

## КІБЕРНЕТИКА

## CYBERNETICS

УДК 004.274

**Оптимізація схеми автомата Мілі в змішаному елементному базисі / О.О. Баркалов, Л.О. Тітаренко, О.М. Головін, О.В. Матвієнко // Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 4. С. 3–18.**

**Анотація.** Запропоновано метод зменшення кількості елементів LUT у схемі автомата Мілі, яка реалізується в базисі FPGA. При цьому частина схеми реалізується за допомогою блока пам'яті ЕМВ. Метод базується на подвійному кодуванні станів і кодуванні наборів мікрооперацій. Наведено приклад синтезу схеми МПА з використанням запропонованого методу. За виконання певних умов схема МПА має точно три рівні логічних елементів. Розглянуто методи поліпшення характеристик схеми, які базуються на оптимальному кодуванні станів і наборів мікрооперацій.

**Ключові слова:** мікропрограмний автомат Мілі, синтез, FPGA, EMB, LUT, кодування.

**Optimization of Mealy FSM circuit in mixed element basis / A.A. Barkalov, L.A. Titarenko, O.M. Golovin, A.V. Matviienko // Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 4. P. 3–18.**

**Abstract.** A method of reducing LUT count in the FPGA-based circuit of Mealy finite state machine (FSM). A part of the circuit is implemented using embedded memory block (EMB). The method is based on the twofold state assignment and encoding collections of microoperations. An example of the synthesis of FSM circuit using the proposed method is given. When certain conditions are met, there are exactly three levels of logic elements in the FSM circuit. Methods for improving the characteristics of a circuit based on optimal coding of states and collections of microoperations are considered.

**Keywords:** Mealy FSM, synthesis, FPGA, EMB, LUT, encoding.

## СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ

## SYSTEMS ANALYSIS

УДК 519. 21

**Керовані стохастичні системи / П.С. Кнопов, Т.В. Пепеляєва // Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 4. С. 19–35.**

**Анотація.** Розглянуто керовані марковські та напівмарковські процеси та системи. Наведено огляд прикладних задач керування запасами. Розглянуто одно- та багатомономенклатурні моделі з різними типами функції витрат та критеріями оптимальності. Досліджено умови оптимальності та вигляд оптимальних стратегій у цих задачах.

**Ключові слова:** марковські процеси, напівмарковські процеси, керування запасами, -стратегія, критерій оптимальності, оптимальна стратегія.

**Controlled stochastic systems / P.S. Knopov, T.V. Pepelyaeva // Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 4. P. 19–35.**

**Abstract.** Controlled Markov and semi-Markov processes and systems are considered. A review of inventory control problems is provided. One- and multiproduct models with different types of cost function and optimality criteria are considered. The optimality conditions and structures of optimal strategies in the problems are investigated.

**Keywords:** Markov processes, semi-Markov processes, inventory control, -strategy, optimality criterion, optimal strategy.

УДК 517.9:519.6

**Про деякі узагальнення біпорядкової дробової похідної Хільфера / В.М. Булавацький // Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 4. С. 36–49.**

**Анотація.** Розглянуто узагальнення поняття біпорядкової дробової похідної Хільфера, раніше запровадженої в роботі автора. Зокрема, введено поняття біпорядкової дробової похідної Хільфера функції щодо іншої функції та пропорційної біпорядкової похідної Хільфера функції щодо іншої функції. Наведено основні композиційні властивості для операторів біпорядкових дробових похідних та інтегралів. Отримано формулу перетворення Лапласа пропорційної біпорядкової похідної Хільфера, побудовано замкнені розв'язки задач типу Коші для лінійних рівнянь з зазначеними узагальненими біпорядковими дробовими похідними Хільфера.

**Ключові слова:** дробова похідна Хільфера, біпорядкова дробова похідна Хільфера, біпорядкова дробова похідна Хільфера функції щодо іншої функції, пропорційна біпорядкова дробова похідна Хільфера, композиційні властивості, перетворення Лапласа, задачі типу Коші, замкнені розв'язки.

