题目描述

现有一个CPU和一些任务需要处理，已提前获知每个任务的任务ID、优先级、所需执行时间和到达时间。
CPU同时只能运行一个任务，请编写一个 任务调度 程序，采用“可抢占优先权调度”调度算法进行任务调度，规则如下：

- 如果一个任务到来时，CPU是空闲的，则CPU可以运行该任务直到任务执行完毕。
- 但是如果运行中有一个更高优先级的任务到来，则CPU必须暂停当前任务去运行这个优先级更高的任务；
- 如果一个任务到来时，CPU正在运行一个比他优先级更高的任务时，信道大的任务必须等待；
- 当CPU空闲时，如果还有任务在等待，CPU会从这些任务中选择一个优先级最高的任务执行，相同优先级的任务选择到达时间最早的任务。

输入描述

输入有若干行，每一行有四个数字（均小于10^8）,分别为任务ID，任务优先级，执行时间和到达时间。

每个任务的任务ID不同，优先级数字越大优先级越高，并且相同优先级的任务不会同时到达。

输入的任务已按照到达时间从小到大排序，并且保证在任何时间，处于等待的任务不超过10000个。

输出描述

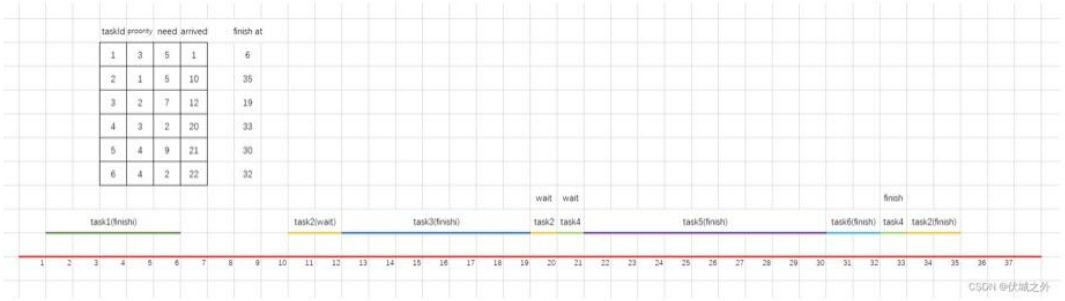
按照任务执行结束的顺序

用例

输入	1 3 5 1 2 1 5 10 3 2 7 12 4 3 2 20 5 4 9 21 6 4 2 22
输出	1 6 3 19 5 30 6 32 4 33 2 35
说明	无

题目解析

用例图 示如下



task1在1时刻到达，此时CPU空闲，因此执行task1，task1需要执行5个时间，而执行期间没有新任务加入，因此task1首先执行完成，结束时刻是6。

task2在10时刻达到，此时CPU空闲，因此执行task2，task2需要执行5个时间，但是在task2执行到12时刻时，有新任务task3加入，且优先级更高，因此task2让出执行权，task2还需要5-（12-10）= 3 个时间才能执行完，task2进入等待队列。

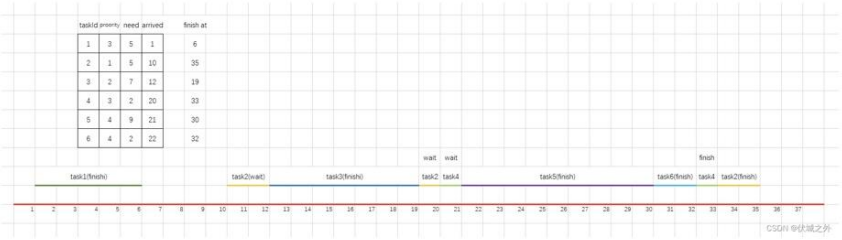
task3在12时刻到达，此时CPU正在执行task2，但是由于task3的优先级高于task2，因此task3获得执行权开始执行，task3需要7个时间，而在下一个任务task4会在20时刻到达，因此task3可以执行完，结束时刻是19。

task3执行结束时刻是19，而task4到达时间是20，因此中间有一段CPU空闲期，而等待队列中还有一个task2等待执行，因此此时CPU会调出task2继续执行，但是只能执行1时间，因此task2还需要3 - 1 = 2个时间才能执行完。

