

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
Киевский политехнический институт

На правах рукописи

НГУЕН Тхи Фьонг Ловн

УДК 519.87:681.3.06

МЕТОД КОНКАТЕНАЦИИ ДЛЯ БЫСТРОГО ГЕНЕРИРОВАНИЯ
ЭРГОДИЧЕСКИХ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Специальность: 05.13.01 - Управление в технических
системах

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев, 1994



00756876 (\$)

Робота виконана на базі автоматичної системи управління в технічних системах Київського політехнічного інституту.

Научний керівник - доктор технічних наук, професор
Л.Ф.КОМПАНЕЦЬ.

Офіційні опоненти: - доктор фізико-математических наук,
професор
А.Ф.ТУРБИН

- кандидат технічних наук, доцент
А.Г.КИКУ

Ведущая организация - Институт кибернетики им. В.М.Глушкова
АН Украины.

Защита диссертации состоится "14" 02 1994 г. в
15⁰⁰ часов на заседании специализированного Совета К 068.14.01
в Киевском политехническом институте, 252056, г. Киев, проспект
Победы 37, корп. 22, ауд 503.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Киевского
политехнического института.

Автореферат разослан "11" 01

1994 ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

Учений секретарь
спеціалізованого Ради,
канд.техніч.наук, доцент

В.И.ШУЛЬГА

А Н Н О Т А Ц И Я

Цель диссертационной работы - теоретическая разработка метода и информационной технологии цифрового генерирования эргодических псевдослучайных процессов (ПСП) с задаваемыми пользователем корреляционной функцией (КФ) и одномерной плотностью распределения (ОПР). Новые свойства технологии: минимальное среди известных методов время вычислений; автоматическая настройка /перенастройка программной системы на задаваемые пользователем КФ и ОПР; обеспечение назначаемого информационного качества (ИК) реализации.

Для достижения цели были решены следующие задачи:

1. Сформулированы современные требования к новому методу генерирования ПСП.

2. Модифицирована неканонически представленная модель ПСП в виде модели конкатенации отрезков косинусоид со случайными параметрами и теоретически обосновано свойство эргодичности модели.

3. Разработана и экспериментально исследована информационная технология с указанными новыми свойствами.

На защиту выносятся следующие научные положения:

1. МЕТОД автоматического моделирования эргодических ПСП с задаваемыми пользователем КФ и ОПР, который основан на модели конкатенации сформированных в соответствии с неканонически представленной моделью ПСП отрезков косинусоид со случайными частотой, амплитудой, фазой и имеющих сравнимую с радиусом корреляции длительность.

2. МОДИФИЦИРОВАННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ неканонически представленного эргодического ПСП, задаваемого КФ и ОПР, и, обеспечивающая назначаемое пользователем ИК реализации, в которой используется операция конкатенации отрезков случайных косинусоид.

3. АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ СХЕМА МЕТОДА, включающая ряд новых информационных процедур, и МЕТОДИКА определения рациональных значений основных параметров алгоритма: количества отрезков косинусоид, шага дискретизации, количества отсчетов процесса.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ работоспособности метода и подтверждения его быстродействия.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ. Тенденция широкой компьютеризации в области разработки цифровых систем управления, систем обработки сигналов и изображений, коммуникационных и других систем обуславливают две существенные тенденции: значительное повышение интереса к использованию вероятностно-статистического аппарата в научно-технических приложениях; разработку новых информационных средств и технологий, включая интеллектуальные, для моделирования практически интересных в современных приложениях стохастических систем, объектов и ситуаций с задаваемыми пользователем вероятностными характеристиками и информационным качеством (ИК). Под (ИК) далее подразумевается степень информационного (по К. Шеннону) расхождения пары характеристик (напр., КФ и ОПР), удовлетворяющих свойствам плотности распределения.

Несмотря на многочисленные разработки статистических (аппаратных и программных) систем (см. обзор Американской статистической ассоциации), а также разработки подобных систем в СНГ и за рубежом (Расцепляев Ю. С., Полляк Ю. Г., M. Shinozuka, J. W. Abdul - Sada, Шалыгин А. С., Сильвестров Д. С., Компанец Л. Ф. и др.) проблема моделирования псевдослучайных процессов (ПСП) с учетом требований массового пользователя не решена в полном объеме. В Киевском политехническом институте под научных руководством Л. Ф. Компанца в последнее время разработана концепция и реализованы программные системы с элементами интеллектуальности для моделирования случайных событий, потоков, величин, процессов и полей, в которых модель предметной области формализована в виде специфичного ролевого фрейма.