**On some generalizations of the bi-ordinal Hilfer's fractional derivative / V.M. Bulavatsky // Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 4. P. 36–49.**

**Abstract.** The article is devoted to the generalization of the concept of bi-ordinal Hilfer's fractional derivative, previously introduced in an author's work. In particular, the concept of the bi-ordinal Hilfer's derivative of a function with respect to another function and proportional bi-ordinal Hilfer derivative of a function with respect to another function are introduced, the main compositional properties for operators of bi-ordinal fractional derivatives and integrals are given, a formula for the Laplace transform of the proportional bi-ordinal Hilfer derivative is obtained, and closed-form solutions to the Cauchy-type problems for linear equations with the mentioned generalized bi-ordinal Hilfer's fractional derivatives are constructed.

**Keywords:** Hilfer's fractional derivative, bi-ordinal Hilfer's fractional derivative, bi-ordinal Hilfer's fractional derivative of a function with respect to another function, proportional bi-ordinal Hilfer's fractional derivative, composite properties, Laplace transform, Cauchy-type problems, closed-form solutions.

---

УДК 681.51

**Розщеплення системи лінійних рівнянь на блоки / Ю.М. Базилевич, І.А. Костюшко, О.Д. Станіна, В.С. Ткачов // Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 4. С. 50–57.**

**Анотація.** Наведено огляд різних задач про приведення системи лінійних диференціальних рівнянь до декількох незалежних підсистем меншого порядку. Обґрунтовано побудову допоміжних квадратних матриць, для яких застосовується перетворення подібності. Це дає змогу використовувати для різних класів задач результати, які були отримані для приведення двох квадратних матриць, а саме: отримання максимально можливої кількості блоків, доказ єдиності одержаного розщеплення, пошук схованої симетрії досліджуваної системи, виявлення слабко пов'язаних підсистем і створення ефективних обчислювальних алгоритмів розщеплення.

**Ключові слова:** матриці, системи рівнянь, декомпозиція, максимальна кількість підсистем.

---

**Decoupling a system of linear differential equations into blocks / Yu.M. Bazylevych, I.A. Kostyushko, O.D. Stanina, V.S. Tkachov // Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 4. P. 50–57.**

**Abstract.** Problems on reducing a system of linear differential equations to several independent low-order subsystems are considered. Construction of the auxiliary square matrices for which similarity transformation is applied is substantiated. This allows transferring the results obtained for the problem of reducing two square matrices to different classes of problems: obtaining the maximum possible number of blocks, proof of the unity of the obtained decoupling, detection of the symmetry of the system under study, detection of loosely coupled subsystems, and creation of efficient computational splitting algorithms.

**Keywords:** matrices, systems of equations, decomposition, maximum number of subsystems.

---

УДК 519.6

**Прийняття рішень у разі прогнозування динаміки вірусної інфекції з урахуванням дифузійно-конвекційної міграції діючих чинників декількома шляхами в умовах імунотерапії / С.В. Барановський, А.Я. Бомба // Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 4. С. 58–69.**

**Анотація.** Здійснено модифікацію математичної моделі інфекційного захворювання для врахування впливу різних шляхів міграції діючих чинників у внутрішньому середовищі організму людини з огляду на складність виокремлення різних умов розповсюдження антигенів, антитіл та лікарських речовин у міжклітинному просторі і лімфатичній системі під час прогнозування динаміки вірусної інфекції. Розв'язок модельної сингулярно збуреної задачі із запізненням отримано на основі адаптованої обчислювальної технології, яка забезпечує поетапне числово-асимптотичне наближення спеціально побудованої послідовності задач без запізнення, як збурення розв'язків відповідних вироджених задач. Наведені результати комп'ютерного моделювання ілюструють прогностичний внесок декількох шляхів міграції діючих чинників у процес розвитку інфекційного захворювання. Зазначено, що на ефективність дії імунних препаратів, окрім іншого, матимуть вплив ще й умови, що визначаються шляхом міграції донорських антитіл у середовищі організму. Цей вплив необхідно враховувати в системах прийняття рішень щодо формування відповідних раціональних програм лікування захворювання.

