中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

编程基础-2

切片与递归

简版快速排序程序fastsort.go

编程基础实验安排

<table>
<tr><th>周次</th><th>日期</th><th>实验课</th><th>课程内容</th><th>作业提交内容</th><th>截止时间</th></tr>
<tr><td>2</td><td>3月7日</td><td>编程基础-1</td><td rowspan="2">从hello到Name2Number.go
基本数据类型、基本语句、循环</td><td>name_to_number-0.go文件与程序结果</td><td rowspan="4">2025/3/23 23:30</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td rowspan="2">3月14日</td><td rowspan="2">编程基础-2</td><td>Name2Number.go文件与程序结果</td></tr>
<tr><td>切片与递归
简版快速排序程序fastsort.go</td><td>fastsort.go文件与程序中间结果</td></tr>
<tr><td>4</td><td>3月21日</td><td>编程基础-3</td><td>斐波那契计算机</td><td>RFC</td></tr>
</table>

- 作业提交后会立刻返回成绩。
- 在截止时间前四次作业均可反复多次提交。

提纲

- 目标：
  - 修改Name2Number.go，掌握for循环
  - 开发出fastsort.go排序程序，理解递归与切片

- 步骤
  - 理解并重现Name2Number.go，用你自己的姓名拼音和循环
  - 使用8元素例子理解fastsort排序算法
  - 理解fastsort.go程序框架
  - 现场实现课程提供的fastsort.go程序
  - 验证你的fastsort.go程序的正确性
  - 提交你的fastsort.go程序

课件中包含教科书未包括的素材引用，特此致谢

1 采用占位符%c实现格式动词%d

name_to_number-0.go

```
package main
import "fmt"
func main() {
    var name string = "Alan Turing"
    sum := 0
    for i := 0; i < 11; i++ {
        sum = sum + int(name[i])
    }
    fmt.Printf("%d\n", sum)
}
```

Name2Number.go

```
package main
import "fmt"
func main() {
    var name string = "Alan Turing"
    sum := 0
    for i := 0; i < 11; i++ {
        sum = sum + int(name[i])
    }
    var sum_bytes [4]byte
    var j int
    for j = 3; sum != 0; j-- {
        sum_bytes[j] = byte(sum%10) + '0'
        sum = sum / 10
    }
    fmt.Printf("%c", sum_bytes[0])
    fmt.Printf("%c", sum_bytes[1])
    fmt.Printf("%c", sum_bytes[2])
    fmt.Printf("%c", sum_bytes[3])
    fmt.Printf("\n")
}
```

```
> ./name_to_number-0
> 1045
>
```

```
> ./Name2Number
> 1045
>
```

1 采用占位符%c实现格式动词%d

name_to_number-0.go → Name2Number.go

```
fmt.Printf("%d\n", sum)
```

→

```
var sum_bytes [4]byte
var j int
for j = 3; sum != 0; j-- {
    sum_bytes[j] = byte(sum%10) + '0'
    sum = sum / 10
}
fmt.Printf("%c", sum_bytes[0])
fmt.Printf("%c", sum_bytes[1])
fmt.Printf("%c", sum_bytes[2])
fmt.Printf("%c", sum_bytes[3])
fmt.Printf("\n")
```

```
> ./name_to_number-0
> 1045
>
```

```
> ./Name2Number
> 1045
>
```

如何用%c实现%d?

```
package main
import "fmt"
func main() {
    var name string = "Alan Turing"
    sum := 0
    for i := 0; i < 11; i++ {
        sum = sum + int(name[i])
    }
    var sum_bytes [4]byte
    var j int
    for j = 3; sum!= 0; j-- {
        sum_bytes[j] = byte(sum%10) + '0'
        sum = sum / 10
    }

    fmt.Printf("%c", sum_bytes[0])
    fmt.Printf("%c", sum_bytes[1])
    fmt.Printf("%c", sum_bytes[2])
    fmt.Printf("%c", sum_bytes[3])
    fmt.Printf("\n")
}
```

用字符占位符%c
实现十进制占位符 %d

```
fmt.Printf("%d\n", sum)
```

如何用%c实现%d?

```
for j = 3; sum!= 0; j-- {
  sum_bytes[j] = byte(sum%10) + '0'
  sum = sum / 10
}
```

```
fmt.Printf("%c", sum_bytes[0])
fmt.Printf("%c", sum_bytes[1])
fmt.Printf("%c", sum_bytes[2])
fmt.Printf("%c", sum_bytes[3])
```

使用整数除法 / 和求余 % 操作，
从数值**1045**依次摘取出数字**5, 4, 0, 1**

```
sum % 10
sum = sum / 10
```

sum_bytes[3]	1045 % 10 = 5
sum	1045 / 10 = 104
sum_bytes[2]	104 % 10 = 4
sum	104 / 10 = 10
sum_bytes[1]	10 % 10 = 0
sum	10 / 10 = 1
sum_byte[0]	1 % 10 = 1
sum	1 / 10 = 0

```
sum_bytes = ['1', '0', '4', '5']
  数组索引     0    1    2    3
```

四个打印语句
`fmt.Printf("%c", …)`
依次打印出1, 0, 4, 5四个字符

为什么要做类型转换

sum_bytes[j] = byte(sum%10) + ‘0’ 而不是sum_bytes[j] = sum % 10

```
package main
import "fmt"
func main() {
    var name string = "Alan Turing"
    sum := 0
    for i := 0; i < 11; i++ {
        sum = sum + int(name[i])
    }
    // 此时，sum == 1045
    var sum_bytes [4]byte
    var j int
    for j = 3; sum != 0; j-- {
        sum_bytes[j] = byte(sum%10) + '0'
        sum = sum / 10
    }
    fmt.Printf("%c", sum_bytes[0])
    fmt.Printf("%c", sum_bytes[1])
    fmt.Printf("%c", sum_bytes[2])
    fmt.Printf("%c", sum_bytes[3])
    fmt.Printf("\n")
}
```

sum_bytes 是一个 byte 数组
sum_byte[j] 的类型是 byte，
但是 sum 的类型是 int

假设 j=3 (最初)
sum 是 1045,
sum % 10 是 1045%10 = 5, 为 int
00000000……00000101

byte(sum%10), i.e., byte(5)
把这个 64-bit 的值转换成一个uint8 类型的数字，值为00000101

```
  byte(5)+ '0'
= 5 + 48
= 00000101 + 00110000
= 00110101 = 53 = '5'
```

因此, sum_bytes[3] 是 '5'

请每位同学提交Name2Number.go

```
package main  // Name2Number.go
import "fmt"
func main() {
   var name string = "Alan Turing"

   sum := 0
   for i := 0; i < len(name); i++ {
       sum = sum + int(name[i])
   }
   var sum_bytes [4]byte
   var j int
   for j = 3; sum != 0; j-- {
      sum_bytes[j] = byte(sum%10) + '0'
      sum = sum / 10
   }
   fmt.Printf("%c", sum_bytes[0])
   fmt.Printf("%c", sum_bytes[1])
   fmt.Printf("%c", sum_bytes[2])
   fmt.Printf("%c", sum_bytes[3])
   fmt.Printf("\n")
}
```

使用你自己的姓名拼音，如"Zhang San"

使用一个循环替换此处的四个打印语句`fmt.Printf("%c", …)`

作业提交要求：

1. 替换成姓名的拼音：请与国科大邮箱一致。例如邮箱是zhangsan24@mails.ucas.ac.cn，则姓名拼音是"Zhang San" (每个字拼音首字母大写，之间用1个空格隔开)
2. 使用一个循环替换四个打印语句`fmt.Printf("%c", …)`
3. 其他部分代码不要修改！

作业提交链接：https://course.things.ac.cn:10088/exp/basic_programming

作业提交截止时间：2025/3/23 23:30

2 课堂上讲的简版快速排序算法fastsort

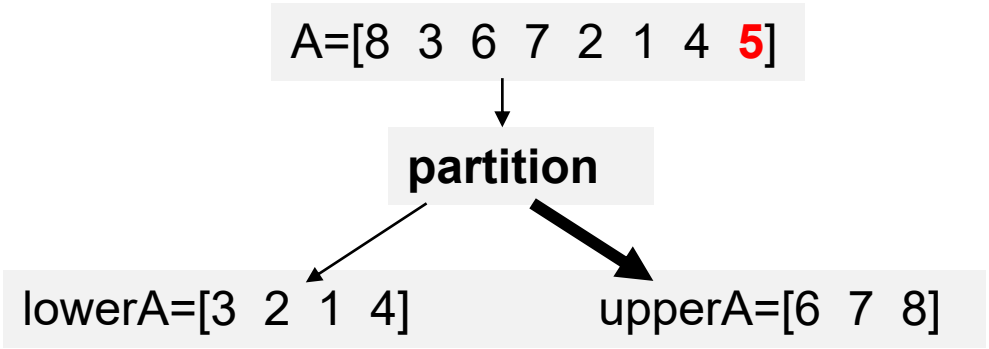
- 输入：8元素整数数组d = [8 3 6 7 2 1 4 5] *（假定没有重复元素）*
- 输出：8元素整数数组d = [1 2 3 4 5 6 7 8]
  - 元素从小到大排好序了
- 步骤： 调用fastsort(d)。

函数fastsort(A)的计算过程如下：

1. 基线情况（base case）：
   如果A只包含0个元素（如[]）或1个元素（如[3]），fastsort(A)结束
2. 选择A的最后一个元素作为标杆元素（pivot）
3. 调用划分函数partition
   - 将小于标杆元素的元素放入lowerA子数组（称为小数组）中
   - 将大于标杆元素的元素放入upperA子数组（称为大数组）中
4. 递归调用fastsort(lowerA)
5. 递归调用fastsort(upperA)

lowerA和upperA中元素的顺序是由partition函数的算法唯一确定的，目前先不考虑

如何体现递归与切片

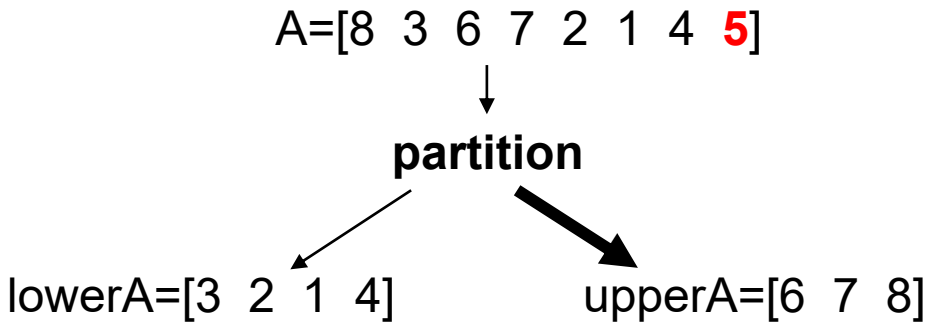


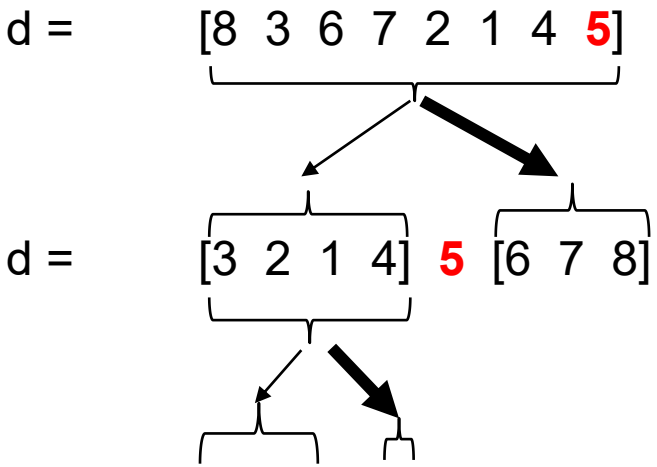
2 课堂上讲的简版快速排序算法fastsort

函数fastsort(A)的计算过程如下：

1. 基线情况（base case）：如果A只包含0个元素（如[]）或1个元素（如[3]），fastsort(A)结束
2. 选择A的最后一个元素作为标杆元素（pivot）
3. 调用划分函数partition

