数据结构
Data Structure

2017年秋季学期

刘鹏远

1、队列的应用

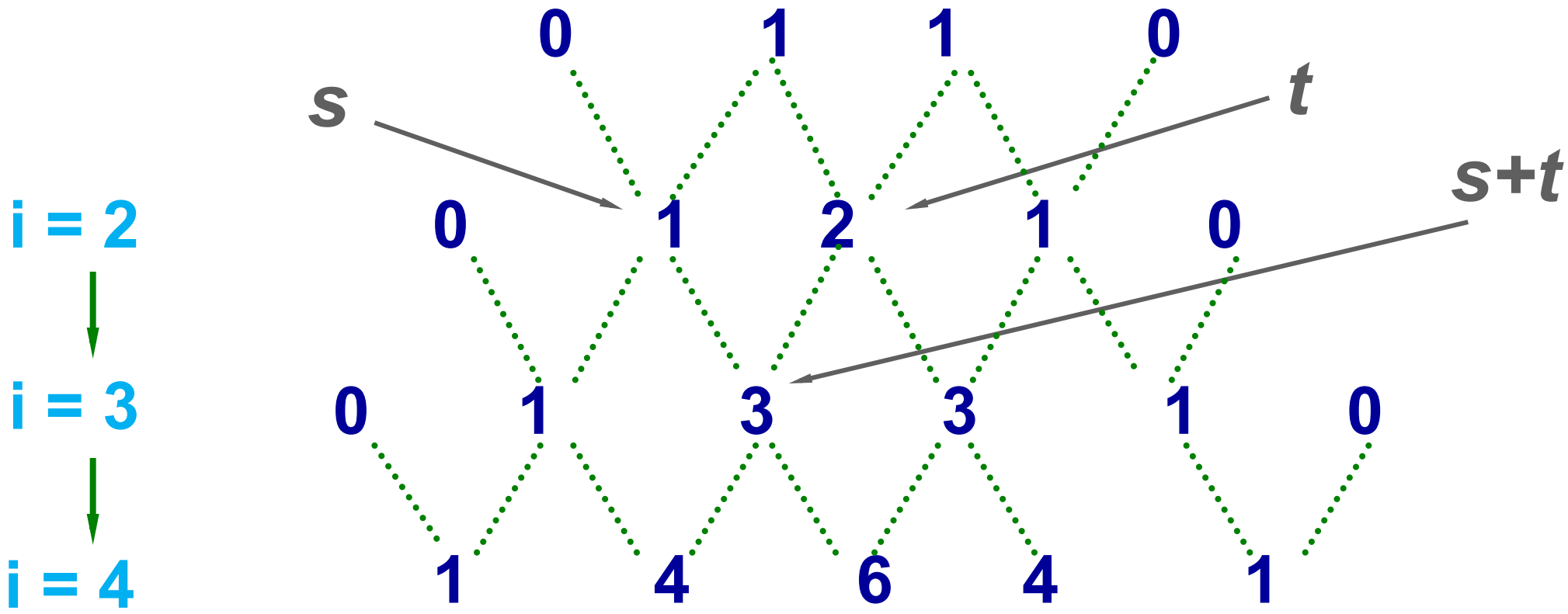
2、串

队列的应用 — 逐行打印二项展开式 $(a + b)^i$ 的系数

杨辉三角形 1 (Pascal’s triangle) i= 0

					1		1							i = 1
				1		2		1						2
			1		3		3		1					3
		1		4		6		4		1				4
	1		5		10		10		5		1			5
1		6		15		20		15		6		1		6

