

ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA  
KHOA KHOA HỌC & KỸ THUẬT MÁY TÍNH



## KIẾN TRÚC MÁY TÍNH (CO2007)

---

### Assignment 1 Kiến trúc tập lệnh MIPS

---

GVHD: thầy Trần Thanh Bình  
thầy Võ Tấn Phương  
Lớp: L09  
SV thực hiện: Trần An Hạ – 1911110  
Cao Thị Thanh Mai – 1911565  
Nguyễn Thị Thanh Mai – 1911569

Tp. Hồ Chí Minh, tháng 12/2020

## Mục lục

<b>1</b>	<b>Đề bài và yêu cầu</b>	<b>2</b>
1.1	Yêu cầu . . . . .	2
1.2	Đề bài . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Cơ sở lý thuyết</b>	<b>3</b>
2.1	Khái niệm . . . . .	3
2.2	Cách thực hiện . . . . .	3
2.3	Mô phỏng giải thuật . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Code và mô tả phần code</b>	<b>4</b>
3.1	Chương trình mô phỏng trên C++ . . . . .	4
3.2	Code hợp ngữ MIPS . . . . .	5
3.3	Kết quả chạy trên MARS . . . . .	12
3.4	Các testcase tương tự . . . . .	13
<b>4</b>	<b>Thống kê số lệnh, loại lệnh được thực thi của chương trình</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>Thời gian chạy của chương trình</b>	<b>24</b>
5.1	Công thức tính . . . . .	24
5.2	Cụ thể hóa . . . . .	24
<b>6</b>	<b>Tổng kết</b>	<b>24</b>
<b>7</b>	<b>Phản nhận xét của giảng viên</b>	<b>24</b>

# 1 Đề bài và yêu cầu

## 1.1 Yêu cầu

- Mỗi nhóm sinh viên làm một đề.
- Sử dụng tập lệnh MIPS để thực hiện các thủ tục bên dưới.
- Thống kê số lệnh, loại lệnh của chương trình của nhóm.
- Tính và trình bày cách tính thời gian chạy của chương trình trên máy tính MIPS có tần số 2GHz.
- Code:
  - Code style phải rõ ràng, có comment, phân hoạch công việc theo từng hàm.
  - Truyền nhận và trả kết quả gọi hàm theo quy ước sử dụng thanh ghi (\$a0 \$a3 cho argument, \$v0 v1 cho kết quả trả về).
  - Xuất kết quả để kiểm tra (sử dụng các hàm hệ thống).

## 1.2 Đề bài

### Đề 6

- Sắp xếp chuỗi.
- Cho một chuỗi số nguyên 20 phần tử. Sử dụng hợp ngữ assembly MIPS, viết thủ tục sắp xếp chuỗi đó theo tứ tự tăng dần theo giải thuật merge sort. Yêu cầu xuất ra từng bước trong quá trình demo.

## 2 Cơ sở lý thuyết

### 2.1 Khái niệm

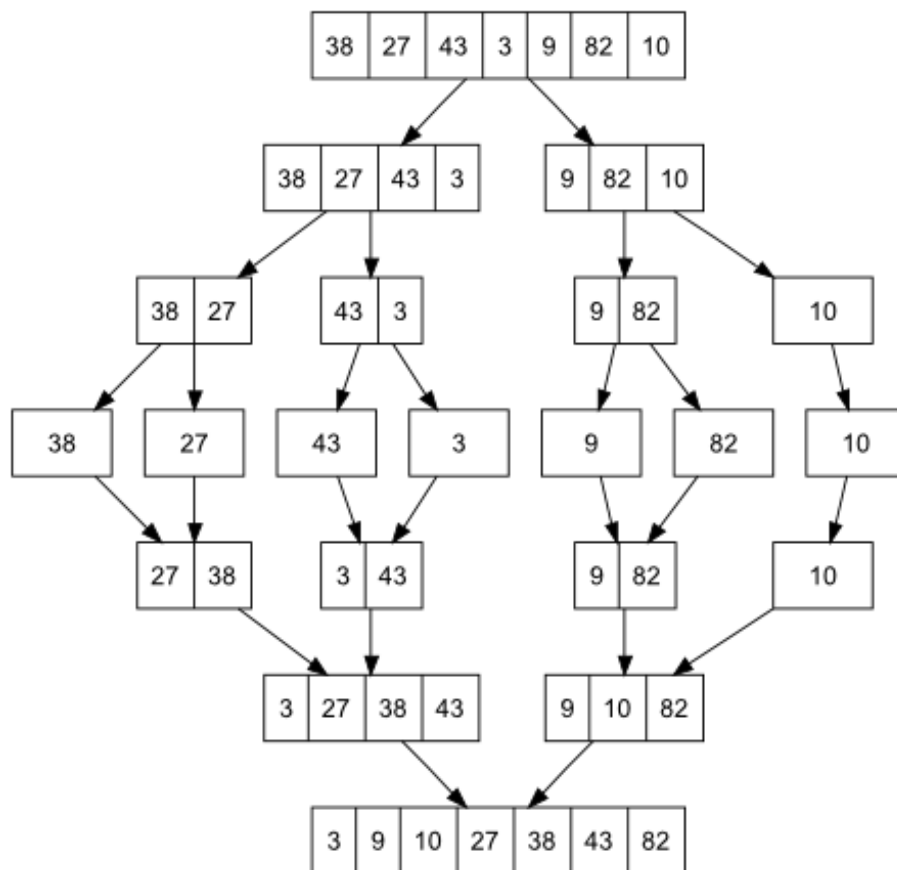
Trong khoa học máy tính, sắp xếp trộn (merge sort) là một thuật toán sắp xếp để sắp xếp các danh sách (hoặc bất kỳ cấu trúc dữ liệu nào có thể truy cập tuần tự, v.d. luồng tập tin) theo một trật tự nào đó. Nó được xếp vào thể loại sắp xếp so sánh. Thuật toán này là một ví dụ tương đối điển hình của lối thuật toán chia để trị do John von Neumann đưa ra lần đầu năm 1945. Một thuật toán chi tiết được Goldstine và Neumann đưa ra năm 1948.

### 2.2 Cách thực hiện

Giả sử có hai danh sách đã được sắp xếp  $a[1...m]$  và  $b[1...n]$ . Ta có thể trộn chúng lại thành một danh sách mới  $c[1...m+n]$  được sắp xếp theo cách sau:

- So sánh hai phần tử đứng đầu của hai danh sách, lấy phần tử nhỏ hơn cho vào danh sách mới. Tiếp tục như vậy cho tới khi một trong hai danh sách là rỗng.
- Khi một trong hai danh sách là rỗng ta lấy phần còn lại của danh sách kia cho vào cuối danh sách mới.

### 2.3 Mô phỏng giải thuật



Hình: Mô phỏng giải thuật Merge Sort

### 3 Code và mô tả phần code

#### 3.1 Chương trình mô phỏng trên C++

```
void merge(int* arr, int low, int mid, int high) {
    int N1 = mid - low + 1, N2 = high - mid, i, j, k;
    int *arr1 = new int[N1], *arr2 = new int[N2];

    for (i = 0; i < N1; ++i)
        arr1[i] = arr[low + i];
    for (i = 0; i < N2; ++i)
        arr2[i] = arr[mid + 1 + i];

    i = j = 0;
    k = low;

    while (i < N1 && j < N2)
        if (arr1[i] <= arr2[j])
            arr[k++] = arr1[i++];
        else
            arr[k++] = arr2[j++];

    while (i < N1)
        arr[k++] = arr1[i++];
    while (j < N2)
        arr[k++] = arr2[j++];

    delete [] arr1;
    delete [] arr2;
}

void MergeSort(int* arr, int low, int high) {
    if (high > low) {
        int mid = (low + high) / 2;
        MergeSort(arr, low, mid);
        MergeSort(arr, mid + 1, high);
        merge(arr, low, mid, high);
    }
}
```

### 3.2 Code hợp ngữ MIPS

Một chương trình MIPS bao gồm 2 phần:

- .data: Khai báo các biến cần dùng sau chỉ thị này.
- .text: Viết các lệnh sau chỉ thị này.