   将小于标杆元素的元素放入lowerA子数组（称为小数组）中，将大于标杆元素的元素放入upperA子数组（称为大数组）中
4. 递归调用`fastsort(lowerA)`
5. 递归调用`fastsort(upperA)`





d = [] 1 [2 3] 4 5 [6 7 8]
d = 1 [2] 3 [] 4 5 [6 7 8]
d = 1 [] 2 [] 3 4 5 [6 7 8]
d = 1 2 3 4 5 [6 7] 8 []
d= 1 2 3 4 5 [6] 7 [] 8
d = 1 2 3 4 5 [] 6 [] 7 8
d = 1 2 3 4 5 6 7 8

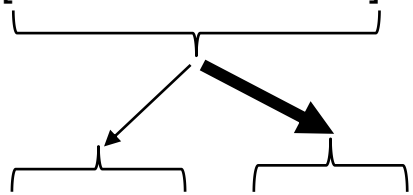
如何体现递归与切片

执行过程的简略表示可能引起误解

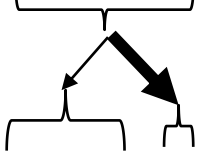
len(A)<2时，fastsort(A)直接退出

无省略的执行过程

d = [8 3 6 7 2 1 4 **5**]



d = [3 2 1 4] **5** [6 7 8]

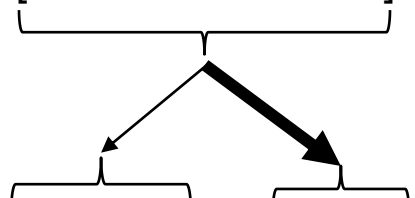


d = [3 2 1] **4** [] 5 [6 7 8]

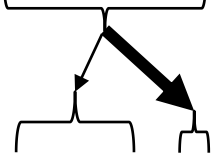
d = [] **1** [2 3] 4 5 [6 7 8]
d = 1 [2] **3** [] 4 5 [6 7 8]
d = 1 [] **2** [] 3 4 5 [6 7 8]
d = 1 2 3 4 5 [6 7] **8** []
d= 1 2 3 4 5 [6] **7** [] 8
d = 1 2 3 4 5 [] **6** [] 7 8
d = 1 2 3 4 5 6 7 8

fs([8 3 6 7 2 1 4 5])
fs([3 2 1 4])
fs([3 2 1])
fs([])
fs([2 3])
fs([2])
fs([])
fs([])
fs([6 7 8])
fs([6 7])
fs([6])
fs([])
fs([])

d = [8 3 6 7 2 1 4 **5**]



d = [3 2 1 **4**] 5 [6 7 8]



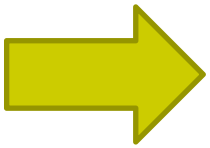
d = [3 2 **1**] 4 [] 5 [6 7 8]

d = [] 1 [2 3] 4 [] 5 [6 7 8]
d = 1 [2 **3**] 4 [] 5 [6 7 8]
d = 1 [2] 3 [] 4 [] 5 [6 7 8]
d = 1 2 3 [] 4 [] 5 [6 7 8]
d = 1 2 3 4 [] 5 [6 7 8]
d = 1 2 3 4 5 [6 7 **8**]
d = 1 2 3 4 5 [6 **7**] 8 []
d= 1 2 3 4 5 [6] 7 [] 8 []
d = 1 2 3 4 5 6 7 [] 8 []
d = 1 2 3 4 5 6 7 8 []
d = 1 2 3 4 5 6 7 8

3. 从算法导出程序fastsort.go

简版快速排序算法

- 输入：8元素整数数组d = [8 3 6 7 2 1 4 5]
- 输出：8元素整数数组d = [1 2 3 4 5 6 7 8]
- 步骤：调用fastsort(d)



- 函数fastsort(A)的计算过程如下：
  1. …

- 函数partition(A)的计算过程如下：
  1. …

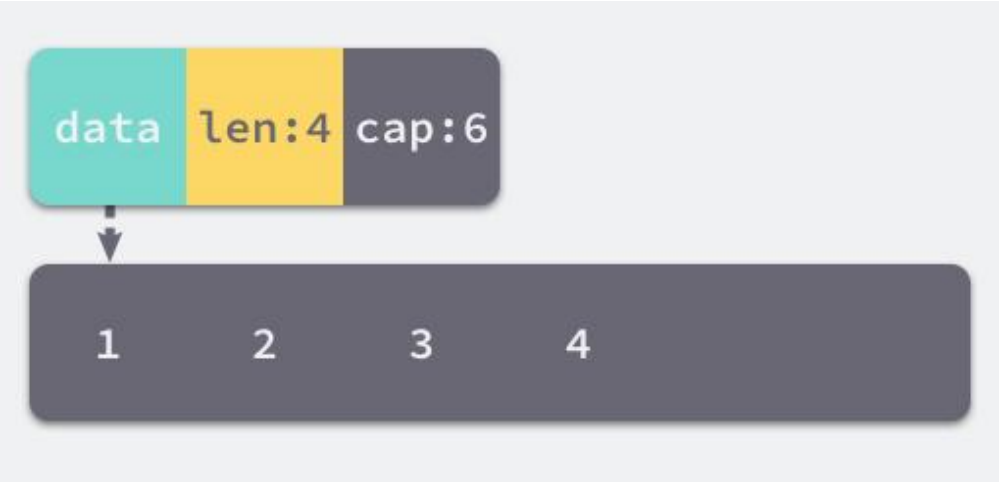
```
package main  // fastsort.go
import "fmt"
var d [8]int = [8]int {8,3,6,7,2,1,4,5}
var s []int = d[0:8]
func main() {
   fastsort(s)
   fmt.Println(s)
}

func fastsort(A []int) { … }

func partition(A []int) ([]int, []int)
{ … }
```

切片和数组

```
type SliceHeader struct {
    // Data 指向数组的指针
    Data uintptr
    // Len 当前切片的长度
    Len  int
    // Cap 当前切片的容量，即 Data 数组的大小
    Cap  int
}
```

切片与数组的关系非常密切：
切片引入了一个抽象层，提供了对数组中部分连续片段的引用

```
s := d[0:4]
```

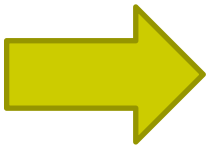



```
d := []int{1, 2, 3, 4, 5, 6}
```

3. 从算法导出程序fastsort.go

简版快速排序算法

- 输入：8元素整数数组d = [8 3 6 7 2 1 4 5]
- 输出：8元素整数数组d = [1 2 3 4 5 6 7 8]
- 步骤：调用fastsort(d)



```
package main  // fastsort.go
import "fmt"
var d [8]int = [8]int {8,3,6,7,2,1,4,5}
var s []int = d[0:8]
func main() {
   fastsort(s)
   fmt.Println(s)
}

func fastsort(A []int) { … }

func partition(A []int) ([]int, []int)
{ … }
```

- 函数fastsort(A)的计算过程如下：
  1. …

- 函数partition(A)的计算过程如下：
  1. …

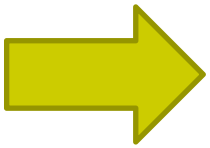
理解切片和数组：

- 在main调用fastsort(s)前，s[0]的值是多少？

3. 从算法导出程序fastsort.go

简版快速排序算法

- 输入：8元素整数数组d = [8 3 6 7 2 1 4 5]
- 输出：8元素整数数组d = [1 2 3 4 5 6 7 8]
- 步骤：调用fastsort(d)



```
package main  // fastsort.go
import "fmt"
var d [8]int = [8]int {8,3,6,7,2,1,4,5}
var s []int = d[0:8]
func main() {
   fastsort(s)
   fmt.Println(s)
}

func fastsort(A []int) { … }

func partition(A []int) ([]int, []int)
{ … }
```

- 函数fastsort(A)的计算过程如下：
  1. …

- 函数partition(A)的计算过程如下：
  1. …

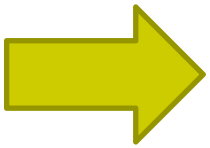
理解切片和数组：

- 执行fastsort(s)之后，d[0]的值是多少？

3. 从算法导出程序fastsort.go

简版快速排序算法

- 输入：8元素整数数组d = [8 3 6 7 2 1 4 5]
- 输出：8元素整数数组d = [1 2 3 4 5 6 7 8]
- 步骤：调用fastsort(d)



```
package main  // fastsort.go
import "fmt"
var d [8]int = [8]int {8,3,6,7,2,1,4,5}
var s []int = d[0:8]
func main() {
   fastsort(s)
   fmt.Println(s)
}

func fastsort(A []int) { … }

func partition(A []int) ([]int, []int)
{ … }
```

- 函数fastsort(A)的计算过程如下：
  1. …

- 函数partition(A)的计算过程如下：
  1. …

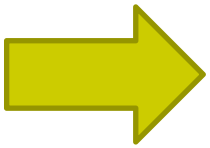
理解切片和数组：

- 若把“fastsort(s)”改成“fastsort(d)”，该程序还能正确执行吗？
  - 若不能，会产生编译错误还是运行时错误？

3. 从算法导出程序fastsort.go

简版快速排序算法

- 输入：8元素整数数组d = [8 3 6 7 2 1 4 5]
- 输出：8元素整数数组d = [1 2 3 4 5 6 7 8]
- 步骤：调用fastsort(d)



```
package main  // fastsort.go
import "fmt"
var d [8]int = [8]int {8,3,6,7,2,1,4,5}
var s []int = d[0:8]
func main() {
   fastsort(s)
   fmt.Println(s)
}

func fastsort(A []int) { … }

func partition(A []int) ([]int, []int)
{ … }
```

- 函数fastsort(A)的计算过程如下：
  1. …

- 函数partition(A)的计算过程如下：
  1. …

理解切片和数组：

- 若把“fmt.Println(s)”改成“fmt.Println(d)”，程序打印的内容还跟原来相同吗？

3. 理解fastsort.go

简版快速排序算法

- 输入：8元素整数数组d = [8 3 6 7 2 1 4 5]
- 输出：8元素整数数组d = [1 2 3 4 5 6 7 8]
- 步骤：调用fastsort(d)

