



Государственный комитет
СССР
по делам изобретений
и открытий

О П И С А Н И Е ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(61) Дополнительное к авт. свид-ву —

(22) Заявлено 05.04.78 (21) 2602866/18-24

с присоединением заявки № —

(23) Приоритет —

Опубликовано 30.06.80, Бюллетень № 24

Дата опубликования описания 30.06.80

(11) 744532

(51) М. Кл.²

G 06 F 1/02
G 07 C 15/00

(53) УДК 681.325
(088.8)

(72) Авторы
изобретения

Э.А.Баканович, В.И.Новиков, М.А.Орлов и С.Ф.Костюк

(71) Заявитель

Минский радиотехнический институт

(54) ГЕНЕРАТОР СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА

Изобретение относится к вычислительной технике и может быть использовано при построении моделирующей аппаратуры для исследования и оптимизации структурно-сложных систем.

Известен генератор случайных импульсов, в котором преобразуются случайные импульсные потоки с известными вероятностными характеристиками в случайные импульсные последовательности с требуемыми распределениями параметров импульсного потока. Этот генератор содержит датчики пуансоновских случайных импульсных потоков, блоки проведения случайных испытаний, блоки анализа результата случайных испытаний, блоки преобразования случайных величин в случайные числа или в случайные значения параметров импульсных потоков [1].

Основной недостаток этого генератора состоит в том, что он не позволяет формировать марковские процессы с конечным множеством состояний.

Наиболее близким техническим решением к изобретению является управляемый генератор потоков случайных событий, содержащий последовательно соединенные блок ввода, выполненный

на датчиках потоков случайных импульсов с регулируемой интенсивностью, блок схем совпадения, шифратор, регистр номера схем совпадения, схему блокировки, выход которой подключен к общему входу блока схем совпадения. Генератор формирует случайные события в результате случайных испытаний, заключающихся в одновременном отпирании по общему входу блока схем совпадения и установки в регистре кода, соответствующего номеру схемы совпадения, через которую прошел первый с момента начала испытания импульс датчиков блока ввода. Генератор импульсов и счетчик преобразуют полученное случайное число в случайный временной интервал [2].

Недостаток генератора состоит в том, что он не позволяет генерировать марковские процессы с конечным множеством состояний с дискретным и непрерывным временем.

Цель изобретения — расширение функциональных схем возможностей генератора за счет формирования однородных цепей Маркова с непрерывным и дискретным временем и конечным множеством состояний, последовательностей случайных чисел с заданной не-

1

2

5

10

15

20

25

30

стационарностью воспроизводимой функции распределения при автоматическом управлении параметрами и видом воспроизводимых генератором процессов.

Для достижения поставленной цели в генератор случайного процесса, содержащий группу датчиков потоков случайных импульсов, выходы которых подключены ко входам элементов И группы соответственно, выходы которых через шифратор соединены со входами регистра памяти, выходы которого являются выходами генератора и подключены ко входам элемента ИЛИ, управляющий вход элементов И группы подключен к выходу блока задания длительности испытания, введены блок управления, регистр адреса и группу блоков памяти, выходы которых соединены с управляющими входами датчиков потоков случайных импульсов группы соответственно, а входы блоков памяти группы через регистр адреса соединены с группой выходов блока управления соответственно, вход которого соединен с выходом элемента ИЛИ, первый и второй выходы блока управления соединены соответственно со входом блока задания длительности испытания и с управляющим входом регистра памяти, а группа входов блока управления подключена соответственно к выходам датчиков потоков случайных импульсов.

Кроме того, каждый датчик потоков случайных импульсов содержит последовательно соединенные генератор случайных импульсов, вероятностный $(1, m)$ -полюсник, группу элементов И, элемент ИЛИ, выход которого является выходом датчика, а управляющие входы группы элементов И являются управляющими входами датчика.

