

# 数据结构：加里森的任务 实验报告

毛子恒 李臻 张梓靖

2020 年 10 月 11 日

## 小组成员

班级：2019211309

姓名：毛子恒

学号：2019211397

分工：代码 文档

班级：2019211310

姓名：李臻

学号：2019211458

分工：测试 文档

班级：2019211308

姓名：张梓靖

学号：2019211379

分工：可视化 文档

## 目录

1 需求分析	2
2 概要设计	3
3 详细设计	5
4 调试分析报告	7
5 用户使用说明	9
6 测试结果	9
7 可视化	11

# 1 需求分析

## 1.1 题目描述

在由序号为 1 至  $n$  的  $n$  个元素依次排列并且首尾相接而组成的环中，规定初始时从序号 1 开始依次经过 2, 3, ... 元素走到第  $n$  个元素的方向为正方向。

初始时以第  $x$  个元素为起点  $st$ ，重复以下过程  $n-1$  次：以  $st$  为第 1 个元素，沿正方向找到第  $y$  个元素  $del$ ，从环中删除  $del$  元素，再将原  $del$  的下一个元素作为新的  $st$ 。

求经过  $n-1$  次操作之后，环中仅剩的一个元素的序号是否是 1。

## 1.2 输入描述

程序从标准输入中读入数据。输入一行三个整数，用空格分隔，分别表示  $n, x, y$ 。

其中各个值的范围需要满足  $1 < n \leq 10^4$   $0 < x \leq n$   $0 < y \leq 5 \times 10^4$ 。

## 1.3 输出描述

程序向标准输出中输出结果。

输出分为三种情况：

1. 输入合法，程序正常运行结束。此时输出两行，第一行一个字符串“Yes”或者“No”（不带引号），分别表示最后一个元素是/不是 1，第二行一个数字，表示最后一个元素的序号。
2. 输入不合法。此时输出一行一个字符串“Please check your input.”（不带引号）。
3. 程序发生运行时错误，比如内存分配失败。此时程序没有输出。

## 1.4 样例输入输出

### 1.4.1 样例输入输出 1

【输入】

10 1 3

【输出】

No

4

### 1.4.2 样例输入输出 2

【输入】

10 3 7

【输出】

Yes

1

### 1.4.3 样例输入输出 3

【输入】

```
100 87 305
```

【输出】

```
No  
50
```

### 1.4.4 样例输入输出 4

【输入】

```
1000 725 801
```

【输出】

```
No  
798
```

### 1.4.5 样例输入输出 5

【输入】

```
1 1 3
```

【输出】

```
Please check your input.
```

### 1.4.6 样例输入输出 6

【输入】

```
5 6 3
```

【输出】

```
Please check your input.
```

## 1.5 程序功能

程序通过给定的  $n, x, y$  计算出最后环中仅剩的元素序号，并且与 1 比较。

## 2 概要设计

### 2.1 问题解决的思路

使用单循环链表维护此约瑟夫环，首先在链表中依次插入  $n$  个结点表示  $n$  名队员，以  $now$  指针模拟计数过程。从头结点找到第  $x$  个结点，此后执行以下操作  $n - 1$  次：找到当前结点之后的第  $y - 1$  个结点，删除这个结点。此题中单循环链表实现了初始化、判空、在指定位置增加节点、删除指定位置的节点、释放空间这五种操作。

## 2.2 链表的定义

```
1 // 数据对象
2 typedef struct node
3 {
4     int item;
5     struct Node * next;
6 } Node;
7
8 typedef Node * List;
9
10 // 基本操作
11 /*
12  * 操作：初始化链表
13  * 后件：plist指向一个循环链表的头结点
14  */
15 void initList(List * plist);
16
17 /*
18  * 操作：判断链表是否为空
19  * 前件：list是循环链表的头结点
20  * 后件：如果该链表为空，返回true，否则返回false
21  */
22 bool isEmpty(const List list);
23
24 /*
25  * 操作：向链表的某个节点后插入一个节点
26  * 前件：pnode是链表中的某一个节点
27  * 后件：如果成功，pnode之后添加一个新节点，item属性为传入的第二个参数
28  */
29 void addNode(List pnode, int item);
30
31 /*
32  * 操作：删除链表中指定的节点
33  * 前件：pnode是需要删除的节点的前驱且不是头结点
34  * 后件：删除链表中的pnode节点的后继
35  */
36 void delNode(List pnode);
37
38 /*
39  * 操作：找到链表中某一节点的后继
40  * 前件：pnode指向链表中的某一个节点
41  * 后件：函数返回pnode的后继，并且跳过头结点
42  */
43 List nextNode(const List pnode);
44
45 /*
46  * 操作：释放链表空间
47  * 前件：plist指向需要释放空间的链表的头结点
```

```

48 * 后件：释放plist指向链表的空间，plist重置为空指针
49 */
50 void destroyList(List * plist);

