

Лабораторна Робота №3: Асемблер і симулятор комп'ютера LC-2K

Мета

Опанувати роботу асемблера на симуляторі машини Ноймана, зрозуміти і дослідити принцип виконання програми машиною Ноймана.

Завдання

скласти програму на асемблері, перетворити її у машинні коди, запустити симулятор, увести до нього коди машинних інструкцій, проаналізувати і пояснити отримані результати, скласти звіт з виконання лабораторних досліджень та захистити його.

Теоретичні відомості

Розглядається симулятор та асемблер 32-розрядного CISC-комп'ютера. Він містить:

- 8 регістрів (регістр 0 завжди зберігає 0)
- 65536 комірок пам'яті по 32 біти
- один спосіб адресації - прямий регістровий («база-регістр + 16-бітове зміщення»)

Набір машинних інструкцій включає 8 команд (таблиця 3.1).:

Таблиця 3.1. Множина інструкцій

Інструкції R-типу

№	Інструкція	Код	Сутність інструкції
1	add	000	Додає вміст регістру regA до вмісту regB, та зберігає в destReg
2	nand	001	Виконує логічне побітове І-НЕ вмісту regA з вмістом regB, та зберігає в destReg

Інструкції I-типу

№	Інструкція	Код	Сутність інструкції
3	lw	010	Завантажує regB з пам'яті. Адреса пам'яті формується додаванням зміщення до вмісту regA.
4	sw	011	Зберігає вміст регістру regB в пам'ять. Адреса пам'яті формується додаванням зміщення до вмісту regA.
5	beq	100	Якщо вміст регістрів regA та regB однаковий, виконується перехід на адресу PC + 1 + зміщення. В ПЛ зберігається адреса поточної (тобто beq) інструкції.

Інструкції J-типу

№	Інструкція	Код	Сутність інструкції
6	jalr	101	Спочатку зберігає ПЛ+1 в regB, де ПЛ — адреса поточної (jalr) інструкції. Потім виконує перехід на адресу, яка зберігається в regA. Якщо regA і regB однакові — спочатку в цей регістр запишеться ПЛ+1, а потім виконається перехід до ПЛ+1.

Інструкції O-типу

№	Інструкція	Код	Сутність інструкції
7	halt	110	Збільшує значення ПЛ на 1, потім припиняє виконання. Симулятор повідомляє про зупинку.
8	noop	111	Нічого не виконується.

Формат лінійки асемблерного коду

Кожен рядок асемблерного коду має наступну структуру:

```
<мітка> <інструкція> <поле1> <поле2> <поле3> ; коментар
```

- **Мітка** (опціонально):
Розміщується на крайньому лівому полі.
Може містити максимум **6 символів** — **букви або цифри**, але **обов'язково починатися з літери**.
Навіть якщо мітка відсутня, **пробіл після неї (тобто перед інструкцією) є обов'язковим**.
- **Інструкція**:
Обов'язкове поле. Має бути однією з інструкцій, наведених у таблиці 3.1.
- **Операнди (поля 1–3)**:
Залежно від типу інструкції, кількість полів і значення можуть відрізнятись:
 - **R-тип (add, nand)**:
Потребують **3 поля**:
 - поле№1 – **regA**
 - поле№2 – **regB**
 - поле№3 – **destReg**
 - **I-тип (lw, sw, beq)**:
Також потребують **3 поля**:
 - поле№1 – **regA**
 - поле№2 – **regB**

- поле№3 – зміщення (**десятькове число** або **символьна адреса**).
Значення може бути **додатнім або від'ємним**.

- **J-тип (jalr):**

Потребує **2** поля:

- поле№1 – **regA**
- поле№2 – **regB**

- **O-тип (halt, noop):**

Не потребує жодного поля.

- **Символьні адреси:**

Використовуються замість числових зміщень.

- Для **lw** та **sw** асемблер обчислює **зміщення = адреса мітки**.
Можна використовувати **regA = 0** для прямого доступу, або інший регістр як базу масиву.
- Для **beq** асемблер обчислює **зміщення = мітка - (адреса поточної інструкції + 1)**.

