



ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

DOI: 10.15587/2706-5448.2025.332931

**РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИКОРИСТАННЯ КОЛЬОРУ В МАШИНОЗЧИТУВАНИХ ОПТИЧНИХ КОДАХ
ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЄМНОСТІ (стор. 6–12)**

Козира О. Ф., Фечан А. В., Далавський В. С.

У роботі досліджується можливість підвищення ємності QR-кодів шляхом використання кольорових модулів без додавання нових метаданих. Запропоновано метод автоматичного визначення кількості кольорів та їхньої палітри за допомогою обробки зображень, що забезпечує сумісність із класичними QR-кодами. Запропоновано систему, яка дозволяє створювати QR-код, в якому використовується додатково до стандартної чорно-білої версії 4, 8 або 16 кольорів.

Основною проблемою є оптимальне використання доступного простору кольорів для мінімізації помилок при зчитуванні інформаційного зображення оптичною камерою, компенсація впливу нерівномірності освітлення та низької якості зображення, забезпечення зворотної сумісності із чорно-білою версією.

Вході аналізу використання різних кольорних просторів визначено найбільш перспективним перцептивно рівномірний простір OKLCH. Розроблено алгоритми попередньої обробки зображень для коректного декодування інформації та алгоритм для кодування й декодування інформації за допомогою кольору.

Отримані результати пояснюються розподілом кольорної гами після тестового зчитування інформаційних зображень, кількістю помилок й успішних зчитувань. Використовуючи кольорний простір OKLCH вдалося зчитати 60% 16-кольорних тестових зображень, тоді як в HSL не вдалося зчитати жодного зображення через перекриття кольорів. Проте, обидва простори мають досить високий показник успішних зчитувань в 4 та 8 кольорних кодах.

Використання кольору дозволить впровадити нові стандарти кольорових машинозчитуваних кодів підвищеної ємності, не вимагаючи внесення змін в існуючі для додаткових метаданих, при цьому зберігаючи повну зворотну сумісність і надійність чорно-білих кодів. Збільшення інформаційної ємності в деяких випадках дозволяє відмовитись від необхідності бути підключеним до Інтернету, зменшити розмір коду, а також зробити його візуально привабливішим, використовуючи кольори.

Ключові слова: оптична ідентифікація, машинозчитуваний код, QR-код, обробка зображень, кольорний простір.

DOI: 10.15587/2706-5448.2025.333726

**ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛЕЙ ГЕНЕРАТИВНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ
ЕФЕКТИВНОСТІ ВИХІДНИХ ПОВІДОМЛЕНЬ У СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ
ДЛЯ ПРОС'ЮМЕРІВ (стор. 13–23)**

Лук'янихін О. В., Шендрік В. В.

Об'єкт дослідження – використання генеративного штучного інтелекту (GenAI) для створення вихідних повідомлень у системі підтримки прийняття рішень (СППР) прос'юмера. Було розглянуто проблему покращення користувацького досвіду через підвищення ефективності повідомлень СППР. Для досліджень розроблено прототип СППР для конкретного приватного домогосподарства з сонячними панелями. Як базу для порівняння було розроблено систему генерації вихідних повідомлень на основі правил. Оцінювання проводилося на основі опитування українською та англійською мовами. Порівнювалися моделі GenAI від OpenAI та Anthropic. Повідомлення оцінювалися за двома основними вимірами якості користувацького досвіду – корисність та легкість прийняття повідомлень.

Результати показали, що GenAI може підвищити ефективність пропозицій СППР для конкретних груп користувачів без негативних наслідків. Зокрема, модель Sonnet 3.5 (Anthropic) створювала повідомлення, які жінки-користувачі українською визнали статистично кориснішими ($p < 0,05$). Користувачі надавали перевагу коротшим повідомленням англійською, а Sonnet 3.5 перевершувала GPT-4 (OpenAI) за корисністю обома мовами ($p < 0,05$).

Вищі оцінки користі пояснюються більш детальними рекомендаціями при збереженні природності повідомлень. Англійські результати оцінювалися інакше, це могло бути зумовлене тим, що респонденти не були носіями мови. Відмінності між моделями пов'язані з особливостями їх інтеграції в СППР.

Результати підтверджують гіпотезу, що GenAI може підвищити ефективність СППР за рахунок підвищення користі вихідних повідомлень без негативних побічних ефектів. При цьому, основна перевага GenAI полягає у адаптації вихідних даних СППР до потреб різних груп користувачів. Водночас, різниця результатів підкреслює важливість тестування GenAI-рішень у конкретних контекстах. Ці результати можуть бути використані для розробки більш ефективних СППР для прос'юмерів.

