

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський Національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра комп'ютерної інженерії

ХУДОЛІЙ ЄВГЕНІЙ ПЕТРОВИЧ

УДК 004.45

СИСТЕМА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ TURBO PRODUCT
КОДІВ

Автореферат кваліфікаційної магістерської роботи на здобуття другого
(магістерського) рівня вищої освіти

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія

Освітня кваліфікація

«Магістр з комп'ютерної інженерії»

Миколаїв – 2021

Кваліфікаційною магістерською роботою є рукопис.

Робота виконана у Чорноморському національному університеті ім. Петра Могили Міністерства освіти і науки України на кафедрі комп'ютерної інженерії.

Керівник: кандидат технічних наук, доцент
Крайник Ярослав Михайлович,
ЧНУ ім. Петра Могили,
в.о. зав. кафедри комп'ютерної інженерії

Рецензент: доктор технічних наук, професор
Кондратенко Юрій Пантелійович,
ЧНУ ім. Петра Могили,
зав. кафедри інтелектуальних інформаційних
систем

Захист відбудеться «23» лютого 2021 р. о 12³⁰ на засіданні
Державної екзаменаційної комісії в ЧНУ ім. Петра Могили, ауд. 2-406

З кваліфікаційною магістерською роботою можна ознайомитись в бібліотеці
Чорноморського національного університету імені Петра Могили за адресою: вул. 68
Десантників, 10, Миколаїв, 54003. Електронна версія розміщена в Інституційному
репозиторії для бакалаврських та магістерських робіт

Автореферат представлений «22» лютого 2021 р.

Секретар
екзаменаційної комісії,
кандидат фіз.-мат. наук, доцент

С. В. Пузирьов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

У час коли розвиток цифрових систем та обробки інформації є інтенсивним, то забезпечення високої достовірності інформації є високо пріоритетною задачею. Ефективним способом вирішення даної задачі є використання завадостійкого декодування. Вибір виду завадостійкого коду, методу кодування та алгоритму декодування інформації одна з найважливіших задач в теорії та практиці завадостійкого кодування.

Оскільки попит на послуги передачі інформації, телекомунікаційні послуги є великим, то підвищення швидкості завадостійкості відкриває більші можливості для розвитку технологій, тож розвиток алгоритмів виправлення помилок це важливий процес.

Мета: підвищення ефективності дослідження алгоритмів декодування блокових турбокодів за рахунок програмної реалізації алгоритму, що дозволить більш детально розглянути ефективність декодування на різних інформаційних наборах.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання:**

- з аналітичного огляду літератури та патентної інформації сформулювати завдання дослідження та розроблення;
- обрати метод декодування завадостійкого коду;
- розробити блок-схему алгоритму роботи декодера коду на базі обраного методу декодування;
- розробити програмну реалізацію алгоритму декодування блокового турбокоду на базі технології Java;
- розробити інтерфейс користувача для введення та відображення результатів декодування, додати можливість переглянути всі етапи декодування вхідної інформації;
- розробити тести програмних методів розробленого ПЗ;

— виконати тестування розробленої програмної реалізації на базі різних інформаційних наборів.

Об'єктом дослідження є процес кодування – декодування блокових турбокодів.

Предметом дослідження є програмна реалізація алгоритму кодування – декодування блокових турбокодів для дослідження ефективності даного типу завадостійких кодів.

Наукова новизна: програмна реалізація комбінованого (м'який і жорсткий) методу декодування блокових турбокодів. Метод дозволяє використовувати переваги використання м'яких вхідних даних зі швидкістю процедури жорсткого декодування.

Практичним значенням є розробка програмної реалізації додатку, що забезпечує процес декодування блокових турбокодів, та дослідити їх ефективність. Архітектура програмного забезпечення буде підтримувати можливість розширення та додавання нових типів завадостійких кодів, та різних алгоритмів кодування – декодування, що дозволить в майбутньому більш детально досліджувати різні завадостійкі коди.

Апробація результатів магістерської роботи відбулася під час Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Інтелектуальні інформаційні системи» (м. Миколаїв, ЧНУ ім. Петра Могили).

Публікації. . За результатами бакалаврської роботи створено публікацію у збірнику матеріалів Всеукраїнської конференції [1].

