数据结构

4　串

http://hwdong.com 董洪伟

主要内容

- 串的类型定义
- 串的表示和实现
  - 静态顺序存储
  - 堆分配存储
  - 块链存储
- 串的模式匹配
  - 简单算法
  - KMP算法

串的类型定义

- 定义
  - 串：**n**个字符的有限序列，**n>=0**
    - 比如：**S = ‘a_1 a_2... a_n’**
    - **S**是串名
    - ‘a_1 a_2... a_n’是串**S**的值
  - 串的长度：串中字符的个数
    - 空串 ∅ ：长度为0的串
    - 注意：空串≠空格串

串的类型定义

- 子串：串中任意多个连续字符组成的子序列
- 位置：字符在序列中的序号
  - 子串的位置 ＝ 子串第一个字符的位置
- 串相等：两个串的值相等
  - 长度相等
  - 各个对应位置的字符也相同

顺序串：静态或动态字符数组

- 静态顺序存储

```
char s[10];
```

- 堆分配存储（动态顺序存储）

```
char *s=(char *)malloc(10*sizeof(char));
```

- 字符数组！=字符串

```
s[0] = 'L';s[1] = 'i';
int len = strlen(s) ;//错!
s[2] = '\0';
len = strlen(s) ; //正确
```

顺序串：静态和动态存储

- 静态分配存储：静态的连续空间
- 堆分配存储： 动态分配的连续空间
- 动态分配的优点：
  - 既有静态存储的特点
  - 又没有长度限制

顺序串：=字符数组+串长表示法

- 结尾加结束字符：'\0'

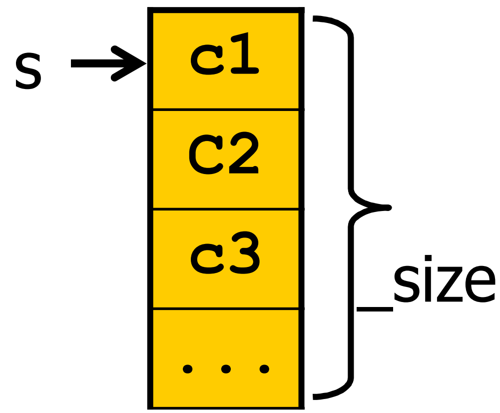
L	i	\0		

- 开头存放串长信息

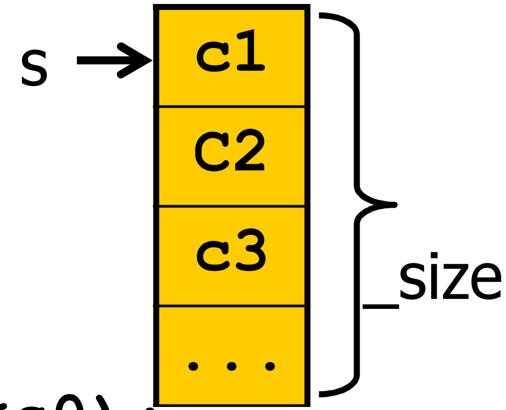
2	L	i		

- 用辅助变量存放串长：顺序表结构

```
typedef struct{
    char *s;
    int _size;
}String;
```

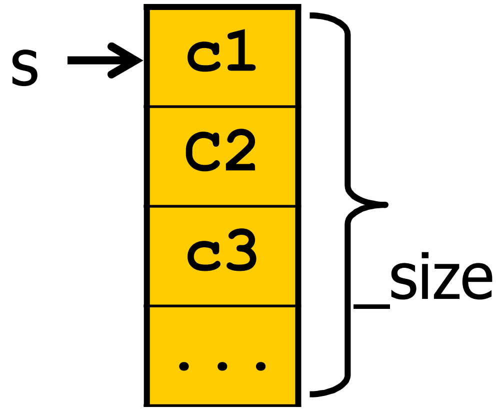


顺序串：结构表示法




```
typedef struct{
    char *s;
    int _size;
}String;
bool initString(String &s,char *s0);
void destoryString(String &s);
void clearString(String &s);
int size( String s);
int catString(String &T,String s1,String s2);
String subString(String S,int pos,int len);
int findString(String S,String T,int pos);
int insertString(String &S,String T,int pos);
```

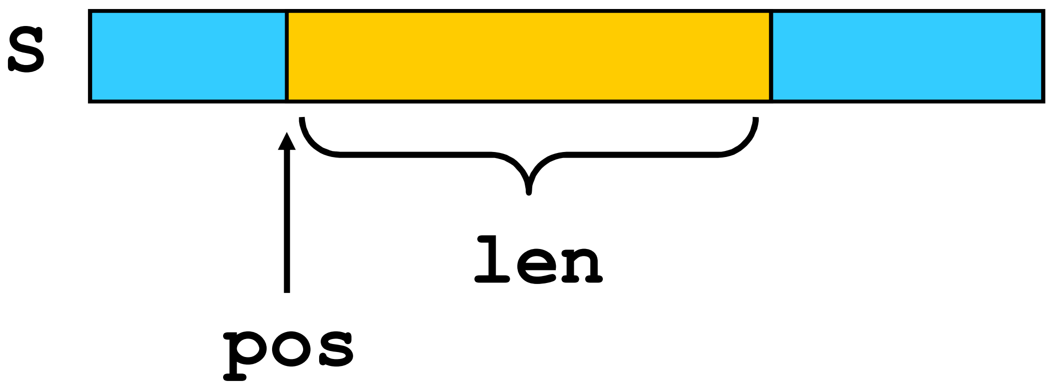
顺序串：结构表示法




```
typedef struct{
    char *s;
    int _size;
}String;
bool initString(String &S,char *s0){
    int len = strlen(s0);
    S.s = (char *)malloc((len+1)*sizeof(char));
    if(!S.s) return false;
    strcpy(S.s,s0);
    S._size = len;
    return true;
}
```

顺序串：结构表示法

- 求子串
  - 串S第pos个字符起，长度为len的子串

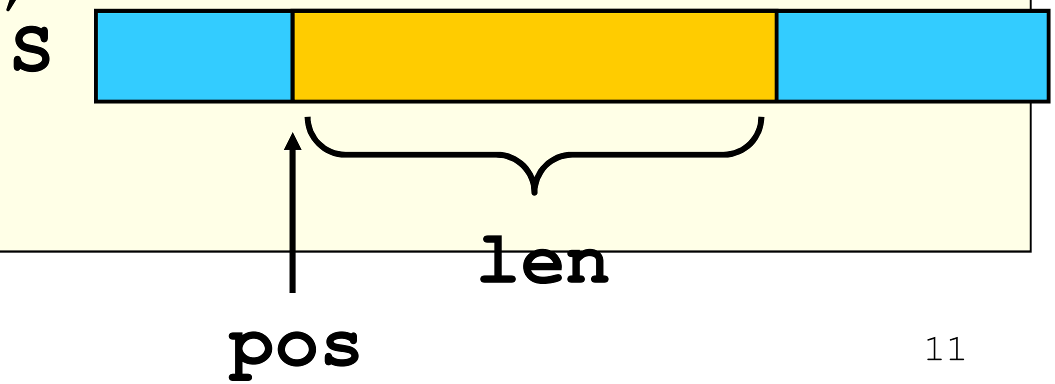



```
S = "abvdfkhdsfg";
subS = subString(S,2,3);
```