- 函数fastsort(A)的计算过程如下：
  1. 基线情况：如果A只包含0个元素（如[]）或1个元素（如[3]），fastsort(A)结束
  2. 选择A的最后一个元素作为标杆元素（pivot）
  3. 调用函数partition(A)
  4. 递归调用fastsort(lowerA)
  5. 递归调用fastsort(upperA)

- 函数partition(A)的计算过程如下：
  1. …

```
package main  // fastsort.go
import "fmt"
var d [8]int = [8]int {8,3,6,7,2,1,4,5}
var s []int = d[0:8]
func main() {
   fastsort(s)
   fmt.Println(s)
}

func fastsort(A []int) {
 if len(A) < 2 {  // 判断是不是基线情况
       return           // 是，退出
   }
   lowerA, upperA := partition(A)
   fastsort(lowerA) // 递归排序小数组
   fastsort(upperA) // 递归排序小数组
}

func partition(A []int) ([]int, []int)
{ … }
```

3. 理解fastsort.go

简版快速排序算法

- 输入：8元素整数数组d = [8 3 6 7 2 1 4 5]
- 输出：8元素整数数组d = [1 2 3 4 5 6 7 8]
- 步骤：调用fastsort(d)

- 函数fastsort(A)的计算过程如下：
  1. 基线情况：如果A只包含0个元素（如[]）或1个元素（如[3]），fastsort(A)结束
  2. 选择A的最后一个元素作为标杆元素（pivot）
  3. 调用函数partition(A)
  4. 递归调用fastsort(lowerA)
  5. 递归调用fastsort(upperA)

- 函数partition(A)的计算过程如下：
  1. …

- 若删除此块代码，程序还能正确打印结果吗？
  - 若不能，会产生编译错误还是运行时错误？

```
package main  // fastsort.go
import "fmt"
var d [8]int = [8]int {8,3,6,7,2,1,4,5}
var s []int = d[0:8]
func main() {
   fastsort(s)
   fmt.Println(s)
}

func fastsort(A []int) {
   if len(A) < 2 {  // 判断是不是基线情况
         return           // 是，退出
   }
   lowerA, upperA := partition(A)
   fastsort(lowerA) // 递归排序小数组
   fastsort(upperA) // 递归排序小数组
}

func partition(A []int) ([]int, []int)
{ … }
```

3. 理解fastsort.go

简版快速排序算法

- 输入：8元素整数数组d = [8 3 6 7 2 1 4 5]
- 输出：8元素整数数组d = [1 2 3 4 5 6 7 8]
- 步骤：调用fastsort(d)

- 函数fastsort(A)的计算过程如下：
  1. 基线情况：如果A只包含0个元素（如[]）或1个元素（如[3]），fastsort(A)结束
  2. 选择A的最后一个元素作为标杆元素（pivot）
  3. 调用函数partition(A)
  4. 递归调用fastsort(lowerA)
  5. 递归调用fastsort(upperA)

- 函数partition(A)的计算过程如下：
  1. …

```
package main  // fastsort.go
import "fmt"
var d [8]int = [8]int {8,3,6,7,2,1,4,5}
var s []int = d[0:8]
func main() {
   fastsort(s)
   fmt.Println(s)
}

func fastsort(A []int) {
 if len(A) < 2 {  // 判断是不是基线情况
       return           // 是，退出
   }
   lowerA, upperA := partition(A)
   fastsort(lowerA) // 递归排序小数组
   fastsort(upperA) // 递归排序小数组
}

func partition(A []int) ([]int, []int)
{ … }
```

- 这两行代码是对lowerA和upperA排序，为什么执行完后A会变得有序？

3. 理解fastsort.go

简版快速排序算法

- 输入：8元素整数数组d = [8 3 6 7 2 1 4 5]
- 输出：8元素整数数组d = [1 2 3 4 5 6 7 8]
- 步骤：调用fastsort(d)

- 函数fastsort(A)的计算过程如下：
  1. 基线情况：如果A只包含0个元素（如[]）或1个元素（如[3]），fastsort(A)结束
  2. 选择A的最后一个元素作为标杆元素（pivot）
  3. 调用函数partition(A)
  4. 递归调用fastsort(lowerA)
  5. 递归调用fastsort(upperA)

- 函数partition(A)的计算过程如下：
  1. …

```
package main  // fastsort.go
import "fmt"
var d [8]int = [8]int {8,3,6,7,2,1,4,5}
var s []int = d[0:8]
func main() {
   fastsort(s)
   fmt.Println(s)
}

func fastsort(A []int) {
 if len(A) < 2 {  // 判断是不是基线情况
       return           // 是，退出
   }
   lowerA, upperA := partition(A)
   fastsort(lowerA) // 递归排序小数组
   fastsort(upperA) // 递归排序小数组
}

func partition(A []int) ([]int, []int)
{ … }
```

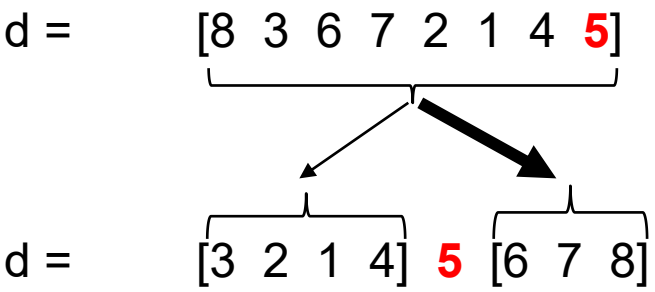
- 为什么fastsort代码中找不到“选择A的最后一个元素作为标杆元素（pivot）” 对应的代码？

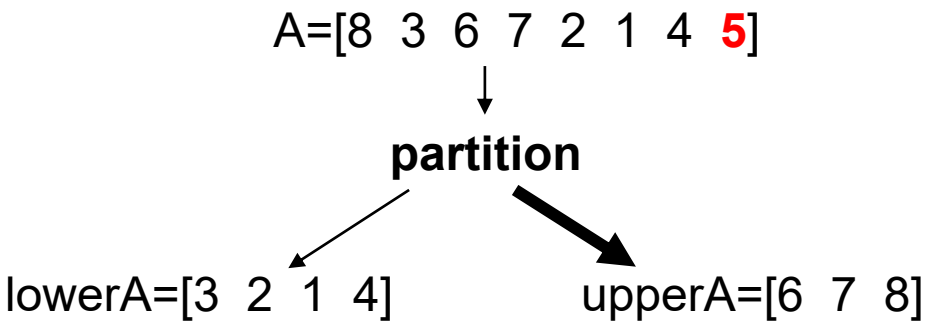
简版快速排序算法fastsort

- **输入**：8元素整数数组d = [8 3 6 7 2 1 4 5]
- **输出**：8元素整数数组d = [1 2 3 4 5 6 7 8]
  - 元素从小到大排好序了
- **步骤**： 调用fastsort(d)。
  函数fastsort(A)的计算过程如下：
  1. 基线情况（base case）
     - 如果A只包含0个或1个元素（如[]，[3]），fastsort(A)结束

  编程假设：选择A的最后一个元素作为标杆元素

  2. 调用划分函数partition
     - 将小于标杆值的元素放入lowerA子数组（称为小数组）中，将大于标杆值的元素放入upperA子数组（称为大数组）中
  3. 递归调用fastsort(lowerA)
  4. 递归调用fastsort(upperA)





3. 理解fastsort.go

简版快速排序算法

- 输入：8元素整数数组d = [8 3 6 7 2 1 4 5]
- 输出：8元素整数数组d = [1 2 3 4 5 6 7 8]
- 步骤：调用fastsort(d)

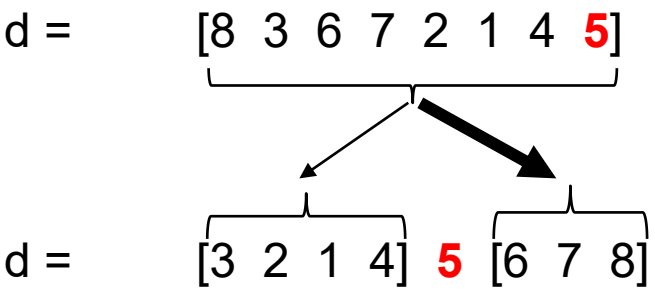
- 函数fastsort(A)的计算过程如下：
  1. 基线情况：如果A只包含0个元素（如[]）或1个元素（如[3]），fastsort(A)结束
  2. 选择A的最后一个元素作为标杆元素
  3. 调用函数partition(A)
  4. 递归调用fastsort(lowerA)
  5. 递归调用fastsort(upperA)

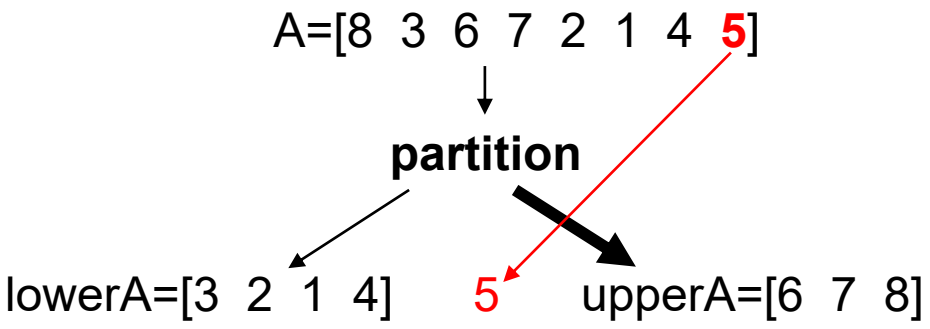
- 函数partition(A)的计算过程如下：
  1. 将小于标杆元素的A的元素放入lowerA子数组，将大于标杆元素的A的元素放入upperA子数组
  2. 返回两个子数组lowerA和upperA

```
package main  // fastsort.go
import "fmt"
var d [8]int = [8]int {8,3,6,7,2,1,4,5}
var s []int = d[0:8]
func main() {
   fastsort(s)
   fmt.Println(s)
}

func fastsort(A []int) {
 if len(A) < 2 {  // 判断是不是基线情况
       return     // 是，退出
   }
   lowerA, upperA := partition(A)
   fastsort(lowerA) // 递归排序小数组
   fastsort(upperA) // 递归排序小数组
}

func partition(A []int) ([]int, []int) {// len(A)>1
   lower := 0  // lower对应lowerA的长度，初始值为0
   for i:= 0; i<len(A); i++ { // 逐个扫描A的元素A[i]
      // 此处插入你的代码
      // 建议：如果A[i]<标杆值，
      //       则A[i]与A[lower]交换并更新lower
   }
   // 此时lower的值是lowerA的长度
   // 交换A[lower]与标杆，使得标杆紧跟在lowerA之后
   A[lower], A[len(A)-1] = A[len(A)-1], A[lower]
   // 返回切片lowerA和upperA
   // 注意两个切片的起始索引和结束索引
   return A[0:lower], A[lower+1:len(A)]
}
```

