

7. Higgins K. *Understanding laboratory investigations*. Ed by V.L. Emanuel. Transl. From English by E.K. Vishnevskaya. 7nd ed. Moscow: Laboratoriya znaniy, 2016, 589 p. (In Russ.)
8. Multidisciplinary diagnostic Medical Center «Diagnostics». URL: <https://www.zdorovje.ru/> (accesses: 31.05.2024). (In Russ.)
9. Sitilab. An international network of clinical diagnostic laboratories. URL: <https://citilab.ru/> (accesses: 01.06.2024). (In Russ.)
10. Gribova V.V. et al. Medical diagnosis ontology for intelligent decision support systems. *Ontologiya proyektirovaniya*, 2018, vol. 8, no. 1 (27), pp. 58–73. (In Russ.)
11. Zagorulko Yu.A. Semantic technology for development of intelligent systems oriented to experts in subject domain. *Ontologiya proyektirovaniya*, 2015, vol. 5, no. 1 (15), pp. 30–46. (In Russ.)
12. Gorobets E.A., Diyazitdinova A.R. Application of the ontological approach when designing a medical mobile application. *Infokommunikatsionnyye tekhnologii*, 2021, vol. 19, no. 2, pp. 224–231. (In Russ.)
13. Diyazitdinova A.R., Zagirova A.R. Application of ontology in medical mobile applications. *Aktual'nyye problemy informatiki, radiotekhniki i svyazi: materialy XXXI Rossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*. Samara: PSUTI, 2024, pp. 310–312. (In Russ.)
14. Diyazitdinova A.R., Zagirova A.R., Nuzhin V.I. Using mhealth applications as a tool for providing a personalized approach to patient. *Aktual'nyye problemy informatiki, radiotekhniki i svyazi: materialy XXXI Rossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*. Samara: PSUTI, 2024, pp. 312–313. (In Russ.)
15. Nefedov Yu.V., Tsyplenkova V.A. Medical ontologies: current development, main trends and features. *Vrach i informatsionnyye tekhnologii*, 2018, vol. 1, no. 4, pp. 6–19. (In Russ.)

Received 10.07.2024

УДК 621.391

ПОЛИГАУССОВО ОПИСАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ПРОЦЕССОВ, ФОРМИРУЕМЫХ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМОЙ ЛОРЕНЦА, РЕАЛИЗОВАННОЙ В ЧИСЛАХ С ФИКСИРОВАННОЙ ЗАПЯТОЙ

Кафаров К.М., Логинов С.С., Бобина Е.А.

Казанский национальный исследовательский технический университет

им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань, РФ

E-mail: lnexptp@gmail.com

Статья направлена на анализ вероятностных распределений псевдослучайных процессов, сформированных на основе решения системы Лоренца в числах с фиксированной запятой. Численное решение системы Лоренца методом Эйлера в числах с плавающей запятой одинарной и двойной точности при ограниченной разрядности чисел может приводить к срыву генерации сигналов. Использование чисел с фиксированной запятой способствует снижению вычислительной сложности при цифровой реализации подобных систем, что в конечном итоге приводит к упрощению их практической реализации на современных микросхемах программируемой логики. Это приводит к более эффективному использованию ресурсов, увеличению производительности подобных цифровых систем. Исследование аппроксимации распределений вероятностей процессов, формируемых на основе системы Лоренца с использованием смесей гауссовых распределений, имеет большое значение для прогностической аналитики и устойчивости работы системы. Исключение срыва генерации сигналов также способствует формированию устойчивых режимов формирования хаотических сигналов с требуемыми статистическими характеристиками.

Ключевые слова: динамический хаос, динамические системы, статистические характеристики, формователи с фиксированной запятой, система Лоренца, вероятностные распределения

Введение

Нелинейные системы с динамическим хаосом, обладая уникальной способностью порождать сложные динамические и хаотические процессы,

являются объектом активного исследования в современной науке. Эти системы находят широкое применение в различных областях, таких как, например, широкополосные коммуникационные системы, где они служат негармоническими «но-

сителями информации», формируя сигналы со сложной шумоподобной колебательной структурой [1]. Это расширяет возможности построения широкополосных систем, минимизируя необходимость модуляции параметров колебаний специализированными двоичными последовательностями [2].