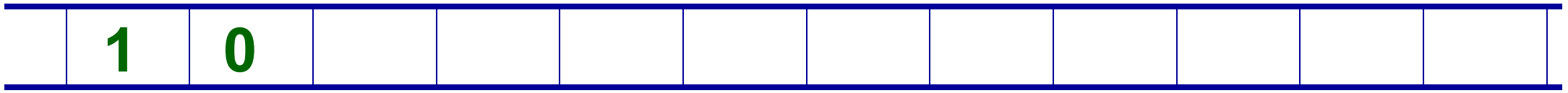
分析第 *i* 行元素与第 *i*+1行元素的关系



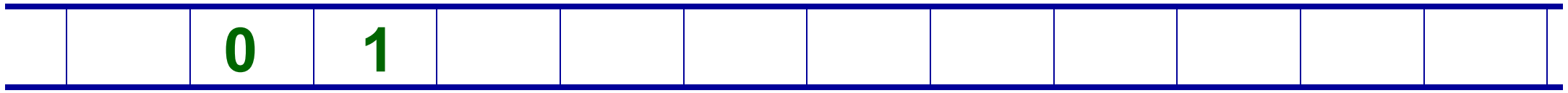
从前一行的数据可以计算下一行的数据

从第 *i* 行数据计算并存放第 *i*+1 行数据

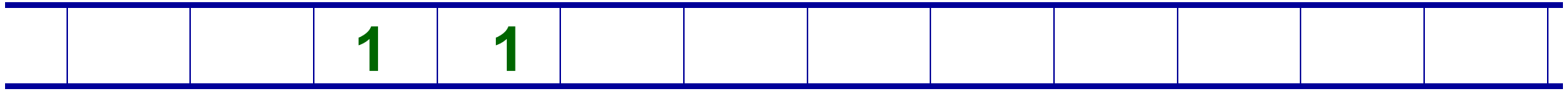
s=0



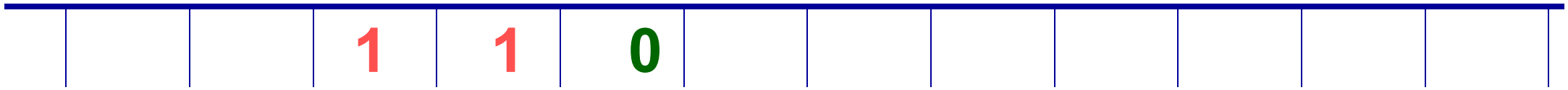
de_queue(Q,t), 入队s+t, s=t



de_queue(Q,t), 入队s+t, s=t

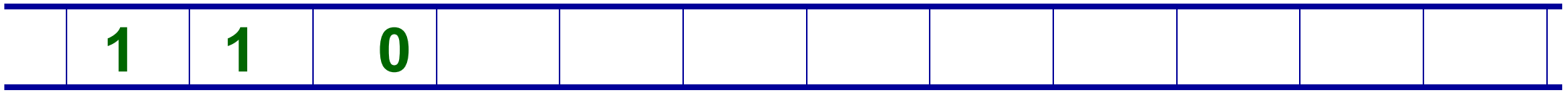


出栈元素为0时候，循环结束,。最后再enqueue(0)

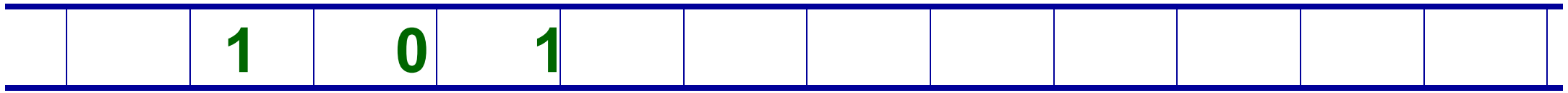


从第 *i* 行数据计算并存放第 *i*+1 行数据

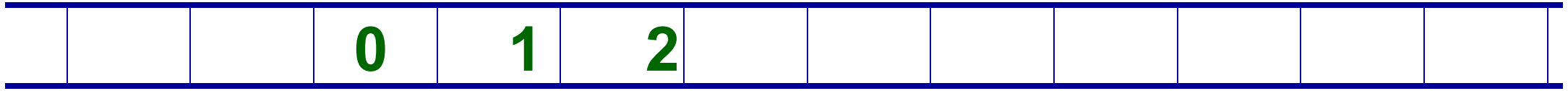
s=0



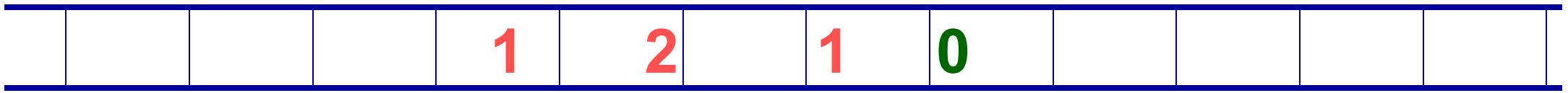
de_queue(Q,t), 入队s+t, s=t



de_queue(Q,t), 入队s+t, s=t



de_queue(Q,t), 入队s+t, s=t. t ==0，循环结束, enqueue(0)



实践时间

请同学们自行画出第四行的队列进出顺序

自己尝试写下实现打印杨辉三角的伪码/描述

伪码实现

```
Status print_yanghui(int n){
    queue Q;init_queue(&Q);enqueue(1);enqueue(0);
    //完成准备，并把第0行的数据压入了
    for(i=0;i<=n;i++){      s=0;
        do{dequeue(&Q,t);enqueue(&Q,s+t);s=t;
        }while(t)
    //在do循环中找合适地方输出
    enqueue(0);//注意把最后的0压入
    }//此时栈内存有最后一行
    return OK;
}
```

优先（级）队列 (Priority Queue)

