

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КІЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
КАФЕДРА МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

**ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1**  
з дисципліни  
**«Алгоритми кодування двійкових даних»**  
на тему: «Реалізація алгоритмів побайтного перетворення інформації  
(Base64 та RLE)»

**Виконав:**

Голубцов Дмитро ФІ-42МН

**Перевірив:**

Кандидат наук, доцент Яковлев С. В.

Київ — 2026

# Зміст

<b>1</b>	<b>Мета та завдання роботи</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Архітектура програмного рішення</b>	<b>3</b>
2.1	Основні патерни проектування . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Опис програмних модулів та файлів</b>	<b>3</b>
3.1	Загальні типи ( <code>common_types.h</code> ) . . . . .	3
3.2	Модуль Base64 . . . . .	4
3.2.1	<code>base64_strategy.h</code> (Алгоритмічне ядро) . . . . .	4
3.2.2	<code>decoder_service.h</code> (Валідація та потік) . . . . .	4
3.3	Модуль RLE . . . . .	4
3.3.1	<code>rle_strategy.h</code> (Алгоритм PackBits) . . . . .	4
3.3.2	<code>rle_service.h</code> (Евристика кодування) . . . . .	4
3.4	Точки входу ( <code>main_*.cpp</code> ) . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Алгоритми роботи</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Результати тестування</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>Висновок</b>	<b>7</b>

# 1 Мета та завдання роботи

**Мета роботи:** Опанувати поняття коду, дослідити різні види перетворень даних, представлених двійковими словами (байтами), реалізувати алгоритми Base64 та RLE з використанням сучасних можливостей мови C++.

**Завдання:**

1. Реалізувати Base64-кодер та декодер з підтримкою опціональної довжини рядка (64 або 76 символів) та суворою валідацією вхідних даних згідно варіанту (українська локалізація помилок).
2. Реалізувати алгоритм стиснення RLE (Run-Length Encoding) згідно специфікації PackBits.
3. Забезпечити модульність архітектури та обробку помилок без використання виключень (exceptions).

# 2 Архітектура програмного рішення

Для виконання роботи було обрано архітектурний патерн **Strategy-Service**, який дозволяє чітко розділити алгоритмічну логіку (бітові операції) та бізнес-логіку програми (робота з файлами, валідація формату).

## 2.1 Основні патерни проектування

- **Strategy (Стратегія):** Використовується для інкапсуляції алгоритмів кодування/декодування. Класи Base64Strategy та RleStrategy є "чистими" (pure logic) — вони не залежать від файлової системи чи вводу-виводу, а працюють виключно з буферами даних.
- **Service (Сервіс):** Класи EncoderService, DecoderService та RleService відповідають за потік виконання: відкриття файлів, зчитування даних частинами, виклик стратегій та обробку помилок.
- **Monad (Result Pattern):** Замість механізму try-catch використовується клас-обгортка Result<T>, що дозволяє повернати або успішний результат, або структуровану помилку. Це підвищує надійність коду.

# 3 Опис програмних модулів та файлів

## 3.1 Загальні типи (common\_types.h)

Цей файл визначає базові структури даних, що використовуються в усьому проекті:

- **struct AppError:** Структура для збереження інформації про помилку (номер рядка, позиція символу, повідомлення). Метод `to_string()` форматує повідомлення українською мовою згідно вимог лабораторної (наприклад, "Рядок 20, символ 02: Некоректний вхідний символ").
- **class Result<T>:** Реалізація монадичного типу, що містить або значення типу T, або AppError.
- **struct Config:** Зберігає налаштування запуску (шляхи до файлів, довжина рядка Base64).

## 3.2 Модуль Base64

### 3.2.1 base64\_strategy.h (Алгоритмічне ядро)

Містить логіку побітових перетворень.

- **Генерація таблиць:** Використовує `consteval` для створення масиву `DECODE_TABLE`, який дозволяє за  $O(1)$  перетворити символ Base64 у числове значення.
- `encode_block`: Перетворює 3 вхідних байти (24 біти) у 4 символи Base64.
- `decode_block`: Перетворює 4 символи Base64 назад у 3 байти, враховуючи паддінг ('=').

