

Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

УДК 681.5.13.681.3

Усама Салем АЛЬ-СИД

**ЦИФРОВЫЕ ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМЫЕ УСТРОЙСТВА
ИМИТАЦИИ ВИДЕОСИГНАЛОВ ДЛЯ СИСТЕМ
АВТОМАТИЗАЦИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЙ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной
техники и систем управления

Минск 2009

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Научный руководитель: Баканович Эдуард Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информатики учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Официальные оппоненты: Лобатый Александр Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных систем и технологий учреждения образования «Белорусский национальный технический университет»

Чудовский Валерий Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информатики Белорусского государственного университета.

Оппонирующая организация: Научно-исследовательский институт электронных вычислительных машин

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

При создании современных сложных систем материальные и временные затраты на проведение испытаний и моделирование процессов их функционирования могут существенно превосходить затраты на разработку и изготовление образцов систем этого вида. Поэтому автоматизация испытаний и моделирования сложных систем, в частности, радиотехнических комплексов, обеспечивает значительный экономический и научно-технический эффект за счет сокращения объема натурных испытаний, обеспечения единства испытаний и высокой степени адекватности условий испытаний и эксплуатации.

Моделирование и испытания электронных изделий и систем являются важнейшими стадиями их разработки и внедрения. Многочисленные процессы различной природы (электрические, электромагнитные, механические и т.п.), воздействующие на электронную аппаратуру при ее эксплуатации, являются случайными. Поэтому создание аппаратных и программных средств, ориентированных на использование в автоматизированных системах управления моделированием и испытаниями и позволяющих генерировать потоки случайных чисел, физических сигналов и процессов с программно-управляемыми временными, вероятностными, корреляционными и спектральными характеристиками, адекватными реальным процессам в системе, является актуальной задачей.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами

Диссертационная работа выполнена в Научно-исследовательской лаборатории систем автоматизации испытаний и моделирования случайных сигналов НИЧ БГУИР (НИЛ 1.10) в рамках следующих госбюджетных тем.

1. НИР «Разработка математических моделей сигнально-помеховой обстановки при имитационном моделировании радиотехнических комплексов в реальном масштабе времени». ГБЦ № 01-2017. – Раздел 3, Гос. рег. № 2004307.

2. НИОКР «Передача в опытную эксплуатацию, корректировка документации и подготовка к освоению производства комплексной имитационно-моделирующей установки для автоматизации научных исследований и испытаний сложных радиотехнических систем (КИМУ РТС)». ГЦБ № 05-1107-30. – Раздел 2, Гос. рег. № 20063422.

3. НИР «Создание теоретических основ построения и использования многофункциональных аппаратно-программных средств имитационного моделирования радиотехнических комплексов с учётом свойств среды их функционирования». ГБЦ № 05-3076. – Раздел 8, Гос. рег. № 20051581.

Кроме того, отдельные результаты диссертационной работы включены в отчёты по НИР, выполнявшейся НИЛ 1.10 в рамках Государственной научно-технической программы «Система» (Гос. рег. № 20064620).

Цель и задачи исследования

Цель – развитие элементов теории проектирования и применения программно-управляемых стохастических устройств, методов исследования таких устройств и обоснование выбора наиболее эффективного программно-управляемого вероятностного преобразователя для построения агрегируемых стохастических устройств и систем моделирования и испытаний на их основе.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Проанализировать области применения стохастических устройств и систем моделирования на их основе и сформулировать требования к структурным компонентам таких устройств.

2. Обосновать выбор рекуррентного программно-управляемого вероятностного преобразователя для построения многофункциональных стохастических устройств.

3. Разработать математические модели рекуррентного вероятностного преобразователя и корреляционных преобразователей случайных импульсных потоков.

4. Исследовать точность представления информации в вероятностном и корреляционном преобразователях.

5. Разработать и реализовать алгоритм имитационного статистического моделирования рекуррентного вероятностного преобразователя; с помощью этого алгоритма оценить качество математической модели преобразователя.

6. Привести структуры стохастических устройств и моделей сложных систем, использующие рекуррентный программно-управляемый вероятностный преобразователь и подтверждающие возможность реализации и эффективность принципа агрегирования при построении систем автоматизации моделирования и испытаний сложных технических объектов.

Объект исследования – вероятностные и корреляционные преобразователи для генерирования потоков случайных величин с управляемыми характеристиками.

Предмет исследования – математические модели программно-управляемых вероятностных и корреляционных преобразователей, а также способ агрегатирования стохастических устройств.

Положения, выносимые на защиту

1. Математическая модель рекуррентного программно-управляемого вероятностного преобразователя, позволяющая связать вид и числовые характеристики воспроизводимой функции распределения вероятностей с настроечными параметрами преобразователя – интенсивностями первичных потоков случайных сигналов.

2. Обоснование выбора программно-управляемого рекуррентного вероятностного преобразователя в качестве основного структурного компонента стохастических моделирующих устройств и систем.

3. Алгоритм имитационного моделирования рекуррентного управляемого вероятностного преобразователя (УВП), позволяющий оценить точность воспроизведения заданных функций распределения с учетом режимов работы циклического регистра сдвига (синхронный или асинхронный варианты).

4. Структуры различных моделей сложных систем (систем массового обслуживания, аппаратуры для имитации видеосигналов со случайными параметрами), строящихся на основе УВП рекуррентного типа.

