1987年全国研究生通信学术会议

论文集

中国·成都

一九八七年十月

1987年全国研究生通信学术会议

论　文　集

主　　办

中国电子学会　中国通信学会

清华大学　南京工学院　成都电讯工程学院

承　　办

成都电讯工程学院

一九八七年十月九日至十一日

大 会 名 誉 顾 问

孙俊人　李玉奎

大 会 顾 问

（以姓氏笔划为序）

万发贯　毛恒光　刘永峻　叶培大　李乐民　李承恕　张　煦
张乃通　陆大绘　何立权　吴伯修　陈宗骘　陈尚勤　欧阳鄂
林宗琦　周炯槃　胡　征　柯有安　姚庆栋　徐秉铮　顾德仁
谢希仁　葛　彦　程时昕　樊昌信

大 会 主 席

李正茂　张世平　唐　俊

大 会 学 术 委 员 会

主　席： 张世平（清华大学）

副主席： 刘　军（成都电讯工程学院）

童　文（南京工学院）

委　员： 丁明跃（华中工学院）

叶　雷（西北电讯工程学院）

刘长金（北京工业学院）

许　蔚（中国科学院电子所）

李大伟（成都电讯工程学院）

朱夏宁（清华大学）

杨义先（北京邮电学院）

陈晓强（南京通信工程学院）

谈振辉（北方交通大学）

章建洛（上海交通大学）

解长松（国防科技大学）

熊一俊（南京工学院）

大 会 组 织 委 员 会

主　　席： 王新扬（成都电讯工程学院）

副 主 席： 曹秀英（南京工学院）

董　弘（清华大学）

秘 书 长： 杨益新（成都电讯工程学院）

副秘书长： 李大伟（成都电讯工程学院）

会议论文集编辑组：

主　编： 刘　军（成都电讯工程学院）

副主编： 肖　庆（成都电讯工程学院）

编　委： 肖　斌　黄仁强　曾　强　景春贵

会议后勤组：

组　长： 郭　伟（成都电讯工程学院）

副组长： 李　陟（成都电讯工程学院）

会议宣传组：

组　长： 夏前文（成都电讯工程院）

副组长： 杨怀旭（成都电讯工程学院）

序

一年前，清华大学、南京工学院和成都电讯工程学院的研究生应广大同学们的要求提出了召开全国研究生通信学术会议的建议，该建议得到了各自学院和中国电子学会及中国通信学会的大力支持，并于1987年元月6日在北京中国电子学会总部召开的首次筹备会上协商决定由中国电子学会、中国通信学会、清华大学、南京工学院和成都电讯工程学院共同主办首届全国研究生通信学术会议，由成都电讯工程学院负责承办。

首届全国研究生通信会议的宗旨在于加强广大青年科技工作者之间的学术交流、沟通信息、开拓视野、促进我国的通信事业。大会聘请了全国各通信与电子学专业博士点的导师代表及电子学方面的一些知名人士担任大会顾问。大会的特点之一是由研究生具体完成所有筹备工作，她的学术委员会由全国各通信与电子学专业博士点委派的博士生或硕士生组成。

全国与通信有关专业的广大研究生和青年科技工作者以极大的热情支持这次会议，大会在征稿期间共收到77个单位的500余名作者的383篇论文。鉴于大会的规模限制，不能录用全部论文。在初审的基础上，经由各校学委在清华大学召开的汇审会上审议，决定录用其中的250篇。现在献给大家的大会论文集就是论文编辑组根据大会学委会意见整理编辑出来的。

该论文集在一定程度上反映了目前我国年青一代在通信领域方面的学术水平，是对我们青年一代的通信理论与技术水平的大检阅。该文集涉及的专业面广，从通信理论与通信系统、各种门类的通信技术直至与通信有关的微电子技术和管理，她的特色是收录的论文都是广大研究生及青年科技工作者在科研及生产中的研究成果。愿该论文集的编辑与出版能进一步推动青年一代的学术交流、促进我国的通信事业。