Автоматическое управление генератором предлагается организовать, во-первых, за счет изменения содержимого блоков памяти, что позволяет управлять интенсивностью датчиков потоков случайных импульсов, а, следовательно, и вероятностными характеристиками формируемых случайных процессов, во-вторых, за счет изменения программы функционирования блока управления, что дает возможность настраивать генератор на воспроизведение однородных цепей Маркова с дискретным и непрерывным временем, последовательности случайных чисел с заданной нестационарностью воспроизводимой функции распределения, n независимых последовательностей случайных чисел с заданными функциями распределения, где n - количество блоков памяти.

На чертеже представлена структурная схема устройства.

Генератор содержит группу 1 элементов И, шифратор 2, регистр 3 памяти.

элемент 4 ИЛИ, блок 5 задания длительности испытания, блок 6 управления, регистр 7 адреса, блок 8 памяти, датчики 9 потоков случайных импульсов, количество которых равно числу состояний цепи Маркова, и каждый из которых содержит генератор 10 случайных импульсов, вероятностный $(1, m)$ -полюсник 11 с импульсными выходами, группу 12 элементов И, дополнительный вход которого подключен к входу управления интенсивностью датчика 9 потока случайных импульсов, элемент 13 ИЛИ, выход которого является выходом датчика 9 потока случайных импульсов.

Последовательно соединенные группы 1 элементов И, шифратор 2, регистр 3 памяти, элемент 4 ИЛИ проводят и регистрируют случайные испытания.

Структура случайного испытания в предлагаемом генераторе не отличается от структуры испытаний известного и заключается в одновременном отпирании элементов И группы 1 с последующей фиксацией в регистре 3 номера элемента И группы 1, через который с момента начала испытания прошел первый импульс датчиков 9 потоков случайных импульсов. Поэтому, справедлива математическая модель генератора; устанавливающая зависимость интенсивности датчиков 9 потоков случайных импульсов от функции плотности воспроизводимого генератором распределения.

Входы блока 6 управления подключены к выходу элемента 1 И и выходам датчиков 9 потоков случайных импульсов с регулируемой интенсивностью. Блок 6 управления в соответствии с программой функционирования и сигналами на входах анализирует текущее состояние генератора, устанавливает новое содержимое регистра 7 адреса, выходы которого подключены к общим адресным входам блоков 8 памяти и управляет блоком 5 задания длительности случайного испытания. Тем самым, выполняется автоматическое считывание кодов из блоков 8 памяти, определяющих либо вероятности переходов цепи Маркова, в соответствии с текущим состоянием цепи, либо функцию распределения случайных чисел при воспроизведении стационарных или нестационарных последовательностей. Выходы блоков 8 памяти подсоединены к входам регулирования интенсивности соответствующих датчиков 9 потоков случайных импульсов. Каждый датчик 9 потоков случайных импульсов с регулируемой интенсивностью содержит последовательно соединенные генератор 10 случайных импульсов, вероятностный $(1, m)$ -полюсник 11 с импульсными выходами, группа 12 элементов И, вторые входы которого подключены к входу регулирова-

ния интенсивности датчика, элемент 13 ИЛИ, выход которого является выходом датчика, что позволяет изменять в произвольный момент времени интенсивность импульсного потока на выходе датчика в зависимости от цифровых сигналов на входе.

Работа устройства при формировании независимых последовательностей случайных чисел с заданными функциями распределения заключается в следующем.

Если генератор настроить на n распределений, то датчики 9 потоков случайных импульсов формируют на выходе простейшие импульсные потоки. Тогда для настройки генератора на n распределений с функциями плотности $f_k(x)$, задаваемыми вероятностями P_{ki} , определяем по формуле

$$P_{ki} = \int_{x_{i-1}}^{x_i} f_k(x) dx,$$

где K — номер распределения, $K = \overline{1, n}$, i — номер интервала квантования плотности распределения, $i = \overline{1, n}$, причем интервал квантования $\Delta x = x_i - x_{i-1} = \text{const}$ и не зависит от номера i , необходимо установить интенсивности λ_{ki} датчиков 9 потоков случайных импульсов

$$\lambda_{ki} = P_{ki} \sum_{i=1}^n \lambda_{ki}$$

Значение λ_{ki} записывается в блоке 8 памяти таким образом, что индекс i соответствует номеру блока 8 памяти, а индекс K — адресу ячейки в блоке. Например, значения λ_{1i} , $i = \overline{1, n}$, задающие плотность распределения с номером 1, записываются в первые ячейки всех n блоков 8 памяти, а номер блока определяется значением i . Так как аналогичные адресные входы блоков 8 памяти объединены, то при возбуждении одного из адресных входов, из всех блоков 8 памяти считываются значения λ_{ki} , соответствующие плотности распределения с номером K .