Личный вклад соискателя

В диссертации изложены результаты работы, полученные автором лично или в соавторстве. В соавторстве с научным руководителем доцентом Бакановичем Э.А. были определены математические выражения для расчета изображений воспроизводимых функцией распределения вероятностей; разработаны структуры агрегируемых аппаратурных моделей систем массового обслуживания для произвольных программно-управляемых функций распределения вероятностей интервалов между соседними сигналами во входном потоке заявок, времени обслуживания заявок и допустимого времени пребывания заявок в очереди.

Апробация результатов диссертации

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях и семинарах.

1. 41-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (Минск, 2005).

2. 42-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (Минск, 2006).

3. Международная научно-техническая конференция, посвященная 45-летию МРТИ-БГУИР. Минск, БГУИР, 19-20 марта 2009 г.

4. Научно-методический семинар кафедры информатики УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (Минск, 2005).

5. Научно-методический семинар кафедры информатики УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (Минск, 2006).

6. Семинар Научно-исследовательской лаборатории систем автоматизации испытаний и моделирования случайных сигналов (Минск, 2006).

Опубликованность результатов

По материалам диссертации опубликовано 9 научных работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых журналах, 2 статьи, депонированные в БелИСА, 2 отчета о НИОКР, тезисы двух докладов на Международной научно-технической конференции.

Общий объем публикаций по теме диссертации, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, составляет 4,4 авторских листа.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка и двух приложений.

Первая глава диссертационной работы посвящена анализу особенностей сложных систем и основных методов их исследования. Отмечается важность учета влияния случайных факторов и в связи с этим целесообразность использования аппаратно-ориентированных средств имитационного статистического моделирования. Сформулированы общие требования к вероятностным преобразователям и указаны их классификационные признаки. Рассмотрены аппаратно-ориентированные алгоритмы имитации случайных процессов и основные об-

ласти эффективного применения стохастической аппаратуры. Показано, что наибольший эффект стохастические устройства могут дать при создании имитационно-моделирующих установок для исследования сложных систем.

Вторая глава содержит результаты исследования математической модели вероятностного преобразователя с учетом рекуррентной процедуры формирования случайных величин. На основе математической модели разработана инженерная методика выбора параметров преобразователя и оценки точности воспроизведения задаваемых функций распределенных вероятностей. Показана возможность программного управления интенсивностью первичных преобразуемых потоков для осуществления управления видом и числовыми характеристиками воспроизводимых функций распределения вероятностей.

В третьей главе рассмотрены различные аспекты имитационного моделирования рекуррентного вероятностного преобразователя. Результаты моделирования подтвердили работоспособность преобразователя и корректность его математической модели.

В четвертой главе рассмотрены возможности применения рекуррентных УВП для построения средств генерирования многопараметрических случайных импульсных потоков, для построения программно-управляемых корреляционных преобразователей и построения агрегируемых моделей сложных систем массового обслуживания.

В приложении А приведены результаты, уточняющие математическую модель рекуррентного УВП (выбор первичного потока, особенности кусочно-экспоненциальной аппроксимации, управление математическим ожиданием и реализация масштабирования). В приложении Б содержатся результаты имитационного моделирования рекуррентного вероятностного преобразователя при воспроизведении трех наиболее часто используемых распределений -- равномерного, экспоненциального и нормального.

Общий объем диссертации составляет 132 страницы, в том числе 40 рисунков на 32 страницах, 3 таблицы на 1 странице, 2 приложения на 15 страницах, библиографический список из 75 используемых источников (в том числе 7 авторских) на 7 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во *введении* проанализированы причины появления вычислительных и моделирующих устройств, использующих вероятностный принцип представления и обработки информации; отмечены основные достоинства этого вида вычислительной техники, в наибольшей степени проявляющиеся при создании сложных систем.

В *первой главе* приведены результаты анализа методов и средств статистического имитационного моделирования сложных систем. Проанализированы наиболее важные признаки, присущие современным техническим системам (структурная сложность, высокая степень компьютеризации и эргатичность, работа в реальном масштабе времени и случайный характер процессов, протекающих в сложных системах). Эти особенности определяют необходимость использования эффективных методов и средств их проектирования, в частности, вероятностных методов и стохастических вычислительных и моделирующих устройств. Реализация математических моделей сложных систем также предполагает широкое применение статистического моделирования.

Рассмотрены аппаратные средства реализации имитационного статистического моделирования, использующие вероятностные принципы представления и обработки информации. Вероятностные вычислительные и моделирующие устройства ориентированы прежде всего на использование в системах автоматизации научных исследований, испытаний и моделирования. На основе анализа областей эффективного применения вероятностных устройств и систем сформулированы требования к основным структурным компонентам стохастической аппаратуры – управляемым вероятностным и корреляционным преобразователям: возможность программного управления их работой, точность и стабильность воспроизведения требуемых распределений, возможность независимого управления параметрами распределений, простота структуры преобразователей и широкое применение для их построения стандартных цифровых элементов, многообразие форм представления формируемых случайных величин.

При проектировании программно-управляемых вероятностных преобразователей (ПУВП) должны быть решены задачи, наиболее актуальными из которых являются:

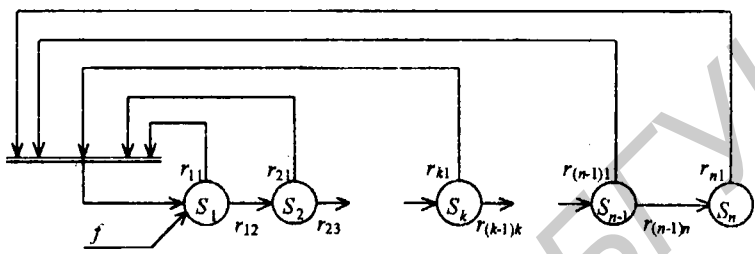
- 1) выбор вида первичных (преобразуемых) потоков сигналов и способа преобразования первичных потоков в поток случайных величин с требуемыми характеристиками;
- 2) создание математической модели вероятностного преобразователя;
- 3) исследование точности представления информации для финальных значений вероятностей;
- 4) выбор параметров преобразователя и оценка достоверности его работы при воспроизведении различных распределений.