```

## 2.3 主程序的流程

1. 输入
2. 初始化链表
3. 在链表中依次插入  $n$  个结点
4. 找到第  $x$  个结点
5. 循环  $n - 1$  次：找到当前节点之后的第  $y - 1$  个结点，删除这个结点
6. 输出
7. 释放空间

## 2.4 各程序模块之间的层次关系

函数调用关系图如图 1。

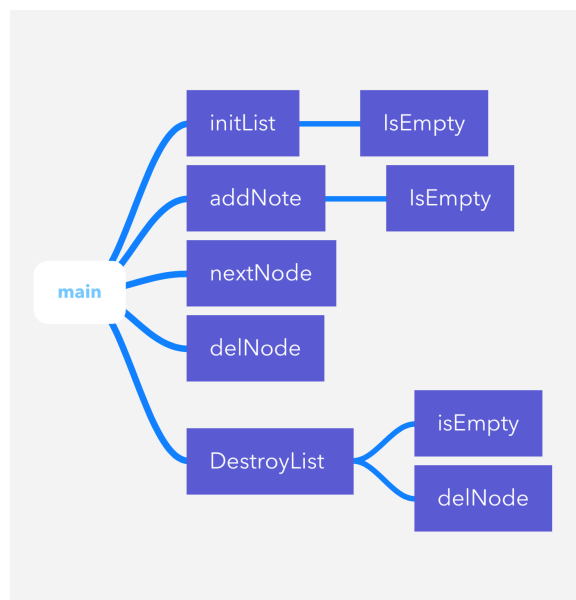


图 1: 函数的调用关系

## 3 详细设计

### 3.1 链表的实现

链表设计中基本操作的伪代码算法如下：

```
1 void initList(List * plist) // 初始化链表
2 {
3     给*plist分配内存
4     if (*plist内存分配失败)
5         异常退出
6     (*plist)->item <- 0 // 创建空的头结点
7     (*plist)->next <- *plist
8 }
9
10 bool isEmpty(const List list) // 判断链表是否为空
11 {
12     if (List的后继为自身) 返回1
13     else 返回0
14 }
15
16 void addNode(List pnode, int item) // 向链表的某个节点后插入一个节点
17 {
18     创建newNode结点, 分配内存
19     if (newNode内存分配失败)
20         异常退出
21     newNode->item <- item
22     newNode->next <- pnode->next // 将newNode插入链表内
23     pnode->next <- newNode
24 }
25
26 List nextNode(const List pnode) // 找到链表中某一节点的后继
27 {
28     定义nItem为pnode的后继
29     if (nItem是头节点)
30         nItem指向它的后继
31     返回 nItem
32 }
33
34 void delNode(List pnode) // 删除链表中指定的节点
35 {
36     定义delNode为pnode的后继
37     if (delNode是头节点)
38         pnode <- delNode, delNode <- delNode->next // pnode和delNode都指向他们的后继
39     pnode->next <- delNode->next // 从链表中移除delNode结点
40     释放delNode
41 }
42
43 void destroyList(List * plist) // 释放链表空间
44 {
45     while (*plist不为空)
46         删除*plist的后继
47     释放*plist
48     *plist <- NULL
```

## 3.2 函数的调用关系图

如 2.4 所示。

# 4 调试分析报告

## 4.1 调试过程中遇到的问题和思考

初步实现完成后代码即通过样例测试。之后程序多次对边界条件、不合法输入和异常情况进行优化。

## 4.2 设计实现的回顾讨论

由于链表的删除操作实现是删除给定结点的后继，所以 *now* 指针始终指向当前正在计数元素的前驱。

由于单循环链表中存在一个特殊的头结点，所以另实现一个函数，返回某个结点的后继（跳过头结点）。

代码实现过程中，删除操作的细节：由于 *now* 指向正在计数结点的前驱，删除某个结点之后 *now* 仍然指向原来被删节点的前驱，之后执行  $y - 1$  次寻找后继操作，*now* 便指向下一个待删除结点的前驱。