### 3.2.2 decoder\_service.h (Валідація та потік)

Найскладніший модуль, оскільки реалізує суворі вимоги до формату вхідного файлу:

- **Ігнорування "фантомних" рядків:** Автоматично видаляє пробільні символи в кінці рядків, щоб уникнути помилкових попереджень.
- **Контроль довжини рядка:** Перевіряє, що всі рядки (крім останнього) мають фіксовану довжину (64 або 76 символів).
- **Детекція кінця повідомлення:** Відстежує момент, коли повідомлення логічно завершилось (через короткий рядок або паддінг). Якщо після цього знайдено дані — видає попередження.

## 3.3 Модуль RLE

### 3.3.1 rle\_strategy.h (Алгоритм PackBits)

Реалізує специфічні формули для RLE:

- **Repeat Header:**  $128 + (length - 2)$  для послідовностей однакових байтів.
- **Literal Header:**  $length - 1$  для послідовностей різних байтів.

### 3.3.2 rle\_service.h (Евристика кодування)

В методі `encode` реалізовано алгоритм "жадібного" пошуку (Lookahead): 1. Програма сканує вхідний буфер. 2. Шукає послідовність однакових байтів довжиною  $\geq 2$ . 3. Якщо знайдено — записує Repeat Packet. 4. Якщо ні — накопичує Literal Packet, поки не зустріне початок нової повторюваної послідовності або не досягне ліміту (128 байт).

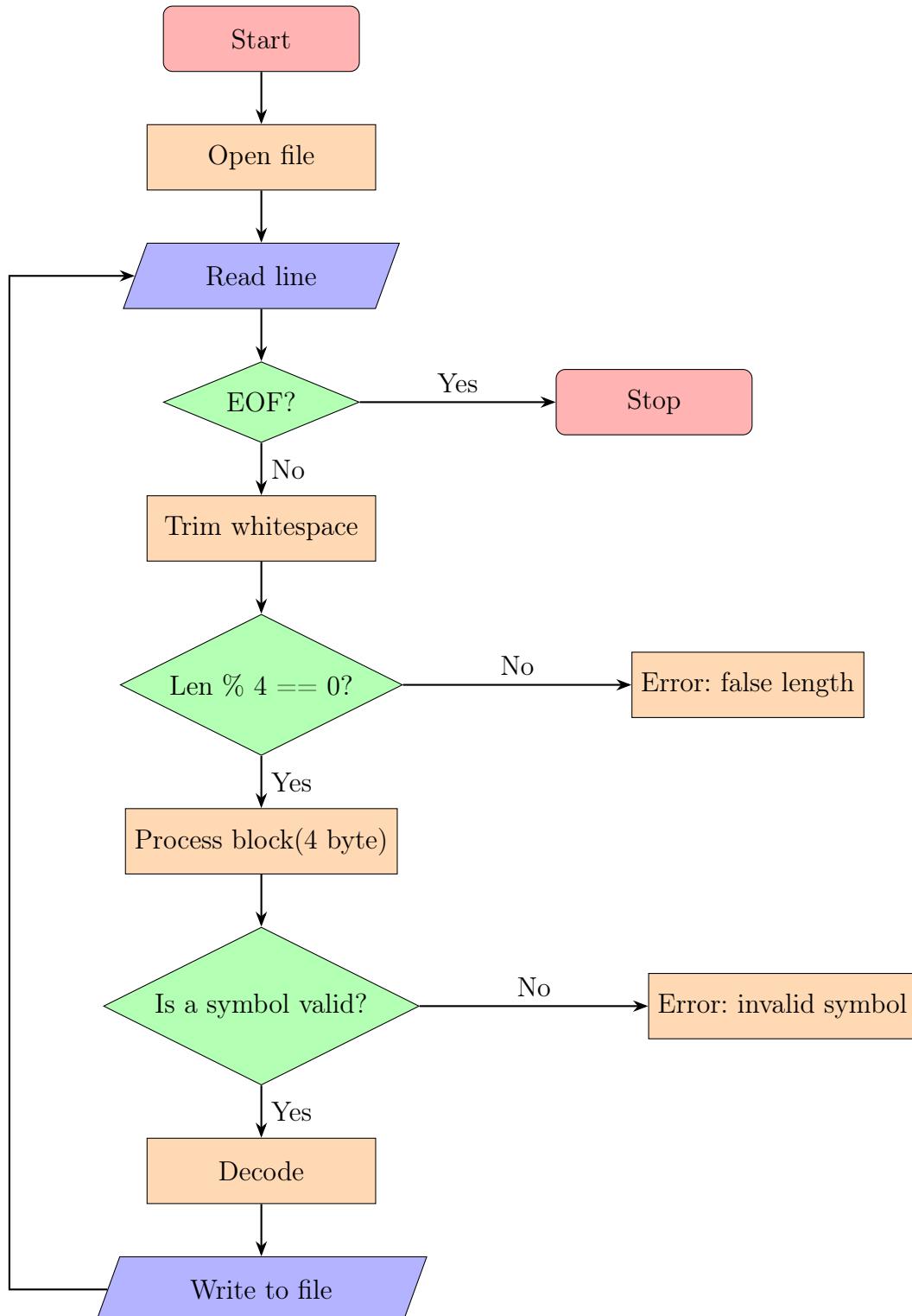
## 3.4 Точки входу (main\_\*.cpp)