«Прямохаотические» инфокоммуникационные системы базируются на создании сложных негармонических колебаний с высокой частотой в ограниченной полосе частот. Одним из преимуществ этих систем является упрощенность конструкции генератора, состоящего из каскада автогенератора с широкополосной колебательной системой и каскада импульсного модулятора [3; 4]. В существующих публикациях, в основном, описаны относительно упрощенные конструкции приемных устройств [9], такие как детекторные приемники, которые можно адаптировать к частотному диапазону, но не к структурным характеристикам сигнала.

В то же время с целью получения формирователей хаотических сигналов с воспроизводимыми статистическими характеристиками необходимо использование систем, реализованных на основе процедур численного интегрирования. Снижение вычислительных затрат на реализацию подобных систем делает необходимым рассмотрение формирователей хаотических сигналов на основе процедур численного интегрирования с использованием чисел с фиксированной запятой. Эти системы, как подкласс нелинейных систем с динамическим хаосом, предоставляют уникальные возможности для создания прямохаотических коммуникационных систем. Использование чисел с фиксированной запятой способствует снижению вычислительной сложности при цифровой реализации подобных систем [5], что приводит, в конечном счете, к упрощению их практической реализации на современных микросхемах программируемой логики [6].

Вероятностные характеристики играют ключевую роль в описании случайных и псевдослучайных процессов. Описание распределений вероятностей хаотических процессов, формируемых системой Лоренца с помощью полигаусовых смесей, было проведено в работе [7]. В то же время исследование особенностей подобных описаний для системы Лоренца, реализованной в числах с фиксированной запятой, представляет определенный интерес для техники систем передачи информации. Этот интерес обусловлен как использованием сигналов, формируемых системой Лоренца в качестве прямохаотических носителей информации, так и возможностей использо-

вания моделей процессов, формируемых данной системой, для описания комплексной огибающей процессов в реальных каналах связи [10].

Целью данной работы является анализ распределений вероятностей псевдослучайных процессов, сформированных на основе решения системы Лоренца в числах с фиксированной запятой.

Методы и ограничения

Выбранная в качестве объекта исследования система Лоренца может быть записана в виде:

$$\begin{cases} X_{i+1} = X_i + \Delta t(-\sigma X_i + \sigma Y_i); \\ Y_{i+1} = Y_i + \Delta t(rX_i - Y_i - X_i Z_i); \\ Z_{i+1} = Z_i + \Delta t(-bZ_i + X_i Y_i), \end{cases} \quad (1)$$

где X, Y, Z – пространственные переменные нелинейных систем с динамическим хаосом; r, σ, b – параметры системы Лоренца, Δt – величина шага численного интегрирования.

В работе проведена аппроксимация плотностей вероятностей сигналов исследуемой системы смесями распределений Гаусса, представленными в виде:

$$w(x) = \sum_{i=1}^N q_i \Gamma(x, m_i, \sigma_i), \quad (2)$$

где $\Gamma(x, m_i, \sigma_i)$ – плотности вероятностей распределений Гаусса со средними значениями компонент m_i и среднеквадратическими значениями σ_i , $i = 1, \overline{N}$; q_i – вероятности компонент, причем $\sum_{i=1}^N q_i = 1$.

Сигналы получены на основе использования процедуры Эйлера численного решения систем нелинейных дифференциальных уравнений с применением метода изменения некоторых битов численного представления числа с фиксированной точкой в битовой последовательности:

$$x^+ = b_{I^+} \cdot B^{I^+} + b_{I^+-1} \cdot B^{I^+-1} + \dots + b_1 \cdot B + b_0, \quad (4)$$

$$x^- = b_{-I^-} \cdot B^{-I^-} + b_{-I^--1} \cdot B^{-I^--1} + \dots + b_{-2} \cdot B^{-2} + b_{-1} \cdot B^{-1}, \quad (5)$$

$$x = \sum_{i=-I^-}^{I^+} b_i \cdot B^i, \quad (6),$$

где младшие биты чисел $b_{-1}, b_{-2}, b_{-3} = \text{random}([0,1])$ модифицируются по псевдослучайному закону с целью предотвращения срывов генерации хаотических процессов. Выбранный размер использованных чисел при формировании процессов равен 16.

