

一种快速产生数字式高精度高斯噪声的新方法

尹 力

马忠梅

(中国科学声学研究所 北京 100080)

(北京理工大学 北京 100081)

1994 年 12 月 2 日收到

摘要 伪随机噪声在信号分析和信号处理中具有重要的实用价值。高斯随机信号是一种最常用的信号形式。本文给出一种产生高斯噪声序列的新方法。利用先进的 DSP 芯片编程技术,将高速产生的均匀分布噪声进行抽样变换,得到高精度的高斯分析噪声序列。因此这种方法产生的高斯噪声统计特性好,周期长,性能稳定,符合声纳和通信等有关领域的要求。本文给出了原理分析,系统设计及实际应用结果。

关键词 高斯分布噪声, DSP 芯片, 声纳模拟器

A new method for generating high-precision digital gaussian noise

Yin Li

Ma ZHongmei

(Institute of Acoustics Academia Sinica, Beijing 100080)

(Beijing Institute of Technology, Beijing 100081)

Abstract The pseudo-random data are widely applied in digital signal processing and analysis. Gaussian noise is one of the most useful signal forms. A new method of generating Gaussian noise data is proposed in this paper. With advanced digital signal processing chip, high precision Gaussian noise data can be generated. The noise data generated by a sonar simulator using this new method are satisfactory and stable. They satisfy the requirements in the field of sonar and communication. The analysis of design principle, block diagram, and practical results are illustrated.

Key words Gaussian noise, DSP chip, Sonar simulator.

1 引言

高速、高精度地产生统计特性理想的随机变量的抽样序列,是统计模拟方法(又称蒙特卡罗 Monte Carlo 方法)研究中一个重要问题。

高斯分布的噪声序列是产生具有指定形状

谱噪声的基础,其本身在声纳和雷达的信号模拟方面更具有关键作用^[1-4]。

传统上产生高斯噪声的方法可分为两类:一类主要采用数字硬件,可高速产生高斯噪声,但编程困难,还需要复杂的硬件设计;另一类为软件实现,主要利用计算机技术,得到

高精度、长周期的噪声数据，不过对于实时处理，这种方法不易提高速度。

本文介绍的方法采用软硬件结合的方式，利用高速数字信号处理（DSP）芯片 TMS320C50 硬件简单、编程容易的特点，只需一片 TMS320C50 及其外围电路、经编程后就可作为高斯噪声发生器，产生出采样周期为 1μs 的数字式高斯噪声。

2 原理分析

高斯噪声数据由标准均匀分布噪声抽样变换而来，所以首先讨论均匀分布噪声的产生方法。图 1 给出了原理框图[5]

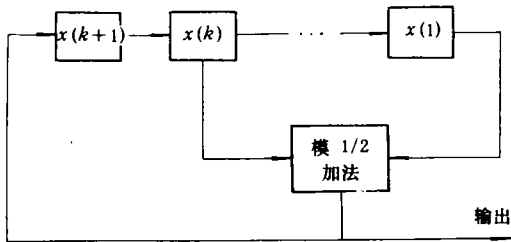


图 1 产生均匀噪声框图

$x(1), \dots, x(k)$ 是 k 个随机数，在 $(-1/2, 1/2)$ 内均匀分布，相互独立，第 $(k+1)$ 个随机数由 $x(1)$ 及 $x(k)$ 按模 1/2 相加得到。

$$x(k+1) = x(k) + x(1) \pmod{1/2} \quad (1)$$

这里模 1/2 相加意义是

$$x(k+1) = \begin{cases} x(k) + x(1) & \text{如果 } -\frac{1}{2} \leq x(k) + x(1) \leq \frac{1}{2} \\ x(k) + x(1) - 1 & \text{如果 } x(k) + x(1) > \frac{1}{2} \\ x(k) + x(1) + 1 & \text{如果 } x(k) + x(1) < -\frac{1}{2} \end{cases} \quad (2)$$

即 $x(k+1)$ 仍是 $(-1/2, 1/2)$ 之间的随机数。在

下一次运算时，将 $x(k+1)$ 移到 $x(k)$ 的位置， $x(k)$ 到 $x(k-1)$ ，……， $x(2)$ 到 $x(1)$ ，然后再做模 1/2 相加得到 $x(k+2)$ ，如此循环，产生序列 $\{x_n\}$ 。

根据均匀分布噪声的性质，随机数序列的奇数序列 $\{r_m^{(1)} = x(2m-1) + \frac{1}{2}\}$ 和偶数序列 $\{r_m^{(2)} = x(2m) + \frac{1}{2}\}$ 为两相互独立的噪声序列，均匀分布于 $(0, 1)$ 之间。将 $\{r_m^{(1)}\}$ ， $\{r_m^{(2)}\}$ 做变换：

$$\begin{aligned} u_m^{(1)} &= \sqrt{-2\ln r_m^{(1)}} \cos 2\pi r_m^{(2)} \\ u_m^{(2)} &= \sqrt{-2\ln r_m^{(1)}} \sin 2\pi r_m^{(2)} \end{aligned} \quad (3)$$

则 $\{u_m^{(1)}\}$ 、 $\{u_m^{(2)}\}$ 相互独立、服从 $N(0, 1)$ 正态（高斯）分布[4]。

随机数种子的选取与 k 值的大小，直接决定了所产生的噪声性能，我们可以从随机数表或用混合余法来产生原始的种子[1, 5]。

在实际运算中，常采用 $k=50$ ，由随机数表中，我们选用以下 50 个随机数做为原始种子（见表 1）。

这组随机数的均值为 -0.085721 ，方差为 0.081168 ，经我们在计算机上比较模拟计算，表 1 中的种子较其他常用随机数种子，具有周期长，统计特性良好的优点，完全符合定点运算的要求[5]。

