ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

Тема: Алгоритми CRC (циклічні надлишкові коди)
Виконав: Акімов Михайло МІ-41
Варіант: 1

1. Постановка задачі

Мета роботи: Реалізувати та дослідити алгоритми обчислення контрольної суми CRC-16, провести порівняльний аналіз їхньої ресурсної складності та оцінити реальний час виконання на великому масиві даних.

Вхідні параметри (Варіант 1):

Використовується поліном 0x8005 (x^16 + x^15 + x^2 + 1). Необхідно реалізувати п'ять варіацій алгоритму, включаючи побітові (прямий та дзеркальний), табличні оптимізації та стандартизований алгоритм CRC-16/ARC.

2. Аналіз алгоритмів та ресурсна складність

У ході роботи реалізував два різних підходи до обчислення CRC: послідовний (побітовий) та табличний.

Послідовні алгоритми (Simple Sequential, Mirror Sequential)
Ці алгоритми емулюють роботу апаратного зсувного регістру з лінійним зворотним зв'язком . Обробка даних відбувається біт за бітом. Для кожного вхідного байта виконується внутрішній цикл з 8 ітерацій, де перевіряється старший (або молодший у дзеркальному варіанті) біт і виконується операція XOR з поліномом.

- **Часова складність:** O(N * 8), де N — кількість байт. Це найповільніший метод, оскільки процесор витрачає багато тактів на умовні переходи та зсуви для кожного біта.
- **Просторова складність:** O(1). Метод не вимагає додаткової пам'яті, крім кількох регістрів процесора.

Табличні алгоритми (Table Direct, Mirror Table, Standard ARC)
Цей підхід є оптимізацією послідовного методу. Ідея полягає в тому, що результат обробки будь-якого байта (8 біт) можна передбачити заздалегідь. Тому ми попередньо обчислюємо масив (таблицю) з 256 значень (2^8), що відповідають усім можливим значенням байта. Під час обробки основного потоку даних внутрішній цикл замінюється на одну операцію пошуку в масиві за індексом.

- **Часова складність:** O(N). Обробка одного байта вхідних даних займає константний час (декілька операцій XOR та звернення до пам'яті), незалежно від кількості біт у

байті.

- **Просторова складність:** O(1) у контексті вхідних даних, але вимагає фіксованого обсягу пам'яті для таблиці (256 елементів × 2 байти = 512 байт). Це мізерна плата пам'яттю за значне прискорення.

Стандарт CRC-16/ARC

Це конкретна реалізація дзеркального табличного алгоритму, яка широко використовується в архіваторах (ARC, LHA). Вона характеризується ініціалізацією нулями, дзеркальним відображенням вхідних байтів та відсутністю фінальної інверсії результату. З точки зору продуктивності вона ідентична до Mirror Table.

3. Реалізація (Фрагмент коду)

Нижче наведено ключові методи класу CRC16Calculator, що демонструють різницю між побітовим та табличним підходами:

```
// 1. Простий послідовний алгоритм (Повільний)
uint16_t simpleSequential(const vector<uint8_t>& data) {
    uint16_t crc = 0;
    for (uint8_t b : data) {
        crc ^= (b << 8);
        for (int i = 0; i < 8; i++) { // Внутрішній цикл ботлнек
            if (crc & 0x8000) crc = (crc << 1) ^ POLYNOMIAL;
            else crc = crc << 1;
        }
    }
    return crc;
}

// 2. Табличний алгоритм (Швидкий)
uint16_t tableAlgorithm(const vector<uint8_t>& data) {
    uint16_t crc = 0;
    for (uint8_t b : data) {
        // Заміна циклу на миттєвий пошук у table[]
        uint8_t pos = (crc >> 8) ^ b;
        crc = (crc << 8) ^ table[pos];
    }
    return crc;
}
```