由于主函数对函数的调用足够严密，所以链表的实现没有考虑不符合前件的情况。

由于链表元素均为 *int* 类型，所以链表的实现中没有对元素类型进行抽象，并且多次使用赋值运算符更改元素值。

## 4.3 算法复杂度分析

*initList*, *isEmpty*, *addNode*, *nextNode*, *delNode* 函数的时间复杂度均为  $O(1)$ 。

*destroyList* 函数的时间复杂度为  $O(n)$ ，但是由于主程序调用该函数时链表中一定只有 2 个结点，故时间复杂度为  $O(1)$ 。

主程序复杂度为  $O(n^2)$ ，整体时间复杂度为  $O(n^2)$ 。

## 4.4 改进设想的经验和体会

### 4.4.1 改进 1

在主程序的这一部分：

```
1 for (int i = 1; i <= n; ++i) // 逐个添加元素
2 {
3     addNode(now, i);
4     now = nextNode(now);
5 }
6 now = list;
7 for (int i = 1; i < x; ++i) // 找到第x个元素的前驱
8     now = nextNode(now);
```

可以另用一个指针变量在向链表逐个添加元素的同时记录第  $x - 1$  个元素的位置，以省去第二个循环。优化后的实现如下：

```
1 List temp = NULL;
2 for (int i = 1; i <= n; ++i)
3 {
4     addNode(now, i);
5     now = nextNode(now);
6     if (i == x - 1) temp = now;
7 }
8 now = temp;
```

#### 4.4.2 改进 2

在主程序的这一部分：

```
1 for (int i = 1; i < n; ++i)
2 {
3     for (int j = 1; j < y; ++j)
4         now = nextNode(now);
5     delNode(list, now);
6 }
```

对于有  $n-i+1$  个元素的环，找到当前元素之后的第  $y-1$  个元素和找到当前元素之后的第  $(y-1) \bmod (n-i+1)$  个元素并无区别。优化后的实现如下：

```
1 for (int i = 1; i < n; ++i)
2 {
3     for (int j = 1; j <= (y - 1) % (n - i + 1); ++j)
4         now = nextNode(now);
5     delNode(list, now);
6 }
```

当  $y$  比  $n$  大的时候对时间复杂度有很可观的优化。

#### 4.4.3 改进 3

约瑟夫问题有时间复杂度为  $O(n)$  的递归解法，现论述如下：

假设对于有  $n$  个元素的环，序号为 0 至  $n-1$ ，以序号为 0 的元素为起点，删去第  $y$  个元素，即序号为  $y-1$  的元素，之后进行下一次删除。

而根据题意，下一次删除应该从被删除元素的下一个元素开始计数，所以可以将整体序号减去  $y$  再对  $n$  取余数，得到新的序号，范围是 0 至  $n-2$ ，然后再以 0 为起点重复删除操作。

最后一次删除和序号变化之后，剩余一个序号为 0 的元素。可以根据上述操作的逆过程推出这个元素在初始状态下的序号。

由于题目规定了起点的序号为  $x$ ，所以还要再进行一次类似的整体序号位移，另外题目中序号为 1 至  $n$ ，给求得答案 +1 得到题目要求的答案。

该解法的实现如下：

```
1 #include <stdio.h>
2
3 int main()
```



```
4 {  
5     int n, x, y;  
6     scanf("%d%d", &n, &x, &y);  
7     int ans = 0;  
8     for (int i = 2; i <= n; ++i)  
9         ans = (ans + y) % i;  
10    printf("%d\n", (ans + x - 1) % n + 1);  
11    return 0;  
12 }
```