噪声的样本见图 2。横坐标为序号

3 系统设计

本文提出的方法特别适于用高速信号处理芯片实现。我们选用美国 TI(Texas 仪器)公司

表 1 随机数种子

+0.4073	+0.2862	-0.3895	-0.1755	-0.3782
-0.0760	-0.0536	+0.0574	+0.1664	-0.4867
+0.4161	-0.0994	-0.1197	-0.3704	+0.3282
+0.4280	-0.4350	-0.1780	-0.0114	-0.3127
+0.0304	-0.3399	-0.2882	-0.2533	+0.1074
-0.2893	-0.1791	-0.3286	-0.4233	-0.4741
-0.3752	-0.4880	+0.2864	-0.3219	+0.4290
+0.3514	+0.0116	-0.2684	-0.4518	+0.2461
-0.4054	+0.2226	+0.2939	+0.2494	-0.1603
-0.2663	-0.0135	+0.4238	-0.4401	-0.1571

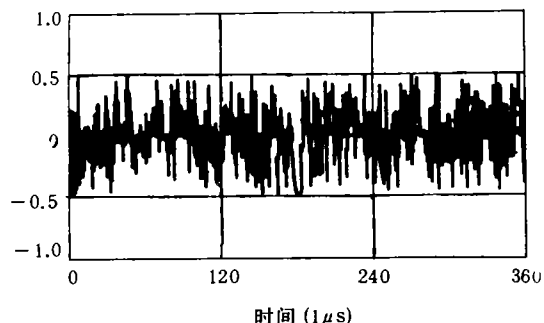


图2 高斯噪声样本

新推出的定点 DSP 芯片 TMS320C50 进行硬件设计. TMS320C50 的指令周期为 35 ns~50 ns, 并且具有 9k 为 16bit 的片内 RAM, 这使它能以在超级计算机上达到的速率工作.

高斯噪声发生器的硬件结构见图 3. 它基本上由 TMS320C50 芯片、EPROM 及静态 RAM 组成.

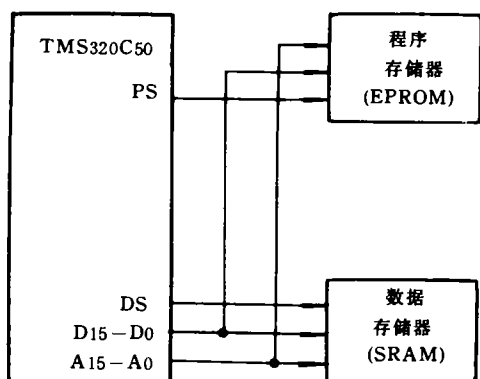


图3 硬件框图

TMS320C50 的内部有程序, 数据两条主总线. 对外部存储器通过 $\overline{PS}$ 、 $\overline{DS}$ 端选择空间. EPROM 用来存储运行程序. 复位后, 可将片外慢速 EPROM 中的程序装入片内^[6]; 改变片内 RAM 配置后, 使程序在片内执行, 大大提高了运算速度. 同时也降低了成本.

图 4 给出了 DAP 芯片实现软件编程的框图, 其中模 1/2 没有特别意义, 在定点运算时, 可以用定点数代替, 利用 TMS320C50 加法运算中的禁止溢出方式, 产生模相加的效果. 另应用声学

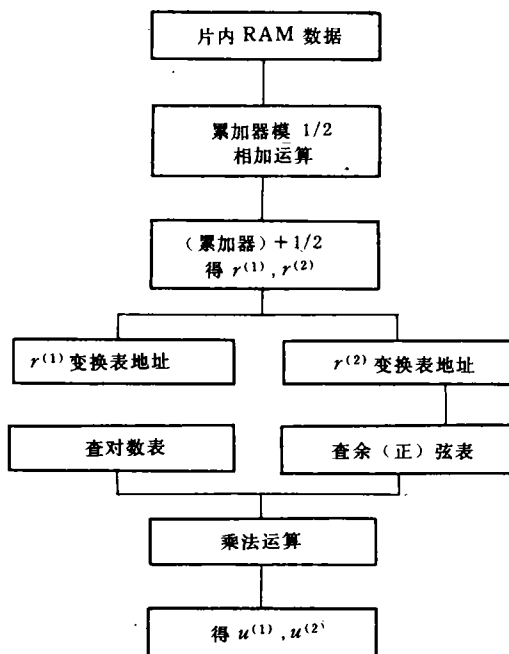


图4 软件流程

外对数 1 余(正)弦表也是定点形式.

4 实际应用结果

我们已将此种方法用于声纳信号模拟器的研制, 取得了很好的效果.

在模拟器中每片 TMS320C50 可产生两种相互独立、采样频率为 1 MHz(周期 1 μ s) 的高斯噪声. 这就使模拟器的结构简单、编程容易、速度快、效率高地完成信号仿真功能.

参 考 文 献

- [1] 李启虎, 声纳信号处理引论, 第一版. 北京: 海洋出版社, 1985. 405—409.
- [2] Rabimer L R. Gold B. Theory and application of digital signal processing. Englewood Cliffs; Prentice-Hall, Inc. 1975. 246—248.
- [3] Rader C M. Bell System Tech. J., 1970. 49: 2303—2310.
- [4] 中科院计算中心概率组. 概率统计计算, 第一版. 北京: 科学出版社, 1979. 357—361.
- [5] 李启虎等. 声学学报, 1993, 18(3): 204—209.
- [6] Texas Instruments. TMS320C50X User's Guide, Revision G. Houston; Texas Instruments, 1991. 22—29.