**Ключові слова:** модель інфекційного захворювання, динамічні системи із запізненням, гетеродифузія двома шляхами, асимптотичні методи, сингулярно збурені задачі, зосереджені впливи.

---

**Decision-making when predicting the dynamics of a viral infection taking into account the diffusion-convection migration of active factors by several ways in the conditions of immunotherapy / S.V. Baranovsky, A.Ya. Bomba // Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 4. P. 58–69.**

**Abstract.** Based on the problem of distinguishing different conditions for the spread of antigens, antibodies, and medicinal substances in the intercellular space and the lymphatic system, when predicting the dynamics of a viral infection, a modification of the mathematical model of an infectious disease was carried out for to take into account the influence of various ways of migration of active factors in the body's environment. The solution of the model singularly perturbed problem with a delay is obtained based on adapted computing technology, which provides a stepwise numerical asymptotic approximation of a specially constructed sequence

of problems without delay as a perturbation of the solutions of the corresponding degenerate problems. The results of computer modeling illustrate the predictive contribution of several ways of migration of active factors to the process of infectious disease development. It is noted that the effectiveness of immunological drugs, among other things, will be influenced by the conditions determined by the migration of donor antibodies in the body's environment, which must be taken into account in decision-making systems regarding the formation of appropriate rational disease treatment programs.

**Keywords:** infectious disease model, dynamic systems with delay, heterodiffusion in two ways, asymptotic methods, singularly perturbed problems, concentrated influences.

---

УДК 519.65

**Чебишовське наближення функцій багатьох змінних степеневим виразом / П.С. Малахівський, Л.С. Мельничок, Я.В. Пізюр // Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 4. С. 70–78.**

**Анотація.** Запропоновано метод побудови чебишовського наближення з відносною похибкою функцій багатьох змінних степеневим виразом. Він полягає в побудові проміжного чебишовського наближення з відносною похибкою поліномом значень кореня відповідного степеня від наближуваної функції. Параметри наближення поліномом обчислено як граничне середньостепеневе наближення за ітераційною схемою з використанням методу найменших квадратів зі змінною ваговою функцією. Наведено тестові приклади, які підтверджують швидку збіжність методу побудови чебишовського наближення функцій однієї, двох і трьох змінних степеневим виразом..

**Ключові слова:** чебишовське наближення функцій багатьох змінних, степеневий вираз, середньостепеневе наближення, метод найменших квадратів, змінна вагова функція.

---

**Chebyshev approximation of the multivariable functions by power expression / P. S. Malachivskyy, L. S. Melnychok, Ya. V. Pizyur // Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 4. P. 70–78.**

**Abstract.** A method of constructing the Chebyshev approximation with the smallest relative error of multivariable functions by a power expression is proposed. It consists in constructing an intermediate Chebyshev approximation of the function, which is the root of the corresponding power of the given function by a polynomial. The parameters of the polynomial approximation are calculated as the limiting mean-power approximation according to the iterative scheme using the least squares method with a variable weight function. Test examples are given that confirm the fast convergence of the method of constructing the Chebyshev approximation using the power expression of functions of one, two, and three variables.

**Keywords:** Chebyshev approximation of the multivariable functions, power expression, mean-power approximation, least squares method, variable weight function.

---

УДК 517.977

**Достатні умови зближення конфліктно-керованих об'єктів з різною інерційністю / А.О. Чикрій, Й.С. Раппопорт // Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 4. С. 79–102.**

**Анотація.** Розглянуто проблему зближення керованих об'єктів з різною інерційністю в ігрових задачах динаміки. Для таких керованих об'єктів характерним є невиконання умови Понтрягіна на деякому інтервалі часу. Для розв'язання проблеми введено спеціальні багатозначне відображення і матрична функція для вирівнювання ресурсів керування гравців, а потім додатковий ресурс компенсується за рахунок тілесної складової циліндричної термінальної множини. За допомогою нижньої розв'язувальної функції для об'єктів з різною інерційністю запропоновано дві модифіковані схеми першого прямого методу Понтрягіна, що гарантують успішне завершення конфліктно-керованого процесу в класі контркерувань. Введено верхню розв'язувальну функцію та розглянуто відповідні модифіковані схеми методу розв'язувальних функцій для керованих об'єктів з різною інерційністю в класі квазістратегій та контркерувань. Нові теоретичні результати проілюстровано на модельному прикладі.