得执行权开始执行，
高，因此task4还需2 -

题目解析

用例图示如下



task1在1时刻到达，此时CPU空闲，因此执行task1，task1需要执行5个时间，而执行期间没有新任务加入，因此task1首先执行完成，结束时刻是6。

task2在10时刻达到，此时CPU空闲，因此执行task2，task2需要执行5个时间，但是在task2执行到12时刻时，有新任务task3加入，且优先级更高，因此task2让出执行权，task2还需要5-（12-10）= 3 个时间才能执行完，task2进入等待队列。

task3在12时刻到达，此时CPU正在执行task2，但是由于task3的优先级高于task2，因此task3获得执行权开始执行，task3需要7个时间，而在下一个任务task4会在20时刻到达，因此task3可以执行完，结束时刻是19。

task3执行结束时刻是19，而task4到达时间是20，因此中间有一段CPU空闲期，而等待队列中还有一个task2等待执行，因此此时CPU会调出task2继续执行，但是只能执行1时间，因此task2还需要3 - 1 = 2个时间才能执行完。

task4在20时刻到达，此时CPU正在执行task2，但是由于task4的优先级更高，因此task4获得执行权开始执行，task2重回等待队列，task4需要2个时间，但是执行到时刻21时，task5到达了，且优先级更高，因此task4还需2 - (21-20) = 1 个时间才能执行完，task4进入等待队列。

此时等待队列有两个任务task2，task4，因此需要按照优先级排序，优先级高的在队头，因此queue = [task4, task2]

task5在21时刻到达，此时CPU正在执行task4，但是task5的优先级更高，因此task5获得执行权开始执行，task4进入等待队列，task5需要9个时间，但是执行到时刻22时，task6到达了，但是task6的优先级和task5相同，因此task5执行不受影响，task5会在21 + 9 = 30 时刻执行完成。

而task6则进入等待队列，有新任务进入队列后，就要按优先级重新排序，优先级高的在队头，因此queue = [task6, task4, task2]。

此时所有任务已经遍历完，我们检查等待队列是否有任务，若有，则此时任务队列中的任务必然是按优先级降序的，因此我们依次取出队头任务，在上一次结束时刻基础上添加需要的时间，就是新的结束时刻，比如

task6出队，上一次结束时刻是30，因此task6的结束时刻 = 30 + 2 = 32，新的结束时刻变为32

task4出队，上一次结束时刻是32，因此task4的结束时刻 = 32 + 1 = 33，新的结束时刻变为33

task2出队，上一次结束时刻是33，因此task2的结束时刻 = 33 + 2 = 35，新的结束时刻变为33。

本题实现的难点在于：

1、等待队列的实现

这里的等待队列其实就是优先队列，优先队列我们可以基于有序数组实现，但是有序数组实现最优先队列的时间复杂度至少O(n)，算是比较高的。优先队列其实只要每次保证最高优先级的任务处于队头即可，无需实现整体有序，因此基于最大堆实现优先队列是更好的选择，最大堆每次实现优先队列，只需要O(logN)的时间复杂度，因此在处理大数量级是更具有优势，但是JS语言并没有实现基于堆结构的优先队列，因此我们需要手动实现，相较于有序数组而言，难度较大。关于基于堆的优先队列实现，请看：LeetCode - 1705 吃苹果的最大数目_伏城之外的博客-CSDN博客

2、CPU的任务执行逻辑

CPU执行某个任务时，如果有新任务加入，则我们应该比较正在执行的任务和新任务的优先级，

- 如果新任务优先级较高，则应该将正在执行的任务撤出，加入到等待队列中，然后执行新任务。
- 如果新任务优先级不高于正在执行的任务，则新任务进入等待队列，继续执行当前任务。

