

УДК 004.94:519.216]:519.876.5

DOI: 10.31866/2617-796X.6.1.2023.283945

Катерина Коцюбівська,

кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри комп'ютерних наук,
Київський національний університет культури і мистецтв,
Київ, Україна
kateryna@knukim.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-3987-9871>

Олена Тимошенко,

доктор економічних наук, доцент,
професор кафедри фешн та шоу-бізнесу,
Київський національний університет культури і мистецтв,
Київ, Україна
etymoshenko@i.ua
<https://orcid.org/0000-0003-3820-1492>

Костянтин Булига,

кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних наук,
Київський національний університет культури і мистецтв,
Київ, Україна
piron54@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0002-9537-3226>

Ігор Ярошно,

магістрант кафедри комп'ютерних наук,
факультет післядипломної освіти,
Київський національний університет культури і мистецтв,
Київ, Україна
igorarohno@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0003-6988-5564>

ЗАСТОСУВАННЯ ПСЕВДОВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН У ПРОЄКТУВАННІ СИСТЕМ

Мета статті – дослідження та пошук оптимальних стратегій моделювання інформаційних систем з використанням псевдовипадкових величин для покращення продуктивності інформаційних систем, а також визначення оптимальних параметрів розподілів випадкових величин; аналіз ефективних алгоритмів генерації псевдовипадкових величин.

Методи дослідження ґрунтуються на застосуванні системного підходу до аналізу переваг застосування псевдовипадкових величин під час проектування інформаційних систем.

Наукова новизна. У статті проаналізовано переваги стохастичного моделювання інформаційних систем з використанням різних підходів до генерації псевдовипадкових величин, а також уперше розглянуто застосування випадкового лісу дерев ухвалення рішень для моделювання систем масового обслуговування.

Висновки. Застосування псевдовипадкових чисел у проектуванні систем є актуальною проблемою та вимагає подальших досліджень і розвитку методів. Розробка ефективних алгоритмів генерації, валідації та використання псевдовипадкових величин відіграє важливу роль у багатьох галузях науки та технологій. Такий підхід дає змогу виконувати оптимізацію та планування в процесі проектування систем, є важливим під час валідації та тестування систем. За допомогою генерації випадкових величин можна створити різні тестові сценарії та перевірити, як система реагує на різні умови, що допомагає виявляти потенційні помилки, недоліки й проблеми в системі та забезпечує якість проектування.

Отже, застосування псевдовипадкових величин у проектуванні систем дає змогу враховувати випадковість, аналізувати ризики, виконувати оптимізацію та планування, проводити валідацію та тестування. Це важливий аспект розробки систем, що допомагає забезпечити їхню надійність, продуктивність й ефективність.

Ключові слова: випадковість; закон розподілу; псевдовипадкові величини; імітаційне моделювання; моделювання систем; системи масового обслуговування.

Вступ. Проблема моделювання реальних процесів і систем, що трапляються в повсякденному житті, полягає в розробці стохастичних моделей. Описати систему за допомогою детермінованих моделей неможливо через випадковий характер входних параметрів. Під час розв'язання завдань аналізу та проектування таких систем, як наприклад системи масового обслуговування, важливо врахувати, що випадковість є визначальною в багатьох процесах. Спроба описати роботу системи або спрогнозувати її поведінку, не враховуючи випадкові величини, призводить до виникнення грубих помилок.

У більшості ситуацій реального життя процес надходження даних до інформаційної системи та процес обслуговування відбуваються випадковим чином. Тому постає завдання моделювати випадковості, що дасть змогу створити достовірну модель проблемної ситуації. Одним зі способів моделювання випадковості є опис явища як випадкової змінної, що керується певним розподілом ймовірностей. Наприклад, якщо надходження до банку відбуваються відповідно до процесу Пуассона, то з теорії ймовірностей відомо, що розподіл часу між надходженнями є експоненціальним розподілом (ASU Open Door, 2021). Загалом інформація про процес має бути забезпечена або через пряме спостереження за системою, або через історичні дані.

