



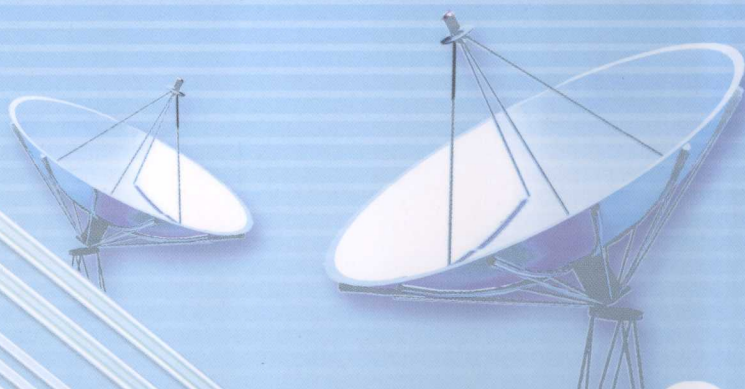
中国通信学会学术会议文集

2009 年

通信理论与信号处理 学术年会

论·文·集

► 蔡灿辉 主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

2009 年通信理论与信号处理 学术年会论文集

蔡灿辉 主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本论文集收录论文 76 篇, 范围涉及 MIMO 与 OFDM 技术、编码、译码与解调、信道估计与均衡、认知无线电与网络新技术、信息与网络安全、自适应信号处理、阵列信号处理、雷达信号处理、语音信号处理、图像与多媒体信息处理、DSP 应用、基础理论与方法等方面的内容。

本书适合通信、电子、信号与信息处理领域的科研人员 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

2009 年通信理论与信号处理学术年会论文集/蔡灿辉主编. —北京: 电子工业出版社, 2009.11
ISBN 978-7-121-09786-7

I .2… II.蔡… 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(2009)第 198521 号

责任编辑: 竺南直 特约编辑: 索蓉霞

印 刷: 北京季蜂印刷有限公司

装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 32.5 字数: 832 千字

印 次: 2009 年 11 月第 1 次印刷

定 价: 108.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

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。

服务热线: (010) 88258888。

中国通信学会通信理论与信号处理专业委员会
2009 年通信理论与信号处理学术年会

主办 (Sponsor):

中国通信学会通信理论与信号处理专业委员会

承办 (Organizer):

华侨大学

大会主席:

张乃通 (教授 中国工程院院士)

丘 进 (教授 华侨大学校长)

郑宝玉 (教授 中国通信学会通信理论与信号处理专业委员会主任)

程序委员会

主 席: 郑宝玉 (教授 中国通信学会通信理论与信号处理专业委员会主任)

副主席:

项海格 朱光喜 林孝康 吴镇扬 彭启琮 阮秋琦 范平志 田宝玉

委员 (按姓氏拼音顺序排列):

安建平 戴旭初 杜 歆 范 京 冯穗力 葛临东 顾学迈 何 晨
侯春萍 胡 波 黄剑明 刘贵忠 刘文予 刘 中 仇洪冰 宋志群
孙 洪 王 晖 王盛利 王晓明 王岩飞 谢显中 许录平 许宗泽
颜永红 殷福亮 于 全 张邦宁 张晓琳 郑林华 周治中 竺南直
崔景伍

组织委员会

主 席: 蔡灿辉 (教授 华侨大学信息科学与工程学院)

副主席: 苏凯雄 (教授 福州大学) 王琳 (教授 厦门大学)

委 员: 陈忠辉 程恩 冯桂 黄联芬 凌朝东 许力 崔景伍 陈东华 陈燕

前 言

当前,网络 and 通信的发展趋势是宽带化、移动化、泛在化,人们将通过 RFID (射频识别芯片)和传感器生活在无所不在(Ubiquitous)的网络(即所谓泛在网络或 U 网络)中。移动化催生 U 网络时代;融合与协同,是 U 网络架构的主要特征。频谱利用率是考验新一代移动通信网络的重要指标。为了满足新一代移动通信系统对频谱效率的要求,人们纷纷探索更加高效的无线通信技术。认知无线电技术是有效提高频谱利用率的重要手段,是未来无线移动通信的发展方向之一;已经提出的高效传输技术有多载波调制技术、多天线 MIMO 技术、空时信号处理技术、混合多址技术等。它们都是信号处理和无线通信(包括组网技术)的结合,这些结合极大地推动了无线通信技术的进步。

所有这些在本论文集集中均有所反映。此外,论文集中还包括信道估计、均衡与编码,计算智能与盲信号处理,雷达信号处理与智能天线,信息论、网络编码及安全,DSP 及应用,语音与图像信号处理,光通信与光信息处理等。共 76 篇。这些论文是通过专家严格评审,从收到的 149 篇挑选出来的。这些论文充分反映了通信与信号处理领域近年来的研究成果及今后的发展趋势。由于版面和时间等条件的限制,还有不少优秀论文未能选入,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,促进通信与信号处理学科发展的会议。衷心祝愿大家在会议期间收益多多,满载收获地返回各自地工作岗位,创造新的业绩,做出新的贡献。

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付出的巨大努力,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。

