

随机信号双参数脉冲模型的分形特征*

杨娟 卞保民[†] 彭刚 李振华

(南京理工大学信息物理与工程系, 南京 210094)

(2010年4月27日收到; 2010年5月5日收到修改稿)

为了研究随机信号的统计特性, 以幅度、宽度两个相对独立的特征参数为基本概念, 建立随机信号的双参数脉冲模型. 采用 PCI-9812 高速数据采集卡, 对空气中悬浮颗粒随机性光散射脉冲信号、光电传感器本底噪声随机信号进行计数分布的统计分析. 实验结果表明, 随机性脉冲信号幅度、宽度子集的计数分布以很高的精度与以自然数为自变量的对数正态分布符合; 进一步的计算结果表明, 在脉冲信号幅度、宽度定义域内, 随机脉冲信号集合的两个特征参数之间存在非线性变换关系, 即随机信号的双参数统计分布具有非整数维分形特征.

关键词: 分形, 双参数, 对数正态分布, 随机脉冲信号

PACS: 05.45.Df, 02.50.-r

1. 引言

与不规则颗粒对应的随机信号分布是颗粒群粒度结构的完整反映, 其统计特性是颗粒群粒度反演算法的基础, 也是随机信号特征信息传输基本规律的重要体现. 长期以来有关激光尘埃粒子计数技术的研究大多集中在球形颗粒的 Mie 散射理论^[1,2] 光电传感器设计^[3,4] 等方面. 目前, 悬浮颗粒群具有统计分形特性的结论已经被广泛接受, 人们将有限范围颗粒群粒度分布经验公式 $M(D) \propto D^{-\alpha}$ 理解为颗粒群的分形结构形式, 并以分维数 α 作为颗粒群特征参数^[5-8]. 但是, $M(D) \propto D^{-\alpha}$ 形式明显具有发散性.

高精度的实验测量结果和数学模型计算表明, 用对数正态统计函数描述小离散度颗粒群粒度分布更加准确^[9]. Granqvist 等人^[10] 用显微镜对超细金属粉末几何参数作统计, 发现其粒度分布的直接测量结果满足对数正态分布, 并且还结合中心极限定理建立了相关的数学模型, 推出小离散度系统中的颗粒粒度分布满足对数正态分布; Baker 等人^[11] 利用高精度测量系统的测量结果从曲线的经验拟合、破碎过程的分形特征、曲线中心不对称等方面论证了对数正态分布是描述破碎或分裂过程中碎片质量分布特征最合适的模型, 并研究了分裂过程中的

多重分形特征; Hwang 等人^[12,13] 自 2007 年起对具有单峰的对数正态分布的亚微米颗粒进行了多通道实时测量和性能等方面的研究. Mitzenmacher^[14] 的研究指出幂函数和对数正态分布本质上具有相关性, 在很多科学领域的研究中, 两个非常相似的仅具有微小差异的模型能推出对数正态分布或者幂函数. 然而, 上述理论与实验的研究均未能给出分维数与颗粒群特征统计参数之间的内在联系.

基于此, 本文以不规则颗粒产生的随机脉冲信号和光电传感器本底噪声信号为研究对象, 以幅度、宽度为两个独立的信号特征统计参数, 采用 PCI-9812 高速数据采集卡, 对随机性信号进行幅度、宽度计数分布统计. 发现随机脉冲信号子集的幅度、宽度计数统计与以自然数为自变量的对数正态分布符合, 且在信号幅度、宽度定义域内, 两个参数之间存在非整数维的非线性变换关系, 具有典型的统计分形特征.

2. 随机信号的双参数脉冲模型

一般意义上的随机信号对应于一时间序列记录值的集合 $f(t)$. 常用基于时间维的傅里叶频谱分析法研究随机信号基本特征. 但是, 也可以取一阈值参数 V_0 , 对随机信号进行处理后得到 $V = f(t) -$

* 江苏省博士后科研资助计划项目(批准号:0902017C)资助的课题.