- 优先队列　每次从队列中取出的是具有最高优先权的元素
- 如下表：任务优先权及执行顺序的关系

任务编号	1	2	3	4	5
优先权	20	0	40	30	10
执行顺序	3	1	5	4	2

数字越小，优先权越高　　通常用堆来实现

注意：优先队列是一种特殊的队列，说的是逻辑结构，其与循环(顺序)队列、链队列不是一个层面的东西，后两者是存储结构。　　思考：有没有优先级栈呢？

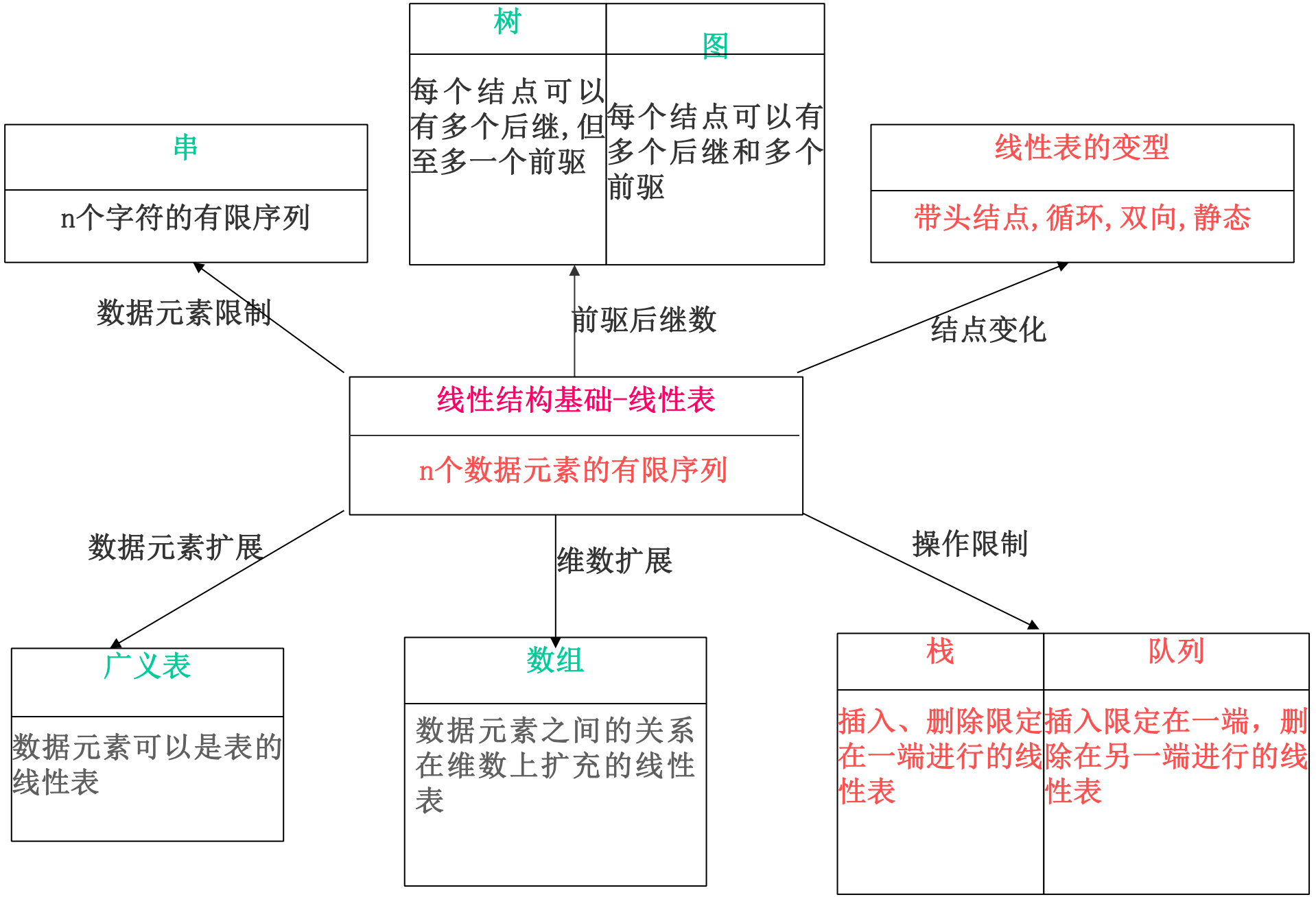
银行模拟

排队窗口为队列
事件（时间轴）为链表（有序）

自学

1、队列的应用

2、串(字符串)


线性结构基础-线性表
n个数据元素的有限序列
数据元素限制
串
n个字符的有限序列
前驱后继数
树
每个结点可以有多个后继，但至多一个前驱
图
每个结点可以有多个后继和多个前驱
结点变化
线性表的变型
带头结点，循环，双向，静态
数据元素扩展
广义表
数据元素可以是表的线性表
维数扩展
数组
数据元素之间的关系在维数上扩充的线性表
操作限制
栈
插入、删除限定在一端进行的线性表
队列
插入限定在一端，删除在另一端进行的线性表

1、串（字符串）的逻辑结构是线性的。

2、也是限定性线性表，是对线性表中每一个元素进行约束，使每一个元素必须限定在字符集中。

3、操作上有特殊性：

线性表中多是对单个元素进行操作。

串很多时候对连起的多个元素作为整体操作（如求子串、插入/删除子串）。

1. 定义
2. 逻辑结构

3. 存储结构
4. 操作实现
5. 应用(略)

1 串类型的定义

2 串的表示和实现

3 串的模式匹配算法

概念与逻辑结构

串即字符串，是由零个或多个字符组成的有限序列，
是数据元素为单个字符(限定在字符集)的特殊线性表。

记为： s =” a_1 , a_2 , …… , a_n” (n≥0)

串名

串值（用”” 括起来）

隐含结束符‘\0’，即ASCII码NULL

若干术语：

串长n：串中字符个数（n≥0）。 n=0 时称为空串 ∅ 。

空白串：由一个或多个**空格符**组成的串。

子串：串S中任意个连续的字符序列叫S的子串；S叫**主串**。

子串位置：子串的**第一个字符**的在**主串中的序号**。

字符位置：字符在串中的序号。

串相等：串长度相等，且对应位置上字符相等。

串的抽象数据类型定义（参见教材P71）

ADT String{

Objects: D={ai | ai∈CharacterSet, i=1, 2,…， n, n≥0}

Relations: R1={<a_{i-1},a_i> | a_{i-1},a_i ∈D, i=2, …， n}

functions:

最小操作子集

- str_assign(&T, chars) // 串赋值，生成值为chars的串T
- str_compare(S,T) // 串比较，若S>T，返回值大于0, 相等返回0，否则返回小于0
- str_length(S) // 求串长，即返回S的元素个数
- concat(&T, S1, S2) // 串连接，用T返回S1＋S2的新串
- sub_string(&Sub, S, pos, len) // 求S中pos起长度为len的子串

……

index(S, T, pos) // 返回子串T在pos之后的位置（模式匹配）

replace(&S, T,V) // 用子串V替换子串T

}ADT String

存储结构与操作实现

串的存储表示方法：

顺序存储

- 定长顺序存储表示（静态）

  ——用一组地址连续的存储单元存储串值的字符序列。

- 堆分配存储表示（动态）

  ——用一组地址连续的存储单元存储串值的字符序列，但存储空间是在程序执行过程中动态分配而得。

链式存储

- 串的块链存储表示

  ——链式

定长顺序存储（静态）：

用一组连续的存储单元来存放串，直接使用定长的字符数组来定义，数组的上界预先给出，故称为静态存储分配。

```
#define max_len 255    //用户可用的最大串长
  char sstring[ max_len＋1 ];
//sstring是一个可容纳255个字符的顺序串。
```