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

一种基于 Alpha 稳定分布的大气噪声生成算法及应用	马金全 葛临东 董 莉 (1)
SAR 方位预处理的两级滤波实现方法	王岩飞 刘 畅 (8)
一种提高 GNSS 卫星信号模拟器伪距精度的方法	彭 鸣 吴晓非 邹永忠 (13)
相干信源的二维 DOA 盲估计算法	余 俊 陈未央 张小飞 (19)
一种新的低功率信号检测算法	王 磊 郑宝玉 崔景伍 (25)
宽带雷达信号接收波束形成的方法	章华鑫 王盛利 (33)
基于瞬时距离-瞬时多普勒的高速机动目标成像	句彦伟 李士国 于 立 (41)
基于 Markov 随机场和模拟退火算法的 SAR 图像噪声抑制	钱 博 (47)
循环相关谱检测方法及其门限的确定	赵知劲 张伟卫 徐世宇 (54)
GPS 信号捕获中信噪比提高的研究	雷 蕾 林静然 彭启琮 (61)
基于量子遗传神经网络的 MIMO 信号检测技术	周 敏 李 飞 (67)
基于最大似然聚类的 GMM 优化方法及其在说话人辨认中的应用	胡 婕 周 琳 (73)
一种新的基于段长分布的语音识别模型	杜树木 何良华 (80)
基于内容分析和点击率记录的混合音乐推荐系统	张 燕 李燕萍 (85)
能量重心校正法估计 MPSK 信号载波频差	张冬玲 葛临东 (93)
基于光流场法的目标跟踪算法在 DM642 上的高效实现	武 曜 管 庆 徐 胜 (98)
目标跟踪算法在 DM6437 上的实现和优化	赵 渊 管 庆 徐 胜 (107)
一种新型格型 IIR 滤波器的研究与设计	傅文渊 凌朝东 (114)
多视点图像的本征图分解	施柏鑫 李扬曦 许 超 (119)
基于行移字移编码算法的文本水印鲁棒性研究	黄兴莉 邵怀宗 彭启琮 (124)
随机密钥预分布的抗攻击模型研究	张 啸 王 晖 林晓辉 (130)
基于加权二乘向量机的图像增强算法	彭代强 林幼权 (141)
基于置信度传播的 MSTAR 图像的分割算法	徐 戈 黄志强 (147)
一种适合于带 LMS 的非均匀滤波器组	张 炜 许小东 戴旭初 (154)
3780 点 FFT 的 FPGA 设计与实现	陈联武 苏凯雄 (162)

一种基于 D-S 证据理论的高光谱图像分类方法	余二永 (167)
简化的 SMV 算法及其仿真	王小兵 黄 冰 杜俊宇 (176)
基于方向特征和局部 walsh 变换的虹膜识别新算法	王凤随 李素文 冯 桂 (182)
变长小生境算法用于图像超分辨率复原	张煜东 吴乐南 奚 吉 王水花 (189)
一种基于形状信息的前景检测方法	刘乐元 桑 农 (200)
多模态导航定位中星座选择算法	邵怀宗 邵 龙 彭启琮 (207)
H.264/AVC 的帧内模式选择优化算法	李仲林 胡 栋 (212)
基于 CORDIC 算法的数字下变频器实现	王小凡 唐友喜 (218)
对角空时码在无线中继网络中的应用	赵知劲 杨进丽 王海泉 (223)
认知无线网络中一种自适应 TDD 传输策略的研究	陈晓辉 孟庆民 郑宝玉 (228)
一种基于延时的 AODV 路由协议的改进	陈哲愚 张 建 陈 燕 (234)
一种改进的 BP 量子 LDPC 译码算法	段 灿 朱修利 (240)
基于机会式网络编码的两用户协作	李世唐 郑宝玉 (245)
一种多无线电多信道环境下新的信道状态预测算法	黄 川 郑宝玉 (251)
协作通信的能量有效性和时间有效性研究	季 薇 郑宝玉 江若宜 (257)
时间选择性衰落信道的基扩展模型比较	陈东华 蔡灿辉 (265)
多小区 OFDMA 系统下行链路的分布式子载波分配	邱 涛 贺志强 牛 凯 田宝玉 (270)
一种下行单用户协作多点传输的调度算法	张成强 贺志强 牛 凯 田宝玉 (278)
一种基于图码的量子稳定子码构造方法的研究	朱修利 赵生妹 (283)
基于 SFBC-OFDM 系统的时变信道估计和 信号检测联合算法	任术波 郭俊奇 项海格 (288)
基于预测的 OFDMA 系统中中断容量的优化	吴 波 沈 骏 陈 晨 项海格 (297)
一种基于预滤波的 NC-OFDM 信号同步参数盲估计算法	吴佩霖 许小东 戴旭初 (305)
认知无线网络频谱共享的跨层设计	张伟青 叶 梧 冯穗力 (312)
多射频多信道无线 Mesh 网络的跨层公平资源分配	黄 鑫 冯穗力 庄宏成 (319)
DF 协作中继网络基于最小能量成本的中继选择和功率控制策略	柯 峰 冯穗力 (328)
在 WSNs 中基于覆盖与连通的分簇路由协议的改进	朱丽娟 王敬国 林晓辉 王 晖 (334)

