数据结构与算法

人工智能与大数据学院

本节课主要内容

- 顺序表例题讲解
- 线性表的链式存储结构

第2章 线性表——顺序表的例题

① 顺序表插入元素问题

② 顺序表删除元素问题

③ 顺序删除重复元素问题

顺序表插入元素（插入位置[0,len-1]）

顺序表插入元素（插入位置[0,len]）

在顺序表中第i个位置处插入元素

```
for (j=len-1 ; j>= i-1  ; j--)
    L->data[ j+1] = L->data[ j] ;
L->data[i –1] = x ;
L->last = L->last+1 ;
```

顺序表插入元素（插入位置[0,len]）

在顺序表中第i个位置处插入元素

```
for (j=len-1 ; j>= i-1  ; j--)
    L->data[ j+1] = L->data[ j] ;
L->data[i –1] = x ;
L->last = L->last+1 ;
```

3 顺序表的插入算法，

最好的情况下的时间复杂度为___；

最坏的情况下的时间复杂度为___

顺序表插入元素（插入位置[0,len]）

在顺序表中第i个位置处插入元素

```
for (j=len-1 ; j>= i-1  ; j--)
    L->data[ j+1] = L->data[ j] ;
L->data[i –1] = x ;
L->last = L->last+1 ;
```

2 下段代码是顺序表插入算法(插入数据元素为data，插入位置为pos)的主要片段，请将代码补全：

```
int len = L->length,i;
for(i=len; i>=pos; i--){
    L->elem[____] = L->elem[____];
}
L->elem[_____] = data;
_____;
status=success;
```

顺序表删除元素（删除位置[0,len-1]）

顺序表插入元素（删除位置[0,len-1]）

删除顺序表中第i个位置的元素

```
for (j=i;j<= len+1 ;j++) {
        L->data[ j-1] = L->data[ j];
}
L->last = L->last-1;
```

顺序表插入元素（删除位置[0,len-1]）

删除顺序表中第i个位置的元素

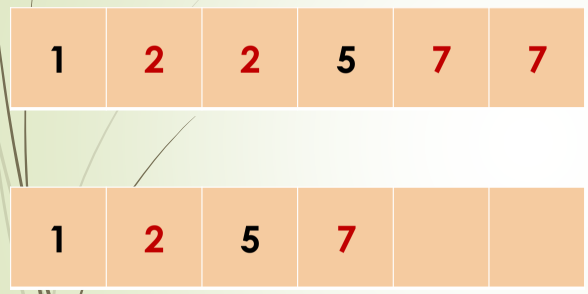
```
for (j=i;j<= len+1 ;j++) {
        L->data[ j-1] = L->data[ j];
}
L->last = L->last-1;
```

5 将下列程序补充完整（顺序表的删除算法）

```
int len = L->length,i;
if(1<=pos && pos <= ____){
for(i=pos; i<____;i++)
  L->elem[i]=L->elem[____]
  _________;
```

顺序表删除重复元素（有序）

顺序表删除重复元素（有序）




```
if (a[src] == a[src-1])
    src ++;
else{
    a[dst] = a[src-1];
    src ++;
    dst ++;
}
```

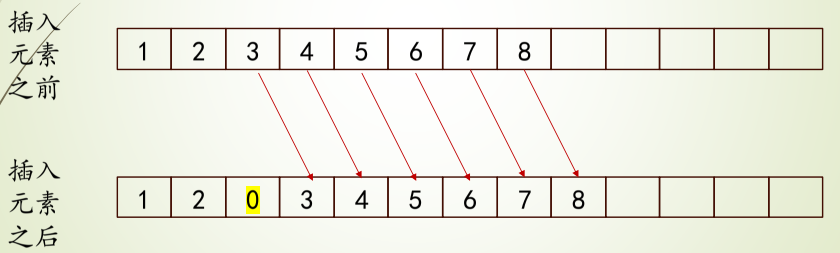
第2章 线性结构——线性表的链式存储

线性表的*顺序存储结构*是指用一组*地址连续*的内存单元依次存储线性表中各个数据元素，数据元素之间的线性关系通过存储单元的相邻关系来体现，用这种存储形式存储的线性表称为顺序表。