Датчики 9 потоков случайных импульсов выполнены таким образом, что позволяют получать линейную зависимость интенсивности потока на выходе от значения кода λ_{ki} на входе управления интенсивностью, вследствие чего достигается простота настройки и управления генератором. Генератор 10 потока случайных импульсов вырабатывает последовательность случайных импульсов с постоянной интенсивностью μ_0 , которые поступают на вход вероятностного (1, m)-полюсника 11 с импульсными выходами, формирующего случайные импульсные потоки с интенсивностями $\mu_j = \mu_0 \cdot 2^j$, где j — номер импульсного выхода (1, m)-полюсника; $j = \overline{1, m}$. Импульсные выходы вероятностного (1, m)-полюсника 11 подключены к первым входам блока 12 элементов И, вторые входы которого подключены к

выходам соответствующего блока 8 памяти, причем на входы элементов И группы 12 с номером j поступают соответственно импульсный поток с j -го выхода вероятностного (1, m)-полюсника 11 и двоичная цифра j -го разряда числа с выхода блока 8 памяти. Элемент 13 ИЛИ, выход которого является выходом датчика 9 потока случайных импульсов, выполняет суммирование потоков с выходом группы 12 элементов И. Таким образом, интенсивность потока на выходе датчика 9 потоков случайных импульсов определяется выражением

$$\mu_i = \sum_{j=1}^m \alpha_j \mu_j,$$

где α_j — двоичное значение j -го разряда числа с выхода соответствующего блока 8 памяти. В этом случае зависимость интенсивности потока на выходе датчика 9 потоков случайных импульсов от значения числа λ_{ki} с выхода блока 8 памяти носит линейный характер.

Рассмотрим работу генератора с момента, когда в блок 6 управления поступают сигналы внешнего управления, задающие плотность распределения с номером ℓ .

В регистре 7 адреса устанавливается триггер с номером ℓ и вырабатывается разрешающий сигнал на ℓ -выходе. В блоках 8 памяти из ячеек с номером ℓ считываются числа $\lambda_{\ell i}$, которые поступают на входы регулирования интенсивности датчиков 9 и устанавливают заданную интенсивность случайных импульсных потоков. Блок 6 управления вырабатывает сигналы, по которым сбрасывается в "0" содержимое регистра 3, блок 5 длительности случайного испытания открывает группу 1 элементов И и, тем самым, начинает случайное испытание. Первый прошедший через элементы И группы 1, случайный импульс датчиков 9 потоков случайных импульсов проходит через шифратор 2 и устанавливает в регистре 3 код, соответствующий номеру сработавшего элемента И группы 1. При установке в регистре 3 хотя бы одного триггера срабатывает элемент 4 ИЛИ, выходной сигнал которого поступает в блок 6 управления, блок 5 задания длительности испытания закрывает группу 1 элементов И, тем самым, прекращает случайное испытание. Значение случайного числа считывается с регистра 3.

При запуске на формирование следующего значения случайного числа блок 6 управления снова вырабатывает сигналы, по которым сбрасывается в "0" содержимое регистра 3, блок 6 задания длительности испытания открывает группу 1 элементов И, начинается случайное испытание и т.д.

В течение генерирования последовательности чисел с заданной функцией содержимое регистра 7 адреса не изменяется. При необходимости переключения генератора на формирование случайных чисел с другим, отличным от текущего номером функции распределения, в блок 6 управления поступают сигналы внешнего управления, по которым в регистре 7 адреса возбуждается соответствующий выход, из блоков 8 памяти выбирается новое значение λ_{kj} , изменяются интенсивности датчиков 9 потоков случайных импульсов и т.д. Сигналы внешнего управления выдаются как из ЭВМ, так и вводятся с фотосчитывающих или других устройств ввода.