最后，我们谨向各主办单位的有关部门及领导、各位大会顾问、所有论文作者以及其他关心和支持这次会议的人们表示衷心的感谢。在此特别要对担负了烦重大会各项组织工作的成都电讯工程学院的广大研究生及出版社工作人员表示衷心的感谢。

1987年全国研究生通信学术会议

一九八七年十月

目　　录

一、信息论与通信研究

二、调制解调技术

八、移动通信与扩频通信

十、计算机通信网

十一、通信终端、通信管理与维护

十二、语声处理

CG—序列的伪随机性

唐俊 刘中 顾德仁
成都电讯工程学院

摘　要

本文首先提出由一类混沌差分方程产生二元序列——CG—序列的方法，然后论证了新产生的CG—序列是二元等概分布，具有与伯努利过程相同的游程分布特性且自相关函数为δ函数。这些特征说明了新产生的伪随机序列—CG—序列具有与白噪声过程完全一致的统计特征。即CG—序列是优良的伪随机序列。

一、引　言

在通信的各个领域中都广泛地用到伪随机序列。原因在于伪随机序列有着与纯随机序列相似的各项统计特性，而这些特性正是提高通信质量、效率和安全性的重要保证，再加上伪随机序列可以人为产生和再现，便于实际应用。正由于这些原因，伪随机序列在其它工程领域也有着广泛的应用。绝大多数需要伪随机序列的应用场合都要求所选用的序列的特性越接近纯随机序列的特性越好。本文的目的就是以混沌系统为基础提出一种新的二元伪随机序列的产生方法，并说明所产生的序列——CG—序列(chaotically generated)具有与纯随机白噪声相同的统计特性。

二、CG—序列的产生

我们将要讨论的是如何由一类混沌差分动力系统生成二元序列——CG—序列，为此，首先从统计的观点给出这类系统的定义和性质。

首先引入一个在$I=[0,1]$上定义的基本差分动力系统f_0。

$$x_{n+1}=f_0(x_n)=\begin{cases}2x_n & x_n\in I_1=[0,1/2)\\ 2(1-x_n) & x_n\in I_2=[1/2,1]\end{cases}\qquad(1)$$

这是一个从I到自身的映射，由文献[1]得知f_0是混沌遍历的动力系统，具有不变的概率密度$P_{f_0}(x)=1$。

令h是I上的一类1—1映射，$h: I\xrightarrow{\text{映上}}I$，据此，我们可以由h定义一类与$f_0$共轭[2]的动力系统g

$$x_{n+1}=g(x_n)=h(f(h^{-1}(x_n)))\qquad(2)$$

由h的1—1映上性可知g也是从I到自身的映射。

为使后面的分析易于进行，我们要求 h 具有如下性质：

1° 连续且分段可微；

2° 关于 $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2})$ 奇对称且单调上升。

根据性质 1°，由文献〔1〕知动力系统 g 也是遍历的，且不变概率密度为：

$$P_g(x) = \left| \frac{dh^{-1}(x)}{dx} \right| \tag{3}$$

h^{-1} 是 h 的逆映射，再由 2° 得知，$P_g(x) = \frac{dh^{-1}(x)}{dx}$ 且 g 是关于 $x = 1/2$ 偶对称的。根据 Birkoff 定理〔3〕，对任意 L^1 可积函数 $B(x)$，有

$$\langle B(x) \rangle = \overline{B(x_n)} \tag{4}$$

对几乎所有的 $x_0 \in I$ 成立，其中

$$\langle B(x) \rangle = \int_I B(x) P_g(x)\, dx; \quad \overline{B}(x_n) = \lim_{N \to \infty} \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N} B(x_n)$$

