



Государственный комитет
СССР
по делам изобретений
и открытий

О П И С А Н И Е ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(11) 857978

(61) Дополнительное к авт. свид-ву —

(22) Заявлено 06.12.79 (21) 2848620/18-24

с присоединением заявки № —

(23) Приоритет —

Опубликовано 23.08.81. Бюллетень № 31

Дата опубликования описания 23.08.81

(51) М. Кл.³

G 06 F 7/58
G 07 C 15/00

(53) УДК 681.325
(088.8)

(72) Авторы
изобретения

Э. А. Баканович, Н. А. Волорова и А. Н. Попов

(71) Заявитель

Минский радиотехнический институт

(54) ИМИТАТОР МНОГОМЕРНЫХ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН

1

Изобретение относится к вычислительной технике и может быть использовано при моделировании систем с учетом случайных внешних возмущающих факторов и случайных параметрических отклонений объектов, при создании стохастических вычислительных машин и многоканальных датчиков случайных сигналов.

Известно устройство формирования многомерных случайных сигналов с заданной матрицей спектральных плотностей, содержащее N источников исходного случайного сигнала, блок формирующих фильтров и блок сумматоров [1].

Однако это устройство не позволяет формировать многомерные случайные величины с заданным многомерным законом распределения вероятностей. Кроме того, наличие большого количества источников исходного случайного сигнала усложняет аппаратную реализацию устройства и ухудшает стабильность его характеристик.

Известен также многоканальный генератор случайных чисел, который содержит первичный источник случайных импульсов, блок формирования импульсов, фильтр низких частот, ключ, амплитудный селектор, блоки памяти, матричный:

2

переключатель, многофазный мультивибратор, регистр сдвига импульсов, делитель частоты и блок управления [2].

Однако это устройство формирует только независимые случайные числа и не обеспечивает моделирование многомерных случайных величин с произвольным заданным многомерным законом распределения вероятностей.

Наиболее близким техническим решением к предлагаемому изобретению является устройство для вероятностного моделирования, содержащее генератор равномерно распределенных случайных чисел, регистр адреса, блок памяти, регистр числа, регистр маски, блок сравнения и блок управления [3].

Недостатком этого устройства является то, что оно не позволяет формировать многомерные случайные величины с произвольным заданным многомерным законом распределения вероятностей, так как по заложенным принципам работы и структурной организации оно ориентировано на формирование одномерных случайных величин. При построении устройства использованы

сложные схемотехнические решения, что снижает его эффективность.

Цель изобретения — расширение функциональных возможностей за счет воспроизведения произвольных заданных многомерных законов распределения вероятностей и упрощение устройства.

Указанная цель достигается тем, что имитатор многомерных случайных величин дополнительно содержит генератор тактовых импульсов, первый и второй элементы задержки, первый и второй элементы И, триггер и сумматор, причем вход устройства соединен с первыми входами генератора тактовых импульсов и регистра числа, а также с установочным входом триггера, выход генератора тактовых импульсов подключен к входу первого элемента задержки, а также к первым входам элементов И, выход первого элемента задержки соединен с счетным входом триггера, первый выход триггера подключен к второму входу первого элемента И, а второй выход триггера соединен с вторым входом второго элемента И, выход которого подключен к второму входу блока памяти, а также к входам генератора равномерно распределенных случайных чисел и второго элемента задержки, выход которого соединен с вторым входом регистра числа и с первым входом сумматора, выход которого подключен к третьему входу первого элемента И, выход первого элемента И соединен с третьим входом регистра числа, N выходов которого являются выходами устройства и подключены к входу регистра адреса, а (N+1)-й выход регистра числа соединен с вторым входом генератора тактовых импульсов, выход генератора равномерно распределенных случайных чисел подключен к второму входу сумматора, третий вход которого соединен с выходом блока памяти.

На чертеже представлена блок-схема имитатора.

Имитатор содержит генератор 1 тактовых импульсов, первый элемент 2 задержки, триггер 3, первый элемент И 4, второй элемент И генератор 6 равномерно распределенных случайных чисел, сумматор 7, регистр 8 числа, второй элемент 9 задержки, блок 10 памяти и регистр 11 адреса.