Так как в процессе моделирования, как правило, требуется несколько независимых последовательностей случайных чисел с различными функциями распределения, то производительность генератора в этом режиме значительно выше, чем у одноканального датчика случайных потерь с автоматическим управлением из-за потерь времени на перезапись блоков памяти в процессе моделирования.

Рассмотрим работу генератора при формировании последовательности случайных чисел с заданной функцией нестационарности.

В отличие от предыдущего режима генератор вырабатывает только одну последовательность случайных чисел, но содержимое регистра 7 адреса, а следовательно, и считываемые из блоков 8 значения λ_{kj} , изменяются по программе, задаваемой в блоке 6 управления сигналами внешнего управления. Программа изменения содержимого регистра 7 адреса может не учитывать состояния генератора в предыдущие моменты времени. В этом случае сигналы с выходов датчиков 9 блоком 6 управления игнорируются. Если предыдущие состояния генератора учитываются, то сигналы с выходов датчиков 9 блоков 6 управления обрабатываются в соответствии с программой изменения адресов.

Рассмотрим работу генератора при моделировании однородных цепей Маркова с дискретным временем и конечным множеством состояний.

Пусть цепь Маркова имеет конечное множество из n состояний. Тогда для настройки на заданные вероятностные характеристики цепи достаточно загрузить в блоки 8 памяти датчика значения вероятностей перехода из стохастической матрицы Π цепи. Причем, если в матрице

$$\Pi = (P_{ij}),$$

текущее состояние цепи i , $i = 1, n$, определяет номер строки матрицы Π , последующее состояние цепи j , $j = 1, n$, определяет номер столбца в матрице

Π , то при записи в блоки 8 памяти вероятностей P_{ij} , значение j определяет номер блока, а значение i — ячейки в блоке. Следовательно, при возникновении разрешающего сигнала на выходе регистра 7 адреса с номером r , $r = 1, n$, с выходов блоков 8 памяти на входы регулирования интенсивности датчиков 9 потоков случайных импульсов числа P_{rj} , в результате чего интенсивности λ_j случайных потоков на выходах датчиков 9 задаются

$$\lambda_j = \frac{P_{rj}}{\sum_{j=1}^n \lambda_j}$$

и, таким образом, вероятность P_j того, что в результате случайного испытания в регистре 3 установится значение j , определяется значением P_{rj} вероятности перехода цепи Маркова.

Рассмотрим работу генератора, когда в блок 6 управления поступят сигналы внешнего управления, по которым в регистре 7 устанавливается адрес, определяющий начальное состояние цепи Маркова. Поступает сигнал внешнего управления на генерирование следующего состояния цепи. Блок 6 управления вырабатывает сигналы, по которым сбрасывается в "0" регистр 3, блок 5 длительности случайного испытания открывает группу 1 элементов И, и тем самым, начинает случайное испытание. Первый пришедший с момента начала испытания импульс датчиков 9 потоков случайных импульсов проходит через группу 1 элементов И, шифратор 2 и устанавливает в регистре 3 код, который соответствует следующему состоянию цепи Маркова. Одновременно этот же случайный импульс поступает на адресные входы блока 6 управления, который устанавливает в регистре 7 новое значение адреса. Срабатывает элемент 4 ИЛИ, блок 5 длительности испытания закрывает элементы И группы 1. Хотя на адресные входы блока 6 управления поступают случайные импульсы датчиков 9, содержимое регистра 7 адреса не изменяется. По новому значению адреса в регистре 7 считывается новая строка переходных вероятностей матрицы Π из блоков 8 памяти.

С поступлением сигнала внешнего управления на моделирование следующего состояния цепи блок 5 длительности случайного испытания сбрасывает в "0" регистр 3, открывает элементы И группы 1, и цикл работы повторяется.

Рассмотрим работу генератора при моделировании однородной цепи Маркова с непрерывным временем и конечным множеством состояний.