Во *второй главе* приводится решение основных задач, возникающих при проектировании ПУВП.

Наибольший интерес представляет *математическая модель функционирования УВП*, связывающая воспроизводимую функцию распределения вероятностей и ее числовые характеристики с параметрами УВП и с управляемыми характеристиками первичных потоков. С учетом требуемой степени детализа-

ции описания преобразователя математическая модель может быть представлена в виде макрооператоров различных уровней.

Макрооператор первого уровня (обобщенная модель) иллюстрирует процесс функционирования УВП. Макрооператору этого уровня соответствуют синхронный вероятностный автомат и цифровая форма преобразования первичных потоков сигналов. Орграф функционирования такого автомата представлен на рисунке 1.



S_j – состояние вероятностного автомата;

r_{ij} – вероятность перехода автомата из состояния S_i в состояние S_j ($i, j = \overline{1, n}$)

Рисунок 1 – Орграф абстрактного вероятностного автомата, реализующего рекуррентную последовательность случайных испытаний

Макрооператор второго уровня соответствует аналого-цифровому принципу построения УВП и учитывает аппроксимацию воспроизводимой функции распределения в каждом интервале квантования.

При формировании случайных временных интервалов $\mathcal{A}(t)$, подчиняющихся заданной функции распределения, выполняются две рекуррентные процедуры.

1. Моделирование последовательностей полных групп из двух несовместных событий $H_{k,1}$ и $H_{k,k+1}$, $k = \overline{1, n}$. $H_{k,1}$ – событие, заключающееся в положительном исходе k -го случайного испытания и в переходе эквивалентного абстрактного вероятностного автомата в исходное состояние S_1 ; $H_{k,k+1}$ – событие, заключающееся в переходе эквивалентного автомата из состояния S_k в состояние S_{k+1} . Процесс формирования потока случайных величин реализуется в виде последовательности испытаний:

$$\dots; \underbrace{H_{5,6}}_{\mathcal{A}_{j-1}(t)}; \underbrace{H_{6,1}; H_{1,2}; H_{2,3}; H_{3,4}}_{\mathcal{A}_j(t)}; \underbrace{H_{4,1}; H_{1,2}; H_{2,3}; H_{3,1}}_{\mathcal{A}_{j+1}(t)}; \dots \quad (1)$$

2. При положительном исходе k -го случайного испытания в интервале $(\Delta t)_k = t_k - t_{k-1}$ осуществляется замена случайной величины $(k-1) \cdot \Delta t$ случайным временным интервалом:

$$\mathcal{A}_j(t) = (k-1) \cdot \Delta t + \tau_k(t) \cdot \delta(t - t_k), \quad (2)$$

где $\delta(\cdot)$ – дельта-функция;

τ_k – случайный временной интервал, подчиняющийся функции распределения вероятностей $F_k(\mathcal{G})$, определяемой свойствами первичного потока $\varphi_k(Z)$.

Функция $F_k(\mathcal{G})$ аппроксимирует функцию $F(t)$ на k -м интервале квантования.

Обобщенной модели рекуррентного УВИ ставится в соответствие последовательность переходов (испытаний) вида (1), возможных только в фиксированные моменты времени t_i , причем $t_i - t_{i-1} = \Delta t$. Формируемые в этом случае временные интервалы $\mathcal{G}_D(t)$ являются дискретными случайными величинами, функция распределения которых $F_D(t)$ имеет вид

$$F_D(t) = P\{\mathcal{G}_D(t) \leq \mathcal{G}_k(t)\} = \sum_{k=1}^n p_k \delta(t - t_i), \quad (3)$$

где p_k – вероятность появления в выходном (формируемом) потоке временного интервала длительностью $\mathcal{G}_{Dk}(t) = k \cdot \Delta t$.

На основе орграфа, представленного на рисунке 1, можно записать

$$r_{k,1} = P\{\mathcal{G}_D(t) = k\Delta t | \mathcal{G}_D(t) > (k-1)\Delta t\} = \frac{P\{\mathcal{G}_D(t) = k\Delta t\}}{P\{\mathcal{G}_D(t) > (k-1)\Delta t\}}. \quad (4)$$

Поэтому связь между значениями воспроизводимой функции распределения $F(t)$ в точках $k \cdot \Delta t$, $k = \overline{1, n}$, с управляемыми вероятностями переходов $r_{k,1}$ может быть представлена выражением

$$r_{k,1} = \frac{F(k\Delta t) - F[(k-1)\Delta t]}{1 - F[(k-1)\Delta t]}. \quad (5)$$

Выражение (5) позволяет для каждого испытания в последовательности (1) определить значение управляемого параметра преобразуемого входного потока, обеспечивающего требуемые вероятности наступления событий $H_{k,1}$ и $H_{k,k+1}$, $k = \overline{1, n}$.