~~CPU空转期间，应该检查等待队列是否有任务，并取出最高优先级任务执行。~~

2023.02.19 根据网友反馈上面逻辑的通过率为20%，我重新看了一下，发现上面遗漏一个逻辑：

题目说

> 当CPU空闲时，如果还有任务在等待，CPU会从这些任务中选择一个优先级最高的任务执行，相同优先级的任务选择到达时间最早的任务。

而上面逻辑中遗漏考虑了相同优先级时，按照到达时间为第二优先级来安排任务执行的场景。已修复。

JavaScript算法源码

基于最大堆实现优先队列

```
/* JavaScript Node ACM模式 控制台输入获取 */
const readline = require("readline");

const rl = readline.createInterface({
  input: process.stdin,
  output: process.stdout,
});
```

JavaScript算法源码

基于最大堆实现优先队列

```
/* JavaScript Node ACM模式 控制台输入获取 */
const readline = require("readline");

const rl = readline.createInterface({
  input: process.stdin,
  output: process.stdout,
});

const lines = [];
rl.on("line", (line) => {
  if (line !== "") {
    lines.push(line);
  } else {
    const tasks = lines.map((line) => line.split(" ").map(Number));
    getResult(tasks);
    lines.length = 0;
  }
});

/**
 *
 * @param {*} tasks 二维数组，元素组数含义是[任务ID，任务优先级，执行时间，到达时间]
 */
function getResult(tasks) {
  tasks = tasks.map((task) => {
    return { id: task[0], priority: task[1], need: task[2], arrived: task[3] };
  });

  const pq = new Pqueue((a, b) =>
    a.priority != b.priority ? b.priority - a.priority : a.arrived - b.arrived
  );

  pq.offer(tasks.shift());
  let curTime = pq.peek().arrived; // curTime记录当前时刻

  while (tasks.length > 0) {
    const curtTask = pq.peek(); // 当前正在运行的任务curtTask
    const nextTask = tasks.shift(); // 下一个任务nextTask

    const curTask_endTime = curTime + curtTask.need; // 当前正在运行任务的"理想"结束时间

    // 如果当前正在运行任务的理想结束时间 超过了 下一个任务的开始时间
    if (curTask_endTime > nextTask.arrived) {
      curtTask.need -= nextTask.arrived - curTime; // 先不看优先级，先将当前任务可以运行的时间减去
      curTime = nextTask.arrived;
    }
    // 如果当前正在运行任务的理想结束时间 没有超过 下一个任务的开始时间，则当前任务可以执行完
    else {
      pq.poll();
      console.log(`${curtTask.id} ${curTask_endTime}`); // 打印执行完的任务的id和结束时间
      curTime = curTask_endTime;

      // 如果当前任务结束时，下一次任务还没有达到，那么存在CPU空转(即idle)
      if (nextTask.arrived > curTask_endTime) {
        // 此时，我们应该从优先队列中取出最优先的任务出来执行，逻辑同上
        while (pq.size > 0) {
          const idleTask = pq.peek();
          const idleTask_endTime = curTime + idleTask.need;

          if (idleTask_endTime > nextTask.arrived) {
            idleTask.need -= nextTask.arrived - curTime;
            break;
          } else {
            pq.poll();
            console.log(`${idleTask.id} ${idleTask_endTime}`);
            curTime = idleTask_endTime;
          }
        }
        curTime = nextTask.arrived;
      }
    }

    pq.offer(nextTask);
  }

  // 所有任务都加入优先队列后，我们就可以按照优先队列的安排，顺序取出任务来执行了
  while (pq.size > 0) {
    const pollTask = pq.poll();
    const pollTask_endTime = curTime + pollTask.need;
    console.log(`${pollTask.id} ${pollTask_endTime}`);
    curTime = pollTask_endTime;
  }
}

// 基于堆实现优先队列
class Pqueue {
  constructor(cpr) {