Постановка задачи настоящих исследований была обусловлена специфической синтеза статистических систем указанного класса. Сущность исследований состояла в разработке эффективного в вычислительном отношении метода генерирования эргодических ПСП, как одного из названных типов стохастических объектов, которому свойственны следующие основные новые свойства: реализации ПСП обладают задаваемыми пользователем КФ и ОПР и имеют назначаемое им ИК; время моделирования реализации в несколько раз меньше времен

моделирования известными методами; настройка / перенастройка программной системы на конкретные структурно-параметрические типы КФ и ОПР, а также обеспечение назначаемого уровня ИК осуществляется системой оперативно и в диалоговом режиме.

Разработка такого метода является предпосылкой к созданию статистических систем нового поколения и поэтому представляется достаточно актуальной.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. При разработке использованы методы теории вероятностей и математической статистики, статистической теории информации, вероятностного имитационного моделирования, а также, частично, основы теории систем искусственного интеллекта.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА работы состоит в том, что в ней впервые:

1. Сформулирована и развита идея обеспечения свойства эргодичности реализации ПСП для неканонически представленного процесса с помощью конкатенации отрезков косинусоид со случайными параметрами, что обеспечивает как процедуру строгого нахождения параметров алгоритма по задаваемым КФ и ОПР, так и минимизирует (устраняет) избыточность отсчетов ансамбля.
2. Исследованы алгоритмические особенности модифицированной неканонически представленной модели эргодического ПСП с задаваемыми КФ и ОПР.
3. Обоснована и реализована возможность автоматического генерирования реализаций ПСП с задаваемыми КФ и ОПР и назначаемым ИК.
4. Обоснована и реализована высоко эффективная информационная технология генерирования указанного типа ПСП, обладающая свойством быстродействия.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ. 1. Синтезированная программная система позволяет с приемлемыми затратами массовому пользователю генерировать эргодические ПСП с задаваемыми КФ и ОПР и назначаемым ИК, что качественно расширяет как область, так и доступность использования вероятностно-статистического аппарата в приложениях. Это также повышает корректность исследований и дает возможность работать с нелинейными моделями. 2. Результаты позволяют дополнить перспективные системы программирования типа Turbo Pascal, Turbo C и др. утилитами для моделирования случайных величин, процессов и полей вместо используемых в настоящее время процедур генерирования равномерных на $[0,1]$ случайных чисел с неконтролируемым ИК. 3. Обратный метод может быть использован во многих

приложениях, например, для быстрой локализации и распознавания объектов на изображении, при криптографировании информации и др.

ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ. При непосредственном участии автора результаты исследований применены в следующих разработках: система компьютерного зрения ОЧІ91-КПИ для автоматического контроля целостности фотопреобразователей солнечных батарей по их телевизионному изображению (НИИ проблем механики "Ритм", г.Киев); пакет прикладных программ имитационного моделирования специальных случайных сигналов в цикле лабораторных работ по двум учебным курсам (кафедра автоматики и управления в технических системах КПИ).

АПРОВАЦИЯ РАБОТЫ. Научные результаты и основные положения работы докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры автоматики и управления в технических системах КПИ.

ПУБЛИКАЦИЯ. По материалам диссертации опубликовано 4 работы, среди которых один отчет по НИР, выполненной кафедрой (автор является соисполнителем).

ОБЪЕМ И СТРУКТУРА РАБОТЫ. Диссертационная работа содержит введение, 3 главы, заключение, приложение. Общий объем работы 156 с., в том числе основной текст 72 с.; 61 рис. (61 с.); 7 табл. (7 с.); список использованной литературы, включающий 101 источник (10 с.); приложение на 6 с.

Во ВВЕДЕНИИ сформулированы научная проблема, цель работы, основные задачи исследования, защищаемые научные положения, другие обязательные сведения, сведения о внедрении результатов.

В ПЕРВОЙ главе изложена постановка задачи исследований и сущность метода быстрого моделирования ПСП с задаваемыми КФ и ОПР и назначаемым ИК. Предложена модифицированная модель неканонически представленного ПСП - модель конкатенации отрезков косинусоид.

Во ВТОРОЙ главе разработаны алгоритмические, метрологические и системотехнические проблемы реализации информационной технологии, основанной на модели конкатенации. Разработаны процедуры: устранения избыточности количества отсчетов реализации; автоматического обеспечения ИК. Синтезирована структура программной системы.

В ТРЕТЬЕЙ главе изучены основные механизмы метода и подтверж-

дено его быстродействие.