基于量子遗传算法的 OFDM 自适应调制技术·····	李兆华 李 飞 (342)
基于蚁群算法的 OFDMA 系统自适应资源分配算法 ·····	张 昕 叶 梧 冯穗力 庄宏成 (348)
用于多小区 OFDMA 系统的基于粒子群的分布式功率分配方法 ·····	孙文文 贺志强 牛 凯 田宝玉 (356)
一种适合于低压 PLC 的组合译码 HARQ 算法 ·····	朱子善 林 东 (364)
一种基于信道可靠性的协作频谱感知算法 ·····	岳文静 郑宝玉 (370)
认知无线网络中基于博弈论的功率控制算法 ·····	王正强 蒋铃鸽 何 晨 (378)
多层网状局域连通无线传感器网络定位分析 ·····	刘 枫 郭爱煌 杭海存 (385)
DVB-RCS 中循环递归 Turbo 码尾比特译码技术 ·····	巩克现 刘世刚 葛临东 (391)
基于协同中继的异构无线网络切换性能分析 ·····	高智伟 (398)
分簇无线传感器网络中最小退避窗口自适应机制 ·····	林 颖 许 力 林 晖 (405)
一种解决认知无线电频谱分配的量子遗传算法 ·····	郭 明 李 飞 (410)
一种求解最短路径路由问题的量子遗传算法 ·····	刘 欣 李 飞 张 杰 (416)
单载波块传输系统中稀疏信道估计算法研究 ·····	黄 帅 朱卫平 孟庆民 (422)
基于无扰动的最大速率传输 MIMO 系统半盲信道估计 ·····	陈 钟 朱卫平 (427)
数字集群系统中移动链路管理的研究与实现 ·····	张 建 何志敏 (433)
数字无中心移动通信系统 MAC 层的协议设计 ·····	强文炜 (440)
基于 802.16e 交织编码部分的 FPGA 设计与实现 ·····	毛智强 雷维嘉 谢显中 (447)
基于 DTMB 标准的卷积交织仿真与实现 ·····	肖剑辉 叶宇煌 (455)
无线传感器网络中基于网络编码的信道 自适应协同传输方案 ·····	张 良 蔡跃明 (462)
双向中继对秩亏 MIMO 信道容量的影响 ·····	屠 佳 蔡跃明 (469)
基于 ENC28J60 芯片的以太网接口方案设计 ·····	付衍荣 房 颖 (476)
基于多频带 OFDM 的矿井巷道超宽带无线通信建模 ·····	钱建生 王 鑫 孙彦景 李世银 (482)
序列相关性对系统性能影响的理论分析和评估 ·····	吴 娜 吴晓非 邹永忠 (490)
基于中继节点的无线传感器网络分簇路由算法 ·····	李 雷 付东阳 李艳辉 (497)
DSTFT 解调 FSK 信号中窗函数的影响 ·····	陈大平 陈忠辉 (503)

一种基于 Alpha 稳定分布大气噪声生成算法及应用

马金全 葛临东 童 莉

(信息工程大学 信息工程学院, 河南 郑州, 450002)

摘 要: 大气噪声是短波天波信道的主要影响因素之一, 如何生成符合实际信道特性的大气噪声对于宽带短波信道模拟器研制具有重要作用。在分析 α 稳定分布定义与性质的基础上, 针对大气噪声特性, 提出了一种基于 α 稳定分布的大气噪声生成算法, 并在宽带短波信道模拟器中进行了应用。实验结果表明, 利用该方法产生噪声不仅更加符合信道实际情况, 而且可以有效降低模拟器的实现复杂度。

关键词: 通信技术; 信道模拟; Alpha 稳定分布; 宽带短波信道; 大气噪声; 软件无线电

An Algorithm of Atmospheric Noise Generating Based on Alpha Stable Distribution

Ma Jin quan Ge Lin dong Tong Li

(University of Information Engineering, Zhengzhou, 450002, China)

Abstract: As atmospheric noise being one of the main factors influencing HF channel characteristics, the method of generating atmospheric noise in line with real channel plays an important role in the research of wide-band HF channel simulation system. By introducing the alpha stable distribution and aiming at the atmospheric noise property, a noise generating algorithm based on alpha stable distribution is suggested and applied in the wide-band HF channel simulation system. The experiment results show that the algorithm could not only generate atmospheric noise more conforming to reality, but predigest the simulation system with better performance.