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається з анотації на 2 сторінках, вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання з 26 найменувань, 3 додатків на 27 сторінках,. Основна частина роботи становить 68 сторінок, серед яких 26 рис..

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** подано обґрунтування актуальності теми магістерської роботи, зазначено її зв'язок із науковою програмою, планами і темами, сформульовано мету та завдання дослідження, вказано практичне значення одержаних результатів, наведено відомості про апробацію результатів роботи та публікації автора.

У **першому розділі** магістерської роботи «**Аналітичний огляд теорії завадостійкого кодування**» проведено огляд методів передачі інформації, можливості виправлення помилок, що виникають на каналі зв'язку під час передачі потрібної інформації.

У даному розділі розглянуто основні поняття теорії передачі інформації та завадостійкого кодування. Вивчено процес передачі інформації між двома джерелами зв'язку, та роль завадостійкого кодування у цьому процесі.

Розглянуто основні поняття завадостійкого кодування, розглянуто види коректувальних кодів: неперервні, блокові, каскадні коди. Розібрано основні методи кодування та декодування блокових кодів.

Досліджено нові коди, з великою швидкістю передачі інформацію по каналу, створених на базі блокових та згорткових кодів – турбокоди. Для подальшої розробки системи дослідження завадостійкого кодування обрано блокові турбокоди, Turbo Product code, вони мають перевагу перед згортковими при невеликій довжині кодового блоку та великих відносних кодових швидкостях.

У **другому розділі** магістерської роботи «**Математичні методи та методи моделювання системи**» розглянуто основні принципи кодування блокового турбокоду за допомогою коду Хеммінга, також розглянуто додаткові властивості розширеного коду Хеммінга, за допомогою якого можна знаходити та виправляти 2 помилки.

Розглянуто базові поняття декодування турбокоду (рис. 1), зокрема простий ітеративний алгоритм декодування, де вивчено властивості використання LLR.

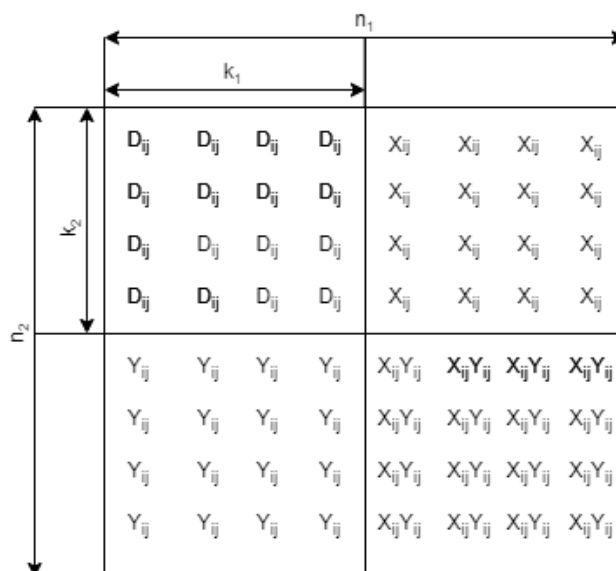


Рисунок 1 – Формат кадру блокового турбокоду (8,4)×(8,4)

Вивчено базовий алгоритм декодування блокових турбокодів MAP, та розглянуто його негативні властивості, а саме велику складність алгоритмів декодування.

Розглянуто види декодерів, а саме декодування м'яким та жорстким декодерами. Розібрано базові алгоритми з даними видами декодерів.

Після розглянутих алгоритмів декодування для Turbo Product коду, враховуючи їх негативні властивості, прийнято рішення для розробки проекту використовувати комбінаційний алгоритм жорсткого – м'якого декодування. Короткий алгоритм виглядає наступним чином:

— Крок 1: Використовуючи алгоритм декодування Чейза необхідно вибрати з вхідної послідовності k найменш надійних бітів. Коли найменш надійні біти будуть знайдені, використовуючи їх індекси в вхідному векторі формуються тестові вектори. Для формування тестових векторів використовується матриця усіх можливих варіантів перестановок двійкового коду, тобто 0 та 1.

— Крок 2: Після сформованих тестових векторів з вхідної інформаційної послідовності наступним кроком буде визначення синдромів для цих тестових векторів. Також необхідно визначити синдром для жорстких рішень, які отримались з вхідної послідовності м'яких рішень. Синдром представляється у вигляді вектору нулів та одиниць, що є результатом перевірки парності, тобто операції $\text{mod } 2$, перевіркою матриці та вектору жорстких рішень вхідної послідовності.

