АДАПТИВНИЙ МЕТОД ПРИХОВУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ У КВАНТОВИХ ЗОБРАЖЕННЯХ НА ОСНОВІ БЛОКОВОГО LSB-ВБУДОВУВАННЯ

Головко Є.В., Городецький С.Л.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Розвиток квантових інформаційних технологій зумовлює необхідність удосконалення методів приховування інформації, які забезпечують мінімальні спотворення контейнерних даних, стійкість до стеганоаналізу та раціональне використання квантових ресурсів. Перспективним напрямом є стеганографія квантових зображень, де приховані повідомлення вбудовуються керованим перетворенням квантових регістрів, що кодують піксельну інформацію [1, 2]. Попередні дослідження моделей FRQI і NEQR та простого й блокового LSB-вбудовування показали доцільність застосування двійкового представлення інтенсивності пікселів у моделі NEQR [1, 3]. Але традиційне вбудовування за фіксованою структурою блоків не враховує неоднорідності контейнерного зображення. Це ускладнює узгодження стеганографічної ємності, помітності змін і кількості квантових операцій. Особливої актуальності набуває адаптивний вибір ділянок приховування за збереження можливості вилучення повідомлення.

Метою доповіді є обґрунтування адаптивного методу приховування інформації у квантових зображеннях на основі блокового LSB-вбудовування з урахуванням локальних характеристик контейнера та обмежень квантових обчислювальних систем.

Основою запропонованого підходу є представлення контейнерного зображення у моделі NEQR із подальшим логічним поділом на блоки, параметри яких визначаються характеристиками локальних ділянок. На відміну від традиційного блокового LSB-алгоритму, у якому вбудовування здійснюється за попередньо визначеною структурою, адаптивний підхід передбачає вибір придатних блоків залежно від неоднорідності значень інтенсивності, допустимого рівня модифікації молодших бітів і необхідної ємності прихованого каналу.

Для визначення придатності блоків доцільно використовувати показник локальної складності зображення, сформований на основі різниці інтенсивностей сусідніх пікселів. Ділянки з підвищеною текстурною неоднорідністю можуть використовуватися для вбудовування більшого обсягу інформації, тоді як однорідні області доцільно модифікувати з меншою інтенсивністю або виключати з процесу приховування. Такий розподіл дозволяє враховувати локальні властивості контейнера та потенційно зменшувати статистичну помітність стеганографічних змін. Запропонований метод передбачає послідовне виконання операцій формування квантового представлення зображення, визначення характеристик блоків, вибору ділянок для приховування, вбудовування бітів повідомлення та відновлення прихованих даних. Для реалізації адаптивного вбудовування доцільно використовувати керовані квантові операції над регістрами інтенсивності пікселів, які змінюють молодші біти відповідно до заданого повідомлення та правил вибору блоків. Водночас параметри адаптації

можуть формуватися на етапі класичної попередньої обробки, що дозволяє уникнути додаткових складних квантових схем обчислення характеристик зображення. Важливим елементом методу є використання ключового псевдовипадкового порядку обробки відібраних блоків. Це дає можливість зменшити регулярність розміщення прихованих бітів та ускладнити відновлення структури повідомлення без знання параметрів вбудовування. При цьому коректне вилучення інформації потребує узгодженого відтворення послідовності блоків, тому правила їх вибору мають бути доступними одержувачу без необхідності використання оригінального контейнерного зображення.

Окремим завданням є оптимізація квантової реалізації запропонованого методу. Зокрема, доцільним є скорочення кількості багатокубітних керованих операцій, повторне використання допоміжних регістрів та мінімізація глибини квантових схем. Вибір структури схеми повинен здійснюватися з урахуванням кількості доступних кубітів і топології квантового процесора, оскільки додаткові операції маршрутизації можуть збільшувати обчислювальні витрати та накопичення помилок [3]. Оцінювання ефективності адаптивного методу доцільно здійснювати шляхом порівняння з простим і блоковим LSB-алгоритмами за показниками PSNR, SSIM, стеганографічної ємності, імовірності правильного вилучення повідомлення, кількості квантових вентилів і глибини квантового кола. Додатково необхідно дослідити вплив зміни розміру блоків, рівня шуму та частки модифікованих пікселів на якість відновлення інформації й можливість виявлення прихованого повідомлення засобами стеганоаналізу.

Таким чином, запропоновано концептуальний підхід до побудови адаптивного методу квантової стеганографії, який поєднує блокове LSB-вбудовування, аналіз локальних характеристик зображення та оптимізацію квантових логічних схем. Перевагою методу є можливість узгодженого керування стеганографічною ємністю, рівнем спотворення контейнера й обчислювальною складністю алгоритму. Подальші дослідження доцільно спрямувати на програмну реалізацію запропонованого методу в середовищі IBM Qiskit, експериментальне визначення оптимальних параметрів вбудовування та порівняльне оцінювання його ефективності в умовах квантового шуму.

Список літератури

1. Федюшин О. І., Головко Є. В., Смірнов А. В., Сухотеплий В. В., Чечуй О. В. Методи захисту інформації на основі квантової стеганографії зображень. Радіотехніка. 2024. Вип. 218. С. 44–55. DOI: https://doi.org/10.30837/rt.2024.3.218.03.

2. Головко Є. В. Методи квантової стеганографії зображень та їх застосування в системах захисту. Проблеми інформатизації: тези доповідей XIII Міжнародної науково-технічної конференції, 27–28 листопада 2025 р. Т. 2. Харків, 2025. С. 65–66.

3. IBM Quantum. Introduction to transpilation. URL: https://qiskit.qotlabs.org/docs/guides/transpile

4. Zhang Y., Lu K., Gao Y., Wang M. NEQR: a novel enhanced quantum representation of digital images. Quantum Information Processing. 2013. Vol. 12. P. 2833–2860. DOI: https://doi.org/10.1007/s11128-013-0567-z