[†] 通讯联系人. E-mail: bianbaomin_56@yahoo.com.cn

$V_0 > 0$, 参见图 1. 从集合 $\{f(t)\}$ 到脉冲信号序列子集 $\{f(t) - V_0\}$ 是一种数学描述形式的变换. 给定阈值参数 V_0 , 在不同测量精度 $\Delta\tau, \Delta V$ 条件下, 信号子集 $\{f(t) - V_0\}$ 与脉冲子集 $\{(\tau_i, V_i)\}$ 对应, 元素 (τ_i, V_i) 代表脉冲信号的基本几何参数, 自然数 i 与时序的先后对应. 在记录参数 τ_i, V_i 的值域范围 (τ_M, V_M) 内, 结合测量精度参数 $(\Delta\tau, \Delta V)$, 能够用一组自然数 (l_τ, l_V) 建立信号子集 $\{f(t) - V_0\}$ 到双参数子集 $\{(l_\tau, l_V)\}$ 的映射形式

$$l_\tau = \left\lceil \frac{\tau_i}{\Delta\tau} \right\rceil, l_\tau \in (1, 2, \dots, K = \frac{\tau_M}{\Delta\tau}),$$

$$l_V = \left\lceil \frac{V_i}{\Delta V} \right\rceil, l_V \in (1, 2, \dots, L = \frac{V_M}{\Delta V}). \quad (1)$$

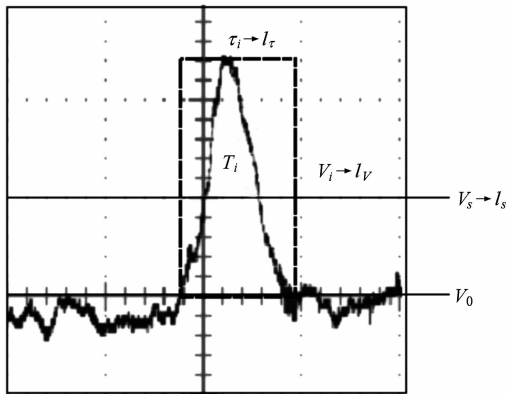


图 1 随机信号的双参数脉冲模型示意图

双参数 (l_τ, l_V) 的值域均为有限自然数, 容易理解 $\{(l_\tau, l_V)\}$ 是 $\{f(t) - V_0\}$ 的基本结构映射形式. 元素 (l_τ, l_V) 的几何形式为二维矩形图, 故(1)式相当于取二维图集 $\{T_i\}$ 作为信号子集 $\{f(t) - V_0\}$ 的映射形式. 称(1)式为随机信号 $f(t)$ 的 (l_τ, l_V) 双参数脉冲模型.

从时间顺序考察, 信号子集 $\{(\tau_i, V_i)\}$ 中脉冲信号 (l_τ, l_V) 的幅度、宽度参数值具有随机性. 但是, 依观测记录值 (l_τ, l_V) 的大小顺序, 可建立脉冲信号 $\{(\tau_i, V_i)\}$ 子集的统计描述形式, 对应的统计数分布函数分别为

$$p(l_\tau) \equiv \frac{N_{l_\tau \Delta\tau}}{N} > 0, l_\tau \in (1, 2, \dots, K),$$

$$p(l_V) \equiv \frac{N_{l_V \Delta V}}{N} > 0, l_V \in (1, 2, \dots, L), \quad (2)$$

式中 N 代表脉冲子集 $\{(\tau_i, V_i)\}$ 包含的脉冲总数, 且 $N \gg K, N \gg L; N_{l_\tau \Delta\tau}, N_{l_V \Delta V}$ 分别代表特征子集 $\{\tau \in l_\tau \Delta\tau\}, \{V \in l_V \Delta V\}$ 中的脉冲个数 (在本文中参数

$l_\tau \Delta\tau, l_V \Delta V$ 代表与序列数 l_τ, l_V 对应的分档间隔). 考虑到统计性, 实际研究过程中子集样本量要满足 $1 \ll N_{l_\tau \Delta\tau}, N_{l_V \Delta V} \ll N$. 对于确定的测量过程, 原则上能够通过测量精度 $\Delta\tau, \Delta V$ 的调整, 在特征参数测量值定义域的基础上建立一种均匀 (线性) 分档方式, 使得不同特征参数对应的分档总数相同, 即 $K = L$. 且双参数均取线性分档时, 对于相同序列数 $p_{\tau_M}(l_\tau) \neq p_{V_M}(l_V) (l_\tau = l_V)$.