顺序串：结构表示法

- 算法

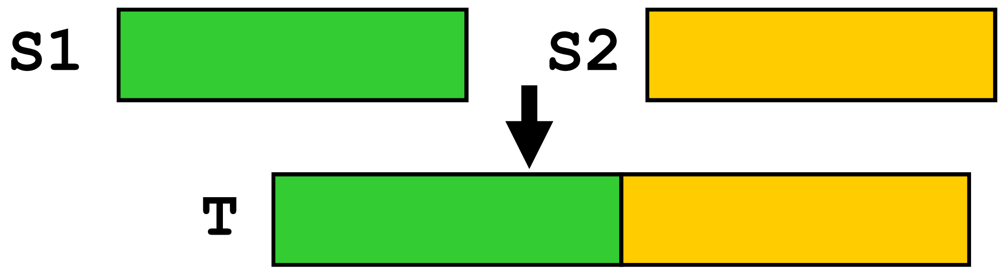
```
String subString(String S,int pos,int len)
{
   String T; T.s = 0;T._size = 0;
   T.s = (char*)malloc((len+1)*sizeof(char));
   if(T.s){
      for(int i = 0 ;i<len;i++)
          T.s[i] = S.s[i+pos-1];
      T.s[len] = '\0';
      T._size = len;
   }
   return T;
}
```



Any Bug?

顺序串：结构表示法

- 串的拼接




```
int catString(String &T,String s1,String s2)
{
  int len = s1._size+s2._size;
  T.s = (char *)malloc((len+1)*sizeof(char));
  if(!T.s) return 0;
  T._size = len;
  strcpy(T.s,s1.s);
  char *p = T.s+s1._size;
  strcpy(p,s2.s);
  return T._size;
}
```

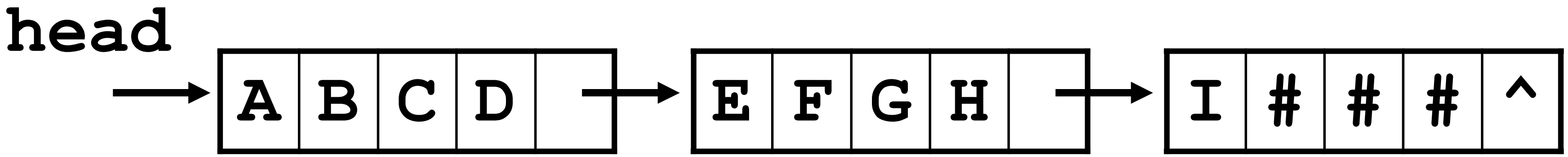
顺序串：结构表示法

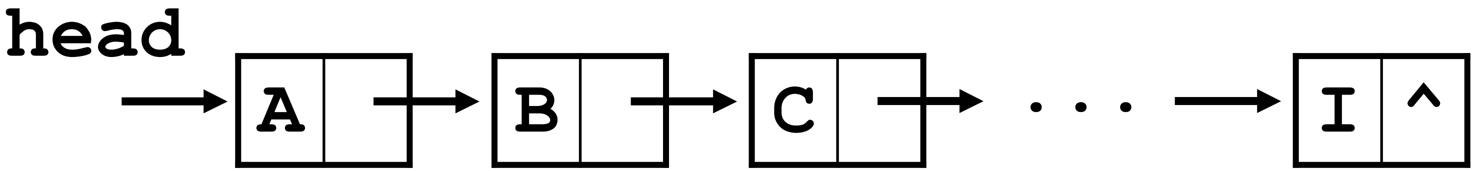
- 插入

```
int insertString (String &S,String T,int pos)
{//1. 插入位置合法？

 //2. 分配空间

 //3. 拷贝数据

}
```

链式串：块链存储

- 块链存储：用链表存储字符串





串的表示和实现：块链存储

- 优点
  - 便于拼接操作
- 缺点
  - 结点大小需要设置恰当
  - 存储密度 $= \dfrac{\text{串值所占空间}}{\text{实际分配空间}}$
  - 结点越小，存储密度越小，操作越方便，但是存储空间浪费大

串的模式匹配

- 模式匹配
  - 在主串**S**中定位子串**T**（模式串）
  - 回忆一下串匹配的定义：
    - **Index(S, T, pos)**
    - 初始条件：串**S**和**T**存在，**T**非空，
      1 <= pos <= StrLength(S)
    - 操作结果：若主串**S**中存在和串**T**值相同的子串，返回它在主串**S**中第**pos**个字符之后第一次出现的位置；否则返回**0**

串的模式匹配

- 例如
  - 主串S =

1	2	3	4	5	6	7	8
A	B	C	D	E	C	D	H

  - 子串T = CD
  - 则Find(S, T, 2), 返回从位置2起, 子串T在S中, 第一次出现的位置3

串的模式匹配

- 以定长顺序表示时的几种算法
  - 简单算法
  - **KMP**算法(**D.E.Knuth， J.H.Morris， V.R.Pratt**)

- 简单算法

```
int Index(SString S, SString T, int pos){
  i = pos;  j = 1;
  while(i <= S[0] && j <= T[0]){
     if(S[i] == T[j]){  //当前字符匹配，i,j递增
        i ++;  j ++;
     }
     else {  //否则i回退，j返回模式串首，重新开始
        i = i - j + 2;  j = 1;
     }
  }
  if(j > T[0])  return i - T[0];  //匹配成功
  else          return 0;         //失败
}
```

```
while(i <= S[0] && j <= T[0]){
   if(S[i] == T[j]){ //当前字符匹配，i,j递增
        i ++;  j ++; }
   else { //匹配失败，j返回子串首，i回退到下次匹配的起点
        i = i - j + 2;  j = 1;  }}
```

i ↓

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	b	a	b	c	a	b	c	a	c	b	a	b

a	b	c	a	c
1	2	3	4	5

↑ j

```
while(i <= S[0] && j <= T[0]){
   if(S[i] == T[j]){ //当前字符匹配，i,j递增
       i ++;   j ++; }
   else { //匹配失败，j返回子串首，i回退到下次匹配的起点
       i = i - j + 2;  j = 1;   }}
```

i

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	b	a	b	c	a	b	c	a	c	b	a	b

a	b	c	a	c
1	2	3	4	5

j

```
while(i <= S[0] && j <= T[0]){
   if(S[i] == T[j]){ //当前字符匹配，i,j递增
       i ++;  j ++; }
   else { //匹配失败，j返回子串首，i回退到下次匹配的起点
       i = i - j + 2;  j = 1;  }}
```

i ↓

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	b	a	b	c	a	b	c	a	c	b	a	b

a	b	c	a	c
1	2	3	4	5

↑ j

```
while(i <= S[0] && j <= T[0]){
   if(S[i] == T[j]){ //当前字符匹配，i,j递增
        i ++;   j ++; }
   else { //匹配失败，j返回子串首，i回退到下次匹配的起点
        i = i - j + 2;   j = 1;   }}
```