    this.queue = [];
    this.size = 0;
    this.cpr = cpr;
```

```
84
85  // 基于堆实现优先队列
86  class Pqueue {
87    constructor(cpr) {
88      this.queue = [];
89      this.size = 0;
90      this.cpr = cpr;
91    }
92
93    swap(i, j) {
94      let tmp = this.queue[i];
95      this.queue[i] = this.queue[j];
96      this.queue[j] = tmp;
97    }
98
99    // 上浮
100   swim() {
101     let ch = this.queue.length - 1;
102
103     while (ch !== 0) {
104       let fa = Math.floor((ch - 1) / 2);
105
106       const ch_node = this.queue[ch];
107       const fa_node = this.queue[fa];
108
109       if (this.cpr(ch_node, fa_node) < 0) {
110         this.swap(ch, fa);
111         ch = fa;
112       } else {
113         break;
114       }
115     }
116   }
117
118   // 下沉
119   sink() {
120     let fa = 0;
121
122     while (true) {
123       let ch_left = 2 * fa + 1;
124       let ch_right = 2 * fa + 2;
125
126       let ch_max;
127       let ch_max_node;
128
129       const fa_node = this.queue[fa];
130       const ch_left_node = this.queue[ch_left];
131       const ch_right_node = this.queue[ch_right];
132
133       if (ch_left_node && ch_right_node) {
134         // 注意这里应该要>=0，因为左边优先级高
135         if (this.cpr(ch_left_node, ch_right_node) <= 0) {
136           ch_max = ch_left;
137           ch_max_node = ch_left_node;
138         } else {
139           ch_max = ch_right;
140           ch_max_node = ch_right_node;
141         }
142       } else if (ch_left_node && !ch_right_node) {
143         ch_max = ch_left;
144         ch_max_node = ch_left_node;
145       } else if (!ch_left_node && ch_right_node) {
146         ch_max = ch_right;
147         ch_max_node = ch_right_node;
148       } else {
149         break;
150       }
151
152       // 注意这里应该要>0，因为父优先级高
153       if (this.cpr(ch_max_node, fa_node) < 0) {
154         this.swap(ch_max, fa);
155         fa = ch_max;
156       } else {
157         break;
158       }
159     }
160   }
161
162   // 向优先队列中加入元素
163   offer(ele) {
164     this.queue.push(ele);
165     this.size++;
166     this.swim();
167   }
168
169   // 取出最高优先级元素
170   poll() {
171     this.swap(0, this.queue.length - 1);
172     this.size--;
173     const ans = this.queue.pop();
174     this.sink();
175     return ans;
176   }
177
178   // 只使用最高优先级元素，不取出
```

```
      // 注意这里应该要>0，因为父优先级高
      if (this.cpr(ch_max_node, fa_node) < 0) {
        this.swap(ch_max, fa);
        fa = ch_max;
      } else {
        break;
      }
    }
  }

  // 向优先队列中加入元素
  offer(ele) {
    this.queue.push(ele);
    this.size++;
    this.swim();
  }

  // 取出最高优先级元素
  poll() {
    this.swap(0, this.queue.length - 1);
    this.size--;
    const ans = this.queue.pop();
    this.sink();
    return ans;
  }

  // 只使用最高优先级元素，不取出
  peek() {
    return this.queue[0];
  }
}
```