简版快速排序算法fastsort

- **输入**：8元素整数数组d = [8 3 6 7 2 1 4 5]
- **输出**：8元素整数数组d = [1 2 3 4 5 6 7 8]
  - 元素从小到大排好序了
- **步骤**： 调用fastsort(d)。
  函数fastsort(A)的计算过程如下：
  1. 基线情况（base case）
     - 如果A只包含0个或1个元素（如[]，[3]），fastsort(A)结束
  2. 调用划分函数partition
     - 将小于标杆值的元素放入lowerA子数组（称为小数组）中，将大于标杆值的元素放入upperA子数组（称为大数组）中
     - 注意：标杆的位置变了
  3. 递归调用fastsort(lowerA)
  4. 递归调用fastsort(upperA)





函数签名

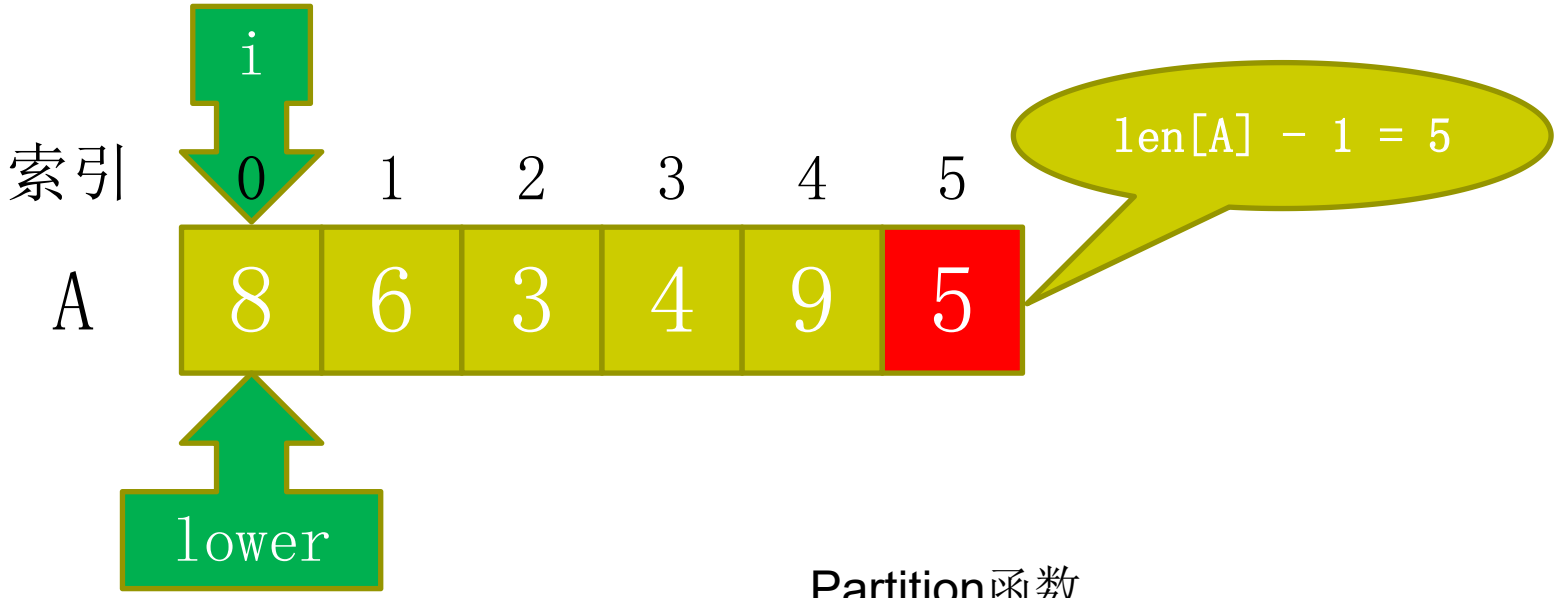
- 程序中的函数很像数学函数
  - 输入数据→输出数据

参数列表，告诉函数在运行时需要
接收什么样的信息
此处 A 是一个整数切片

返回值的类型，告诉函数在运行
结束后会返回什么样的结果
此处函数会返回两个整数切片

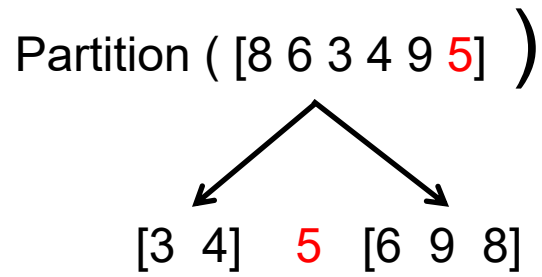
```
func partition(A []int) ([]int, []int) {  // len(A)>1
    lower := 0  // lower 是lowerA的长度，初始值为0
    for i:= 0; i<len(A); i++ {  // 逐个扫描A的元素A[i]
        // 此处插入你的代码
        // 建议：如果A[i]<标杆值，
        //  A[i]与A[lower]交换并更新lower
    }
    // 此时lower的值是len(lowerA)+1；
    // 交换，使得标杆紧跟在lowerA之后
    A[lower], A[len(A)-1] = A[len(A)-1], A[lower]
    // 返回切片lowerA和upperA
    // 注意两个切片的起始索引和结束索引
    return A[0:lower], A[lower+1:len(A)]
}
```

Partition ([8 6 3 4 9 5])

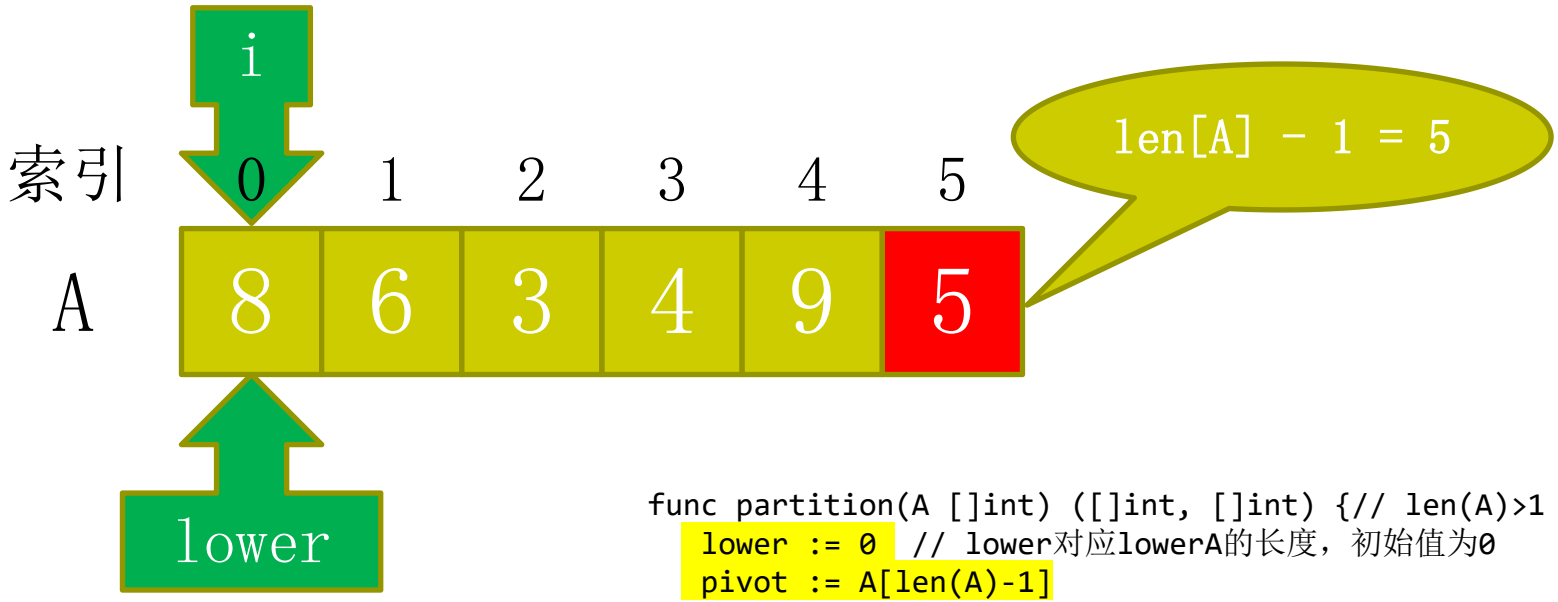



```
func partition(A []int) ([]int, []int) {// len(A)>1
   lower := 0  // lower对应lowerA的长度，初始值为0
   for i:= 0; i<len(A); i++ { // 逐个扫描A的元素A[i]
      // 此处插入你的代码
      // 建议：如果A[i]<标杆值，
      //       则A[i]与A[lower]交换并更新lower
   }
   // 此时lower的值是lowerA的长度
   // 交换A[lower]与标杆，使得标杆紧跟在lowerA之后
   A[lower], A[len(A)-1] = A[len(A)-1], A[lower]
   // 返回切片lowerA和upperA
   // 注意两个切片的起始索引和结束索引
   return A[0:lower], A[lower+1:len(A)]
}
```

Partition函数
- 以数组 A 的最后一个元素为标杆，
将数组 A 划分为lower和upper两部分



Partition ([8 6 3 4 9 5])

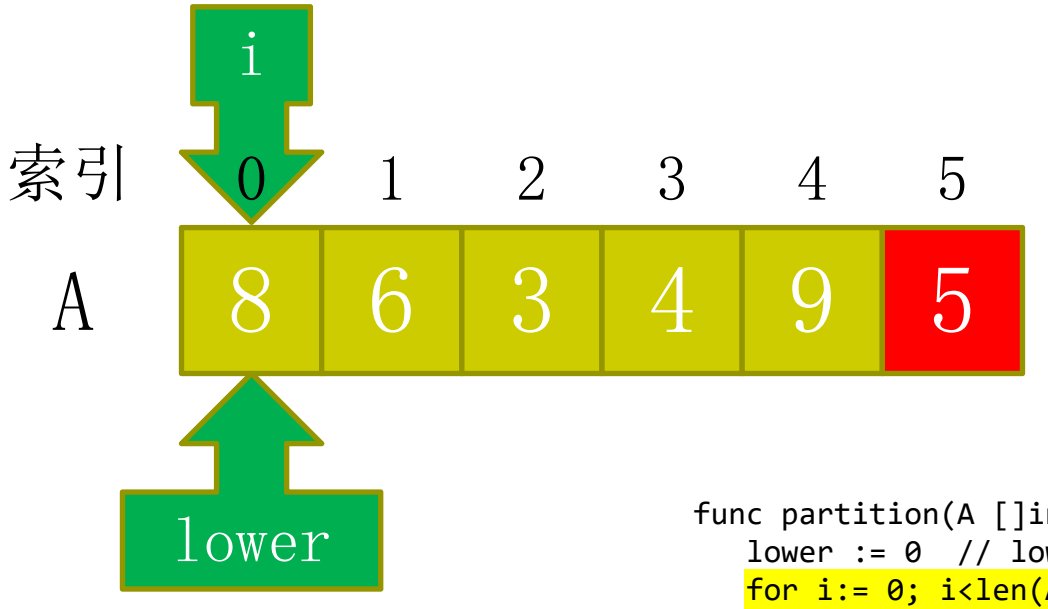


- lower、i的初始值为0
- pivot为切片的最后一个

```
lower := 0
pivot := A[len(A)-1]
```

```
func partition(A []int) ([]int, []int) {// len(A)>1
    lower := 0  // lower对应lowerA的长度，初始值为0
    pivot := A[len(A)-1]
    for i:= 0; i<len(A); i++ { // 逐个扫描A的元素A[i]
        // 此处插入你的代码
        // 建议：如果A[i]<标杆值，
        //         则A[i]与A[lower]交换并更新lower
    }
    // 此时lower的值是lowerA的长度
    // 交换A[lower]与标杆，使得标杆紧跟在lowerA之后
    A[lower], A[len(A)-1] = A[len(A)-1], A[lower]
    // 返回切片lowerA和upperA
    // 注意两个切片的起始索引和结束索引
    return A[0:lower], A[lower+1:len(A)]
}
```