Анализ результатов

На рисунках 1, 2, 3 представлены аппроксимации гистограмм распределений частот появления

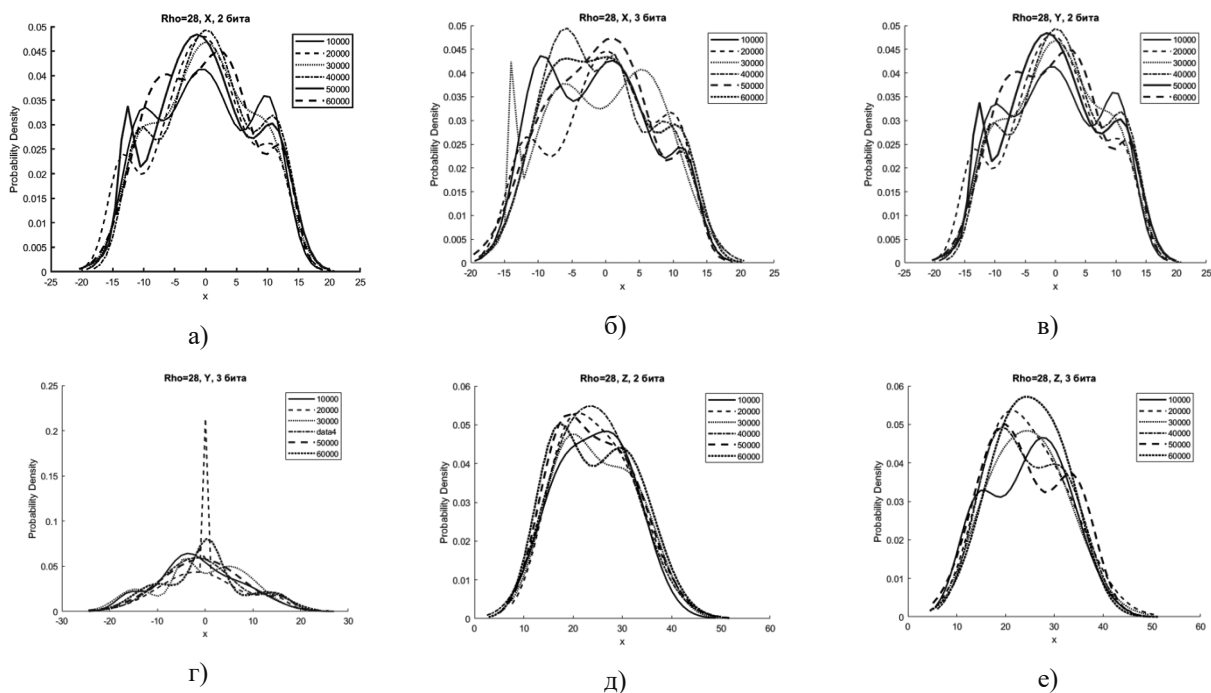


Рисунок 1. Аппроксимации гистограмм распределений частот появления чисел процессов X (сверху), Y (в середине), Z (снизу) системы Лоренца с фиксированной точкой при $M=10000\dots 60000$ реализаций, $r = 28$ с изменением 2 и 3 битов информации