Ключові слова: штучний інтелект, система підтримки прийняття рішень, прос'юмер, користувацький досвід, фотovoltaїка.

DOI: 10.15587/2706-5448.2025.334896

**РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ СИНУСОЇДАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ТЕМНИХ ТОНІВ ЦИФРОВИХ
ЗОБРАЖЕНЬ (стор. 24–28)**

Луцків М. М., Сердюк Ю. Ю.

Об'єктом дослідження є технологічний процес синусоїдального перетворення темних тонів у цифрове зображення, що використовується на стадії приготування до друкування. Одним з найбільш проблемних місць є постеризація, яка виникає при традиційному ступеневому перетворенні, створюючи помітні смуги на зображенні, що спотворюють його якість і обмежують можливості оператора, технолога та друкаря.

У ході дослідження були використані математичне моделювання та квантування градаційних характеристик, що дозволяють усунути ці недоліки. Розроблено математичну модель синусоїдального перетворення, яка описує яскравість зображення у діапазоні $0 \leq L \leq 255$ рівнів. Також створено структурну схему моделі симулятора у пакеті MATLAB: Simulink, що дозволяє розраховувати та будувати графіки градаційних характеристик, оптичної густини та контрастної чутливості для різних частот перетворення.

У результаті моделювання встановлено, що синусоїдальне перетворення має значно менші зміщення початкових дискрет (0,5–2 одиниці) та довжини перших ступенів (1–2 рівні), ніж традиційне гама-перетворення (11–31 одиниць і 10–15 рівнів, відповідно). Це дозволило усунути постеризацію. Контрастна чутливість синусоїдального перетворення зростає до 2,2, перевищуючи стабільне значення 1 у лінійній шкалі, що забезпечує покращене сприйняття тонів. Таким чином, запропонований метод демонструє вищу ефективність відтворення зображень у темних і світлих ділянках.

У порівнянні з аналогічними відомими методами, це забезпечує переваги у вигляді покращеної якості зображення та усунення постеризації, що є важливим для якісного приготування зображень до друкування. Результати досліджень та імітаційного моделювання можуть бути використані для

вибору оптимальних характеристик репродукції, що забезпечує покращене сприйняття друкованого зображення зоровою системою людини. Це дозволяє досягти високої якості друку без втрат у деталізації та контрастності, що є значною перевагою в поліграфічній галузі.

Ключові слова: зображення, моделювання, синусоїда, симулятор, градація, оптика, густина, контраст, чутливість, якість.

DOI: 10.15587/2706-5448.2025.328856

РОЗРОБКА МЕТОДУ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЗБОРУ ПЕРВИННОЇ ДІАГНОСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ СЛУЖБИ ТЕХНІЧНОЇ ПІДТРИМКИ КОРИСТУВАЧІВ МЕРЕЖІ ОРГАНІЗАЦІЇ (стор. 29–36)

Гінько Б. І., Борецький О. Ф., Мар'яновський В. А.

Об'єктом дослідження є процес збору первинної діагностичної інформації службою технічної підтримки (Service Desk/Help Desk) в організаціях, де IT-інфраструктура є ключовим елементом бізнес-процесів.

Одним з найбільш проблемних місць є ручний та неефективний збір точних діагностичних даних від користувачів, які часто не мають достатніх технічних знань. Це призводить до значних затримок на етапі первинної діагностики, збільшує загальний час простою систем та безпосередньо впливає на продуктивність співробітників, особливо при виникненні проблем з мережевою інфраструктурою.

В ході дослідження пропонується застосувати підхід, що полягає в оптимізації та автоматизації збору первинної мережевої діагностичної інформації безпосередньо з боку користувача. Цей метод включає автоматичну перевірку фізичного з'єднання, отримання коректних мережевих налаштувань (IP-адреса, DNS тощо) та верифікацію доступності ресурсів через мережу.

Очікується отримання значного підвищення швидкості та якості роботи служби технічної підтримки. Це пов'язано з тим, що запропонований автоматизований метод мінімізує необхідність у тривалому опитуванні користувача та послідовній ручній перевірці налаштувань. Він має ряд особливостей, зокрема фокусування на автоматизації збору даних саме з мережевої інфраструктури, яка є основою для переважної більшості IT-сервісів.