Partition ([8 6 3 4 9 5])

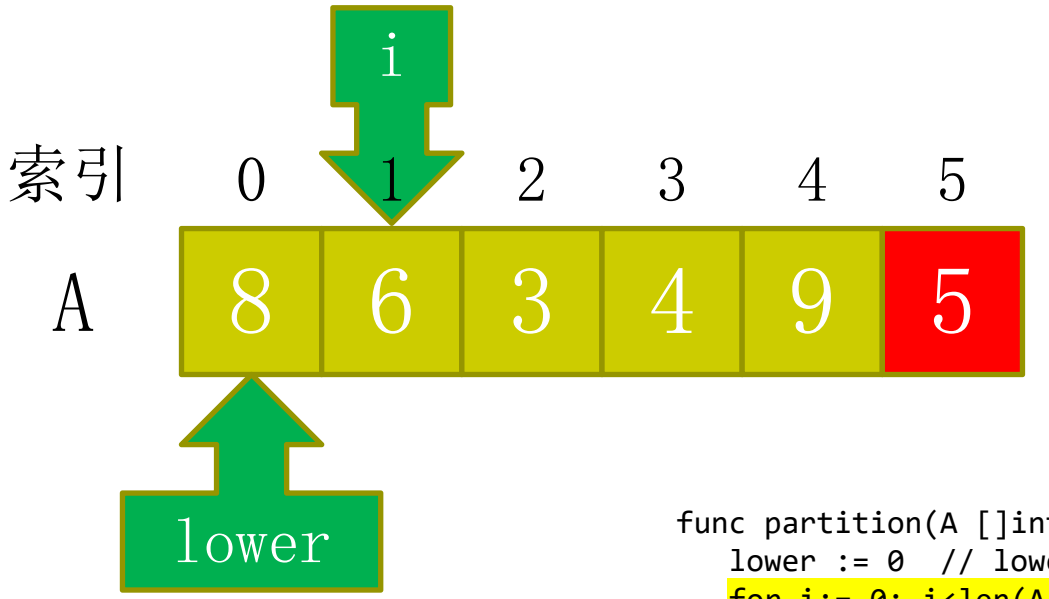


- A[i] = A[0] >= 5
- 不满足交换条件，i++

```
for i := 0; i < len(A); i++ {
    //建议：如果A[i]小于pivot
    //则交换A[i]与A[lower]并更新lower
}
```

```
func partition(A []int) ([]int, []int) {// len(A)>1
    lower := 0  // lower对应lowerA的长度，初始值为0
    for i:= 0; i<len(A); i++ { // 逐个扫描A的元素A[i]
        // 此处插入你的代码
        // 建议：如果A[i]<标杆值，
        //       则A[i]与A[lower]交换并更新lower
    }
    // 此时lower的值是lowerA的长度
    // 交换A[lower]与标杆，使得标杆紧跟在lowerA之后
    A[lower], A[len(A)-1] = A[len(A)-1], A[lower]
    // 返回切片lowerA和upperA
    // 注意两个切片的起始索引和结束索引
    return A[0:lower], A[lower+1:len(A)]
```

Partition ([8 6 3 4 9 5])

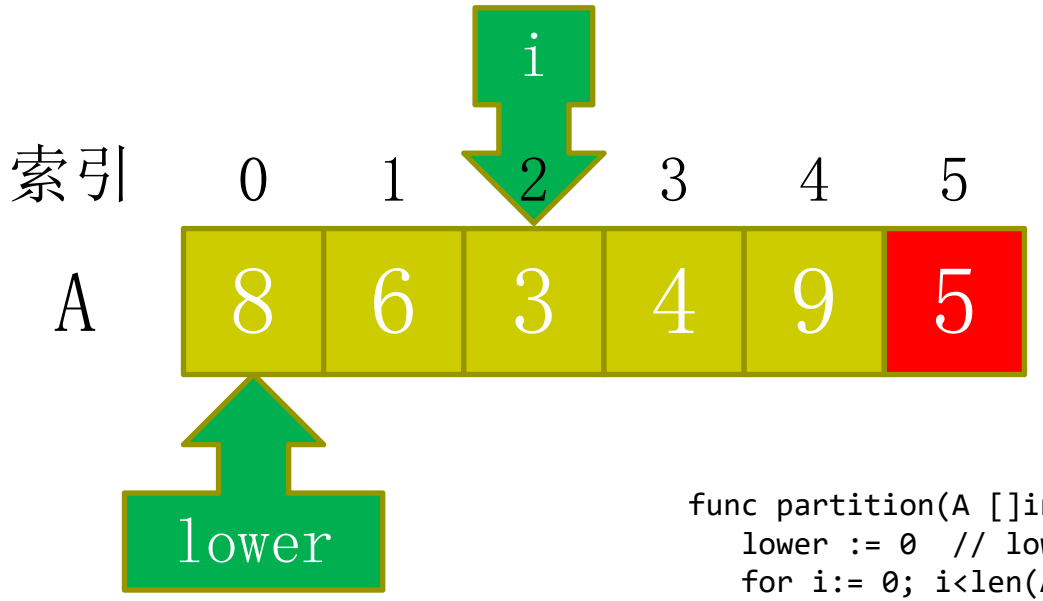


- A[i] = A[1] >= 5
- 不满足交换条件，i++

```
for i := 0; i < len(A); i++ {
    //建议：如果A[i]小于pivot
    //则交换A[i]与A[lower]并更新lower
}
```

```
func partition(A []int) ([]int, []int) {// len(A)>1
    lower := 0  // lower对应lowerA的长度，初始值为0
    for i:= 0; i<len(A); i++ { // 逐个扫描A的元素A[i]
        // 此处插入你的代码
        // 建议：如果A[i]<标杆值，
        //       则A[i]与A[lower]交换并更新lower
    }
    // 此时lower的值是lowerA的长度
    // 交换A[lower]与标杆，使得标杆紧跟在lowerA之后
    A[lower], A[len(A)-1] = A[len(A)-1], A[lower]
    // 返回切片lowerA和upperA
    // 注意两个切片的起始索引和结束索引
    return A[0:lower], A[lower+1:len(A)]
```

Partition ([8 6 3 4 9 5])

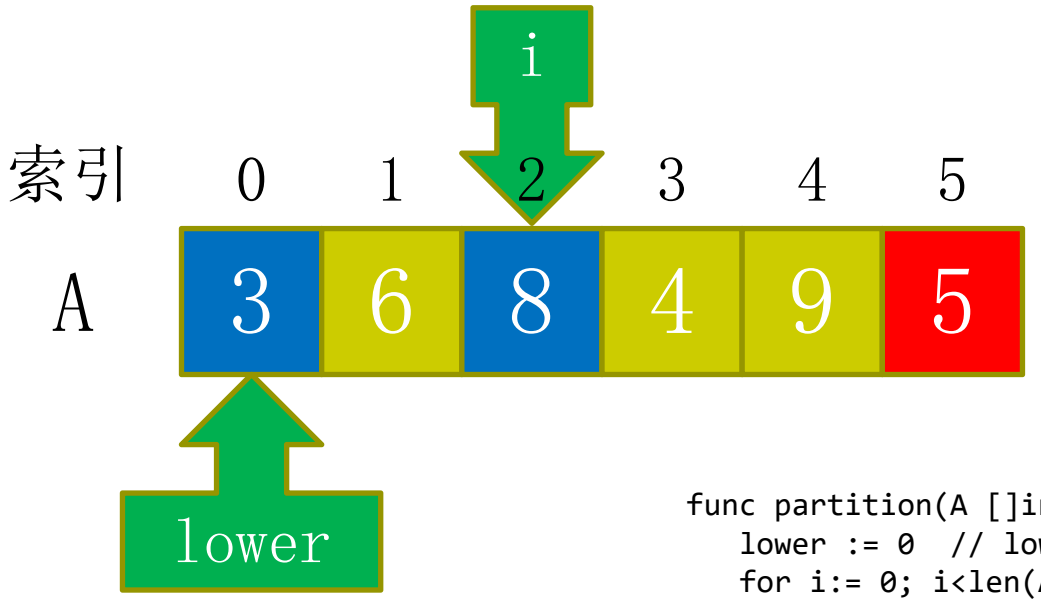


- A[i] = A[2] < 5
- 满足交换条件，
  - 交换A[i]与A[lower]

```
for i := 0; i < len(A); i++ {
    //建议：如果A[i]小于pivot
    //则交换A[i]与A[lower]并更新lower
}
```

```
func partition(A []int) ([]int, []int) {// len(A)>1
    lower := 0  // lower对应lowerA的长度，初始值为0
    for i:= 0; i<len(A); i++ { // 逐个扫描A的元素A[i]
        // 此处插入你的代码
        // 建议：如果A[i]<标杆值，
        //         则A[i]与A[lower]交换并更新lower
    }
    // 此时lower的值是lowerA的长度
    // 交换A[lower]与标杆，使得标杆紧跟在lowerA之后
    A[lower], A[len(A)-1] = A[len(A)-1], A[lower]
    // 返回切片lowerA和upperA
    // 注意两个切片的起始索引和结束索引
    return A[0:lower], A[lower+1:len(A)]
}
```

Partition ([8 6 3 4 9 5])