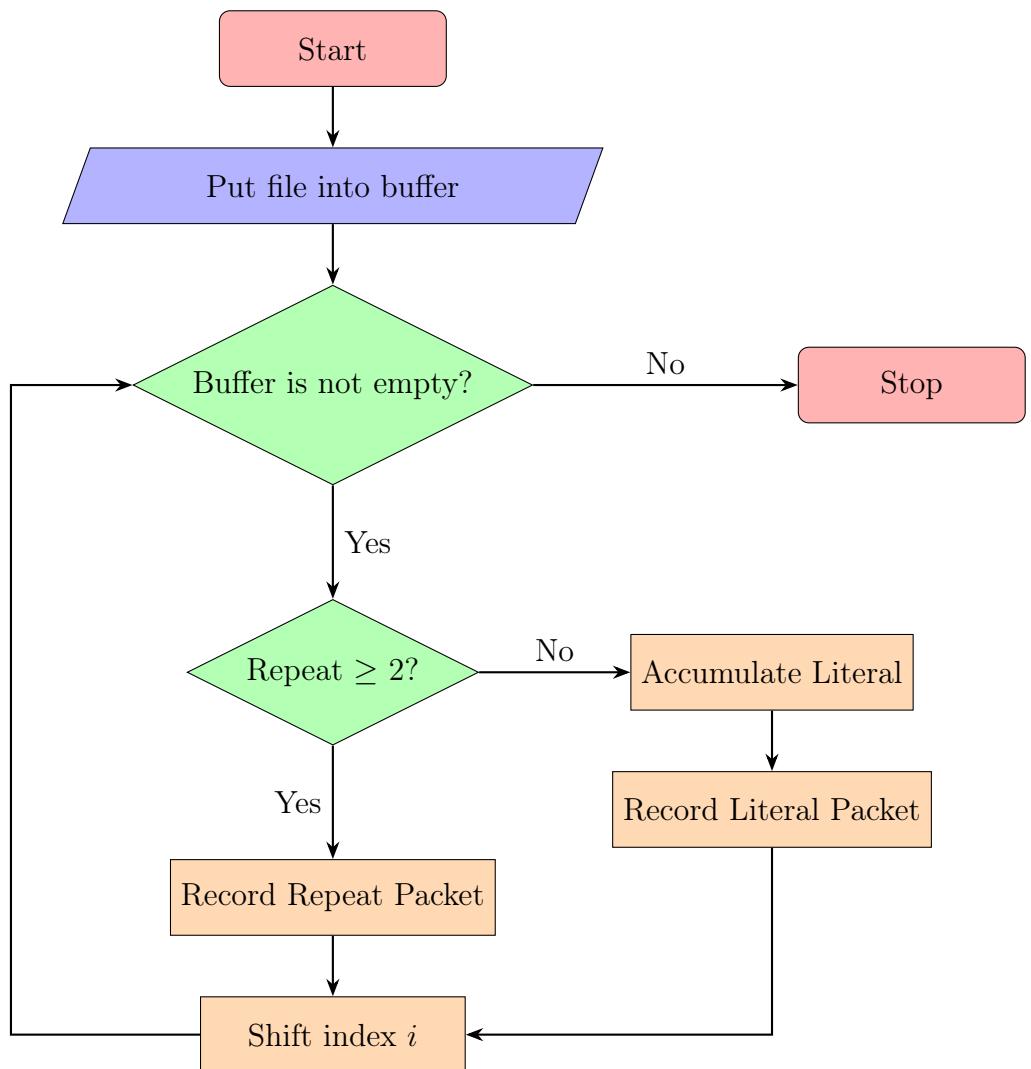
Чотири файли (`main_encode.cpp`, `main_decode.cpp`, `main_rle_encode.cpp`, `main_rle_decode.cpp`) відповідають за:

- Парсинг аргументів командного рядка (прапори `-s`, `-l`).
- Формування шляхів до файлів виводу (автоматичне додавання/видалення розширень).
- Виклик відповідного сервісу та вивід результату/помилки у консоль.