线性表的*链式存储结构*是指用一组任意的存储单元（可以连续，也可以不连续）存储线性表中的数据元素。
数据元素在存储空间中表示时通常称为结点。

第2章 线性结构——线性表的链式存储

顺序表的缺点：进行插入或删除操作时，平均移动约表中一半的数据元素，对于较长的顺序表而言效率低。



第2章 线性结构——线性表的链式存储

数据元素在存储空间中表示时通常称为**结点**。

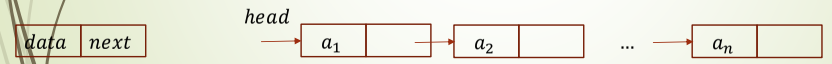
为了能够反映数据元素之间的相邻逻辑关系，每个结点不仅要存放数据元素本身，还需要一些额外的存储空间，用于存放和它有关系的数据元素的地址，即需要存放指向其他元素的指针。

指向第一个结点的指针为**头指针**，一旦知道头指针，就可以沿着指针依次访问其他数据元素。

第2章 线性结构——线性表的链式存储

单链表

单链表中每个结点由两部分组成：数据域和指针域。数据域用于存放数据元素，指针域用于存放数据元素之间的关系，通常用于存放直接后继的地址。
由于每个结点中只有一个指向直接后继的指针，所以称其为单链表



单链表的结点结构

非空单链表

说明：非空单链表中的箭头仅仅表示结点之间的逻辑关系，并不是实际的存储位置

链表的分类

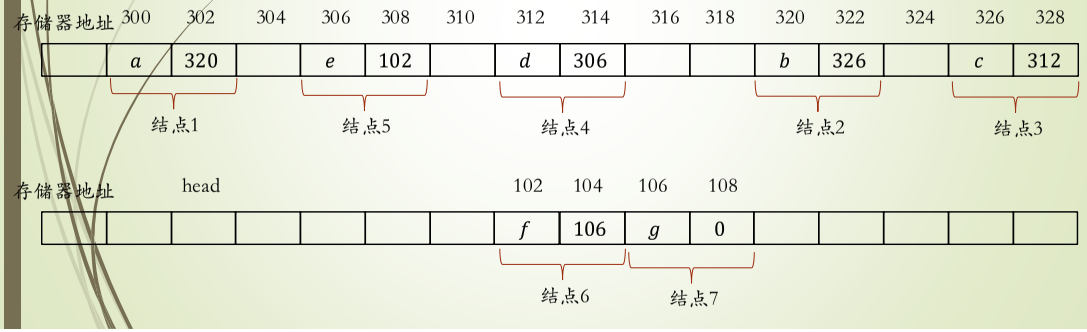
a. 根据结点中指针数量的多少，可以将链表分为单链表、双链表和多重链表

b. 根据是否在链表的第一个元素前附加额外的结点，可以将链表分为带头结点的链表和不带头结点的链表

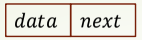
c. 根据头指针是指向第一个结点，还是指向最后一个结点，可以将链表分为带头指针的链表和带尾指针的链表等

单链表的存储

对于线性表（“a” “b” “c” “d” “e” “f” “g”），假设每个字符占用2个字节，每个指针占用2个字节，存储器按照字节编址，则单链表在计算机存储器中的一种可能情况如下图所示。结点在存储空间中的地址可以相邻，如结点6和结点7，也可以不相邻如其他结点。



单链表



单链表的结点结构

单链表结点结构的类型在C语言中可定义如下：

```
typedef struct node{
    ElemType data;
    struct node *next;
}Listnode, *ListNodePtr;
Typedef ListNodePtr List, *ListPtr;
```

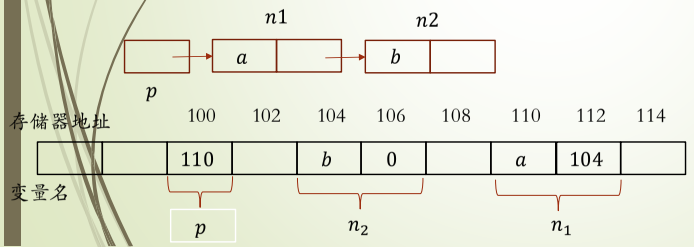
在上述类型定义中，我们定义了3个数据类型：struct node, ListNode, *ListNodePtr, 定义不同数据类型的目的主要是提高算法的可读性，同时也使得某些表达较简单。