Java算法源码

Java已有专门的优先队列实现类PriorityQueue，因此我们可以直接使用它，而不需要自己实现。

```
import java.util.Arrays;
import java.util.LinkedList;
import java.util.PriorityQueue;
import java.util.Scanner;

public class Main {
  public static void main(String[] args) {
    Scanner sc = new Scanner(System.in);

    LinkedList<Task> list = new LinkedList<>();

    while (sc.hasNextLine()) {
      String s = sc.nextLine();
      if ("".equals(s)) break;
      Integer[] arr = Arrays.stream(s.split(" ")).map(Integer::parseInt).toArray(Integer[]::new);
      Task task = new Task(arr[0], arr[1], arr[2], arr[3]);
      list.add(task);
    }

    getResult(list);
  }

  /**
   * @param tasks 任务列表
   */
  public static void getResult(LinkedList<Task> tasks) {
    PriorityQueue<Task> pq =
        new PriorityQueue<>(
            (a, b) -> a.priority != b.priority ? b.priority - a.priority : a.arrived - b.arrived);

    pq.offer(tasks.removeFirst());
    int curTime = pq.peek().arrived; // curTime记录当前时刻

    while (tasks.size() > 0) {
      Task curtTask = pq.peek(); // 当前正在运行的任务curtTask
      Task nextTask = tasks.removeFirst(); // 下一个任务nextTask

      int curtTask_endTime = curTime + curtTask.need; // 当前正在运行任务的"理想"结束时间

      if (curtTask_endTime > nextTask.arrived) { // 如果当前正在运行任务的理想结束时间  超过了  下一个任务的开始时间
        curtTask.need -= nextTask.arrived - curTime; // 先不看优先级，先将当前任务可以运行的时间减去
        curTime = nextTask.arrived;
      } else { // 如果当前正在运行任务的理想结束时间  没有超过  下一个任务的开始时间，则当前任务可以执行完
        pq.poll(); // 当前任务出队
        System.out.println(curtTask.id + " " + curtTask_endTime); // 打印执行完的任务的id和结束时间
        curTime = curtTask_endTime;

        if (nextTask.arrived > curtTask_endTime) { // 如果当前任务结束时，下一次任务还没有达到，那么存在CPU空转(即id
          while (pq.size() > 0) { // 此时，我们应该从优先队列中取出最优先的任务出来执行，逻辑同上
            Task idleTask = pq.peek();
            int idleTask_endTime = curTime + idleTask.need;

            if (idleTask_endTime > nextTask.arrived) {
              idleTask.need -= nextTask.arrived - curTime;
              break;
            } else {
```

