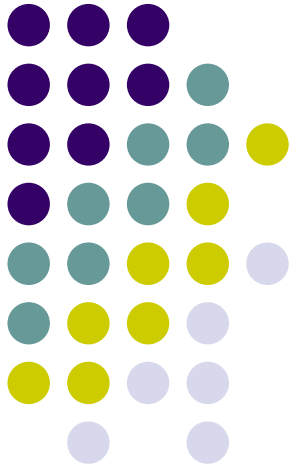
第十四章
動態記憶體配置與鏈結串列



動態記憶體配置

鏈結串列

循序串列與鏈結串列的優缺點

實作鏈結串列

記憶體配置的方式

- 記憶體配置：
  - 靜態配置：
    - 在編譯時期（compile-time），編譯器就必須決定配置多少記憶空間給變數
    - 記憶體使用較無彈性，配置過多會浪費，配置過少會不夠使用
  - 動態配置：
    - 在程式執行時期（run-time），根據處理資料的需求，才向系統要求記憶空間
    - 可以有效地使用配置的記憶體

動態記憶體配置

- 程式設計者透過 malloc() 函數進行動態記憶體的配置

malloc() 的語法

```
指標變數=(指標變數所指向的型態 *) malloc(所需的記憶空間)
```

將 malloc() 所傳回的位址
強制轉換成指標變數的型態

以位元組爲單位

- 配置可存放3個整數的記憶空間：

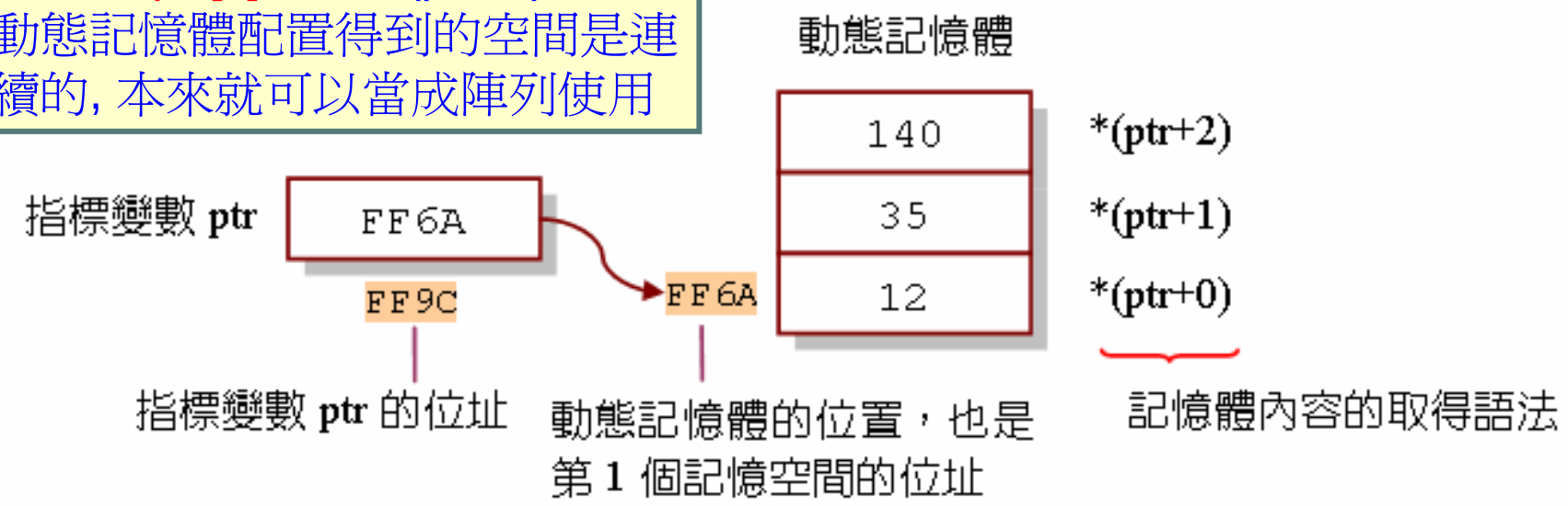
```
int *ptr;                              /* 宣告指向整數的指標 ptr */
ptr=(int *) malloc(12);                   /* 較不好的寫法 */
ptr=(int *) malloc(3*sizeof(int));  /* 較好的寫法 */
```

設定與取得記憶體的內容

- 第 *k* 個記憶空間的內容可藉由*(ptr+k-1)來存取

```
int *ptr;
ptr=(int *) malloc(3*sizeof(int));
*ptr=12;          /* 將 ptr 所指向的第 1 個記憶空間設值爲 12 */
*(ptr+1)=35;      /* 將第 2 個記憶空間設值爲 35 */
*(ptr+2)=140;     /* 將第 3 個記憶空間設值爲 140 */
```

請使用 ptr[k] 取代 *(ptr+k)
動態記憶體配置得到的空間是連續的, 本來就可以當成陣列使用



歸還記憶空間

- 用 free() 函數把動態取得的記憶體歸還給系統

free() 的語法

```
free(指標變數);   /* 釋放由指標變數所指向的記憶空間 */
```

- 記憶體遺漏 (memory leakage)
  - 動態配置的記憶體沒有用 free() 歸還系統
- 記憶體區段存取失敗 (segmentation fault) 或非法記憶體存取 (illegal memory access)
  - 如果記憶空間已歸還了，卻還嘗試著去使用那塊記憶空間

動態記憶體實例一

```
01  /* prog14_1, 動態記憶體配置的範例 */
02  #include<stdio.h>
03  #include<stdlib.h>
04  int main(void)
05  {
06     int *ptr,i;
07     ptr=(int *) malloc(3*sizeof(int));   /* 配置 3 個存放整數的空間 */
08
09     *ptr=12;              /* 把配置之記憶空間的第 1 個位置設值為 12 */
10     *(ptr+1)=35;          /* 把第 2 個位置設值為 35 */
11     *(ptr+2)=140;         /* 把第 3 個位置設值為 140 */
12
13     for(i=0;i<3;i++)
14        printf("*ptr+%d=%d\n",i,*(ptr+i));   /* 印出存放的值 */
15
16     free(ptr);            /* 釋放由 ptr 所指向的記憶空間 */
17     system("pause");
18     return 0;
19  }
```

```
/* prog14_1 OUTPUT---

*ptr+0=12
*ptr+1=35
*ptr+2=140
----------------------*/
```