В ЗАКЛЮЧЕНИИ приведены основные результаты работы. В ПРИЛОЖЕНИИ представлены материалы, отражающие внедрение результатов в учебный процесс и в инженерную разработку.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

В гл. 1 изложена суть метода быстрого автоматического генерирования эргодических ПСП повышенной информативности (с задаваемыми пользователем КФ и ОПР) с учетом современных требований. Выполнен анализ шести известных подходов к генерированию ПСП по потребительским и алгоритмическим показателям. Сформулирована постановка задачи разработки технологии быстрого генерирования с элементами интеллектуальности. Показана перспективность использования неканонически представленных моделей ПСП.

Далее изучены общие и предельные свойства неканонически представленных моделей ПСП

$$Y(t) = A \cos(\Omega t + \phi) \quad (1)$$

$$Y_N(t) = \delta(2/N)^{1/2} \sum_{k=1, N} \cos(\Omega_k t + \phi_k) \quad (2)$$

где A , Ω , ϕ - попарно независимые ПСП с плотностями $P_\lambda(s)$, $P_\Omega(u)$ и $P(\phi) = \text{Rav}[0, 2\pi]$; N - количество копий процесса; $R(\tau)$ и $P(y)$ - задаваемые КФ и ОПР; δ - среднеквадратическое отклонение ПСП.

Показано, что изученные также другими авторами модели (1) и (2) не удовлетворяют постановке задачи по показателям: повышенной информативности, времени генерирования, эргодичности.

Впервые предложена неканоническая модель ПСП, формируемая на основе процедуры конкатенации отрезков косинусоид со случайными частотой, фазой и амплитудой.

$$Y_{M(\text{Mod}, N)}(t) = \& \lambda_i \cos(\omega_i t + \phi_i) \quad (3)$$

$$i = \overline{1, N}$$

$$r_k = \tau * \text{Mod}$$

$$M = N * \text{Mod}$$

где $\&$ - знак операции конкатенации N отрезков косинусоид с тройками параметров $\{\omega_i \times \lambda_i \times \phi_i\}$, имеющих длину радиуса корреляции r_k ПСП; Mod - количество отсчетов i -й косинусоиды, взятых через интервал τ ; M - количество отсчетов эргодической реализации.

Показано, что реализация ПСП, сформированная по (3), обладает задаваемыми $R(\tau)$ и $F(y)$, если

$$P_{\Omega}(u) = 1/2\pi \int_{-\infty}^{\infty} dt. r(\tau) \cdot \cos(ut), \quad \text{а} \quad r(\tau) = R(\tau)/M[\Lambda^2] \cdot 0,5;$$

$$P_{\lambda}(s) = -2s \int_{\bar{y}}^{y_{\max}} \frac{dy P'(y)}{\sqrt{y^2 - \bar{y}^2}}, \quad \text{где} \quad P'(y) - \text{производная}$$

$F(y)$, y_{\max} - верхняя граница области задания предельного процесса $Y(t)$; $M[\Lambda^2]$ - математическое ожидание квадрата ПСВ Λ .

Обоснован факт: без снижения показателя информативности ПСП устранение информационной избыточности ансамбля неэргодического (1) и эргодически (2) ПСП можно осуществить с помощью организации конкатенации отрезков косинусоид, имеющих длительность τ_k (см. рис. 1).

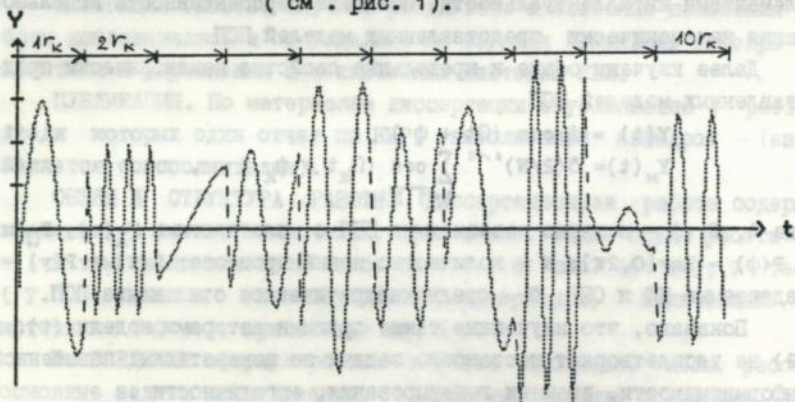


Рис.1. Фрагмент эргодической реализации, соответствующей модели (3)

Математически строго доказана эргодичность реализации такого ПСП в смысле слабой сходимости $r_{y_{\text{н}}}(\tau)$ к $r_y(\tau)$.

Использование модели (3) обеспечивает принципиальную возможность разработки информационной технологии генерирования с новыми свойствами: обладающей элементами интеллектуальности и снижающей в несколько раз затраты времени на генерирование. Конкретизирован круг взаимосвязанных научно-технических задач, которые необходимо **решить при синтезе программной системы.**

В гл. 2 исследованы метрологические, алгоритмические и систе-

мотехнические проблемы генерирования эргодических ПСП с задаваемыми КФ и ОПР.