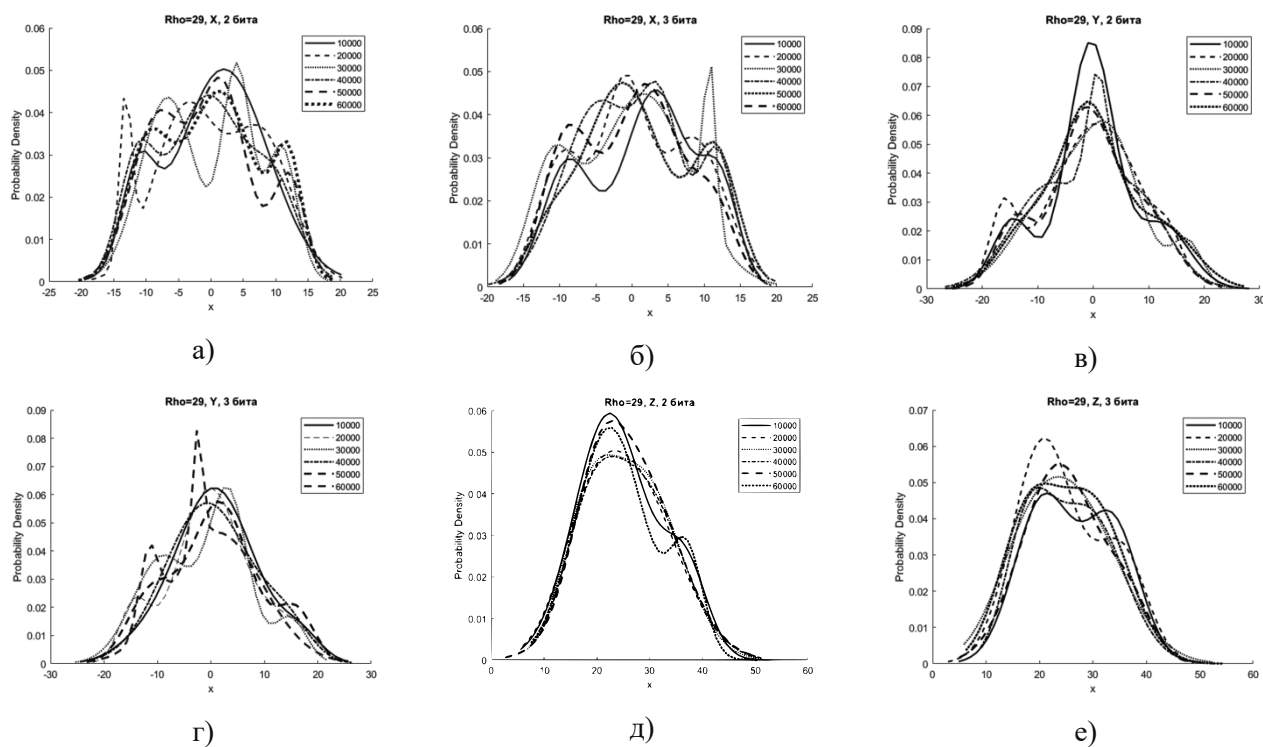


Рисунок 2. Аппроксимации гистограмм распределений частот появления чисел процессов X (сверху), Y (в середине), Z (снизу) системы Лоренца с фиксированной точкой при $M=10000\dots 60000$ реализаций, $r = 29$