請使用 ptr[i] 取代 *(ptr+i)

動態記憶體實例二 (1/2)

- 以 malloc() 配置記憶空間給結構變數

```
01  /* prog14_2, 配置記憶空間給結構變數 */
02  #include<stdio.h>
03  #include<stdlib.h>
04  int main(void)
05  {
06     int num,i;
07     struct student           /* 定義結構 student */
08     {
09        char name[10];
10        int score;
11     } *ptr;                  /* 宣告指向結構 student 的指標 ptr */
12
13     printf("Number of student: ");
14     scanf("%d",&num);
15
16     ptr=(struct student *) malloc(num*sizeof(struct student));
17
```

動態記憶體實例二 (2/2)

```
18     for(i=0;i<num;i++)
19     {
20        fflush(stdin);                    /* 清空緩衝區的內容 */
21        printf("name for student %d: ",i+1);
22        gets((ptr+i)->name);              /* 將鍵入的字串寫入 name 成員 */
23        printf("score for student %d: ",i+1);
24        scanf("%d",&(ptr+i)->score);      /* 將鍵入的整數寫入 score 成員 */
25     }
26     for(i=0;i<num;i++)
27        printf("%s: score=%d\n",(ptr+i)->name,(ptr+i)->score);
28
29     free(ptr);                           /*
30
31     system("pause");
32     return 0;
33  }
```

```
/* prog14_2 OUTPUT---------
Number of student: 2
name for student 1: Jenny
score for student 1: 65
name for student 2: Teresa
score for student 2: 88
Jenny: score=65
Teresa: score=88
---------------------------*/
```

請使用 ptr[i].name 取代 (ptr+i)->name
ptr[i].score 取代 (ptr+i)->name

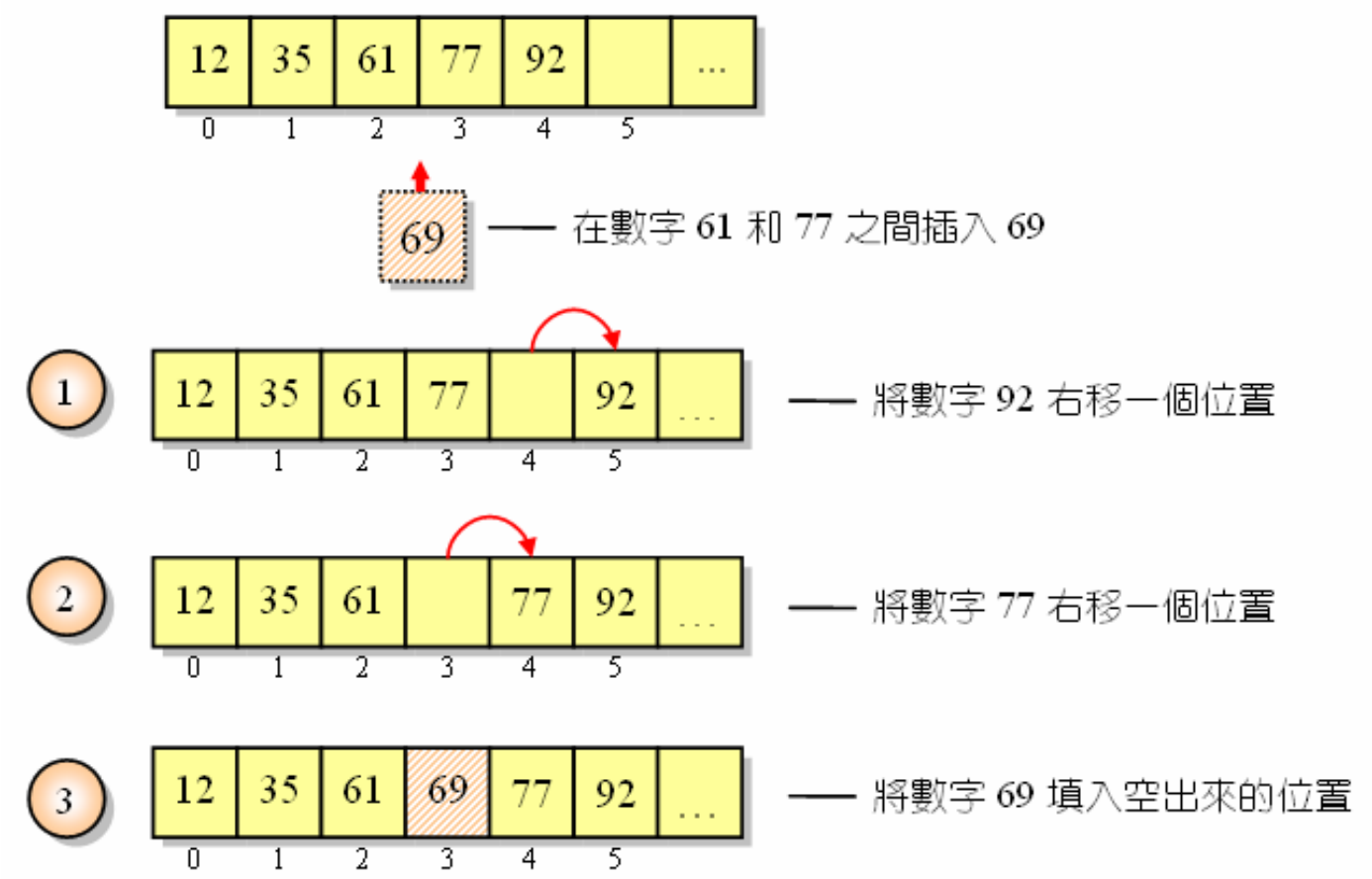
串列 (List)