a) Khai báo biến

- Khai báo chuỗi số nguyên gồm 20 phần tử
- Khai báo ký tự để phân cách các phần tử trong chuỗi khi in
- Khai báo ký tự đánh dấu vị trí đầu tiên của mảng được merged
- Khai báo ký tự đánh dấu vị trí cuối cùng của mảng được merged
- Khai báo 2 chuỗi có thể chứa 50 số nguyên còn trống

```
.data
    #Allocate 20 elements to test easily.
    arr:    .word -96, 17, 47, 76, -40, 51, -20, -65, 84, -13,
            -62, 62, -71, -76, 53, -99, 82, -39, 24, 6
    sepa:    .asciiz ", "
    marklow: .asciiz "Merge from index "
    markhigh: .asciiz " to index "
    #Allocate 50 integer for temp array, modify if you want more.
    #Note that each temp array has at least (N + 1)/2 elements, where N is size of original array.
    .align 2
    arr1:    .space 200
    arr2:    .space 200
```

b) Trình tự thực hiện các lệnh và gọi hàm trong chương trình

- Lưu địa chỉ của chuỗi, giá trị index của phần tử đầu tiên và cuối cùng của chuỗi để bắt đầu hiện thực chương trình sắp xếp chuỗi.
- Lưu index của phần tử đầu tiên và cuối cùng của chuỗi để tiến hành in từng bước trong quá trình demo.
- Gọi hàm printArray để in ra chuỗi trước khi thực hiện quá trình sắp xếp lại chuỗi.
- Gọi hàm mergeSort để tiến hành sắp xếp lại chuỗi.
- Kết thúc chương trình.

```
.text
main:
    la        $a0, arr
    # 20 elements in the array has low index: 0, high index: 19
    add       $a1, $0, $0
    addi      $a2, $0, 19

    # store low, high index to print each step in recursive function
    add       $s1, $0, $a1
    add       $s2, $0, $a2

    jal       printArray
    jal       mergeSort

    # terminate program
    li        $v0, 10
    syscall
```

c) Hàm printArray

- Lưu chuỗi vào stack.
- Lưu giá trị index phần tử đầu tiên của chuỗi vào thanh ghi \$t7.
- Thanh ghi \$t6 chứa địa chỉ phần tử hiện tại.

```
printArray:
    # $a0 -> array's address
    # $a1 -> low index
    # $a2 -> high index
    # store $a0
    sw      $a0, -4($sp)

    # $t7 = low
    add     $t7, $a1, $0
    # $t6 = address of current element
    sll     $t6, $a1, 2
    add     $t6, $t6, $a0
```

- Vòng lặp qua các phần tử của chuỗi và tiến hành in.

```
printLoop:
    # bgt $t7, $a2, exitPrint
    slt     $at, $a2, $t7
    bne     $at, $0, exitPrint

    lw      $a0, 0($t6)
    addi    $v0, $0, 1
    syscall

    beq     $t7, $a2, loopUpdate
printSeparate: # ", "
    la      $a0, sepa
    addi    $v0, $0, 4
    syscall

loopUpdate: # address += 4, low++
    addi    $t6, $t6, 4
    addi    $t7, $t7, 1

    j       printLoop
```

---

- Xuống hàng sau khi in xong.
- Restore chuỗi từ stack và return.

```
exitPrint:
    # print('\n')
    add    $a0, $0, '\n'
    addi   $v0, $0, 11
    syscall

    # restore $a0 and return
    lw     $a0, -4($sp)
    jr     $ra
```

#### d) Hàm mergeSort

- Lưu giá trị index phần tử giữa (mid) của chuỗi vào thanh ghi \$t7.
- Lưu chuỗi và các index phần tử đầu tiên, phần tử cuối cùng và phần tử giữa vào stack.

```
mergeSort:
    # MergeSort Algorithm
    # $a0 -> array's address
    # $a1 -> low index
    # $a2 -> high index

    # if (high == low), array is sorted
    beq    $a2, $a1, doNothing

    # $a3 = mid = (low + high) / 2
    add    $a3, $a1, $a2
    srl    $a3, $a3, 1

    addi   $sp, $sp, -16
    sw     $a1, 0($sp)
    sw     $a2, 4($sp)
    sw     $a3, 8($sp)
    sw     $ra, 12($sp)
```

- Thay đổi đối số để \$a2 lưu trữ index phần tử giữa
- Gọi hàm mergeSort cho nửa chuỗi đầu tiên.
- Restore chuỗi từ stack.

```
# change argument so that ($a1, $a2) = (low, mid)
add    $a2, $a3, $s0
# call mergeSort(arr, low, mid)
jal    mergeSort
lw     $a1, 0($sp)
lw     $a2, 4($sp)
lw     $a3, 8($sp)
lw     $ra, 12($sp)
```



- Thay đổi đối số để \$a1 lưu trữ index phần tử giữa + 1.
- Gọi hàm mergeSort cho nửa chuỗi sau.
- Restore chuỗi từ stack.

```
# change argument so that ($a1, $a2) = (mid + 1, high)
addi    $a1, $a3, 1
# call mergeSort(arr, mid + 1, high)
jal     mergeSort
lw      $a1, 0($sp)
lw      $a2, 4($sp)
lw      $a3, 8($sp)
lw      $ra, 12($sp)
```

- Gọi hàm merge để gộp hai nửa chuỗi.
- Restore chuỗi từ stack và return.

```
# call merge(arr, low, mid, high)
jal     merge
lw      $a1, 0($sp)
lw      $a2, 4($sp)
lw      $a3, 8($sp)
lw      $ra, 12($sp)
addi    $sp, $sp, 16
doNothing:
jr      $ra
```

e) Hàm merge: Dùng để nối 2 chuỗi arr[low..mid], arr[mid + 1..high] thành 1 chuỗi

- Xuất vị trí đầu và cuối của chuỗi, đánh dấu mảng con được sắp xếp.

```
#Merge 2 array, arr[low..mid], arr[mid + 1..high] into 1 array
#$a0 -> array's address, $a1 -> low, $a2 -> high, $a3 -> mid

# Mark merged subarray
sw      $a0, 0($sp)
la      $a0, marklow
li      $v0, 4
syscall
move    $a0, $a1
li      $v0, 1
syscall
la      $a0, markhigh
li      $v0, 4
syscall
move    $a0, $a2
li      $v0, 1
syscall

add     $a0, $0, '\n'
addi    $v0, $0, 11
syscall

lw      $a0, 0($sp)
```

- Lưu trữ kích thước chuỗi đầu vào \$t0, kích thước chuỗi thứ hai vào \$t1.
- Lưu địa chỉ chuỗi arr1 vào \$t2, chuỗi arr2 vào \$t3.

```
# $t0 = N1 = mid - low + 1
sub    $t0, $a3, $a1
addi   $t0, $t0, 1
# $t1 = N2 = high - mid
sub    $t1, $a2, $a3
# $t2 = arr1's address, $t3 = arr2's address
la     $t2, arr1
la     $t3, arr2
```

- Thực hiện copy chuỗi arr[low..mid] vào arr1.

```
# Copy array to temp array
sll    $t4, $a1, 2
add    $t4, $a0, $t4 # address of arr[low]
sll    $t5, $a3, 2
add    $t5, $a0, $t5 # address of arr[mid]
copy1:
    # bgt    $t4, $t5, finish1
    slt     $at, $t5, $t4
    bne     $at, $0, finish1

    lw      $t6, 0($t4)
    sw      $t6, 0($t2)

    addi    $t4, $t4, 4
    addi    $t2, $t2, 4
    j       copy1
finish1:
    addi    $t4, $a3, 1
    sll     $t4, $t4, 2
```

- Thực hiện copy chuỗi arr[mid+1..high] vào arr2.

```
add    $t4, $a0, $t4 # address of arr[mid + 1]
sll    $t5, $a2, 2
add    $t5, $a0, $t5 # address of arr[high]
copy2:
    # bgt    $t4, $t5, finish2
    slt     $at, $t5, $t4
    bne     $at, $0, finish2

    lw      $t6, 0($t4)
    sw      $t6, 0($t3)

    addi    $t4, $t4, 4
    addi    $t3, $t3, 4
    j       copy2

finish2:
# $t2 = arr1's address, $t3 = arr2's address, $t0 = N1, $t1 = N2
la     $t2, arr1
la     $t3, arr2
```

- Lưu chuỗi vào stack.
- Dùng \$t6 duyệt qua các phần tử mảng arr1, \$t7 duyệt qua các phần tử mảng arr2.
- So sánh \$t6 và \$t7, phần tử nào có giá trị nhỏ hơn sẽ được thêm vào mảng arr
- Vòng lặp này kết thúc khi duyệt xong một trong hai mảng con.

```
# Merge Ascending
# store $a0
sw      $a0, -4($sp)
# init $t4 = i = $t5 = j = 0; $a0 = arr[low]
add     $t4, $0, $0
add     $t5, $0, $0
sll     $t6, $a1, 2
add     $a0, $a0, $t6

# while (i < N1 && j < N2)
while1:
    beq     $t4, $t0, finishWhile1
    beq     $t5, $t1, finishWhile1
    lw      $t6, 0($t2)      # $t6 = arr1[i]
    lw      $t7, 0($t3)      # $t7 = arr2[j]
    # bgt   $t6, $t7, assignFromArr2 (if arr1[i] > arr2[j])
    slt     $at, $t7, $t6
    bne     $at, $0, assignFromArr2

    sw      $t6, 0($a0)      # arr[next] = arr1[i]
    addi    $t2, $t2, 4
    addi    $t4, $t4, 1      # i++
    j       update
    assignFromArr2:
    sw      $t7, 0($a0)      # arr[next] = arr2[j]
    addi    $t3, $t3, 4
    addi    $t5, $t5, 1      # j++
    update:
    addi    $a0, $a0, 4      # next++

    j       while1
finishWhile1:
```