单链表

下面的代码定义了3个变量：

```
ListNode n1, n2;          /* 定义2个结点变量 */
ListNodePtr  p=&n1;    /* 定义一个指向结点n1的指针变量p */
n1.next = &n2;         /* 结点n1的指针域存放结点n2的地址*/
```

下图表示了指针变量和结点变量之间的关系，以及在存储器中一种可能的存储方式



第2章 线性结构——线性表的链式存储

顺序表的缺点：进行插入或删除操作时，平均移动约表中一半的数据元素，对于较长的顺序表而言效率低

链表的优点：进行插入或删除操作时，无须移动数据元素

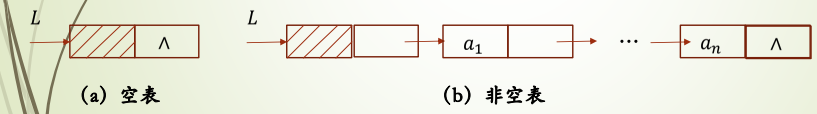
顺序表的优点：可以按照序号随机存取表中的元素

链表的缺点：失去了随机存取数据元素的功能

第2章 线性结构——单链表的基本操作

为了方便，对单链表进行操作之前，通常在第一个结点前增加一个称为头结点的结点。该头结点具有和其他结点相同的数据类型，其中的数据域通常不用，指针域用来存放第一个结点的地址。

在带头结点的单链表$(a_1, a_2, \ldots, a_n)$中，头指针指向头结点，如果线性表为空，则头结点的后继为空，可表示为L->next=NULL；否则，头结点的后继为第一个结点



(a) 空表　　(b) 非空表

第2章 线性结构——单链表的基本操作

(1) 单链表的查找操作

一种方式是按位置查找，即在给定的单链表L中，查找指定位置的数据元素，如果存在，则返回success，同时取回相应结点的数据。

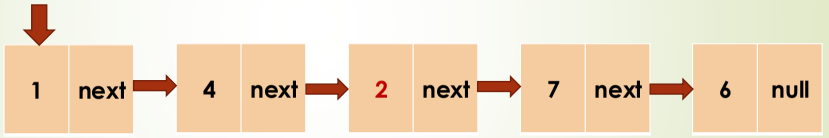
和顺序表不同，链表的操作只能从头指针出发，顺着指针域next逐个结点比较，直到搜索到指定位置的结点为止。

```
Status List_Retrieve(ListPtr L, int pos, ElemType *elem){
    Status status = range_error;
    ListNodePtr p = (*L) -> next;          /* p指向第一个元素结点*/
    int i = 1;                             /* 计数器 */
    while(p && i < pos){                   /* p指向的结点存在，且未到达指定位置 */
        i ++;
        p = p->next;
    }
    if(p && i == pos){                     /* 找到指定位置，且该结点存在 */
        *elem = p->data;
        status = success;
    }
    return status;
}
```

查找数据元素/结点

顺序表：

单链表：



第2章 线性结构——单链表的基本操作

（1）单链表的查找操作

查找操作从第一个结点开始，依次访问单链表的结点，因此，查找时间最长的情况是指定位置为最后一个结点，或者指定的位置超过线性表长度，指针须遍历整个单链表中的所有结点，故单链表定位查找的最坏时间复杂度为O(n)。而顺序表的定位查找的时间复杂度为O(1)，显然顺序表的定位查找效率更高