Такий підхід дозволяє автоматизувати збір діагностичних даних у інфраструктурі, побудованої з використанням обладнання різних виробників та не залежить від конкретної програмної реалізації мережевих сервісів, і сервісів моніторингу та логування. У порівнянні з аналогічними відомими традиційними методами, такий підхід забезпечує такі переваги, як скорочення часу простою, зменшення ризику значних фінансових втрат для компанії та підвищення загальної задоволеності користувачів якістю IT-послуг.

Ключові слова: автоматизація, підтримка, діагностика, мережі, API, Celery, Zammad, FastAPI, управління інцидентами.

DOI: 10.15587/2706-5448.2025.337168

ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО ВИБОРУ ВАРІАЦІЙ АРХІТЕКТУРИ COMMAND QUERY RESPONSIBILITY SEGREGATION З EVENT SOURCING (стор. 37–59)

Литвинов О. А., Грузін А. А.

Об'єктом дослідження є процес вибору та оцінки архітектурних рішень як на етапі проектування системи, так і під час міграції архітектури програмного застосунку в контексті еволюційної архітектури. У роботі розглядаються варіації архітектури Command Query Responsibility Segregation (CQRS) з Event Sourcing (ES), які, фактично, утворюють сімейство архітектурних варіацій, що відрізняються між собою складністю, продуктивністю, часом розробки та вимогами до кваліфікації розробників. Ці відмінності мають істотний вплив на вартість розробки та супровід програмного забезпечення. Крім того, зміни в бізнес-вимогах або стеку технологій часто потребують міграції між архітектурними варіаціями, що може суттєво підвищити витрати, якщо таку міграцію не сплановано заздалегідь.

За відсутності об'єктивних критеріїв оцінювання рішення часто приймаються на основі експертних суджень, які можуть бути недостатньо точними або взагалі недоступними, через відсутність експертів достатньої кваліфікації. У цій роботі пропонується підхід підтримки прийняття рішень щодо вибору архітектурної варіації CQRS з ES та планування міграції між ними. Підхід ґрунтується на класифікації процесів та розбитті їх на окремі активності. Це дозволяє здійснювати об'єктивне порівняння архітектурних варіацій, базуючись на метриках складності та продуктивності.

Застосування підходу продемонстровано на двох базових варіаціях. Було отримано метрики, а також побудовано растрову діаграму, що демонструє доцільність застосування варіації залежно від пріоритетів проєкту. Оцінка доцільності застосування mCQRS коливається в межах від 39 до 53%, для класичного CQRS – 47–61%.

Запропонований підхід є актуальним для проєктів, у яких прогнозується еволюція архітектури застосунків. Він є особливо корисним в організаціях, що працюють на 4-му рівні моделі зрілості CMMI, де головна увага приділяється прогнозованості кількісних показників підвищення продуктивності.

Ключові слова: архітектура програмного забезпечення, метрики програмного забезпечення, формальні методи, підтримка прийняття рішень, CQRS, Event Sourcing.

DOI: 10.15587/2706-5448.2025.337277

РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ РАСТРОВОГО СТЕПЕНЕВО-ЛІНІЙНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ СВІТЛИХ ТОНІВ (стор. 60–64)

Кавин С. Я.

Об'єктом дослідження є технологічний процес растрового перетворення цифрових зображень на основі степенево-лінійного перетворення на стадії приготування до друку.

Проблемою в процесах додрукарської підготовки є відсутність в доступних комп'ютерних програмах обробки зображень функціональної можливості побудови характеристики растрового перетворення, які є основним носієм інформації про зображення. Відповідно, це обмежує можливості репродукційного процесу й призводять до втрати якості зображення на відбитку.

У роботі було використано метод математичного моделювання, теорію цифрового перетворення зображень, об'єктно-орієнтоване програмування. Для вирішення поставлених задач було побудовано типові варіанти степенево-лінійного перетворення цифрових зображень різної тональності. В процесі дослідження було розроблено алгоритми растрового перетворення різної лінійності, які є основним носієм інформації про зображення. Побудовані симулятори імітаційного моделювання, аналізу та синтезу степенево-лінійного перетворення забезпечують якісне тоновідтворення зображень різної лінійності.