- **Коментар:**

Починається після останнього поля через пробіл починаючи з символу "#", триває до кінця рядка.

Директива **.fill**

Крім інструкцій, програма може містити директиву **.fill**, яка:

- Зберігає **число або адресу мітки** у відповідну комірку пам'яті.
- Має формат:

```
.fill <значення або мітка>
```

- **Приклади:**

- **.fill 32** — зберігає **число 32**.
- **.fill start** — зберігає **адресу мітки start** (наприклад, 2, якщо вона знаходиться на третій стрічці).

📌 Примітка: кожен рядок програми має свою адресу, починаючи з 0. Отже, **.fill** зберігає дані **за адресою свого рядка**.

Схема роботи асемблера

Загальна схема роботи асемблера (рис. 1) складається з 2 проходів. На першому проході асемблер перевіряє коректність синтаксису команд. На другому виконується генерування відповідних машинних команд, тобто числового представлення асемблерної команди.

Функція **readAndParse** виконує зчитування рядку асемблерної програми і декодування на відповідні поля: мітка, код операції, операнди. Отримана таким чином і декодована інструкція перевіряється на коректність: існування команди, відповідна кількість аргументів, існування міток та т. п.

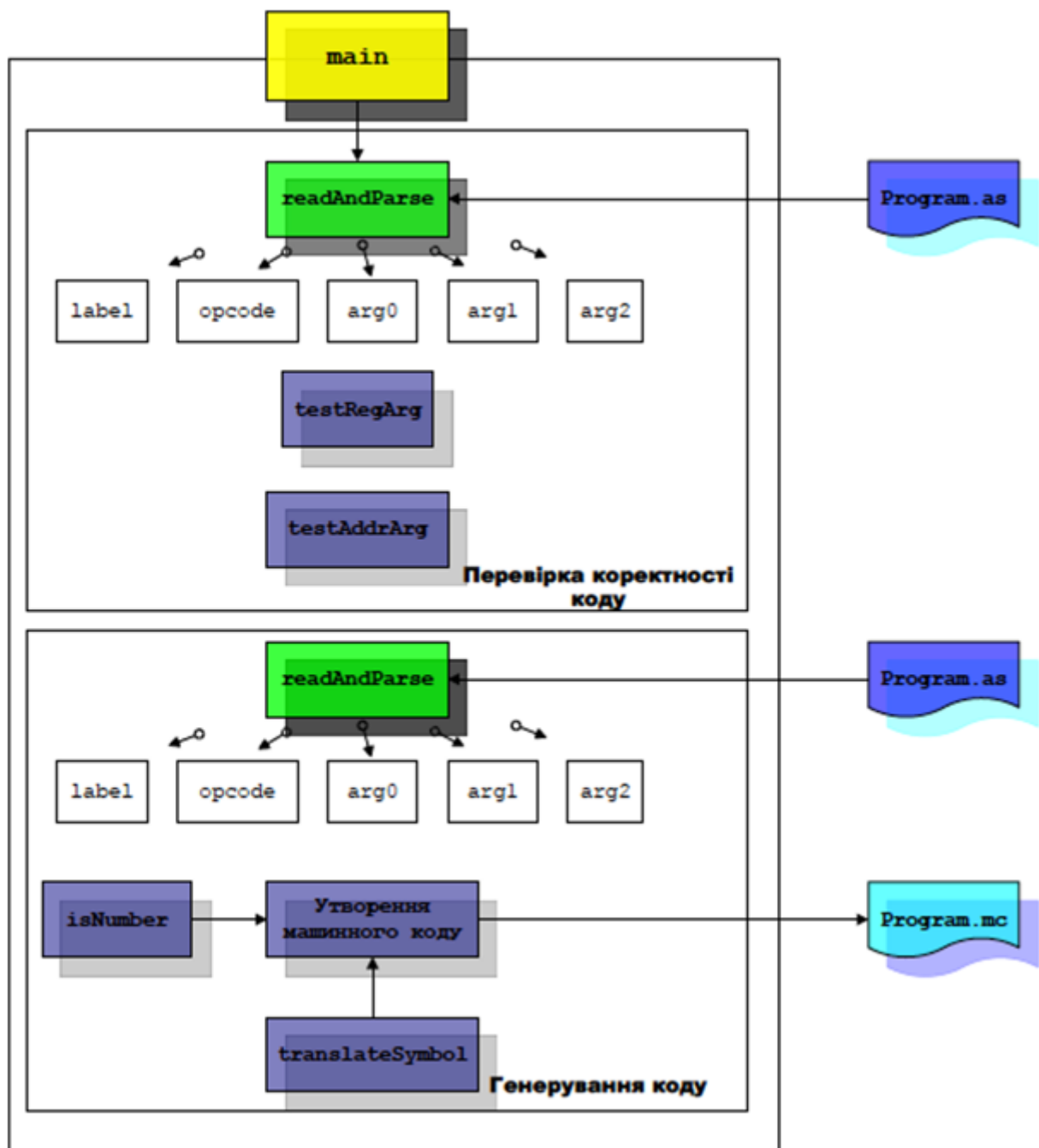
Функція **testRegArg** перевіряє коректність використання назви регістра.