Обязательным моментом математически корректной постановки задачи генерирования ПСП является введение меры адекватности пары статистических объектов, напр., ансамблей ПСП. Мера также должна быть приспособлена для компьютерной реализации.

В результате анализа подходов и критериев адекватности выбран относительный энтропийный критерий КоД, который представлен в удобном для компьютерной реализации виде:

$$\text{КоД}_{\Sigma} [\tilde{P}(y), \hat{P}(y)] = \left[\sum_{i=1}^{k_1} [\tilde{P}_i - \hat{P}_i] \ln \left[\tilde{P}_i(y) / \hat{P}_i(y) \right] \right] / \quad (4)$$

$$\left[0,5 \left\{ \left[- \sum_{i=1}^{k_1} \tilde{P}_i(y) \ln \left[\tilde{P}_i(y) / \Delta y_{i1} \right] \right] + \left[- \sum_{j=1}^{k_2} \hat{P}_j(y) \ln \left[\hat{P}_j(y) / \Delta y_{j2} \right] \right] \right\} \right],$$

где \tilde{P} , \hat{P} - компьютерная аппроксимация ОПР и соответствующая ей гистограмма; Δy_1 , Δy_2 - равновеликие или объединенные по условию $n_k > 5$ интервалы аппроксимаций \tilde{P} и \hat{P} ; k_1 , k_2 - количество интервалов.

Применение КоД_Σ распространено на определение не только энтропийной близости пары моделей, но и на измерение корреляционной близости: в этом случае аргументами в (4) являются нормированная $\tilde{r}(\tau)$ и коррелограмма $\hat{r}(\tau)$. Так как такого рода исследования проводились впервые, то получены интересные результаты, которые указывают характерные масштабы значений ИК как реализаций ПСП, так и компонентов модели, формирующих эти реализации, для хорошего с точки зрения пользователя качества.

В качестве подхода, обеспечивающего одну из минимальных оценок затрат времени на генерирование, выбрана модель авторегрессии (АР). Выполнено обоснование подхода, исследовано и экспериментально показано: хорошие ИК реализаций и минимизацию затрат времени обеспечивает АР - модель порядка $P=5$; IBM PC AT 286/287 генерирует последовательность ПСП длиной 1500 отсчетов за 3,63 с.

Синтезирована структура программной системы для генерирования ПСП с задаваемыми $r(\tau)$ и $P(y)$ на основе модели (3). Для обеспечения элементов интеллектуальности системы разработаны новые информационные процедуры, которые могут быть реализованы в автоматическом режиме.

Табл. 1

Результаты исследования информационного качества эрго-
дического ПСП в зависимости от количества М отсчетов.

Вид $r(\tau), P(y)$	Количество М отсчетов	Код $[\tilde{P}(y), \hat{P}(y)]$	Код $[\tilde{r}(\tau), \hat{r}(\tau)]$
R1 P4	200 и 300	0.0788/0.0267	0.1232/0.1164
	1000 и 2000	0.0088/0.0065	0.0232/0.0238
	3000 и 4000	0.0037/0.0028	0.0311/0.0497
	8000 и 12000	0.0040/0.0013	0.0312/0.0125
	16000 и 20000	0.0012/0.0005	0.0122/0.0105
	24000 и 30000	0.0004/0.0005	0.0120/0.0121
R2 P4	200 и 300	0.0571/0.0145	0.0899/0.0384
	1000* и 2000	0.0081/0.0048	0.0048/0.0198
	3000 и 4000	0.0032/0.0027	0.0237/0.0254
	8000 и 12000	0.0022/0.0013	0.0156/0.0125
	16000 и 20000	0.0012/0.0005	0.0122/0.0105
	24000 и 30000	0.0004/0.0005	0.0120/0.0121

* См. рис. 2.

Исследовано также влияние дисциплин формирования троек $\langle \lambda_i, \omega_j, \phi_k \rangle$ параметров случайных косинусоид на метрологические показатели ПСП. Выбраны четыре дисциплины: 1) индексы i, j, k имеют начальные значения 1, 1, 1, которые увеличиваются далее на единицу; 2) индексы i, j, k имеют начальные значения 1, 2, 3, которые увеличиваются далее на единицу; 3) индексы i, j, k имеют начальные значения 3, 2, 1, которые увеличиваются далее на единицу; 4) индексы i, j, k формируются датчиком случайных чисел. Дисциплины формирования, как и следует из теоретических предпосылок, не оказывают в статистическом смысле влияния на качество реализаций (сравните рис. 2 и 3). Это означает, что реализации останутся псевдослучайными. Если учесть указанное свойство при организации технологии генерирования, то можно существенно сократить затраты времени на моделирование ПСП за счет сокращения времени на обновление выборок ПСВ Ω, Λ, Φ .