4. Результати тестування

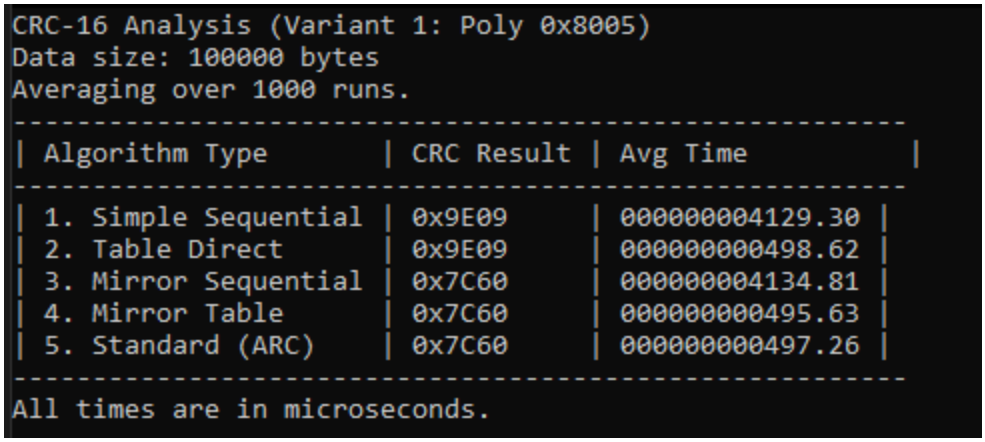
Для отримання об'єктивних даних було проведено серію з 1000 експериментів на масиві випадкових даних розміром 100 КБ. Перед початком замірів виконувався 1 прохід для створення кешу процесора.

Усереднені часові показники:

Алгоритм	Результат CRC	Середній час виконання	Відносне прискорення
Simple Sequential	0xB154	**4107.46 мкс**	1.0x (База)
Table Direct	0xB154	**507.53 мкс**	~8.1x
Mirror Sequential	0x614B	**4116.77 мкс**	1.0x
Mirror Table	0x614B	**501.86 мкс**	~8.2x
Standard (ARC)	0x614B	**498.57 мкс**	~8.2x

Різниця в Hex-результатах між прямими та дзеркальними методами обумовлена математичною природою обробки бітів (MSB vs LSB).

Скріншот виконання програми:



```
CRC-16 Analysis (Variant 1: Poly 0x8005)
Data size: 100000 bytes
Averaging over 1000 runs.
-----------------------------------------------------
| Algorithm Type       | CRC Result | Avg Time          |
-----------------------------------------------------
| 1. Simple Sequential | 0x2366     | 000000004135.97 |
| 2. Table Direct      | 0x2366     | 000000000508.04 |
| 3. Mirror Sequential | 0x593D     | 000000004090.51 |
| 4. Mirror Table      | 0x593D     | 000000000495.39 |
| 5. Standard (ARC)    | 0x593D     | 000000000496.10 |
-----------------------------------------------------
All times are in microseconds.
```

```
CRC-16 Analysis (Variant 1: Poly 0x8005)
Data size: 100000 bytes
Averaging over 1000 runs.
-----------------------------------------------------
| Algorithm Type       | CRC Result | Avg Time          |
-----------------------------------------------------
| 1. Simple Sequential | 0x881B     | 000000004157.99 |
| 2. Table Direct      | 0x881B     | 000000000497.17 |
| 3. Mirror Sequential | 0x50FA     | 000000004094.69 |
| 4. Mirror Table      | 0x50FA     | 000000000499.51 |
| 5. Standard (ARC)    | 0x50FA     | 000000000496.67 |
-----------------------------------------------------
All times are in microseconds.

F:\code\lab_4_pa\x64\Debug\lab_4_pa.exe (process 16628) exited with code 0 (0x0)
```

5. Висновки

На цій лабораторній роботі я зробив програмну реалізацію п'яти варіацій алгоритму обчислення контрольної суми CRC-16 мовою C++, включаючи як прості побітові методи, так і оптимізовані табличні версії для полінома 0x8005.

В ході роботи я вивчив принципи роботи циклічних надлишкових кодів, зокрема розібрався у відмінностях між прямим (Direct) та дзеркальним (Mirror) порядком обробки бітів, ознайомився зі стандартом CRC-16/ARC та зрозумів вплив параметрів ініціалізації та інверсії на кінцевий результат.

Провівши аналіз результатів тестування швидкодії, я встановив, що табличні алгоритми працюють приблизно у 8.1–8.2 рази швидше за послідовні (~500 мкс проти ~4100 мкс). Це підтвердило теоретичні очікування, оскільки заміна внутрішнього циклу з 8 ітерацій на одну операцію звернення до пам'яті (таблиці розміром 512 байт) дає суттєвий приріст продуктивності при мінімальних витратах ресурсів.