- 有次序的資料可組成一個串列 (list)
- 串列可分爲循序串列與鏈結串列
  - 循序串列 ：存放串列的記憶體是循序的（即有先後次序）
    - 優點：存取方便
    - 缺點：增加或刪除節點較麻煩，易造成記憶空間不足或浪費
  - 鏈結串列 ：以指標將存放串列的記憶體鏈結起來
    - 優點：記憶體配置較有彈性
    - 缺點：搜尋某個元素時，可能會較爲耗時

通常就叫做 “陣列” 了

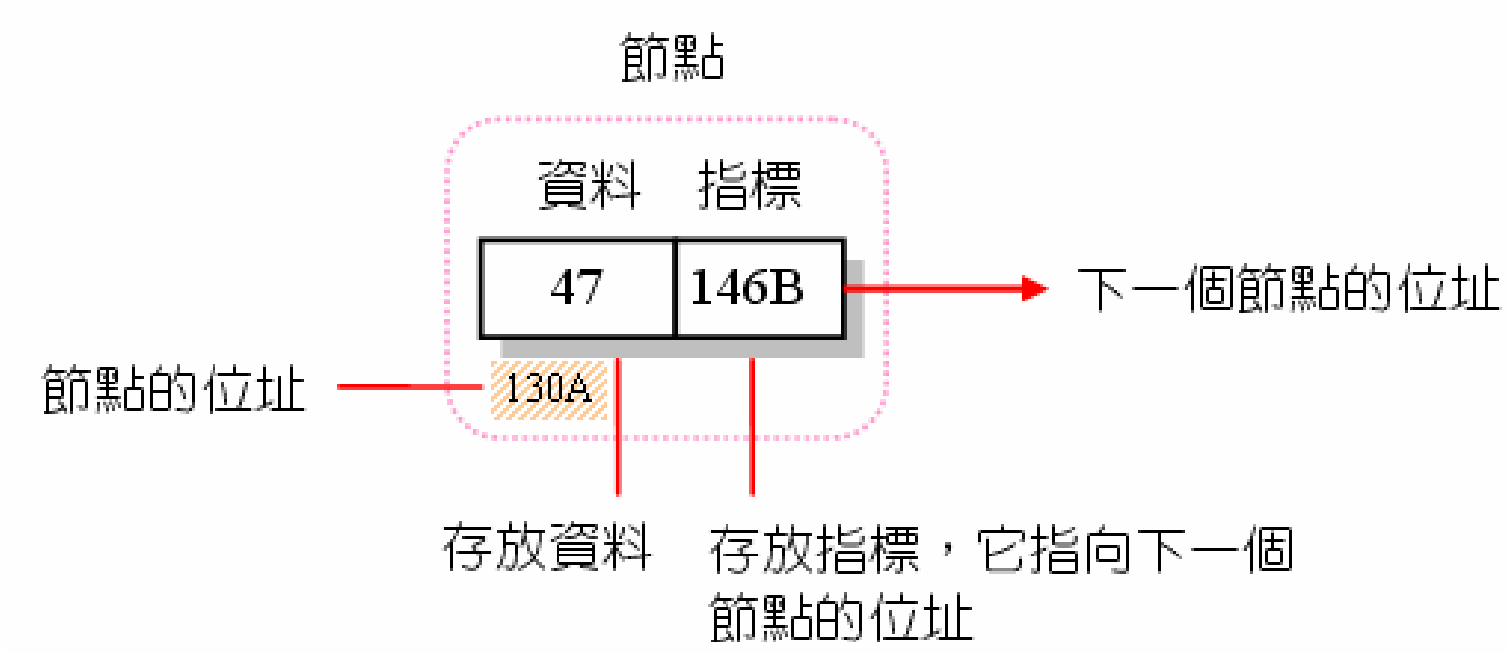
以陣列實作循序串列

- 以陣列實作循序串列，資料的移動會較爲頻繁



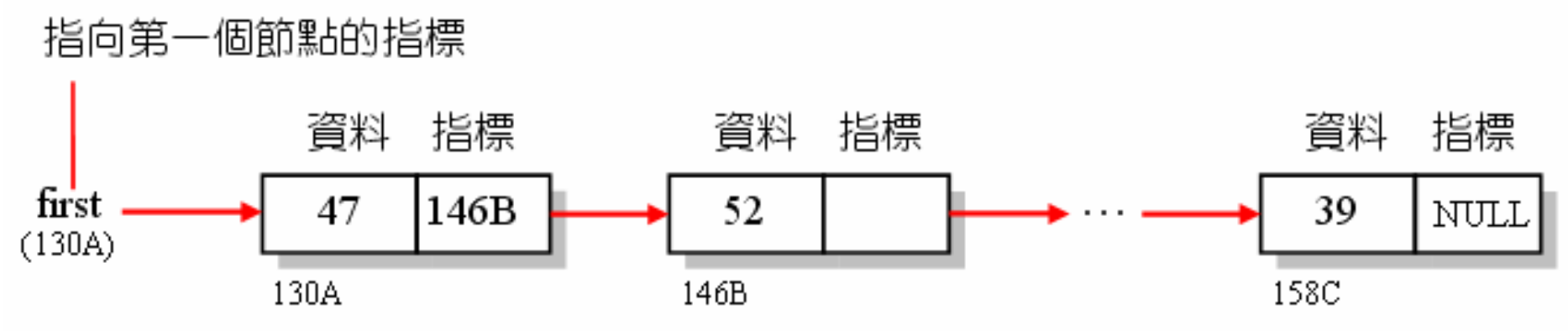
鏈結串列的表示法 (1/2)