Функція **testAddrArg** перевіряє коректність використання адреси.

Функція **labelArray** перетворює відповідну мітку у адресу.

Файли: **Program.as** – вхідний, **Program.mc** – вихідний.

Рис. 1. Схема роботи асемблера

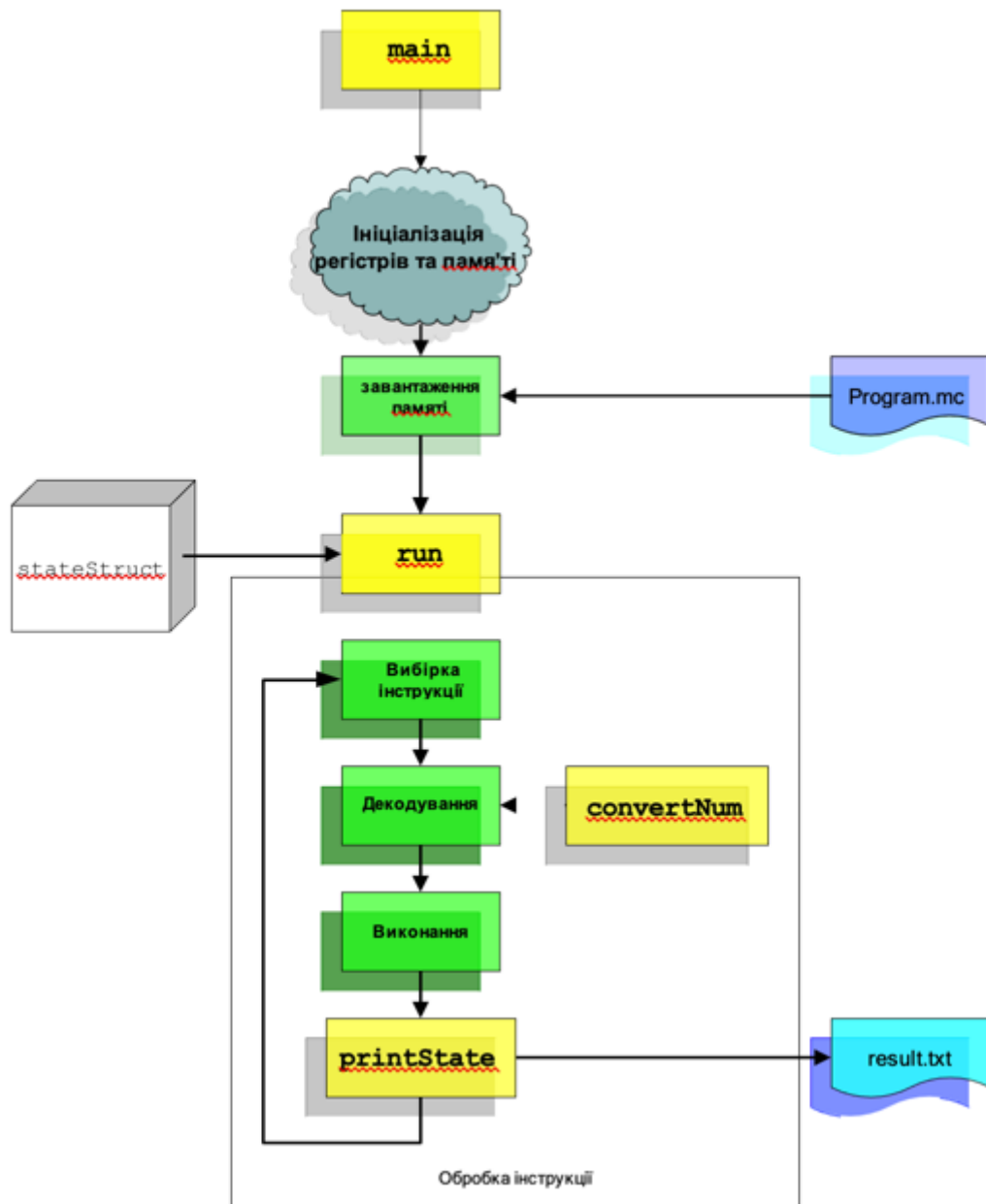


Симулятор починає свою роботу з ініціалізації пам'яті та регістрів значенням 0 (рис. 2). Далі відбувається завантаження програми у машинних кодах в пам'ять, покрокове виконання інструкцій та вивід стану на зовнішній пристрій (екран або файл).

У `stateStruct` зберігається стан машини — значення регістрів, пам'яті та програмного лічильника.

- `run` — обробляє інструкції з пам'яті
- `printState` — виводить поточний стан машини
- `convertNum` — виконує перетворення числа у доповняльний код

Рис. 2. Функціональна схема симулятора



Приклад асемблерної програми: Обчислення `Fibonacci(10)`

Файл: `input.as`

```
-----
# Fibonacci(10) -----
---
lw    0 1 ten      # R1 ← 10      ← лічильник N
lw    0 2 zero     # R2 ← 0       ← F(n-1) (a)
lw    0 3 one      # R3 ← 1       ← F(n)   (b)
```

```

        lw    0 4 neg1      # R4 ← -1      ← для декременту

loop    beq    1 0 done      # якщо N == 0 → результат уже в R2
        add    2 3 5         # R5 = R2 + R3    (F(n+1))
        add    3 0 2         # R2 = R3          (зсув a ← b)
        add    5 0 3         # R3 = R5          (зсув b ← c)