**Ключові слова:** керовані об'єкти з різною інерційністю, квазілінійна диференціальна гра, багатозначне відображення, вимірний селектор, стробоскопічна стратегія, розв'язувальна функція.

---

**Sufficient approach conditions for conflict controlled objects with different inertia / A.A. Chikrii, I.S. Rappoport // Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 4. P. 79–102.**

**Abstract.** The problem of convergence of controlled objects with different inertia in dynamic game problems is considered. For controlled objects with different inertia, it is characteristic that the Pontryagin condition is not satisfied on a time interval. To solve the problem, a special multivalued mapping and a matrix function are introduced to equalize the players' control resources, and then the additional resource is compensated by the body component of the cylindrical terminal set. With the help of the lower resolving function for objects with different inertia, two modified schemes of the first direct Pontryagin method are proposed, which guarantee the successful completion of the conflict-controlled process in the class of countercontrols. The upper resolving function is introduced and the corresponding modified schemes of the method of resolving functions for controlled objects with different inertia in the class of quasi-strategies and counter-controls are presented. New theoretical results are illustrated by a model example.

**Keywords:** controlled objects with different inertia, quasilinear differential game, multi-valued mapping, measurable selector, stroboscopic strategy, resolving function.

**Оптимізація показників якості продукції в системі «виробник-споживач» на основі нечітких когнітивних карт і генетичного алгоритму / О.П. Ротштейн, О.В. Зелінська, В.П. Камінський // Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 4. С. 103–116.**

**Анотація.** Запропоновано підхід до постановки та розв'язання задачі оптимального вибору вимог до показників якості продукції з урахуванням інтересів виробника та споживача. Постановку задачі здійснено в термінах математичного програмування. Критерієм оптимізації є максимум близькості між рівнем привабливості товару і бажанням його придбати; керованими змінними є рівні показників, специфічних для виробника та споживача; обмеженнями є домовленості щодо необхідних рівнів показників, спільних для виробника та споживача. Для побудови залежностей, що входять у цільову функцію, використано нечіткі когнітивні карти, а оптимальні розв'язки знайдено за допомогою генетичного алгоритму. Підхід проілюстровано прикладом робота-пилососа, який є одним із побутових застосувань технології штучного інтелекту, що найбільше продаються.

**Ключові слова:** якість продукції, параметри якості, виробник, споживач, оптимізація, нечітка когнітивна карта, генетичний алгоритм, робот-пилосос.

**Optimization of product quality indicators in the “producer-consumer” system based on fuzzy cognitive maps and genetic algorithm / O.P. Rotshtein, O.V. Zelinska, V.P. Kaminskyi // Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 4. P. 103–116.**

**Abstract.** An approach to the formulation and solution of the problem of optimal selection of quality indicators for products, taking into account the interests of both the producer and the consumer, is proposed. The problem is formulated in terms of mathematical programming. The optimization criterion is the maximum closeness between the attractiveness level of the product and the desire to purchase it; the controlled variables are the levels of indicators specific to the manufacturer and the consumer; the constraints are agreements regarding the necessary levels of indicators shared by both the manufacturer and the consumer. Fuzzy cognitive maps are used to construct the dependencies that appear in the objective function, and optimal solutions are found using a genetic algorithm. The approach is illustrated by the example of a robotic vacuum cleaner, which is one of the best-selling household applications of artificial intelligence.

**Keywords:** product quality, quality parameters, producer, consumer, optimization, fuzzy cognitive map, genetic algorithm, robotic vacuum cleaner.

**Про оптимізаційні властивості узагальнених інтегралів Чебишева–Пуассона / А.Ю. Міщук, А.М. Шутовський // Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 4. С. 117–126.**

**Анотація.** Застосовано многочлени Чебишева першого роду з метою побудови узагальненого інтеграла Чебишева–Пуассона. Розв'язано задачу оптимізації для узагальненого оператора Чебишева–Пуассона як функціонала функції, визначеної на відрізку, та проаналізовано його апроксимативні властивості на класах Гельдера. Отримано точну рівність для відхилення функцій класу Гельдера від узагальненого інтеграла Чебишева–Пуассона.