因特征子集 $\{l_\tau \equiv C\}$ 中的元素 $T \in \{(l_\tau \equiv C) \Delta\tau\}$ 的幅度参数 V 值不同, 还可对 $\{l_\tau \equiv C\}$ 进一步作形式分解, 相对于信号集合 $\{T \in (\tau_M, V_M)\}$ 形成新的子层次 $\{T \in ((l_\tau \equiv C) \Delta\tau, l_V \Delta V)\}$. 所以, 脉冲子集 $\{(\tau_i, V_i)\}$ 基本数结构形式的一维特征子集组合可表示为

$$\{(\tau_i, V_i)\} = \sum_{l_\tau=1}^K \{(\tau_i \in \{(l_\tau \equiv C) \Delta\tau\}, V_i)\}. \quad (3)$$

同理有

$$\{(\tau_i, V_i)\} = \sum_{l_V=1}^L \{(\tau_i, V_i \in \{(l_V \equiv C) \Delta V\})\}. \quad (4)$$

“一维”意指集合描述形式 (公式右端) 中用了个序列变量 l_τ (或 l_V). (3), (4) 两式的数结构分别与 (2) 式中两个数分布函数对应. 显然, 在子样本 $\{(\tau_i \in \{(l_\tau \equiv C) \Delta\tau\}, V_i)\}, \{(\tau_i, V_i \in \{(l_V \equiv C) \Delta V\})\}$ 的基础上, 还可进行二维分解获得脉冲子集 $\{(\tau_i, V_i)\}$ 的二维特征子集组合

$$\{(\tau_i, V_i)\} = \sum_{l_\tau=1}^K \sum_{l_V=1}^L \{(\tau_i \in \{l_\tau \equiv C_1\}, V_i \in \{l_V \equiv C_2\})\}. \quad (5)$$

“二维”意指集合描述形式 (公式右端) 中用了两个序列变量 l_τ 和 l_V .

子集 $\{(\tau_i \in \{(l_\tau \equiv C) \Delta\tau\}, V_i)\}, \{(\tau_i, V_i \in \{(l_V \equiv C) \Delta V\})\}$ 对应的数分布函数分别为

$$p_{l_\tau=c}(l_V) \equiv \frac{N_{l_\tau=c, l_V}}{N_{l_\tau=c}} \geq 0,$$

$$l_V \in (1, 2, \dots, L), C \in (1, 2, \dots, K), \quad (6)$$

$$p_{l_V=c}(l_\tau) \equiv \frac{N_{l_\tau, l_V=c}}{N_{l_V=c}} \geq 0,$$

$$l_\tau \in (1, 2, \dots, K), C \in (1, 2, \dots, K), \quad (7)$$

式中 $N_{l_\tau=c, l_V}$ 代表特征子集 $\{l_\tau \equiv C\}$ 中幅度测量值落在 $l_V \Delta V$ 区间的脉冲个数, 且 $0 \ll N_{l_\tau=c, l_V} \ll N_{l_\tau=c}$. 同

理, $N_{l_\tau, l_V=C}$ 代表特征子集 $\{l_V \equiv C\}$ 中宽度测量值落在 $l_\tau \Delta \tau$ 区间的脉冲个数, 且 $0 \ll N_{l_\tau, l_V=C} \ll N_{l_V=C}$. 与二维特征子集元素 $(\tau_i \in l_\tau \Delta \tau, V_i \in l_V \Delta V)$ 对应的数分布函数为

$$p(l_\tau \equiv C_1, l_V \equiv C_2) = \frac{N_{l_\tau=C_1, l_V=C_2}}{N} \geq 0, \quad C_1 \in (1, 2, \dots, K), C_2 \in (1, 2, \dots, L), \quad (8)$$

式中 $N_{l_\tau=C_1, l_V=C_2}$ 表示子集 $\{(l_\tau \equiv C_1, l_V \equiv C_2)\}$ 中的脉冲总数, 且 $0 \ll N_{l_\tau=C_1, l_V=C_2} \ll N$.