Побудова моделей, що оперують з імовірнісними та спектральними характеристиками випадкових числових послідовностей, є основою аналітичного імовірнісного моделювання (Кветний та ін., 2013). Тут розглянуто закони розподілу ймовірності, спектральні щільності, кореляційні функції. Через складність побудови аналітичної імовірнісної моделі неможливо задати аналітично точні харак-

теристики випадкових процесів. Є низка досліджень, орієнтованих на розробку й створення пакетів прикладного програмного забезпечення для реалізації чисельних алгоритмів розв'язання типових процедур аналітичного імовірнісного моделювання, включаючи методи описання структур системи. Але таке програмне забезпечення зазвичай є вузькоспеціалізованим і призначене для вирішення певного класу завдань під час побудови складної системи.

Результати дослідження. Застосування псевдовипадкових величин у проектуванні систем є важливою темою досліджень, особливо в контексті моделювання та аналізу систем, які мають випадкову поведінку або залежать від невизначеності. У галузі застосування псевдовипадкових величин у проектуванні систем відомі науковці й автори провели дослідження, у яких пропонують різні підходи та методи для вивчення і оцінки впливу псевдовипадкових чисел на проектування систем.

Класифікація та аналіз різних алгоритмів генерації псевдовипадкових величин та обґрунтування доцільності вибору алгоритмічного генератора для поточного шифрування аудіоповідомлень представлені в роботі І. Медяни та Р. Белецького. Автори дійшли висновку про доцільність використання алгоритму BBS через його високу стійкість, обумовлену якістю генератора, що базується на обчислювальній складності завдання факторизації чисел (Медяна та Белзецький, 2020). Застосування генераторів псевдовипадкових послідовностей з нелінійною динамікою на основі хаотичних систем для захисту інформаційних систем розглянуто в роботі Г. Косована (2018). Також багато дослідників вивчали підходи та методи для оцінки якості псевдовипадкових чисел у проектуванні систем, зокрема їх використання у криптографічних застосуваннях, для симуляції реальних процесів і тестування інформаційних систем, застосування псевдовипадкових величин у моделюванні й оптимізації систем, зокрема в галузі телекомунікацій і мережевого проектування, у фінансовій математиці й управлінні ризиками.

Дослідження в галузі застосування псевдовипадкових чисел у проектуванні систем є актуальними з кількох причин:

1. **Необхідність моделювання випадковості:** багато систем мають випадкову поведінку або піддаються впливу невизначеності. Застосування псевдовипадкових чисел дає змогу моделювати ці випадкові процеси й проводити аналіз їх впливу на систему. Це особливо важливо для систем, де точне математичне описання випадкових подій є складним або неможливим.

2. **Симуляція та тестування систем:** застосування псевдовипадкових чисел є необхідним для симуляції та тестування систем. Через використання псевдовипадкових чисел у симуляціях можна відтворити різноманітні випадкові сценарії та перевірити, як система реагує на них. Це дає змогу виявляти потенційні проблеми, тестувати ефективність й ухвалювати рішення щодо вдосконалення системи.

3. **Криптографія та безпека:** псевдовипадкові числа використовуються в криптографії для генерації ключів, створення підписів і гарантування безпеки передачі даних. Актуальні дослідження спрямовані на розробку нових алгоритмів генерації псевдовипадкових чисел, які були б стійкими до криптографічних атак і гарантували високий рівень безпеки в системах.

4. Оптимізація та аналіз ризиків: використання псевдовипадкових чисел дає змогу проводити оптимізацію систем й аналізувати ризики. За допомогою генерації великої кількості псевдовипадкових чисел можна провести статистичний аналіз, виявити оптимальні рішення та оцінити можливі ризики.

5. Машинне навчання та штучний інтелект: застосування псевдовипадкових чисел важливе для багатьох алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту. Генерація випадкових значень допомагає забезпечити різноманітність та експлорацію простору можливих рішень, що сприяє поліпшенню якості моделей і результатів.