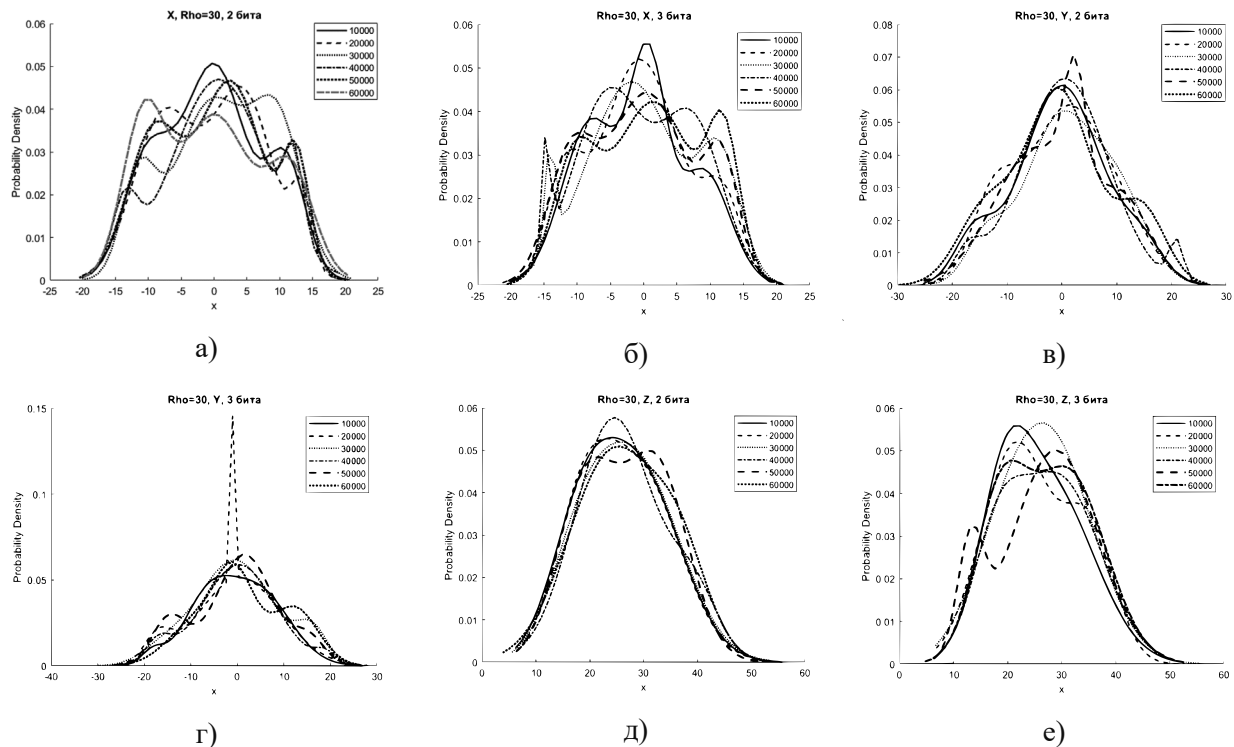


Рисунок 3. Аппроксимации гистограмм распределений частот появления чисел процессов X (сверху), Y (в середине), Z (снизу) системы Лоренца с фиксированной точкой при $M=10000\dots 60000$ реализаций, $r=30$

чисел процессов X , Y , Z системы (1) с приведенными модификациями (4), (5), (6) смесью трех-компонентного полигауссова распределения при различных значениях отношений числа Релея r (Rho на графиках) с различным количеством модифицированных младших битов для формата в числах с фиксированной точкой – 2 и 3 бита.

Представленные аппроксимации приведены для реализаций систем при $i=10000, 20000, 30000, 40000, 50000, 60000$.

Из графиков видно, что распределение математического ожидания μ и среднее квадратическое отклонение σ для всех реализаций систем при $i=10000\dots 60000$ имеют полигауссовы распределения вероятностей, что говорит о возможности применения данного метода для формирователей с фиксированной запятой как для систем с псевдослучайными последовательностями.

Особенностью указанных распределений является появление выбросов на определенных временных участках гистограмм рисунков 1б, 1г, 2б, 2г, 3б. Система Лоренца при ее формировании в условиях фиксированной запятой имеет склонность к срыву генерации [8]. Приведенные рисунки показывают, что даже в условиях псевдослучайной модификации 3 младших бит чисел, происходит срыв генерации, сопровождающийся установлением сигнала с фиксированной амплитудой. При применении метода рандомизации

младших разрядов это приводит к незначительным изменениям реализаций X , Y за определенные отрезки времени.

Временные зависимости математических ожиданий и среднее квадратических отклонений аппроксимирующих компонент смеси гауссовых распределений процессов X системы Лоренца приведены на рисунке 4.

На рисунке 4а изображены изменения математических ожиданий μ_1, μ_2, μ_3 в зависимости от времени. На графиках видно наличие переходного процесса в системе Лоренца, при котором происходят значительные изменения математических ожиданий в зависимости от времени до точки, соответствующей 10000 отсчетов. При этом также наблюдаются колебания среднее квадратических отклонений компонент с большей амплитудой. На больших интервалах времени размах колебаний математических ожиданий и среднее квадратических отклонений уменьшается, они становятся квазипериодическими. Это говорит о приближении рассматриваемого процесса к стационарному.