它们分别为 g 对函数 B 的系综平均与时间平均。

按以上定义的一类动力系统 g，我们引入如下的中值判决映射

$$S(x) = \begin{cases} 1 & x \in I_1 \\ -1 & x \in I_2 \end{cases} \tag{5}$$

S 是 L^1 可积的。采用映射 S，对于 I 中任一初值 x_0 及任意满足（2）式的映射 g，可得到如下一串二元无穷序列 $\{s_n\}$ ——CG—序列。

$$\{s_n\} = s_0, s_1, s_2, \cdots, s_n \cdots$$

$$= S(x_0), S(g(x_0)), S(g^2(x_0)), \cdots, S(g^n(x_0)) \cdots \tag{6}$$

下面我们将说明这样产生的CG—序列具有良好的统计特性。

三、CG—序列的随机性

对于按（6）式得到的CG—序列，我们有

定理1，序列 $\{s_n\}$ 中 1 和 −1 是等概出现的，即 $P(1) = P(-1) = 1/2$。

证明：根据 g 的遍历性和 P_g 的性质及 s_n 的定义，有

$$P(1) = \int_{I_1} P_g(x)\, dx = \frac{1}{2} \int_I P(x)\, dx = 1/2$$

$$P(-1) = 1 - P(1) = 1/2$$

#

为了讨论游程分布的方便，这里先给出一个引理。

引理：若将区间 $I=[0,1]$ 分成 2^{l+1} 段，其子区间分别为 $I^{l}_{1}=[0,h(\frac{1}{2^{l+1}}))$，$I^{l}_{2}=[h(\frac{1}{2^{l+1}}),h(\frac{2}{2^{l+1}}))$，…，$I^{l}_{2^{l}+1}=[h(\frac{1}{2}),h(\frac{2^{l}+1}{2^{l+1}}))$，$I^{l}_{2^{l}+2}=[h(\frac{2^{l}+1}{2^{l+1}}),h(\frac{2^{l}+2}{2^{l+1}}))$，…，$I^{l}_{2^{l+1}}=[h(\frac{2^{l+1}-1}{2^{l+1}}),1]$，其中 I 的上标 l 表示将 I 分成 2^{l+1} 个子区间的分法。由 h 的性质可知该分法可行且唯一；则，当且仅当 $x\in I^{l}_{2}$ 时产生长 $l=l$ 的"1"游程段，而 $x\in I^{l}_{[2^{l+2}/3]+(-1)^{l+1}}$ 时产生长 $l=l$ 的"-1"游程段

证明：这里用归纳法加以证明：

当 $l=1$ 时，区间 I 被分成 $2^{l+1}=4$ 段，即

$$I^{1}_{1}=[0,h(\tfrac{1}{4})),\ I^{1}_{2}=[h(\tfrac{1}{4}),h(\tfrac{1}{2})),\ I^{1}_{3}=[h(\tfrac{1}{2}),h(\tfrac{3}{4})),$$

$$I^{1}_{4}=[h(\tfrac{3}{4}),1]。$$

由（5）得：

$$\forall x\in I^{1}_{2}\qquad S(x)=1$$

相应的序列后续元为

$$S(g(x))=S(h(f(h^{-1}(x))))=S(h(f(y)))=S(h(z))\qquad(7)$$

由 $x\in I^{1}_{2}\Rightarrow y\in[\frac{1}{4},\frac{1}{2})\Rightarrow z\in[\frac{1}{2},1)$，再由 h 和 S 的定义，有

$$S(h(x))=s(x)\qquad(8)$$

故 $\forall x\in I^{1}_{2}$ 有 $S(g(x))=-1$。

同理可证 $\forall x\in I^{1}_{[2^{3}/3]+1}=I^{1}_{4}\Rightarrow S(x)=-1,\ S(g(x))=1$；