Модель второго уровня для произвольных стационарных первичных потоков можно представить в виде системы уравнений:

$$r_i = P_{\Sigma_i}(\Delta t)_i = \frac{F(t_i) - F(t_{i-1})}{1 - F(t_{i-1})} = 1 - \lambda_i \int_{\Delta t}^{\infty} (\mathcal{G} - \Delta t) \cdot f_i(\mathcal{G}) \cdot d\mathcal{G}, \quad (6)$$

где r_i – вероятность появления по крайней мере одного сигнала первичного потока $\varphi_i(\mathcal{G})$ в течение времени Δt ;

$F(t_i)$ – значение функции распределения $F(t)$ в точке t_i ;

$f_i(\mathcal{G})$ – плотность распределения вероятностей длительностей интервалов \mathcal{G} между сигналами в первичном потоке $\varphi_i(\mathcal{G})$.

Для стационарных пуассоновских потоков система (6) существенно упрощается:

$$r_i = \frac{F(t_i) - F(t_{i-1})}{1 - F(t_{i-1})} = 1 - e^{-\lambda_i \Delta t}. \quad (7)$$

Решив системы уравнений (6) или (7) относительно λ_i , $i = \overline{1, n}$, можно определить интенсивности первичных стационарных потоков $\varphi_i(\mathcal{G})$, $i = \overline{1, n}$, которые должны быть установлены при воспроизведении заданной функции распределения $F(t)$.

В рассматриваемом рекуррентном УВП воспроизводимая функция распределения $F(t)$ в каждом интервале квантования $(\Delta t)_i$, $i = \overline{1, n}$, аппроксимируется в соответствии с (2) некоторой функцией, зависящей от параметров и характера функции $f_i(\mathcal{G})$. При использовании в качестве первичных пуассоновских потоков аппроксимирующая функция для i -го интервала квантования определяется выражением $F_i(\mathcal{G}) = 1 - e^{-\lambda_i \mathcal{G}}$. Используя (6), перейдем к изображению $\theta(t)$ воспроизводимой функции распределения $F(t)$:

$$\theta(t) = \int_0^T \frac{F'(t)}{1 - F(t)} dt. \quad (8)$$

Таким образом, для воспроизведения функции $F(t)$ в рассматриваемом УВП должно быть задано ее изображение, определяемое (8) (рисунок 2).

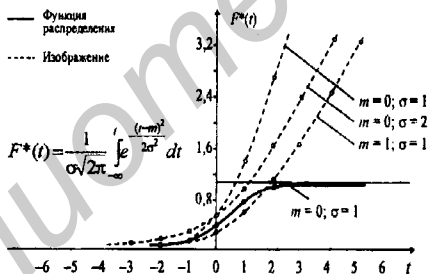


Рисунок 2 – Изображения функции нормального распределения

Математическая модель работы рекуррентного УВП позволяет проанализировать основные методические погрешности, определяющие точность воспроизведения заданной функции распределения $F(t)$. На основе результатов этого анализа разработана методика выбора параметров преобразователя, обеспечивающих требуемую точность. Функциональная схема программно-управляемого вероятностного преобразователя рекуррентного типа приведена на рисунке 5.

В *третьей главе* рассматриваются вопросы, связанные с имитационным моделированием рекуррентного вероятностного преобразователя. Разработанная система моделирования позволяет сократить объем работ по экспериментальному исследованию стохастических устройств.

Имитационное моделирование рекуррентного УВП предполагает сохранение его структуры и вероятностных свойств информационных потоков, а также логики работы всех компонентов преобразователя. Суть имитационного моделирования УВП заключается в формировании (с использованием алгоритма функционирования исследуемого УВП) потока случайных величин $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_j, \dots$, подчиняющихся заданной функции распределения $F(t)$ и соответствующих временным интервалам между моментами появления соседних сигналов в формируемом потоке. Путем статистической обработки потока временных интервалов θ , можно оценить влияние на точность и другие характеристики воспроизводимой функции распределения $F(t)$ отклонений параметров преобразователя и первичных преобразуемых потоков $\varphi(\mathcal{A})$ от рассчитанных. Например:

1) влияние точности задания и стабильности интенсивностей λ_i первичных пуассоновских потоков $\varphi(\mathcal{A})$, формируемых ДПСИ; с этой целью в каждом цикле моделирования (т.е. при формировании очередного случайного временного интервала) при расчете моментов времени появления сигналов в выбираемые из памяти коды интенсивностей могут вноситься случайные или детерминированные составляющие $\pm\Delta\lambda$;

2) влияние вида функции распределения интервалов между соседними сигналами в первичных потоках $\varphi(\mathcal{A})$ на точность работы УВП при фиксированных математическом ожидании и дисперсии случайных временных интервалов;

3) зависимость точности воспроизведения заданной функции распределения $F(t)$ от числа интервалов квантования n ($n = 8, 10, 16$ и т.д.);

4) использование синхронного или асинхронного вариантов построения УВП (зависимая или независимая работа датчика первичных потоков случайных импульсов (ДПСИ) и генератора тактовых импульсов (ГТИ));

5) стабильность и точность задания частоты работы ГТИ.

При построении имитационной модели особую роль играет макрооператор имитации работы первого разряда УВП. Прежде всего особенности макрооператоров имитации работы первого разряда ЦРС проявляются в зависимости от выбора синхронного или асинхронного варианта организации его работы. В значительной степени процедура моделирования зависит от выбора начального момента T_0 каждого цикла работы модели и структуры самого цикла моделирования.