Полученные в данной работе результаты по описанию распределений вероятностей псевдослучайных процессов, сформированных на основе решения системы Лоренца в числах с фиксированной запятой в целом достаточно близки к результатам, изложенным в [7] для чисел с плава-

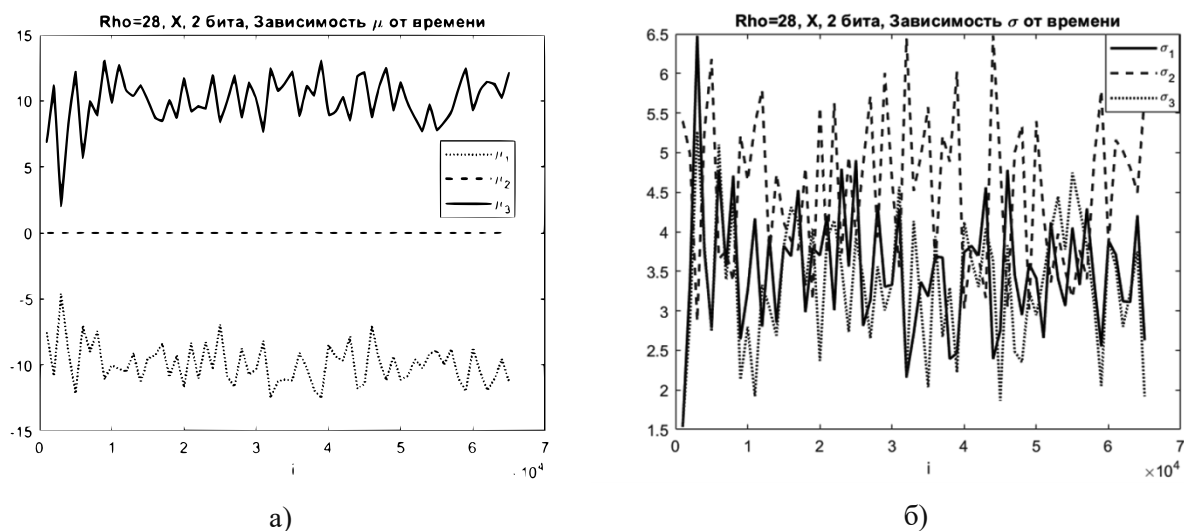


Рисунок 4. Оценки изменений во времени математических ожиданий и среднеквадратических отклонений аппроксимирующих гауссовых компонент процессов X системы Лоренца

ющей запятой. Отличием приведенных результатов является показанные в данной работе срывы генерации псевдослучайных процессов даже при условии рандомизации младших разрядов описывающих их чисел.

Выводы

1. Показана возможность использования полигауссова описания распределений вероятностей псевдослучайных процессов, сформированных на основе решения системы Лоренца в числах с фиксированной запятой.

2. Число компонент смеси гауссовых распределений, которые необходимо использовать для описания процессов, формируемых системой Лоренца, составляет не более 3.

3. Применение рандомизации 3 разрядов из 16 в формируемых числах, представляющих процессы, приводит к снижению количества реализаций со срывом генерации.

4. Время установления стационарного режима генерации процессов в системе Лоренца, реализованной над числами с фиксированной запятой, составляет не менее 10000 отсчетов.

Список литературы

1. Дмитриев А.С., Панас А.И. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. М.: Изд-во физико-математической литературы, 2002. 252 с.
2. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Радио и связь, 1985. 384 с.
3. Прямохаотические средства сверхширокополосной беспроводной связи в метровом и дециметровом диапазоне радиоволн / А.С. Дми-

триев [и др.] // Радиотехника и электроника. 2022. Т. 67, № 8. С. 797–806. DOI: 10.31857/S0033849422080046