第2章 线性结构——单链表的基本操作

（1）单链表的查找操作

另一种方式是按值查找，在查找时，也是从单链表的头指针出发，将单链表中的结点逐个和给定值进行比较，直到找到所需数据元素（查找成功），或到达单链表尾部（查找失败）。

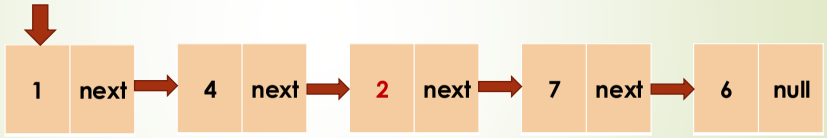
```
Status List_Locate(ListPtr L, ElemType elem, int *pos){
    Status status = range_error;
    ListNodePtr p = (*L) -> next;          /* p指向第一个元素结点*/
    int i = 1;                             /* 计数器 */
    while(p != NULL){                      /* 当p指向的结点存在时，才能向下比较 */
        if(p -> data == elem) break;       /* 如果找到指定数据元素，则跳出while循环*/
        i ++;
        p = p->next;                       /* 指针后移，同时计数器加1 */
    }
    if(p){                                 /* 找到给定结点 */
        *pos = i;
        status = success;
    }
    return status;
}
```

上述算法的时间复杂度也是O(n)，和顺序表按值查找算法的时间复杂度相同

查找数据元素/结点

顺序表：

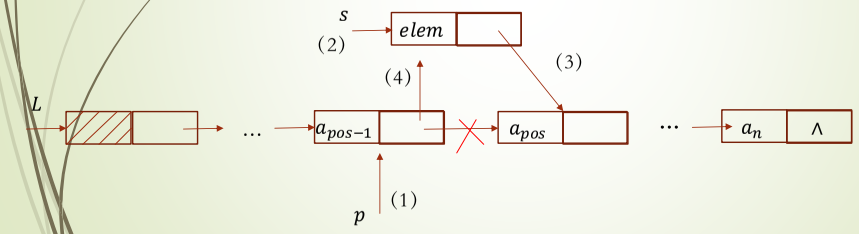
单链表：



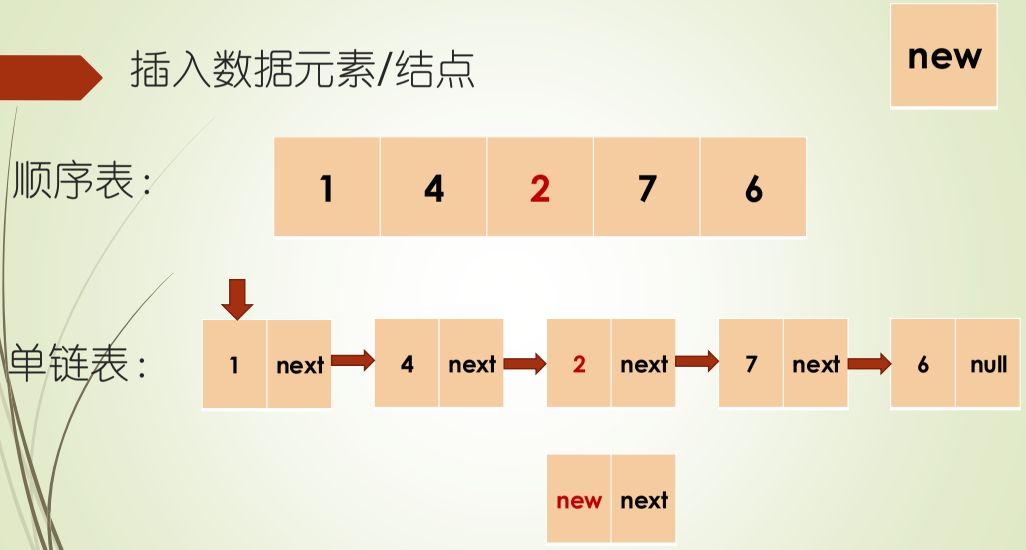
第2章 线性结构——单链表的基本操作

（2）单链表的插入操作

插入操作是指将值为elem的新结点插入到单链表中第pos个结点的位置上，即a_{pos-1}和a_{pos}之间。为了实现这个操作，必须找到a_{pos-1}的位置，然后构造一个数据域为elem的新结点，将其挂在单链表上，操作过程如下图所示。