这样, 对确定的随机信号 $f(t)$, 应用测量装置的基本参数组 $(V_0, \Delta \tau, \Delta V)$, 在信号参数值域范围内 (τ_M, V_M) , 获得 $f(t)$ 的一种数值化映射形式, 对应的测量数值 (l_V, l_τ) 均为自然数. 信号子集 $\{f(t) - V_0\}$ 的数结构用一组数分布函数来描述.

3. 随机脉冲信号子集的计数分布统计测量

空气中悬浮颗粒经过光电测量装置产生随机性电压脉冲信号, 这种随机性既是颗粒特征参数(质量、材质、形貌等)的反映, 也是测量过程随机作用的反映. 本文将采样率为 28.3 L/min 的激光尘埃粒子计数系统产生的与颗粒散射对应的脉冲电压信号输入计算机, 取阈值电压 V_0 对脉冲信号群集合及子集的特征参数进行计数统计. 相关技术参数为: 光电传感器通频带宽约为 4 MHz, 信号采样率 $f_s \sim 20$ MHz (对应时间精度 $\Delta \tau \sim 0.05 \mu s$), 脉冲信号平均宽度 $\bar{\tau} \sim 5 \mu s$; 量程 5 V, 2048 个计数通道的分档精度 $\Delta V = 5V/2048 \sim 2.44$ mV.

采用该装置, 首先对空气中悬浮颗粒群光散射信号的统计分布进行测量, 取序列宽度范围 $\tau_{l_\tau} \sim \tau_{l_\tau} + \Delta \tau$, 测量到的随机脉冲信号幅度计数分布 $p_{l_\tau=C}(l_V)$ 参见图 2 中的离散点, 此测量结果对应子集 $\{(\tau_i \in \{(l_\tau \equiv C) \Delta \tau\}, V_i)\}$.

对于子集 $\{(\tau_i, V_i \in \{(l_V \equiv C) \Delta V\})\}$, 选取一定的参考电压 V_0 , 将测试装置的本底信号处理成随机性脉冲信号. 取序列幅度范围 $V_{l_V} \sim V_{l_V} + \Delta V$, 测量到的随机脉冲信号宽度计数分布 $p_{l_V=C}(l_\tau)$ 参见图 3 中的离散点.

对测试装置的本底信号, 还可以选取不同的阈值电压 V_s 进行测量. 此过程中, 阈值电压 V_s 表征第一个有计数通道对应的电压值, 且 $V_s \leftrightarrow l_s$, 参见图 1 所示. 信号的宽度不限, 对应的幅度计数分布参见

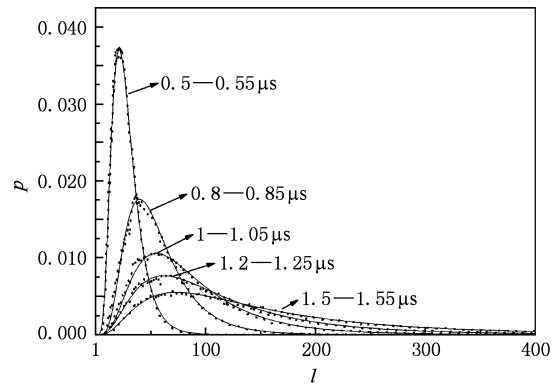


图 2 不同宽度间隔内的散射脉冲信号幅度分布

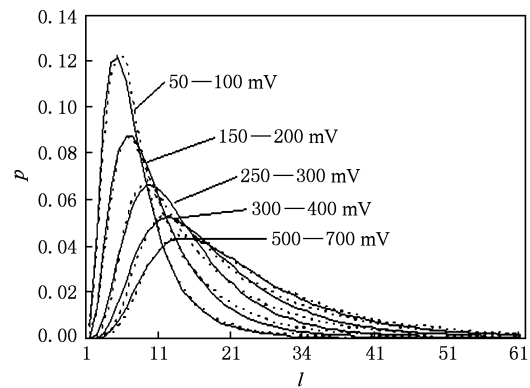


图 3 不同幅度间隔内的脉冲信号宽度分布

图 4 中的序列虚线, 虚线的起点对应的横坐标的位置即为 l_s .