4. Кузьмин Л.В., Ефремова Е.В. Эксперимент по определению времени прохождения сверхширокополосных хаотических радиоимпульсов через многолучевой канал // Письма в Журнал технической физики. 2020. Т. 46, № 16 (163). С. 23–27. DOI: 10.21883/PJTF.2020.16.49849.18352
5. Loginov S.S., Zuev M.Y. Testing of generators of pseudo-random signals based on a Lorenz system, realized over a Galois finite field // 2018 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO). Minsk, 2018. P. 1–4. DOI: 10.1109/SYNCHROINFO.2018.8457039
6. Zhang L. System generator model-based FPGA design optimization and hardware co-simulation for Lorenz chaotic generator // 2017 2nd Asia-Pacific Conference on Intelligent Robot Systems (ACIRS). Wuhan, 2017. P. 170–174. DOI: 10.1109/ACIRS.2017.7986087
7. Loginov S.S., Afanasiev V.V. Poly-Gaussian models in describing the signals of Lorenz dynamic system // 2018 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. Moscow, 2018. P. 8350616-4. DOI: 10.1109/SOSG.2018.8350616
8. Чабдаров Ш.М., Трофимов А.Т. Полигауссовы представления произвольных помех и прием дискретных сигналов // Радиотехника и электроника. 1975. Т. 20, № 4. С. 734–735.
9. Оптимальный прием многопозиционных сигналов при комплексе шумовых и импульсных

помех с произвольными флуктуациями / А.Ф. Надеев [и др.] // Радиотехника. 1990. № 12. С. 32–35.

of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. 2023. Vol. 6, no. 1. P. 197–200.

10. Kafarov K.M., Loginov S.S., Bobina E.A. Digital signal generators based on the Lorentz system implemented using fixed-point numbers // Systems

Получено 23.04.2024

Кафаров Каиб Мирзалиевич, аспирант кафедры электронных и квантовых средств передачи информации (ЭКСПИ) Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ (КНИТУ–КАИ). 420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 10. Тел. +7 927 846-25-23. E-mail: lnexptp@gmail.com

Логинов Сергей Сергеевич, д.т.н., профессор кафедры ЭКСПИ КНИТУ-КАИ. 420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 10. Тел. +7 905 023-67-99. E-mail: sslogin@mail.ru

Бобина Елена Андреевна, к.т.н., доцент кафедры ЭКСПИ КНИТУ-КАИ. 420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 10. Тел. +7 909 309-98-03. E-mail: eabobina@yandex.ru

POLYGAUSSIAN DESCRIPTION OF PROBABILITY DISTRIBUTIONS OF PROCESSES GENERATED BY A NONLINEAR LORENZ SYSTEM IMPLEMENTED IN FIXED-POINT NUMBERS

Kafarov K.M., Loginov S.S., Bobina E.A.

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI,

Kazan, Russian Federation

E-mail: lnexptp@gmail.com

The article is aimed at analyzing the probability distributions of pseudorandom processes generated on the basis of the Lorentz system solution in fixed-point numbers. Numerical solution of the Lorenz system by the Euler method in single- and double-precision floating-point numbers with a limited number capacity can lead to a breakdown in signal generation. The use of fixed-point numbers contributes to the reduction of computational complexity in the digital implementation of such systems, which ultimately leads to the simplification of their practical implementation on modern chips of programmable logic. This allows to use resources in more efficient way, and increases productivity in the creation and maintenance of such digital systems. The study of approximation of Lorenz system signals using mixtures of Gaussian distributions is of great importance for predictive analytics and stability of the system. Elimination of signal generation failure also contributes to the formation of stable modes of generation of chaotic signals with required statistical characteristics.

Keywords: *dynamic chaos, dynamic systems, statistical properties, fixed-point shapers, Lorenz system, probability distributions*

DOI: 10.18469/ikt.2024.22.1.11

Kafarov Kaib Mirzalievich, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, 10, K. Marx Street, Kazan, 4420015, Russian Federation; PhD Student of Electronic and Quantum Means of Information Transmission Department. Tel. +7 927 846-25-23. E-mail: lnexptp@gmail.com

Loginov Sergey Sergeevich, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, 10, K. Marx Street, Kazan, 4420015, Russian Federation; Professor of Electronic and Quantum Means of Information Transmission Department, Doctor of Technical Science. Tel. +7 905 023-67-99. E-mail: sslogin@mail.ru

Bobina Elena Andreevna, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, 10, K. Marx Street, Kazan, 4420015, Russian Federation; Associated Professor of Electronic and Quantum Means of Information Transmission Department, PhD in Technical Science. Tel. +7 909 309-98-03. E-mail: eabobina@yandex.ru