Keywords: communications technology; channel simulation; Alpha stable distribution; wide-band HF channel; atmospheric noise; software radio

引言

在短波通信设备研制开发过程中, 利用信道模拟器进行通信仿真是一种重要手段。随着短波通信的宽带化, 研制宽带短波信道模拟器日显重要。

目前, 国内已实现带宽 3kHz 的短波信道模拟器^[1], 国外 John F. Mastrangelo 等人根据 Vogler 短波信道模型开发了带宽 1MHz 的短波信道模拟器^[2], 基本达到短波通信设备开发中的测试要求。但由于利用天波传输的短波通信受到电离层影响很大^[3], 这些方案产生的循环噪声与实际大气噪声差别较大, 不能有效模拟实际情况。

本文提出一种基于 α 稳定分布的大气噪声计算方法, 所有噪声信号都根据相应的参数实

时计算产生,能提高宽带模拟器的工作效率,降低实现复杂度,利于用户操作。

1 Vogler 信道模型及噪声特点

Vogler 短波信道模型又称为 ITS 模型,是在 Vogler, Hoffmeyer 等人研究成果基础之上提出的一种短波信道参考模型^[3]。该模型数学表达为

$$y(t) = x(t) * h(t, \tau) + n(t) \quad (1)$$

式中 $h(t, \tau)$ 是信道冲击响应; $n(t)$ 表示干扰及噪声模型,由大气噪声、带限高斯噪声、单音干扰及人为脉冲干扰几部分组成,其等效低通形式为

$$\begin{aligned} v(t) = & a(t) + g(t) + \\ & \sum_i A_i \exp[j(2\pi\Delta f_i t + \phi_i)] + \\ & \sum_k B_k \frac{\sin[2\pi W(t - t_k)]}{t - t_k} \exp(j2\pi f_0 t_k) \end{aligned} \quad (2)$$

式(2)中 $a(t)$ 表示大气噪声; $g(t)$ 表示零均值的带限复高斯噪声;第三部分表示窄带干扰;第四部分表示人为脉冲干扰。以往的信道模拟中,一般假设 $v(t)$ 是大量统计独立且有限方差随机变量的叠加组合,因而 $v(t)$ 服从高斯分布。

实际中,大气噪声主要由雷电瞬时放电引起,其分布具有较厚的拖尾,是一种具有较大波动的高可变的过,往往不服从高斯分布。特别是在无线电干扰较少的地区或频率高于 10MHz 的情况下,大气噪声对于信道的影响非常明显^[4]。若只采用高斯分布模型来描述信道噪声,将会因模型与信号噪声不能很好匹配而导致所设计信号处理器性能退化,这对于通信设备研制是不利的。

广义中心极限定理表明^[5]:对于独立同分布随机变量的和,无论各个随机变量是否存在有限方差,当变量数目无限增加时,必将收敛于 α 稳定分布族。Nikias 等人的研究表明,利用 α 稳定分布模型方可更加有效地描述具有尖峰脉冲特性的噪声。

2 α 稳定分布理论

2.1 α 稳定 (αS) 分布的定义^[5]

α 稳定分布一般由其特征函数给出。如果存在参数 $0 < \alpha \leq 2, \sigma > 0, -1 \leq \beta \leq 1$ 和实数 μ , 使得随机变量 X 满足如下的特征函数,称 X 服从稳定分布,记 $X \sim S_\alpha(\sigma, \beta, \mu)$:

$$E[e^{j\theta X}] = \begin{cases} \exp\left\{-\sigma^\alpha |\theta|^\alpha \left[1 - i\beta \tan \frac{\alpha\pi}{2} \cdot \text{sgn}(\theta)\right] + i\mu\theta\right\} & (\alpha \neq 1) \\ \exp\left\{-\sigma |\theta| \left[1 - i\beta \frac{2}{\pi} \ln|\theta| \cdot \text{sgn}(\theta)\right] + i\mu\theta\right\} & (\alpha = 1) \end{cases} \quad (3)$$

其中 $\text{sgn}(\theta)$ 是符号函数。

α 稳定分布四个参数具有明确的意义:

- 特征因子 α ，又称为特征指数，决定分布脉冲特性程度。 α 越小，所对应的分布具有较重的拖尾；当 $\alpha \leq 1$ ，分布具有无限的均值和方差。
- 尺度参数 σ ，又称为分散系数，是样本相对于均值分散程度的度量，类似于高斯分布的方差；当 $\alpha = 2$ 时， σ 取值是方差值的一半。
- 偏斜参数 β ，确定分布的斜度。
- 位置参数 μ ，对于 $S\alpha S$ 分布， $0 < \alpha \leq 1$ 时， μ 表示中值；当 $1 < \alpha \leq 2$ 时， μ 表示均值。

稳定分布又可分为对称分布 ($S\alpha S$) 和非对称分布两大类。当 $\beta = 0$ 时， $S_\alpha(\sigma, \beta, \mu)$ 关于 μ 是 $S\alpha S$ 对称的。

特殊地，当 $\alpha = 2$ 时，随机变量 X 服从均值为 μ 方差为 $2\sigma^2$ 的高斯分布；当 $\alpha = 1$ 且 $\beta = 0$ 时， X 服从柯西分布。

2.2 α 稳定分布的不同参数系

对 α 稳定分布的描述存在着不同的参数系，就随机变量的产生而言，重要的有三种参数系^[6]：由式(3)定义给出的标准参数系 (S)，Nolan 提出的参数系 (S^0) 和 Zolotarev 的参数系 (S^2)。