i

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	b	a	b	c	a	b	c	a	c	b	a	b

a	b	c	a	c
1	2	3	4	5

j

```
while(i <= S[0] && j <= T[0]){
   if(S[i] == T[j]){ //当前字符匹配，i,j递增
       i ++;  j ++; }
   else { //匹配失败，j返回子串首，i回退到下次匹配的起点
       i = i - j + 2;  j = 1;  }}
```

i

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	b	a	b	c	a	b	c	a	c	b	a	b

a	b	c	a	c
1	2	3	4	5

j

```
while(i <= S[0] && j <= T[0]){
   if(S[i] == T[j]){ //当前字符匹配, i,j递增
       i ++;  j ++; }
   else { //匹配失败, j返回子串首, i回退到下次匹配的起点
       i = i - j + 2;  j = 1;  }}
```

i

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	b	a	b	c	a	b	c	a	c	b	a	b

a	b	c	a	c
1	2	3	4	5

j

```
while(i <= S[0] && j <= T[0]){
   if(S[i] == T[j]){ //当前字符匹配，i,j递增
      i ++;  j ++; }
   else { //匹配失败，j返回子串首，i回退到下次匹配的起点
      i = i - j + 2;  j = 1;  }}
```

i

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	b	a	b	c	a	b	c	a	c	b	a	b

a	b	c	a	c
1	2	3	4	5

j

```
while(i <= S[0] && j <= T[0]){
   if(S[i] == T[j]){ //当前字符匹配，i,j递增
       i ++;  j ++; }
   else { //匹配失败，j返回子串首，i回退到下次匹配的起点
       i = i - j + 2;  j = 1;  }}
```

i

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	b	a	b	c	a	b	c	a	c	b	a	b

a	b	c	a	c
1	2	3	4	5

j

```
while(i <= S[0] && j <= T[0]){
   if(S[i] == T[j]){ //当前字符匹配，i,j递增
      i ++;  j ++; }
   else { //匹配失败，j返回子串首，i回退到下次匹配的起点
      i = i - j + 2;  j = 1;  }}
```

i

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	b	a	b	c	a	b	c	a	c	b	a	b

a	b	c	a	c
1	2	3	4	5

j

```
while(i <= S[0] && j <= T[0]){
   if(S[i] == T[j]){ //当前字符匹配，i,j递增
       i ++;   j ++; }
   else { //匹配失败，j返回子串首，i回退到下次匹配的起点
       i = i - j + 2;  j = 1;  }}
```

i

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	b	a	b	c	a	b	c	a	c	b	a	b

a	b	c	a	c
1	2	3	4	5

j

```
while(i <= S[0] && j <= T[0]){
   if(S[i] == T[j]){ //当前字符匹配，i,j递增
        i ++;  j ++; }
   else { //匹配失败，j返回子串首，i回退到下次匹配的起点
        i = i - j + 2;  j = 1;  }}
```

i

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	b	a	b	c	a	b	c	a	c	b	a	b

a	b	c	a	c
1	2	3	4	5

j

```
while(i <= S[0] && j <= T[0]){
   if(S[i] == T[j]){ //当前字符匹配，i,j递增
       i ++;   j ++; }
   else { //匹配失败，j返回子串首，i回退到下次匹配的起点
       i = i - j + 2;  j = 1;  }}
```

i

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	b	a	b	c	a	b	c	a	c	b	a	b

a	b	c	a	c
1	2	3	4	5

j

```
while(i <= S[0] && j <= T[0]){
   if(S[i] == T[j]){ //当前字符匹配，i,j递增
       i ++;  j ++; }
   else { //匹配失败，j返回子串首，i回退到下次匹配的起点
       i = i - j + 2;  j = 1;  }}
```

i ↓

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	b	a	b	c	a	b	c	a	c	b	a	b

a	b	c	a	c
1	2	3	4	5

↑ j

```
while(i <= S[0] && j <= T[0]){
   if(S[i] == T[j]){ //当前字符匹配，i,j递增
       i ++;  j ++; }
   else { //匹配失败，j返回子串首，i回退到下次匹配的起点
       i = i - j + 2;  j = 1;  }}
```

i

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	b	a	b	c	a	b	c	a	c	b	a	b

a	b	c	a	c
1	2	3	4	5

j

```
while(i <= S[0] && j <= T[0]){
   if(S[i] == T[j]){ //当前字符匹配, i,j递增
       i ++;  j ++; }
   else { //匹配失败, j返回子串首, i回退到下次匹配的起点
       i = i - j + 2;  j = 1;  }}
```

i

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	b	a	b	c	a	b	c	a	c	b	a	b

a	b	c	a	c
1	2	3	4	5

j

```
while(i <= S[0] && j <= T[0]){
   if(S[i] == T[j]){ //当前字符匹配，i,j递增
       i ++;  j ++; }
   else { //匹配失败，j返回子串首，i回退到下次匹配的起点
       i = i - j + 2;  j = 1;  }}
```

i

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	b	a	b	c	a	b	c	a	c	b	a	b

a	b	c	a	c
1	2	3	4	5

j

```
while(i <= S[0] && j <= T[0]){
   if(S[i] == T[j]){ //当前字符匹配，i,j递增
       i ++;   j ++; }
   else { //匹配失败，j返回子串首，i回退到下次匹配的起点
       i = i - j + 2;  j = 1;  }}
```

i

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	b	a	b	c	a	b	c	a	c	b	a	b

a	b	c	a	c
1	2	3	4	5

j

```
while(i <= S[0] && j <= T[0]){
   if(S[i] == T[j]){ //当前字符匹配，i,j递增
       i ++;   j ++; }
   else { //匹配失败，j返回子串首，i回退到下次匹配的起点
       i = i - j + 2;  j = 1;   }}
```

i

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	b	a	b	c	a	b	c	a	c	b	a	b

a	b	c	a	c
1	2	3	4	5

j

```
while(i <= S[0] && j <= T[0]){
   if(S[i] == T[j]){ //当前字符匹配, i,j递增
       i ++;  j ++; }
   else { //匹配失败, j返回子串首, i回退到下次匹配的起点
       i = i - j + 2;  j = 1;  }}
```

i

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	b	a	b	c	a	b	c	a	c	b	a	b

a	b	c	a	c
1	2	3	4	5

j

```
while(i <= S[0] && j <= T[0]){
   if(S[i] == T[j]){ //当前字符匹配，i,j递增
       i ++;  j ++; }
   else { //匹配失败，j返回子串首，i回退到下次匹配的起点
       i = i - j + 2;  j = 1;  }}
```