插入数据元素/结点




```c
Status List_SetPosition(ListPtr L, int pos, ListNodePtr *ptr){
/* 单链表的指针定位算法（返回指向第pos个结点的指针）*/
    Status status;
    ListNodePtr p = *L;
    int i = 0;
    while(p && i < pos){
        i ++;
        p = p->next;
    }
    if(p && i == pos){
        *ptr = p;
        status = success;
    }
    return status;
}
Status List_Insert(ListPtr L, int pos, ElemType elem){
    Status status;
    ListNodePtr pre, s;
    status = List_SetPosition(L, pos-1, &pre);    /* 找插入位置的前驱 */
    if(status == success){
        s = (ListNodePtr)malloc(sizeof(ListNode));    /* 给新结点分配空间 */
        if(s){
            s->data = elem;              /* 设置新结点的数据域为elem */
            s->next = pre->next;         /* 设置新结点的指针域为插入位置前驱的后继 */
            pre->next = s;
        }else
            status = fatal;
    }
    return status;
}
```

第2章 线性结构——单链表的基本操作

（2）单链表的插入操作

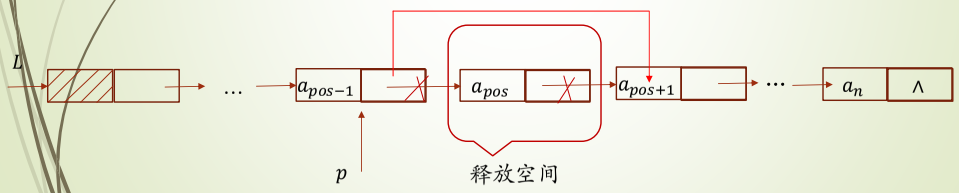
插入算法的时间复杂度为O(n)。基本语句是指针移动，而不是数据元素移动。一般来说，数据元素移动的时间消耗要比指针移动的时间消耗大的多，上述算法仅仅移动指针而没有移动数据元素，因此实际运行速度是很快的。

插入数据元素而不移动数据元素也是链表相对于顺序表的一大特点。

第2章 线性结构——单链表的基本操作

（3）单链表的删除操作

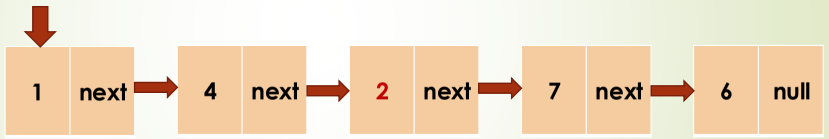
如果要删除单链表中的第pos个结点，只需修改第pos-1个结点的后继为第pos+1结点的地址。因此必须首先求得第pos-1结点的地址并用指针p指向该地址，然后再释放第pos个结点所占的存储空间。删除过程指针变化情况如下图所示。



删除数据元素/结点

顺序表：

单链表：



(3) 单链表的删除操作

```
Status List_Remove(ListPtr L, int pos){
    Status status;
    ListNodePtr ptr, q;
    status = List_SetPosition(L, pos-1, &ptr);   /* 找插入位置的前驱 */
    if(status == success){
        q = ptr->next;
        ptr->next = q->next;
        free(q);
        q=NULL;
    }
    return status;
}
```

上面算法的时间主要耗费在位置的查找上，如果以指针移动作为基本语句，其时间复杂度为O(n)。同单链表的结点插入算法一样，单链表的结点删除操作也不需要移动数据元素，运行起来是很高效的。

(4) 单链表的创建操作

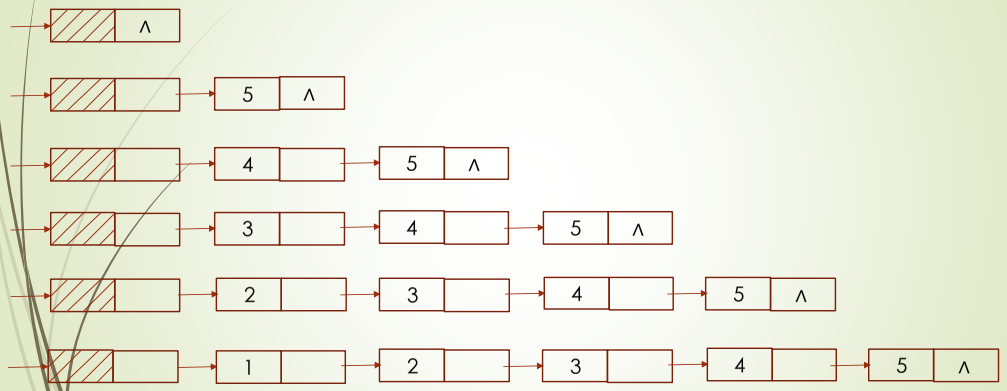
创建单链表的过程域创建顺序表的过程不同，单链表结点所占空间不是一次分配或预先划定的，而是根据结点个数不同即时生成的，并按需分配空间。