References

1. Dmitriev A.S., Panas A.I. *Dynamic Chaos: Novel Type of Information Carrier for Communication Systems*. Moscow: Izd-vo fiziko-matematicheskoy literatury, 2002, 252 p. (In Russ.)
2. Varakin L.E. *Communication Systems with Noise-Like Signals*. Moscow: Radio i svyaz', 1985, 384 p. (In Russ.)
3. Dmitriev A.S. et al. Direct chaotic ultra-wideband wireless communications in the very high frequency and ultra high frequency radio bands. *Radiotekhnika i elektronika*, 2022, vol. 67, pp. 1013–1021. DOI: 10.31857/S0033849422080046 (In Russ.)
4. Kuz'min L.V., Efremova E.V. Experimental estimation of the propagation time of chaotic ultra-wide-band RF pulses through multipath channel. *Pis'ma v Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*, 2020, vol. 46, pp. 23–27. DOI: 10.21883/PJTF.2020.16.49849.18352 (In Russ.)
5. Loginov S.S., Zuev M.Y. Testing of generators of pseudo-random signals based on a Lorenz system, realized over a Galois finite field. *2018 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*. Minsk, 2018, pp. 1–4. DOI: 10.1109/SYNCHROINFO.2018.8457039
6. Zhang L. System generator model-based FPGA design optimization and hardware co-simulation for Lorenz chaotic generator. *2017 2nd Asia-Pacific Conference on Intelligent Robot Systems (ACIRS)*. Wuhan, 2017, pp. 170–174. DOI: 10.1109/ACIRS.2017.7986087
7. Loginov S.S., Afanasiev V.V. Poly-Gaussian models in describing the signals of Lorenz dynamic system. *2018 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications*. Moscow, 2018, pp. 8350616–4. DOI: 10.1109/SOSG.2018.8350616
8. Chabdarov Sh.M., Trofimov A.T. Polygaussian representations of arbitrary noise and reception of discrete signals. *Radiotekhnika i elektronika*, 1975, vol. 20, no. 4, pp. 734–735. (In Russ.)
9. Nadeev A.F. et al. Optimal reception of multi-position signals at a complex of noise and impulse interference with arbitrary fluctuations. *Radiotekhnika*, 1990, no. 12, pp. 32–35. (In Russ.)
10. Kafarov K.M., Loginov S.S., Bobina E.A. Digital signal generators based on the Lorentz system implemented using fixed-point numbers. *Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications*. Moscow, 2023, vol. 6 (1), pp. 197–200. DOI: 10.1109/IEEECONF56737.2023.10092093

Reseived 23.04.2024

УДК 004.89

СРАВНЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БИБЛИОТЕК VAEX И DASK

Пальмов С.В.^{1,2}, Шаталов Н.В.¹

¹Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

²Самарский государственный технический университет, Самара, РФ

E-mail: s.palmov@psuti.ru, nickit.schatalow@yandex.ru

Цель исследования заключалась в сравнении производительности библиотек Vaex и Dask, предназначенных для повышения эффективности процесса обработки данных. Для решения поставленной задачи были проведены эксперименты, связанные с оценкой временных затрат на выполнение различных классов операций. Исследование включало подготовку датасетов, формирование выборок данных, настройку исполнительных сред, установку и настройку указанных выше модулей, написание скриптов на языке Python, тестирование производительности и последующий анализ результатов. Было установлено, что Vaex демонстрирует высокое быстродействие в случае обработки больших наборов данных, состоящих из миллиона объектов, на одном локальном компьютере; показатели Dask уступают первой библиотеке. Сей факт указывает на то, что Vaex является более эффективным инструментом для обработки крупных датасетов в условиях, аналогичных использованным в настоящей работе. Результаты и выводы исследования подчеркивают значимость выбора оптимальной библиотеки при обработке данных большого объема, а также подтверждают преимущества библиотеки Vaex в данном контексте.

Ключевые слова: Vaex, Dask, Python, большие данные, обработка данных