Выход регистра 11 адреса соединен с первым входом блока 10 памяти. Вход устройства соединен с первыми входами генератора 1 тактовых импульсов и регистра 8 числа, а также с установочным входом триггера 3. Выход генератора 1 тактовых импульсов подключен к входу первого элемента 2 задержки, а также к первым входам элементов И. Выход первого элемента 2 задержки соединен со счетным входом триггера 3. Первый выход триггера 3 подключен к второму входу первого элемента И 4, второй выход триггера 3 соединен с вторым входом второго элемента И 5, выход которого подключен к вто-

рому входу блока 10 памяти, а также к входам генератора 6 равномерно распределенных случайных чисел и второго элемента 9 задержки. Выход второго элемента 9 задержки соединен с вторым входом регистра 8 числа и с первым входом сумматора 7, выход которого подключен к третьему входу первого элемента 4 И. Выход первого элемента 4 И соединен с третьим входом регистра 8 числа, N выходов которого, являющиеся выходами устройства, подключены к входу регистра 11 адреса, (N+1)-й выход регистра 8 числа соединен с вторым входом генератора 1 тактовых импульсов. Выход генератора 6 равномерно распределенных случайных чисел подключен к второму входу сумматора 7, третий вход которого соединен с выходом блока 10 памяти.

Имитатор многомерных случайных величин работает следующим образом.

Для формирования значения многомерной случайной величины $\bar{x} = \{x_1 + x_2, \dots, x_n\}$ на вход устройства подается сигнал "Пуск". Сигнал поступает на первый вход генератора 1 тактовых импульсов, а также на установочный вход триггера 3 и первый вход регистра 8 числа. Под воздействием сигнала "Пуск" генератор 1 тактовых импульсов начинает вырабатывать последовательность тактовых импульсов, триггер 3 переходит в нулевое состояние, и на его втором выходе вырабатывается разрешающий уровень, поступающий на второй вход второго элемента 5 И, а в регистре 8 числа устанавливается код 000...01 (единица в нулевом разряде).

Импульс, сформированный генератором 1 тактовых импульсов, проходит на выход второго элемента 5 И и воздействует на вход генератора 6 равномерно распределенных случайных чисел, на второй вход блока 10 памяти и на вход второго элемента 9 задержки. Генератор 6 равномерно распределенных случайных чисел вырабатывает значение случайного числа, равномерно распределенного на интервале (0,1). При поступлении импульса на второй вход блока 10 памяти производится считывание информации из ячейки, адрес которой находится в регистре 11 адреса. Регистр 11 адреса соединен с младшими k·N разрядами регистра 8 числа (установочные входы триггеров подключены к выходам регистра 8 числа) и информация, хранящаяся в регистре 8 числа, повторяется в регистре 11 адреса. Таким образом, при поступлении первого тактового импульса производится считывание информации из ячейки блока 10 памяти с адресом 00...01. В блоке 10 памяти хранятся данные о многомерной функции плотности распределения вероятностей $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, записанные в виде отрицательных чисел в обратном коде.

С выходов генератора 6 равномерно распределенных случайных чисел и блока 10 памяти числа импульсы поступают на второй и третий входы сумматора 7. По окончании интервала времени, задаваемого вторым элементом 9 задержки, тактовый импульс поступает на первый вход сумматора 7, разрешая выполнение операции сложения чисел, поступивших на второй и третий входы сумматора 7. Кроме того, с выхода второго элемента 9 задержки импульсы поступают на второй вход регистра 8 числа, в результате чего выполняется сдвиг числа в регистре 8 на один разряд влево (получается код 000-010).

При сложении чисел, поступивших на входы сумматора 7, на его выходе вырабатывается сигнал переноса из знакового разряда (0 или 1). Этот сигнал поступает на третий вход первого элемента 4 И.

Первый тактовый импульс, выработанный генератором 1 тактовых импульсов, спустя интервал времени, задаваемый первым элементом 2 задержки, поступает на счетный вход триггера 3 и переводит его в единичное состояние. При этом с первого выхода триггера 3 разрешающий сигнал передается на второй вход первого элемента 4 И.

Второй тактовый импульс, выработанный генератором 1 тактовых импульсов, в зависимости от сигнала, присутствующего на третьем входе первого элемента 4 И, может пройти на третий вход регистра 8 числа. Если на третий вход первого элемента 4 И с выхода сумматора 7 поступил единичный сигнал, вторым тактовым импульсом в младший разряд регистра 8 числа заносится единица, если же на третьем входе первого элемента 4 И присутствует нулевой сигнал, в младшем разряде регистра 8 числа сохраняется нулевой код.

