

通信理论与 信号处理新进展

—— 2005年通信理论与
信号处理年会论文集

郑继禹 仇洪冰 王春宁 主编



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

通信理论与信号处理新进展

——2005年通信理论与信号处理年会论文集

郑继禹 仇洪冰 王春宁 主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本论文集共收录论文 163 篇, 范围涉及信息论、编码与调制技术, 信道估计、均衡与多用户检测技术, 阵列信号处理与盲信号检测技术, OFDM 与 MIMO 技术, 语音与图像处理, 计算智能与信号处理(包括雷达、量子、光、网络等信号处理), 无线通信与软件无线电技术, UWB 技术, 通信网络与通信安全等内容。这些研究成果充分反映了通信与信号处理学科领域的新理论、新技术和新应用及其新进展。

本书适合通信、电子与信号处理等领域的科研人员 and 高校师生阅读。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

通信理论与信号处理新进展: 2005 年通信理论与信号处理年会论文集 / 仇洪冰主编. —北京: 电子工业出版社, 2005.5

ISBN 7-121-01159-X

I. 通… II. 仇… III. ①通信理论—学术会议—文集 ②信号处理—学术会议—文集 IV. TN911-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 042083 号

责任编辑: 许 楷

印 刷: 北京季蜂印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 62.5 字数: 1600 千字

印 次: 2005 年 5 月第 1 次印刷

定 价: 150.00 元

凡购买电子工业出版社的图书, 如有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系。
联系电话: (010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

中国通信学会通信理论与信号处理专业委员会 2005 年通信理论与信号处理年会

主办:

中国通信学会通信理论与信号处理专业委员会

承办:

桂林电子工业学院

大会主席:

谭永红 (教授, 桂林电子工业学院院长, 中国电子学会理事)

大会组委会主席:

郑继禹 (教授, 桂林电子工业学院学术委员会主任, 中国通信学会会员)

委员:

崔景伍 周 键 竺南直 仇洪冰 王 玫 林基明

张德安 郑 霖 李晓记 樊孝明 段梅梅 首照宇

中国通信学会通信理论与信号处理专业委员会成员

主任委员:

郑宝玉

副主任委员:

项海格 刘序明 田宝玉 吴镇扬 杜利民 彭启琮 阮秋琦

委员:

邵谦明 刘济林 刘开华 何 晨 刘贵忠 徐佩霞 刘文予

郑林华 许录平 殷福亮 冯穗力 张晓琳 张邦宁 王岩飞

周治中 宋志群 谢显中 范 京 王晓明 许宗泽 刘 中

金炳荣 于 全 胡玉平 黄剑明 宋 彤 陈炽文 侯春萍

安建平 仇洪冰 竺南直 葛临东

崔景伍 (秘书长) 周 健 (副秘书长)

前 言

自上次学术会议以来的两年间，信息学科的两个重要领域——通信理论与信号处理技术又有了新的发展，特别是结合网络的信息理论与信号处理技术（如网络信息论、复杂网络理论和网络信号处理），结合智能技术的通信与信息技术（如感知无线电和智能传感器网络），以及以粒子滤波（particle filtering）为代表的非线性统计信号处理方法及其应用，逐渐成为研究热点，并保持着强劲的发展势头。在这种形势下，召开通信理论与信号处理学术会议，通过学术交流，必将进一步促进通信与信号处理学科（特别是新兴学科）领域的发展。

3 本次学术会议共收到论文 280 余篇，范围涉及信息论、编码与调制技术，信道估计、均衡与多用户检测，同步、分集与 OFDM 技术，MIMO 与空时处理技术，UWB 与 Ad Hoc 组网技术，3G 与 3G 增强技术，光通信与下一代网络，信息与通信安全，目标跟踪与信息融合，自适应与盲信号处理，智能信号处理及应用，语音与图像处理，雷达与阵列信号处理，光信号处理与量子信号处理，DSP/VLSI 及应用，以及软件无线电等内容。这些研究成果充分反映了通信与信号处理学科领域近年来的研究进展及今后的发展趋势。学术委员会组织专家对收到的论文进行了评审，共选出 163 篇刊登在本论文集。由于版面和时间等条件的限制，还有不少优秀论文未能登出，深表歉意。

本着通信理论与信号处理专业委员会的一贯宗旨，我们希望本次学术会议也像本专委会的历次学术活动那样，办成一次既是交流成果，联络感情，结识新友的会议，也是探索未来，明确目标，促进通信与信号处理学科发展的会议；更希望这次会议能多探讨一些本学科前瞻性、方向性的问题。衷心祝愿大家在会议期间收益更多，精力更旺，身体更强，心情更畅，满载收获地返回各自的工作岗位，创造新的成绩，作出新的贡献。