注：

- C语言约定在串尾加结束符 ‘\0’，但不计入串长；
- 一些编程语言约定sstring[0]来存放串长信息；
- 缺陷：若字符串超过Maxstrlen 则自动截断

实现方式：参见教材P73编程两例，两串连接和求子串

该方式缺陷确实明显
因难以在运行前，确定最终串的大小

堆分配存储（其实就是动态分配存储）
仍用一组连续的存储单元来存放串，但存储空间是在程序执行过程中动态分配而得。

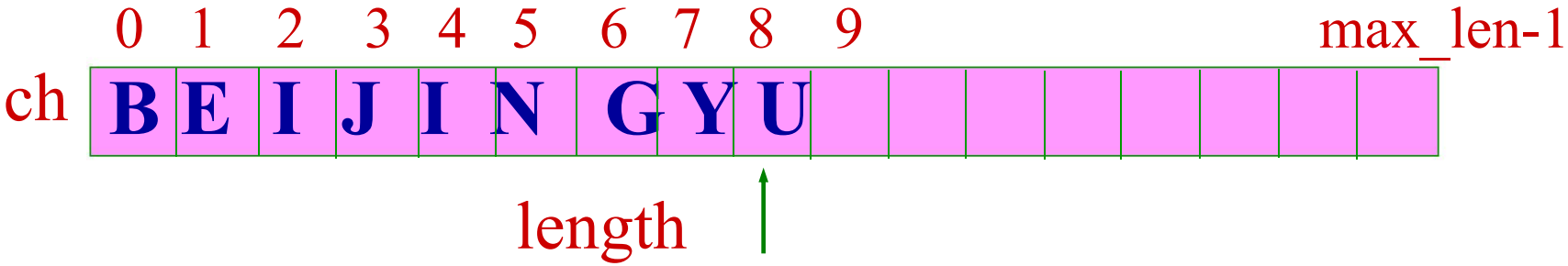
任何时候，均能利用malloc函数合理预设串长空间。

灵活性加强，不需要截断

（话说，一言不合就截断处理也太不负责了哈）

字符串的顺序方式(堆)定义

```
typedef struct {
   char *ch;              //串的存储数组
   int length;            //串的当前长度
} hstring;                //疑问：为何没有容量size?
```



```
//清空字符串
Status clear ( hstring  &S){
    if ( S.ch )  { free(S.ch);  S.ch = NULL; }
     S.length = 0;
     return  OK;
}
```

```
int str_compare(hstring S, hstring T) {
//比较字符串S与T: 若S = T, 返回值 = 0; 若S >
// T, 返回值>0; 若S < T, 返回值 <0。
   for ( i = 0; i < S.length && i <T.length; ++i )
         if ( S.ch[i] != T.ch[i] )  return  S.ch [i] – T.ch[i];
       return  S.length- T.length;
//或直接用如下C内置函数：
      //return strcmp(S . ch, T.ch));
}
```

联接两个串成新串

```
Status concat ( hstring  &T, hstring  S1,  sstring  S2 )
{  //  用T返回由S1和S2联接而成的新串。
    if (T.ch)   free(T.ch);              //    释放旧空间
    if ( !(T.ch = (char *) malloc ((S1.length+S2.length) *
          sizeof (char) ) ) )      exit ( OVERFLOW);
     T.ch[0 .. S1.length-1] = S1.ch[0 .. S1.length-1];
     T.length = S1.length + S2.length ;
     T.ch[S1.length .. T.length-1] = S2.ch[0 .. S2.length-1];
      return  OK;
  }
```

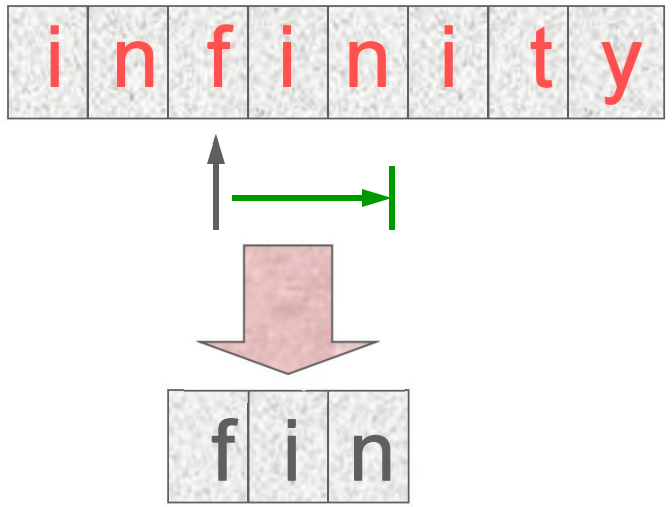
```
Status sub_string ( hstring &Sub, hstring S,int len )
{ 用Sub返回串S的第pos个字符起长度为len的子串。
      边界（前置）条件是？？


if ( pos<1 || pos>S.length || len<0 ||  len>S.length-pos+1)
        return  ERROR;        //  参数不合法
```

用Sub返回串S的第pos个字符起长度为len的子串。

```
if ( Sub.ch)   free ( Sub.ch);  //    释放旧空间
if (!len)  { Sub.ch = NULL; Sub.length = 0; }  //空子串
else {                                                  //  完整子串
        Sub.ch = ( char *) malloc ( len *sizeof ( char ));
        Sub.ch[0..len-1] = S.ch [ pos-1.. Pos+len-2];
        Sub.length = len;
    }
return  OK;
```