Сравнительные затраты на моделирование ПСП разными методами

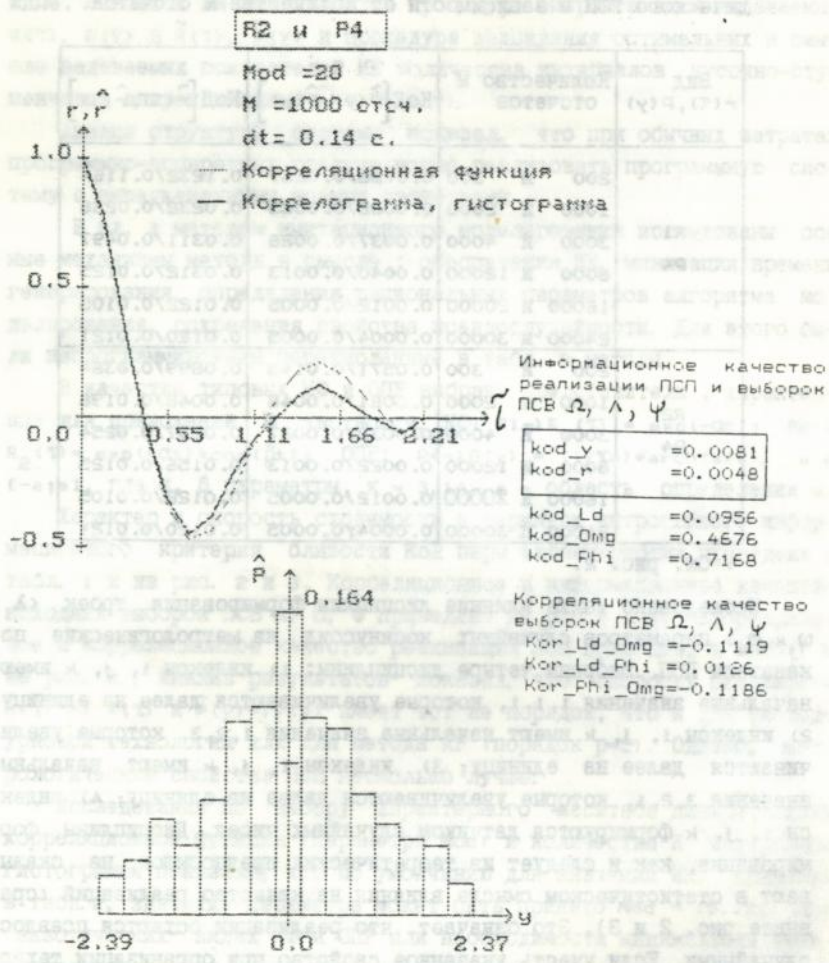


Рис. 2. Коррелограмма, корреляционная функция, гистограмма, а также информационное и корреляционное качество выборки и реализации при 1-й дисциплине формирования $\langle \omega_i \times \lambda_j \times \phi_k \rangle$ - троек для приведенных на рис. условий эксперимента.

R1 и P4

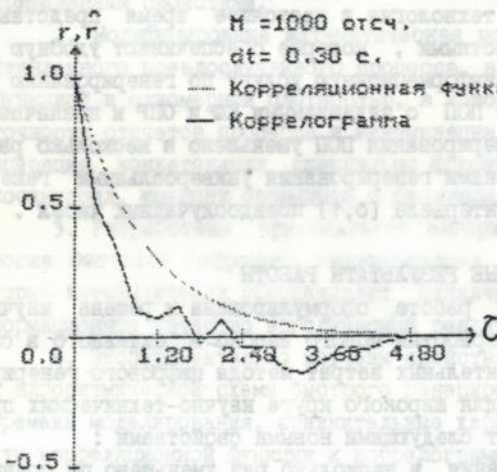
Mod = 20

M = 1000 отсч.

dt = 0.30 с.

--- Корреляционная функция

— Коррелограмма



Информационное качество
реализации ПСП и выборки
ПСВ Ω, Λ, Ψ

kod_y	= 0.0075
kod_r	= 0.0755

kod_Ld	= 0.4061
kod_Omg	= 0.5416
kod_Phi	= 0.1087

Корреляционное качество
выборки ПСВ Ω, Λ, Ψ
Kor_Ld_Omg = 0.1031
Kor_Ld_Phi = 0.2050
Kor_Phi_Omg = 0.0859

Рис.3. Футер рисунка аналогичен последнему рис. 2; изменена только дисциплина формирования на 4-ю.