**Ключові слова:** многочлени Чебишева, узагальнений інтеграл Чебишева–Пуассона, клас функцій Гельдера, задача оптимізації.

**On the optimization properties of generalized Chebyshev–Poisson integrals / A.Yu. Mishchuk, A.M. Shutovskiy // Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 4. P. 117–126.**

**Abstract.** Chebyshev polynomials of the first kind are used to construct the generalized Chebyshev–Poisson integral. The optimization problem for the generalized Chebyshev–Poisson operator as a functional of a function defined on a segment is solved, and its approximate properties on Holder classes are analyzed. An exact equality is obtained for the deviation of Holder class functions from the generalized Chebyshev–Poisson integral.

**Keywords:** Chebyshev polynomials, generalized Chebyshev–Poisson integral, class of Holder functions, optimization problem.

**Метод радіальних базисних функцій для розв'язування інтегро-диференціального рівняння дифузії з нелокальними ефектами / І. Борачок, О. Паляниця, Р. Хапко // Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 4. С. 127–140.**

**Анотація.** Розглянуто метод радіальних функцій для наближеного розв'язання інтегро-диференціального рівняння з частинними похідними. Для апроксимації точного розв'язку використано лінійну комбінацію радіальних базисних функцій у певних центральних точках та лінійну комбінацію поліноміальних базисних функцій. Запропоновано розташування центральних точок як для дво-, так і для тривимірних областей. Колокація в центральних вузлах дає напівдискретну схему з інтегральними коефіцієнтами, для обчислення яких використано квадратурні формули Гаусса–Лежандра та трапецій. Для визначення параметра форми застосовано генетичний алгоритм. Наведено чисельні розрахунки для дво- та тривимірних областей, що підтверджують ефективність запропонованого алгоритму.

**Ключові слова:** еліптичне інтегро-диференціальне рівняння з частинними похідними, радіальні базисні функції, генетичний алгоритм.

---

**Method of radial basis functions for a partial integro-differential equation of diffusion with non-local effects / I. Borachok, O. Palanytsia, R. Chapko** // *Kibernetyka ta Systemnyi Analiz*. 2024. Vol. 60, N 4. P. 127–140.

**Abstract.** The method of radial basis functions for the numerical solution of the partial integro-differential equation in multi-dimensional domains is considered. A linear combination of radial basis functions at specific center points and a linear combination of polynomial basis functions are employed to approximate the problem's solution. The distribution of the center points is proposed for both two and three-dimensional domains. Collocating at the center points leads to the semi-discretized system that contains integral coefficients. Integral coefficients are calculated numerically using the Gauss-Legendre and trapezoidal quadrature rules. A shape parameter is determined by a real-coded genetic algorithm. Numerical results both in two- and three-dimensional domains confirm the applicability of the proposed approach.

**Keywords:** elliptic partial integro-differential equation, radial basis functions, polynomial basis, genetic algorithm.

---

## ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ

## SOFTWARE-HARDWARE SYSTEMS

УДК 004.318

**Проблеми і роль онтологічної інженерії у формуванні індустрії знань з позицій дослідного проєктування / О.В. Палагін, М.Г. Петренко, К.С. Малахов** // *Кібернетика та системний аналіз*. 2024. Том 60, № 4. С. 141–155.

**Анотація.** Розглянуто моделі та механізми трансдисциплінарних наукових досліджень для створення кластерів конвергенції дисциплін і наукових теорій, формального представлення знань і формування індустрії знань за допомогою єдиного інструментарію онтологічної інженерії. Приділено увагу можливостям дослідного проєктування для створення нових знань і технологій. Проаналізовано концептуальні терміни онтологічної інженерії та показано важливість і ефективність використання онтологічних знань та механізмів для розв'язання задач користувачів. Детально розглянуто предметну онтологію, її онтологічний граф та їхні суттєві відмінності і переваги над owl-онтологіями. Наведено приклад застосування онтології задач для проєктування обчислювальних пристроїв на програмовних мікросхемах.