- 每一節點包含兩個成員
  - 第一個成員是該節點所儲存的資料
  - 第二個成員是一個指標，它指向了下一個節點的位址



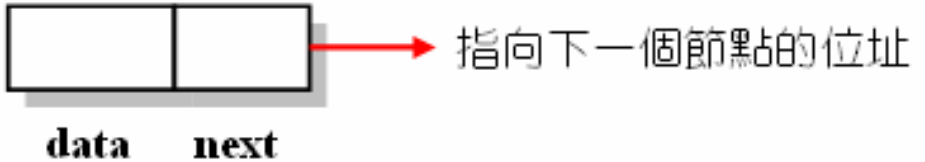
鏈結串列的表示法 (2/2)

- 鏈結串列是由許多節點鏈結而成
  - 每一個節點均有一個指標指向下一個節點
  - 鏈結串列可由下圖來表示



以結構來實作鏈結串列

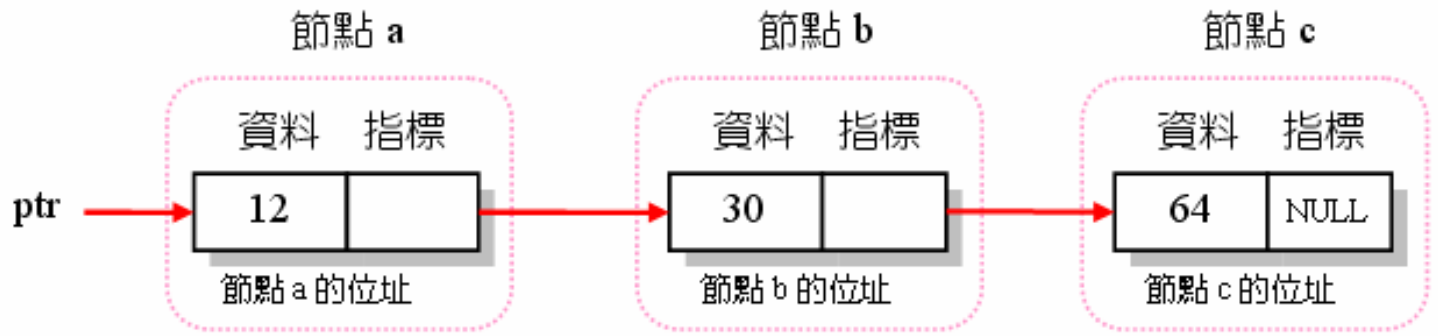
- 以結構實作鏈結串列：
  - 每一個節點有兩個成員
    - 第一個成員用來存放資料 (data)
    - 第二個成員用來存儲指向下一個節點的指標 (next)




```
struct node
{
   int data;          /* 資料成員 */
   struct node *next; /* 鏈結成員，指向下一個節點的指標 */
};
```

鏈結串列的實作範例 (1/3)

- 下面的範例建立了如下圖的鏈結串列：




```
01  /* prog14_3, 建立 3 節點的鏈結串列 */
02  #include<stdio.h>
03  #include<stdlib.h>
04  struct node
05  {
06     int data;                    /* 資料成員   */
07     struct node *next;           /* 鏈結成員，存放指向下一個節點的指標   */
08  };
09  typedef struct node NODE;       /* 將 struct node 定義成 NODE 型態 */
10
```

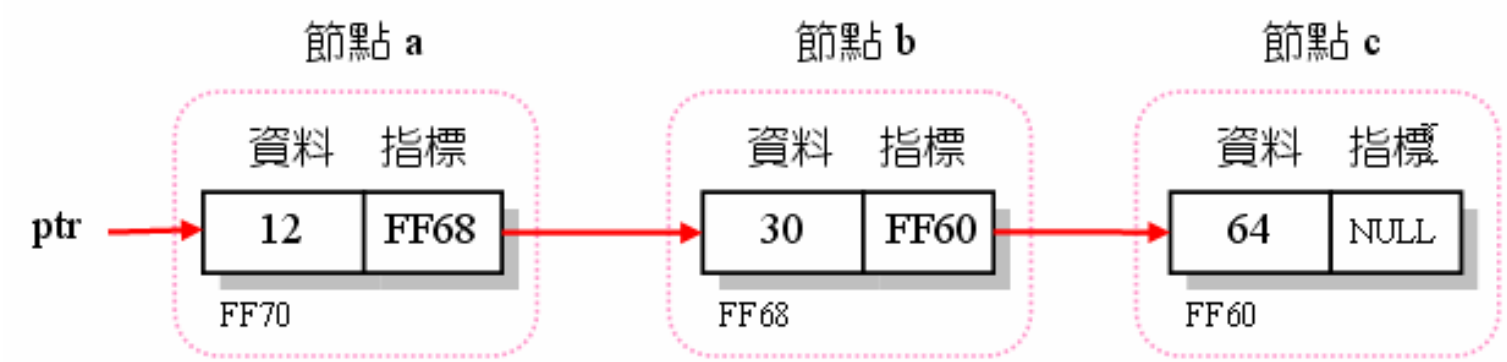
鏈結串列的實作範例 (2/3)

```
11  int main(void)
12  {
13     NODE a,b,c;          /* 宣告 a,b,c 為 NODE 型態的變數 */
14     NODE *ptr=&a;        /* 宣告 ptr,並將它指向節點 a */
15     a.data=12;           /* 設定節點 a 的 data 成員為 12 */
16     a.next=&b;           /* 將節點 a 的 next 成員指向下一個節點，即 b */
17     b.data=30;
18     b.next=&c;
19     c.data=64;
20     c.next=NULL;         /* 將節點 c 的 next 成員設成 NULL */
21
22     while (ptr!=NULL)    /* 當 ptr 不是 NULL 時，則執行下列敘述 */
23     {
24        printf("address=%p, ",ptr);          /* 印出節點的位址 */
25        printf("data=%d, ",ptr->data);       /* 印出節點的 data 成員 */
26        printf("next=%p\n",ptr->next);       /* 印出下一個節點的位址 */
27        ptr=ptr->next;                       /* 將 ptr 指向下一個節點 */
28     }
29     system("pause");
30     return 0;
31  }
```

鏈結串列的實作範例 (3/3)