- Duyệt tiếp mảng còn lại (chưa duyệt xong) vào mảng arr.

```
# while (i < N1), add
while2:
    beq    $t4, $t0, finishWhile2
    lw     $t6, 0($t2)
    sw     $t6, 0($a0)
    addi   $t2, $t2, 4
    addi   $t4, $t4, 1
    addi   $a0, $a0, 4
    j      while2
finishWhile2:
# while (j < N2)
while3:
    beq    $t5, $t1, finishWhile3
    lw     $t6, 0($t3)
    sw     $t6, 0($a0)
    addi   $t3, $t3, 4
    addi   $t5, $t5, 1
    addi   $a0, $a0, 4
    j      while3
finishWhile3:
```

- Lưu chuỗi vào stack và gọi hàm printArray để in mảng qua từng bước merge.
- Restore chuỗi từ stack và return.

```
# restore $a0 and return
lw     $a0, -4($sp)

# Below block is used for print array after each step, this can be removed.
addi   $sp, $sp, -12
sw     $ra, 0($sp)
sw     $a1, 4($sp)
sw     $a2, 8($sp)

add     $a1, $0, $s1
add     $a2, $0, $s2
jal     printArray

lw     $ra, 0($sp)
lw     $a1, 4($sp)
lw     $a2, 8($sp)
addi   $sp, $sp, 12

jr     $ra
```

### 3.3 Kết quả chạy trên MARS

a) Với test case là chuỗi số sau:

-96, 17, 47, 76, -40, 51, -20, -65, 84, -13, -62, 62, -71, -76, 53, -99, 82, -39, 24, 6

b) Kết quả xuất ra từng bước:

```
-96, 17, 47, 76, -40, 51, -20, -65, 84, -13, -62, 62, -71, -76, 53, -99, 82, -39, 24, 6
Merge from index 0 to index 1
-96, 17, 47, 76, -40, 51, -20, -65, 84, -13, -62, 62, -71, -76, 53, -99, 82, -39, 24, 6
Merge from index 0 to index 2
-96, 17, 47, 76, -40, 51, -20, -65, 84, -13, -62, 62, -71, -76, 53, -99, 82, -39, 24, 6
Merge from index 3 to index 4
-96, 17, 47, -40, 76, 51, -20, -65, 84, -13, -62, 62, -71, -76, 53, -99, 82, -39, 24, 6
Merge from index 0 to index 4
-96, -40, 17, 47, 76, 51, -20, -65, 84, -13, -62, 62, -71, -76, 53, -99, 82, -39, 24, 6
Merge from index 5 to index 6
-96, -40, 17, 47, 76, -20, 51, -65, 84, -13, -62, 62, -71, -76, 53, -99, 82, -39, 24, 6
Merge from index 5 to index 7
-96, -40, 17, 47, 76, -65, -20, 51, 84, -13, -62, 62, -71, -76, 53, -99, 82, -39, 24, 6
Merge from index 8 to index 9
-96, -40, 17, 47, 76, -65, -20, 51, -13, 84, -62, 62, -71, -76, 53, -99, 82, -39, 24, 6
Merge from index 5 to index 9
-96, -40, 17, 47, 76, -65, -20, -13, 51, 84, -62, 62, -71, -76, 53, -99, 82, -39, 24, 6
Merge from index 0 to index 9
-96, -65, -40, -20, -13, 17, 47, 51, 76, 84, -62, 62, -71, -76, 53, -99, 82, -39, 24, 6
Merge from index 10 to index 11
-96, -65, -40, -20, -13, 17, 47, 51, 76, 84, -62, 62, -71, -76, 53, -99, 82, -39, 24, 6
Merge from index 10 to index 12
-96, -65, -40, -20, -13, 17, 47, 51, 76, 84, -71, -62, 62, -76, 53, -99, 82, -39, 24, 6
Merge from index 13 to index 14
-96, -65, -40, -20, -13, 17, 47, 51, 76, 84, -71, -62, 62, -76, 53, -99, 82, -39, 24, 6
Merge from index 10 to index 14
-96, -65, -40, -20, -13, 17, 47, 51, 76, 84, -76, -71, -62, 53, 62, -99, 82, -39, 24, 6
Merge from index 15 to index 16
-96, -65, -40, -20, -13, 17, 47, 51, 76, 84, -76, -71, -62, 53, 62, -99, 82, -39, 24, 6
Merge from index 15 to index 17
-96, -65, -40, -20, -13, 17, 47, 51, 76, 84, -76, -71, -62, 53, 62, -99, -39, 82, 24, 6
Merge from index 18 to index 19
-96, -65, -40, -20, -13, 17, 47, 51, 76, 84, -76, -71, -62, 53, 62, -99, -39, 82, 6, 24
Merge from index 15 to index 19
-96, -65, -40, -20, -13, 17, 47, 51, 76, 84, -76, -71, -62, 53, 62, -99, -39, 6, 24, 82
Merge from index 10 to index 19
-96, -65, -40, -20, -13, 17, 47, 51, 76, 84, -99, -76, -71, -62, -39, 6, 24, 53, 62, 82
Merge from index 0 to index 19
-99, -96, -76, -71, -65, -62, -40, -39, -20, -13, 6, 17, 24, 47, 51, 53, 62, 76, 82, 84
```

c) Chuỗi sau khi sắp xếp:

-99, -96, -76, -71, -65, -62, -40, -39, -20, -13, 6, 17, 24, 47, 51, 53, 62, 76, 82, 84

### 3.4 Các testcase tương tự

#### 1. Testcase 1

- Chuỗi số đầu vào:  
-661, 765, -797, -93, -560, -60, 377, 616, -500, -92, 0, 4, 13, -99, 56, 324, 1, -244, 18, 10
- Kết quả xuất ra từng bước:

```
-661, 765, -797, -93, -560, -60, 377, 616, -500, -92, 0, 4, 13, -99, 56, 324, 1, -244, 18, 10
Merge from index 0 to index 1
-661, 765, -797, -93, -560, -60, 377, 616, -500, -92, 0, 4, 13, -99, 56, 324, 1, -244, 18, 10
Merge from index 0 to index 2
-797, -661, 765, -93, -560, -60, 377, 616, -500, -92, 0, 4, 13, -99, 56, 324, 1, -244, 18, 10
Merge from index 3 to index 4
-797, -661, 765, -560, -93, -60, 377, 616, -500, -92, 0, 4, 13, -99, 56, 324, 1, -244, 18, 10
Merge from index 0 to index 4
-797, -661, -560, -93, 765, -60, 377, 616, -500, -92, 0, 4, 13, -99, 56, 324, 1, -244, 18, 10
Merge from index 5 to index 6
-797, -661, -560, -93, 765, -60, 377, 616, -500, -92, 0, 4, 13, -99, 56, 324, 1, -244, 18, 10
Merge from index 5 to index 7
-797, -661, -560, -93, 765, -60, 377, 616, -500, -92, 0, 4, 13, -99, 56, 324, 1, -244, 18, 10
Merge from index 8 to index 9
-797, -661, -560, -93, 765, -60, 377, 616, -500, -92, 0, 4, 13, -99, 56, 324, 1, -244, 18, 10
Merge from index 5 to index 9
-797, -661, -560, -93, 765, -500, -92, -60, 377, 616, 0, 4, 13, -99, 56, 324, 1, -244, 18, 10
Merge from index 0 to index 9
-797, -661, -560, -500, -93, -92, -60, 377, 616, 765, 0, 4, 13, -99, 56, 324, 1, -244, 18, 10
Merge from index 10 to index 11
-797, -661, -560, -500, -93, -92, -60, 377, 616, 765, 0, 4, 13, -99, 56, 324, 1, -244, 18, 10
Merge from index 10 to index 12
-797, -661, -560, -500, -93, -92, -60, 377, 616, 765, 0, 4, 13, -99, 56, 324, 1, -244, 18, 10
Merge from index 13 to index 14
-797, -661, -560, -500, -93, -92, -60, 377, 616, 765, 0, 4, 13, -99, 56, 324, 1, -244, 18, 10
Merge from index 10 to index 14
-797, -661, -560, -500, -93, -92, -60, 377, 616, 765, -99, 0, 4, 13, 56, 324, 1, -244, 18, 10
Merge from index 15 to index 16
-797, -661, -560, -500, -93, -92, -60, 377, 616, 765, -99, 0, 4, 13, 56, 1, 324, -244, 18, 10
Merge from index 15 to index 17
-797, -661, -560, -500, -93, -92, -60, 377, 616, 765, -99, 0, 4, 13, 56, -244, 1, 324, 18, 10
Merge from index 18 to index 19
-797, -661, -560, -500, -93, -92, -60, 377, 616, 765, -99, 0, 4, 13, 56, -244, 1, 324, 10, 18
Merge from index 15 to index 19
-797, -661, -560, -500, -93, -92, -60, 377, 616, 765, -99, 0, 4, 13, 56, -244, 1, 10, 18, 324
Merge from index 10 to index 19
-797, -661, -560, -500, -93, -92, -60, 377, 616, 765, -244, -99, 0, 1, 4, 10, 13, 18, 56, 324
Merge from index 0 to index 19
-797, -661, -560, -500, -244, -99, -93, -92, -60, 0, 1, 4, 10, 13, 18, 56, 324, 377, 616, 765
```
- Chuỗi sau khi sắp xếp:  
-797, -661, -560, -500, -244, -99, -93, -92, -60, 0, 1, 4, 10, 13, 18, 56, 324, 377, 616, 765