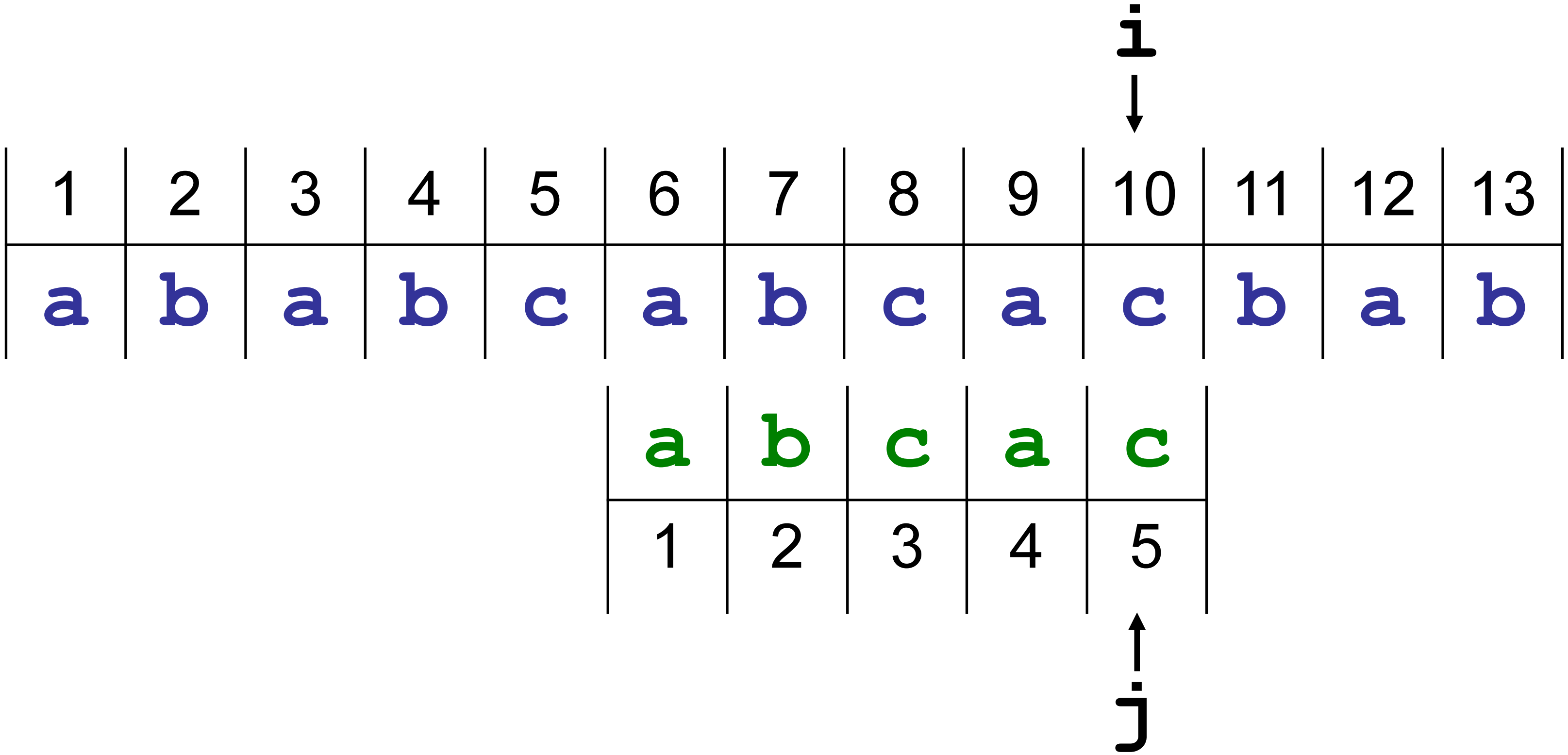
i

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	b	a	b	c	a	b	c	a	c	b	a	b

a	b	c	a	c
1	2	3	4	5

j

```
while(i <= S[0] && j <= T[0]){
   if(S[i] == T[j]){ //当前字符匹配，i,j递增
       i ++;  j ++; }
   else { //匹配失败，j返回子串首，i回退到下次匹配的起点
       i = i - j + 2;  j = 1;  }}
```



串的模式匹配：简单算法

- 算法分析
  - 最好的情况
    - 主串S和模式T中的每个字符都只访问了一次
    - 复杂度 = O(n + m)

i

b b b b b a b c a c

a b c a c

j

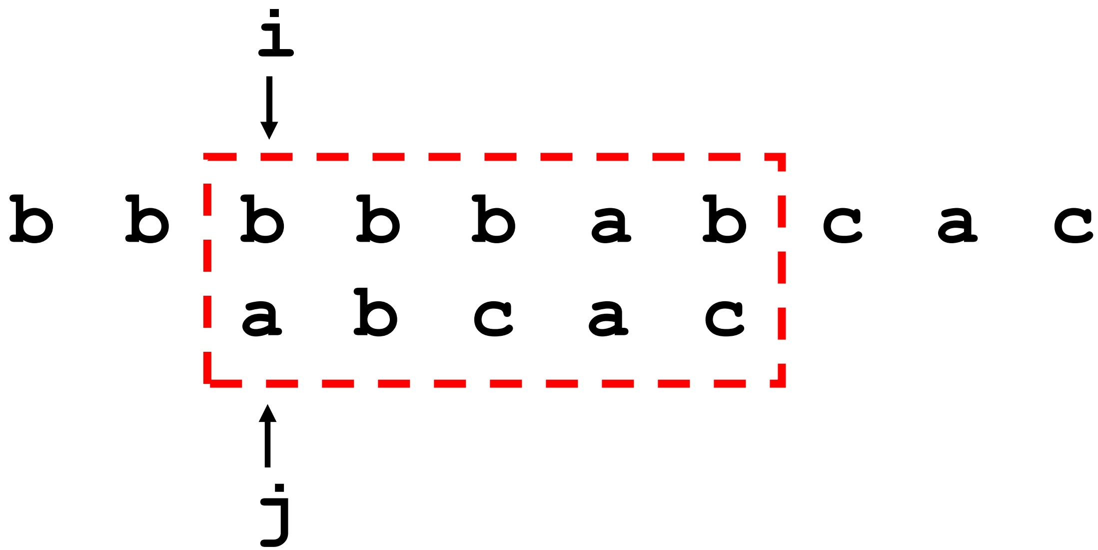
串的模式匹配：简单算法

- 算法分析
  - 最好的情况
    - 主串S和模式T中的每个字符都只访问了一次
    - 复杂度 = O(n + m)

```
      i
b   b   b   b   b   a   b   c   a   c
    a   b   c   a   c
    j
```

串的模式匹配：简单算法

- 算法分析
  - 最好的情况
    - 主串S和模式T中的每个字符都只访问了一次
    - 复杂度 = O(n + m)



串的模式匹配：简单算法

- 算法分析
  - 最好的情况
    - 主串S和模式T中的每个字符都只访问了一次
    - 复杂度 = O(n + m)

```
             i
             ↓
b  b  b  b  b  a  b  c  a  c
         a  b  c  a  c
         ↑
         j
```

串的模式匹配：简单算法

- 算法分析
  - 最好的情况
    - 主串S和模式T中的每个字符都只访问了一次
    - 复杂度 = O(n + m)

```
                i
                ↓
b   b   b   b   b   a   b   c   a   c
                a   b   c   a   c
                ↑
                j
```

串的模式匹配：简单算法

- 算法分析
  - 最好的情况
    - 主串S和模式T中的每个字符都只访问了一次
    - 复杂度 = O(n + m)

```
                         i
                         ↓
b   b   b   b   b   a   b   c   a   c
                    a   b   c   a   c
                         ↑
                         j
```