- prog14_3 的執行結果

```
/* prog14_3 OUTPUT----------------------
address=0022FF70, data=12, next=0022FF68
address=0022FF68, data=30, next=0022FF60
address=0022FF60, data=64, next=00000000
-----------------------------------------*/
```



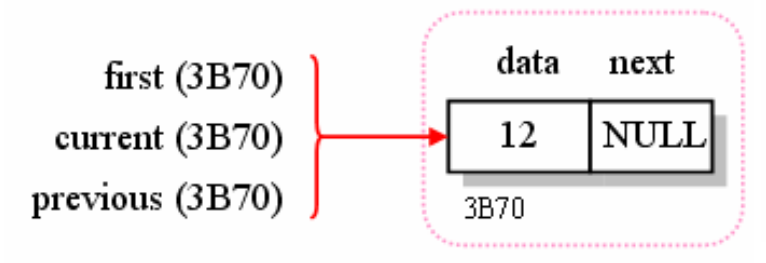
以動態記憶體配置鏈結串列 (1/3)

- 以動態記憶體配置鏈結串列的範例

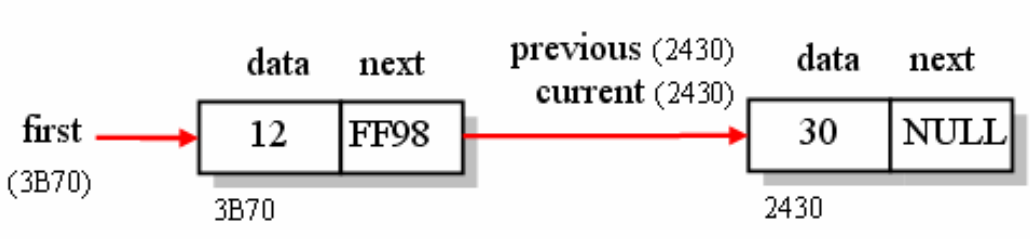
```
01  /* prog14_4, 以動態記憶體配置鏈結串列 */
02  #include<stdio.h>
03  #include<stdlib.h>
04  struct node
05  {
06     int data;                    /* 資料成員  */
07     struct node *next;           /* 鏈結成員，存放指向下一個節點的指標  */
08  };
09  typedef struct node NODE;       /* 將 struct node 定義成 NODE 型態 */
10
11  int main(void)
12  {
13     int i,val,num;
14     NODE *first,*current,*previous;     /* 建立 3 個指向 NODE 的指標 */
15     printf("Number of nodes: ");
16     scanf("%d",&num);                  /* 輸入節點的個數 */
```

以動態記憶體配置鏈結串列 (2/3)

```
17    for(i=0;i<num;i++)
18    {
19       current=(NODE *) malloc(sizeof(NODE));  /* 建立新的節點 */
20       printf("Data for node %d: ",i+1);
21       scanf("%d",&(current->data));          /* 輸入節點的 data 成員 */
22       if(i==0)                               /* 如果是第一個節點 */
23          first=current;                      /* 把指標 first 指向目前的節點 */
24       else
25          previous->next=current;   /* 把前一個節點的 next 指向目前的節點 */
26       current->next=NULL;          /* 把目前的節點的 next 指向NULL */
27       previous=current;            /* 把前一個節點設成目前的節點 */
28    }
```



執行完第一次迴圈之後



執行完第二次迴圈之後

以動態記憶體配置鏈結串列 (3/3)

```
29      current=first;              /* 設定 current 為第一個節點 */
30      while (current!=NULL)       /* 如果還沒有到串列末端，則進行走訪的動作 */
31      {
32         printf("address=%p, ",current);      /* 印出節點的位址 */
33         printf("data=%d, ",current->data);   /* 印出節點的 data 成員 */
34         printf("next=%p\n",current->next);   /* 印出節點的 next 成員 */
35         current=current->next;          /* 設定 current 指向下一個節點 */
36      }
37      system("pause");
38      return 0;
39  }
```

```
/* prog14_4 OUTPUT----------------------
Number of nodes: 3
Data for node 1: 12
Data for node 2: 30
Data for node 3: 64
address=003D3B70, data=12, next=003D2430
address=003D2430, data=30, next=003D2440
address=003D2440, data=64, next=00000000
---------------------------------------*/
```

鏈結串列的基本操作 (1/4)

- 鏈結串列相關運算的標頭檔

```
01  /* linklist.h, 鏈結串列的標頭檔 */
02  struct node
03  {
04     int data;                    /* 資料成員  */
05     struct node *next;           /* 鏈結成員，存放指向下一個節點的指標  */
06  };
07  typedef struct node NODE;    /* 將 struct node 定義成 NODE 型態 */
08
09  NODE *createList(int *, int);              /* 串列建立函數 */
10  void printList(NODE *);                    /* 串列列印函數 */
11  void freeList(NODE *);                     /* 釋放串列記憶空間函數 */
12  void insertNode(NODE *,int );              /* 插入節點函數 */
13  NODE *searchNode(NODE *, int );            /* 搜尋節點函數 */
14  NODE *deleteNode(NODE *, NODE *);          /* 刪除節點函數 */
```

鏈結串列的基本操作 (2/4)

- 以陣列 arr 存放的資料建立鏈結串列

```
01  /* createList() : 串列建立函數 */
02  NODE *createList(int *arr, int len)
03  {
04     int i;
05     NODE *first,*current,*previous;
06     for(i=0;i<len;i++)
07     {
08        current=(NODE *) malloc(sizeof(NODE));
09        current->data=arr[i];          /* 設定節點的資料成員 */
10        if(i==0)                       /* 判別是否為第一個節點 */
11           first=current;
12        else
13           previous->next=current;    /* 把前一個節點的 next 指向目前節點 */
14        current->next=NULL;
15        previous=current;
16     }
17     return first;
18  }
```

鏈結串列的基本操作 (3/4)