Використання псевдовипадкових величин у моделюванні систем масового обслуговування сприяють реалістичному відтворенню та аналізу різних сценаріїв і поведінки системи. Псевдовипадкові величини часто використовуються для моделювання вхідних потоків клієнтів у систему масового обслуговування. Вони можуть допомогти відтворити реалістичність статистичних характеристик, таких як час між прибуттями клієнтів. Вони також використовуються для моделювання часу обслуговування клієнтів у системі. Такі величини використовуються для генерації випадкових експериментів у моделюванні систем масового обслуговування. Вони дають змогу оцінити різні показники продуктивності системи, такі як середній час очікування, використання ресурсів й інші важливі метрики. За допомогою варіювання певних параметрів, які використовуються для генерації псевдовипадкових чисел, можна оцінити вплив цих параметрів на продуктивність системи та знайти оптимальні налаштування. Порівнюючи реальні дані із згенерованими модельними псевдовипадковими даними можна оцінити точність і достовірність моделі.

Під час розробки математичної моделі системи масового обслуговування з використанням псевдовипадкових чисел потрібно врахувати низку важливих етапів проектування. Спочатку необхідно визначити змінні, які використовуються в моделі інформаційної системи. Наприклад, це може бути час обробки запиту, інтервали між подіями, кількість ресурсів, час затримки й інші параметри. Наступним етапом є вибір псевдовипадкового генератора, який відповідає вимогам до системи, урахувавши закон розподілу псевдовипадкової величини. Зазвичай під час проектування систем використовується нормальний закон розподілу, але відповідно до особливостей системи може використовуватися закон Пуассона або експоненціальний закон розподілу випадкової величини.

Нормальний закон розподілу є найбільш розповсюдженим під час аналізу та прогнозування, виявлення виробничих помилок, контролювання технологічних процесів. Відомо, що нормальним законом розподілу описуються неперервні випадкові величини, хоча насправді більшість випадкових величин є дискретною, але розподіл більшості з них добре апроксимується нормальним розподілом. Відповідно до центральної граничної теореми за певних умов більшість законів розподілу наближається до нормального. Такий розподіл описується густиною ймовірності:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

де

m – математичне сподівання;

σ – середнє квадратичне відхилення.

Під час моделювання випадкової величини за нормальним законом розподілу розглядають деяку випадкову величину:

$$\eta = \frac{X - m}{\sigma} \quad (2)$$

Для вказаної випадкової величини математичне сподівання дорівнює нулю, а середньоквадратичне відхилення одиниці. Для генерації значень x_i випадкової величини X спочатку генерують значення випадкової величини h , а в разі комп'ютерної генерації застосовують центральну граничну теорему (Імовірнісне моделювання, б.д.). Загалом алгоритм побудови нормально розподіленої випадкової величини має такий вигляд: з певної кількості випадкових величин з інтервалу $(0;1)$ складають суму, яка визначає випадкову величину X , надалі нормовану за формулою (2).

Розподіл Пуассона описує дискретну випадкову величину, для якої характерний найпростіший потік подій, тобто це певна послідовність подій, що настають одна за одною в довільні моменти часу зі сталою інтенсивністю. Закон розподілу Пуассона має такий вигляд:

$$P(X = x) = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda},$$

де λ – середнє число появи події за час t .

Під час моделювання випадкової величини, розподіленої за законом Пуассона, проводять n незалежних випробувань, при чому імовірність появи кожної події досить низька ($p < 0.1$). Наступним кроком з множини випадкових чисел розподілених за нормальним законом в інтервалі $(0;1)$ обирають довільне значення та перевіряють, чи воно не перевищує значення p . Кількість таких значень використовується як випадкова величина із законом Пуассона.