Табл. 2.

Времена (с) генерирования реализаций ПСП на
IBM PC AT 286/287 В среде Turbo Pascal 7.0.

МЕТОД	Количество M отсчетов реализации			
	1500	3000	7500	9000
1. Конкатенация случайных косинусоид	0.72	1.43	3.62	4.4
2. Авторегрессия порядка 5	3.63	7.17	18.1	22.1
3. Суммирование и нормирование сечений ансамбля случайных косинусоид	44.6	133.47	222.5	667.6
4. Конкатенация с эффективным вычислением значений косинуса	(0.14)	(0.29)	(0.72)	(0.88)

приведены в табл. 2. Результаты эксперимента подтвердили свойство быстроедействия.

Как было сформулировано в постановке задачи, разработанные метод и информационная технология в настоящее время представляются единственными известными, которые обеспечивают удобную для массового пользователя информационную услугу по генерированию реализаций эргодических ПСП с задаваемыми КФ и ОПР и назначаемым ИК. При этом время генерирования ПСП уменьшено в несколько раз и стало сравнимым с временами генерирования универсальными генераторами равномерных на интервале $[0,1]$ псевдослучайных чисел.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертационной работе сформулирована и решена научно-техническая проблема разработки нового высоко-эффективного в смысле минимизации вычислительных затрат метода цифрового генерирования эргодических ПСП для широкого круга научно-технических приложений. Метод обладает следующими новыми свойствами:

- время моделирования в несколько раз уменьшено по сравнению с известными наиболее эффективными методами цифрового генерирования случайных процессов;
- настройка / перенастройка технологии генерирования случайных процессов на задаваемые массовым пользователем структурно-параметрические виды корреляционной функции и одномерной плотности распределения осуществляется оперативно и в интерактивном режиме;
- назначаемое пользователем информационное качество эргодической реализации обеспечивается автоматически;
- математическое, алгоритмическое и программное обеспечение метода совместимо с соответствующим обеспечением интегрированной системы с элементами интеллектуальности для генерирования псевдослучайных величин, процессов и полей, которая ранее разработана с использованием так называемого ролевого подхода к описанию предметной области.

В РЕЗУЛЬТАТЕ:

1. Разработаны, всесторонне исследованы и доведены до использования новый метод и технология цифрового генерирования эргоди-

ческих псевдослучайных процессов, которые удовлетворяют выше приведенным свойствам.

2. Модифицирована математическая модель неканонически представленного псевдослучайного процесса, задаваемого корреляционной функцией и одномерной плотностью, в которой для уменьшения избыточности отсчетов процесса и минимизации вычислений использована операция конкатенации специально формируемых отрезков случайных косинусоид, имеющих сравнимую с радиусом корреляции длительность.

3. Разработаны оригинальная алгоритмическая схема и технология быстрого цифрового генерирования случайных процессов, которые автоматически обеспечивают назначаемое пользователем информационное качество эргодической реализации.

4. Экспериментально изучены свойства модифицированной модели и алгоритмической схемы быстрого генерирования ПСП: характерные времена моделирования, сравнительные характер и скорости сходимости корреляционной функции к коррелограмме и одномерной плотности к гистограмме; улучшение свойства ПСП.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований разработанного метода и технологии показывают, что: а) по сравнению с одним из наиболее экономных методов - методом авторегрессии порядка 5 время моделирования реализации процесса повышенной информативности сокращается более чем в 5 раз и может быть уменьшено еще приблизительно во столько же раз использованием известных средств эффективного вычисления значений косинуса;

б) уровни информационного качества реализации, временные затраты и технико-экономические показатели разработанной программной системы соответствуют достигнутым показателям в современных средствах подобного назначения, а некоторые даже превышают их;

в) метод и алгоритмическая схема могут быть успешно использованы в ряде новых приложений, например, при синтезе текстур изображений с задаваемыми свойствами; при распознавании вероятностно-статистических объектов в реальном масштабе времени; при криптографировании цифровой информации с высокой защищенностью; при разработке утилит для моделирования ПСП в перспективных системах программирования типа Turbo Pascal, Turbo C и др.

Результаты работы внедрены в разработке системы компьютерного

зрения ОЦГІ-КІІ для контроля целостности фотопреобразователей солнечных батарей по их телевизионному изображению (НИИ проблемы механики "Ритм", г. Киев). Пакет для генерирования случайных сигналов использован в цикле лабораторных работ по курсам "Математическое обеспечение научно-технических исследований. Часть I" и "Автоматизированное управление в технических системах", читаемым на кафедре автоматике и управления в технических системах Киевского политехнического института.