这个程序 (main1.c) 被用于测试环节，用来验证原解法的正确性。

## 5 用户使用说明

在 Linux bash/macOS zsh 中的命令如下：

使用 gcc 编译生成可执行文件。

```
gcc -o main -std=c11 main.c list.c
```

执行可执行文件：

```
./main
```

之后通过标准输入输入数据，输入格式参考 1.2 节的输入描述，结果通过标准输出返回。如果输入合法并且程序正常运行结束，主函数返回值为 0。

## 6 测试结果

测试环节分为四个步骤。

### 6.1 测试第一部分

对 1.4 节给出的样例进行测试。

### 6.2 测试第二部分

在 delNode 函数中添加输出语句，输出每一轮计数时的第  $y$  个元素，输入小样例，将输出与手动模拟结果比对。

【输入】

```
10 1 3
```

【输出】

```
3  
6  
9  
2  
7  
1  
8
```

```
5
10
No
4
4
```

此样例中环中删除的元素依次为 3,6,9,2,7,1,8,5,10,4, 与模拟结果相符。

### 6.3 测试第三部分

测试非法输入和边界条件。

【输入】

```
5 -1 2
```

【输出】

```
Please check your input.
```

【输入】

```
5 2 -1
```

【输出】

```
Please check your input.
```

【输入】

```
1000000 256 512
```

【输出】

```
Please check your input.
```

【输入】

```
10000 5723 4627
```

【输出】

```
No
5180
```

### 6.4 测试第四部分

将原解法与 4.4.3 中的改进解法比对。

测试在 macOS Catalina 10.15.6 下进行。

在  $n \leq 10$ ,  $n \leq 1000$ ,  $n \leq 10000$  的范围下分别随机生成 1000 组测试数据, 分别传入 main 和 main1, 并且比对两程序的输出。

3000 组数据中两程序的输出均相同。

数据生成程序 (data.cpp) 如下:

```
1 #include <bits/stdc++.h>
2 using namespace std;
3
4 const int LIMIT = 98;
5
6 int main()
7 {
8     srand(time(0));
9     int n, x, y;
10    n = rand() % LIMIT + 2;
11    x = rand() % n + 1;
12    y = rand() % (n * 3) + 2;
13    printf("%d %d %d\n", n, x, y);
14    return 0;
15 }
```

比对脚本 (chk.cpp) 如下：

```
1 #include <bits/stdc++.h>
2 using namespace std;
3 int main()
4 {
5     int T = 1000;
6     while (T--)
7     {
8         system("./data >in.in");
9         system("./main <in.in >out.out");
10        system("./main1 <in.in >out1.out");
11        if (system("diff out.out out1.out"))
12            break;
13        puts("Correct");
14    }
15    return 0;
16 }
```

## 7 可视化

### 7.1 过程可视化

使用 JavaScript 实现过程可视化。

#### 7.1.1 实现细节

程序运行后，读取用户输入的  $n, x, y$  参数，进行参数类型转换。通过 `document.getElementById` 获取画布。创建双链表。以上三者存放在然后存放到 `simulator` 的 `store` 成员中。

通过  $2\pi$  均分获取角度差，通过画布的长宽确定中心点。一中心点为圆心，通过  $\text{center.x} + \text{radius} * \text{Math.cos}(\text{deltaDegree} * i)$ ；和  $\text{center.y} + \text{radius} * \text{Math.sin}(\text{deltaDegree} * i)$ ；分别计算各个圆的位置。使用 20 作为半径绘制圆。分别在个

圆上绘制文本。通过定时器模拟人员活动，每 100 毫秒执行。根据存活状况更新各个圆的颜色，通过 `currentNode` 和 `flag` 局部变量存放当前节点和跳过人数。当剩余一个人时停止计时。

使用 JavaScript 实现双向链表模拟环中元素的关系。

### 7.1.2 用户使用说明

使用现代浏览器打开 `Animation/index.html`，根据提示输入  $n, x, y$ ，要求输入合法且  $1 < n < 40$ ，之后页面展示一段动画，内容为约瑟夫问题的过程。