## 4 Алгоритми роботи

Нижче наведено детальні діаграми діяльності для ключових процесів декодування та кодування.





## 5 Результати тестування

Програма була протестована на наступних сценаріях:

### 1. Base64 Encoding:

- Вхід: Hello, World!
- Вихід: SGVsbG8sIFdvcmxkIQo=

### 2. Base64 Decoding (Strict):

- Тест на невидимі пробіли: Декодер успішно ігнорує порожні рядки в кінці файлу, не видаючи помилкових попереджень.
- Тест на довжину: При зміні довжини рядка на 75 символів видається помилка "Рядок X: Некоректна довжина рядку (75)".

### 3. RLE Encoding:

- Вхід: AAAAABBBBBCCCCC12345
- Вихід: Стиснений файл містить заголовки 10000011 (для 5 'A'), 10000011 (для 5 'B') тощо.

## 6 Висновок

В ході лабораторної роботи було успішно реалізовано утиліти для кодування та декодування даних алгоритмами Base64 та RLE. Використання архітектури Strategy-Service дозволило створити гнучкий код, стійкий до змін вимог. Застосування сучасних стандартів C++20 дозволило оптимізувати виконання (compile-time tables) та підвищити читабельність коду.

The screenshot shows a terminal session on a Manjaro Linux system. The user is working in a directory named 'base64\_strategy\_lab'. They start by listing files ('ls'), then build the project ('make'). They echo a test string ('echo "AAAAABBBBBCCCCC12345" > test\_rle.txt') and add it to a git repository ('git add .'). They then commit the changes with a message ('git commit -m "No comment"'). They check the status of their git repository ('git status'). Next, they run the RLE encoder on the test file ('./rle-encode test\_rle.txt'), which outputs an encoded file ('Encoded: test\_rle.txt.rle'). They then run the RLE decoder on the encoded file ('./rle-decode test\_rle.txt.rle test\_rle.txt'), which outputs the original test string ('Decoded: test\_rle\_decoded.txt'). Finally, they push the changes to a GitHub repository ('git push origin task\_1\_Encoding\_schemes'). The terminal also shows some git statistics and a note about compressing objects.