По окончании интервала времени, задаваемого первым элементом 2 задержки, второй тактовый импульс поступает на счетный вход триггера 7 и переводит его в нулевое состояние. На этом заканчивается формирование старшего разряда N-ой составляющей многомерной случайной величины \bar{x} .

Каждый из последующих разрядов составляющих многомерной случайной величины \bar{x} формируется аналогично с использованием двухтактных импульсов, вырабатываемых генератором 1. Общее количество тактовых импульсов, которое затрачивается на формирование N-мерной случайной величины с k-разрядными составляющими, равно $2k \cdot N$.

По окончании формирования значения многомерной случайной величины (после выработки $2k \cdot N$ тактовых импульсов) в старшем разряде (N+1)-ый выход) регистра 8 числа оказывается единица, перемещения сдвигающими импульсами

из младшего разряда регистра 8 числа. Единичный сигнал с (N+1)-го выхода регистра 8 числа поступает на второй вход генератора 1 тактовых импульсов и запрещает формирование тактовых импульсов. При этом на N выходах регистра 8 числа находится значение составляющих многомерной случайной величины $\bar{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$.

Для формирования следующей реализации многомерной случайной величины необходимо подать сигнал "Пуск" на вход устройства, после чего цикл формирования повторяется. Имитатор может работать в автоматическом режиме при периодическом поступлении сигналов "Пуск".

Пусть необходимо формировать двумерную случайную величину $\bar{x} = \{x_1, x_2\}$, значения составляющих которой задаются двухразрядными кодами.

Многомерный закон распределения для \bar{x} задается следующим образом:

$$\begin{aligned}
 P(x_1=00; x_2=00) &= \frac{1}{32}; & P(x_1=10, x_2=0,1) &= \frac{3}{32}; \\
 P(x_1=0,1; x_2=00) &= \frac{1}{32}; & P(x_1=11, x_2=0,1) &= \frac{3}{32}; \\
 P(x_1=10; x_2=00) &= \frac{1}{32}; & P(x_1=00, x_2=10) &= \frac{3}{32}; \\
 P(x_1=11, x_2=00) &= \frac{1}{32}; & P(x_1=0,1; x_2=10) &= \frac{3}{32}; \\
 P(x_1=00; x_2=0,1) &= \frac{3}{32}; & P(x_1=1,; x_2=10) &= \frac{3}{32}; \\
 P(x_1=0,1; x_2=0,1) &= \frac{3}{32}; & P(x_1=11; x_2=10) &= \frac{3}{32}; \\
 P(x_1=00; x_2=11) &= \frac{1}{32}; & P(x_1=10; x_2=11) &= \frac{1}{32}; \\
 P(x_1=0,1; x_2=11) &= \frac{1}{32}; & P(x_1=11; x_2=11) &= \frac{1}{32};
 \end{aligned}$$

В имитаторе многомерных случайных величин используется метод последовательного формирования разрядов составляющих многомерной случайной величины, при этом последовательно сужается область возможных значений до тех пор, пока не будет определена единственная точка с координатами (x_1, x_2, \dots, x_N) .

Для реализации данного метода в блок 10 памяти записываются значения вероятностей попадания многомерной случайной величины на соответствующие участки области возможных значений. Для удобства выполнения последующих операций в блок 10 памяти записываются инверсные коды вероятностей.

Размещение данных по ячейкам выглядит следующим образом:

Адрес	Содержимое
0001	$1.01111 = (\neg P(x_2 < 10))_{обр}$
0010	$1.10111 = (\neg P(x_2 = 00/x_2 < 10))_{обр}$
0011	$1.00111 = (\neg P(x_2 = 10/x_2 \geq 10))_{обр}$
0100	$1.01111 = (\neg P(x_1 < 10/x_2 = 00))_{обр}$
0101	$1.01111 = (\neg P(x_1 < 10/x_2 = 01))_{обр}$
0110	$1.01111 = (\neg P(x_1 < 10/x_2 = 10))_{обр}$
0111	$1.01111 = (\neg P(x_1 < 10/x_2 = 11))_{обр}$

1000 1.01111 - $(-P(x_1 = 00/x_2 = 00, x_1 < 10))_{обр}$
 1001 1.01111 - $(-P(x_1 = 10/x_2 = 00, x_1 > 10))_{обр}$
 1010 1.01111 - $(-P(x_1 = 00/x_2 = 0, 1x_1 < 10))_{обр}$
 1011 1.01111 - $(-P(x_1 = 10/x_2 = 0, 1, x_2 > 10))_{обр}$ 5
 1100 1.01111 - $(-P(x_1 = 00/x_2 = 10, x_1 < 10))_{обр}$
 1101 1.01111 - $(-P(x_1 = 10/x_2 = 10, x_1 > 10))_{обр}$
 1110 1.01111 - $(-P(x_1 = 00/x_2 = 11, x_1 < 10))_{обр}$
 1111 1.01111 - $(-P(x_1 = 10/x_2 = 11, x_1 > 10))_{обр}$ 10