**Ключові слова:** індустрія знань, онтологічна інженерія, трансдисциплінарні наукові дослідження, кластери конвергенції, дослідне проєктування, нові знання та технології, онтологія предметної галузі, онтологічний граф, онтологія задач.

---

**Challenges and role of ontology engineering in creating the knowledge industry: a research-related design perspective / O. Palagin, M. Petrenko, K. Malakhov** // *Kibernetyka ta Systemnyi Analiz*. 2024. Vol. 60, N 4. P. 141–155.

**Abstract.** The article discusses models and mechanisms of transdisciplinary research in the perspective of creating clusters of disciplinary convergence and scientific theories, formal representation of knowledge, and the formation of the knowledge industry using a unified ontology engineering devkit. Special attention is focused on the possibilities of research-related design for the creation of new knowledge and technologies. A conceptual analysis of ontology engineering is conducted, indicating the importance and effectiveness of applying ontology knowledge and mechanisms in solving user tasks. The domain ontology, its ontology graph, and their essential differences and advantages from owl ontologies are examined in depth. An example of the application of task ontology to the design of programmable microchip computing devices is proposed.

**Keywords:** knowledge industry, ontology engineering, transdisciplinary research, convergence clusters, research-related design, new knowledge and technologies, domain ontology, ontology graph, task ontology.

---

УДК 621.391:519.2:519.7

**Визначення кількості блоків підтвердження у дворівневому блокчейні з протоколом консенсусу Proof-of-Proof за різних типів консенсусу у мейнчейні/сайдчейні для запобігання атаці подвійної витрати. I. PoS у мейнчейні ТА PoW у сайдчейні / Л.В. Ковальчук, Н.В. Кучинська, М.С. Кондратенко** // *Кібернетика та системний аналіз*. 2024. Том 60, № 4. С. 156–167.

**Анотація.** Розглянуто питання безпечного функціонування дворівневого блокчейну зі складним змішаним протоколом консенсусу Proof-of-Stake в основному блокчейні (мейнчейні) та протоколом Proof-of-Work у другорядному блокчейні (сайдчейні). Дворівневий блокчейн побудовано за принципом протоколу Proof-of-Proof, коли стійкість сайдчейну забезпечена стійкістю мейнчейну шляхом посилання блоків мейнчейну на блоки сайдчейну з використанням спеціальних транзакцій. Ця структура дає змогу швидше створювати блоки у сайдчейні і відповідно швидше обробляти транзакції, не знижуючи стійкості та не збільшуючи обсягу блоку. Такий дворівневий блокчейн є найбільш зручним для створення каскадної системи державних реєстрів, гарантовано захищаючи від підміни та підробки документів. Основний результат роботи — отримання явних аналітичних виразів для оцінки ймовірності атаки подвійної витрати, направленої на сайдчейн у дворівневому блокчейні за умови наявності зловмисника як у сайдчейні, так і у мейнчейні.

**Ключові слова:** блокчейн, мейнчейн, сайдчейн, криптовалюти, майнінг, протокол консенсусу Proof-of-Proof, атака подвійної витрати.



**Determining the number of confirmation blocks in a two-level blockchain with Proof-of-Proof consensus protocol for different consensus types in mainchain/sidechain to prevent double-spend attack. I. PoS in mainchain and PoW in sidechain / L.V. Kovalchuk, N.V. Kuchynska, M.S. Kondratenko // Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 4. P. 156–167.**

**Abstract.** The paper investigates the issues of the safe operation of a two-level blockchain with a complex mixed consensus protocol — Proof-of-Stake in the main blockchain (mainchain) and Proof-of-Work in the secondary (sidechain). This two-level blockchain is built on the principle of the Proof-of-Proof protocol, where the safety of the sidechain is ensured by the stability of the mainchain, by referring the mainchain blocks to the sidechain blocks using special transactions. Such a structure allows faster issuance of blocks in the sidechain and, accordingly, faster processing of transactions without loss of security and without increasing the volume of the block. In turn, such a two-level blockchain is of the greatest interest for the creation of a cascade system of state registers, which will be guaranteed to be protected against the substitution and forgery of documents. The main results of the work are explicit analytical expressions for estimates of probability of double spend attack on such two-level blockchain, under the condition of adversary in sidechain and in mainchain.