S^2 参数系提出的主要目的是利于理论分析与推导，其特征函数有如下形式^[7]：

$$E[e^{i\theta x}] = \begin{cases} \exp\left\{-\sigma_2^\alpha |\theta|^\alpha \exp[-i\beta_2 \operatorname{sgn}(\theta) \frac{\pi}{2} K(\alpha)] + i\mu\theta\right\} & (\alpha \neq 1) \\ \exp\left\{-\sigma_2 |\theta| \left[\frac{\pi}{2} + i\beta_2 \ln|\theta| \operatorname{sgn}(\theta)\right] + i\mu\theta\right\} & (\alpha = 1) \end{cases} \quad (4)$$

其中

$$K(\alpha) = \alpha - 1 + \operatorname{sgn}(1 - \alpha) = \begin{cases} \alpha, & \alpha < 1 \\ \alpha - 2, & \alpha > 1 \end{cases}$$

S^2 参数系的 α 和 μ 同标准参数系所定义的参数相同，而 σ_2 和 β_2 同 σ 和 β 的关系为：

$$\sigma_2 = \begin{cases} \sigma \left(1 + \beta^2 \tan^2\left(\frac{\pi\alpha}{2}\right)\right), & \alpha \neq 1 \\ \frac{2}{\pi} \sigma, & \alpha = 1 \end{cases} \quad (5)$$

$$\beta_2 = \begin{cases} \frac{2 \arctan[\beta \tan(\frac{\pi\alpha}{2})]}{\pi K(\alpha)}, & \alpha \neq 1 \\ \beta, & \alpha = 1 \end{cases} \quad (6)$$

S^0 参数系表征的稳定分布的特征函数、概率密度函数和累积分布函数关于所有的四个参数均连续，其参数 α , σ 和 β 与标准参数系相同。文献[6]证明， S^0 参数系和 S^2 参数系均同标准参数系存在相应的变换关系。

2.3 α 稳定分布的性质

$S_\alpha(\sigma, \beta, \mu)$ 稳定分布具有的性质较多，这里仅给出 3 个基本性质：

性质 1: 若 $X \sim S_\alpha(\sigma, \beta, \mu)$, c 是一个实常数, 则 $X + c \sim S_\alpha(\sigma, \beta, \mu + c)$

性质 2: 若 $X \sim S_\alpha(\sigma, \beta, \mu)$, b 是一个非零的实常数, 则

$$bX \sim \begin{cases} S_\alpha(|b|\sigma, \text{sgn}(b)\beta, b\mu), & \alpha \neq 1 \\ S_\alpha(|b|\sigma, \text{sgn}(b)\beta, b\mu - \frac{2b}{\pi} \ln|b|\sigma\beta), & \alpha = 1 \end{cases}$$

性质 3: 令 X_1 和 X_2 为独立的随机变量, 且满足 $X_i \sim S_\alpha(\sigma_i, \beta_i, \mu_i), i=1, 2$, 则随机变量 $X_1 + X_2 = X \sim S_\alpha(\sigma, \beta, \mu)$, 其中

$$\sigma = (\sigma_1^\alpha + \sigma_2^\alpha)^{1/\alpha}, \beta = \frac{\beta_1 \sigma_1^\alpha + \beta_2 \sigma_2^\alpha}{\sigma_1^\alpha + \sigma_2^\alpha}, \mu = \mu_1 + \mu_2$$

3 α 稳定分布随机变量的产生

3.1 服从 αS 分布随机变量的产生

仿真生成服从参数 $0 < \alpha \leq 2, \sigma > 0, -1 \leq \beta \leq 1$ 和实数 μ 的稳定分布关键在于产生服从 $S_\alpha(1, \beta, 0)$ 的随机变量。通常采用 Zolotarev 定理产生 $S_\alpha^2(1, \beta_2, 0)$ 分布, 再根据式(5)和式(6)生成 $S_\alpha(\sigma, \beta, \mu)$ 。Zolotarev 定理如下:

若 γ 是 $(-\pi/2, \pi/2)$ 上的均匀分布, W 是一个均值为 1 的服从指数分布的随机变量, 并且 W 和 γ 相互独立, 则 $\alpha \neq 1$ 时, 随机变量 X 服从 $S_\alpha^2(1, \beta_2, 0)$ 分布, 当且仅当

$$X = \frac{\sin(\gamma - \gamma_0)}{(\cos \gamma)^{1/\alpha}} \left\{ \frac{\cos[\gamma - \alpha(\gamma - \gamma_0)]}{W} \right\}^{\frac{1-\alpha}{\alpha}} \quad (7)$$

$\alpha = 1$ 时, 随机变量 X 服从 $S_1^2(1, \beta_2, 0)$ 分布, 当且仅当

$$X = \left(\frac{\pi}{2} + \beta_2 \gamma \right) \tan \gamma - \beta_2 \log \left(\frac{W \cos \gamma}{\frac{\pi}{2} + \beta_2 \gamma} \right) \quad (8)$$

其中 $\gamma_0 = -\frac{\pi}{2} \beta \frac{K(\alpha)}{\alpha}$ 。

结合性质 1、2 和式(5)、式(6), 可有标准参数系下 α 稳定分布仿真公式: 若 $X \sim S_\alpha^2(1, \beta_2, 0)$ 则

$$U = \sigma_2 X + \mu - \begin{cases} S_\alpha(\sigma, \beta, \mu), & \alpha \neq 1 \\ S_\alpha(\sigma, \beta, \mu - \frac{2}{\pi} \sigma \beta \ln(\frac{2}{\pi} \sigma)), & \alpha = 1 \end{cases} \quad (9)$$