串的模式匹配：简单算法

- 算法分析
  - 最好的情况
    - 主串**S**和模式**T**中的每个字符都只访问了一次
    - 复杂度 = O(n + m)

```
                              i
                              ↓
b   b   b   b   b   a   b   c   a   c
                    a   b   c   a   c
                              ↑
                              j
```

串的模式匹配：简单算法

- 算法分析
  - 最好的情况
    - 主串S和模式T中的每个字符都只访问了一次
    - 复杂度 = O(n + m)

```
                          i
                          ↓
b  b  b  b  b  a  b  c  a  c
               a  b  c  a  c
                          ↑
                          j
```

串的模式匹配：简单算法

- 算法分析
  - 最好的情况
    - 主串S和模式T中的每个字符都只访问了一次
    - 复杂度 = O(n + m)

```
                                i
                                ↓
b  b  b  b  b  a  b  c  a  c
               a  b  c  a  c
                                ↑
                                j
```

串的模式匹配：简单算法

- 算法分析
  - 最好的情况
    - 主串S和模式T中的每个字符都只访问了一次
    - 复杂度 = O(n + m)

```
                                        i
b   b   b   b   b   a   b   c   a   c
                    a   b   c   a   c
                                        j
```

串的模式匹配：简单算法

- 最差的情况
  - 主串S中的每个字符，分别和模式T中的每个字符匹配一次
  - 复杂度 = O(n * m)

i

↓

b b b b b a

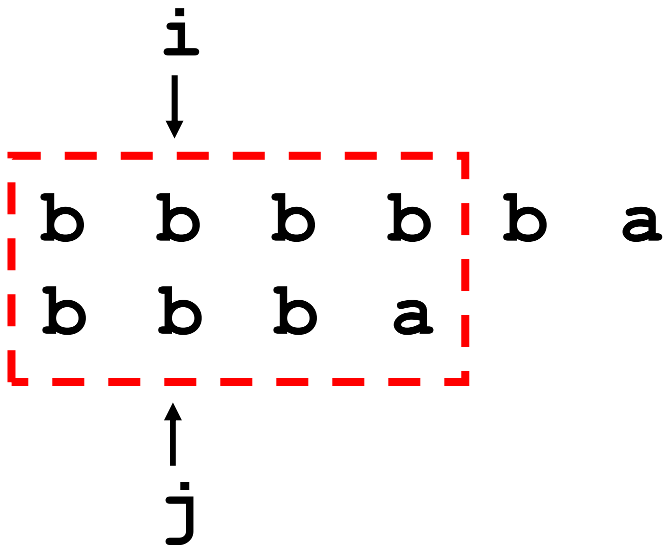
b b b a

↑

j

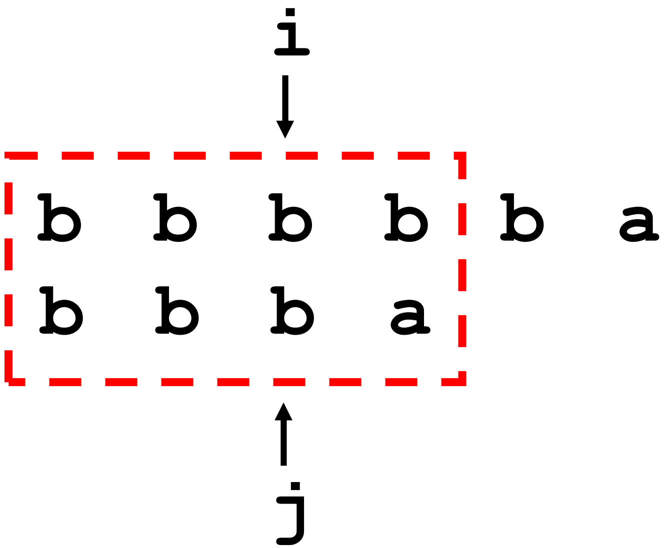
串的模式匹配：简单算法

- 最差的情况
  - 主串S中的每个字符，分别和模式T中的每个字符匹配一次
  - 复杂度 = O(n * m)



串的模式匹配：简单算法

- 最差的情况
  - 主串S中的每个字符，分别和模式T中的每个字符匹配一次
  - 复杂度 = O(n * m)



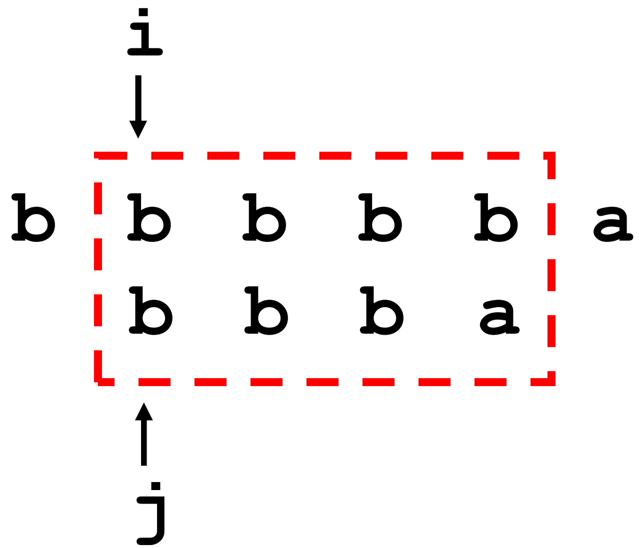
串的模式匹配：简单算法

- 最差的情况
  - 主串S中的每个字符，分别和模式T中的每个字符匹配一次
  - 复杂度 = O(n * m)

```
         i
         ↓
b  b  b  b  b  a
b  b  b  a
         ↑
         j
```

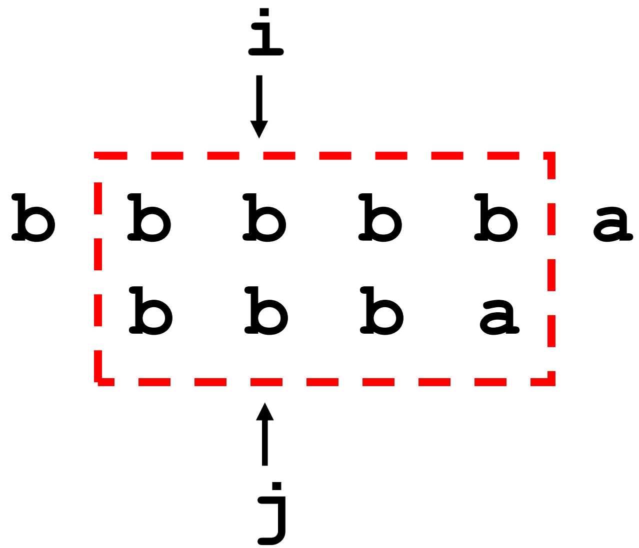
串的模式匹配：简单算法

- 最差的情况
  - 主串S中的每个字符，分别和模式T中的每个字符匹配一次
  - 复杂度 = O(n * m)