图 2, 3, 4 的序列表明, 以脉冲的双参数描述模型对随机信号处理后, 脉冲信号特征参数的统计分布均不具有中心对称性; 脉冲信号群不同信号子集的幅度、宽度分布具有统计自相似特征.

4. 随机脉冲信号双参数计数分布函数与分形维数

根据概率曲线基本特征和对随机脉冲信号幅度定义域的详细分析研究, 选用(9)式对图 2 的序列曲线(对应于第二节的 $p_{l_\tau=C}(l_V)$)进行拟合(相关统计参数参见文献[15]), 效果参见图 2 中的序列实线.

$$p_{l_\tau=C}(l_V) = \frac{1}{\Omega \sigma_{\ln l_V}} e^{-\frac{(\ln l_V - \mu_{\ln l_V})^2}{2\sigma_{\ln l_V}^2}}, \quad (9)$$

式中 $l_V = \frac{V}{\Delta V}$, $\mu_{\ln l_V} = \overline{\ln l_V}$, $\sigma_{\ln l_V} = \sqrt{(\ln l_V - \overline{\ln l_V})^2}$, Ω 为

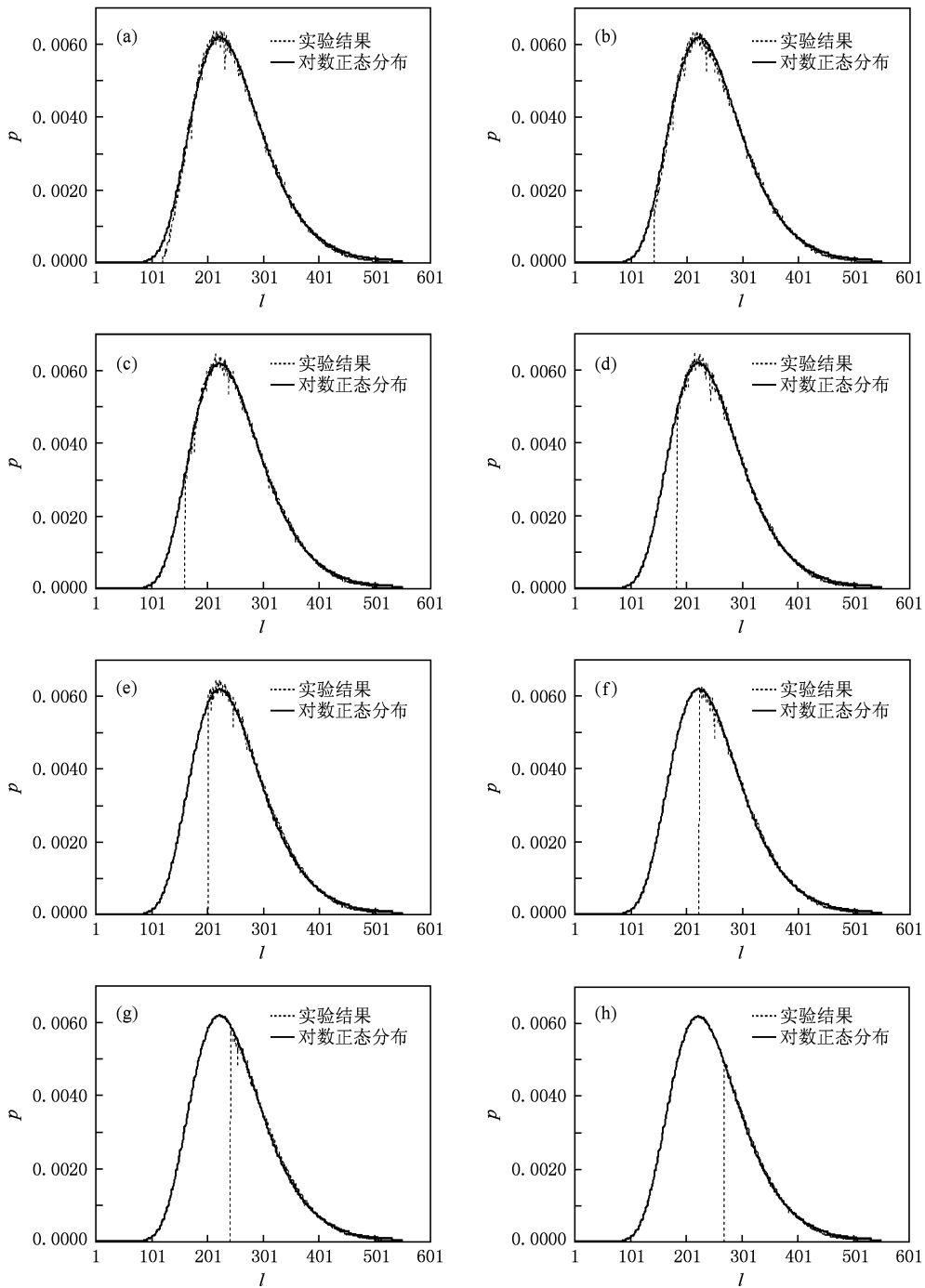


图4 不同阈值电压处理后的随机脉冲信号幅度分布 (a) $V_s = 298$ mV, $l_s = 122$; (b) $V_s = 349$ mV, $l_s = 143$; (c) $V_s = 395$ mV, $l_s = 162$; (d) $V_s = 449$ mV, $l_s = 184$; (e) $V_s = 495$ mV, $l_s = 203$; (f) $V_s = 544$ mV, $l_s = 223$; (g) $V_s = 593$ mV, $l_s = 243$; (h) $V_s = 659$ mV, $l_s = 270$

归一化系数,其数值不仅与信号群特征参数范围有关,也与总分档数(即分档精度)有关.形式上(9)式对应以序列自然数为自变量的对数正态分布函数 $p_{V_M}(l_V)$.

同理,采用(10)式对图3的序列曲线(对应于

第二节的 $p_{l_V=c}(l_\tau)$)进行拟合,效果参见图3中的序列实线.