单链表的创建可以通过其他操作来实现，例如，首先创建一个空的单链表，然后依次动态生成元素结点，并逐个插入链表而得。数据的插入有两种方法，从链表头部开始插入和从链表尾部开始插入。由于从链表尾部开始插入需要跟踪尾部结点的位置。

因此使用，**从头部开始插入结点的方法建立单链表，此时要求数据元素以相反的顺序读入，每读入一个数据，就为其创建一个结点，并将其插入链表的头部。**

(4) 单链表的创建操作

例如，创建单链表(1,2,3,4,5)，则头部插入创建单链表过程实现：



（4）单链表的创建操作

例如，创建单链表(1,2,3,4,5)，则头部插入创建单链表过程实现：

```
Status List_Creat(ListPtr L, ElemType elem[], int n){
    Status status = success;
    ListNodePtr p, q;
    int i = n-1;                                /* 指向最后一个数据元素 */
    q = (ListNodePtr)malloc(sizeof(ListNode));   /* 建立带头结点的空表 */
    q->next = NULL;
    while(i >= 0){
        p = (ListNodePtr)malloc(sizeof(ListNode));
        if(!p){status = fatal; break;}
        p->data=elem[i];
        p->next=q->next;
        q->next=p;
        i = i-1;
    }
    *L = q;
    return status;
}
```

（5）单链表的其他操作
（初始化、销毁、清空、判空）

```
Status List_Init(ListPtr L){
    Status status = fatal;
    *L = (ListNodePtr)malloc(sizeof(ListNode));
    if(*L){(*L)->next=NULL; status=success;}
    return status;
}

void List_Destory(ListPtr L){
    List_Clear(L);
    free(*L);
}

void List_Clear(ListPtr L){
    ListNodePtr p = *L, q = p->next;
    while(q){
        p->next=q->next;
        free(q);
        q=p->next;
    }
}

bool List_Empty(ListPtr L){
    return(*L)->next == NULL;
}
```

（6）单链表的其他操作
（求长度、求结点的前驱、求结点的后继）

```
int List_Size(ListPtr L){
    int length = 0;
    ListNodePtr p = (*L) ->next;
    while(p){
        length ++;
        p = p->next;
    }
    return length;
}
Status List_Prior(ListPtr L, int pos, ElemType *elem){
    Status status;
    ListNodePtr ptr;
    status = List_SetPosition(L, pos-1, &ptr);
    if(status == success){
        *elem = ptr->data;
    }
    return status;
}
Status List_Next(ListPtr L, int pos, ElemType *elem){
    Status status;
    ListNodePtr ptr;
    status = List_SetPosition(L, pos+1, &ptr);
    if(status == success){
        *elem = ptr->data;
    }
    return status;
}
```

单链表的基本操作

与顺序表不同，除初始化（List_Init）和判空（List_Empty）外，几乎所有的单链表的操作都涉及指针的大量移动(p=p->next)，如果把指针移动作为基本语句，则它们的时间复杂度都是O(n).

需要注意的是，不同情况下时间复杂度可能是不同的。对于插入和删除操作，如果已知被操作结点的前驱指针，则它们的操作仅仅需要修改有限的几个指针即可，时间复杂度是O(1)，而不像顺序表那样需要移动大量的数据元素。即使考虑指针移动所花费的时间，因为指针移动仅仅是简单变量（相当于整型变量）的赋值操作，和移动数据元素相比，也能节省很多时间，这正是***链式存储结构的一个重要优势***