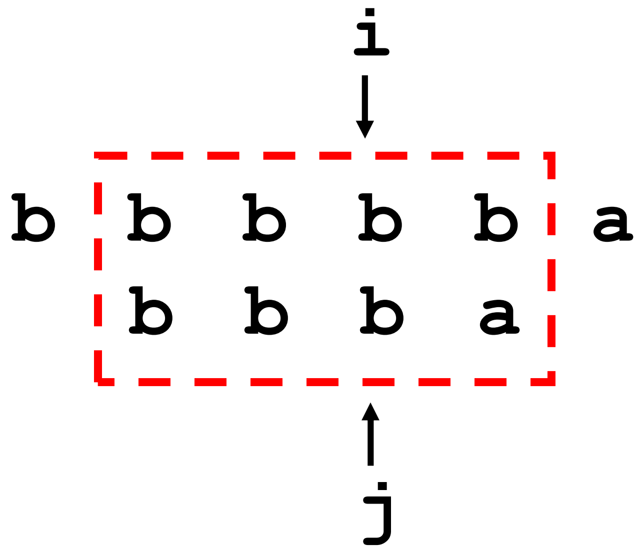
串的模式匹配：简单算法

- 最差的情况
  - 主串S中的每个字符，分别和模式T中的每个字符匹配一次
  - 复杂度 = O(n * m)



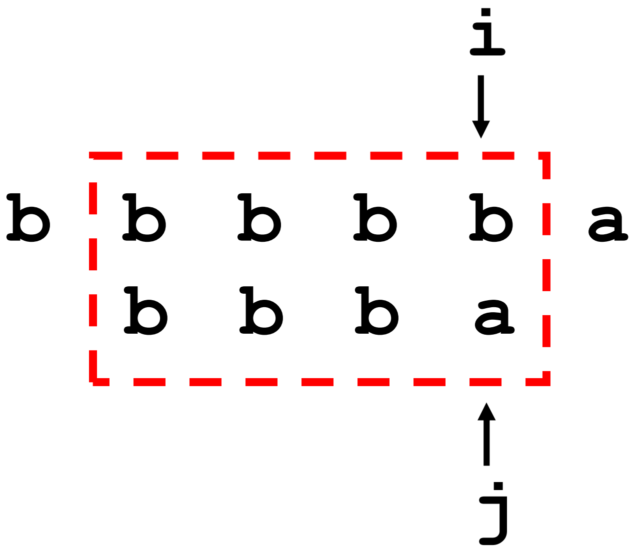
串的模式匹配：简单算法

– 最差的情况
  - 主串S中的每个字符，分别和模式T中的每个字符匹配一次
  - 复杂度 = O(n * m)



串的模式匹配：简单算法

– 最差的情况
  - 主串S中的每个字符，分别和模式T中的每个字符匹配一次
  - 复杂度 = O(n * m)



串的模式匹配：简单算法

– 最差的情况
  - 主串S中的每个字符，分别和模式T中的每个字符匹配一次
  - 复杂度 = O(n * m)

```
        i
        ↓
b   b   b   b   b   a
        b   b   b   a
        ↑
        j
```

串的模式匹配：简单算法

- 最差的情况
  - 主串S中的每个字符，分别和模式T中的每个字符匹配一次
  - 复杂度 = O(n * m)

```
          i
b b b b b a
    b b b a
          j
```

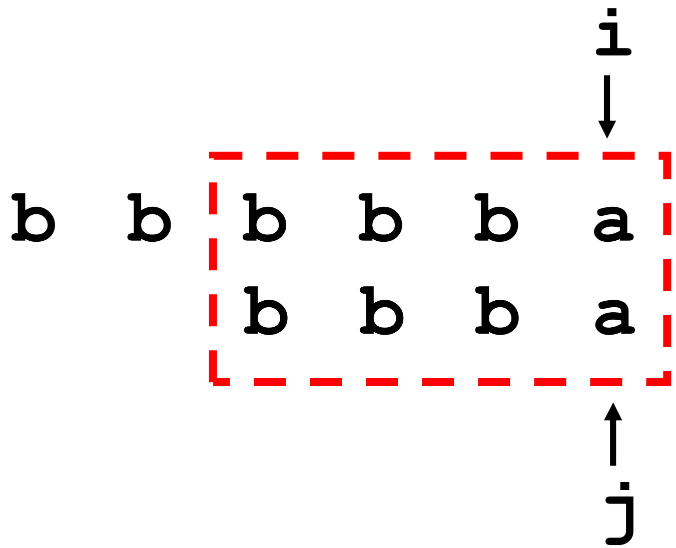
串的模式匹配：简单算法

– 最差的情况
  - 主串S中的每个字符，分别和模式T中的每个字符匹配一次
  - 复杂度 = O(n * m)

```
                i
b   b   b   b   b   a
        b   b   b   a
                j
```

串的模式匹配：简单算法

- 最差的情况
  - 主串S中的每个字符，分别和模式T中的每个字符匹配一次
  - 复杂度 = O(n * m)



串的模式匹配：KMP算法

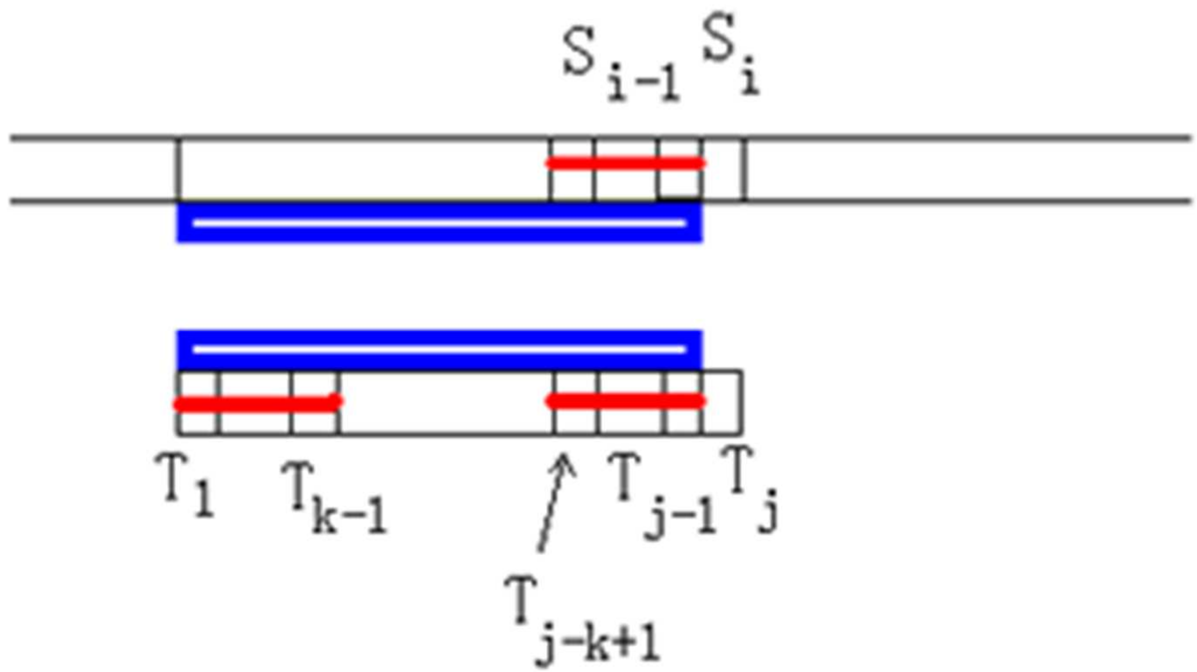
- KMP算法
  - 时间复杂度可以达到O(m+n)
  - 基本思想：在简单算法的基础上
    - i不要回退
    - 模式串尽量多往右移