— Крок 3: Після обчислення синдрому вхідної інформаційної послідовності необхідно виконати перевірку усіх елементів отриманого вектору на рівність нулю, якщо усі значення синдрому дорівнює нулю то вхідний вектор обирається як базове рішення. Необхідно виконати модифікацію вхідного вектору та збільшити усі його значення на визначений коефіцієнт збільшення.

— Крок 4: Якщо елементи отриманого вектору синдрому вхідного вектору не дорівнюють нулю, то необхідно перевірити синдроми тестових векторів, що були отримані на кроці 2 алгоритму. Необхідно знайти синдром тестового вектору, де усі елементи синдрому дорівнюють нулю. Якщо таких векторів декілька, то обирається перший знайдений. Коли такий вектор знайдено, то отриманий вектор обирається базовим вектором.

— Крок 5: Якщо після перевірки синдрому вхідного вектору на рівність елементів нулю результат заперечний, та після перевірки усіх синдромів тестових векторів не знайдено ні одного вектору синдрому де усі елементи дорівнюють нулю то жодне з твердих рішень не пропонує правильне рішення для декодування даного вхідного вектору. На даному кроці необхідно виконати алгоритм схожий на третій крок, у якості базового вектору слід обрати вхідне жорстке рішення, та зменшити амплітуди м'яких вхідних значень слід на значення коефіцієнта зменшення.

У **третьому розділі** магістерської роботи «**Розробка програмної частини**» описано обрано технології та мову програмування для розробки

програмної реалізації алгоритму декодування блокового турбокоду. Обраною мовою програмування є Java, через великі можливості даної мови, та можливість використовувати розроблений програмний застосунок на усіх програмно-апаратних платформах, які підтримують роботу JVM.

Розроблено архітектуру програмного застосунку, визначено, що додаток в майбутньому повинен мати можливість розширення іншими програмними реалізаціями заводських кодів. Створено інтерфейс Decoder, який необхідно буде імплементувати усім декодерам, які буде додано до проекту. Створено утильний клас, який об'єднує спільні методи для різних алгоритмів декодування.

Розроблено програмну реалізацію алгоритму декодування на базі розробленої архітектури (рис. 2).

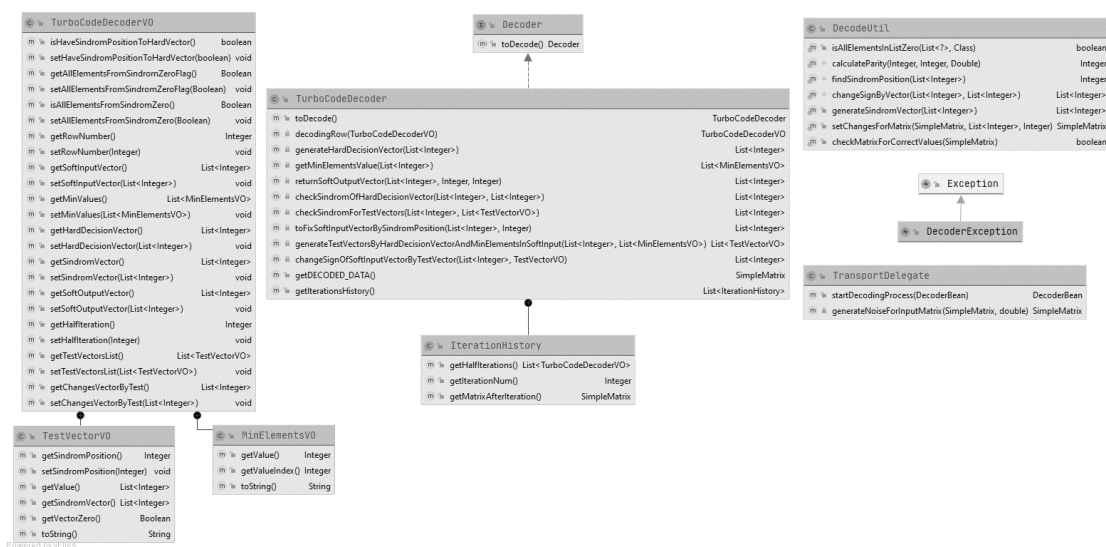


Рисунок 2 – Діаграма класів програмного застосунку

У четвертому розділі магістерської роботи «Розробка користувацького інтерфейсу та тестування розробленої системи» розглянуто етапи створення користувацького інтерфейсу. Створено обробку запитів зі сторони клієнту на сервер, що забезпечує керування застосунком зі сторони клієнта. Сервер обробляє запити за допомогою технології Java Servlet. Для більш детального аналізу процесу декодування користувачем додано

можливість створювати звіт з повним процесом декодування по кожній ітерації.