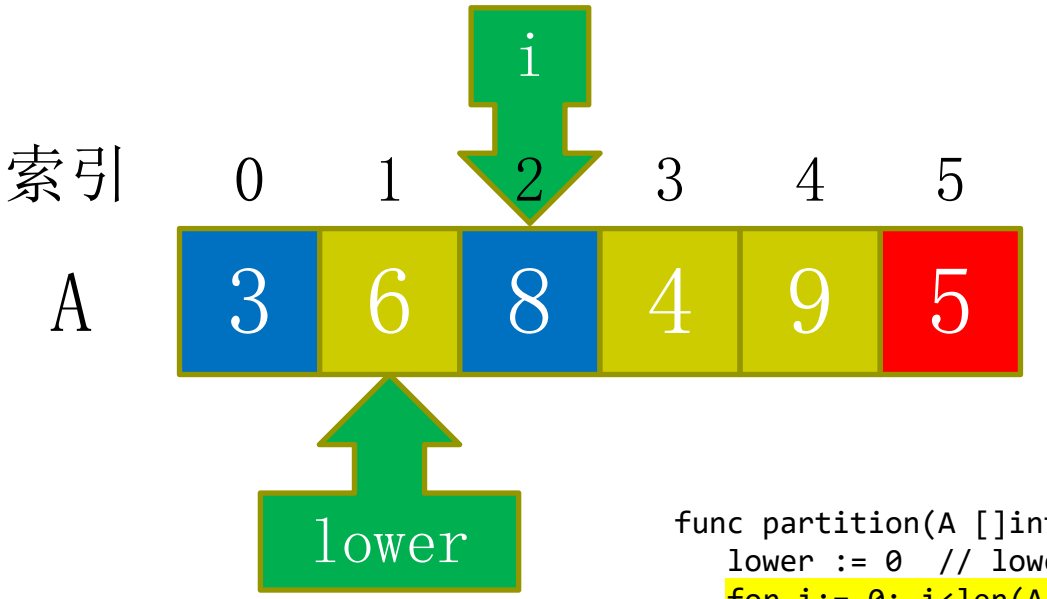


- A[i] = A[2] < 5
- 满足交换条件，
  - 更新lower, 即lower++

```
for i := 0; i < len(A); i++ {
    //建议：如果A[i]小于pivot
    //则交换A[i]与A[lower]并更新lower
}
```

```
func partition(A []int) ([]int, []int) {// len(A)>1
    lower := 0  // lower对应lowerA的长度，初始值为0
    for i:= 0; i<len(A); i++ { // 逐个扫描A的元素A[i]
        // 此处插入你的代码
        // 建议：如果A[i]<标杆值，
        //       则A[i]与A[lower]交换并更新lower
    }
    // 此时lower的值是lowerA的长度
    // 交换A[lower]与标杆，使得标杆紧跟在lowerA之后
    A[lower], A[len(A)-1] = A[len(A)-1], A[lower]
    // 返回切片lowerA和upperA
    // 注意两个切片的起始索引和结束索引
    return A[0:lower], A[lower+1:len(A)]
```

Partition ([8 6 3 4 9 5])

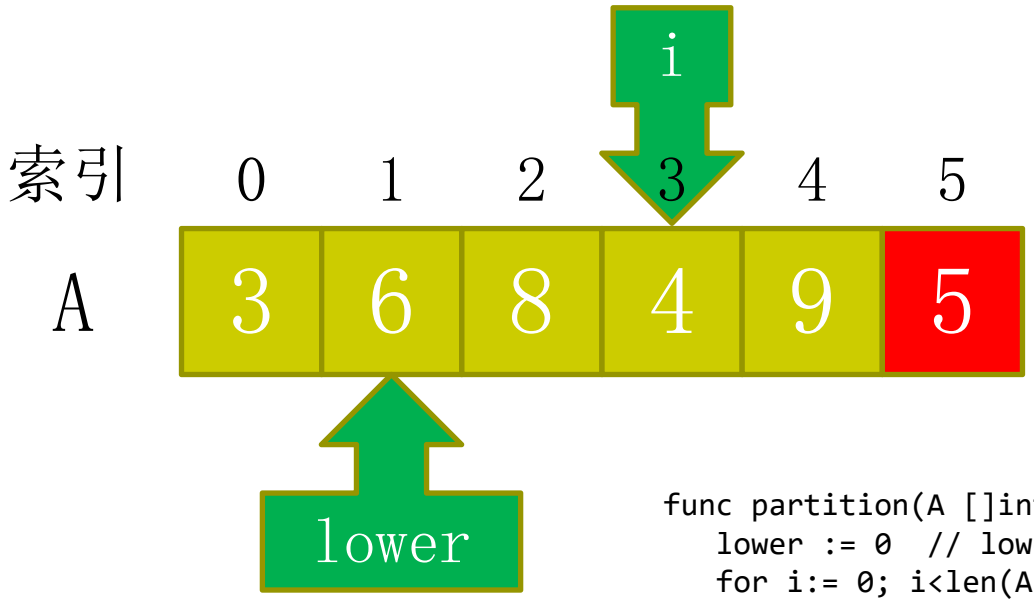


- A[i] = A[2] < 5
- 不满足交换条件，i++

```
for i := 0; i < len(A); i++ {
    //建议：如果A[i]小于pivot
    //则交换A[i]与A[lower]并更新lower
}
```

```
func partition(A []int) ([]int, []int) {// len(A)>1
    lower := 0  // lower对应lowerA的长度，初始值为0
    for i:= 0; i<len(A); i++ { // 逐个扫描A的元素A[i]
        // 此处插入你的代码
        // 建议：如果A[i]<标杆值，
        //       则A[i]与A[lower]交换并更新lower
    }
    // 此时lower的值是lowerA的长度
    // 交换A[lower]与标杆，使得标杆紧跟在lowerA之后
    A[lower], A[len(A)-1] = A[len(A)-1], A[lower]
    // 返回切片lowerA和upperA
    // 注意两个切片的起始索引和结束索引
    return A[0:lower], A[lower+1:len(A)]
```

Partition ([8 6 3 4 9 5])

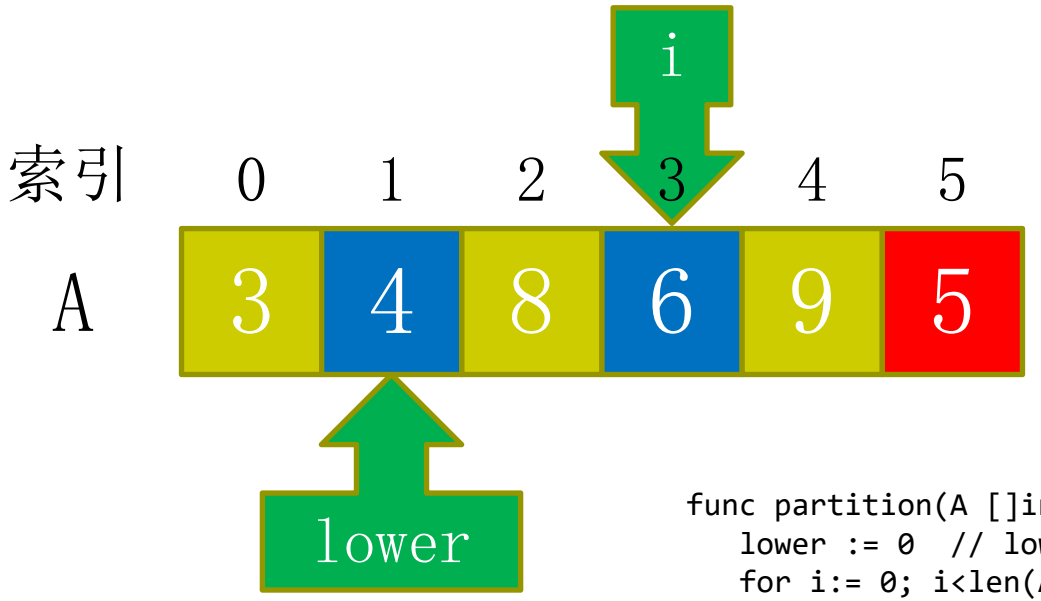


- A[i] = A[3] < 5
- 满足交换条件
  - 交换A[i]与A[lower]

```
for i := 0; i < len(A); i++ {
    //建议：如果A[i]小于pivot
    //则交换A[i]与A[lower]并更新lower
}
```

```
func partition(A []int) ([]int, []int) {// len(A)>1
    lower := 0  // lower对应lowerA的长度，初始值为0
    for i:= 0; i<len(A); i++ { // 逐个扫描A的元素A[i]
        // 此处插入你的代码
        // 建议：如果A[i]<标杆值，
        //       则A[i]与A[lower]交换并更新lower
    }
    // 此时lower的值是lowerA的长度
    // 交换A[lower]与标杆，使得标杆紧跟在lowerA之后
    A[lower], A[len(A)-1] = A[len(A)-1], A[lower]
    // 返回切片lowerA和upperA
    // 注意两个切片的起始索引和结束索引
    return A[0:lower], A[lower+1:len(A)]
}
```

Partition ([8 6 3 4 9 5])

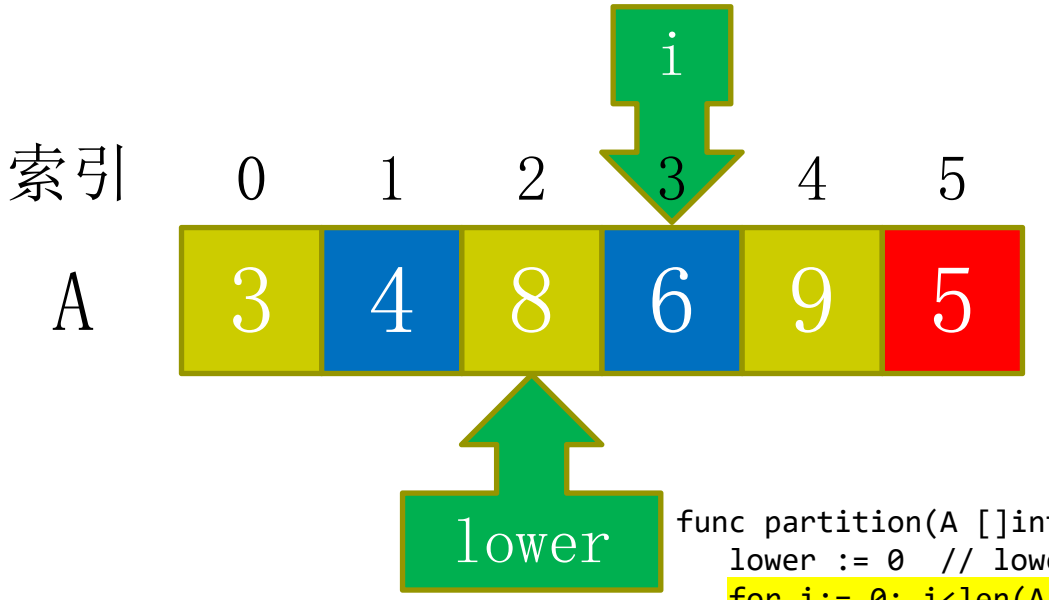


- A[i] = A[3] < 5
- 满足交换条件
  - 更新lower++

```
for i := 0; i < len(A); i++ {
    //建议：如果A[i]小于pivot
    //则交换A[i]与A[lower]并更新lower
}
```

```
func partition(A []int) ([]int, []int) {// len(A)>1
    lower := 0  // lower对应lowerA的长度，初始值为0
    for i:= 0; i<len(A); i++ { // 逐个扫描A的元素A[i]
        // 此处插入你的代码
        // 建议：如果A[i]<标杆值，
        //       则A[i]与A[lower]交换并更新lower
    }
    // 此时lower的值是lowerA的长度
    // 交换A[lower]与标杆，使得标杆紧跟在lowerA之后
    A[lower], A[len(A)-1] = A[len(A)-1], A[lower]
    // 返回切片lowerA和upperA
    // 注意两个切片的起始索引和结束索引
    return A[0:lower], A[lower+1:len(A)]
```