При подаче первого тактового импульса на второй вход блока 10 памяти считывается содержимое ячейки с адресом 0001 и на третий вход сумматора 7 поступает код 1.01111. Пусть генератор 6 равномерно распределенных случайных чисел по первому тактовому импульсу выработал код 11010. При сложении кодов сумматором 7 получается код

$$\begin{array}{r} 1.01111 \\ + \\ 0.11010 \\ \hline \leftarrow 10.01001 \end{array}$$

Таким образом, сумматор 7 выполняет операцию сравнения кода вероятности и кода равномерно распределенного случайного числа. 25

Единица переноса из знакового разряда записывается вторым тактовым импульсом в младший разряд регистра 8 числа. При подаче третьего тактового импульса в блоке 10 памяти считывается содержимое ячейки с адресом 0011, на третий вход сумматора 7 поступает код 1.00111. 30

При поступлении на генератор 6 равномерно распределенных случайных чисел кода 01110 в сумматоре 7 выполняется сложение

$$\begin{array}{r} 1.00111 \\ + \\ 0.01110 \\ \hline \leftarrow 01.10101 \end{array}$$

По окончании четвертого тактового интервала в регистре 8 числа находится код 00110. 40

При выработке последующих тактовых импульсов в сумматоре 7 выполняются следующие сложения:

$$\begin{array}{r} 5\text{-й тактовый импульс} \\ 1.01111 \\ + 0.00010 \\ \hline \leftarrow 01.10001 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 7\text{-й тактовый импульс} \\ 1.01111 \\ + 0.00111 \\ \hline \leftarrow 01.10110 \end{array}$$

По окончании 8-го тактового интервала в регистре 8 числа находится код 1.1000. Таким образом, сформировано значение многомерной случайной величины $\bar{X} = \{x_1 = 00, x_2 = 10\}$.

Подготовка данных о многомерной функции плотности распределения вероятностей, которые хранятся в блоке 10 памяти, выполняется либо вручную (при небольших значениях N и раз-

рядностей k составляющих многомерной случайной величины), либо с использованием ЭВМ.

Предлагаемый имитатор многомерных случайных величин реализуется с использованием интегральной элементной базы.

Технико-экономическая эффективность изобретения определяется тем, что оно обеспечивает по сравнению с известными устройствами возможность формирования случайных внешних возмущений и случайных параметрических отклонений объектов, характеристики которых описываются многомерными законами распределения вероятностей, что особенно важно при моделировании и испытаниях сложных технических систем; упрощение аппаратной реализации моделирующих устройств при сохранении таких показателей как быстродействие и точность; повышение производительности стохастических вычислительных машин и многоканальных датчиков случайных чисел. 20

Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Имитатор многомерных случайных величин, содержащий генератор равномерно распределенных случайных чисел, регистр адреса, выход которого соединен с первым входом блока памяти, и регистр числа, отличающийся тем, что, с целью расширения функциональных возможностей за счет воспроизведения произвольных заданных многомерных законов распределения вероятностей и упрощения устройства, он дополнительно содержит генератор тактовых импульсов, первый и второй элементы задержки, первый и второй элементы И, триггер и сумматор, причем вход имитатора соединен с первыми входами генератора тактовых импульсов и регистра числа, а также с установочным входом триггера, выход генератора тактовых импульсов подключен к входу первого элемента задержки и к первым входам элементов И, выход первого элемента задержки соединен с счет- 45 а второй выход триггера соединен с вторым подключен к второму входу первого элемента а второй выход триггера соединен с вторым входом второго элемента И, выход которого подключен к второму входу блока памяти, к входам генератора равномерно распределенных случайных чисел и второго элемента задержки, 50 выход которого соединен с вторым входом регистра числа и с первым входом сумматора, выход которого подключен к третьему входу первого элемента И, выход которого соединен с третьим входом регистра числа, N выходов которого являются выходами имитатора и подключены ко входу регистра адреса, а (N+1)-й выход регистра числа соединен со вторым входом генератора тактовых импульсов, выход 55

