

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ФАЗОВОГО КОДУВАННЯ ТА ЕХО-ПРИХОВАННЯ В АУДІОСТЕГАНОГРАФІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведено порівняльний аналіз методів аудіостеганографії: фазового кодування (QIM) та ехо-приховування. Оцінено їх ефективність за критеріями стійкості, ємності та непомітності. Встановлено, що фазове кодування забезпечує вищу прихованість даних, тоді як ехо-метод є простішим у реалізації, але схильним до появи звукових артефактів.

Ключові слова: аудіостеганографія, захист інформації, фазове кодування, Echo Hiding, QIM, психоакустика.

Abstract

The paper compares Phase Coding (QIM) and Echo Hiding audio steganography methods. Their efficiency is evaluated based on imperceptibility, capacity, and robustness criteria. Results indicate that Phase Coding offers superior concealment, while Echo Hiding allows for simpler implementation despite a higher risk of audible artifacts.

Keywords: audio steganography, information security, Phase Coding, Echo Hiding, QIM, psychoacoustics.

Вступ

Аудіостеганографія відіграє ключову роль у захисті авторських прав та конфіденційної інформації в сучасних телекомунікаційних системах, використовуючи психоакустичні вади слухової системи людини для непомітного вбудовування даних [1]. Дана робота присвячена порівняльному аналізу двох поширених підходів: методу фазового кодування з використанням модуляції індексу квантування (QIM) та методу ехо-приховання (Echo Hiding). Основною метою дослідження є оцінювання ефективності цих алгоритмів шляхом порівняння їхньої стійкості до атак, ємності прихованого каналу та впливу на якість вихідного аудіосигналу.

Результати дослідження

Метод фазового кодування базується на психоакустичній особливості слухової системи людини, яка має низьку чутливість до змін відносної фази спектральних компонентів звуку. Суть методу полягає у заміні фазових значень вихідного сигналу на закодовані дані, при цьому зміни обмежуються таким чином, щоб не вносити чутних артефактів.

Для реалізації вбудовування часто використовується метод модуляції індексу квантування (Quantization Index Modulation – QIM). У цьому підході фазовий спектр розбивається на сегменти, і значення фази в конкретному частотному відліку (або у найпотужнішій гармоніці для підвищення ємності) примусово наближається до заданого квантованого значення, що відповідає логічному «0» або «1» (рис. 1) [2].

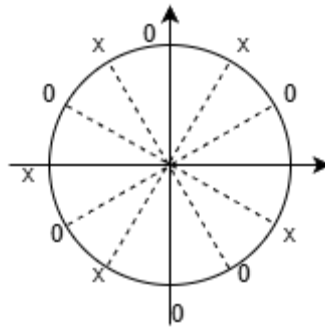


Рис. 1. Квантування фази

Метод стеганографічного приховання даних за допомогою відлуння (Echo Hiding) базується на часових особливостях психоакустики людини. Людське вухо не здатне розрізнити відлуння, якщо затримка між оригінальним сигналом і його копією є надзвичайно короткою (зазвичай близько 1-2 мілісекунд).

Процес вбудовування передбачає розділення оригінального аудіосигналу на короткі часові сегменти (фрейми). Інформація кодується шляхом накладання на кожен фрейм штучного відлуння з різними параметрами затримки для логічної «1» та логічного «0». Математично процес формування стегосигналу $y(t)$ описується операцією лінійної згортки оригінального сигналу $x(t)$ з імпульсною характеристикою фільтра (ядром):

$$h(t): y(t) = x(t) * h(t) = x(t) + \alpha x(t - \Delta t),$$

де: α – амплітуда відлуння (визначає його гучність відносно оригіналу);

Δt – час затримки відлуння. Саме зміна цього параметру кодує біти інформації (наприклад, Δt_1 для "0" і Δt_2 для "1").

Для забезпечення непомітності вбудовування (високої якості стегосигналу), параметри α та Δt обираються нижче порогу чутливості слухової системи. Критично важливим є баланс між пропускнуою здатністю та якістю: збільшення амплітуди відлуння покращує стійкість даних до розпізнавання, але знижує співвідношення сигнал/шум (SNR), що може призвести до появи чутних артефактів ("металевий" відтінок звуку) [3].

У таблиці 1 відображено порівняння методів аудіостеганографії: фазового кодування (QIM) та ехо-приховування.

Таблиця 1

Порівняння методів аудіостеганографії [4]

Техніка	Методи	Можливості	Обмеження
Echo Hiding	Приховує інформацію в аудіосигналі, додаючи до звуку відлуння	Вносить менше змін в оригінальний аудіосигнал Баланс між безпекою та надійністю	Обмежена стійкість до всіх атак Обмежена масштабованість для додатків, що працюють у режимі реального часу, через складність.
Quantization Index Modulation	Зменшення відстані Хеммінга між оригінальним і модифікованим сигналами квантувальної індекс-модуляції (QIM)	Висока непомітність Задовільний рівень надійності	Чутливість до параметрів відлуння Обмежена ємність

Метод Echo Hiding приховує дані шляхом додавання до звуку відлуння, що дозволяє вносити менше змін в оригінальний сигнал і зберігати баланс безпеки, проте цей підхід має обмежену стійкість до атак та складно масштабується для реального часу. Натомість метод QIM базується на зменшенні відстані Хеммінга між сигналами, забезпечуючи високу непомітність і задовільну надійність, але характеризується обмеженою ємністю та чутливістю до параметрів відлуння.

Висновки

Проведений аналіз засвідчив, що обидва методи базуються на маскуванні даних у областях, нечутливих для людського вуха: фазове кодування використовує інертність сприйняття фази спектра, а ехо-метод – нездатність розрізняти мікросекундні затримки відлуння. Встановлено, що метод Echo Hiding забезпечує компроміс між безпекою та складністю реалізації, проте має обмежену стійкість до атак і ризик виникнення «металевих» артефактів звучання. Натомість використання QIM у фазовому кодуванні гарантує вищу непомітність вбудовування завдяки мінімізації змін сигналу, але поступається ехо-методу в пропускній здатності та є більш чутливим до налаштувань параметрів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Audio Steganography URL: https://www.researchgate.net/publication/367608952_Audio_Steganography (дата звернення: 18.12.2025).
2. Institut Mines-Télécom/Télécom ParisTech - Consultation. URL: <https://biblio.telecom-paristech.fr/cgi-bin/download.cgi?id=12699> (дата звернення: 18.12.2025).
3. Comparative Analysis Of Audio Steganography Methods URL: https://www.researchgate.net/publication/359085650_Comparative_Analysis_Of_Audio_Steganography_Methods (дата звернення: 18.12.2025).
4. Audio Steganography: A Comprehensive Survey of Techniques and Emerging Challenges URL: <https://journals.karary.edu.sd/index.php/JKUES/article/view/356/114> (дата звернення: 18.12.2025).

Салієва Ольга Володимирівна – доктор філософії за спеціальністю 125 «Кибербезпека», доцент кафедри менеджменту та безпеки інформаційних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: salievala8257@vntu.edu.ua

Гончарук Ярослав Олександрович – студент групи 1KITC-236, факультет менеджменту та інформаційної безпеки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: gonkaruk1kits23b@gmail.com

Saliieva Olha V. – Doctor of Philosophy in specialty 125 "Cybersecurity", Associate Professor of the Department of Management and Security of Information Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: salievala8257@vntu.edu.ua

Honcharuk Yaroslav O. – student of group 1KITS-23b, Faculty of Management and Information Security, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: gonkaruk1kits23b@gmail.com