- 串列資料的列印函數：

```
01  /* printList()，串列列印函數 */
02  void printList(NODE* first)
03  {
04     NODE* node=first;          /* 將 node 指向第一個節點 */
05     if(first==NULL)            /* 如果串列是空的，則印出 List is empty! */
06        printf("List is empty!\n");
07     else                       /* 否則走訪串列，並印出節點的 data 成員 */
08     {
09        while(node!=NULL)
10        {
11           printf("%3d", node->data);
12           node=node->next;
13        }
14        printf("\n");
15     }
16  }
```

鏈結串列的基本操作 (4/4)

- 釋放記憶體空間的函數：

```
01  /* freeList()，釋放記憶空間函數 */
02  void freeList(NODE* first)
03  {
04     NODE *current,*tmp;
05     current=first;                    /* 設定 current 指向第一個節點 */
06     while (current!=NULL)
07     {
08        tmp=current;                   /* 先暫存目前的節點 */
09        current=current->next;         /* 將 current 指向下一個節點 */
10        free(tmp);                     /* 將暫存的節點釋放掉 */
11     }
12  }
```

鏈結串列的實例

- 以存放 {14,27,32,46} 的陣列建立鏈結串列：

```
01  /* prog14_5.c, 鏈結串列的建立、列印與記憶體的釋放 */
02  #include<stdio.h>
03  #include<stdlib.h>
04  #include "linklist.h"                    /* 含括標頭檔 linklist.h */
05
06  int main(void)
07  {
08     NODE *first;
09     int arr[]={14,27,32,46};              /* 建立陣列 arr[] */
10     first=createList(arr,4);              /* 以陣列元素建立鏈結串列 */
11     printList(first);                     /* 印出鏈結串列的內容  */
12     freeList(first);                      /* 釋放記憶空間  */
13     system("pause");
14     return 0;
15  }
16  /* 請將 createList()函數放在此處 */
17  /* 請將 printList()函數放在此處  */
18  /* 請將 freeList()函數放在此處   */
```

```
/* prog14_5 OUTPUT--

 14  27  32  46

----------------------*/
```

節點的搜尋

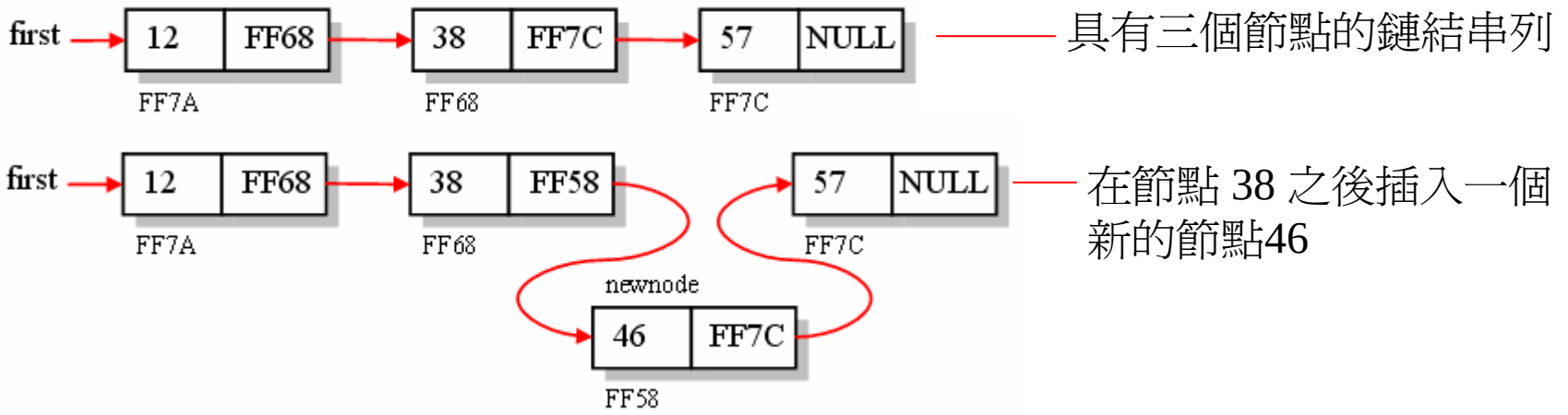
- 要插入一個節點，必須先知道節點的位址
  - searchNode() 函數可用來找尋節點的位址

```
01  /* searchNode()函數，可傳回第一個存放 item 之節點的位址 */
02  NODE* searchNode(NODE* first, int item)
03  {
04     NODE *node=first;
05     while(node!=NULL)
06     {
07        if(node->data==item)        /* 如果 node 的 data 等於 item */
08           return node;             /* 傳回 node，即該節點的位址 */
09        else
10           node=node->next;         /* 否則將指標指向下一個節點 */
11     }
12     return NULL;          /* 如果找不到符合的節點，則傳回 NULL */
13  }
```

節點的插入

- insertNode可在指定節點之後插入一個新的節點

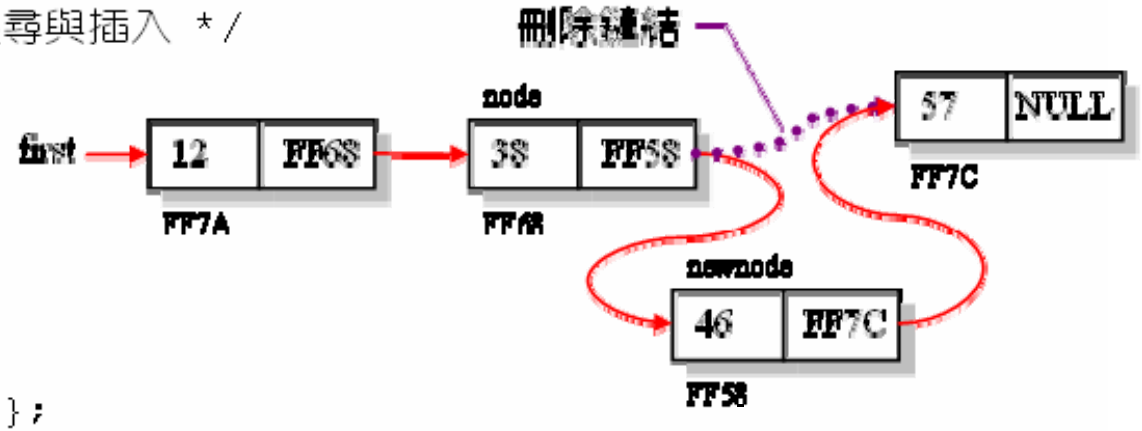
```
01  /* insertNode()，可在 node 之後加入一個新的節點 */
02  void insertNode(NODE *node,int item)
03  {
04     NODE *newnode;
05     newnode=(NODE *) malloc(sizeof(NODE));     /* 取得新節點的位址 */
06     newnode->data=item;                        /* 將新節點的 data 設為 item */
07     newnode->next=node->next;    /* 將新節點的 next 設為原節點的 next */
08     node->next=newnode;                        /* 將原節點的 next 指向新節點 */
09  }
```