Згенеровані за певним законом псевдовипадкові величини в математичній моделі для моделювання різних аспектів інформаційної системи можна використовувати для розподілу часу обробки задач або для випадкового вибору ресурсів для обробки. Важливо переконатися в коректності роботи, створеної за допомогою генератора псевдовипадкових чисел моделі. Аналіз поведінки моделі має підтвердити поведінку моделі відповідно до різних сценаріїв з використанням різних наборів псевдовипадкових чисел. Використання псевдовипадкових чисел слугує для моделювання різних подій у системі, таких як прибуття клієнтів, обробка їхніх запитів, розподіл ресурсів, а також для випадкового вибору значень і розподілу часу між подіями.

Проектування систем масового обслуговування є досить складним процесом, у якому використовується велика кількість вхідних параметрів, а з використанням математичного моделювання прогнозується поведінка системи. У такій ситуації доречно використовувати алгоритми машинного навчання, які базуються на ухваленні рішень. Одним з таких підходів є високоефективний, адаптивний і гнучкий алгоритм, який має назву «випадковий ліс». Він є кращою моделлю контрольованого машинного навчання для багатьох задач моделювання з великим

набором оброблюваних даних; пропонує низку переваг, яких немає у багатьох альтернативних підходах, а також дає точні прогнози поведінки системи.

Випадковий ліс є контрольованим алгоритмом машинного навчання. Це один з найбільш популярних алгоритмів завдяки своїй точності, простоті та гнучкості. Застосування такого алгоритму для проектування інформаційних систем обумовлено тим, що його можна використовувати для завдань класифікації та регресії, що у поєднанні з його нелінійною природою робить такий підхід адаптованим до низки задач моделювання (What is a Random Forest, n.d.).

Алгоритм називають «лісом», тому що в ньому використовується певна кількість дерев рішень. Дані із цих дерев об'єднують, щоб забезпечити найточніші прогнози. Коли одне дерево рішень має один результат, ліс забезпечує певну апроксимацію більшої кількості груп рішень з наближенням до точного результату. Це має додаткову перевагу під час урахування випадковості до моделі через знаходження найкращої функції: випадковий ліс випадковим чином вибере функції та зробить спостереження, створить ліс дерев рішень, а потім узагальнить результати. Ідея застосування такого алгоритму полягає в тому, що велика кількість некорельованих дерев створить точніші прогнози, ніж одне окреме дерево рішень. Це пояснюють тим, що набір дерев працює таким чином, щоб виключити помилки сусідніх дерев. Це означає, що в кожному випадковому лісі є дерева, які навчаються на різних даних і використовують різні функції для ухвалення рішень. Такий підхід створює буфер для дерев, захищаючи їх від помилок і неправильних прогнозів.

Оскільки випадковий ліс можна використовувати як для завдань класифікації, так і для регресії, він дуже універсальний. Може легко обробляти двійкові, числові та категоріальні функції без необхідності трансформації чи масштабування. На відміну від інших моделей, він наймовірніше ефективний з усіма типами даних, що робить його застосування оптимальним під час проектування інформаційних систем різного типу. Використання низки дерев зі значними відмінностями між підгрупами робить випадкові ліси точним інструментом прогнозування.

Поєднання класичного випадкового лісу з іншими стратегіями може бути потужним інструментом, який дасть змогу зробити моделювання систем більш точним через точність прогнозування та оптимізацію результатів обробки даних. Це призведе до створення реалістичних систем масового обслуговування з можливістю обробки великої кількості вхідних даних.

Висновки. Використання псевдовипадкових величин у проектуванні інформаційних систем є важливим інструментом, що дає змогу моделювати випадковість, гнучко враховувати різні характеристики системи, здійснювати оптимізацію та перевірку стійкості. Це допомагає покращувати ефективність і продуктивність систем масового обслуговування.

Імітаційне моделювання випадкових процесів дає змогу проводити чисельні експерименти й аналізувати поведінку системи в умовах невизначеності. Це дає можливість прогнозувати результати й ухвалювати рішення на основі отриманих даних. Крім того, цей метод дає змогу виявляти складні залежності та взаємодії між компонентами системи.

Широкий спектр питань (від моделювання фінансових ринків до прогнозування енергетичних систем) вирішує застосування імітаційного моделювання випадкових процесів. Ці методи дають змогу враховувати різноманітність факторів та випадковості, що впливають на систему, та допомагають уникати непередбачуваних наслідків.