### 7.1.3 示例

见图 2。

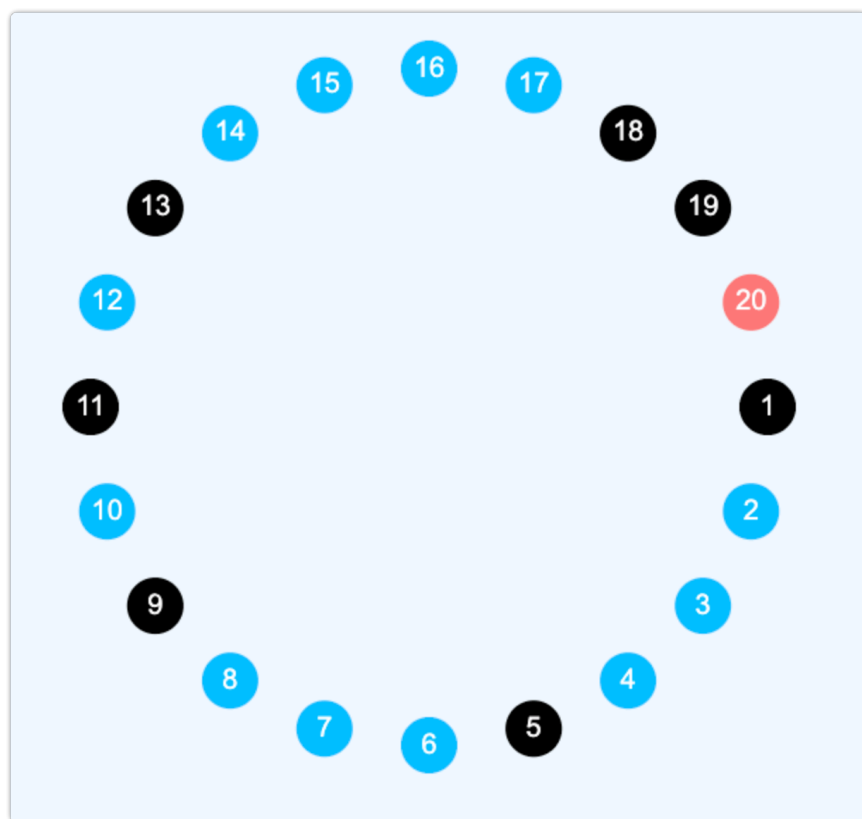


图 2: 过程可视化示例

## 7.2 结果可视化

使用 JavaScript 实现结果可视化。

### 7.2.1 实现细节

程序运行后，读取用户输入的  $n$  参数，之后利用使用 JavaScript 实现的 4.4.3 节改进算法计算  $1 \leq x \leq n, 1 \leq y \leq n$  中的所有解，导出为点集。

使用 Highcharts 库绘制 3D 散点图，展示所求出的点集。

### 7.2.2 用户使用说明

使用现代浏览器打开 `Scatter/index.html`，根据提示输入  $n$ ，要求  $1 < n \leq 25$ ，之后页面展示一张散点图。拖动该散点图可以旋转，将鼠标指针放到某个点上可以看到该点的值。

### 7.2.3 示例

见图 3。

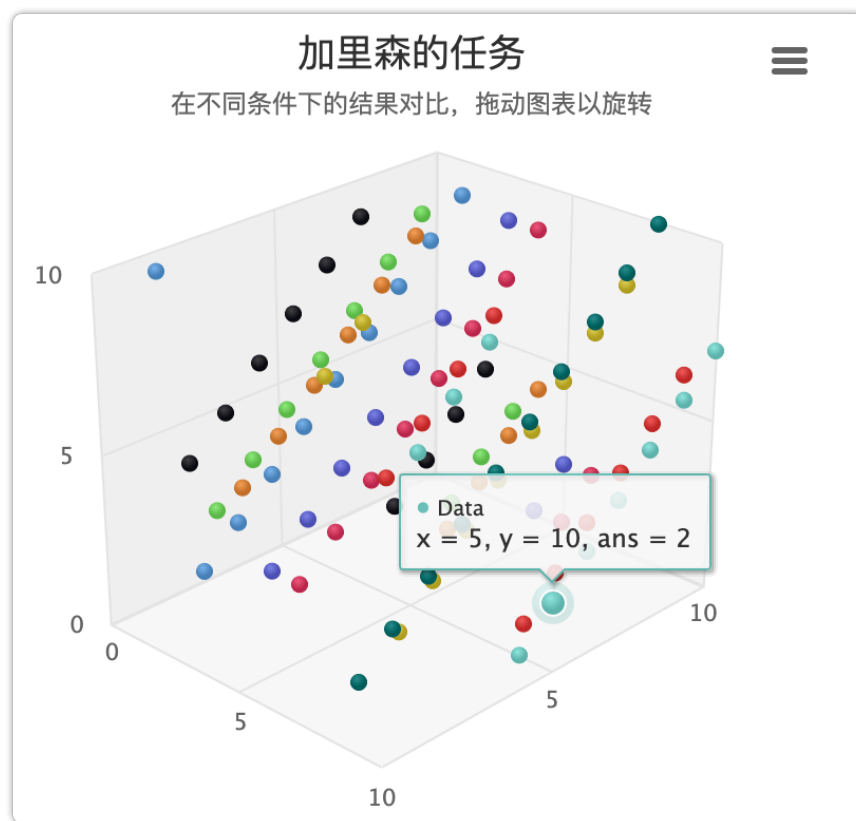


图 3: 结果可视化示例

### 7.2.4 结论

可以明显地看出，当  $n$  一定， $y$  一定时，由于  $x$  增加 1 时  $ans$  也对应地增加 1，所以这些点分布在一条直线上。