實例應用：節點搜尋與插入

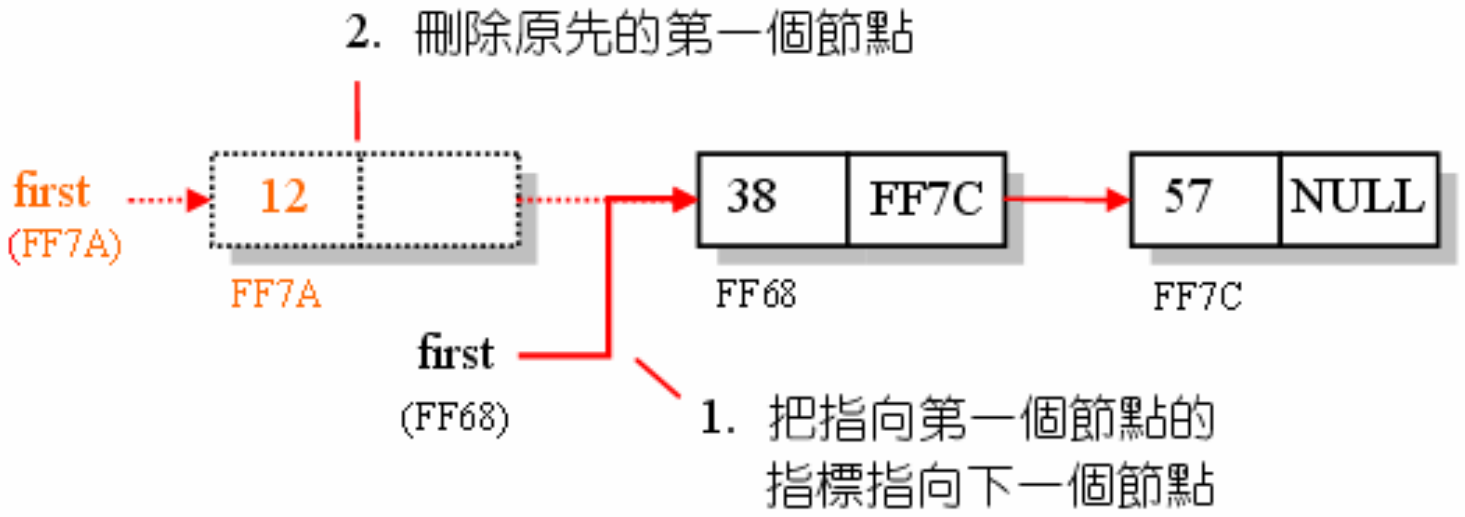
- 節點搜尋與插入的範例：

```
01  /* prog14_6.c, 節點的搜尋與插入 */
02  #include<stdio.h>
03  #include<stdlib.h>
04  #include "linklist.h"
05  int main(void)
06  {
07     NODE *first,*node;
08     int arr[]={12,38,57};
09     first=createList(arr,3);          /* 建立鏈結串列 */
10     printList(first);
11
12     node=searchNode(first,38);        /* 找出節點資料值為 38 的位址 */
13     insertNode(node,46);              /* 將節點 46 鏈結在節點 38 之後 */
14     printList(first);                 /* 印出節點的內容 */
15     freeList(first);
16     system("pause");
17     return 0;
18  }
```



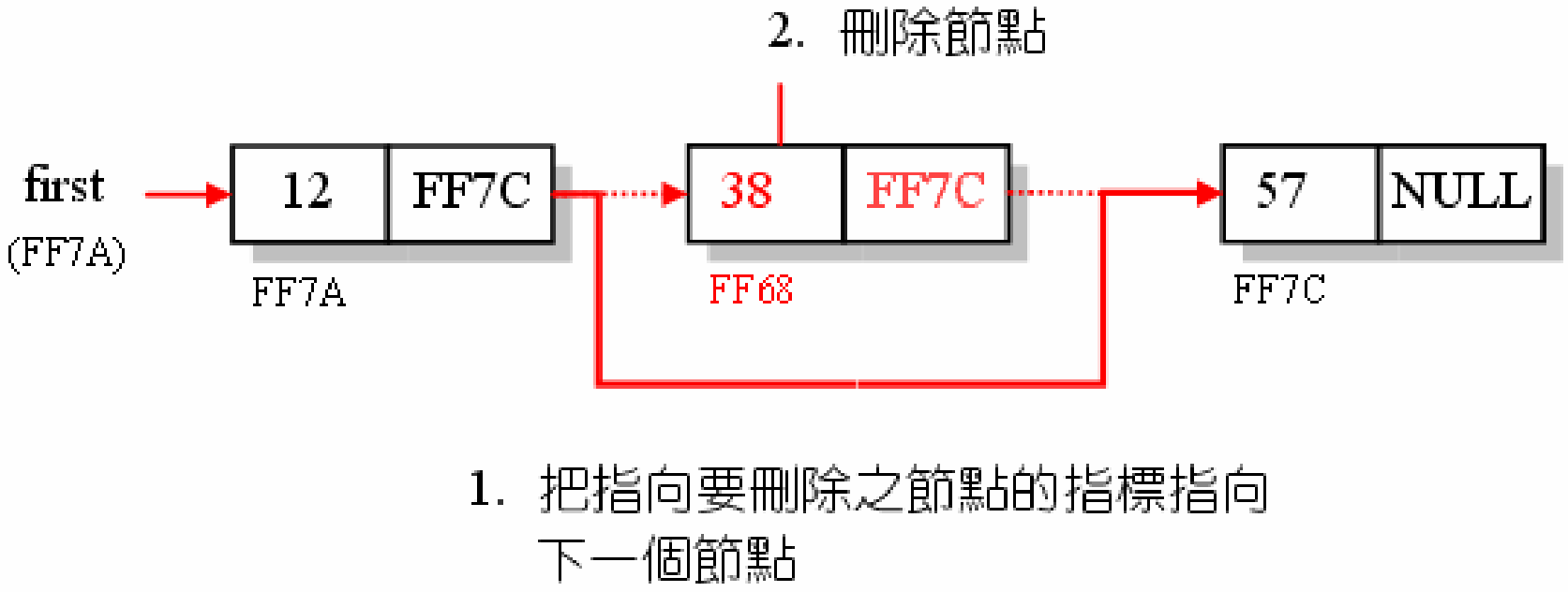
節點的刪除 (1/2)