## 2. Testcase 2

- Chuỗi số đầu vào:  
10, -124, 96, -44, 17, 82, 355, 96, 15, 73, 0, 29, -24, 16, 16, -56, -15, 72, 28, -88
- Kết quả xuất ra từng bước:

```
10, -124, 96, -44, 17, 82, 355, 96, 15, 73, 0, 29, -24, 16, 16, -56, -15, 72, 28, -88
Merge from index 0 to index 1
-124, 10, 96, -44, 17, 82, 355, 96, 15, 73, 0, 29, -24, 16, 16, -56, -15, 72, 28, -88
Merge from index 0 to index 2
-124, 10, 96, -44, 17, 82, 355, 96, 15, 73, 0, 29, -24, 16, 16, -56, -15, 72, 28, -88
Merge from index 3 to index 4
-124, 10, 96, -44, 17, 82, 355, 96, 15, 73, 0, 29, -24, 16, 16, -56, -15, 72, 28, -88
Merge from index 0 to index 4
-124, -44, 10, 17, 96, 82, 355, 96, 15, 73, 0, 29, -24, 16, 16, -56, -15, 72, 28, -88
Merge from index 5 to index 6
-124, -44, 10, 17, 96, 82, 355, 96, 15, 73, 0, 29, -24, 16, 16, -56, -15, 72, 28, -88
Merge from index 5 to index 7
-124, -44, 10, 17, 96, 82, 96, 355, 15, 73, 0, 29, -24, 16, 16, -56, -15, 72, 28, -88
Merge from index 8 to index 9
-124, -44, 10, 17, 96, 82, 96, 355, 15, 73, 0, 29, -24, 16, 16, -56, -15, 72, 28, -88
Merge from index 5 to index 9
-124, -44, 10, 17, 96, 15, 73, 82, 96, 355, 0, 29, -24, 16, 16, -56, -15, 72, 28, -88
Merge from index 0 to index 9
-124, -44, 10, 15, 17, 73, 82, 96, 96, 355, 0, 29, -24, 16, 16, -56, -15, 72, 28, -88
Merge from index 10 to index 11
-124, -44, 10, 15, 17, 73, 82, 96, 96, 355, 0, 29, -24, 16, 16, -56, -15, 72, 28, -88
Merge from index 10 to index 12
-124, -44, 10, 15, 17, 73, 82, 96, 96, 355, -24, 0, 29, 16, 16, -56, -15, 72, 28, -88
Merge from index 13 to index 14
-124, -44, 10, 15, 17, 73, 82, 96, 96, 355, -24, 0, 29, 16, 16, -56, -15, 72, 28, -88
Merge from index 10 to index 14
-124, -44, 10, 15, 17, 73, 82, 96, 96, 355, -24, 0, 16, 16, 29, -56, -15, 72, 28, -88
Merge from index 15 to index 16
-124, -44, 10, 15, 17, 73, 82, 96, 96, 355, -24, 0, 16, 16, 29, -56, -15, 72, 28, -88
Merge from index 15 to index 17
-124, -44, 10, 15, 17, 73, 82, 96, 96, 355, -24, 0, 16, 16, 29, -56, -15, 72, 28, -88
Merge from index 18 to index 19
-124, -44, 10, 15, 17, 73, 82, 96, 96, 355, -24, 0, 16, 16, 29, -56, -15, 72, -88, 28
Merge from index 15 to index 19
-124, -44, 10, 15, 17, 73, 82, 96, 96, 355, -24, 0, 16, 16, 29, -88, -56, -15, 28, 72
Merge from index 10 to index 19
-124, -44, 10, 15, 17, 73, 82, 96, 96, 355, -88, -56, -24, -15, 0, 16, 16, 28, 29, 72
Merge from index 0 to index 19
-124, -88, -56, -44, -24, -15, 0, 10, 15, 16, 16, 17, 28, 29, 72, 73, 82, 96, 96, 355
```
- Chuỗi sau khi sắp xếp:  
-124, -88, -56, -44, -24, -15, 0, 10, 15, 16, 16, 17, 28, 29, 72, 73, 82, 96, 96, 355

### 3. Testcase 3

- Chuỗi số đầu vào:  
38, -65, 128, -45, 117, 63, -98, 138, -89, -125, -31, 87, -84, -2, 81, -34, 56, 18, -131, 50
- Kết quả xuất ra từng bước:

```
38, -65, 128, -45, 117, 63, -98, 138, -89, -125, -31, 87, -84, -2, 81, -34, 56, 18, -131, 50
Merge from index 0 to index 1
-65, 38, 128, -45, 117, 63, -98, 138, -89, -125, -31, 87, -84, -2, 81, -34, 56, 18, -131, 50
Merge from index 0 to index 2
-65, 38, 128, -45, 117, 63, -98, 138, -89, -125, -31, 87, -84, -2, 81, -34, 56, 18, -131, 50
Merge from index 3 to index 4
-65, 38, 128, -45, 117, 63, -98, 138, -89, -125, -31, 87, -84, -2, 81, -34, 56, 18, -131, 50
Merge from index 0 to index 4
-65, -45, 38, 117, 128, 63, -98, 138, -89, -125, -31, 87, -84, -2, 81, -34, 56, 18, -131, 50
Merge from index 5 to index 6
-65, -45, 38, 117, 128, -98, 63, 138, -89, -125, -31, 87, -84, -2, 81, -34, 56, 18, -131, 50
Merge from index 5 to index 7
-65, -45, 38, 117, 128, -98, 63, 138, -89, -125, -31, 87, -84, -2, 81, -34, 56, 18, -131, 50
Merge from index 8 to index 9
-65, -45, 38, 117, 128, -98, 63, 138, -125, -89, -31, 87, -84, -2, 81, -34, 56, 18, -131, 50
Merge from index 5 to index 9
-65, -45, 38, 117, 128, -125, -98, -89, 63, 138, -31, 87, -84, -2, 81, -34, 56, 18, -131, 50
Merge from index 0 to index 9
-125, -98, -89, -65, -45, 38, 63, 117, 128, 138, -31, 87, -84, -2, 81, -34, 56, 18, -131, 50
Merge from index 10 to index 11
-125, -98, -89, -65, -45, 38, 63, 117, 128, 138, -31, 87, -84, -2, 81, -34, 56, 18, -131, 50
Merge from index 10 to index 12
-125, -98, -89, -65, -45, 38, 63, 117, 128, 138, -84, -31, 87, -2, 81, -34, 56, 18, -131, 50
Merge from index 13 to index 14
-125, -98, -89, -65, -45, 38, 63, 117, 128, 138, -84, -31, 87, -2, 81, -34, 56, 18, -131, 50
Merge from index 10 to index 14
-125, -98, -89, -65, -45, 38, 63, 117, 128, 138, -84, -31, -2, 81, 87, -34, 56, 18, -131, 50
Merge from index 15 to index 16
-125, -98, -89, -65, -45, 38, 63, 117, 128, 138, -84, -31, -2, 81, 87, -34, 56, 18, -131, 50
Merge from index 15 to index 17
-125, -98, -89, -65, -45, 38, 63, 117, 128, 138, -84, -31, -2, 81, 87, -34, 18, 56, -131, 50
Merge from index 18 to index 19
-125, -98, -89, -65, -45, 38, 63, 117, 128, 138, -84, -31, -2, 81, 87, -34, 18, 56, -131, 50
Merge from index 15 to index 19
-125, -98, -89, -65, -45, 38, 63, 117, 128, 138, -84, -31, -2, 81, 87, -131, -34, 18, 50, 56
Merge from index 10 to index 19
-125, -98, -89, -65, -45, 38, 63, 117, 128, 138, -131, -84, -34, -31, -2, 18, 50, 56, 81, 87
Merge from index 0 to index 19
-131, -125, -98, -89, -84, -65, -45, -34, -31, -2, 18, 38, 50, 56, 63, 81, 87, 117, 128, 138
```
- Chuỗi sau khi sắp xếp:  
-131, -125, -98, -89, -84, -65, -45, -34, -31, -2, 18, 38, 50, 56, 63, 81, 87, 117, 128, 138