Синхронный вариант построения имитационной модели предполагает, что при появлении сигнала на выходе УВП и при записи единицы в 1-й разряд ЦРС происходит «синхронизация» ГТИ, осуществляющего сдвиг единицы по ЦРС. При этом после записи единицы в 1-й разряд конъюнктор $\&1$ должен быть открыт в течение полного интервала времени Δt – до прихода следующего тактового импульса. В случае появления сигнала на выходе конъюнктора $\&1$

вновь осуществляется «синхронизация» ГТИ. При реализации синхронного варианта вероятность появления сигнала на выходе конъюнктора \mathcal{E}_1 в каждом цикле формирования определяется выражением $P_{\geq 1}(\Delta t)_1 = 1 - e^{-\lambda_1 \Delta t}$.

Асинхронный вариант предполагает, что ГТИ и ДПСИ работают независимо друг от друга. Поэтому интервал времени, в течение которого конъюнктор \mathcal{E}_1 , связанный с первым разрядом ЦРС, может быть открыт по потенциальному входу и равен $\Delta t = 1/f_{\text{ГТИ}}$ независимо от того, поступил один или более сигналов или не поступил ни один сигнал от ДПСИ-1 на выход конъюнктора \mathcal{E}_1 .

Использование асинхронного варианта приводит к усложнению математической модели УВП.

Так как ГТИ и все датчики ДПСИ работают независимо, то можно утверждать, что моменты t_i^* включения стробов на потенциальных входах конъюнкторов \mathcal{E}_i оказываются случайными по отношению к первичному потоку $\varphi_i(\mathcal{G})$ и точка t_i^* (рисунок 3) случайным образом «падает» на соответствующий интервал между соседними сигналами потока $\varphi_i(\mathcal{G})$.

Поэтому интервалы \mathcal{G}_i^j случайны, поскольку первичные потоки являются пуассоновскими и имеют такое же распределение, как и интервалы между соседними сигналами в первичном потоке $\varphi_i(\mathcal{G})$, т.е. $f_i(\mathcal{G}) = f_i(\mathcal{G}_i^j) = \lambda_i e^{-\lambda_i \mathcal{G}}$, $i = \overline{1, n}$. Индекс j в обозначении \mathcal{G}_i^j соответствует номеру цикла формирования интервала θ_j в выходном потоке сигналов, формируемых УВП.

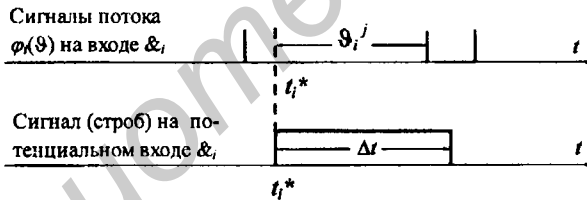


Рисунок 3 – Процесс формирования интервала \mathcal{G}_i^j

Это обстоятельство позволяет существенно упростить процедуру моделирования за счет формирования и регистрации не всех интервалов между соседними сигналами в потоках $\varphi_i(\mathcal{G})$, $i = \overline{1, n}$, а лишь интервалов \mathcal{G}_i^j для соответствующих первичных потоков $\varphi_i(\mathcal{G})$, $i = \overline{1, n}$.

Результаты моделирования рекуррентного УВП приведены в приложении 2.

В *четвертой главе* рассматриваются различные варианты практического применения программно-управляемого вероятностного преобразователя рекуррентного типа для построения стохастических устройств и моделей сложных систем. Приведенные примеры иллюстрируют приспособленность УВП этого типа к агрегатированию; это подтверждает обоснованность выбора ре-

куррентного преобразователя в качестве основного структурного компонента стохастической моделирующей аппаратуры.

Значительный интерес представляет применение УВН рекуррентного типа для построения *имитаторов многопараметрических случайных импульсных процессов* видеочастотного диапазона.

Спектральная плотность мощности $S(\omega)$ стационарного потока $u(t)$ непрерывяющихся импульсов с независимыми случайными амплитудами A_n , длительностями оснований τ_n , интервалами между импульсами T_n и нулевым математическим ожиданием определяется выражением

$$S(\omega) = \frac{1}{M[T]} M[A^2] M[|g(\omega, \tau)|^2], \quad (9)$$

где $M[\cdot]$ – оператор математического ожидания;

$g(\omega, \tau)$ – Фурье-образ функции $a(t)$ – формы импульса с единичными амплитудой A и длительностью τ .

С учетом дискретности параметра τ выражение для математического ожидания квадрата модуля спектра сигнала $a(t)$ принимает вид:

$$M[|g(\omega, \tau)|^2] = \sum_{k=1}^L |g(\omega, \tau_k)|^2 p_k,$$

где p_k – вероятность появления импульса с длительностью основания τ_k ;

L – число интервалов квантования функции распределения вероятностей $F(\tau)$.

Величины τ_k можно выразить через минимальную длительность импульса τ_1 в последовательности $u(t)$: $\tau_k = a_k \cdot \tau_1 (a_k + 1 > a_k)$. На основании теоремы масштаба для преобразования Фурье выражение для спектральной плотности мощности процесса $u(t)$ представим так:

$$S(\omega) = \frac{M[A^2]}{M[T]} \cdot \sum_{k=1}^L a_k^2 |g(a_k \omega, \tau_1)|^2 p_k. \quad (10)$$

Важным компонентом стохастических аппаратурных моделей являются *генераторы потоков корреляционно зависимых случайных событий* (кодов). Макрооператор преобразования случайного импульсного процесса, обуславливающий появление корреляционных связей, представлен на рисунке 4.