最后，感谢大家来参加这次盛会，感谢东道主和会议的工作人员为大会的成功召开所作出的巨大努力，感谢电子工业出版社各级领导和编辑为本论文集的出版所付出的辛勤劳动，没有他们的帮助及努力，会议的成功和论文集的出版是不可能的。

郑宝玉

中国通信学会通信理论与信号处理专业委员会主任委员

目 录

第 A 部分 信息、编码与调制

比特交织 IRA 码编码调制	高宏峰 许宗泽(2)
基于优化缩放尺度小波变换的 QAM 调制识别	魏小薇 曹志刚(7)
多重级联奇偶校验码的统一研究	张幼承 杨家轩 岳殿武(12)
基于随机凿孔的自适应 Turbo TCM 编码调制方案	张玉良 吴伟陵 田宝玉(20)
模拟信源标量量化的模糊 c-均值算法	杨保峰 沈越泓(27)
流星突发通信传输方法的研究进展	秦文 彭启琮 邵怀宗(33)
一种新的 LDPC 码的自适应编码方案	沈亮 李强 唐友喜 李少谦(38)
联合检测的均衡译码算法	肖海勇 毕光国(41)
基于谱特征的中频数字调制盲识别	吴月娴 刘凡凡 葛临东(48)
一种基于听觉感知特性的相位编码信息隐藏方法	谭薇 陈砚圃 刘桂林 张卫东(53)
Viterbi 译码器的通用结构及其 FPGA 实现	罗常青 安建平(59)
莱斯衰落下空时分组编码信道性能分析	顾敬民 邱永红 梁涛 王波(65)
分布式信源的分类及特性研究	邵朝 卢光跃(70)

第 B 部分 信道估计、均衡与多用户检测

基于粒子滤波器算法的混沌通信系统的盲信道均衡	王世元 冯久超(76)
联合迭代 QR 分解和最大似然的 V-BLAST 检测算法	刘海涛 程型青 李道本(82)
低复杂度复球译码检测算法	刘海涛 程型清 李道本(86)
一种新的信道估计方法	张庆荣 李道本 廖汉程(91)
改进的混合遗传算法并行干扰消除双速率多用户检测器	倪梁方 都思丹 郑宝玉(96)
Chebyshev 正交多项式神经网络判决反馈均衡器	赵海全 张家树(102)
一种应用于宽带无线通信中的空时序列均衡算法	贺志强 牛凯 田宝玉 吴伟陵(107)
一种基于 K 分布海杂波信号噪声抵消研究	王众保 王文华 程智慧(115)

第 C 部分 阵列信号处理与盲信号检测

基于信号模型的最佳分数延迟滤波器设计方法	赵君喜(120)
CDMA 基站信号的联合参数估计方法	刘薇 廖桂生 严盟(124)
多载波 CDMA 系统中一种新的自适应波束成形算法	傅洪亮 鄧广增(128)
基于离散导频发射分集 OFDM 系统的子空间跟踪信道估计	徐信 蔡跃明 白宾峰 徐友云(134)
采用分层空时结构的 MIMO CDMA 系统性能分析	江浩 李道本(139)
频率选择性信道下多速率自适应 CDMA 接收机	刘艳 李万社(145)
一种新的变步长仿射投影算法	赵汉武 王建波 贾冲 张雄伟(149)
麦克风阵列的拓扑结构研究	居太亮 彭启琮 邵怀宗 林静然(154)

一种周期图与总体最小二乘结合的差分跳频信号频率估计方法	隋丹	葛临东(160)
多层空时码的半定松弛准最大似然解码	孙艳华	吴伟陵(165)
频率不变波束形成技术研究	林静然 彭启琮 邵怀宗	居太亮(170)
基于循环平稳的突发 QPSK 信号盲符号率估计	黄奇珊 吴柯夫	彭启琮(176)
平方欧式距离谱意义下好的空时格码	耿嘉 曹秀英	毕光国(180)
一种基于码滤波和幂法的盲自适应波束形成算法	赵贤敬 郑宝玉 傅洪亮	张继东(186)
语音关键词检出系统中操作点自适应方法的研究	李代松 谢湘	匡镜明(191)
一种半盲多用户分离智能天线算法研究	王晓湘 彭媛	杨洁(195)
基于 PIC 的空时多用户检测技术的研究	王树奇	李国民(199)
频选时变信道下的一种 Pre-FFT 自适应波束形成器	樊凌雁 何晨	车小林(203)
基于可变对角加载的自适应波束形成算法	程春悦	吕英华(209)
基于分数低阶统计量的空域-时频域 DOA 估计方法	何劲	刘中(213)

