.0195	1.082	$9.09E-1$	$1.96E-1$
0.0194	1.086	$5.56E-1$	$8.30E-2$
0.0193	1.091	$1.70E-1$	$4.40E-2$
0.0192	1.095	$8.65E-2$	$2.80E-2$
0.0191	1.100	$1.00E-2$	$1.90E-2$
0.019	1.105	0	$1.00E-3$
0.01895	1.107	0	0

4 结论

仿真实验的结果证明了本文度分布优化算法获得的度分布用于长码时具有较好的性能, 其原因是:

(1) 根据中心极限定理, 当满足独立性假设的随机的变量节点其样本数量足够大时, 变量节点的 LLR 消息接近于高斯分布, 采用高斯近似密度进化方法实现长码的度分布的

性能估算，大大降低了度分布性能估算的计算复杂度。

(2) 采用全局迭代的 Downhill Simplex 优化算法，增加了初始种群的多样性，克服了优化算法局部收敛的缺点。

(3) 由于性能估算方法的简化和全局迭代方法的应用，提高了度分布样本计算的广度和密度，度分布优化性能也相应得到了改善。

参考文献

- 1 Xiao Yu Hu, Eleftheriou, and Dieter, Michael Arnold "Irregular progressive edge-growth (PEG) Tanner graphs," in Proc. IEEE ISIT 2002, Lausanne, Switzerland, June 30 - July 5, 2002, 480.
- 2 T. J. Richardson, A. Shokrollahi, and R. Urbanke, "Design of capacity-approaching low-density parity-check codes," IEEE Trans. Inform. Theory, Feb. 2001, 47, 619-637.
- 3 N. Wiberg, "Codes and decoding on general graphs," Ph.D. dissertation, Univ. Link ping, Sweden, 1996.
- 4 Sae-Young Chung, Thomas J. Richardson, and Rüdiger L. Urbanke, "Analysis of Sum-Product Decoding of Low-Density Parity-Check Codes Using a Gaussian Approximation," IEEE Transactions on Information Theory, Vol 47, NO. 2 February 2001.

作者简介

原磊，男，1975年12月出生，2000年毕业于哈尔滨工业大学数学系，获硕士学位。现工作单位为山东量子科学技术研究院有限公司。通讯地址：济南高新区新泺大街1768号，信息通信研究院大厦B401，邮编250101，联系电话：0531-66680086-739。

用于 MEMS 器件封装的预成型塑料空腔引线框架

户俊华 刘昭麟

山东华芯微电子科技有限公司

摘要 消费类电子产品市场的快速增长带动了 MEMS/传感器以及射频器件等产品的发展,而封装成本占该类元器件总成本的 50%~90%,因此开发低成本、高可靠性的 MEMS/传感器封装技术成为必然趋势。本文介绍了一种低成本、高可靠性的塑料预成型空腔引线框架产品,并阐述了该引线框架的生产技术,薄膜辅助封装技术,指出该产品在 MEMS/传感器以及射频器件等先进封装上的应用。

关键词 预成型塑料空腔引线框架,薄膜辅助封装技术, MEMS/传感器封装

1 引言

MEMS/传感器以及射频器件广泛应用于便携式电子产品,具有广阔的市场前景。与电子产品封装类似,电子产品封装可以实现对元器件的机械支撑、电源分配、信号分配以及散热等功能^[1],但是由于 MEMS 器件的特殊性和复杂性, MEMS 封装不仅要实现器件和外界接触,而且要避免外界环境对器件带来的危害。例如,压力传感器不仅要避免外界机械应力的影响,同时需要和外界的接口以实现其压力测量功能。与 IC 封装类似,小型化、低成本以及高可靠性是此类封装的必然发展趋势。研究证实, MEMS 器件封装不仅工艺复杂而且成本较高,阻碍了 MEMS 器件小型化以及商业化的进程。

空腔封装广泛应用于射频产品、MEMS/传感器以及光学器件的封装。典型的空腔封装采用金属罐或者无铅陶瓷芯片载体形式。然而,由于金属以及陶瓷空腔封装的成本较高,限制了其在低成本的 MEMS/传感器中的大规模使用。经过近 10~15 年的发展,在 MEMS/传感器以及 LED 器件中逐渐出现了预成型塑料引线框架产品,并且成为空腔封装的首选。随着预成型引线框架产品的发展,空腔封装产品标准化已成为可能。

通常,空腔封装包括基板/引线框架、腔体以及顶部的盖子。由于 MEMS 应用领域不同,盖子可以采用不同工艺和腔体黏结在一起。空腔封装由于腔体的存在从而保护 MEMS 芯片免受外部应力、冲击以及污染物的影响。气密性并非所有 MEMS 器件必须满足的标准,而采用环氧塑封料在铜引线框架上形成的塑料空腔封装能够满足此类器件的要求,并且具有较大的成本优势。因此,对低成本 MEMS/传感器而言塑料空腔封装技术是一个较好的选择。同时,由于预成型塑料空腔封装和传统封装工艺的差别,塑料空腔封装