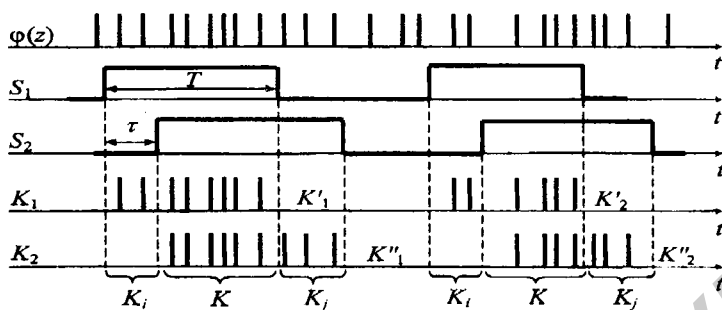


Рисунок 4 – Временная диаграмма действия оператора преобразования случайного импульсного потока

Первичный импульсный поток $\varphi(z)$ с известными вероятностными характеристиками стробируется детерминированными сигналами S_1 и S_2 одинаковой длительности T , сдвинутыми относительно друг друга на регулируемый интервал времени τ ($0 \leq \tau \leq T$). Результатом стробирования являются коды K_1 и K_2 , представляющие собой число сигналов потока $\varphi(z)$, поступивших в течение времени действия сигналов S_1 и S_2 соответственно.

При построении таких моделей наиболее полно проявляется продуктивность принципа агрегатирования – построения моделей различных типов из ограниченного числа функционально законченных блоков.

В качестве базового структурного компонента моделей СМО выбрана модель одноканальной однофазной системы с ожиданием (рисунок 5).

В этом случае возможно исследование систем при произвольных законах распределения интервалов между соседними заявками во входном потоке, при произвольных функциях распределения времени обслуживания заявок и различных емкостях устройства регистрации очереди. Дополнение базового блока управляемым регистром сдвига (УРС) с селективным гашением обслуженных заявок позволяет создавать модели систем массового обслуживания смешанного типа, исследовать СМО при различных величинах допустимого времени пребывания заявки в очереди $T_{\text{доп}}$ и получать информацию о свойствах потоков обслуженных, потерянных заявок, распределении очереди и времени занятости систем.

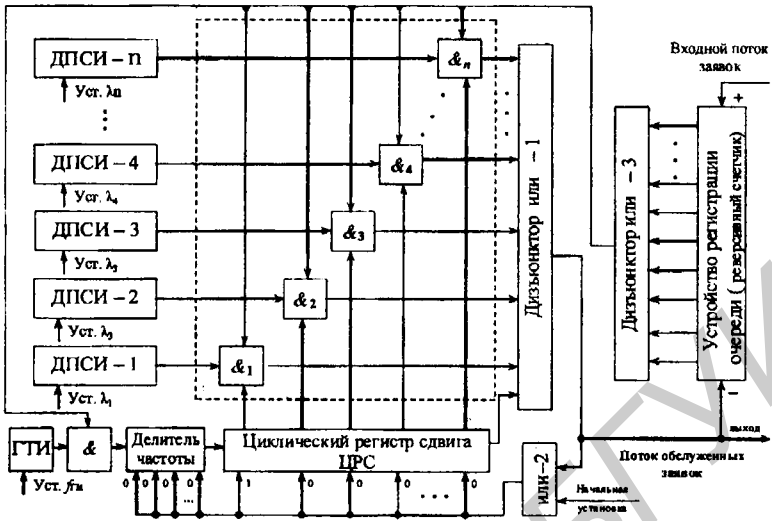


Рисунок 5 – Функциональная схема одноканальной однофазной модели системы массового обслуживания (базисный блок)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

Научная значимость диссертационной работы определяется следующим:

- приведены результаты исследования многофункционального программно-управляемого вероятностного преобразователя, являющегося основным структурным компонентом стохастических вычислительных и моделирующих устройств различных классов [1–А, 2–А];

- получены оценки финальных точностных характеристик вероятностных преобразователей, позволяющих осуществлять выбор параметров преобразователя для различных областей его применения [2–А, 3–А];

- обоснован выбор основных информативных параметров случайных импульсных процессов, позволяющих осуществлять управление спектральными характеристиками формируемых потоков случайных сигналов [3–А];

- приведены результаты анализа особенностей, характерных для сложных систем определенного вида, и основных методов их исследования, а также обоснованы области эффективного применения стохастических вычислительных и моделирующих устройств; на этой основе сформулированы требования к основным структурным компонентам стохастических устройств и систем – управляемым вероятностным преобразователям; показано, что наибольший эффект вероятностные устройства могут дать при создании имитационно-моделирующих установок для исследования сложных систем;

- получена уточненная математическая модель управляемого вероятностного преобразователя рекуррентного типа, связывающая вид и числовые характеристики воспроизводимых функций распределения с управляемыми параметрами первичных потоков сигналов; в модели уточнены структурные особенности рекуррентного УВП, в частности, организация управления работой первого разряда циклического регистра сдвига; приведены математические соотношения, позволяющие осуществить выбор первичного потока сигналов, оценить точность кусочно-экспоненциальной аппроксимации воспроизводимых распределений, осуществлять управление математическим ожиданием и масштабирование.

Разработанный алгоритм имитационного моделирования рекуррентного управляемого преобразователя учитывает конструктивные особенности УВП и позволяет оценить корректность математической модели преобразователя, точность воспроизведения вида требуемых функций распределения и их параметров. Предложенный алгоритм может выполнять функции программного генератора потоков случайных чисел с управляемыми законами распределения и случайных процессов с управляемыми параметрами.

Показана целесообразность использования принципов функционального и структурного агрегатирования для построения стохастических устройств и систем на их основе. Приведены функциональные схемы средств имитации видеосигналов с программно-управляемыми характеристиками, генераторов потоков корреляционно-зависимых случайных событий, агрегируемых моделей систем массового обслуживания различных видов; во всех этих моделях основную роль играют рекуррентные УВП, использование которых и обеспечивает гибкость структуры и эффективность вероятностных устройств.