而 $x\in I^{1}_{3}$ 或 $I^{1}_{1}\Rightarrow S(x)=-1,\ S(g(x))=-1$，或 $S(x)=1$，

$S(g(x))=1$，所以 $l=1$ 时该引理成立。

现假定 $l=N$ 时引理成立。当 $l=N+1$ 时，$\forall x\in I^{N+1}_{2}=[h(\frac{1}{2^{N+2}}),h(\frac{1}{2^{N+1}}))$ 有

$$g(x)=h(f(h^{-1}(x)))=h(f(y))=h(z)$$

由 $x\in I^{N+1}_{2}\Rightarrow y\in[\frac{1}{2^{N+2}},\frac{1}{2^{N+1}})\Rightarrow z\in[\frac{1}{2^{N+1}},\frac{1}{2^{N}})\Rightarrow h(z)\in$

$$[h(\frac{1}{2^{N+1}}), h(\frac{1}{2^{N}})) = I_2^N$$

由假定知，当 $x' \in I_2^N$ 时，

$$S(g^N(x')) = S(g^{N-1}(x')) = \cdots = S(g(x')) = S(x') = 1$$

而 $S(g^{N+1}(x')) = -1$，

但此时是 $g(x) \in I_2^N$，且 $s(x) = 1$，故 x 的"1"游程长度为 $N+1$。

同法可得到 $x \in I^{N+1}_{[2^{N+2}/3+(-1)^{N+2}]}$ 时，X 的"-1"游程长度为 $N+1$。

根据 h 的 1－1 映上性可知属于其它区间的 x 值都不能产生 $N+1$ 长度的"1"或"－1"。游程段。由归纳法原理知，引理的结论对任意正整数成立。

定理2，序列 $\{s_n\}$ 中长度为1的游程数约为游程总数的一半。游程长度每增加一位，其出现数量约减少一半。且"1"游程和"－1"游程约各占一半。

证明，由引理及 g 的性质可知，长度为"1"的游程出现概率为：

$$P(L=1) = \int_{I_2'+I_4'} P_g(x)\,dx = \int_{I_2'} \frac{dh^{-1}(x)}{dx}dx + \int_{I_4'} \frac{dh^{-1}(x)}{dx}dx$$

$$= \int_{1/4}^{1/2} dz + \int_{3/4}^{1} dz = 1/2.$$

再根据 g 的遍历性得到长度为1的游程数点游程总数的一半。

同理，长为 l 的"1"游程和"－1"游程的出现概率分别为

$$P(L(1)=l) = \int_{I_2^l} P_g(x)\,dx = \int_{h(\frac{1}{2^{l+1}})}^{h(\frac{1}{2^l})} \frac{dh^{-1}(x)}{dx}\,dx =$$

$$\int_{\frac{1}{2^{l+1}}}^{\frac{1}{2^l}} dz = \frac{1}{2^{l+1}}$$

和

$$P(L(-1)=l) = \int_{I^l_{[2^{l+2}/3+(-1)^{l+1}]}} P_g(x)\,dx = \int_{h(\frac{[2^{l+2}/3+(-1)^{l+1}-1]}{2^{l+1}})}^{h(\frac{[2^{l+2}/3+(-1)^{l+1}]}{2^{l+1}})} \frac{dh^{-1}(x)}{dx}dx$$

$$=\int_{\frac{2^{i+2}/3+(-1)^{i+1}}{2^{i+1}}}^{\frac{2^{i+2}/3+(-1)^{i+1}-1}{2^{i+1}}} dx = \frac{1}{2^{i+1}} = P(L(1)=i)\ \text{[illegible]}$$

故 $P(L=i)=P(L(1)=i)+P(L(-1)=i)=\frac{1}{2^{i}}=2\times\frac{1}{2^{i+1}}$ [illegible]

$$=2\cdot P(L=i+1)$$

定理3. CG—序列的自相关函数$C(\tau)$是δ函数，即

$$C(\tau)=\begin{cases}1 & \tau=0\\ 0 & \tau=1,\ 2,\ 3\cdots\end{cases}$$

证明：由自相关函数的定义及g的遍历性可得

$$C(\tau)=\langle S(g^{(\tau)}(x))S(x)\rangle=\int_I S(g^{(\tau)}(x))S(x)P_g(x)\cdot dx \tag{9}$$