Рис. 1:

```
[darthgalath@manjaro base64_strategy_lab]$ head -n 20 kali_setup.txt
Here's what it tells us:
Your radio supports monitor mode - confirmed by supported interface modes listing * monitor.
That's the key requirement for wireless packet capture.

The interface is currently in AP mode (acting as an access point).
The router's filesystem is extremely small: only ~320 KB writable space, with ~92 KB free.
That's not enough to install tcpdump or any large packages.

The ath9k driver on this hardware can do proper monitor mode and injection (it's the same chipset class as the Alfa AWUS036NHA).

So we'll use it purely as a remote capture radio, streaming live packets to Kali - no local storage or package installs needed.

What you need on your Kali machine
Run these once:
sudo apt update
sudo apt install -y wireshark tcpdump
[darthgalath@manjaro base64_strategy_lab]$ ./base64-encode kali_setup.txt.base64
Encoded: kali_setup.txt.base64
[darthgalath@manjaro base64_strategy_lab]$ head -n 20 kali_setup.txt.base64
SGVycEAMXmgd2hhdCBpdCB0ZWxscyB1czoKCuKchSBzb3VYIHJhZG1vIHN1cHBvcnRzIG1vbml0
b3IgbW9kZSDigJQgY29uZmlybWkIGJ5IFN1cHBvcnRlZCpbmRlcMZhY2UgbW9kZXmgbGlzdGlu
ZyAqIG1vbml0b3Iuc1RoYXTigJ1zIHRoZSBrZXkgcmVxdWlyZw1lbNQz9m9yIHdpcmVsZxnzIhbh
Y2tldCBjYXB0dXJ1LgoK4pqZ77iPIFRoZSbpnRlcMZhY2UgaXmgY3VycmVudGx5IGluIEFQIG1v
ZGUgKGfjdGluZyBhcyBhbiBhY2Nlc3MgcG9pbnQpLgoK8J+SviBuAGucm91dGVy4oCzcyBmaWxl
c3lzdGVtIGlZIG4dHJ1bWseSBzbWFsbDob25seSB+MzIwIEtCIHdyaxRhYmx1IHNwYWN1LCB3
aXRoiH45MiBLQiBmcVlLgrihpIgVGhdOKAmXgbm90IGVub3VnaCB0byBpbnN0YwxsIHRjGR1
bXAgb3IgYW55IGxhcmdlIHbhY2thZ2VzLgoK4pyFIRoZSbdGg5ayBkcm12ZxIgb24gdGhpcyBo
YXJkd2FyZSBjYW4gZG8gcHJvcGVyIG1vbml0b3IgbW9kZSBhbhQgaW5qZwn0aW9uIChpdkAmXmg
dGhlIHnbhUgY2hpcHnlcBjbGFzcycBhcyB0aUGuQWxmYSBBV1VTMDM2TkhBKS4KClNvIhd14oCZ
bGwdgXNlIG10IHB1cmVseSBhcyBhIHJ1bW90ZSBjYXB0dXJ1IHJhZG1vLCBzdHJ1Yw1pbmcgbG12
ZSBwYWNrZXRzIHRvIEthbGkg4oCUIG5vIGxvY2FsIHN0b3JhZ2Ugb3IgcGFja2FnsZSBpbN0Ywxs
cyBuZWVkZWQuCgpXaGF0IhlvdSBuZWVkiG9uIhlvdXIgS2FsaSBtYwNoaW51CgpSdW4gdGhlc2Ug
b25jZToKcn1ZG8gYXB0IhwZGf0ZQpdwRvIGFwdCpbmN0YwxsIC15IHdpcmVzaGfyayB0Y3Bk
dW1wCgoKRW5zdXJ1IhlvdXIgdxNlciBjYW4gcnVuIFdpcmVzaGfyayAoc3VkbYB1c2VybW9kIC1h
RyB3aXJlc2hhcmmsgJFVTRViisIHRoZW4gcmUtbG9naW4pLgoKMSlPbiB0aUGucm91dGVyIChPcGVu
V3J0KQoKU1NIIGludG8gdGh1IHJvdXrlcjoKCnNzaCatb0hvc3RLZx1BbGdvcml0aG1zPStz2gt
cnNhIC1vUHvia2V5QWNjZXB0ZWRBbGdvcml0aG1zPStz2gtcnNhIHJvb3RAMTkyLjE20C4xLjEK
ClRoZW4gCHV0IHRoZSBxaS1GaSPbmRlcMZhY2UgaW50byBtb25pdG9yIG1vZGU6CgojIFN0b3Ag
bm9ybWFsIHdpcmVsZxnzIG9wZXJhdG1vbgovZXRjL2luaXQuZC9uZXR3b3JrIHN0b3AKCiMgQ2hh
[darthgalath@manjaro base64_strategy_lab]$ du -sh kali_setup.txt
4,0K    kali_setup.txt
[darthgalath@manjaro base64_strategy_lab]$ du -sh kali_setup.txt.base64
4,0K    kali_setup.txt.base64
[darthgalath@manjaro base64_strategy_lab]$ ./base64-decode kali_setup.txt.base64
Decoded: kali_setup.txt
```