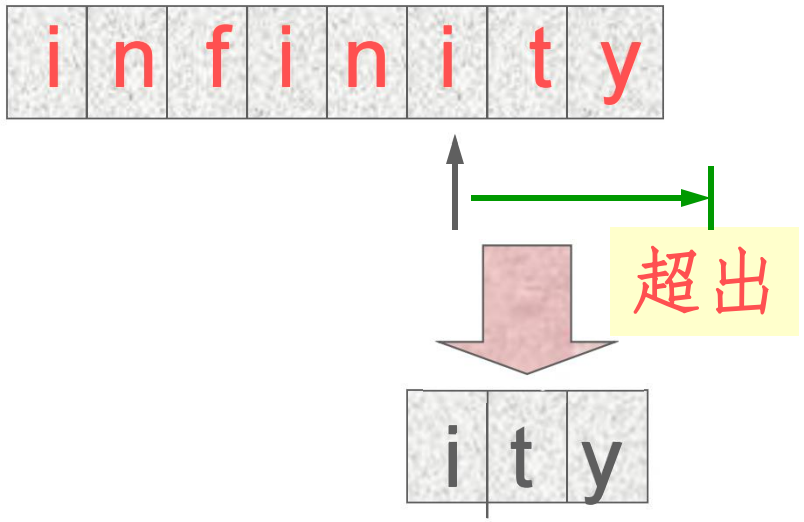
提取子串(边界处理)

pos = 3, len= 3



pos+len−1
≤ length

pos = 6, len= 4



pos+len−1
> length
即len>S.length-pos+1
修改 len= length−pos

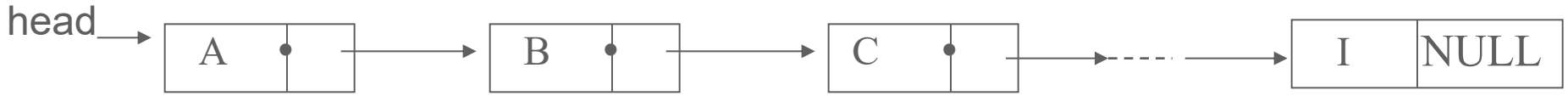
与顺序表同为线性结构，

串的顺序存储结构与顺序表区别不大（元素限定、操作不同而已）

下一页

链式存储：用链表存储串值，易插入和删除。

法1：链表结点（数据域）大小取1



法2：链表结点（数据域）大小取n(例如n=4)

法1存储密度为__1/2__；法2存储密度为__9/15=3/5__；

显然，若数据元素很多，用法2存储更优，称为块链结构

法2的缺点呢？

块链类型定义：

```
#define  CHUNKSIZE  80     //可由用户定义的块大小
typedef  struct  chunk {          //首先定义结点类型
        char    ch [ CHUNKSIZE ];  //结点中的数据域
        struct  chunk * next ;          //结点中的指针域
}chunk;

 typedef  struct {                  //其次定义用链式存储的串类型
          chunk  *head;             //头指针
          chunk  *tail;             //尾指针----便于链接操作
          int  length;              //结点个数
   } lstring;
```

再次强调：

串仍然是线性结构

串与线性表的运算有所不同，多以“串的整体”作为操作对象，例如查找某子串，在主串某位置上插入一个子串等。

在C中常用的字符串操作

字符串初始化

```
char name[12]  = “BLCU”;
char name[  ] = “BLCU”;
char name[12] = {‘B’,‘L’,‘C’,‘U’};
char name[  ] = {‘B’,‘L’,‘C’,‘U’,‘\0’};//c语言中\0自动加到结尾
char *name = “BLCU”;
```

```
char name[12];
name = “BLCU”;  ?
```

× 因数组名是地址常量

单个字符串的输入函数 gets (str)

例 char name[12];　　gets (name);

多个字符串的输入函数 scanf

例 char name1[12], name2[20];

scanf (“%s%s”, name1, name2);//回车作为一个s结束

字符串输出函数 puts (str)

例 char name[12];　　gets(name);

puts(name);

字符串求长度函数 strlen(str)//一些操作须include <string.h>

字符串长度不包括“\0”，不包括分界符（引号）

- 字符串连接函数 strcat (str1, str2)

  例 str1　“BLC\0”　　//连接前　str2　“U\0”　　//连接前

  　　str1　“BLCU\0”　//连接后　str2　“U\0”　　//不变

- 字符串比较函数 strcmp (str1, str2)

  //从两个字符串第 1 个字符开始，逐个对应字符进行比较，全部字符相等则函数返回0，否则在不等字符处停止比较，函数返回其差值 — ASCII代码

  例 str1　“University”　　i 的代码值105

  　　str2　“Universal”　　a 的代码值97，差8

```
int index (String S, String T, int pos) {
//在串S中pos（>0）位置开始寻找与串T相匹配的子串。若有，
//函数返回子串在串中位置（从1开始），若无，返回0。
    int LT = str_length (T),  LS = str_length (S); int i = pos;
    while (i <= LT-LP+1) {
        sub_string(&sub, S, i, LT);
        if (!compare(sub, T)) return i;
        else i++;
    }
    return -1;
} //用基本操作查找匹配的子串，复杂度O（M*N）
```

串的模式匹配算法

字符串很多操作中均涉及到**定位问题**，称为**串的模式匹配**。它是串处理系统中最重要的操作之一。

模式匹配(Pattern Matching) 即**子串定位运算（Index函数）**。

算法目的：确定主串中所含子串第一次出现的位置（定位）

——不利用其他操作，实现index(S,T,pos)函数

初始条件： 串S和T存在，T是非空串，1≤pos≤length(s)

操作结果： 若主串S中存在和串T值相同的子串，则返回它在主串S中第pos个字符之后第一次出现的位置；否则返回值为0。

注： S称为**被匹配的串**，T称为**模式串**。若S包含串T，则称“匹配成功”，否则称 “匹配不成功” 。

大家先想想，如何匹配呢？

蛮力法/暴力法/朴素法(Brute Force)

S=‘a b a b c a b c a c b a b’

T= ‘a b c a c’

① BF算法设计思想：

- 将主串的第pos个字符和模式的第1个字符比较，
  若相等，继续逐个比较后续字符；
  若不等，从主串的下一字符（pos+1）起，重新与子串第一个字符比较。

- 直到主串的一个连续子串字符序列与模式相等 。返回值为S中与T匹配的子序列第一个字符的序号，即匹配成功。
  否则，匹配失败，返回值 0 .