串的模式匹配：KMP算法

【问题一】

在模式匹配过程中，若要保证主串指针 i 不回溯，则当主串的第 i 个字符与模式串的第 j 个字符失配时，下一次的比较应在哪两个字符间进行？

【分析】



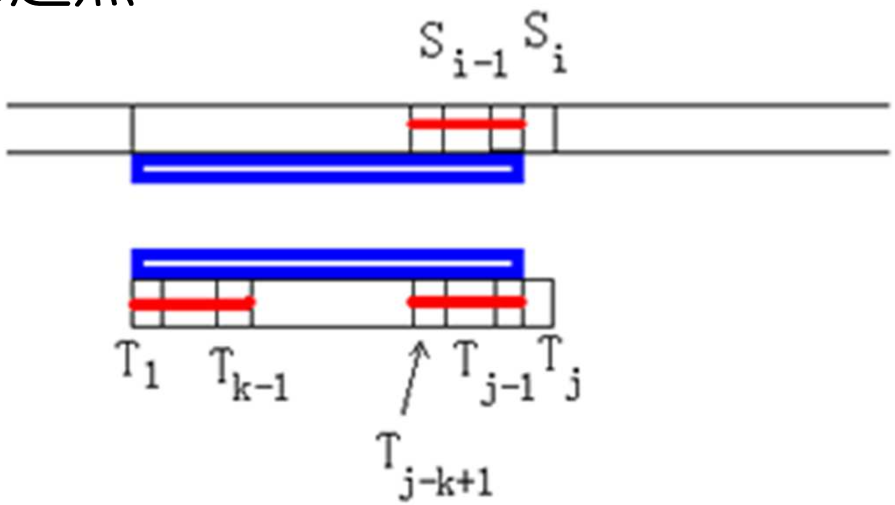
串的模式匹配：KMP算法

若存在最大的k满足‘$t_{j-k+1}\ldots t_{j-1}$’=‘$t_1\ldots t_{k-1}$’，则可以将模式串向右滑行k-1个，即下一步从t_k开始和主串的S_i比较。为什么？

证明（反证法）：

如果存在l>k,使下一步可从tl开始和主串的Si比较.则l也满足‘tj-l+1…tj-1’=‘t1…tl-1’，从而矛盾。

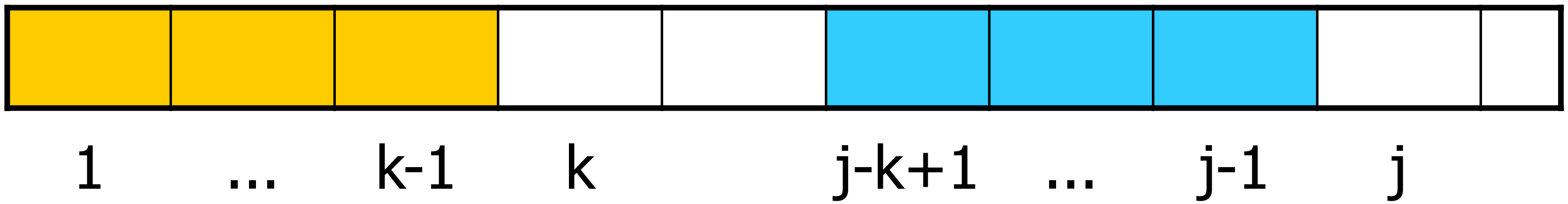
同样,如果从l<k进行比较,则可能滑行过远,错过了可以匹配的. 因此k是下次模式最好的起点.



串的模式匹配：KMP算法

- 模式串的**next**函数

$$next[j]=\begin{cases}0 & j=1\\ \mathrm{Max}\{k \mid 1<k<j \text{ 且 } 'p_1\cdots p_{k-1}'='p_{j-k+1}\cdots p_{j-1}'\} & \\ 1 & \text{others}\end{cases}$$



– 意义：**j**之前的子串中，左起一段=右起一段，最长不超过**k**

串的模式匹配：KMP算法

– 例如：

j	1	2	3	4	5	6	7	8
模式串	a	b	a	a	b	c	a	c
next[j]	0	1	1	2	2	3	1	2

$$next[j]=\begin{cases}0 & j=1\\ \text{Max}\{k \mid 1<k<j \text{ 且 } 'p_1\cdots p_{k-1}'='p_{j-k+1}\cdots p_{j-1}'\} & \\ 1 & \text{others}\end{cases}$$

串的模式匹配：KMP算法

	1	2	3	4	5	6
子串	a	b	c	a	b	d
next	0	1	1	1	2	3

i

↓

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	b	c	a	b	c	a	b	d	c

a	b	c	a	b	d
1	2	3	4	5	6

↑

j

串的模式匹配：KMP算法

	1	2	3	4	5	6
子串	a	b	c	a	b	d
next	0	1	1	1	2	3

i

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	b	c	a	b	c	a	b	d	c

a	b	c	a	b	d
1	2	3	4	5	6

j

串的模式匹配：KMP算法

	1	2	3	4	5	6
子串	a	b	c	a	b	d
next	0	1	1	1	2	3

i

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	b	c	a	b	c	a	b	d	c

a	b	c	a	b	d
1	2	3	4	5	6

j

串的模式匹配：KMP算法

	1	2	3	4	5	6
子串	a	b	c	a	b	d
next	0	1	1	1	2	3

i

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	b	c	a	b	c	a	b	d	c

a	b	c	a	b	d
1	2	3	4	5	6

j

串的模式匹配：KMP算法

	1	2	3	4	5	6
子串	a	b	c	a	b	d
next	0	1	1	1	2	3

i

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	b	c	a	b	c	a	b	d	c

a	b	c	a	b	d
1	2	3	4	5	6

j

串的模式匹配：KMP算法

	1	2	3	4	5	6
子串	a	b	c	a	b	d
next	0	1	1	1	2	3

i

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	b	c	a	b	c	a	b	d	c

a	b	c	a	b	d
1	2	3	4	5	6

j

此次匹配失败

让j = next[j] = 3

KMP算法:next函数计算

【问题二】

设给定模式串T，求其对应的Next(j)函数。

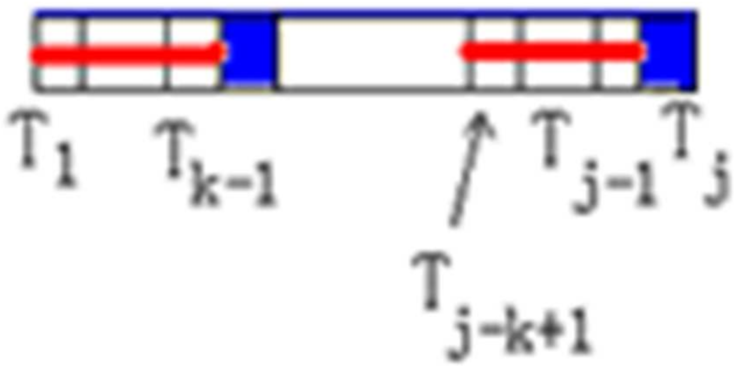
$$next[j]=\begin{cases} 0 & j=1\text{时} \\ Max\{k \mid 1<k<j\text{且}'t_1\ldots t_{k-1}'='t_{j-k+1}\ldots t_{j-1}'\}\text{该集合不空时} \\ 1 & \text{其它情况} \end{cases}$$