        add    1 4 1         # N = N - 1
        beq    0 0 loop      # безумовний перехід

done    sw     0 2 result    # зберегти F(10)=55 у пам'ять
        halt                # завершити симуляцію

# --- дані -----
--
ten     .fill 10
zero    .fill 0
one     .fill 1
neg1    .fill -1
result  .fill 0              # тут з'явиться 55

```

Ця програма реалізує ітеративне обчислення 10-го числа Фібоначчі. Результат буде збережено у пам'яті за міткою **result**.

 Завантажити: [input.as](#)

Запуск асемблювання

```
python3 assemble.py # input.as → output.mc
```

Згенерований машинний код (**output.mc**)

```

8454156      # lw 0 1 ten      → завантажити 10 у R1
8519693      # lw 0 2 zero     → завантажити 0 у R2
8585230      # lw 0 3 one      → завантажити 1 у R3
8650767      # lw 0 4 neg1     → завантажити -1 у R4
17301509     # beq 1 0 done    → якщо R1 == 0 → перехід до done
1245189      # add 2 3 5       → R5 = R2 + R3
1572866      # add 3 0 2       → R2 = R3
2621443      # add 5 0 3       → R3 = R5
786433       # add 1 4 1       → R1 = R1 - 1
16842746     # beq 0 0 loop    → безумовний перехід до loop
12714000     # sw 0 2 result    → зберегти R2 у result
25165824     # halt           → завершити виконання

# --- Дані ---
10          # ten      .fill 10
0           # zero     .fill 0
1           # one      .fill 1