Функционирование устройства не отличается от предыдущего режима за исключением того, что группа 1 элементов И с момента начала моделирования постоянно открыта, а по каждому поступающему с выходов датчиков 9 случайному импульсу в регистре 3 изменяется значение кода состояния цепи Маркова. Одновременно, каждый случайный импульс датчиков 9 поступает на адресные входы блока 6 управления, выходные сигналы которого устанавливаются в регистре 7 адрес, по которому из блоков 8 памяти считываются значения вероятностей перехода P_{ij} , соответствующие новому состоянию цепи Маркова. Сигналы с выхода элемента 4 ИЛИ в этом режиме игнорируются. Программой функционирования в блоке 6 управления задаются различные комбинации рассмотренных режимов, например, на некоторых отрезках случайный процесс моделируется как цепь Маркова, на других — как нестационарный с заданными характеристиками нестационарности и т.д.

Предлагаемый генератор случайного процесса может быть использован как самостоятельное устройство для формирования случайного процесса. Однако, наиболее эффективно его применение совместно с управляющей ЭЦВМ или машиной общего назначения, что дает возможность разгрузить ЭЦВМ от достаточно трудоемкой программной имитации случайных процессов, а формирование таких процессов возложить на предлагаемый генератор. Это повышает производительность системы при решении задач статистического моделирования и позволяет автоматизировать процесс управления устройством. Широкие возможности автоматического управления как вероятностными характеристиками случайных процессов, так и видом воспроизводимого процесса (цепи Маркова, нестационарные последовательности и т.д.) выгодно отличают предлагаемый генератор от известных устройств.

Анализ показывает, что предлагаемый генератор случайного процесса обладает максимальным быстродействием по сравнению с известными, так как в структуре генератора применена схема быстрого случайного испытания, наиболее эффективно используются датчики потоков случайных импульсов блока ввода. Например, при моделировании цепи Маркова с непрерывным временем каждый случайный импульс блока ввода вызывает смену состояния цепи.

Однотипность применяемых блоков (датчики потоков случайных импульсов,

с регулируемой интенсивностью, блоки памяти) позволяет конструировать основные узлы генератора в виде интегральных модулей и выполнить весь генератор на нескольких платах. Небольшие размеры и достаточно широкие функциональные возможности предлагаемого генератора делают перспективным его использование в качестве специализированного модуля в процессорах ЭЦВМ.