KMP算法:next函数计算

1)next[1]=0

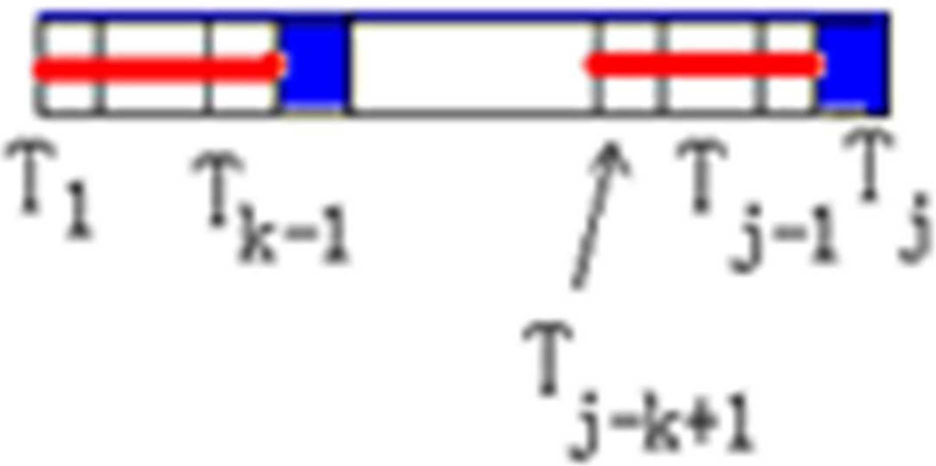
2)设 next[j]=k,求next[j+1]:

若tk = tj, 则next[j+1]=k+1.



KMP算法:next函数计算

若tj≠tk，则相当于以图中T为主串，T为子串进行匹配时，主串中第 j 个字符与子串中第 k 个字符失配，此时可令k=next[k]，再对tj和tk进行比较，如此循环，直至tj=tk 或k=0为止，此时next[j+1]=k+1。



KMP算法:next函数计算

- ***next*函数的计算**
  - 一个递归的过程:
  - 已知 **next[1]=0**
  - 若 **next[j]=k**
    - 说明有 ‘$t_1 ... t_{k-1}$’=‘$t_{j-k+1} ... t_{j-1}$’
    - 若t_k=t_j，则next[j+1]=k+1
    - 若t_k!=t_j，令k’=next[k]
      - 若$t_{k'}$=t_j，则next[j+1]=k’+1
      - 若$t_{k'}$!=t_j，则尝试next[k’]...

KMP算法:next函数计算

- 示例
  - 首先next[0]=1
  - 假设已知next[j]=k
  - next[j+1]=?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
子串	a	b	c	a	b	d	a	b	c	a	b	c	a
next	0											6	?

KMP算法:next函数计算

- 示例
  - 若T[k]=T[j]
  - 则next[j+1]=k+1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
						k						j	
子串	a	b	c	a	b	d	a	b	c	a	b	d	a
next	0											6	7

KMP算法:next函数计算

- 示例
  - 若T[k]!=T[j]
  - 令k′=next[k]
  - 若T[k′]=T[j]，则next[j+1]=k′+1

			k′			k						j	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
子串	a	b	c	a	b	d	a	b	c	a	b	c	a
next	0											6	4

KMP算法:next函数计算

- 为什么令k′=next[k]？
  - next[12]=6，说明T[1..5]=T[7..11]
  - k′=next[k]=3，说明T[1..2]=T[4..5]
  - 则T[1..2]=T[10..11]
  - 若又有T[k′]=T[j]，则next[j+1]=k′+1

			k′			k						j	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
子串	a	b	c	a	b	d	a	b	c	a	b	c	a
next	0											6	4

KMP算法:next函数计算

- 计算next的函数

```
void get_next(SSTring T, int &next[])
{
  j = 1; next[1] = 0; k = 0;
  while(j < T[0]) {
     if(k == 0 || T[j] == T[k]) {
          j ++;  k ++;  next[j] = k;
     }
     else      k = next[k];
  }
}
```

KMP算法:next函数计算

【例】设模式串T='abaabcac'，求其对应的next数组各元素值。

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
T	8	a	b	a	a	b	c	a	c	

【解】

(1)初始时令j=1，按定义有k=next[1]=0；

(2)不存在小于 2 且大于 1 的数，按定义应属其它情况，有next[2]=1.或因next[1] = k=0时，

next[j+1]= next[1]+1；

(3)j=2，k=1，t2≠t1，令k=next[k]=0，由k=0，则next[j+1]=next[3]=k+1=1；

KMP算法:next函数计算

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
T	8	a	b	a	a	b	c	a	c	

⑷j=3， k=1， t3＝t1， next[j+1]=next[4]=k+1=2；

⑸j=4， k=2， t4≠t2， k=next[k]=1，

由t4＝t1， 则next[j+1]=next[5]=k+1=2；

⑹j=5， k=2， t5＝t2， next[j+1]=next[6]=k+1=3；

⑺j=6， k=3， t6≠t3， k=next[k]=1，

t6≠t1， k=next[k]=0，

由k=0， 则next[j+1]=next[7]=k+1=1；

⑻ j=7， k=1， t7＝t1， next[j+1]=next[8]=k+1=2

KMP算法：

【问题三】

设已求得模式串对应的next数组中各元素的值，设计模式匹配算法。

【分析】

(1)令 i 指向 S 中第 pos 个字符，j 指向 T 中第 1 个字符；

(2)将 S 中当前字符与 T 中当前字符进行比较，

若相等，则令i++，j++；

若不等，则i不变，令j=next[j]，若得j值为0，则应使主串中下一字符与模式串中第1个字符进行比较，也为i++，j++；

(3)反复执行(2)直至模式匹配完成。

KMP算法:next函数计算

- 匹配函数

```
int Index_KMP(SString S, SString T, int pos)
{
  i = pos;j = 1;
  while(i <= S[0] && j <= T[0]) {
     if(j == 0 || S[i] == T[j]){
          i ++;      j ++; }
     else j = next[j];          //模式串右移
  }
  if(j > T[0]) return i - T[0]; //匹配成功
  else          return 0;        //失败
}
```

本章小结

- 串的类型定义
- 串的表示和实现
  - 定长顺序存储
  - 堆分配存储
  - 块链存储
- 串的模式匹配
  - 简单算法
  - KMP算法

作业

习题集1,4