#### 4. Testcase 4

- Chuỗi số đầu vào:  
-134, -147, -125, -95, 93, 96, -129, 95, -103, 18, 1, -103, 114, -116, -118, -111, 90, -101, -33, -3
- Kết quả xuất ra từng bước:  
-134, -147, -125, -95, 93, 96, -129, 95, -103, 18, 1, -103, 114, -116, -118, -111, 90, -101, -33, -3  
Merge from index 0 to index 1  
-147, -134, -125, -95, 93, 96, -129, 95, -103, 18, 1, -103, 114, -116, -118, -111, 90, -101, -33, -3  
Merge from index 0 to index 2  
-147, -134, -125, -95, 93, 96, -129, 95, -103, 18, 1, -103, 114, -116, -118, -111, 90, -101, -33, -3  
Merge from index 3 to index 4  
-147, -134, -125, -95, 93, 96, -129, 95, -103, 18, 1, -103, 114, -116, -118, -111, 90, -101, -33, -3  
Merge from index 0 to index 4  
-147, -134, -125, -95, 93, 96, -129, 95, -103, 18, 1, -103, 114, -116, -118, -111, 90, -101, -33, -3  
Merge from index 5 to index 6  
-147, -134, -125, -95, 93, -129, 96, 95, -103, 18, 1, -103, 114, -116, -118, -111, 90, -101, -33, -3  
Merge from index 5 to index 7  
-147, -134, -125, -95, 93, -129, 95, 96, -103, 18, 1, -103, 114, -116, -118, -111, 90, -101, -33, -3  
Merge from index 8 to index 9  
-147, -134, -125, -95, 93, -129, 95, 96, -103, 18, 1, -103, 114, -116, -118, -111, 90, -101, -33, -3  
Merge from index 5 to index 9  
-147, -134, -125, -95, 93, -129, -103, 18, 95, 96, 1, -103, 114, -116, -118, -111, 90, -101, -33, -3  
Merge from index 0 to index 9  
-147, -134, -129, -125, -103, -95, 18, 93, 95, 96, 1, -103, 114, -116, -118, -111, 90, -101, -33, -3  
Merge from index 10 to index 11  
-147, -134, -129, -125, -103, -95, 18, 93, 95, 96, -103, 1, 114, -116, -118, -111, 90, -101, -33, -3  
Merge from index 10 to index 12  
-147, -134, -129, -125, -103, -95, 18, 93, 95, 96, -103, 1, 114, -116, -118, -111, 90, -101, -33, -3  
Merge from index 13 to index 14  
-147, -134, -129, -125, -103, -95, 18, 93, 95, 96, -103, 1, 114, -118, -116, -111, 90, -101, -33, -3  
Merge from index 10 to index 14  
-147, -134, -129, -125, -103, -95, 18, 93, 95, 96, -118, -116, -103, 1, 114, -111, 90, -101, -33, -3  
Merge from index 15 to index 16  
-147, -134, -129, -125, -103, -95, 18, 93, 95, 96, -118, -116, -103, 1, 114, -111, 90, -101, -33, -3  
Merge from index 15 to index 17  
-147, -134, -129, -125, -103, -95, 18, 93, 95, 96, -118, -116, -103, 1, 114, -111, -101, 90, -33, -3  
Merge from index 18 to index 19  
-147, -134, -129, -125, -103, -95, 18, 93, 95, 96, -118, -116, -103, 1, 114, -111, -101, 90, -33, -3  
Merge from index 15 to index 19  
-147, -134, -129, -125, -103, -95, 18, 93, 95, 96, -118, -116, -103, 1, 114, -111, -101, -33, -3, 90  
Merge from index 10 to index 19  
-147, -134, -129, -125, -103, -95, 18, 93, 95, 96, -118, -116, -111, -103, -101, -33, -3, 1, 90, 114  
Merge from index 0 to index 19  
-147, -134, -129, -125, -118, -116, -111, -103, -103, -101, -95, -33, -3, 1, 18, 90, 93, 95, 96, 114
- Chuỗi sau khi sắp xếp:  
-147, -134, -129, -125, -118, -116, -111, -103, -103, -101, -95, -33, -3, 1, 18, 90, 93, 95, 96, 114

## 5. Testcase 5

- Chuỗi số đầu vào:  
-96, -148, -114, -1, -72, -120, 48, -97, 76, -55, -48, -71, 60, 24, 104, -138, 67, -132, 133, -13
- Kết quả xuất ra từng bước:  
-96, -148, -114, -1, -72, -120, 48, -97, 76, -55, -48, -71, 60, 24, 104, -138, 67, -132, 133, -13  
Merge from index 0 to index 1  
-148, -96, -114, -1, -72, -120, 48, -97, 76, -55, -48, -71, 60, 24, 104, -138, 67, -132, 133, -13  
Merge from index 0 to index 2  
-148, -114, -96, -1, -72, -120, 48, -97, 76, -55, -48, -71, 60, 24, 104, -138, 67, -132, 133, -13  
Merge from index 3 to index 4  
-148, -114, -96, -72, -1, -120, 48, -97, 76, -55, -48, -71, 60, 24, 104, -138, 67, -132, 133, -13  
Merge from index 0 to index 4  
-148, -114, -96, -72, -1, -120, 48, -97, 76, -55, -48, -71, 60, 24, 104, -138, 67, -132, 133, -13  
Merge from index 5 to index 6  
-148, -114, -96, -72, -1, -120, 48, -97, 76, -55, -48, -71, 60, 24, 104, -138, 67, -132, 133, -13  
Merge from index 5 to index 7  
-148, -114, -96, -72, -1, -120, -97, 48, 76, -55, -48, -71, 60, 24, 104, -138, 67, -132, 133, -13  
Merge from index 8 to index 9  
-148, -114, -96, -72, -1, -120, -97, 48, -55, 76, -48, -71, 60, 24, 104, -138, 67, -132, 133, -13  
Merge from index 5 to index 9  
-148, -114, -96, -72, -1, -120, -97, -55, 48, 76, -48, -71, 60, 24, 104, -138, 67, -132, 133, -13  
Merge from index 0 to index 9  
-148, -120, -114, -97, -96, -72, -55, -1, 48, 76, -48, -71, 60, 24, 104, -138, 67, -132, 133, -13  
Merge from index 10 to index 11  
-148, -120, -114, -97, -96, -72, -55, -1, 48, 76, -71, -48, 60, 24, 104, -138, 67, -132, 133, -13  
Merge from index 10 to index 12  
-148, -120, -114, -97, -96, -72, -55, -1, 48, 76, -71, -48, 60, 24, 104, -138, 67, -132, 133, -13  
Merge from index 13 to index 14  
-148, -120, -114, -97, -96, -72, -55, -1, 48, 76, -71, -48, 60, 24, 104, -138, 67, -132, 133, -13  
Merge from index 10 to index 14  
-148, -120, -114, -97, -96, -72, -55, -1, 48, 76, -71, -48, 24, 60, 104, -138, 67, -132, 133, -13  
Merge from index 15 to index 16  
-148, -120, -114, -97, -96, -72, -55, -1, 48, 76, -71, -48, 24, 60, 104, -138, 67, -132, 133, -13  
Merge from index 15 to index 17  
-148, -120, -114, -97, -96, -72, -55, -1, 48, 76, -71, -48, 24, 60, 104, -138, -132, 67, 133, -13  
Merge from index 18 to index 19  
-148, -120, -114, -97, -96, -72, -55, -1, 48, 76, -71, -48, 24, 60, 104, -138, -132, 67, -13, 133  
Merge from index 15 to index 19  
-148, -120, -114, -97, -96, -72, -55, -1, 48, 76, -71, -48, 24, 60, 104, -138, -132, -13, 67, 133  
Merge from index 10 to index 19  
-148, -120, -114, -97, -96, -72, -55, -1, 48, 76, -138, -132, -71, -48, -13, 24, 60, 67, 104, 133  
Merge from index 0 to index 19  
-148, -138, -132, -120, -114, -97, -96, -72, -71, -55, -48, -13, -1, 24, 48, 60, 67, 76, 104, 133
- Chuỗi sau khi sắp xếp:  
-148, -138, -132, -120, -114, -97, -96, -72, -71, -55, -48, -13, -1, 24, 48, 60, 67, 76, 104, 133