Partition ([8 6 3 4 9 5])

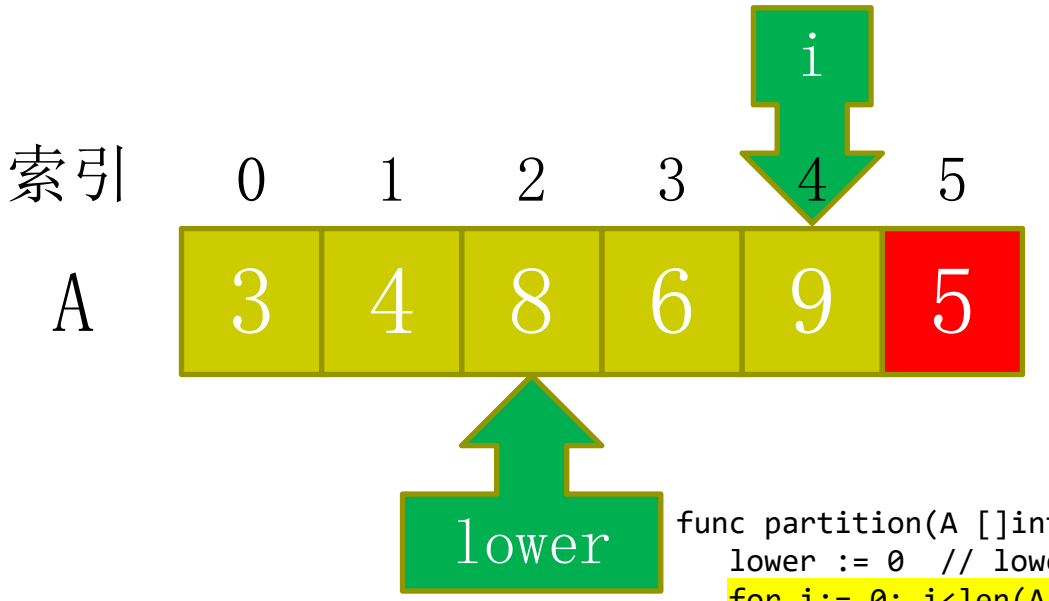


- A[i] = A[3] < 5
- 不满足交换条件，i++

```
for i := 0; i < len(A); i++ {
    //建议：如果A[i]小于pivot
    //则交换A[i]与A[lower]并更新lower
}
```

```
func partition(A []int) ([]int, []int) {// len(A)>1
    lower := 0  // lower对应lowerA的长度，初始值为0
    for i:= 0; i<len(A); i++ { // 逐个扫描A的元素A[i]
        // 此处插入你的代码
        // 建议：如果A[i]<标杆值，
        //       则A[i]与A[lower]交换并更新lower
    }
    // 此时lower的值是lowerA的长度
    // 交换A[lower]与标杆，使得标杆紧跟在lowerA之后
    A[lower], A[len(A)-1] = A[len(A)-1], A[lower]
    // 返回切片lowerA和upperA
    // 注意两个切片的起始索引和结束索引
    return A[0:lower], A[lower+1:len(A)]
}
```

Partition ([8 6 3 4 9 5])

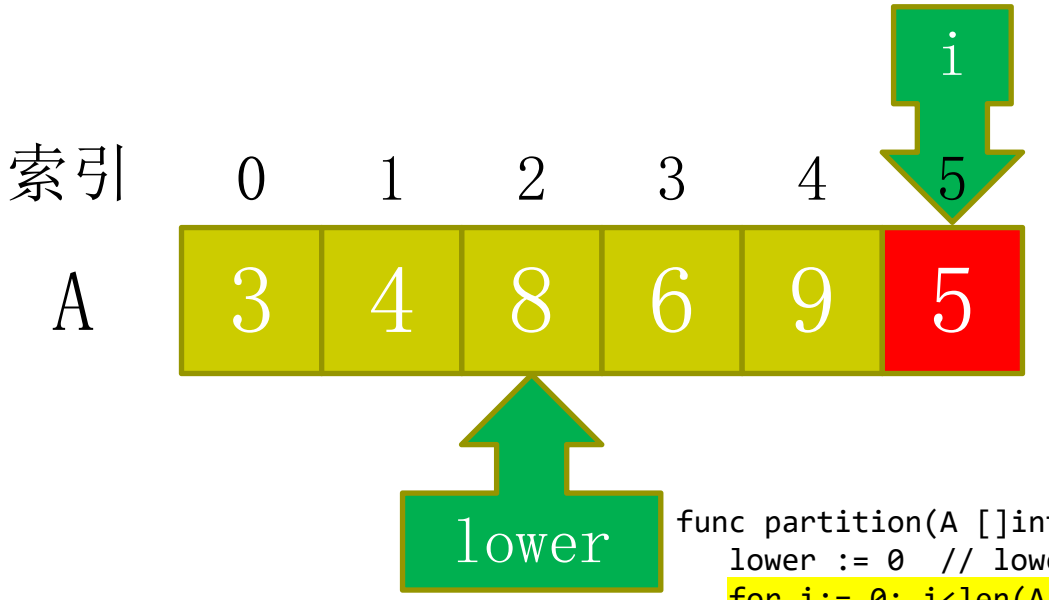


- A[i] = A[4] > 5
- 不满足交换条件，i++

```
for i := 0; i < len(A); i++ {
    //建议：如果A[i]小于pivot
    //则交换A[i]与A[lower]并更新lower
}
```

```
func partition(A []int) ([]int, []int) {// len(A)>1
    lower := 0  // lower对应lowerA的长度，初始值为0
    for i:= 0; i<len(A); i++ { // 逐个扫描A的元素A[i]
        // 此处插入你的代码
        // 建议：如果A[i]<标杆值，
        //       则A[i]与A[lower]交换并更新lower
    }
    // 此时lower的值是lowerA的长度
    // 交换A[lower]与标杆，使得标杆紧跟在lowerA之后
    A[lower], A[len(A)-1] = A[len(A)-1], A[lower]
    // 返回切片lowerA和upperA
    // 注意两个切片的起始索引和结束索引
    return A[0:lower], A[lower+1:len(A)]
```

Partition ([8 6 3 4 9 5])

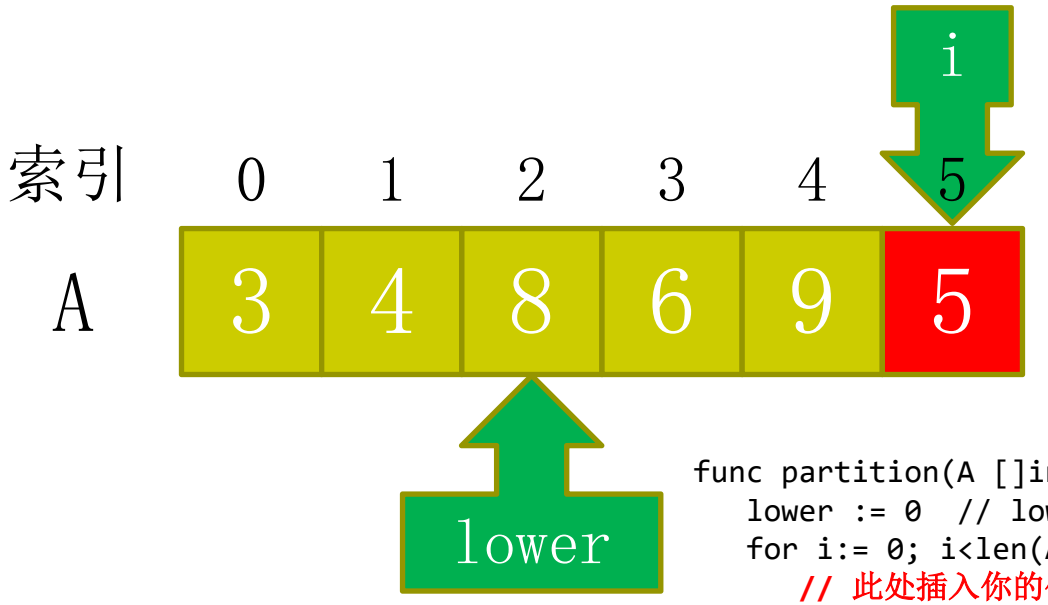


- i = 5 = len(A)
- 不满足循环条件，停止循环

```
for i := 0; i < len(A); i++ {
    //建议：如果A[i]小于pivot
    //则交换A[i]与A[lower]并更新lower
}
```

```
func partition(A []int) ([]int, []int) {// len(A)>1
    lower := 0  // lower对应lowerA的长度，初始值为0
    for i:= 0; i<len(A); i++ { // 逐个扫描A的元素A[i]
        // 此处插入你的代码
        // 建议：如果A[i]<标杆值，
        //       则A[i]与A[lower]交换并更新lower
    }
    // 此时lower的值是lowerA的长度
    // 交换A[lower]与标杆，使得标杆紧跟在lowerA之后
    A[lower], A[len(A)-1] = A[len(A)-1], A[lower]
    // 返回切片lowerA和upperA
    // 注意两个切片的起始索引和结束索引
    return A[0:lower], A[lower+1:len(A)]
}
```

Partition ([8 6 3 4 9 5])