Формула изобретения

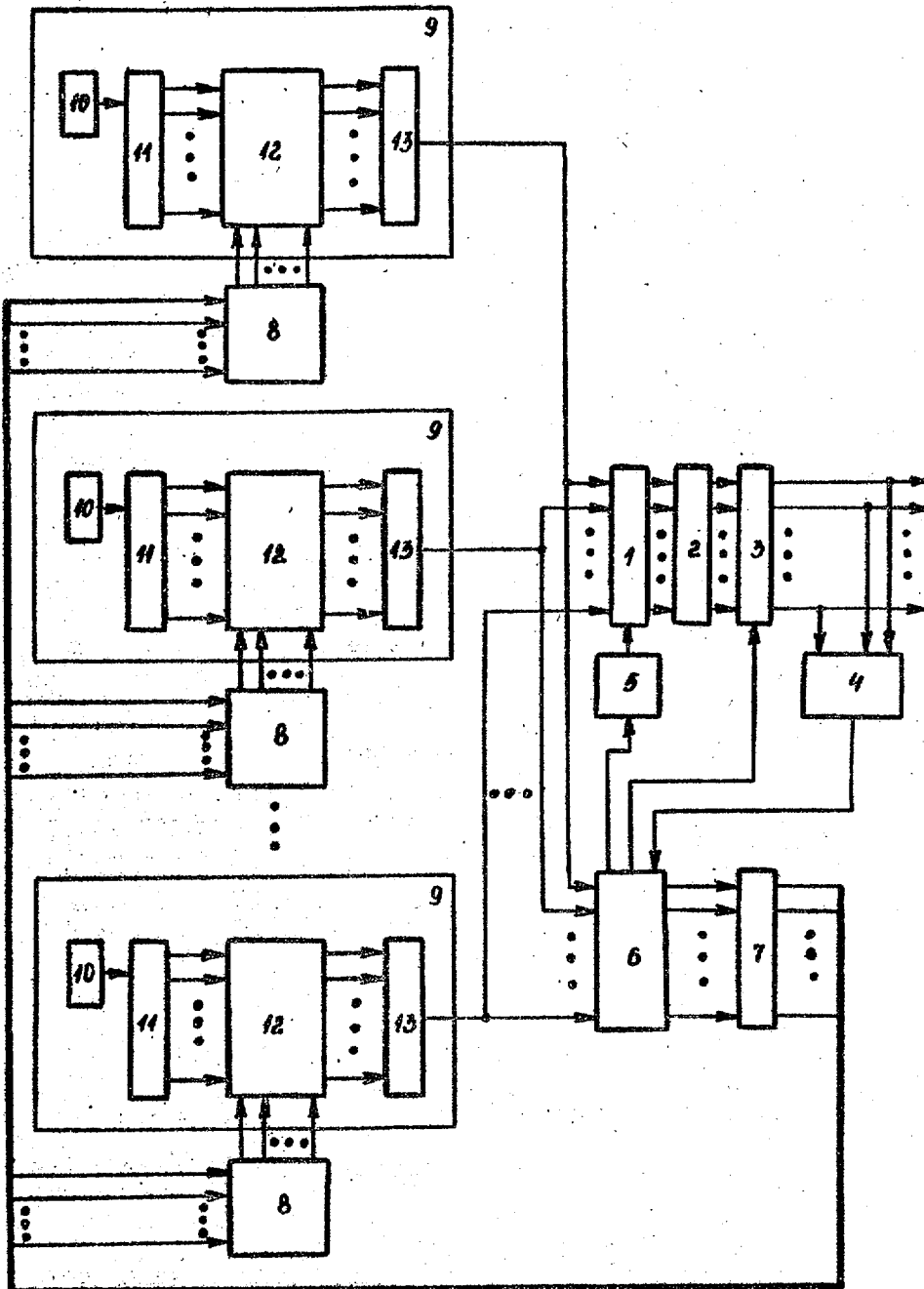
1. Генератор случайного процесса, содержащий группу датчиков потоков случайных импульсов, выходы которых подключены ко входам элементов И группы соответственно, выходы которых через шифратор соединены со входами регистра памяти, выходы которого являются выходами генератора и подключены ко входам элемента ИЛИ, управляющий вход элементов И группы подключен к выходу блока задания длительности испытания, отличающийся тем, что, с целью расширения функциональных возможностей генератора за счет моделирования марковских процессов, он содержит блок управления, регистр адреса и группу блоков памяти, выходы которых соединены с управляющими входами датчиков потоков случайных импульсов группы соответственно, а входы блоков памяти группы через регистр адреса соединены с группой выходов блока управления соответственно, вход которого соединен с выходом элемента ИЛИ, первый и второй выходы блока управления соединены соответственно со входом блока задания длительности испытания и с управляющим входом регистра памяти, а группа входов блока управления подключена соответственно к выходам датчиков потоков случайных импульсов.

2. Генератор по п.1, отличающийся тем, что каждый датчик потоков случайных импульсов содержит последовательно соединенные генератор случайных импульсов, вероятностный $(1, m)$ -полюсник, группу элементов И и элемент ИЛИ, выход которого является выходом датчика, а управляющие входы группы элементов И являются управляющими входами датчика.

Источники информации, принятые во внимание при экспертизе

1. Авторское свидетельство СССР № 504196, кл. G 06 F 1/02, 1975.

2. Авторское свидетельство СССР № 344431, кл. G 06 F 1/02, 1971 (прототип).



Редактор А. Долинич Составитель А. Карасов Техред М. Петко Корректор М. Демчик

Заказ 3792/11 Тираж 751 Подписное

ЦНИИПИ Государственного комитета СССР
по делам изобретений и открытий
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Филиал ППП "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4