Розроблено макет користувацького інтерфейсу (рис. 3) для користувача. На базі розробленого макету реалізовано користувацький інтерфейс за допомогою технології Java JSP.

Програмний код розроблявся за допомогою методології TDD, тобто розробка через тестування. У результаті розробки було створена юніт тести для усіх методів розробленої програмної реалізації, тобто весь програмний код покритий тестами, що забезпечує стабільність роботи програмного застосунку.

INPUT MATRIX																
Probability	<input type="text"/>															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
4	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
7	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
12	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
13	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
14	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
15	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

MATRIX AFTER TRANSPORT																
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1	10	-1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2	10	10	-8	10	10	-11	10	10	10	10	10	10	10	10	-4	10
3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
4	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	-11	10	10	10	10	10
6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
7	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	-2	10	-11	10	10
11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
12	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
13	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
14	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	-3	10	10	10
15	10	10	-6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Рисунок 3 – Користувацький інтерфейс програмного застосунку

Перевірено роботу алгоритму декодування та результат відображено у вигляді діаграми байтів (рис. 4), у ході кожної ітерації видно як виправляються помилки за допомогою роботи алгоритму.

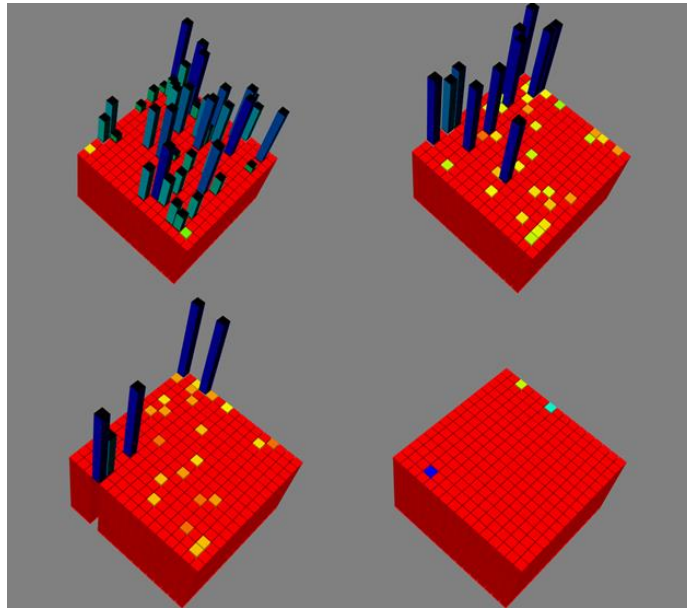


Рисунок 4 – Діаграма байтів процесу декодування

Додатки містять блок схему програмного застосунку, програмний код застосунку та код юніт тестів для виконання тестування компонентів програмної реалізації.

Спеціальна частина «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» проведений аналіз факторів виробничого середовища у приміщенні на підприємстві TrackEnsure Inc., а також визначений вплив цих факторів на здоров'я та працездатність працівників. Слід зазначити, що була встановлена відповідність всіх розглянутих показників чинним санітарним нормам та виявлено, що умови праці TrackEnsure Inc., є оптимальними.

ВИСНОВКИ

Результатом виконання дипломної роботи є розроблена програмна реалізація алгоритму декодування Turbo Product коду для дослідження ефективності даного виду завадостійких кодів.

Розглянуто основні поняття завадостійкого кодування, розглянуто види коректувальних кодів: неперервні, блокові, каскадні коди. Розібрано основні методи кодування та декодування блокових кодів. Для розробки системи

дослідження завадостійкого кодування обрано блокові турбокоди, Turbo Product code, вони мають перевагу перед згортковими при невеликій довжині кодового блоку та великих відносних кодових швидкостях.