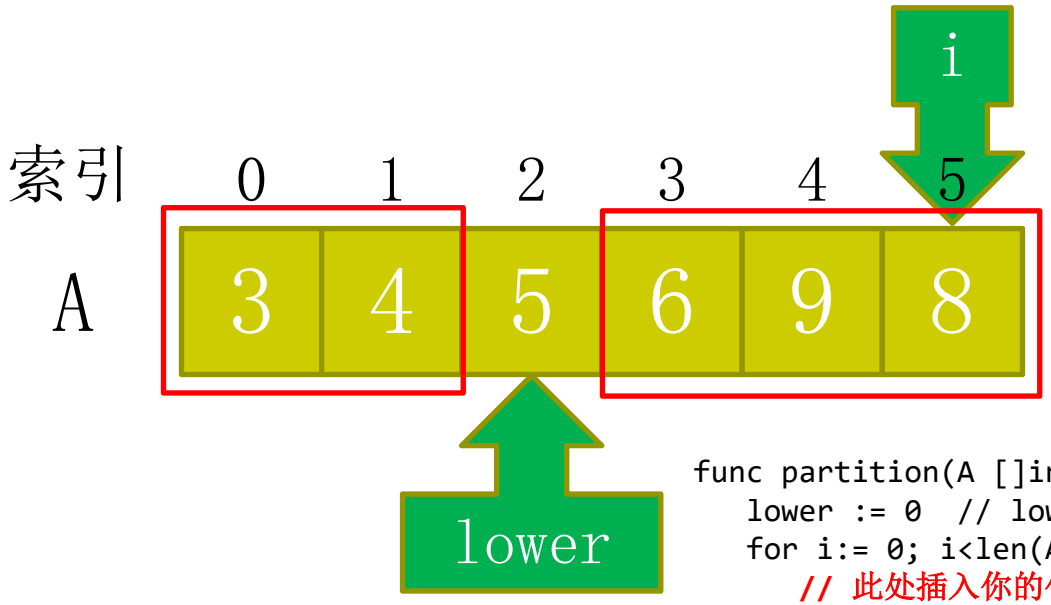


- 交换A[lower]与A[len(A)-1]

```
func partition(A []int) ([]int, []int) {// len(A)>1
    lower := 0  // lower对应lowerA的长度，初始值为0
    for i:= 0; i<len(A); i++ { // 逐个扫描A的元素A[i]
        // 此处插入你的代码
        // 建议：如果A[i]<标杆值，
        //        则A[i]与A[lower]交换并更新lower
    }
    // 此时lower的值是lowerA的长度
    // 交换A[lower]与标杆，使得标杆紧跟在lowerA之后
    A[lower], A[len(A)-1] = A[len(A)-1], A[lower]
    // 返回切片lowerA和upperA
    // 注意两个切片的起始索引和结束索引
    return A[0:lower], A[lower+1:len(A)]
}
```

```
A[lower], A[len(A)-1] = A[len(A)-1], A[lower]
```

Partition ([8 6 3 4 9 5])

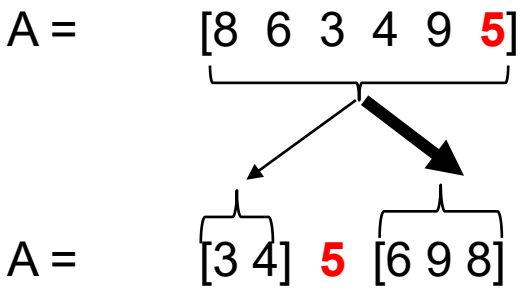


- 分别返回lower之前的切片和之后的切片

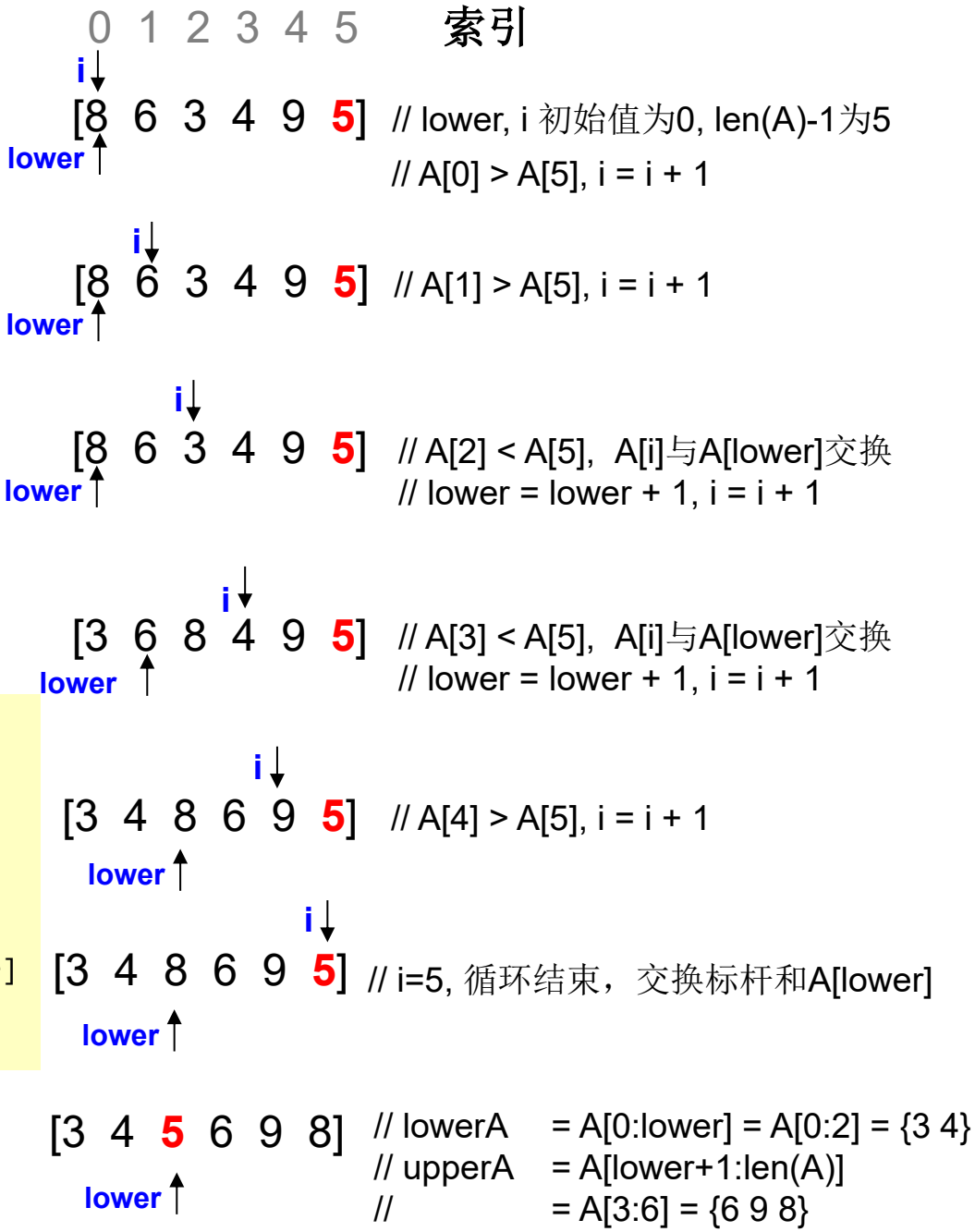
```
func partition(A []int) ([]int, []int) {// len(A)>1
    lower := 0  // lower对应lowerA的长度，初始值为0
    for i:= 0; i<len(A); i++ { // 逐个扫描A的元素A[i]
        // 此处插入你的代码
        // 建议：如果A[i]<标杆值，
        //        则A[i]与A[lower]交换并更新lower
    }
    // 此时lower的值是lowerA的长度
    // 交换A[lower]与标杆，使得标杆紧跟在lowerA之后
    A[lower], A[len(A)-1] = A[len(A)-1], A[lower]
    // 返回切片lowerA和upperA
    // 注意两个切片的起始索引和结束索引
    return A[0:lower], A[lower+1:len(A)]
}
```

```
return A[0:lower], A[lower+1:len(A)]
```

Partition示例



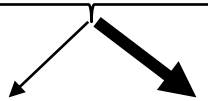

```
func partition(A []int) ([]int, []int) {
   lower := 0
   for i:= 0; i<len(A); i++ {
      // 此处插入你的代码
      // 建议：如果A[i]<标杆值，
      //       则A[i]与A[lower]交换并更新lower
   }
   A[lower], A[len(A)-1] = A[len(A)-1], A[lower]
   return A[0:lower], A[lower+1:len(A)]
}
```



现场练习：请逐步排序[8 6 3 4 9 5]

- **输入**：6元素整数数组d = [8 6 3 4 9 5]
- **输出**：6元素整数数组d = [3 4 5 6 8 9]
  - 元素从小到大排好序了
- **步骤**： 调用fastsort(d)。
  函数fastsort(A)的计算过程如下：
  1. 基线情况（base case）：如果A只包含0个元素（如[]）或1个元素（如[5]），fastsort(A)结束
  2. 选择A的最后一个元素作为标杆元素（pivot）
  3. 调用划分函数partition
     - 将小于标杆值的元素放入lowerA子数组（称为小数组）中，将大于标杆值的元素放入upperA子数组（称为大数组）中
  4. 递归调用fastsort(lowerA)
  5. 递归调用fastsort(upperA)

d = [8 6 3 4 9 **5**]



d =

d =

d =

d =

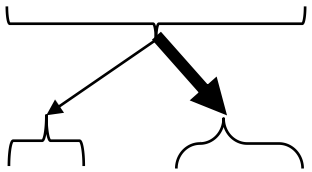
d =

d =

d = 3 4 5 6 8 9

现场练习：请逐步排序[8 6 3 4 9 5]

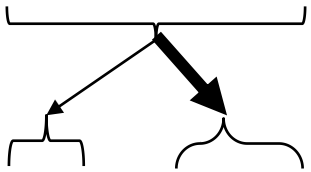
fs([8 6 3 4 9 5])　　d =　　[8 6 3 4 9 5]



fs([?])　　d =　　[3 4] 5 [6 9 8]

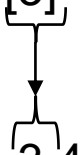
现场练习：请逐步排序[8 6 3 4 9 5]

fs([8 6 3 4 9 5]) d = [8 6 3 4 9 **5**]



fs([3 4]) d = [3 **4**] 5 [6 9 8]

fs([3]) d = [3] 4 [] 5 [6 9 8]



fs([]) d = 3 4 [] 5 [6 9 8]

fs([6 9 8]) d = 3 4 5 [6 9 **8**]

fs([6]) d = 3 4 5 [6] 8 [9]

fs([9]) d = 3 4 5 6 8 [9]

d = 3 4 5 6 8 9

4. 现场实现 你的fastsort.go

- 实验要求：
  - 利用右侧代码框架
    - 使用你的云平台上的数组**替换待排序数组d的值**
  - 只在标红处填充你的代码
    - **如果A[i]<标杆值，则A[i]与A[lower]交换并更新lower**
  - 提交fastsort.go文件
  - 提交lowerA, pivot, upperA的值
    - 由于采用计算机自动评分，请严格按照云平台示例填写内容

```
package main  // fastsort.go
import "fmt"
var d [6]int = [6]int {8,3,6,7,2,1} //替换该数组
var s []int = d[0:6]
func main() {
   fastsort(s)
   fmt.Println(s)
}

func fastsort(A []int) {
   if len(A) < 2 {  // 判断是不是基线情况
      return        // 是，退出
   }
   lowerA, upperA := partition(A)
   fastsort(lowerA) // 递归排序小数组
   fastsort(upperA) // 递归排序小数组
}

func partition(A []int) ([]int, []int) {
   lower := 0
   for i:= 0; i<len(A); i++ {
      // 此处插入你的代码
      // 建议：如果A[i]<标杆值，
      //       则A[i]与A[lower]交换并更新lower
   }
   A[lower], A[len(A)-1] = A[len(A)-1], A[lower]
   return A[0:lower], A[lower+1:len(A)]
}
```

4. 现场实现
你的fastsort.go

- 实验要求：
  - 提交fastsort.go文件
  - 手动计算并提交lowerA, pivot, upperA的值
    - 由于采用计算机自动评分，请严格按照云平台示例填写内容

作业提交链接
https://course.things.ac.cn:10088/exp/basic_programming

作业提交截止时间
2025/3/23 23:30