第 D 部分 OFDM 与 MIMO 技术

CI 信号在复信号调制 OFDM 系统中的特性分析	何剑辉 门爱东	金子一(222)
多用户 MIMO 系统中的一种基于博弈论的资源优化	钟卫 徐友云	蔡跃明(229)
基于 MIMO-OFDM 系统的 LS 信道估计改进算法	胡静 廖桂生	刘宏清(234)
一种多用户多天线 OFDM 系统的自适应传输方案	朱光喜 李黎	胡臻平(239)
MIMO-OFDM 系统中一种新的同步设计	缪晖 蔡跃明	冯洁(244)
宽带 MISO/OFDM 传输系统的仿真研究		邱永红(249)
自适应 OFDM 系统的变换域最大多普勒频移估计	李黎 朱光喜	蔡玮(253)
基于较强干扰码的新 MIMO CDMA 系统	孙宇昊 王刚 刘海涛	李道本(257)
基于 FFT 的 OFDM 信道估计方法及其性能比较	孙居颖	张延华(264)
车辆走向定位技术的研究	杜建洪	梁子长(270)
相干 QPSK/QAM OFDM 系统中的残余频偏补偿算法	李颖 张琛	魏急波(275)
双选择性信道条件下 OFDM 系统中的软判决频域均衡	杨炜伟	蔡跃明(282)
MIMO-OFDM 系统中基于信号子空间跟踪的盲信道估计算法	杨炜伟	蔡跃明(287)
USTM 星座图下的酉空时差分调制	程智慧 韩力	王众保(292)
编码 OFDM 在短波低信噪比通信中的应用	阚春荣	刘颖(296)
MIMO 迭代接收的进展	牛凯 贺志强 王晓湘	吴伟陵(301)
OFDM 高速水声通信系统及实验研究	黄建国 孙静 何成兵 申晓红	雷开卓(311)
一种新的 MIMO 发射功率分配算法研究	顾敬民 梁涛	于勇(316)
MIMO 系统的循环频率域分离与辨识	程剑斋 曹士珂	张力军(321)
MB-OFDM 系统中的信道估计	王荣 郑继禹	林基明(326)
基于多跳图邻接矩阵模型的无线 Ad Hoc 网络路由协议	余根坚	郑宝玉(332)

第 E 部分 语音与图像处理

一种基于分形的图像水印算法	高飞 王小林	王树根(338)
基于快速沃尔什-哈达玛变换的数字水印技术研究	范科峰 莫玮 赵新华	刘书宇(343)

基于曲面插值的图像识别技术	范自柱(349)
一种基于宏块特征的 H.264 高效帧内预测算法	贾克斌 李周贤 方晟 谢晶 庄新月(353)
一种综合图像纹理和灰度特征的分割算法	张磊 朱磊(359)
一种丢失语音信包重建的新算法	魏维 马海燕(363)
矩形块填充法:一种新的图像编码算法	孙雪青 邱敏华 余蓁蓁 邵谦明(368)
一种新的具有噪声鲁棒性的说话人语音特征及其应用	张玲华 郑宝玉 杨震(373)
基音周期检测算法研究	王芸 黄华 何凌 赵建强 张正波 刘亚星(377)
基于重叠滤波的低复杂度遥感图像压缩	程环环 成礼智(382)
一种基于 p -Laplace 算子的图像修补方法	张红英 彭启琮(387)
人脸检测综述	孙宁 邹采荣 赵力(392)
一种基于 Hilbert 变换的在语音载体中隐藏信息的方法	邓立新 杨震(400)
结合线性区分分析的 SVM 语音识别器	黄石磊 谢湘 匡镜明(405)
基于结构相似度的 H.264 帧内预测快速算法	麦智毅 杨春玲(411)
三种静默/清音/浊音判别方法比较	尹安容 谢湘 匡镜明(418)
基于 HHM 的实时数字串语音识别系统	景新幸 陈远鹏(424)
基于特征的视频质量损伤度客观测量方法	史萍(429)
基于 IHS 和小波变换的图像融合方法	马恒 贾传荧 唐卫东(434)
鲁棒语音识别中的多流同步分析研究	孙晔 吴镇扬 吴红卫 胡红梅(440)

第 F 部分 计算智能与信号处理

一种基于 FFT 的精密离散频谱分析方法	胡海龙 彭启琮(444)
基于时域双谱的超宽带雷达目标特征提取	刘东红 张永顺 陈志杰 程俊斌(448)
一种加权支持向量机算法	刘爽 贾传荧(453)
自相似流量中的 WiMAX UGS 流延迟抖动分析	汪岩 金鸿玲 安建平(458)
一种人体运动跟踪方法	于慧 孙光民 李笑(463)
量子旋转检测算法及其在现代通信中应用	赵生妹 吕芬 李飞 郑宝玉(468)
基于量子神经网络的 CDMA 多用户检测方案	李飞 董小亮 赵生妹 郑宝玉(473)
一种新的变步长 LMS 算法及其仿真	俞洋 田亚菲(478)
量子比特的门操作与共形映照	廖进昆 刘永智 廖翊韬 舒勤 李珊君 黄宏光(482)
车载毫米波雷达时-频二维数据矩阵运动补偿方法	王卫江 党华(486)
宽带信号测量中的频段分离与信号合成系统	耿欣(490)
神经网络在测速雷达目标识别中的应用	于瑶 孙光民 于慧(495)
能量高效的异类无线传感器网络分簇算法研究	祝颖 徐红兵 肖俊(500)
一种基于 DCT 的视频流多重描述编码算法的性能分析	胡栋 郑宝玉(505)