Розроблено математичну модель растрового перетворення типових варіантів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів і запропоновані нові алгоритми растровування. На їх основі в пакеті MATLAB:Simulink розроблено структурну схему симулятора растрового

ступеневі-лінійного перетворення зображень світлих тонів, за допомогою якого можна розрахувати та побудувати градаційні характеристики, характеристики растровання та проаналізувати їх властивості.

Запропонована модель алгоритмів растрового ступеневі-лінійного перетворення цифрових зображень усуває постеризацію зображень на темних ділянках, що є перевагою розроблених нових алгоритмів растрового перетворення із застосуванням ступеневі-лінійного перетворення.

Результати проведених досліджень растрового тоновідтворення можна рекомендувати операторам та технологам для застосування в додрукарських процесах на стадії растрового перетворення цифрових зображень.

Ключові слова: ступеневі-лінійне перетворення, растрове тоновідтворення, симулятор, градаційні характеристики, характеристики растрового перетворення.

СИСТЕМИ ТА ПРОЦЕСИ КЕРУВАННЯ

DOI: 10.15587/2706-5448.2025.334444

РОЗРОБКА ДІАГНОСТИЧНОЇ ПРОЦЕДУРИ ОЦІНКИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МАГНІТОПЛАНУ (стор. 65–70)

Плаксіні С. В., Муха А. М., Устименко Д. В., Подчасов А. Ю., Голота О. О.

Об'єктом досліджень є процес забезпечення надійності високошвидкісного руху магнітоплану.

Навігаційні задачі високошвидкісного наземного транспорту потребують високої точності та надійності поряд з високою швидкістю отримання даних про місце положення магнітоплану. Проблема, що вирішується, є забезпечення цілісності навігаційної системи магнітоплану, шляхом сутнісної інтеграції в її структуру підсистеми діагностики, в основу роботи якої покладено метод фазової далекометрії.

Встановлено, що діагностична процедура визначення працездатності навігаційної системи високошвидкісного транспортного засобу в режимі реального часу повністю забезпечується застосуванням методу фазової далекометрії. Обґрунтовано спосіб безперервного прецизійного позиціонування високошвидкісного магнітолевітуючого транспортного засобу на основі методу фазової далекометрії для довільної конфігурації в тривимірному просторі фіксованої шляхової структури, а також спосіб забезпечення цілісності навігаційної системи маглев-поїзда. Запропоновано новий підхід до вирішення завдання місцезнаходження, що дозволяє використовувати канал зв'язку поїзда з диспетчерським пунктом управління рухом в якості розподіленого датчика розташування як невідомого елемента радіохвильової інформаційно-управляючої системи.

Запропонована структура циклу інформаційного пакету. Визначено обсяг інформаційного потоку та ступінь надмірності, що вводиться в інформаційний потік для забезпечення необхідної достовірності передачі інформації.

Розроблена процедура діагностики відповідає вимогам безпеки та надійності експлуатації високошвидкісного наземного транспорту на основі магнітолевітаційної технології, управління рухом якого здійснюється за допомогою навігаційної системи, топологічно пов'язаної з конфігурацією шляхової структури.

Ключові слова: магніто-левітаційний транспорт, фазова далекометрія, навігація, діагностика, генератор, синхронізація, сигнал.

DOI: 10.15587/2706-5448.2025.334954

РОЗРОБКА НЕЧІТКОЇ МОДЕЛІ ОЦІНКИ РИЗИКІВ ДЛЯ МЕНЕДЖМЕНТУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ (стор. 71–79)

Здоренко Ю. М., Янко А. С., Мизюра М. С., Фесьоха Н. О.

Об'єктом дослідження є процес оцінки ризиків інформаційної безпеки інформаційних ресурсів під час функціонування об'єктів інформаційної діяльності, що є основою ефективного менеджменту безпеки.

Одним з найбільш проблемних місць класичних ймовірнісних моделей оцінювання ризиків є висока суб'єктивність при визначенні кількісних значень показників. Для усунення цих недоліків запропоновано створення універсальних, масштабованих і здатних до навчання моделей оцінки ризиків на основі якісних характеристик. У ході дослідження використовувалась адаптивна нейро-нечітка система логічного виведення (ANFIS).

Отримано математичну модель оцінки ризиків інформаційної безпеки, що розширює існуючі рішення масштабуванням. Використаний у моделі підхід дозволяє автоматично адаптуватися до динамічних змін функціонування об'єкта інформаційної діяльності. Запропонована модель має особливості: автоматизована генерація бази правил та перенавчання нечіткої системи. Використання штучних нейронних мереж для автоматизації налаштування параметрів нечіткої системи дозволяє уникнути суб'єктивності, характерної для експертних оцінок. Завдяки цьому забезпечується можливість отримання поточних значень рівня ризику інформаційної безпеки.