$$p_{l_V=c}(l_\tau) \equiv \frac{1}{\Omega \sigma_{\ln \tau} l_\tau} e^{-\frac{(\ln l_\tau - \mu_{\ln \tau})^2}{2\sigma_{\ln \tau}^2}}, \quad (10)$$

式中 $l_\tau = \frac{\tau}{\Delta \tau}$, $\mu_{\ln \tau} = \overline{\ln l_\tau}$, $\sigma_{\ln \tau} = \sqrt{(\overline{\ln l_\tau} - \ln l_\tau)^2}$ 具体参

数参见表 1. 形式上(10)式同样对应以序列自然数为自变量的对数正态分布函数 $p_{\tau_M}(l_\tau)$.

表1 拟合曲线的统计参数值

幅度区间 /mV	拟合参数	
	计数通道对数均值	计数通道对数标准偏差 $\sigma_{\ln\tau}$
50—100	1.88	0.595
150—200	2.21	0.595
250—300	2.54	0.555
300—400	2.78	0.555
500—700	2.96	0.555

由图 4 中可以看出,随着阈值电压的增加,测量曲线的表现形式逐步由单峰变为单调,如果仅根据曲线的几何形状来进行拟合,则上述曲线可以选取不同的拟合方式进行拟合. 而经过分析我们发现,虽然测量方式的不当导致测量曲线形状发生改变,但图 4 中的序列曲线均为同一仪器本底噪声随机性的表现,因此脉冲信号子集 $\{V_i > V_s\}$ 计数分布的本质(即随机性)没变,即基本统计规律并没有变化,仍可以采用以序列自然数为自变量的对数正态分布函数 $p(l)$ 对其进行拟合,且拟合参数不变. 而由图 4 可以看出,阈值的设定导致数据丢失了一部分,因此该测量数据仅为完整概率分布曲线的一部分,不满足归一化,即有

$$p_{V_s}(l_V) = \frac{1}{\Omega\sigma_{\ln}l_V} e^{-\frac{(\ln l_V - \mu_{\ln})^2}{2\sigma_{\ln}^2}}, l_V \in (l_s, L), \quad (11)$$

式中, $\mu_{\ln} = 5.486, \sigma_{\ln} = 0.278$. 设 B 为实验曲线与拟合曲线面积的比值,则 $B_{\max} = 0.983, B_{\min} = 0.343$. 实验曲线与对数正态分布函数 $p(l)$ 进行拟合的结果参见图 4, $p(l)$ 为图 4 中的序列实线.