第 G 部分 无线通信与软件无线电技术

E-NNI 交换连接建立控制协议的仿真	张品春 敖发良 龚小允(512)
基于 3 发射天线的循环空时扩频码的研究	程型清 李刚 宿淑春 李道本(517)
基于取代波长变换器的波长重路由算法研究	周田华(521)
SDH 网络传输数据业务所使用的高效封装技术	韩大海 李莉 张杰(526)
嵌入式蓝牙家庭网关的实现	王宏达 刘彤(532)
低轨道卫星系统切换模型 Petri 描述与分析	高电波 康健(539)
采用 CPM 技术实现无线高速数传的研究	沙楠 申伟刚 益晓新(545)
802.11MAC 协议中几种退避算法的分析比较与改进	冯洁 曹秀英(550)
量子光通信系统的高速调制研究	赵义红 李正文 何其四(556)
利用 CORDIC 算法实现数字频率变换技术分析	高申友 王雨 张洪顺(560)
RTAI 机制的研究及其在无线接入网 MAC 协议中的应用	王伟 曹秀英(566)
变异粒子群算法在多用户检测中的应用	黄石 吕振肃(573)
WDM 光网络中交叉相位调制研究	郑勉 邱昆(577)
跳频同步正交网台信号分选关键技术研究	吴凡 姚富强 李玉生(581)
宽带光网上数字化音视频节目播出系统	杜建洪(586)
无线局域网中 IP 移动方案的研究与改进	黄海滨 汪巍崴 陈常嘉(591)
MPLS 架构下的移动 IP 技术	黄丽波 戎骏(595)
混合 DS/FH 扩频通信扩频参数研究	何遵文 匡镜明(599)
基于线性调频的远程水声通信方法	何成兵 黄建国 孙静 张群飞 冯西安(604)
基于构造环的光网络优化设计及应用	韩一石(608)
TD-SCDMA 系统中小区内和小区间的干扰研究	闫发军 李维娜 王文博(612)
一种新的多业务 CDMA 系统前向发射功率规划方法	刘彩霞 程东年 俞定玖 刘彩凤 邹江兴(618)
TDMA 无线自组织网中的分布式时隙迁移算法	康凯 郭伟 吴诗其(624)
基于 k-bin 算法和中值滤波算法的重叠变换域抗窄带干扰技术	夏江华 张家树(628)
TD-SCDMA 系统切换实现方式及时延性能分析	陈建军 谢显中(632)
基于相位信息的 MSK 软件解调新方法研究	高俊娜 李挺(636)
一种软件无线电发射机的仿真设计	邓志民 付永庆(641)

第 H 部分 超宽带 (UWB) 技术

UWB 的 PFA 组网问题的进一步研究	张宣扬 葛利嘉 王婷婷 郑相全(648)
基于特定导频的 OFDM 载频及符号同步研究	谢玉堂 芦东昕(653)
一种 UWB-OFDM 系统的抗干扰编码	张士兵 张力军(658)
平板脊波导张角天线宽带性能分析仿真	吴鸿超 窦文斌(663)
一种基于训练比特的 UWB 通信信道估计方法	滕鹏伟 汪一鸣 朱洪波(667)
DS-UWB 信号到达角的估计方法	夏斌 王文博(673)
超宽带试验通信系统的设计实现	沈剑青 李思敏 姜兴(677)

DS-UWB/IR 通信系统多址性能的分析	况泉 仇洪冰 林基明 李晓记(683)
超宽带通信中的受限 SW 盲多用户接收机	郑霖 欧阳缙 仇洪冰(689)
伪混沌跳时超宽带通信系统多址接收算法	薛昀 王玫 郑继禹(695)
低速跳时超宽带通信系统快速同步方案	王江 毕光国(700)
超宽带低抽样速率的数字 RAKE 接收机设计	赵树立 郑继禹 林基明(706)