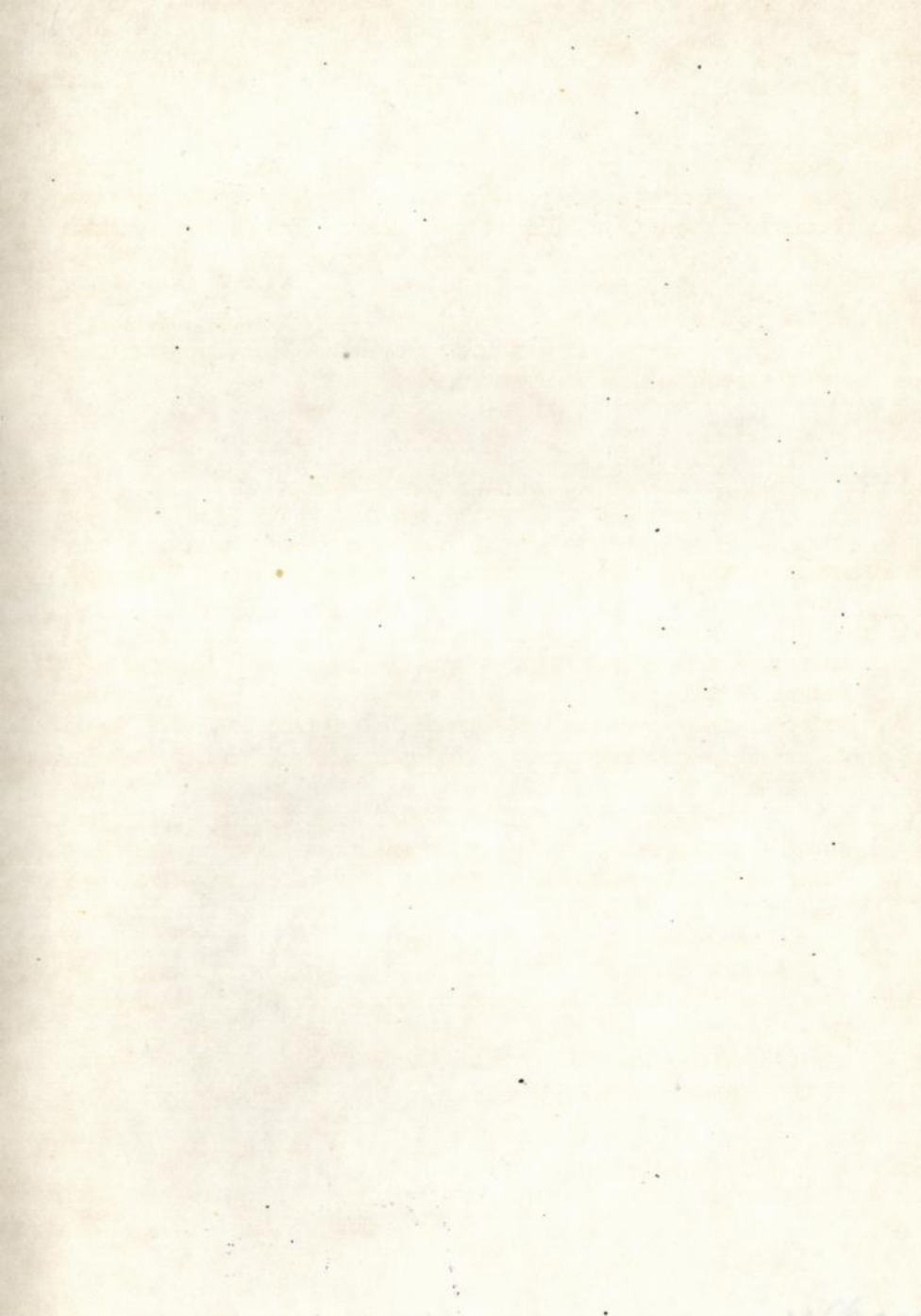
ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