Java算法源码

Java已有专门的优先队列实现类PriorityQueue，因此我们可以直接使用它，而不需要自己实现。

```java
import java.util.Arrays;
import java.util.LinkedList;
import java.util.PriorityQueue;
import java.util.Scanner;

public class Main {
  public static void main(String[] args) {
    Scanner sc = new Scanner(System.in);

    LinkedList<Task> list = new LinkedList<>();

    while (sc.hasNextLine()) {
      String s = sc.nextLine();
      if ("".equals(s)) break;
      Integer[] arr = Arrays.stream(s.split(" ")).map(Integer::parseInt).toArray(Integer[]::new);
      Task task = new Task(arr[0], arr[1], arr[2], arr[3]);
      list.add(task);
    }

    getResult(list);
  }

  /**
   * @param tasks 任务列表
   */
  public static void getResult(LinkedList<Task> tasks) {
    PriorityQueue<Task> pq =
        new PriorityQueue<>(
            (a, b) -> a.priority != b.priority ? b.priority - a.priority : a.arrived - b.arrived);

    pq.offer(tasks.removeFirst());
    int curTime = pq.peek().arrived; // curTime记录当前时刻

    while (tasks.size() > 0) {
      Task curtTask = pq.peek(); // 当前正在运行的任务curtTask
      Task nextTask = tasks.removeFirst(); // 下一个任务nextTask

      int curtTask_endTime = curTime + curtTask.need; // 当前正在运行任务的"理想"结束时间

      if (curtTask_endTime > nextTask.arrived) { // 如果当前正在运行任务的理想结束时间  超过了  下一个任务的开始时间
        curtTask.need -= nextTask.arrived - curTime; // 先不看优先级，先将当前任务可以运行的时间减去
        curTime = nextTask.arrived;
      } else { // 如果当前正在运行任务的理想结束时间  没有超过  下一个任务的开始时间，则当前任务可以执行完
        pq.poll(); // 当前任务出队
        System.out.println(curtTask.id + " " + curtTask_endTime); // 打印执行完的任务的id和结束时间
        curTime = curtTask_endTime;

        if (nextTask.arrived > curtTask_endTime) { // 如果当前任务结束时，下一次任务还没有达到，那么存在CPU空转(即id
          while (pq.size() > 0) { // 此时，我们应该从优先队列中取出最优先的任务出来执行，逻辑同上
            Task idleTask = pq.peek();
            int idleTask_endTime = curTime + idleTask.need;

            if (idleTask_endTime > nextTask.arrived) {
              idleTask.need -= nextTask.arrived - curTime;
              break;
            } else {
              pq.poll();
              System.out.println(idleTask.id + " " + idleTask_endTime);
              curTime = idleTask_endTime;
            }
          }
          curTime = nextTask.arrived;
        }
      }

      pq.offer(nextTask);
    }

    // 所有任务都加入优先队列后，我们就可以按照优先队列的安排，顺序取出任务来执行了
    while (pq.size() > 0) {
      Task pollTask = pq.poll();
      int pollTask_endTime = curTime + pollTask.need;
      System.out.println(pollTask.id + " " + pollTask_endTime);
      curTime = pollTask_endTime;
    }
  }
}

class Task {
  int id; // 任务id
  int priority; // 任务优先级
  int need; // 任务执行时长
  int arrived; // 任务到达时刻

  public Task(int id, int priority, int need, int arrived) {
    this.id = id;
    this.priority = priority;
    this.need = need;
    this.arrived = arrived;
  }
```

```
            }
          }
          curTime = nextTask.arrived;
        }
      }

      pq.offer(nextTask);
    }

    // 所有任务都加入优先队列后，我们就可以按照优先队列的安排，顺序取出任务来执行了
    while (pq.size() > 0) {
      Task pollTask = pq.poll();
      int pollTask_endTime = curTime + pollTask.need;
      System.out.println(pollTask.id + " " + pollTask_endTime);
      curTime = pollTask_endTime;
    }
  }
}

class Task {
  int id; // 任务id
  int priority; // 任务优先级
  int need; // 任务执行时长
  int arrived; // 任务到达时刻

  public Task(int id, int priority, int need, int arrived) {
    this.id = id;
    this.priority = priority;
    this.need = need;
    this.arrived = arrived;
  }
}
```

Python算法源码

Pytho可以基于queue.PriorityQueue来实现优先队列，但是queue.PriorityQueue的自定义排序不支持函数参数传入，而是只能基于queue.PriorityQueue加入的元素的自身比较器（如__lt__和__gt__）来排序

```python
import queue


class Task:
    def __init__(self, taskId, priority, need, arrived):
        self.taskId = taskId
        self.priority = priority
        self.need = need
        self.arrived = arrived

    def __gt__(self, other):
        if self.priority != other.priority:
            return other.priority > self.priority
        else:
            return self.arrived > other.arrived


# 算法入口
def getResult(tasks):
    pq = queue.PriorityQueue()

    pq.put(tasks.pop(0))
    curTime = pq.queue[0].arrived  # curTime记录当前时刻

    while len(tasks) > 0:
        curtTask = pq.queue[0]  # 当前正在运行的任务curtTask
        nextTask = tasks.pop(0)  # 下一个任务nextTask

        curTask_endTime = curTime + curtTask.need  # 当前正在运行任务的"理想"结束时间

        # 如果当前正在运行任务的理想结束时间 超过了 下一个任务的开始时间
        if curTask_endTime > nextTask.arrived:
            curtTask.need -= nextTask.arrived - curTime  # 先不看优先级，先将当前任务可以运行的时间减去
            curTime = nextTask.arrived
        # 如果当前正在运行任务的理想结束时间 没有超过 下一个任务的开始时间，则当前任务可以执行完
        else:
            pq.get()
            print(f"{curtTask.taskId} {curTask_endTime}")  # 打印执行完的任务的id和结束时间
            curTime = curTask_endTime

            # 如果当前任务结束时，下一次任务还没有达到，那么存在CPU空转(即idle)
            if nextTask.arrived > curTask_endTime:
                # 此时，我们应该从优先队列中取出最优先的任务出来执行，逻辑同上
                while pq.qsize() > 0:
                    idleTask = pq.queue[0]
                    idleTask_endTime = curTime + idleTask.need

                    if idleTask_endTime > nextTask.arrived:
                        idleTask.need -= nextTask.arrived - curTime
                        break
                    else:
                        pq.get()
                        print(f"{idleTask.taskId} {idleTask_endTime}")
                        curTime = idleTask_endTime

                curTime = nextTask.arrived
```