Рекомендации по практическому применению результатов

Алгоритм имитационного моделирования рекуррентного УВП может быть использован для исследования рекуррентных УВП со стохастическим квантованием воспроизводимой функции распределения; алгоритм моделирования УВП может быть использован как средство генерирования потоков случайных величин, подчиняющихся произвольным функциям распределения вероятностей.

Рекуррентный программно-управляемый вероятностный преобразователь может быть использован для построения целого ряда стохастических устройств аппаратурных моделей систем массового обслуживания различных типов, генераторов потоков случайных сигналов видеочастотного диапазона с управляемыми характеристиками, моделей сетевых систем со случайными параметрами.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в научных журналах

1—А. Аль-Сид, Усама Салем. Математическая модель программируемого вероятностного преобразователя / Усама Салем Аль-Сид, Э.А. Баканович, Т.М. Кривоносова // Доклады БГУИР. — 2006. — №4 (16). — С. 64—71.

2—А. Аль-Сид, Усама Салем. Исследование точности представления информации в рекуррентном управляемом вероятностном преобразователе / Усама Салем Аль-Сид, Э.А. Баканович, Т.М. Кривоносова // Доклады БГУИР. — 2007. — №1 (17). — С. 120—124.

3—А. Генерирование многопараметрических случайных сигналов на основе макрооператоров преобразования случайных импульсных потоков / Э.А. Баканович, Н.А. Волорова, Т.М. Кривоносова, Усама Салем Аль-Сид // Доклады БГУИР. — 2007. — №3(19). — С. 113—119.

Тезисы докладов международной научно-технической конференции

4—А. Аль-Сид, Усама Салем. Аппаратные средства имитационного моделирования сложных систем/ Усама Салем Аль-Сид : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф., посвященной 45-летию МРТИ-БГУИР, Минск, 19-20 марта 2009г. — с 48.

5—А. Баканович, Э.А. Стохастические устройства на основе рекуррентного вероятностного преобразователя / Э.А. Баканович, Т.М. Кривоносова, Усама Салем Аль-Сид : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф., посвященной 45-летию МРТИ-БГУИР, Минск, 19-20 марта 2009г. — с 49.

Депонированные рукописи

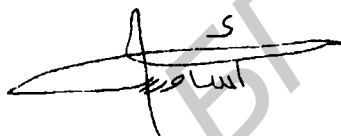
6—А. Баканович, Э.А. Рекуррентные управляемые вероятностные преобразователи (вариант детерминированного квантования). Ч. 1 / Э.А. Баканович, Усама Салем Аль-Сид, Т.М. Кривоносова; Беларус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. — Минск, 2005. — 35 с. — Деп. в БелИСА 25.01.2005, №Д20052 // Новости науки и технологий: науч.-практич. журн. — 2005. — №1(2). — С. 54.

7—А. Баканович, Э.А. Алгоритм имитационного моделирования рекуррентного вероятностного преобразователя. Ч. 2 / Э.А. Баканович, Усама Салем Аль-Сид, Т.М. Кривоносова; Беларус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. — Минск, 2006. — 21 с. — Деп. в БелИСА 07.04.2006, №Д00619 // Реферативный сборник непубликуемых работ: отчеты о НИОКР, ОКР, ОТР. — 2006. — Вып. 3(42). — С. 89.

Отчеты о НИР

8–А. Передача в опытную эксплуатацию, корректировка документации и подготовка к освоению производства комплексной имитационно моделирующей установки для автоматизации научных исследований и испытаний сложных радиотехнических систем (КИМУ РТС): отчет о НИОКР (заключительный) – Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; рук. Э.А. Баканович. - Минск, 2006. -78 с. – №ГР 20063422.

9–А. Создание теоретических основ построения и использования многофункциональных аппаратно-программных средств имитационного моделирования радиотехнических комплексов с учетом свойств среды их функционирования: отчет о НИР (заключительный) / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; рук. Э. А. Баканович. - Минск, 2005. - 85 с. – №ГР 20051581.

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized, elongated shape with a vertical stroke through the middle and a horizontal stroke at the top right.

**лічбавыя праграмна- кіруемыя прыборы імітацыі відэасігналаў
для сістэм аўтаматызацыі мадэлявання і выпрабаванняў**

Ключавыя словы: імітацыйнае статыстычнае мадэляванне, стахастычны прыбор, імавернасны пераўтваральнік, сістэма масавага абслугоўвання, прыныцп агрэгатавання.

Аб'ектам даследавання з'яўляюцца імавернасныя і карэляцыйныя пераўтваральнікі для генеравання струменяў выпадковых велічынь з кіраванымі характарыстыкамі. *Прадмет даследавання* – матэматычныя мадэлі праграмна-кіраваных імавернасных і карэляцыйных пераўтваральнікаў, а таксама спосаб агрэгатавання стахастычных прылад пры арганізацыі апаратурных мадэляў складаных сістэм.

Мэтай дысертацыйнай работы з'яўляецца развіццё элементаў тэоры праектавання і прымянення стахастычных прыбораў, метадаў іх даследавання і выбар эфектыўнага праграмна-кіраванага імавернаснага пераўтваральніка для агрэгатуемых стахастычных мадэляў.