Проведені експериментальні дослідження кількісно підтвердили ефективність моделі, що продемонструвала точність класифікації до 95% та суттєве зниження середньоквадратичної похибки до 0,01 порівняно з класичними ймовірнісними моделями та традиційними нечіткими експертними системами. Це пов'язано з тим, що запропонована модель має ряд особливостей, зокрема автоматизовану генерацію бази правил та можливість перенавчання нечіткої системи, що забезпечується використанням штучних нейронних мереж. За рахунок цього забезпечується автоматична адаптація до динамічних змін об'єкта та точне отримання поточних значень рівня ризику. У порівнянні з аналогічними відомими моделями, це забезпечує автоматизоване корегування параметрів за результатами перенавчання (при похибці > 1–2%) та надійний менеджмент інформаційної безпеки шляхом пріоритизації захисних заходів та оперативного реагування на загрози.

Ключові слова: інформаційна діяльність, ризик, інтелектуальна система, нечітка логіка, штучна нейронна мережа.

DOI: 10.15587/2706-5448.2025.334993

РОЗРОБКА МЕТОДУ СЕГМЕНТУВАННЯ ЗОБРАЖЕННЯ З БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ НА ОСНОВІ МУРАШИНОГО АЛГОРИТМУ В УМОВАХ ВПЛИВУ СПЕКА-ШУМУ (стор. 80–86)

Рубан І. В., Худов Г. В., Худов В. Г., Маковейчук О. М., Хижняк І. А., Шамрай Н. М., Бутко І. М., Худов Р. Г., Варваров В. В., Костянець О. В.

Об'єктом дослідження є процес сегментування зображення з безпілотного літального апарату на основі мурашиного алгоритму при впливі спека-шуму.

На відміну від відомих, метод сегментування зображення на основі мурашиного алгоритму передбачає імітацію колективної поведінки агентів (мурах), здатних адаптуватися до локальних особливостей зображення. Крім того, механізм феромонного маркування сприяє виразнішому окресленню границь між сегментами, що позитивно впливає на точність розділення зображення на сегменти.

Спекл-шум є видом мультиплікативного шуму, що виникає на зображеннях, сформованих за допомогою когерентного випромінювання. Його поява зумовлена інтерференцією відбитих хвиль, які надходять з різних точок одного об'єкта, але з мікроскопічними відмінностями у фазі. Це призводить до виникнення хаотичної зернистої структури, яка спотворює зображення та ускладнює подальший аналіз.

Експериментальні дослідження показали, що метод сегментування на основі мурашиного алгоритму забезпечує зниження помилок сегментування першого роду в середньому від 6% (при відсутності спекл-шуму) до 30% (при інтенсивності спекл-шуму $\sigma = 15$). Зі збільшенням інтенсивності спекл-шуму вираш у значенні помилки сегментування першого роду зростає. Метод сегментування на основі мурашиного алгоритму забезпечує зниження помилок сегментування другого роду в середньому від 5% (при відсутності спекл-шуму) до 32% (при інтенсивності спекл-шуму $\sigma = 15$). Зі збільшенням інтенсивності спекл-шуму вираш у значенні помилки сегментування другого роду зростає.

Практичне значення методу сегментування на основі мурашиного алгоритму полягає у можливості сегментування в умовах впливу спекл-шуму. При цьому забезпечується зниження помилок сегментування першого та другого роду у порівнянні з відомим методом.

Ключові слова: сегментування, безпілотний літальний апарат, мурашиний алгоритм, спекл-шум, оператор Собеля.

DOI: 10.15587/2706-5448.2025.335923

АДАПТИВНЕ КЕРУВАННЯ МОРСЬКОЮ ОБОРОНОЮ НА ОСНОВІ СТОХАСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ У СИМУЛЯЦІЙНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ ІГРАХ (стор. 87–98)

Максимов М. В., Козлов О. В., Реценко С. С., Кіріакіді М. В.

Об'єктом дослідження є процеси моделювання поведінки віртуального противника та автоматизованих систем керування мінною зброєю в ігрових сценаріях морського бою, з урахуванням невизначеності та неповної інформації, зокрема за умов неповного або хибного функціонування сенсорної системи. Одним з найбільш проблемних місць є забезпечення ефективного прийняття керуючих рішень у ситуаціях, коли сенсорна система має похибки першого та другого роду або її зворотний зв'язок взагалі відсутній через збої чи пошкодження.