第 I 部分 通信网络与通信安全

Ad Hoc 网络 QoS 体系结构的研究	王海涛 刘晓明(714)
网上银行系统的风险评估模型与方法	李鹤田 刘云 何德全 陈晓桦(719)
2G/3G 混合网络的用户认证与密钥分配	赖欣 阮志刚 彭代渊(725)
基于流媒体的实时调度控制算法	谭玉波 刘彩凤 陈福接(729)
生灭过程在 Ad hoc 网络中的应用	颜振亚 郑宝玉(734)
AES 分组算法的 FPGA 实现研究	许萍 李援南 赵耿(739)
对等网络的资源查找机制	韩丽 雷振明(744)
具有多优先级的两级交换机性能分析	章小宁 许都 李乐民(749)
无线 Ad Hoc 网络分簇算法的仿真设计与性能分析	林志伟 许力 郭晓莲(755)
基于混沌理论的公钥加密方案的研究	王大虎 杨维 李庆九(760)
基于多用户检测的 Ad hoc 网络 MAC 协议设计及性能研究	钱小聪 郑宝玉 万欢根 侯晓赞(764)
Orton 公钥密码体制及其破译分析	苏盛辉 闵乐泉 杨炳儒(770)
多业务宽带接入标准 802.16 和 GPON 协议体系结构及比较	张国平 徐展琦(776)
面向 NGN 的 VoIP 媒体网关及 QoS 研究	张会兵 周德新(781)
EV-DO 空中接口安全机制研究	杜诗武 唐晓梅 葛宝忠(785)
基于 IP 的 cdma2000 1x 系统 gpsOne 定位研究与实现	郭素霞 彭建华 张立志 金梁(789)
一种 OVSF 码的改进型快速分配算法	郭淑明 唐晓梅 邬江兴(794)
准同步信道访问控制协议流量控制算法研究	李国庆 安建平 杨杰(798)
一个基于 ID 的群签字的安全性分析	韦永壮(805)
电磁脉冲炸弹攻击对通信电缆的影响及其防护方法研究	李旭 蒲俊 王福利(809)
第三代移动通信系统的安全性分析	李雄伟(813)
基于 ARIMA 模型的彩信业务量预测	梁杰丽 叶梧 黄昭文 徐兴 冯穗力(818)
宽带网络流量矩阵估计的自适应正则贝叶斯方法 ARBM	唐健 张建慧 傅敏(823)

第 J 部分 其他方面

DSP 处理 GPS 接收数据的应用研究	蒋华 胡荣磊(830)
基于 DSP+FPGA 技术的视频图像采集系统的设计	涂军 汪俊 高俊(836)
基于 DSP 的多功能数字采访机	靳慧龙 杨丽坤(841)
PLX PCI9054 与 TMS320C6701 HPI 口通信的设计与实现	高超 周建江(845)
基于 TMS320C54x 的自适应回波抵消器的设计与实现	杨伟清 王建波 赵汉武(849)

第 A 部分 信息、编码与调制



比特交织 IRA 码编码调制

高宏峰^{1,2} 许宗泽¹

1 南京航空航天大学信息科学与技术学院 南京 210016

2 河南科技大学 洛阳 471000

摘要: 本文提出了用不规则重复累积 (IRA) 码实现比特交织编码调制 (BIRACM) 的设计方案, 并在 AWGN 和 Rayleigh 平衰落信道下进行了仿真。仿真结果表明: BIRACM 的性能优于传统的网格编码调制、比特交织编码调制。

关键词: 比特交织编码调制; 不规则重复累积码; BP 算法; 8PSK

1 引言

重复累积 (RA) 码^[1]是 1998 年由 D. Divsalar, H.Jin 和 R. McEliece 提出的线性码, 它具有线性时间编码和译码的特性。2000 年他们受到不规则 LDPC 码的启发, 提出了不规则 RA 码^[2]即 IRA 码。他们证明了二进制 IRA 码可以取得与不规则 LDPC 码同样优越的性能, 但编码算法的复杂度远远低于 LDPC 码。

本文提出用 IRA 码代替卷积码等传统编码实现 BICM^[3,4], 将它称为 BIRACM。由于 IRA 码具有线性编译码算法及接近 Shannon 限的优越性能, 因而使 BIRACM 具有复杂度低、而且性能优于传统的 BICM。