Работа ўключае шэраг новых тэарэтычных і прыкладных вынікаў, звязаных з стварэннем лічбавых праграмна-кіраваных прыбораў для генеравання струменяў выпадковых велічынь і сігналаў з праграмна-кіраванымі імавернаснымі і карэляцыйнымі характарыстыкамі. Прааналізаваны асноўныя вобласці ўжывання стахастычных прылад і сістэм са стахастычнымі кампанентамі. Сфармуляваны патрабаванні да асноўных кампанентаў стахастычнай апаратуры – праграмна-кіраваным імавернасным і карэляцыйным пераўтваральнікам; абраны рэкурэнтны імавернасны пераўтваральнік, які адказвае сфармуляваным патрабаванням.

Распрацавана матэматычная мадэль рэкурэнтнага імавернаснага пераўтваральніка і даследавана дакладнасць прайгравання патрабаваных функцый размеркавання. Прапанаваны метады праграмнага кіравання інтэнсіўнасцю першасных (ператваральных) струменяў сігналаў, заснаваны на інварыянтнасці пуасонавага струменя па стаўленні да аперацыі імавернаснага прарэджвання. Для даследавання якасці матэматычнай мадэлі распрацаваны алгарытм імітацыйнага мадэлявання рэкурэнтнага імавернаснага пераўтваральніка. Шырокія функцыянальныя магчымасці рэкурэнтнага імавернаснага пераўтваральніка ілюструюцца структурамі стахастычных прылад і апаратурных імавернасных мадэляў: імітатара выпадковых сігналаў відэа-частотнага дыяпазону, прылад генеравання струменяў карэляцыйна залежных выпадковых велічынь, мадэляў сістэм масавага абслугоўвання.

Усама Салем Аль-Сид

Цифровые программно-управляемые устройства имитации видеосигналов для систем автоматизации моделирования и испытаний

Ключевые слова: имитационное статистическое моделирование, стохастическое устройство, вероятностный преобразователь, система массового обслуживания, принцип агрегатирования.

Объект исследования: вероятностные и корреляционные преобразователи для генерирования потоков случайных величин с управляемыми характеристиками.

Предмет исследования: математические модели программно-управляемых вероятностных и корреляционных преобразователей, а также способ агрегатирования стохастических устройств.

Цель работы: развитие элементов теории проектирования и применения стохастических устройств, методов их исследования и выбор эффективного вероятностного преобразователя для агрегируемых стохастических моделей.

Работа содержит ряд новых теоретических и прикладных результатов, связанных с созданием цифровых устройств для генерирования потоков случайных величин и сигналов с программно-управляемыми вероятностными и корреляционными характеристиками. Проанализированы основные области применения стохастических устройств и систем со стохастическими компонентами. Сформулированы требования к основным компонентам стохастической аппаратуры – программно-управляемым вероятностным и корреляционным преобразователям – и выбран рекуррентный вероятностный преобразователь, в наибольшей степени соответствующий сформулированным требованиям.

Разработана математическая модель рекуррентного вероятностного преобразователя и исследована точность воспроизведения требуемых функций распределения. Предложен метод программного управления интенсивностью первичных (преобразуемых) потоков сигналов, основанный на инвариантности пуассоновского потока по отношению к операции вероятностного прореживания. Для исследования качества математической модели разработан алгоритм имитационного моделирования вероятностного преобразователя.

Широкие функциональные возможности вероятностного преобразователя этого вида иллюстрируются структурами стохастических устройств и аппаратных вероятностных моделей: имитатора случайных сигналов видеочастотного диапазона, устройств генерирования потоков корреляционно зависимых случайных величин, моделей систем массового обслуживания.

SUMMARY

Usama Salem Al-Said

Program-controlled digital devices for video signals imitation for systems of modelling and tests automation.

Key words: imitating statistical modelling, the stochastic device, probabilistic converter, system of mass service, principle aggregated.

Object of research are probabilistic and correlation converters for generating streams of random variables with controlled characteristics.

An object of research – mathematical models of program-controlled probabilistic and correlation converters, and also a way aggregated stochastic devices.

The aim of dissertational work is development of the elements of the theory of designing and application of stochastic devices, methods of their research and the choice of effective probabilistic converter for aggregated stochastic models.

This work contains a number of the new theoretical and applied results connected to creation of digital devices for generating of streams of random variables and signals with program-controlled probabilistic and correlation characteristics. The basic scopes of stochastic devices and systems with stochastic components are analysed. Requirements to the basic components of the stochastic equipment – program-controlled probabilistic and to correlation converters - are formulated, and a recurrent probabilistic converter adequate to formulated requirements is chosen.

The mathematical model of recurrent probabilistic the converter is developed and accuracy of reproduction of required functions of distribution is investigated. The method of program management of intensity of primary (transformable) streams of signals, based on invariancy Poisson a stream in relation to operation probabilistic decimation is offered. For research of the quality of mathematical model the algorithm of imitating modelling probabilistic converter is developed.

Wide functionalities probabilistic the converter of this kind are illustrated by structures of stochastic devices and hardware probabilistic models: the simulator of casual signals of a videofrequency range, devices of generating of streams correlation dependent random variables, models of queueing systems.

Научное издание

Усама Салем АЛЬ-СИД

**ЦИФРОВЫЕ ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМЫЕ
УСТРОЙСТВА ИМИТАЦИИ ВИДЕОСИГНАЛОВ
ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ
И ИСПЫТАНИЙ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной
техники и систем управления

Подписано в печать	04.05.2009.	Формат 60x84 ¹ / ₁₆ .	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Печать ризографическая.		Усл. печ. л. 1,63.
Уч.-изд. л. 1,4.	Тираж 60 экз.		Заказ 289.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровки, 6.