第1趟

S a b b a b a 3
T a b a 3

第2趟

S a b b a b a 2
T a b a 1

第3趟

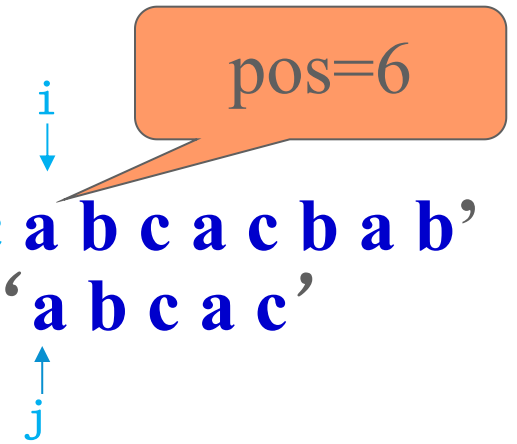
S a b b a b a 3
T a b a 1

第4趟

S a b b a b a 4
T a b a

√

```
int index(sstring S, sstring T, int pos) {//静态为例
  i=pos;      j=1;
  while ( i<=S[0] && j<=T[0] ) {
     if (S[i] = = T[j] ) {++i, ++j}   //继续比较后续字符
     else {i=i-j+2; j=1;}      //指针回溯到 下一首位，重新开始匹配
   }
  if(j>T[0]) return i-T[0];  //子串结束，说明匹配成功
  else return 0;
}// P79    算法4.5
```



时间复杂度分析

n-m+1个可能匹配位置。至少需要m次比较才能知道是否匹配(因长度为m)。

最好情况：每次匹配比较，一次就发现不匹配。

假设第一个位置就成功，则比较次数为m次

假设第二个位置成功，则1+m次比较

假设第三个位置成功，则2+m次比较

假设第i个位置成功，则i+m-1次比较

等差数列通项公式、求和公式

$$a_n = a_1 + (n-1) \times d$$

$$S_n = na_1 + \frac{n(n-1)}{2}d, n \in N^*$$

i=[1,n-m+1]。求和，并令概率均等得：(m+n)/2,则时间复杂度为：O（m+n）

时间复杂度分析

最坏情况：若n为主串长度，m为子串长度，则串的BF匹配算法最坏的情况下需要比较字符的总次数为：

m

m+m

m+m+m

. . . .

m*(n-m+1） 由于n>>>m,时间复杂度为：O(n*m)