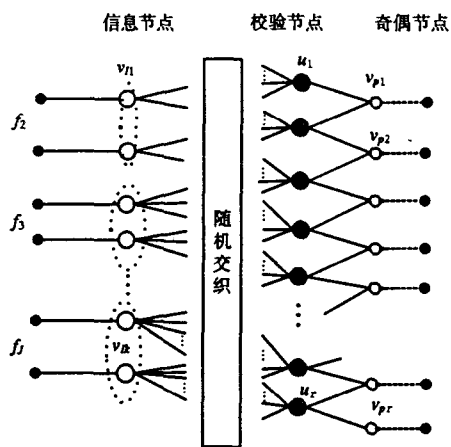


图 1 IRA 码的 Tanner 图

2 IRA 码编译码算法

2.1 IRA 码编码器结构

不规则 RA 码指变量节点的度数不相等的 RA 码。图 1 为 IRA 码的 Tanner 图表示, 它具有参数 $(f_1, f_2, \dots, f_j; a)$, 其中 $f_i \geq 0$, $\sum_i f_i = 1$, a 为正整数。IRA 码的 Tanner 图是具有两种节点的二向图: 变量节点和校验节点。变量节点分两种: 信息节点和奇偶节点。左边 K 个变量节点为信息节点, 中间为 $r = (k \sum_i f_i) / a$ 个校验节点, 右边 r 个奇偶节点。信息节点连接 i 个校验节点的比例为 f_i 。每个校验节点连接 a 个信息节点。 $r \cdot a$ 个边通过随机交织将信息节点和校验节点连接起来, 校验节点通过 z 字型的简单连接方式连接到奇偶节点上。

设 $x_0=0$, 从信息节点发出的 $r \cdot a$ 个值, 经过交织后, 得到的值为 (v_1, \dots, v_{ra}) , 则奇偶节点输出位由式 (1) 决定。

$$x_j = x_{j-1} + \sum_{i=1}^a v_{(j-1)a+i} \quad j=1, 2, \dots, r \quad (1)$$

2.2 IRA 码译码算法

IRA 码译码可采用置信传输(BP)算法^[2], 这是一种基于 Tanner 二向图的循环译码算法。在 BP 算法中, 所有的信息为对数似然比 (LLR), 形式为 $m=\log(p_0/p_1)$, 其中 p_1 和 p_0 分别为位为 1 和 0 的概率密度, 满足 $p_0+p_1=1$ 的关系。信息传递开始时, 从变量节点发出的信息为信道所观测值的 LLR。然后循环地对校验节点和变量节点的输出值进行更新。循环 K 次后, 根据信息节点的输入值之和 $s(u)$ 产生估计码字 \hat{u} 。

校验节点和变量节点输出值的更新方法及产生估计码字 \hat{u} 的方法如下所述:

1) 变量节点 u 到校验节点 v 的输出信息 $m(u \rightarrow v)$ 为:

$$m(u \rightarrow v) = \sum_{w \in N(u) \setminus v} m(w \rightarrow u) + m_0(u) \quad (2)$$

其中 $m_0(u)$ 是码字 u 的信道观测值的 LLR。如果不是码字节点, 则不含该项。

2) 校验节点 v 到变量节点 u 的输出信息 $m(v \rightarrow u)$ 为:

$$\tanh \frac{m(v \rightarrow u)}{2} = \prod_{w \in N(v) \setminus u} \tanh \frac{m(w \rightarrow v)}{2} \quad (3)$$

3) 计算信息节点 u 的输入值之和 $s(u)$, 若 $s(u) > 0$, $\hat{u} = 1$; 否则, $\hat{u} = 0$ 。

$$s(u) = \sum_{w \in N(u)} m(w \rightarrow u) + m_0(u) \quad (4)$$

3 系统模型

BIRACM 发射机和接收机的结构如图 2 所示。BIRACM 发射机是由 IRA 码编码器、位交织器和无记忆调制器的串行级联, 接收机由解调器、反交织器和 IRA 码译码器组成。位交织器将编码器的输出位随机交织, 然后通过调制器映射为符号, 发射到信道中。本文中调制器采用 8PSK, 符号映射采用图 3 所示的 Gray 映射。假设接收端可以精确得到载波相位而实现相干解调, 接收端根据接收信号计算比特度量、解交织、迭代译码然后输出信息序列。

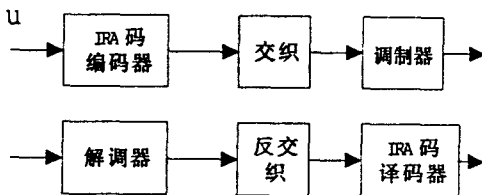


图 2 BIRACM 的系统结构

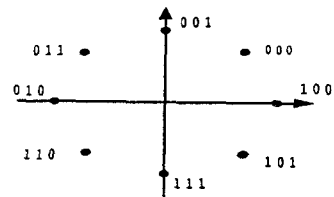


图 3 8PSK 的 GRAY 映射

IRA 编码器输出码字经过交织后, 3 个二进制位 $v_i = [v_i^1, v_i^2, v_i^3]$ 组合在一起, 按照 Gray 映射的星座映射为复数信道符号 $x_i = \mu(v_i)$, $x_i \in \chi$, $\chi = \{e^{i2\pi l/8}, l=0, \dots, 7\}$ 。