仿真时先产生 $X \sim S_\alpha^2(1, \beta_2, 0)$, 再由式(9)产生服从标准参数系下任意参数取值的 α 稳定分布的随机变量 U (包括服从 $S\alpha S$ 分布的情况)。

3.2 MATLAB 仿真与分析

基于上述生成算法, 利用 MATLAB 进行 1000 次 Monto-Carlo 仿真, 产生长度为 5000 的 α 稳定分布的随机序列。

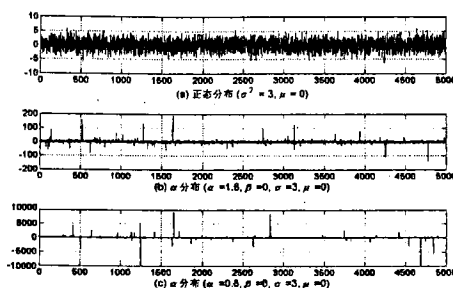


图 1 不同情况下的噪声序列

图 1 为三种情况下产生的噪声，其中(a)为方差 $\sigma^2 = 3$ ，均值 $\mu = 0$ 的高斯噪声序列，(b)为 $\alpha = 1.6, \beta = 0, \sigma = 3, \mu = 0$ 的 α 分布噪声序列，(c)为 $\alpha = 0.8, \beta = 0, \sigma = 3, \mu = 0$ 的 α 分布噪声序列。可以看出， α 分布噪声序列具有明显的非高斯脉冲特性，而且随着 α 的减小，尖峰脉冲特性愈加明显。

图 2 为不同 β 值和 σ 值时的 $S_\alpha(\sigma, \beta, \mu)$ 和 $S\alpha S$ 分布随机变量的概率密度函数 (PDF) 估计的对比图。可以看出，仿真产生的随机变量的 PDF 与理论分析结果一致。

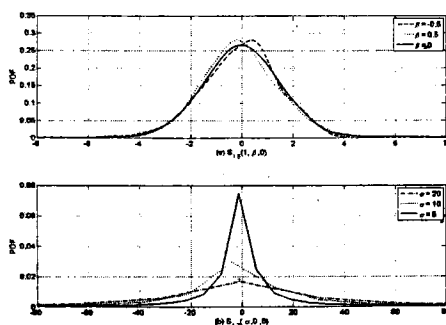


图 2 不同 β 与 σ 值下随机变量的 PDF 估计曲线

3.3 信噪比的确定

由于 α 稳定分布不存在有限的二阶矩，致使噪声的方差变得没有意义，因此通常采用混合信噪比设定信号与噪声的功率比：

$$\text{MSNR}_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{\sigma_s^2}{\sigma_\alpha} \right) \quad (10)$$

式中， σ_s^2 和 σ_α 分别表示高斯信号的方差和 α 稳定分布噪声的尺度参数。假定要对给定信号 $s(n)$ 和 α 稳定分布噪声 $v(n)$ 设定混合信噪比为 $\text{MSNR}_{dB} = m \text{ dB}$ ，则按照此信噪比大气噪声应满足

$$\sigma_\alpha = 10^{-m/10} \sigma_s^2 \quad (11)$$

4 在宽带短波信道模拟器中的应用

4.1 宽带短波信道模拟器结构分析

John F.Mastrangelo 等人采用了 VME 总线加存储单元的方式,结构较为复杂。本文的宽带短波信道模拟器采用 cPCI 总线架构,结构更加简洁灵活,其功能结构图如图 3 所示。

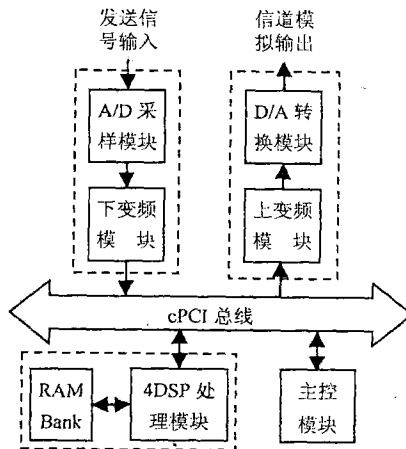


图 3 宽带短波信道模拟器功能结构图

信号在 A/D 采样后,经下变频转为基带信号,经由 cPCI 总线传至信道模拟模块;模拟模块核心为 4DSP 处理单元(ADSP TS201S),可实现信道模拟、噪声叠加以及信噪比计算等功能,噪声数据在系统启动后由主控模块转存到 256M RAM 空间;主控模块负责系统参数设置、数据保存和软件界面显示等功能;信号与噪声的合成数据再经 cPCI 总线传至输出模块,最终形成信道模拟信号。