Рис. 2:

```
[darthgalath@manjaro base64_strategy_lab]$ ./base64-encode kali_setup.txt
Encoded: kali_setup.txt.base64
[darthgalath@manjaro base64_strategy_lab]$ head -n 20 kali_setup.txt.base64
SGVycEAMXmgd2hhdCBpdCB0ZWxscyB1czoKCuKchSBzb3VYIHJhZG1vIHN1cHBvcnRzIG1vbml0
b3IgbW9kZSDigJQgY29uZmlybWkIGJ5IFN1cHBvcnRlZCpbmRlcMZhY2UgbW9kZXmgbGlzdGlu
ZyAqIG1vbml0b3Iuc1RoYXTigJ1zIHRoZSBrZXkgcmVxdWlyZw1lbNQz9m9yIHdpcmVsZxnzIhbh
Y2tldCBjYXB0dXJ1LgoK4pqZ77iPIFRoZSbpnRlcMZhY2UgaXmgY3VycmVudGx5IGluIEFQIG1v
ZGUgKGfjdGluZyBhcyBhbiBhY2Nlc3MgcG9pbnQpLgoK8J+SviBuAGucm91dGVy4oCzcyBmaWxl
c3lzdGVtIGlZIG4dHJ1bWseSBzbWFsbDob25seSB+MzIwIEtCIHdyaxRhYmx1IHNwYWN1LCB3
aXRoiH45MiBLQiBmcVlLgrihpIgVGhdOKAmXgbm90IGVub3VnaCB0byBpbnN0YwxsIHRjGR1
bXAgb3IgYW55IGxhcmdlIHbhY2thZ2VzLgoK4pyFIRoZSbdGg5ayBkcm12ZxIgb24gdGhpcyBo
YXJkd2FyZSBjYW4gZG8gcHJvcGVyIG1vbml0b3IgbW9kZSBhbhQgaW5qZwn0aW9uIChpdkAmXmg
dGhlIHnbhUgY2hpcHnlcBjbGFzcycBhcyB0aUGuQWxmYSBBV1VTMDM2TkhBKS4KClNvIhd14oCZ
bGwdgXNlIG10IHB1cmVseSBhcyBhIHJ1bW90ZSBjYXB0dXJ1IHJhZG1vLCBzdHJ1Yw1pbmcgbG12
ZSBwYWNrZXRzIHRvIEthbGkg4oCUIG5vIGxvY2FsIHN0b3JhZ2Ugb3IgcGFja2FnsZSBpbN0Ywxs
cyBuZWVkZWQuCgpXaGF0IhlvdSBuZWVkiG9uIhlvdXIgS2FsaSBtYwNoaW51CgpSdW4gdGhlc2Ug
b25jZToKcn1ZG8gYXB0IhwZGf0ZQpdwRvIGFwdCpbmN0YwxsIC15IHdpcmVzaGfyayB0Y3Bk
dW1wCgoKRW5zdXJ1IhlvdXIgdxNlciBjYW4gcnVuIFdpcmVzaGfyayAoc3VkbYB1c2VybW9kIC1h
RyB3aXJlc2hhcmmsgJFVTRViisIHRoZW4gcmUtbG9naW4pLgoKMSlPbiB0aUGucm91dGVyIChPcGVu
V3J0KQoKU1NIIGludG8gdGh1IHJvdXrlcjoKCnNzaCatb0hvc3RLZx1BbGdvcml0aG1zPStz2gt
cnNhIC1vUHvia2V5QWNjZXB0ZWRBbGdvcml0aG1zPStz2gtcnNhIHJvb3RAMTkyLjE20C4xLjEK
ClRoZW4gCHV0IHRoZSBxaS1GaSPbmRlcMZhY2UgaW50byBtb25pdG9yIG1vZGU6CgojIFN0b3Ag
bm9ybWFsIHdpcmVsZxnzIG9wZXJhdG1vbgovZXRjL2luaXQuZC9uZXR3b3JrIHN0b3AKCiMgQ2hh
[darthgalath@manjaro base64_strategy_lab]$ du -sh kali_setup.txt
4,0K    kali_setup.txt
[darthgalath@manjaro base64_strategy_lab]$ du -sh kali_setup.txt.base64
4,0K    kali_setup.txt.base64
[darthgalath@manjaro base64_strategy_lab]$ ./base64-decode kali_setup.txt.base64
Decoded: kali_setup.txt
```

Рис. 3:

```
[darthgalath@manjaro base64_strategy_lab]$ head -n 20 kali_setup.txt
Here's what it tells us:
↳ Coding partner
Your radio supports monitor mode - confirmed by Supported interface modes listing * monitor.
That's the key requirement for wireless packet capture.
The interface is currently in AP mode (acting as an access point).
The router's filesystem is extremely small: only ~320 KB writable space, with ~92 KB free.
That's not enough to install tcpdump or any large packages.
The ath9k driver on this hardware can do proper monitor mode and injection! (it's the same chipset class as the Alfa AWUS036NHA).
So we'll use it purely as a remote capture radio, streaming live packets to Kali - no local storage or package installs needed.
Очищення даних у Google Sheets
What you need on your Kali machine
When to Train Standard Dictionaries
Run these once:
    Квантів грою: особливості та відмін...
sudo apt update
sudo apt install -y wireshark tcpdump
```