Python算法源码

Pytho可以基于queue.PriorityQueue来实现优先队列，但是queue.PriorityQueue的自定义排序不支持函数参数传入，而是只能基于queue.PriorityQueue加入的元素的自身比较器（如__lt__和__gt__）来排序

复制

```python
import queue


class Task:
    def __init__(self, taskId, priority, need, arrived):
        self.taskId = taskId
        self.priority = priority
        self.need = need
        self.arrived = arrived

    def __gt__(self, other):
        if self.priority != other.priority:
            return other.priority > self.priority
        else:
            return self.arrived > other.arrived


# 算法入口
def getResult(tasks):
    pq = queue.PriorityQueue()

    pq.put(tasks.pop(0))
    curTime = pq.queue[0].arrived  # curTime记录当前时刻

    while len(tasks) > 0:
        curtTask = pq.queue[0]  # 当前正在运行的任务curtTask
        nextTask = tasks.pop(0)  # 下一个任务nextTask

        curTask_endTime = curTime + curtTask.need  # 当前正在运行任务的"理想"结束时间

        # 如果当前正在运行任务的理想结束时间  超过了  下一个任务的开始时间
        if curTask_endTime > nextTask.arrived:
            curtTask.need -= nextTask.arrived - curTime  # 先不看优先级，先将当前任务可以运行的时间减去
            curTime = nextTask.arrived
        # 如果当前正在运行任务的理想结束时间  没有超过  下一个任务的开始时间，则当前任务可以执行完
        else:
            pq.get()
            print(f"{curtTask.taskId} {curTask_endTime}")  # 打印执行完的任务的id和结束时间
            curTime = curTask_endTime

            # 如果当前任务结束时，下一次任务还没有达到，那么存在CPU空转(即idle)
            if nextTask.arrived > curTask_endTime:
                # 此时，我们应该从优先队列中取出最优先的任务出来执行，逻辑同上
                while pq.qsize() > 0:
                    idleTask = pq.queue[0]
                    idleTask_endTime = curTime + idleTask.need

                    if idleTask_endTime > nextTask.arrived:
                        idleTask.need -= nextTask.arrived - curTime
                        break
                    else:
                        pq.get()
                        print(f"{idleTask.taskId} {idleTask_endTime}")
                        curTime = idleTask_endTime

                curTime = nextTask.arrived

        pq.put(nextTask)

    # 所有任务都加入优先队列后，我们就可以按照优先队列的安排，顺序取出任务来执行了
    while pq.qsize() > 0:
        pollTask = pq.get()
        pollTask_endTime = curTime + pollTask.need
        print(f"{pollTask.taskId} {pollTask_endTime}")
        curTime = pollTask_endTime


# 输入获取
tasks = []
while True:
    task = input()
    if task == "":
        getResult(tasks)
        break
    else:
        tmp = list(map(int, task.split()))
        task = Task(tmp[0], tmp[1], tmp[2], tmp[3])
        tasks.append(task)
```