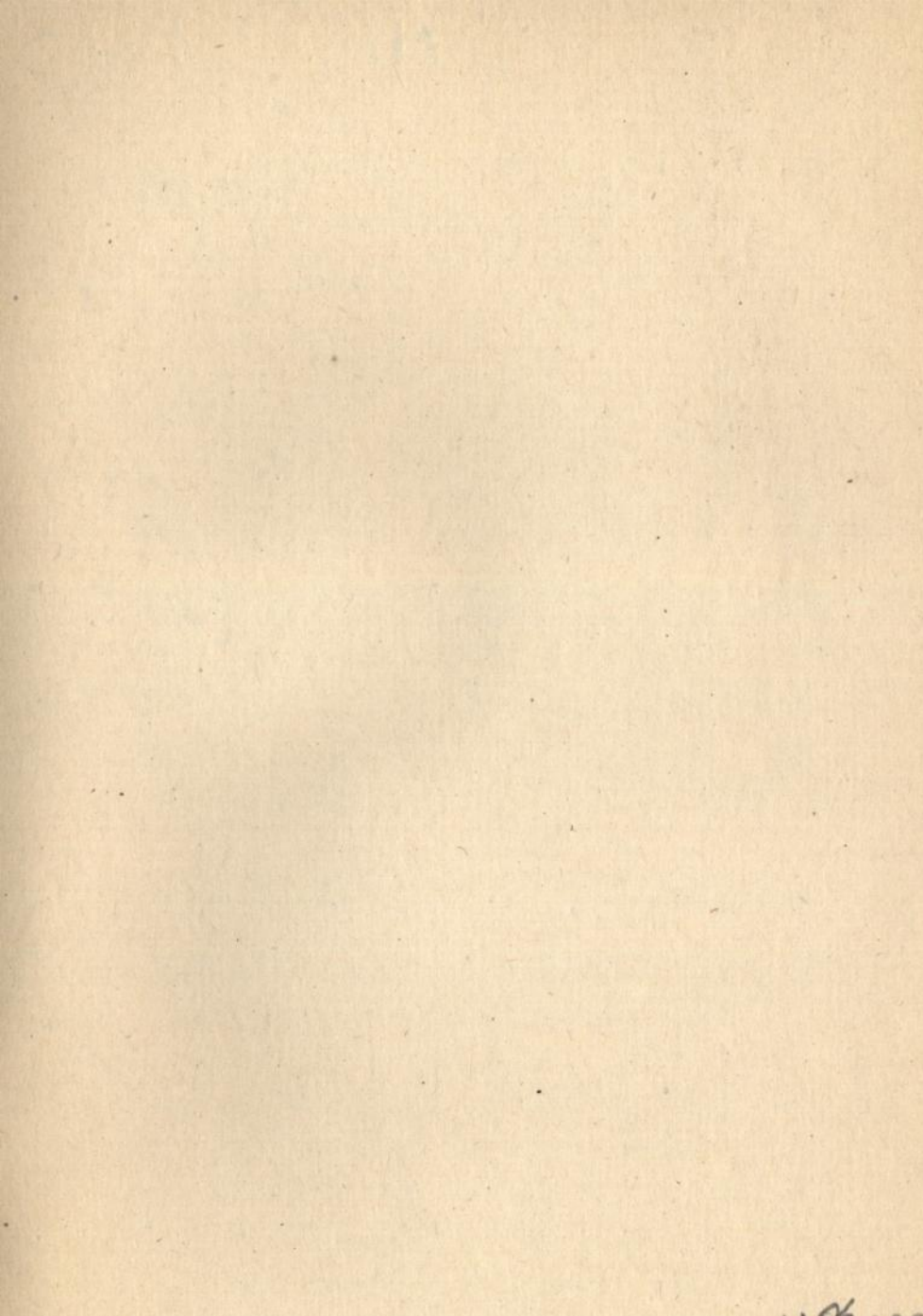
1. Компанец Л.Ф., Ходзицкий А.Е., НГУЕН ТХИ ФЬОНГ ЛОАН. Модель предметной области для программной системы "Генератор случайных величин". - В сб.: Вестн. Киев. политехн. ин-та. Автоматика и электроприборостроение, 1992, вып. 29, с. 68-75.
2. НГУЕН ТХИ ФЬОНГ ЛОАН, Вальчук Т.Л., Ходзицкий А.Е. Исследование вычислительных затрат для генерирования реализаций случайных процессов методом авторегрессии при заданном информационном качестве реализации. - В сб.: Вестн. Киев. политехн. ин-та. Автоматика и электроприборостроение, 1993, вып. 30, с. 86 - 93.
3. Компанец Л.Ф., НГУЕН ТХИ ФЬОНГ ЛОАН. Метод "сверхбыстрого" генерирования эргодических псевдослучайных процессов с задаваемыми корреляционной функцией и одномерной плотностью. - В сб.: Вестн. Киев. политехн. ин-та. Автоматика и электроприборостроение, 1993, вып. 30, с. 93 - 98.
4. Компанец Л.Ф.; НГУЕН ТХИ ФЬОНГ ЛОАН и др. Итоговый отчет по хозяйственной НИР N 43, шифр "Око". Алгоритмы цифровой обработки видеоизображений для подвижных объектов. - К.: КПИ, Институт математики АН Украины, март 1989 - сентябрь 1990 г. (соисполнитель разд. 2.1 и 2.2) .

Автор:

НГУЕН ТХИ ФЬОНГ ЛОАН.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України





AB 29.039