**Keywords:** blockchain, mainchain, sidechain, cryptocurrencies, mining,

УДК 53.088.3+53.088.7

**Використання порогових та безпорогових методів дискретної вейвлет-фільтрації радіолокаційних сигналів / Ю.К. Тараненко, О.Ю. Олійник // Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 4. С. 168–179.**

**Анотація.** Досліджено ефективність порогових і безпорогових методів вейвлет-фільтрації шумів для оброблення радіолокаційних сигналів. Розглянуто три методи вейвлет-аналізу: із загальним порогом обмеження вейвлет-коефіцієнтів деталізації, з універсальним порогом для всіх вейвлет-декомпозицій, а також метод без порогу, що базується на обнуленні коефіцієнтів деталізації на певних рівнях вейвлет-декомпозиції сигналу. Оцінено ефективність вейвлет-фільтрації за відношенням сигнал/шум до і після фільтрації, ентропією сигналу та значенням середньоквадратичної похибки моделі. Встановлено, що у широкому діапазоні високих шумів від –12 дБ до –7.5 дБ метод із загальним порогом забезпечує ефективнішу фільтрацію шуму порівняно з іншими методами.

**Ключові слова:** дискретний вейвлет-аналіз, безпорогові методи, радіолокаційний сигнал, ентропія, порогова функція.

**Using threshold and no-threshold methods of discrete wavelet filtering of radio location signals / Yu.K. Taranenko, O.Yu. Oliinyk // Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 4. P. 168–179.**

**Abstract.** The paper examines the effectiveness of threshold and non-threshold wavelet noise filtering methods in processing radar signals. Three methods of wavelet analysis are analyzed: a method with a general threshold for limiting wavelet coefficients of detail; a method with a universal threshold for all wavelet decompositions; and a method without a threshold, based on zeroing the coefficients of detail at certain levels of the wavelet decomposition of the signal. The effectiveness of wavelet filtering is evaluated by the signal-to-noise ratio before and after filtering, signal entropy, and the model's mean square error (MSE) value. It is found that over a wide range of high noise from –12 dB to –7.5 dB, the common threshold method provides more effective noise filtering than other methods.

**Keywords:** discrete wavelet analysis, threshold method, radar signal, entropy, threshold function.

УДК 621.391

**Підвищення завадостійкості OFDM-каналів зв'язку з двокаскадовим стробуванням та I/Q-демодуляцією / В.І. Слюсар, Н.С. Бігун // Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 4. С. 180–196.**

**Анотація.** Представлено новий підхід до збільшення кількості цифрових відліків в аналого-цифрових системах з використанням методу стробування у режимі «sliding window». Особливу увагу приділено оптимізації синфазної/квадратурної демодуляції для сигналів з ортогональним частотним мультиплексуванням. Проаналізовано амплітудно-частотні характеристики нових I/Q-демодуляторів та продемонстровано зменшення бічних пелюсток амплітудно-частотної характеристики.

**Ключові слова:** амплітудно-частотна характеристика, аналого-цифровий перетворювач, цифрове оброблення сигналу, цифровий фільтр розквдратурених сигналів, I/Q-демодуляція.

**Enhancing noise immunity in OFDM communication channels with two-stage strobing and I/Q demodulation / V. Slyusar, N. Bihun // Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 4. P. 180–196.**

**Abstract.** The article presents an innovative approach to increasing the number of digital samples in analog-to-digital systems using a strobing method in a “sliding window” mode. Particular attention is paid to optimizing the in-phase/quadrature demodulation for signals with orthogonal frequency division multiplexing. The study analyzes the amplitude-frequency characteristics of the latest I/Q demodulators, demonstrating a reduction in the side lobes of the frequency response.

**Keywords:** amplitude-frequency characteristic, analog-digital converter, digital signal processing, digital signal quadrature filter (DSQF), I/Q demodulation.