```

```
-1          # neg1    .fill -1
0           # result  .fill 0 (тут з'явиться результат - 55)
```

Запуск симулятора

```
python3 simulate.py # output.mc -> result.txt
```

Згенерований результат (**result.txt**)

```
- pc:11          # Лічильник команд зупинився на інструкції halt (адреса 11)
- r0:0           # Регістр 0 - завжди 0
- r1:0           # R1 - лічильник ітерацій, зменшений до 0
- r2:55          # R2 - результат F(10)
- r3:89          # R3 - F(11), обчислений на останньому кроці
- r4:4294967295 # R4 - значення -1 у 32-бітовому доповняльному коді
- r5:89          # R5 - тимчасове збереження F(n+1)
- r6:0           # Не використовувався
- r7:0           # Не використовувався

- machine halted          # Машина завершила виконання
- instructions executed: 66 # Виконано 66 інструкцій (10 обертів + ініціалізація + завершення)

- --- memory state ---          # Стан пам'яті:
- mem[0] = 8454156             # lw 0 1 ten      → завантаження 10 у R1
- mem[1] = 8519693             # lw 0 2 zero    → завантаження 0 у R2
- mem[2] = 8585230             # lw 0 3 one     → завантаження 1 у R3
- mem[3] = 8650767             # lw 0 4 neg1    → завантаження -1 у R4
- mem[4] = 17301509            # beq 1 0 done   → перевірка завершення
- mem[5] = 1245189             # add 2 3 5      → F(n+1)
- mem[6] = 1572866             # add 3 0 2      → зсув R3 → R2
- mem[7] = 2621443             # add 5 0 3      → зсув R5 → R3
- mem[8] = 786433              # add 1 4 1      → декремент лічильника
- mem[9] = 16842746            # beq 0 0 loop   → безумовний перехід
- mem[10] = 12714000           # sw 0 2 result  → запис результату
- mem[11] = 25165824           # halt           → завершення програми

- mem[12] = 10                 # .fill 10 (мітка ten)
- mem[14] = 1                   # .fill 1 (мітка one)
- mem[15] = 4294967295         # .fill -1 (мітка neg1, у двійковому представленні)
- mem[16] = 55                 # .fill result (тут збережено F(10) = 55)
```



Завдання 1: Створення та запуск програми

1. Створіть файл з розширенням **.as** у будь-якому текстовому редакторі.
2. Напишіть асемблерну програму відповідно до вашого індивідуального варіанту.

- Збережіть файл.
- Скомпілюйте програму за допомогою скрипта `assemble.py`:

```
python3 assemble.py input.as output.mc
```

- Запустіть симулятор `simulate.py` з отриманим машинним кодом:

```
python3 simulate.py output.mc
```

- Проаналізуйте файл `result.txt`:
 - перевірте правильність логіки,
 - відстежте зміни у регістрах, пам'яті та програмному лічильнику.
- Підготуйте звіт.

Завдання 2: Модифікація інструкцій

- Ознайомтесь з кодом `assemble.py` та `simulate.py`.
- Вивчіть реалізацію існуючих інструкцій.
- Замініть або додайте інструкцію згідно з індивідуальним варіантом (наприклад, замість `noop`).
- Перетворіть `.as` файл у машинний код:

```
python3 assemble.py modified.as modified.mc
```

- Запустіть симуляцію:

```
python3 simulate.py modified.mc
```

- Перевірте коректність виконання та змін.
- Підготуйте звіт.

Структура звіту

- Титульна сторінка** (номер роботи, ПІБ, назва дисципліни).
- Мета роботи.**
- Фрагменти зміненого коду** (інструкції, функції).
- Лістинг тестової програми.**
- Результати виконання:**
 - початковий і фінальний стан регістрів та пам'яті,
 - проміжні стани (тільки зі змінами),
 - загальна статистика (кількість інструкцій, `pc`, тощо).
- Висновки** — аналіз роботи, труднощі, чи досягнуто мети.