Розглянуто базові поняття декодування турбокоду, зокрема простий ітеративний алгоритм декодування, де вивчено властивості використання LLR. Вивчено базовий алгоритм декодування блокових турбокодів MAP, та розглянуто його негативні властивості, а саме велику складність алгоритмів декодування. Розглянуто види декодерів, а саме декодування м'яким та жорстким декодерами. Після розглянутих алгоритмів декодування для Turbo Product коду, враховуючи їх негативні властивості, обрано комбінаційний алгоритм жорсткого – м'якого декодування.

Обраною мовою програмування є Java, через великі можливості даної мови. Розроблено архітектуру програмного застосунку, визначено, що додаток в майбутньому повинен мати можливість розширення іншими програмними реалізаціями завадостійких кодів. Розроблено програмну реалізацію алгоритму декодування на базі розробленої архітектури.

Створено обробку запитів зі сторони клієнту на сервер, що забезпечує керування застосунком зі сторони клієнта. Для більш детального аналізу процесу декодування додано звіт з повним процесом декодування по кожній ітерації. На базі розробленого макету реалізовано користувацький інтерфейс за допомогою технології Java JSP.

Розглянуто питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1. Худолій Є. П., Крайник Я. М. «Система дослідження ефективності Turbo Product кодів», Інтелектуальні інформаційні системи : Всеукраїнська науковопрактична конференція молодих вчених, аспірантів і студентів : тези доп., 9–12 лютого 2021 р. / ЧНУ ім. Петра Могили. – Миколаїв, 2021, 117 – 119.

АНОТАЦІЯ

Худолій Є. П. Система дослідження Turbo Product коду.

Магістерська робота спрямована на дослідження ефективності використання Turbo Product кодів. Розглянуто різні види завадостійкого кодування, алгоритми кодування – декодування, та обрано комбінаційний алгоритм декодування блокового турбокоду. Практичне значення результатів дослідження та розроблення полягає у розробці програмної реалізації додатку, що забезпечує процес декодування блокових турбокодів, та дослідити їх ефективність.

Пояснювальна записка магістерської роботи складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та трьох додатків. У вступі визначається актуальність теми, сформульовані мета, об'єкт, предмет та завдання дослідження та розроблення. У першому розділі досліджується класифікації коректувальних кодів, блокових кодів та видів їх декодування, основні принципи блокових турбокодів. У другому розділі здійснюється аналіз існуючих методів кодування та декодування Turbo Product кодів. У третьому розділі наведено етапи розробки програмної реалізації алгоритму декодування Turbo Product коду. Четвертий розділ присвячений розробці користувацького інтерфейсу, розробці юніт тестів для забезпечення коректної роботи усіх компонентів реалізації, та відображені результатів роботи. У висновках наведено аналіз виконаної роботи та отриманих результатів дослідження та розроблення. У додатку А наведений блок схему роботи програмного застосунку. У додатку Б наведено основний програмний код застосунку. У додатку В наведено код юніт тестів для програмоного застосунку.

В цілому, магістерська робота без додатків містить 68 сторінок, 26 рисунків, 26 джерел посилання.

ABSTRACT

Yevhenii Khudolii "Turbo Product Codes Efficiency Research System"

The master's thesis is aimed at studying the effectiveness of the use of Turbo Product codes. Different types of noise-tolerant coding, coding-decoding algorithms are considered, and the combinational decoding algorithm of block turbo code is chosen. The practical significance of the results of research and development is to develop a software implementation of the application that provides the process of decoding block turbo codes, and to investigate their effectiveness.

The explanatory note of the master's thesis consists of an introduction, four sections, conclusions and three appendices. The introduction determines the relevance of the topic, formulates the purpose, object, subject and objectives of research and development. The first section examines the classifications of correction codes, block codes and types of their decoding, the basic principles of block turbo codes. The second section analyzes the existing methods of encoding and decoding Turbo Product codes. The third section presents the stages of development of the software implementation of the Turbo Product code decoding algorithm. The fourth section is devoted to the development of the user interface, the development of unit tests to ensure the correct operation of all components of the implementation, and the reflected results. The conclusions provide an analysis of the work performed and the results of research and development. Appendix A shows a block diagram of the software application. Appendix B lists the basic application program code. Appendix C provides the code of the unit tests for the lost application.

Thesis contains 68 pages (without appendixes), 26 figures, 26 references and 3 appendixes.