В ході дослідження використовувалися методи стохастичного моделювання, оцінювання математичного сподівання для усіх можливих сценаріїв бойової обстановки, а також адаптивні алгоритми керування для врахування точності сенсорної системи та апіорної інформації про ймовірність появи ворожих об'єктів.

Розроблено метод адаптивного керування протикорабельною обороною та систему для його реалізації, яка включає адаптивний контролер, здатний у реальному часі виконувати основні розрахунки для визначення оптимального керуючого впливу щодо застосування мінної зброї.

Отримано результати чисельних експериментів для різних сценаріїв: при фіксованих параметрах, змінній щільності мінного поля, змінній точності сенсорної системи та варіативності апіорних ймовірностей появи кораблів, що дозволило комплексно оцінити ефективність розробленого методу. Проведені експерименти підтверджують, що запропонований метод дозволяє здійснювати ефективне керування мінною зброєю при появі помилок першого та другого роду з ймовірністю від 0 до 0,9 в процесі детектування ворожих та нейтральних кораблів.

Завдяки цьому забезпечується можливість адаптивного керування бойовими діями навіть за умов високої невизначеності, підвищується реалістичність поведінки віртуального супротивника у симуляційних іграх, а також створюється база для розвитку інтелектуальних систем автоматичного керування в морських бойових сценаріях.

Ключові слова: симуляційні ігри, оборона акваторії, мінна зброя, автоматичне керування, стохастичне моделювання, математичне сподівання.

DOI: 10.15587/2706-5448.2025.336992

РОЗРОБКА АПАРАТНО-ПРОГРАМНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ОБЧИСЛЕННЯ СПЕКТРУ СИГНАЛУ ЗА ДОПОМОГОЮ ШВИДКОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є НА БАЗІ ПЛІС (стор. 99–107)

Васильєв О. Ю., Філіппенко О. І., Філіппенко І. В., Шкіль О. С.

Об'єктом дослідження є методи реалізації адаптивної апаратно-програмної моделі для спектрального аналізу сигналів за допомогою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ), реалізована на ПЛІС з подальшою обробкою в програмній частині. Таке рішення поєднує в собі переваги апаратного прискорення та програмної гнучкості. Запропонована модель спрямована на вирішення проблеми створення ефективного інструменту для обробки сигналів у реальному часі з урахуванням обмежень точності, затримки, використання ресурсів та збереження даних для подальшої обробки та аналізу. Модель розроблена з можливістю масштабування як для збільшення кількості каналів обробки, так і для розширення довжини ШПФ та підвищення рівня точності. Процес її створення включав послідовні етапи моделювання, синтезу, налагодження та тестування в реальних умовах. Було проведено ретельне проектування структури моделі, вдосконалено формати представлення даних і процедури округлення, а також адаптовано алгоритм ШПФ до специфіки обраної платформи, що в сукупності забезпечило високу точність спектрального аналізу та ефективне використання ресурсів ПЛІС, про що свідчать експериментальні дані. Проведено практичні випробування роботи системи в реальному часі, під час яких оцінювалися такі параметри, як точність отриманих результатів та рівень енергоспоживання, зважаючи на ефективність використання логічних елементів, блоків пам'яті. Отримані результати є логічним відображенням переваг апаратно-програмної реалізації, впровадження оптимізованих форматів даних і процедур округлення, а також вдалої адаптації алгоритму ШПФ. Це дозволило досягти балансу між високою точністю спектрального аналізу на рівні 3,9 кГц при довжині ШПФ 16384, зменшенням обсягу необхідної пам'яті вдвічі та скороченням часу передачі результатів ШПФ на 0,25 мс. Практичне застосування розробленої моделі охоплює широкий спектр сфер, зокрема вбудовані системи обробки сигналів, сучасні прилади для вимірювань у реальному часі, а також мобільні чи енергоефективні системи, де вирішальними факторами є робота в реальному часі при низькому енергоспоживанні. Завдяки своїй універсальності модель може бути інтегрована в складніші системи цифрової обробки сигналів, розширюючи їх функціональність.

Ключові слова: модель, швидке перетворення Фур'є, програмована логічна інтегральна схема, python, магнітуда, округлення, точність, телекомунікації.