引入Frobernius — Perron 算子 H[4]，

$$H[S(x)]=\int_I S(y)\delta(g(y)-x)dy$$

$$=\sum_i S(y_i)\left(\frac{dg(x)}{dx}\Big|_{x=y_i}\right)^{-1} \tag{10}$$

其中y_i是$g(y)=x$的第i个解，可得

$$C(\tau)=\int_I S(g^{(\tau-1)}(x))H[P_g(x)S(x)]dx$$

$$=\langle S(g^{(\tau-1)}(x))\hat{H}[P_g(x)S(x)]\rangle$$

$$=\langle S(x)\hat{H}^{(\tau)}[S(x)]\rangle \tag{11}$$

其中$\hat{H}[S(x)]=\frac{1}{P_g(x)}H[P_g(x)S(x)]$，下面分两步完成定理证明。

1° 令$g=f$，则$P_g(x)=P_f(x)=1$，$\hat{H}=H$，且

$$H[S(x)]=\frac{1}{2}S\left(\frac{1}{2}x\right)+\frac{1}{2}S\left(1-\frac{1}{2}x\right)$$

$$H^{(\tau)}[S(x)]=\frac{1}{2^{\tau}}\{S\left(\frac{1}{2^{\tau}}x\right)+S\left(1-\frac{1}{2^{\tau}}x\right)+\sum_{j=2}^{\tau}\sum_{i=1}^{2^{j-2}}[S\left(\frac{2^{i-1}}{2^{j-1}}-\right.$$

$$\frac{1}{2^\tau}x)+S(\frac{2^{l-1}}{2^{l-1}}+\frac{1}{2^\tau}x)\}\}\qquad(12)$$

把(12)式代入(11)式可得由f生成的二元序列的自相关函数。

$$C_f(\tau)=\int_I S(x)H^{(\tau)}\{S(x)\}dx$$
$$=\frac{1}{2^\tau}\{\int_I S(x)S(\frac{1}{2^\tau}x)dx+\int_I S(x)S(1-\frac{1}{2^\tau}x)dx$$
$$+\sum_{l=2}^{\tau}\sum_{i=1}^{2^{l-2}}\{\int_I S(x)S(\frac{2^{l-1}}{2^{l-1}}-\frac{1}{2^\tau}x)dx+\int_I S(x)S(\frac{2^{l-1}}{2^{l-1}}$$
$$+\frac{1}{2^\tau})dx\}\}$$

当$\tau=0$时，$C_f(0)=\int_I S(x)S(x)dx=1$

当$\tau=1,2,3,\cdots$，$\forall x\in I$，$S(\frac{1}{2^\tau}x)$，$S(1-\frac{1}{2^\tau}x)$，$S(\frac{2^{l-1}}{2^{l-1}}\pm\frac{1}{2^\tau}x)$恒为1或−1，又因为S是关于$(\frac{1}{2},0)$奇对称，有

$$C_f(\tau)=0,\ \tau=1,2,3,\cdots\qquad\#$$

2^0 把$P_g(x)=\frac{dh^{-1}(x)}{dx}$，$g(\cdot)=h(h(h^{-1}(\cdot)))$代入(9)式，得

$$C(\tau)=\int_I S(h(f(h^{-1}(x)))^{(\tau)})S(x)\frac{dh^{-1}(x)}{dx}dx$$

令 $h^{-1}(x)=z$

$$C(\tau)=\int_I S(h(f(h^{-1}(h(z))))^{(\tau)})S(h(z))dz$$
$$=\int_I S(h(f^{(\tau)}(z)))\circ S(h(z))dz$$
$$=\langle S(h(z))H^{(\tau)}\{S(h(z))\}\rangle$$

由(8)式

$$C(\tau)=\langle S(z)H^{(\tau)}S(z)\rangle=C_f(\tau)\qquad\#$$

以上所给出的三条定理，充分说明由g这一类差分动力系统按(6)式产生的二元序列——CG—序列具有与白噪声序列完全一致的统计特性。