## 6. Testcase 6

- Chuỗi số đầu vào:  
-144, 22, -13, -137, 27, -69, 127, -31, -34, -1, 75, -1, 92, 104, 46, 66, 132, 93, 17, -87
- Kết quả xuất ra từng bước:  
-144, 22, -13, -137, 27, -69, 127, -31, -34, -1, 75, -1, 92, 104, 46, 66, 132, 93, 17, -87  
Merge from index 0 to index 1  
-144, 22, -13, -137, 27, -69, 127, -31, -34, -1, 75, -1, 92, 104, 46, 66, 132, 93, 17, -87  
Merge from index 0 to index 2  
-144, -13, 22, -137, 27, -69, 127, -31, -34, -1, 75, -1, 92, 104, 46, 66, 132, 93, 17, -87  
Merge from index 3 to index 4  
-144, -13, 22, -137, 27, -69, 127, -31, -34, -1, 75, -1, 92, 104, 46, 66, 132, 93, 17, -87  
Merge from index 0 to index 4  
-144, -137, -13, 22, 27, -69, 127, -31, -34, -1, 75, -1, 92, 104, 46, 66, 132, 93, 17, -87  
Merge from index 5 to index 6  
-144, -137, -13, 22, 27, -69, 127, -31, -34, -1, 75, -1, 92, 104, 46, 66, 132, 93, 17, -87  
Merge from index 5 to index 7  
-144, -137, -13, 22, 27, -69, -31, 127, -34, -1, 75, -1, 92, 104, 46, 66, 132, 93, 17, -87  
Merge from index 8 to index 9  
-144, -137, -13, 22, 27, -69, -31, 127, -34, -1, 75, -1, 92, 104, 46, 66, 132, 93, 17, -87  
Merge from index 5 to index 9  
-144, -137, -13, 22, 27, -69, -34, -31, -1, 127, 75, -1, 92, 104, 46, 66, 132, 93, 17, -87  
Merge from index 0 to index 9  
-144, -137, -69, -34, -31, -13, -1, 22, 27, 127, 75, -1, 92, 104, 46, 66, 132, 93, 17, -87  
Merge from index 10 to index 11  
-144, -137, -69, -34, -31, -13, -1, 22, 27, 127, -1, 75, 92, 104, 46, 66, 132, 93, 17, -87  
Merge from index 10 to index 12  
-144, -137, -69, -34, -31, -13, -1, 22, 27, 127, -1, 75, 92, 104, 46, 66, 132, 93, 17, -87  
Merge from index 13 to index 14  
-144, -137, -69, -34, -31, -13, -1, 22, 27, 127, -1, 75, 92, 46, 104, 66, 132, 93, 17, -87  
Merge from index 10 to index 14  
-144, -137, -69, -34, -31, -13, -1, 22, 27, 127, -1, 46, 75, 92, 104, 66, 132, 93, 17, -87  
Merge from index 15 to index 16  
-144, -137, -69, -34, -31, -13, -1, 22, 27, 127, -1, 46, 75, 92, 104, 66, 132, 93, 17, -87  
Merge from index 15 to index 17  
-144, -137, -69, -34, -31, -13, -1, 22, 27, 127, -1, 46, 75, 92, 104, 66, 93, 132, 17, -87  
Merge from index 18 to index 19  
-144, -137, -69, -34, -31, -13, -1, 22, 27, 127, -1, 46, 75, 92, 104, 66, 93, 132, -87, 17  
Merge from index 15 to index 19  
-144, -137, -69, -34, -31, -13, -1, 22, 27, 127, -1, 46, 75, 92, 104, -87, 17, 66, 93, 132  
Merge from index 10 to index 19  
-144, -137, -69, -34, -31, -13, -1, 22, 27, 127, -87, -1, 17, 46, 66, 75, 92, 93, 104, 132  
Merge from index 0 to index 19  
-144, -137, -87, -69, -34, -31, -13, -1, -1, 17, 22, 27, 46, 66, 75, 92, 93, 104, 127, 132
- Chuỗi sau khi sắp xếp:  
-144, -137, -87, -69, -34, -31, -13, -1, -1, 17, 22, 27, 46, 66, 75, 92, 93, 104, 127, 132

## 7. Testcase 7

- Chuỗi số đầu vào:  
-95, 13214, 3, 53, 214, -204, 24, 1, 0, 140, 5, -76, -124, 235, 23857, 34, 5, 2445, -35, 253
- Kết quả xuất ra từng bước  
-95, 13214, 3, 53, 214, -204, 24, 1, 0, 140, 5, -76, -124, 235, 23857, 34, 5, 2445, -35, 253  
Merge from index 0 to index 1  
-95, 13214, 3, 53, 214, -204, 24, 1, 0, 140, 5, -76, -124, 235, 23857, 34, 5, 2445, -35, 253  
Merge from index 0 to index 2  
-95, 3, 13214, 53, 214, -204, 24, 1, 0, 140, 5, -76, -124, 235, 23857, 34, 5, 2445, -35, 253  
Merge from index 3 to index 4  
-95, 3, 13214, 53, 214, -204, 24, 1, 0, 140, 5, -76, -124, 235, 23857, 34, 5, 2445, -35, 253  
Merge from index 0 to index 4  
-95, 3, 53, 214, 13214, -204, 24, 1, 0, 140, 5, -76, -124, 235, 23857, 34, 5, 2445, -35, 253  
Merge from index 5 to index 6  
-95, 3, 53, 214, 13214, -204, 24, 1, 0, 140, 5, -76, -124, 235, 23857, 34, 5, 2445, -35, 253  
Merge from index 5 to index 7  
-95, 3, 53, 214, 13214, -204, 1, 24, 0, 140, 5, -76, -124, 235, 23857, 34, 5, 2445, -35, 253  
Merge from index 8 to index 9  
-95, 3, 53, 214, 13214, -204, 1, 24, 0, 140, 5, -76, -124, 235, 23857, 34, 5, 2445, -35, 253  
Merge from index 5 to index 9  
-95, 3, 53, 214, 13214, -204, 0, 1, 24, 140, 5, -76, -124, 235, 23857, 34, 5, 2445, -35, 253  
Merge from index 0 to index 9  
-204, -95, 0, 1, 3, 24, 53, 140, 214, 13214, 5, -76, -124, 235, 23857, 34, 5, 2445, -35, 253  
Merge from index 10 to index 11  
-204, -95, 0, 1, 3, 24, 53, 140, 214, 13214, -76, 5, -124, 235, 23857, 34, 5, 2445, -35, 253  
Merge from index 10 to index 12  
-204, -95, 0, 1, 3, 24, 53, 140, 214, 13214, -124, -76, 5, 235, 23857, 34, 5, 2445, -35, 253  
Merge from index 13 to index 14  
-204, -95, 0, 1, 3, 24, 53, 140, 214, 13214, -124, -76, 5, 235, 23857, 34, 5, 2445, -35, 253  
Merge from index 10 to index 14  
-204, -95, 0, 1, 3, 24, 53, 140, 214, 13214, -124, -76, 5, 235, 23857, 34, 5, 2445, -35, 253  
Merge from index 15 to index 16  
-204, -95, 0, 1, 3, 24, 53, 140, 214, 13214, -124, -76, 5, 235, 23857, 5, 34, 2445, -35, 253  
Merge from index 15 to index 17  
-204, -95, 0, 1, 3, 24, 53, 140, 214, 13214, -124, -76, 5, 235, 23857, 5, 34, 2445, -35, 253  
Merge from index 18 to index 19  
-204, -95, 0, 1, 3, 24, 53, 140, 214, 13214, -124, -76, 5, 235, 23857, 5, 34, 2445, -35, 253  
Merge from index 15 to index 19  
-204, -95, 0, 1, 3, 24, 53, 140, 214, 13214, -124, -76, 5, 235, 23857, -35, 5, 34, 253, 2445  
Merge from index 10 to index 19  
-204, -95, 0, 1, 3, 24, 53, 140, 214, 13214, -124, -76, -35, 5, 5, 34, 235, 253, 2445, 23857  
Merge from index 0 to index 19  
-204, -124, -95, -76, -35, 0, 1, 3, 5, 5, 24, 34, 53, 140, 214, 235, 253, 2445, 13214, 23857
- Chuỗi sau khi sắp xếp:  
-204, -124, -95, -76, -35, 0, 1, 3, 5, 5, 24, 34, 53, 140, 214, 235, 253, 2445, 13214, 23857