Моделювання систем масового обслуговування на основі імітаційного моделювання випадкових процесів є потужним інструментом, що дає змогу досліджувати та передбачати поведінку систем у випадкових умовах. Вивчення цього підходу відкриває шлях до нових можливостей у різних галузях знання і сприяє розвитку науки й технологій.

Створення імітаційних моделей на основі генерації псевдовипадкових величин є широкою та багатогранною галуззю.

Ураховуючи наведені аспекти можна вважати основним методом стохастичного комп'ютерного моделювання метод статистичного імітаційного моделювання на основі псевдовипадкових величин. Псевдовипадкові величини дають змогу виконувати аналіз ризиків у процесі проектування систем. За допомогою генерації випадкових сценаріїв та оцінки їхніх наслідків можна виявляти потенційні проблеми й ризики, що можуть впливати на функціонування системи. Це допомагає ухвалювати обґрунтовані рішення з метою запобігання можливим негативним наслідкам.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

Імовірнісне моделювання. Моделювання випадкових процесів, б.д. [online] Доступно: <https://pns.hneu.edu.ua/pluginfile.php/293329/mod_resource/content/2/Тема%2020.pdf> [Дата звернення 29 квітня 2023].

Кветний, Р.Н., Богач, І.В., Бойко, О.Р., Софіна, О.Ю. та Шушура, О.М., 2013. Особливості імітаційного статистичного моделювання. В: *Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень*. [online] Вінниця: Вінницький національний технічний університет, Частина 1, с.28-40. Доступно: <https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/flksa/2kvetnyj_komp'yuterne_modelyuvannya_system_procesiv/t1/14...htm> [Дата звернення 29 квітня 2023].

Косован, Г.В., 2018. *Синтез генераторів псевдовипадкових послідовностей із нелінійною динамікою для захисту інформації в телекомунікаційних системах*. Автореферат дисертації кандидата технічних наук. Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова. Доступно: <<https://biblio.suitt.edu.ua/bitstream/handle/123456789/2333/Kosovan.pdf?sequence=1>> [Дата звернення 29 квітня 2023].

Медяна, І.Л. та Белзецький, Р.С., 2020. Обґрунтування вибору генератора псевдо випадкових величин для потокового шифрування аудіо повідомлення. В: *Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ*. Вінниця, Україна, [online] 27-28 квітня 2020 р. Вінницький національний технічний університет. Доступно: <<https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/29283/9593.pdf?sequence=3>> [Дата звернення 29 квітня 2023].

ASU Open Door, 2021. What is chaos? How is it different from randomness? *YouTube*, [online] 1 March. Available at: <<https://www.youtube.com/watch?v=--eNwj3pvU>> [Accessed 29 April 2023].

What is a Random Forest?, n.d. *TIBCO*. [online] Available at: <<https://www.tibco.com/reference-center/what-is-a-random-forest>> [Accessed 29 April 2023]

REFERENCES

ASU Open Door, 2021. What is chaos? How is it different from randomness? *YouTube*, [online] 1 March. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=_--eNwj3pvU> [Accessed 29 April 2023].

Imovirnisne modeliuвання. Modeliuвання vypadkovykh protsesiv [Probabilistic modeling. Modelling of random processes], n.d. [online] Available at: <https://pns.hneu.edu.ua/pluginfile.php/293329/mod_resource/content/2/Tema%2020.pdf> [Accessed 29 April 2023].

Kosovan, H.V., 2018. *Cyntež heneratoriv psevdovypadkovykh poslidovnostei iz neliniinoiu dynamikoju dlia zakhystu informatsii v telekomunikatsiinykh systemakh* [Synthesis of pseudorandom sequence generators with nonlinear dynamics for information protection in telecommunication systems]. Abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences. O.S. Popov Odessa National Academy of Telecommunications. Available at: <<https://biblio.suitt.edu.ua/bitstream/handle/123456789/2333/Kosovan.pdf?sequence=1>> [Accessed 29 April 2023].