图 2, 3, 4 的序列表明,以脉冲的双参数脉冲模型对随机信号处理后,信号的计数分布能够非常稳定地服从以自然数为自变量的对数正态分布,不同子集之间的计数分布具有统计自相似特征.

若总分档数趋于无限(即 $\Delta V, \Delta\tau \rightarrow 0$, 对应的 $L, K \rightarrow \infty$), 归一化系数趋于常数, 分布函数 $p_{V_M}(l_V), p_{\tau_M}(l_\tau)$ 趋于连续形式. 在连续函数形式下, 对幅度值域 (V_0, V_M) 采用均匀划分方式, 相应的计数通道序列数为 l_V . 根据参数 b 和 α 作非线性变换 $l'_V \Delta V = \frac{1}{b}(l_V)^{1/\alpha} \Delta V$, 则 l'_V 对应幅度值域 (V_0, V_M) 非均匀划分方式下的非整数计数通道序列数. 由于对数正

态分布函数具有的非线性缩放关系, 分布函数 $p_{V_M}(l'_V)$ 仍然具有对数正态分布形式. 调整非均匀划分方式的通道间隔 $\Delta V'$, 假设存在某种非均匀划分方式使得在相同序列数下 $p_{V_M}(l'_V) = p_{\tau_M}(l_\tau) (l'_V = l_\tau)$, 则有 $dl'_V = dl_\tau, dl_V = \alpha b (bl'_V)^{\alpha-1} dl'_V = \alpha b (bl_\tau)^{\alpha-1} dl_\tau$, 由(9), (10)两式可得

$$\begin{aligned} p_{V_M}(l'_V) dl_V &\equiv \frac{dl_V}{\Omega\sigma_{\ln}l_V} e^{-\frac{(\ln l_V - \mu_{\ln})^2}{2\sigma_{\ln}^2}} \\ &= \frac{dl'_V}{\Omega(\sigma_{\ln}l'_V/\alpha)l'_V} e^{-\frac{(\ln l'_V + \ln b - \mu_{\ln}/\alpha)^2}{2\sigma_{\ln}^2/\alpha^2}} \\ &= p_{V_M}(l'_V) dl'_V = p_{\tau_M}(l_\tau) dl_\tau \\ &\equiv \frac{dl_\tau}{\Omega\sigma_{\ln}l_\tau} e^{-\frac{(\ln l_\tau - \mu_{\ln})^2}{2\sigma_{\ln}^2}}. \end{aligned} \quad (12)$$

由(12)式可得 $\alpha = \sigma_{\ln V}/\sigma_{\ln\tau}, b = e^{\frac{\sigma_{\ln\tau}}{\sigma_{\ln V}} \mu_{\ln V} - \mu_{\ln\tau}}$. 即存在某种非均匀划分方式, 使得在此种划分方式下的幅度计数分布曲线与均匀划分方式下的宽度计数分布曲线重合.

(12)式表明, 依随机脉冲信号群两个独立特征参数 V, τ 进行计数统计描述, 统计函数具有对数正态分布形式时, 对应的脉冲子集参数在定义域内满足

$$\frac{V}{v_0} = \left(\frac{\tau}{\tau_0} e^{\frac{\sigma_{\ln\tau}}{\sigma_{\ln V}} \mu_{\ln V} - \mu_{\ln\tau}} \right)^{\frac{\sigma_{\ln V}}{\sigma_{\ln\tau}}}, V \in (V_0, V_M). \quad (13)$$

一般情况下, $\sigma_{\ln V} \neq \sigma_{\ln\tau}, \alpha = \sigma_{\ln V}/\sigma_{\ln\tau}$ 也非自然数.