Рис. 4:

```
[darthgalath@manjaro base64_strategy_lab]$ cat test.txt
Hello, World!
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ ./base64-encode test.txt
Encoded: test.txt.base64
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ ls
base64-decode build decoder_service.h kali_setup.txt.main_rle_decode.cpp main_rle_encode.cpp rle-encode
base64-encode CMakeLists.txt encoder_service.h main_decode.cpp name from main_rle_encode.cpp rle-encode test_rle.txt
base64_strategy.h common_types.h kali_setup.txt main_encode.cpp rle rle_service.h test.txt
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ cat test.txt.base64
GVsbG8sIFdvcmxkIQo=
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ ./rle-encode test.txt.base64
Encoded: test.txt.base64.rle
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ cat test.txt.base64.rle
Important Note on Newlines
GVsbG8sIFdvcmxkIQo=
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ ./base64-decode test.txt.base64.rle
Рядок 1: Некоректна довжина рядку (21)
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ cp test.txt.base64.rle test.txt.base64
р: overwrite "test.txt.base64" ? n
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ cp test.txt.base64.rle test_1.txt.base64
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ ./base64-decode test_1.txt.base64
Рядок 1: Некоректна довжина рядку (21)
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ cat test_1.txt.base64
GVsbG8sIFdvcmxkIQo=
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ stat -c %s test.txt.base64
Important Note on Newlines
GVsbG8sIFdvcmxkIQo=
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ stat -c %s test_1.txt.base64
1 When to Train Standard Dictionaries
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ stat -c %s test_1.txt.base64
2 Квантів грою: особливості та відмін...
Ask Gemini 3
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ ./rle-decode test_
test_1.txt.base64 test_rle.txt
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ ./rle-decode test_1.txt.base64
Decoded: test_1.txt.base64.unrle
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$
```

Рис. 5:

```
base64-encode Using the > symbol redirects the file content into the command, which prevents the filename from appearing in the output.
base64_strategy.h common_types.h [1] kali_setup.txt.main_rle_decode.cpp main_rle_encode.cpp rle-encode test_rle.txt
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ cat test.txt.base64
SGVsbg8sIFdvcmxkIQo=
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ ./rle-encode test.txt.base64
Encoded: test.txt.base64.rle
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ cat test.txt.base64.rle
Important Note on Newlines
SGVsbg8sIFdvcmxkIQo=
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ ./base64-decode test.txt.base64.rle
Рядок 1: Некоректна довжина рядку (21)
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ cp test.txt.base64.rle test.txt.base64
р: overwrite "test.txt.base64" ? n
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ cp test.txt.base64.rle test_1.txt.base64.d
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ ./base64-decode test_1.txt.base64
Рядок 1: Некоректна довжина рядку (21)
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ cat test_1.txt.base64
Important Note on Newlines
SGVsbg8sIFdvcmxkIQo=
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ stat -c %s test.txt.base64
21
[Darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ stat -c %s test_1.txt.base64
22 Dissertation Introduction: A 2-Hour Spr...
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ ./rle-decode test_
test_1.txt.base64 test_rle.txt
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ ./rle-decode test_1.txt.base64
Decoded: test_1.txt.base64.unrle
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ ls
base64-decode CMakeLists.txt kali_setup.txt main_rle_decode.cpp rle-encode test_1.txt.base64.unrle test.txt.base64.rle
base64_encode common_types.h kali_setup.txt.base64 main_rle_encode.cpp rle_service.h test_rle.txt
base64_strategy.h decoder_service.h main_decode.cpp rle rle_strategy.h test.txt
build [root приватно] encoder_service.h main_encode.cpp rle-decode test_1.txt.base64 test.txt.base64
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ ./base64-decode test_1.txt.base64.unrle
Decoded: test_1.txt.base64.unrle.decoded
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$ cat test_1.txt.base64.unrle.decoded
Hello, World!
[darthygalath@manjaro base64_strategy_lab]$
```

Рис. 6: