

УДК 004.056.5

Соколов А.В., Кілко В.В.*Національний університет «Одеська політехніка»***ОЦІНКА СТІЙКОСТІ СТЕГАНОГРАФІЧНОГО МЕТОДУ З КОДОВИМ
УПРАВЛІННЯМ ДЛЯ РІЗНИХ КЛАСІВ КОНТЕЙНЕРІВ**

Вступ. У статті розглянуто вплив вибору кодового слова на надійність сприйняття та стійкість стеганографічного вбудовування для зображень різних типів контейнерів. Актуальність визначається необхідністю забезпечення збереження прихованої інформації за умов типових впливів, насамперед JPEG-стиску, та прагненням зменшити обчислювальні витрати шляхом керування процесом приховування не переходом до інших областей представлення даних, а за рахунок параметрів кодових структур (кодовим управлінням).

Мета: Проаналізувати, як вибір частотного профілю кодового слова впливає на точність відновлення прихованих даних після JPEG-стиску в контейнерах різної текстурованості, та сформулювати рекомендації для адаптивного добору кодового слова залежно від умов стиску і властивостей контейнера.

Основна частина

Експерименти проведено на вибірці з 500 PNG-зображень, класифікованих на чотири групи за рівнем текстурованості (гладкі, середньотекстуровані, високодеталізовані та змішані). Розглядалися шість типів кодових слів: Const (постійне), LF (низькочастотне), LF-C (комбіноване низькочастотне), MF (середньочастотне), HF (високочастотне) та Bent (на основі бент-функції). Для кожного контейнера виконувалося вбудовування однакового обсягу даних, після чого здійснювали JPEG-стиск з рівнями якості $QF=10\dots100$ і відновлення повідомлення. Ефективність оцінювали за відсотком бітових помилок відновлення.

Кодові слова формувалися на базі функцій Уолша з використанням перетворення Уолша–Адамара. Бент-кодове слово утворене з максимально невзаємнокорельованих булевих функцій, що забезпечує рівномірний розподіл енергії по трансформантах і практичну ізотропність впливу на частотну область. Такий підхід дозволяє керувати компромісом між надійністю сприйняття та стійкістю без переходу до складних перетворень (DCT, DWT тощо) і знижує обчислювальну складність. Результати та обговорення:

- Вибір кодового слова має вирішальний вплив на стійкість прихованої інформації; тип контейнера впливає відчутно, але меншою мірою.
- Для $QF > 20$ найменший відсоток бітових помилок у більшості груп забезпечує низькочастотне кодове слово (LF).
- Для жорсткого стиску ($QF \leq 20$) найкращі результати забезпечує постійне кодове слово (Const).

– Високочастотне кодове слово (HF) забезпечує мінімальні візуальні спотворення, але практично не зберігає дані після стиснення.

– Vent-кодове слово демонструє найменший розкид помилок між різними класами зображень і стабільне зменшення помилок зі зростанням QF, що підтверджує його універсальність.

– Гладкі зображення краще зберігають вбудовані дані для LF/MF; у високодеталізованих контейнерах LF і MF також переважають HF за стійкістю; для змішаних зображень Vent показує найбільш передбачувану поведінку.

Практичні рекомендації для кодового управління:

– Очікуваний стиск слабкий/помірний ($QF > 20$): застосовувати LF або LF-C.

– Очікуваний жорсткий стиск ($QF \leq 20$): застосовувати Const.

– Нейтральність до типу контейнера (різномірні набори): застосовувати Vent як універсальний варіант або для калібрування системи.

– Пріоритет максимальної візуальної якості за відсутності атак: допустиме використання HF.

Висновок. Експериментально показано, що правильний вибір частотного профілю кодового слова забезпечує суттєве підвищення стійкості стеганоповідомлення до JPEG-стиску в різних класах контейнерів. Отримані закономірності покладено в основу адаптивних правил добору кодових слів для систем із кодовим управлінням, що автоматично враховують властивості контейнера та очікуваний рівень стиску.

Перелік використаних джерел.

1. Chinnusami M. et al. Scientific Reports. 2025. 15(1):31610.
2. Kumar N. N., Viswanathan R., Kumar P. S. ICSCSA, IEEE. 2024. 479–486.
3. Mandal P. C., Mukherjee I., Chatterji B. N. Multimedia Tools and Applications. 2024. 83(23):62651–62675.
4. Nagini R. V. S. S. S. et al. AIP Conf. Proc. 2025. 3263(1):150001.
5. Apau R. et al. PLoS One. 2024. 19(9):e0308807.
6. Angulakshmi M., Deepa M. IGI Global. 2025. 53–74.
7. Kobozeva A.A., Sokolov A.V. Problemele energeticii regionale. 2021. (4)52:115–130.
8. Кобозєва А.А., Соколов А.В. Вісті ВНЗ. Радіоелектроніка. 2023. 66(4):205–222.
9. Кілко В.В., Соколов А.В., Баландіна Н.М. Кібербезпека та комп'ютерно-інтегровані технології. 2024. 110–114.
10. Sokolov A.V., Ihnatenko O.O., Balandina N.M. Problems of regional energetics. 2024. 62(2):121–137.
11. Rothaus O. S. Journal of Combinatorial Theory, Ser. A. 1976. 20(3):300–305.
12. Sokolov A.V., Tsevukh I.V. JTEC. 2018. 10(2):51–54.