即用基本操作查找匹配的子串的复杂度

可否有更高效的算法？

BF算法问题分析，指针回溯

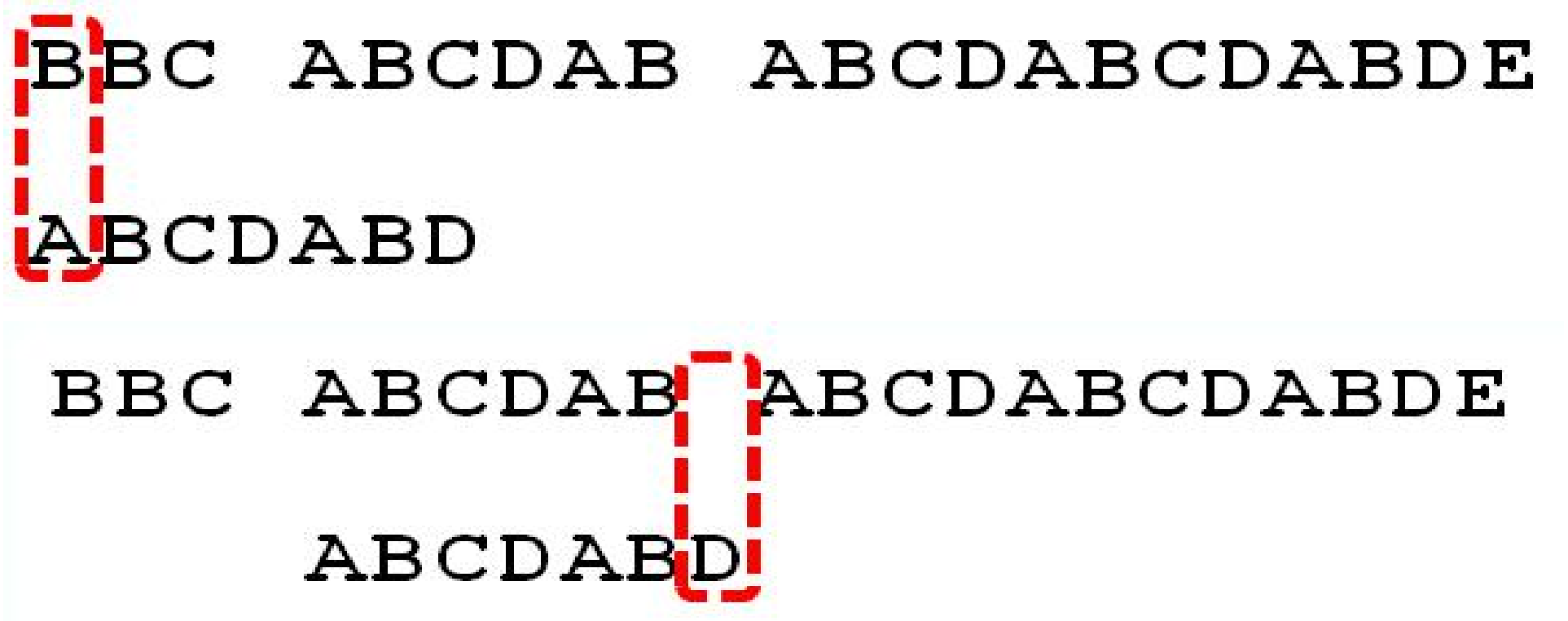
改进策略----充分利用已知信息，我们能够已知什么？

1、　　2、

KMP算法为代表　Knuth-Morris-Pratt算法

K--------Donald Knuth

KMP算法简介（精髓：利用已知结构信息，缩短回溯距离）



不匹配的位置处，观察已匹配字符串(s)。

最佳情况：如果字符串s自身没有重复字母，则可以直接跳过已匹配字符串，从不匹配位置进行匹配。

KMP算法简介

”前缀”和”后缀”。 ”前缀”指除了最后一个字符以外，一个字符串的全部头部组合；”后缀”指除了第一个字符以外，一个字符串的全部尾部组合。

字符串：　“bread”

前缀：　b，br，bre，brea

后缀：　read，ead，ad，d

KMP算法简介

部分匹配模式长度:"前缀"和"后缀"的最长共有元素长度

- "A"的前缀和后缀都为空集，共有元素的长度为0；
- "AB"的前缀为[A]，后缀为[B]，共有元素的长度为0；
- "ABC"的前缀为[A, AB]，后缀为[BC, C]，共有元素的长度0；
- "ABCD"的前缀为[A, AB, ABC]，后缀为[BCD, CD, D]，共有元素的长度为0；