4.2 大气噪声的生成

实时生成大气噪声数据,需要进行大量繁杂的指数及乘法运算,为减小计算量,大气噪声数据事先由 MATLAB 产生,以文件形式存储在 RAM 块中。为节省空间,RAM 块中存储了 2 个 1M 数据块 A 和 B;每次分别按照均匀分布随机地从数据块 A 和数据块 B 的 1M 数据中取出 1 个数据 X_A 和 X_B ,根据 α 稳定分布的性质³,由 $aX_A + bX_B$ (a, b 为常数)形成的噪声数据仍服从 α 稳定分布,故由 2 个 1M 数据可产生 10^{12} 的噪声数据(在 20MSPS 采样率下可持续约 13 小时)。因此只要存储的噪声数据足够多,就可保证在长时间内噪声数据不重复,不仅使噪声更加接近实际情况,还可以避免大量的数学运算,提高模拟器工作效率。

模拟信道时,均匀分布随机变量采用线性同余法产生,其周期与噪声数据长度一致;高斯噪声、单音干扰及人为脉冲干扰采用文献[1]的方法产生。

图 4 为信噪比 5dB 时模拟器产生衰落信号与不同噪声的叠加输出(采样率 20MSPS,样点数为 5000)。其中(a)为信号叠加高斯噪声,(b)为信号叠加大气噪声($\alpha=1.8$),(c)为信号叠加高斯噪声与大气噪声(高斯噪声与大气噪声功率比为 20dB)。

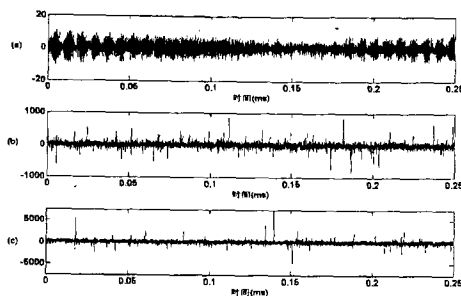


图 4 SNR=5dB 时模拟器不同的输出信号

从图中可以看出, 信道模拟器加入大气噪声后, 即使大气噪声不在总噪声中占据主导地位, 但是其尖峰脉冲特性对信道的影响是显著的, 在信道模拟器中加入大气噪声更加符合实际情况。

5 结论

本文提出了一种基于 α 稳定分布的大气噪声生成算法, 该方法可以使模拟的信道噪声更加接近实际情况, 也能简化宽带短波信道模拟器结构及操作。在宽带短波信道模拟器中, 噪声信号计算采用了该方法, 解决了实时计算的问题, 并且简化了结构, 达到了预期的效果。

参考文献

- [1] 马金全, 杜栓义, 邱长兴. 基于 DSP 的语音带宽短波信道模拟器[J]. 电子技术应用, 2005,31(3):56-58.
- [2] Mastrangelo J F. A new wideband high frequency channel simulation system[J]. IEEE Transactions on Communications, 1997,45(1):26-34.
- [3] Vogler L E, Hoffmeyer J A. A model for wideband HF propagation channels[J]. Radio Science, 1993,28(6):1131-1142.
- [4] 胡中豫. 现代短波通信[M]. 北京:国防工业出版社, 2005.
- [5] 邱天爽,张旭秀等. 统计信号处理——非高斯信号处理及其应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2004.
- [6] 李旭涛,朱光喜等. Alpha 稳定分布的参数表征及仿真[J]. 信号处理, 2007,23(6):814-817.
- [7] V. M. Zolotarev. One-dimensional Stable Distributions[M], Amer. Math. Soc. Transl. of Math. Monographs, Vol. 65. Amer. Math. Soc., Providence, R. I.(Transl. of the original 1983 Russian).

作者简介:

马金全 (1975.3-), 男, 甘肃张掖人, 博士研究生, 信息工程大学信息工程学院讲师, 主要从事软件无线电、无线通信信号处理研究。

葛临东 (1946.8-), 男, 博士生导师, 信息工程大学信息工程学院教授, 主要从事软件无线电、无线通信信号处理研究。

童莉 (1978.11-), 女, 湖北荆州人, 博士, 信息工程大学信息工程学院讲师, 主要从事信号与信息处理研究。

SAR 方位预处理的两级滤波实现方法

王岩飞 刘 畅

(中国科学院电子学研究所 北京海淀区北四环西路 19 号, 100190)

摘 要: 在合成孔径雷达实时成像处理器中, 通常采用方位向预滤波降采样技术, 在保证信号性能的同时减少数据量以降低对成像处理器运算和存储等能力的要求。针对实际系统的实现要求, 论文提出了一种两级滤波降采样的实现方法。通过分级处理, 在简化滤波运算的同时降低了初始阶段的雷达数据率, 并通过后续的处理来保证雷达的成像质量。给出的方法适合实时 SAR 成像处理的应用, 实际数据的处理结果验证了方法的有效性。

关键词: 信号处理; 合成孔径雷达; 预滤波; 实时成像处理

A Two-step Azimuth Prefilter Method for Real-time SAR Imaging Processor

Wang Yan fei Liu Chang

Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

Abstract: In SAR signal processing, the azimuth prefiltering is usually used to reduce the computation and data storage requirement without influence on the effective Doppler band. This paper provides a new two-step filtering method to achieve better processing performance. During the first step, data rate is cut to half with short filtering, and a second suitable filter is further applied to keep the imaging resolution. The proposed prefilter algorithm is demonstrated with real SAR data, and is especially valuable for SAR real time processor.