相干检测后, 接收的离散时间基带信号为: $y_i = \rho_i \sqrt{E_s} x_i + z_i$, 其中 ρ_i 为衰减因子, E_s 为符号能量, z_i 为谱密度为 N_0 的复数加性白色高斯噪声。对 AWGN 信道, $\rho_i=1$ 。对非频率选择性 Rayleigh 衰减信道, ρ_i 是满足 $E(\rho_i^2)=1$ 的 Rayleigh 分布。在本文中, 假设信道状态信息 (CSI) 已知, ρ_i 在接收端可以精确估计。

4 BIRACM 实现

4.1 BIRACM 发射机的实现

BIRACM 发射机的设计主要包括 IRA 码编码器的设计和交织器的设计。

IRA 码编码器的性能由参数 $(f_2, f_3, \dots, f_j, a)$ 决定。IRA 码的优化即在给定码率 R 的情况下, 确定参数 $(f_2, f_3, \dots, f_j, a)$ 使系统的误差最小。这是一个多变量优化问题, 它应满足 (5) 式:

$$\begin{cases} \max a \sum_{i=2}^d \lambda_i / i \\ \sum_{i=2}^d \lambda_i = 1 \\ BER(v) = 0 \end{cases} \quad (5)$$

式(5)中 v 为与信道有关的参数, λ_i 为与度数为 i 的信息节点的边所占的比例, λ_i 与 f_i 的关系为: $f_i = (\lambda_i / i) / (\sum_j (\lambda_j / j))$ 。本文采用线性程序优化方法, 得到 IRA 码的优化参数。

交织器对系统的性能起着重要的作用。在信息长度无限的情况下, 交织后的数据线性无关。在本文中由于信息长度有限, 为了减少数据的相关性, 采用 S -随机交织器。 S -随机交织器是一种半随机交织器, 它满足: $i-j \leq S$ 时, $|\pi(i) - \pi(j)| > S$, 其中 i, j 是输入序列交织前的序号, $\pi(i), \pi(j)$ 是输入序列交织后的序号, S 为扩散值。 S -随机交织器在保证系统扩散度的同时, 又使交织前邻近的 S 个信息位在交织后最小距离大于 S 。

4.2 BIRACM 接收机的实现

BIRACM 译码分两步: 生成位度量 and IRA 码译码。

对于 8PSK 调制, 每个接收信号生成 6 个位度量。对 3 个二进制位和 8PSK 映射, 其接收度量值为:

$$\lambda(v'_i = b) = \log P(y_i | v'_i = b) = \log \sum_{x \in \chi'_b} p(y_i | x) \quad i = 1, 2, 3; \quad b = 0, 1 \quad (6)$$

式(6)中信号子集 $\chi'_b = \{\mu([v^1, v^2, v^3]) | v^i = b\}$ 。对于 8PSK, 每一个子集的大小为 4。在实际中, 为了简化运算式 (6) 常由式(7)代替:

$$\log \sum_j a_j \approx \max_j \log a_j \quad (7)$$

因此, v'_i 的对数似然比为: $\lambda(v'_i) \approx \max_{x \in \chi'_1} \log P(y_i | x) - \max_{x \in \chi'_0} \log P(y_i | x)$

$$\approx k \cdot (\min_{x \in \chi'_1} \|y_i - \rho_i x\|^2 - \min_{x \in \chi'_0} \|y_i - \rho_i x\|^2)$$

其中 k 为与噪声方差有关的常数。

得到 $\lambda(v_i^j)$ 后, $\lambda(v_i^j)$ 作为IRA译码器的初始值, 按照1.2节的BP算法进行循环译码。

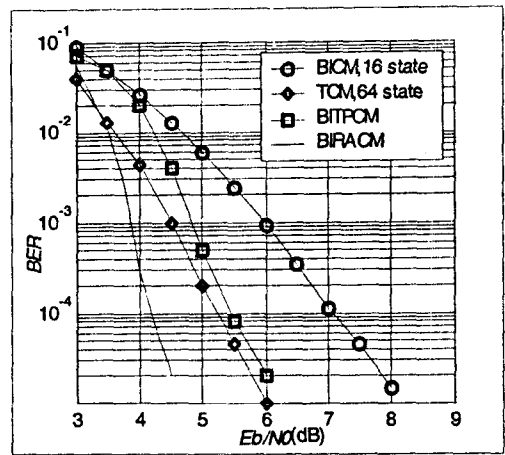
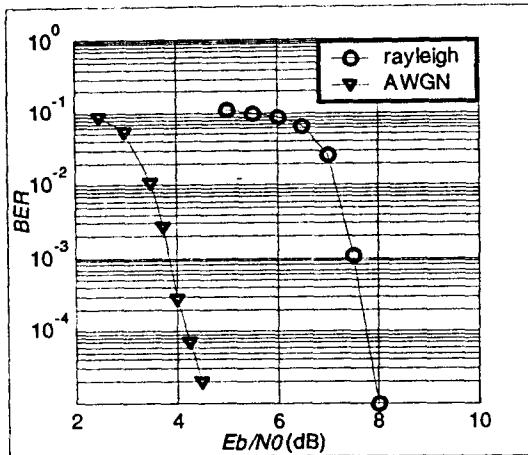