## 8. Testcase 8

- Chuỗi số đầu vào:  
235, 0, 5, 124, -244, 35, -25, -700, 3536, 2, 22, 346, 0, -1, 235, 11, 90, -100, 6, 7
- Kết quả xuất ra từng bước:  
235, 0, 5, 124, -244, 35, -25, -700, 3536, 2, 22, 346, 0, -1, 235, 11, 90, -100, 6, 7  
Merge from index 0 to index 1  
0, 235, 5, 124, -244, 35, -25, -700, 3536, 2, 22, 346, 0, -1, 235, 11, 90, -100, 6, 7  
Merge from index 0 to index 2  
0, 5, 235, 124, -244, 35, -25, -700, 3536, 2, 22, 346, 0, -1, 235, 11, 90, -100, 6, 7  
Merge from index 3 to index 4  
0, 5, 235, -244, 124, 35, -25, -700, 3536, 2, 22, 346, 0, -1, 235, 11, 90, -100, 6, 7  
Merge from index 0 to index 4  
-244, 0, 5, 124, 235, 35, -25, -700, 3536, 2, 22, 346, 0, -1, 235, 11, 90, -100, 6, 7  
Merge from index 5 to index 6  
-244, 0, 5, 124, 235, -25, 35, -700, 3536, 2, 22, 346, 0, -1, 235, 11, 90, -100, 6, 7  
Merge from index 5 to index 7  
-244, 0, 5, 124, 235, -700, -25, 35, 3536, 2, 22, 346, 0, -1, 235, 11, 90, -100, 6, 7  
Merge from index 8 to index 9  
-244, 0, 5, 124, 235, -700, -25, 35, 2, 3536, 22, 346, 0, -1, 235, 11, 90, -100, 6, 7  
Merge from index 5 to index 9  
-244, 0, 5, 124, 235, -700, -25, 2, 35, 3536, 22, 346, 0, -1, 235, 11, 90, -100, 6, 7  
Merge from index 0 to index 9  
-700, -244, -25, 0, 2, 5, 35, 124, 235, 3536, 22, 346, 0, -1, 235, 11, 90, -100, 6, 7  
Merge from index 10 to index 11  
-700, -244, -25, 0, 2, 5, 35, 124, 235, 3536, 22, 346, 0, -1, 235, 11, 90, -100, 6, 7  
Merge from index 10 to index 12  
-700, -244, -25, 0, 2, 5, 35, 124, 235, 3536, 0, 22, 346, -1, 235, 11, 90, -100, 6, 7  
Merge from index 13 to index 14  
-700, -244, -25, 0, 2, 5, 35, 124, 235, 3536, 0, 22, 346, -1, 235, 11, 90, -100, 6, 7  
Merge from index 10 to index 14  
-700, -244, -25, 0, 2, 5, 35, 124, 235, 3536, -1, 0, 22, 235, 346, 11, 90, -100, 6, 7  
Merge from index 15 to index 16  
-700, -244, -25, 0, 2, 5, 35, 124, 235, 3536, -1, 0, 22, 235, 346, 11, 90, -100, 6, 7  
Merge from index 15 to index 17  
-700, -244, -25, 0, 2, 5, 35, 124, 235, 3536, -1, 0, 22, 235, 346, -100, 11, 90, 6, 7  
Merge from index 18 to index 19  
-700, -244, -25, 0, 2, 5, 35, 124, 235, 3536, -1, 0, 22, 235, 346, -100, 11, 90, 6, 7  
Merge from index 15 to index 19  
-700, -244, -25, 0, 2, 5, 35, 124, 235, 3536, -1, 0, 22, 235, 346, -100, 6, 7, 11, 90  
Merge from index 10 to index 19  
-700, -244, -25, 0, 2, 5, 35, 124, 235, 3536, -100, -1, 0, 6, 7, 11, 22, 90, 235, 346  
Merge from index 0 to index 19  
-700, -244, -100, -25, -1, 0, 0, 2, 5, 6, 7, 11, 22, 35, 90, 124, 235, 235, 346, 3536
- Chuỗi sau khi sắp xếp:  
-700, -244, -100, -25, -1, 0, 0, 2, 5, 6, 7, 11, 22, 35, 90, 124, 235, 235, 346, 3536

## 9. Testcase 9

- Chuỗi số đầu vào:  
25, 250, -235, 2, 0, -25, 43690, 99, 100, 457, -99, 1, -56, 987, 50, 835, 9, 10, 12, -55
- Kết quả xuất ra từng bước:  
25, 250, -235, 2, 0, -25, 43690, 99, 100, 457, -99, 1, -56, 987, 50, 835, 9, 10, 12, -55  
Merge from index 0 to index 1  
25, 250, -235, 2, 0, -25, 43690, 99, 100, 457, -99, 1, -56, 987, 50, 835, 9, 10, 12, -55  
Merge from index 0 to index 2  
-235, 25, 250, 2, 0, -25, 43690, 99, 100, 457, -99, 1, -56, 987, 50, 835, 9, 10, 12, -55  
Merge from index 3 to index 4  
-235, 25, 250, 0, 2, -25, 43690, 99, 100, 457, -99, 1, -56, 987, 50, 835, 9, 10, 12, -55  
Merge from index 0 to index 4  
-235, 0, 2, 25, 250, -25, 43690, 99, 100, 457, -99, 1, -56, 987, 50, 835, 9, 10, 12, -55  
Merge from index 5 to index 6  
-235, 0, 2, 25, 250, -25, 43690, 99, 100, 457, -99, 1, -56, 987, 50, 835, 9, 10, 12, -55  
Merge from index 5 to index 7  
-235, 0, 2, 25, 250, -25, 99, 43690, 100, 457, -99, 1, -56, 987, 50, 835, 9, 10, 12, -55  
Merge from index 8 to index 9  
-235, 0, 2, 25, 250, -25, 99, 43690, 100, 457, -99, 1, -56, 987, 50, 835, 9, 10, 12, -55  
Merge from index 5 to index 9  
-235, 0, 2, 25, 250, -25, 99, 100, 457, 43690, -99, 1, -56, 987, 50, 835, 9, 10, 12, -55  
Merge from index 0 to index 9  
-235, -25, 0, 2, 25, 99, 100, 250, 457, 43690, -99, 1, -56, 987, 50, 835, 9, 10, 12, -55  
Merge from index 10 to index 11  
-235, -25, 0, 2, 25, 99, 100, 250, 457, 43690, -99, 1, -56, 987, 50, 835, 9, 10, 12, -55  
Merge from index 10 to index 12  
-235, -25, 0, 2, 25, 99, 100, 250, 457, 43690, -99, -56, 1, 987, 50, 835, 9, 10, 12, -55  
Merge from index 13 to index 14  
-235, -25, 0, 2, 25, 99, 100, 250, 457, 43690, -99, -56, 1, 50, 987, 835, 9, 10, 12, -55  
Merge from index 10 to index 14  
-235, -25, 0, 2, 25, 99, 100, 250, 457, 43690, -99, -56, 1, 50, 987, 835, 9, 10, 12, -55  
Merge from index 15 to index 16  
-235, -25, 0, 2, 25, 99, 100, 250, 457, 43690, -99, -56, 1, 50, 987, 9, 835, 10, 12, -55  
Merge from index 15 to index 17  
-235, -25, 0, 2, 25, 99, 100, 250, 457, 43690, -99, -56, 1, 50, 987, 9, 10, 835, 12, -55  
Merge from index 18 to index 19  
-235, -25, 0, 2, 25, 99, 100, 250, 457, 43690, -99, -56, 1, 50, 987, 9, 10, 835, -55, 12  
Merge from index 15 to index 19  
-235, -25, 0, 2, 25, 99, 100, 250, 457, 43690, -99, -56, 1, 50, 987, -55, 9, 10, 12, 835  
Merge from index 10 to index 19  
-235, -25, 0, 2, 25, 99, 100, 250, 457, 43690, -99, -56, -55, 1, 9, 10, 12, 50, 835, 987  
Merge from index 0 to index 19  
-235, -99, -56, -55, -25, 0, 1, 2, 9, 10, 12, 25, 50, 99, 100, 250, 457, 835, 987, 43690
- Chuỗi sau khi sắp xếp:  
-235, -99, -56, -55, -25, 0, 1, 2, 9, 10, 12, 25, 50, 99, 100, 250, 457, 835, 987, 43690