Keywords: signal processing; SAR; prefilter; real-time processor

1 引言

合成孔径雷达(SAR)是一种对地面目标进行成像观测的微波遥感手段。具有能够全天时全天候工作的优点, 因而广泛应用于国防、自然资源勘探、灾害监测等领域。实时成像处理器通过对 SAR 系统采集到的目标回波信号进行处理实时形成雷达图像, 对于具有时效性要求的应用而言是 SAR 系统必不可少的重要组成部分。在通常的机载 SAR 系统中, 为了降低方位模糊, 提高图像的信噪比, 雷达发射的探测脉冲的频率往往高于要求的脉冲频率, 等效于方位向系统的带宽远高于信号的带宽。考虑到 SAR 的数据量比较大, 并且有效信号的带宽相对较低, 因此在成像处理器中通常采用方位向预滤波降采样技术来减少数据量, 降低对处理器运算、存储等能力的压力, 同时保证雷达图像的性能指标^{[1][2]}。

SAR 实时成像处理器的方位预滤波通常采用 FIR 滤波器, 考虑到运算和缓存量的限制,

滤波器阶数的选择一般都会比较适中^[3]。一方面,阶数不能过大,以免增加过多的计算量和数据缓存量;另一方面,还要在有限的阶数条件下,设计尽可能优化的滤波器。本文基于实际系统的实现要求,提出了一种两级滤波降采样的实现方法。首先对雷达方位向信号进行低阶数的滤波处理,由于阶数较低,计算量和数据缓存量都相对较小,滤波器的性能也由此下降,例如,滤波器的过渡带变宽等,但有效信号的频谱性能可以得到保证。在第一级滤波降采样后,可以减少至少一倍的数据量,降低对处理器的处理运算、缓存等要求的压力。尽管降采样可以带来频谱混叠等影响,但同样要求保证有效信号的性能。之后进行第二级高性能滤波,提取有效的信号,经过后续处理,可以得到质量有保证的雷达图像。

本文的以下部分,首先介绍两级滤波降采样方法的基本思路,之后结合实际系统给出一个两级滤波降采样的设计,并利用实际数据进行处理验证,最后对本文两级滤波降采样的方法进行总结和讨论。

2 两级滤波降采样方法

SAR 系统是一种对地面目标进行二维成像的微波雷达,雷达通常装载于飞机等运动平台上,利用脉冲压缩技术获得距离向的高分辨率,利用孔径合成技术获得方位向的高分辨率,其中沿飞机飞行的方向称为方位向,垂直于飞机航线的方向称为距离向。典型的 RD 成像算法是将接收到的雷达信号经 A/D 采样后,首先进行距离压缩,之后进行方位向预滤波降采样,然后进行转置存储,再进行方位向压缩,经过逆转置存储后将图像连续地进行显示^[4]。

方位预处理一般由低通滤波器和重抽样两部分组成。滤波器主要用于去掉无用的信号,避免在降采样时带来信号混叠的影响;重抽样过程则是通过降低采样率的过程来减少数据量。假设方位向的采样间隔为 Δ_x , 在距离为 R 的目标的第 n 次回波用 $r(n\Delta_x)$ 来表示,则预处理滤波器的输出为

$$q(k\Delta_x) = \sum_{m=0}^{N-1} r(k\Delta_x - m\Delta_x)y(m\Delta_x) \quad (1)$$

式中 $y(m\Delta_x)$ 为滤波器的系数。滤波后的信号再以较低的采样频率降采样得到 $q(n\gamma\Delta_x)$, 其中 γ 为降采样系数。

由于 SAR 的回波数据是随着发射脉冲一条距离线接着一条距离线顺序地到达,所以要进行方位向的滤波处理必须要对数据进行临时存储。假设方位向的滤波器阶数为 N , 通常情况下需要存储 N 条距离线的数据,并进行相应的滤波运算。可见滤波阶数越大,对预处理提出的存储和运算要求也越高。为了减轻对处理器的要求,通常希望滤波器阶数尽可能少。然而,滤波器的性能通常是与滤波器的阶数直接相关的^[5]。加窗函数可以提高滤波器的性能。但是,在提高峰值旁瓣比和降低阻带衰减的同时,也会带来主瓣展宽和过渡带变宽的问题。

针对上述问题,本文提出了采用两级滤波降采样的方法。在第一级滤波过程中采用阶数比较低的滤波器,在保证有用信号性能的前提下,尽可能减少对处理器的运算、存储等性能要求。如图 1 和图 2 所示,图中纵坐标为窗函数的频域幅度谱的分贝表示,横坐标为归一化的频率表示,图 1(a)为 55 阶海明滤波器,图 2(b)为 9 阶海明滤波器。图 2 为对应图 1 滤波器的 1/2 重抽样后的频域幅度谱。从图 1 和 2 中可以看出,与通常的理论分析一样,阶数高的滤波器相对于阶数低的滤波器具有更好的性能;经过抽样以后,阶数高的滤波器混叠影响比较