(13)式表明, 随机信号在双参数脉冲模型下, 如果其中一个独立参数取等差序列进行统计, 该统计分布对应的另一个参数序列一定是非线性划分, 如 $\tau(l)/\tau_0 = e^{\mu_{\ln\tau} - \frac{\sigma_{\ln\tau}}{\sigma_{\ln V}} \mu_{\ln V} - \frac{\sigma_{\ln\tau}}{\sigma_{\ln V}} l'_V}$ 与自然数序列 $V(l) = l\Delta V$ 对应. (13)式也是随机脉冲信号集合统计结构的非整数维分形幂函数形式, 分形维数对应于特征参数计数分布对数离散度 σ_{\ln} 的比值.

5. 结 论

应用信号参考幅度 V_0 对随机性信号进行一般处理, 能够产生描述随机信号集合结构的双参数(幅度、宽度)脉冲模型. 实验结果表明, 在这种以序列自然数为自变量的对数正态分布模型中, 随机脉冲信号群特征参数子集之间表现出统计自相似性, 且不同统计特征参数之间存在一种内在的非整数维分形关系.

- [1] Jost H, Kikuo O, Thomas T 2004 *Appl. Opt.* **43** 5893
- [2] Wang Q H, Zhang Y Y, Lai J C, Li Z H, He A Z 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 1203 (in Chinese) [王清华、张颖颖、来建成、李振华、贺安之 2008 物理学报 **57** 1203]
- [3] Alexei K, Heike W, Frank S 2005 *Appl. Opt.* **44** 4693
- [4] Lekhtmakher S, Shapiro M 2004 *Aerosol Science and Technology* **38** 155
- [5] Yang J, Lai X M, Peng G, Bian B B, Lu J 2009 *Acta Physica Sin.* **58** 3008 (in Chinese) [杨娟、赖晓明、彭刚、卞保民、陆建 2009 物理学报 **58** 3008]
- [6] Qiao L F, Zhang Y M, Xie Q Y, Fang J, Wang J J 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 6736 (in Chinese) [乔利锋、张永明、谢启源、方俊、王进军 2007 物理学报 **56** 6736]
- [7] Ren X C, Guo L X 2008 *Chin. Phys. B* **17** 2956
- [8] Xie T, He C, William P 2010 *Chin. Phys. B* **19** 024101
- [9] Kiss L B, Soderlund J, Granqvist C G 1999 *Fourth International Conference on Nanostructured Materials* **12** 327
- [10] Granqvist C G, Buhman R A 1976 *J. Appl. Phys.* **47** 2200
- [11] Baker L, Giancola A J, Allahdadi F 1992 *J. Appl. Phys.* **72** 2724
- [12] Park D, An M, Hwang J 2007 *Aerosol Science* **38** 1240
- [13] Park K T, Park D, Lee S G, Hwang J 2009 *Aerosol Science* **40** 858
- [14] Mitzenmacher M 2004 *Internet Mathematics* **1** 226
- [15] Peng G, Lai X M, Yan Z G, Bian B B, Lu J 2010 *Acta Opt. Sin.* **30** 1693 (in Chinese) [彭刚、赖小明、闫振纲、卞保民、陆建 2010 光学学报 **30** 1693]

The fractal character of two-parameter pulse model for random signal*

Yang Juan Bian Bao-Min[†] Peng Gang Li Zhen-Hua

(Department of Information Physics and Engineer, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

(Received 27 April 2010; revised manuscript received 5 May 2010)

Abstract

For studying the statistical character of the random signal, the width and amplitude of two relatively independent characteristic parameters are used to establish the two-parameter pulse model of the random signal. On the basis of this, the counting distributions of random signal for aerosol's scattering pulse and background noise of photoelectric sensor are statistically analyzed by using the high-speed data acquisition card PCI-9812. The experimental results show that the counting distributions of amplitude and width subsets for the random pulse signals match well with the form of the lognormal distribution while using the natural number as the independent variable. Further more, the calculating results indicate that the amplitude and width of the distribution have nonlinear transform relation in the field of definition of them for pulsed signal. Namely, the two parameters' statistical distributions have the fractal character with non-integral dimension.

Keywords: fractal, two parameter, lognormal distribution, random signal

PACS: 05.45.Df, 02.50.-r

* Project supported by the Jiangsu Planned Projects for Postdoctoral Research Funds (Grant No. 0902017C).

[†] Corresponding author. E-mail: bianbaomin_56@yahoo.com.cn