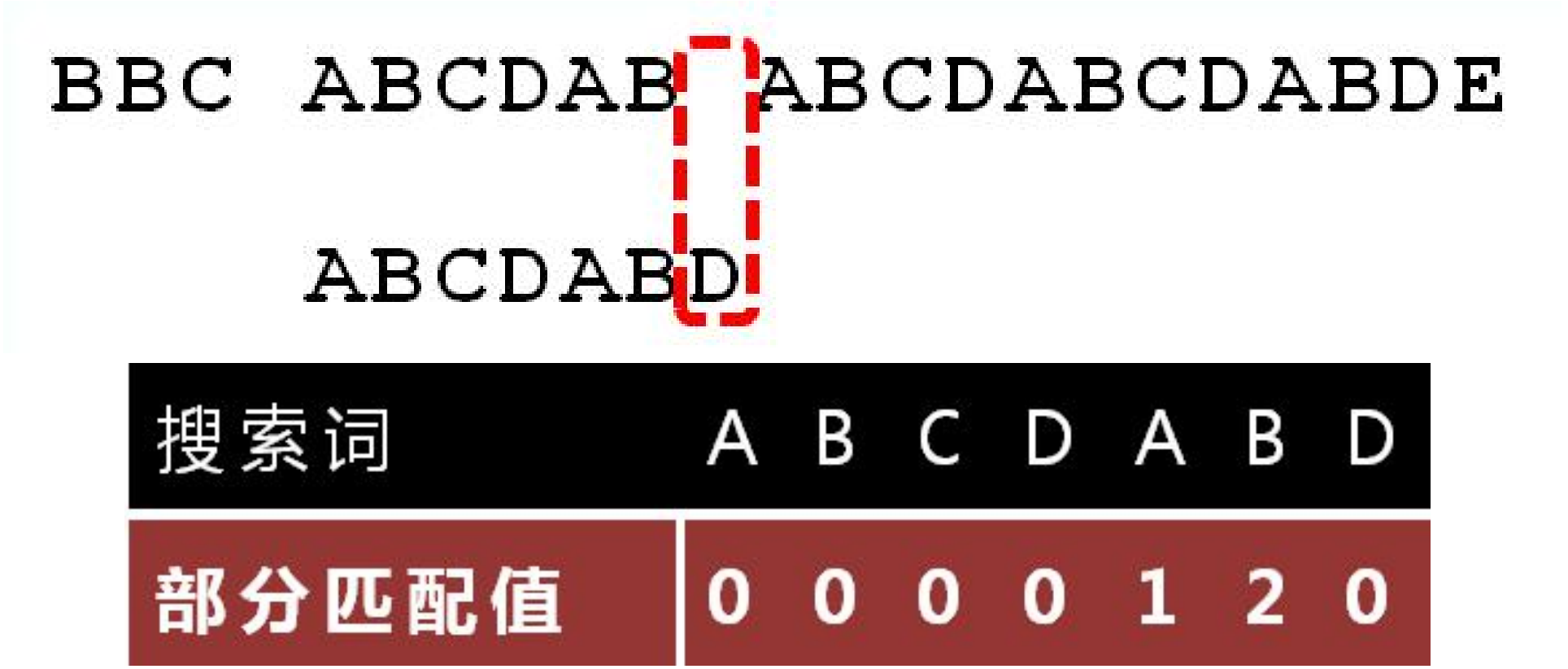
KMP算法简介

— "ABCDA"的前缀为[A, AB, ABC, ABCD]，后缀为[BCDA, CDA, DA, A]，共有元素为"A"，长度为1；

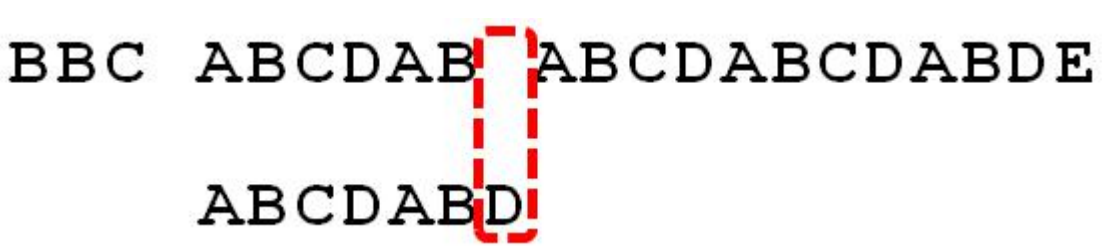
— "ABCDAB"的前缀为[A, AB, ABC, ABCD, ABCDA]，后缀为[BCDAB, CDAB, DAB, AB, B]，共有元素为"AB"，长度为2；

— "ABCDABD"的前缀为[A, AB, ABC, ABCD, ABCDA, ABCDAB]，后缀为[BCDABD, CDABD, DABD, ABD, BD, D]，共有元素的长度为0。

KMP算法简介



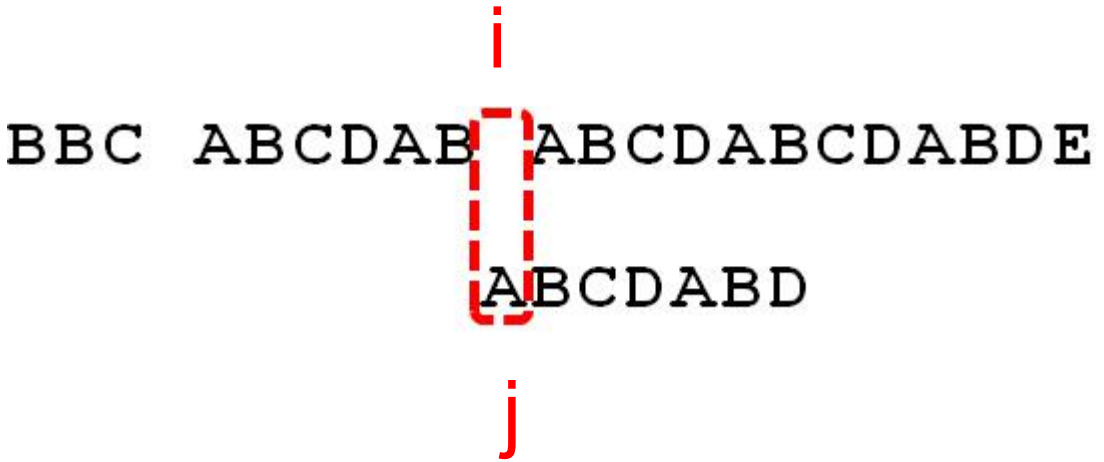
下次子串移动位数 = 已匹配的字符数 - 对应的部分匹配值



搜索词	A	B	C	D	A	B	D
部分匹配值	0	0	0	0	1	2	0

移动位数4=已匹配的字符数6-对应的部分匹配值2

移动位数 = 2 - 0 =2



每次主串比较位置i不动，只是子串第j位置与其比较

搜索词	A	B	C	D	A	B	D
部分匹配值	0	0	0	0	1	2	0

因此，算法核心是得到子串下一个比较位置j，也就是
j=next（j）

next函数的生成可形成所有前缀后缀，形成上述匹配表后，根据移动与j的比较位置间关系，再考虑边界条件后得到。

或者利用教材P83算法4.7

P84算法4.8是一种改进求next函数的方法

KMP算法简介（不作要求）

```
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}   //继续比较后续字符
        else   {j=next[j];}     //S的i指针不回溯，从T的j位置开始匹配}
  if(j>T[0])     return i-T[0]; //子串结束，说明匹配成功
  else return 0;
}O(m+n)
```

作业（周一晨4点交）：

用队列实现杨辉三角
n=5，打印出来，不要求形状好看

下周预期进度：递归与栈+迷宫
（含实现递归/非递归）

话说期中考试。。。

考试范围：

线性结构：

1、线性表---顺序表，链表(有头无头)

2、栈---顺序栈、链栈(有头无头)

3、队列---顺序栈（循环）、链栈(有头无头)

4、应用

```
typedef  struct{
     ElemType  *elem;      /* 存储空间的基址base    */
     int             length;     /* 当前长度              */
     int             size;       /* 当前分配的存储容量    */
  }SqList;
```

```
typedef struct{
    ElemType *base;
    ElemType *top;
    int stacksize;
}SqStack;
```

```
typedef struct {
     ElemType *elem;
     int front, rear;
} SqQueue;
```

动态分配，Destroy需要free分配空间

```
typedef  struct  Node{
    ElemType  data;              /*数据域，保存结点的值 */
    struct Node *next;           /*指针域*/ ( 双向需两个 )
}Node *LinkList, *LinkStack;     /*结点的类型 */
```

```
typedef struct LinkQueue{
    Node *front;
    Node *rear;
}LinkQueue;
```

```
typedef struct STNode{
    ElemType  data;
    int  cursor;
}STList;
STList mylist[MAXSIZE];
```

带头节点：初始化时候要分配一个头结点。操作实现简单。

无头节点：初始化无需分配节点。后续操作实现相对麻烦。

实际应用：

0、分析问题的逻辑结构
1、选择合适的逻辑结构
2、分析问题，设计算法
3、根据算法的操作，选择合适的存储结构
算法性能（时空复杂度）