图4 BIRACM在AWGN和Rayleigh信道下的仿真曲线 图5 AWGN信道各种调制方式下的仿真曲线

5 仿真研究

根据图2所示的系统结构, 对BIRACM在加性白色高斯噪声信道(AWGN)及Rayleigh衰落信道中进行性能仿真。IRA码的参数为码率 $R=2/3$, $f_2=0.3250$ 、 $f_3=0.3404$ 、 $f_6=0.0592$ 、 $f_7=0.2286$ 、 $f_8=0.0467$ 、 $a=8$, 输入数据长度 $n=2000$ 。通过8PSK调制, 得到的谱效率为2bits/s/Hz。对衰落信道, 假设信道状态信息(CSI)已知。图4为BIRACM在AWGN和Rayleigh信道上的仿真曲线。可以看出, 在误位率 $BER=10^{-4}$ 时, AWGN信道所需的信噪比为4.2dB, Rayleigh衰落信道所需的信噪比为7.8dB, 衰落信道比AWGN信道恶化约3.5dB。

图5和图6分别为同样条件下在AWGN和Rayleigh衰落信道中各种调制方式的性能比较。

图中64状态TCM、16状态BICM的数据来源于文献[4], BITPCM的数据来源于文献[5], BITPCM为比特交织Turbo乘积码编码调制。各种调制情况下, 码率为2比特/符号, 且已知信道状态信息(CSI)。

从图5可以看出, 在AWGN信道、 $BER=10^{-4}$ 时, BIRACM所需信噪比为4.2dB, 与64状态TCM相比, 大约有1.1dB的增益, 比BITPCM多1.3dB的增益, 比BICM多2.8dB的增益。从图6可以看出, 在Rayleigh衰落信道下、 $BER=10^{-4}$ 时, BIRACM所需信噪比为7.8dB, 与64状态TCM相比, 大约有4.7dB的增益。BICM在同等条件下, 需要11.8dB, 与BIRACM相差3.7dB的增益。Turbo乘积码实现的BITPCM需要8.7dB, 与BIRACM相差0.9dB的增益。

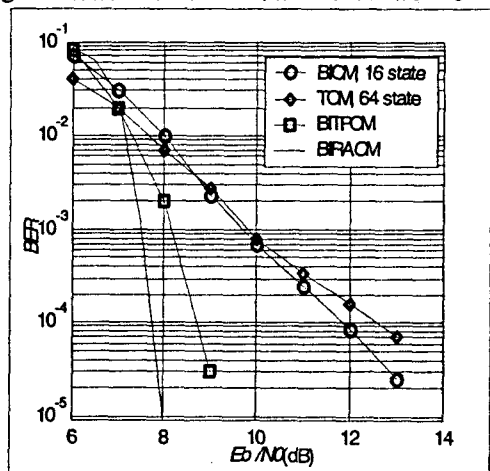


图6 Rayleigh信道各种调制方式下的仿真曲线

6 结论

本文提出了 IRA 码与 BICM 相结合的 BIRACM 设计方法,并在 AWGN 和平坦衰落信道中对 BIRACM 的性能进行了仿真研究。通过与 TCM、BICM 及 BITPCM 等调制方式进行比较可以得出结论,在 8PSK 调制方式及相同频谱利用率的情况下, BIRACM 无论在 AWGN 信道还是在 Rayleigh 信道中,其性能均优于传统的 TCM、比特交织编码调制 BICM 及 BITPCM。

参 考 文 献

- 1 Divsalar D, Jin H, McEliece R. Coding theorems for Turbo-like codes[A]. Proc of the 36th Annual Allerton Conference on Communication Control and Computing[C]. Monticello, IL, USA, 1998, 9: 201-210
- 2 Jin H, Khandekar A, McEliece R. Irregular Repeat-accumulate codes[A]. In: Proc 2nd International Symposium on Turbo codes and Related Topics[C]. Brest, France, 2000, 9: 1-8
- 3 Caire G, Taricco G, Biglieri. Bit-interleaved coded modulation[J]. IEEE Trans info. Theory, 1998, 44(5): 927-946.
- 4 Li Xiaodong, Ritcey J. Trellis-coded modulation with bit interleaving and iterative decoding[J]. IEEE JSAC, 1999; 17 (4): 715-724.
- 5 刘伟, 张海林, 刘增基. 比特交织 Turbo 乘积码编码调制[A]. 2003 年通信理论与信号处理年会论文集[C]. 北京: 电子工业出版社, 2003: 65-70.