Kvietnyi, R.N., Bohach, I.V., Boiko, O.R., Sofyna, O.Iu. and Shushura, O.M., 2013. Osoblyvosti imitatsiinoho statystychnoho modeliuвання [Peculiarities of simulated statistical modeling]. In: *Kompiuterne modeliuвання system ta protsesiv. Metody obchyslen* [Computer modeling of systems and processes. Calculation methods]. [online] Vinnytsia: Vinnytsia National Technical University, Part 1, pp.28-40. Available at: <https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/2kvetnyj_kompiuterne_modelyuvannya_system_procesiv/t1/14...htm> [Accessed 29 April 2023].

Mediana, I.L. and Belzetskyi, R.S., 2020. Obhruntuvannya vyboru heneratora psevdovypadkovykh velychyn dlia potokovoho shyfruvannya audio povidomlennia [Rationale for choosing a pseudo random variable generator for stream encryption of an audio message]. In: *Materialy XLIX naukovo-tekhnichnoi konferentsii pidrozdiliv VNTU* [Proceedings of the XLIX Scientific and Technical Conference of VNTU divisions]. Vinnytsia, Ukraine, [online] 27-28 April 2020. Vinnytsia National Technical University. Available at: <<https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/29283/9593.pdf?sequence=3>> [Accessed 29 April 2023].

What is a Random Forest?, n.d. *TIBCO*. [online] Available at: <<https://www.tibco.com/reference-center/what-is-a-random-forest>> [Accessed 29 April 2023].

UDC 004.94:519.216]:519.876.5

Kateryna Kotsiubivska,

*PhD in Technical Sciences, Associate Professor,
Head of the Computer Sciences Department,
Kyiv National University of Culture and Arts,
Kyiv, Ukraine
kateryna@knukim.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-3987-9871>*

Olena Tymoshenko,

*Doctor of Science in Economics, Associate Professor,
Professor at the Department of Fashion and Show Business,
Kyiv National University of Culture and Arts,
Kyiv, Ukraine
etymoshenko@i.ua
<https://orcid.org/0000-0003-3820-1492>*

Kostiantyn Bulyha,

*PhD in Technical Sciences,
Associate Professor at the Computer Science Department,
Kyiv National University of Culture and Arts,
Kyiv, Ukraine
piton54@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0002-9537-3226>*

Ihor Yarokhno,

*Master's Student at the Computer Science Department,
Faculty of Postgraduate Education,
Kyiv National University of Culture and Arts,
Kyiv, Ukraine
igorarohno@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0003-6988-5564>*

APPLICATION OF PSEUDO-RANDOM NUMBERS IN SYSTEM DESIGN

The purpose of the article is to study and search for optimal strategies for modelling information systems using pseudo-random numbers to improve the performance of information systems and to determine the optimal parameters of random number distributions; to analyze efficient algorithms for generating pseudo-random numbers.

The research methods are based on the application of a systematic approach to analyzing the benefits of using pseudorandom numbers in the design of information systems.

Scientific novelty. The article analyses the advantages of stochastic modelling of information systems using different approaches to generating pseudorandom numbers, and for the first time considers the application of a random decision tree forest for modelling queuing systems.

Conclusions. The application of pseudorandom numbers in system design is an urgent problem that requires further research and development of methods. The design of efficient algorithms for generating, validating, and using pseudorandom values plays an essential role in many fields of science and technology. This approach allows for optimization and planning in the process of designing the system and is essential for validating and testing the system. By generating random variables, you can create different test scenarios and check how the system reacts to various conditions, which helps to identify potential errors, flaws, and problems in the system and ensures the quality of the design.

Thus, the use of pseudo-random numbers in system design allows for randomness, risk analysis, optimization and planning, validation, and testing. This is an important aspect of system development that helps to ensure their reliability, performance, and efficiency.

Keywords: randomness; law of distribution; pseudo-random numbers; simulation modelling; system modelling; queuing systems.

30.04.2023