- 在刪除節點時，會有下列三種情況發生：
  - 如果串列爲空串列時，則不必進行刪除的動作
  - 如果刪除的是第一個節點
    - 把指標 first 指向下一個節點，然後釋放第一個節點的記憶體空間



節點的刪除 (2/2)

- 刪除節點的第三種情況：
  - 刪除第一個節點以外的其它節點
    - 將指標指向要刪除之節點的下一個節點，然後釋放刪除之節點的記憶空間

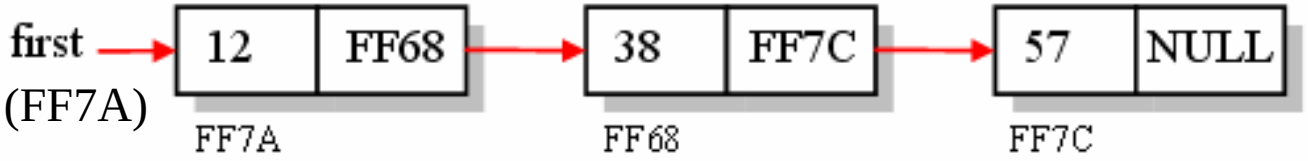


節點的刪除－deleteNode() 函數

```
01  /* 刪掉 node，傳回刪掉 node 之後，串列第一個節點的位址 */
02  NODE* deleteNode(NODE *first, NODE *node)
03  {
04     NODE *ptr=first;
05     if(first==NULL)  /* 如果串列是空的，則印出 Nothing to delete! */
06     {
07        printf("Nothing to delete!\n");
08        return NULL;
09     }
10     if(node==first)           /* 如果刪除的是第一個節點 */
11        first=first->next;     /* 把 first 指向下一個節點 */
12     else                      /* 如果刪除的是第一個節點以外的其它節點 */
13     {
14        while(ptr->next!=node)    /* 找到要刪除之節點的前一個節點 */
15           ptr=ptr->next;
16        ptr->next=node->next;     /* 重新設定 ptr 的 next 成員 */
17     }
18     free(node);
19     return first;
20  }
```

刪除節點的範例 (1/2)

- 刪除節點範例

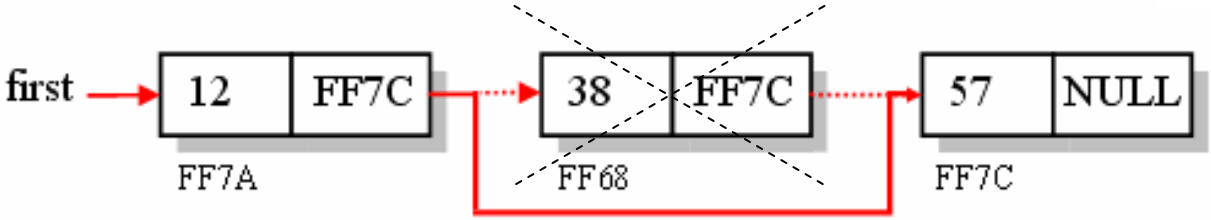



```
01  /* prog14_7.c, 節點刪除的範例 */
02  #include<stdio.h>
03  #include<stdlib.h>
04  #include "linklist.h"
05  int main(void)
06  {
07     NODE *first,*node;
08     int arr[]={12,38,57};
09     first=createList(arr,3);          /* 建立鏈結串列 */
10     printList(first);
11
12     node=searchNode(first,38);        /* 找出節點資料值為 38 的位址 */
13     first=deleteNode(first,node);     /* 將節點 38 刪除掉 */
14     printList(first);                 /* 印出節點的內容 */
15
```

```
/* prog14_7 OUTPUT--------------
 12 38 57   ———— 執行完第 10 行的結果
 12 57      ———— 執行完第 14 行的結果
 57         ———— 執行完第 17 行的結果
List is empty! — 執行完第 20 行的結果
--------------------------------*/
```

刪除節點的範例 (2/2)

```
16      first=deleteNode(first,first);    /* 刪除掉第一個節點*/
17      printList(first);                 /* 印出節點的內容 */
18
19      first=deleteNode(first,first);    /* 刪除掉第一個節點*/
20      printList(first);                 /* 印出節點的內容 */
21
22      freeList(first);
23
24      system("pause");
25      return 0;
26  }
```




```
/* prog14_7 OUTPUT--------------
 12 38 57   ———— 執行完第 10 行的結果
 12 57      ———— 執行完第 14 行的結果
 57         ———— 執行完第 17 行的結果
List is empty! — 執行完第 20 行的結果
---------------------------------*/
```