10. Testcase 10

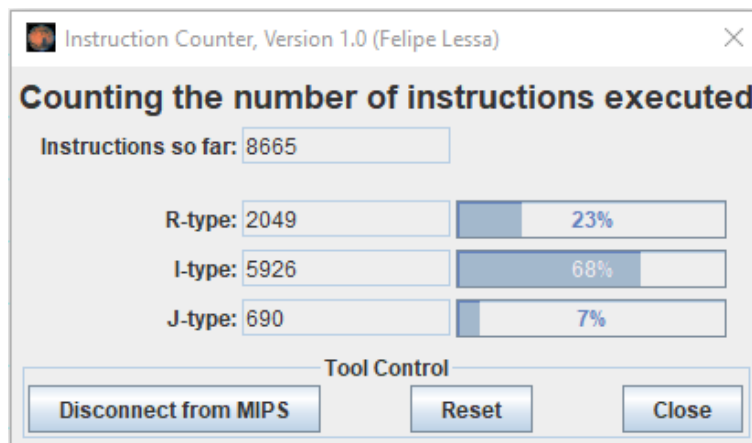
- Chuỗi số đầu vào: -360, 0, 255, 94, 5, 100, 56, 204, -35, 10, 2525, 14, 1, -358, 68, 24, 5, -999, 23, 11
- Kết quả xuất ra từng bước:

```
-360, 0, 255, 94, 5, 100, 56, 204, -35, 10, 2525, 14, 1, -358, 68, 24, 5, -999, 23, 11
Merge from index 0 to index 1
-360, 0, 255, 94, 5, 100, 56, 204, -35, 10, 2525, 14, 1, -358, 68, 24, 5, -999, 23, 11
Merge from index 0 to index 2
-360, 0, 255, 94, 5, 100, 56, 204, -35, 10, 2525, 14, 1, -358, 68, 24, 5, -999, 23, 11
Merge from index 3 to index 4
-360, 0, 255, 5, 94, 100, 56, 204, -35, 10, 2525, 14, 1, -358, 68, 24, 5, -999, 23, 11
Merge from index 0 to index 4
-360, 0, 5, 94, 255, 100, 56, 204, -35, 10, 2525, 14, 1, -358, 68, 24, 5, -999, 23, 11
Merge from index 5 to index 6
-360, 0, 5, 94, 255, 56, 100, 204, -35, 10, 2525, 14, 1, -358, 68, 24, 5, -999, 23, 11
Merge from index 5 to index 7
-360, 0, 5, 94, 255, 56, 100, 204, -35, 10, 2525, 14, 1, -358, 68, 24, 5, -999, 23, 11
Merge from index 8 to index 9
-360, 0, 5, 94, 255, 56, 100, 204, -35, 10, 2525, 14, 1, -358, 68, 24, 5, -999, 23, 11
Merge from index 5 to index 9
-360, 0, 5, 94, 255, -35, 10, 56, 100, 204, 2525, 14, 1, -358, 68, 24, 5, -999, 23, 11
Merge from index 0 to index 9
-360, -35, 0, 5, 10, 56, 94, 100, 204, 255, 2525, 14, 1, -358, 68, 24, 5, -999, 23, 11
Merge from index 10 to index 11
-360, -35, 0, 5, 10, 56, 94, 100, 204, 255, 14, 2525, 1, -358, 68, 24, 5, -999, 23, 11
Merge from index 10 to index 12
-360, -35, 0, 5, 10, 56, 94, 100, 204, 255, 1, 14, 2525, -358, 68, 24, 5, -999, 23, 11
Merge from index 13 to index 14
-360, -35, 0, 5, 10, 56, 94, 100, 204, 255, 1, 14, 2525, -358, 68, 24, 5, -999, 23, 11
Merge from index 10 to index 14
-360, -35, 0, 5, 10, 56, 94, 100, 204, 255, -358, 1, 14, 68, 2525, 24, 5, -999, 23, 11
Merge from index 15 to index 16
-360, -35, 0, 5, 10, 56, 94, 100, 204, 255, -358, 1, 14, 68, 2525, 5, 24, -999, 23, 11
Merge from index 15 to index 17
-360, -35, 0, 5, 10, 56, 94, 100, 204, 255, -358, 1, 14, 68, 2525, -999, 5, 24, 23, 11
Merge from index 18 to index 19
-360, -35, 0, 5, 10, 56, 94, 100, 204, 255, -358, 1, 14, 68, 2525, -999, 5, 24, 11, 23
Merge from index 15 to index 19
-360, -35, 0, 5, 10, 56, 94, 100, 204, 255, -358, 1, 14, 68, 2525, -999, 5, 11, 23, 24
Merge from index 10 to index 19
-360, -35, 0, 5, 10, 56, 94, 100, 204, 255, -999, -358, 1, 5, 11, 14, 23, 24, 68, 2525
Merge from index 0 to index 19
-999, -360, -358, -35, 0, 1, 5, 5, 10, 11, 14, 23, 24, 56, 68, 94, 100, 204, 255, 2525
```
- Chuỗi sau khi sắp xếp:  
-999, -360, -358, -35, 0, 1, 5, 5, 10, 11, 14, 23, 24, 56, 68, 94, 100, 204, 255, 2525

## 4 Thống kê số lệnh, loại lệnh được thực thi của chương trình

Sử dụng plug-in (**Tools/Instruction Statistics**) trong MARS để thống kê số lượng lệnh và loại lệnh của chương trình.

- Ấn phím tắt **F3** hoặc vào menu **Run/Assemble**.
- Chọn **Tools/Instruction Counter**, chọn **Connect to MIPS**.
- Chạy chương trình.



Đối với chuỗi đã cho, thống kê số lệnh của mỗi loại lệnh như sau:

- R-type: 2049 lệnh. (23%)
- I-type: 5926 lệnh. (68%)
- J-type: 690 lệnh. (8%)

Tùy vào số lượng phần tử và dữ liệu mà số lệnh và loại lệnh của các chương trình là khác nhau. Do với mỗi dữ liệu, sự phân bố ban đầu của các phần tử là khác nhau nên trong quá trình xử lý, các câu lệnh rẽ nhánh thực thi khác nhau, dẫn đến số lệnh và loại lệnh khác nhau. Số lệnh mỗi loại sẽ thay đổi tùy vào dữ liệu, nhưng tỉ lệ của mỗi loại lệnh là xấp xỉ như trên.



## 5 Thời gian chạy của chương trình

### 5.1 Công thức tính

Cách tính thời gian chạy của chương trình trên máy tính MIPS có tần số 2Ghz:

$$\text{CPU time} = \text{Instruction Count} \times \text{CPI} / \text{Clock rate}$$

Trong đó:

- **CPU time:** Thời gian thực thi
- **Instruction Count:** Tổng số lệnh thực thi
- **CPI:** (clock cycle per instruction) Số chu kỳ cần để thực thi một lệnh = 1
- **Clock rate:** Tần số máy tính = 2 Ghz

### 5.2 Cụ thể hóa

Ví dụ:

Với test case là chuỗi số: -96, 17, 47, 76, -40, 51, -20, -65, 84, -13, -62, 62, -71, -76, 53, -99, 82, -39, 24, 6  
Instruction Count = 8665

Thời gian thực thi:

$$\begin{aligned}\text{CPU time} &= \text{IC} \times \text{CPI} / \text{Clock rate} \\ &= (8665 \times 1) / (2 \times 10^9) \\ &= 4.3325 \times 10^{-6} \text{ (s)}\end{aligned}$$

## 6 Tổng kết

- Để hoàn thành bài báo cáo này, chúng em xin gửi lời cảm ơn chân thành đến các Thầy đã giúp chúng em lĩnh hội được những kiến thức và vận dụng nó vào bài báo cáo.
- Nhóm đã phân chia công việc rõ ràng và các bạn đã hoàn thành đầy đủ phần việc của bản thân.
- Do chưa có nhiều kinh nghiệm làm đề tài, cũng như những hạn chế về mặt kiến thức nên bài báo cáo hẳn sẽ không tránh khỏi những thiếu sót. Chúng em rất mong nhận được lời nhận xét, ý kiến đóng góp của các Thầy để bài làm của chúng em được hoàn thiện hơn.

Lời cuối cùng, chúng em xin chúc các Thầy nhiều sức khỏe, thành công và hạnh phúc.

## 7 Phần nhận xét của giảng viên