CHAPTER 3: **DANH SÁCH LIÊN KẾT** (LINKED LISTS)

Nội dung

- Giới thiệu
- Danh sách liên kết đơn (Single Linked List)
- Danh sách liên kết đôi (Double Linked List)
- Danh sách liên kết vòng (Circular Linked List)

Giới thiệu

1.1. Kiểu dữ liệu tĩnh

- Khái niệm: Một số đối tượng dữ liệu không thay đổi được kích thước, cấu trúc, … trong suốt quá trình sống. Các đối tượng dữ liệu này thuộc những kiểu dữ liệu tĩnh.
- Một số kiểu dữ liệu tĩnh: các cấu trúc dữ liệu được xây dựng từ các kiểu cơ sở như: kiểu thực, kiểu nguyên, kiểu ký tự … hoặc từ các cấu trúc đơn giản như cấu trúc, tập hợp, mảng

➔ Các đối tượng dữ liệu thuộc kiểu dữ liệu tĩnh thường cứng ngắt, gò bó ➔ khó diễn tả được thực tế vốn sinh động, phong phú.

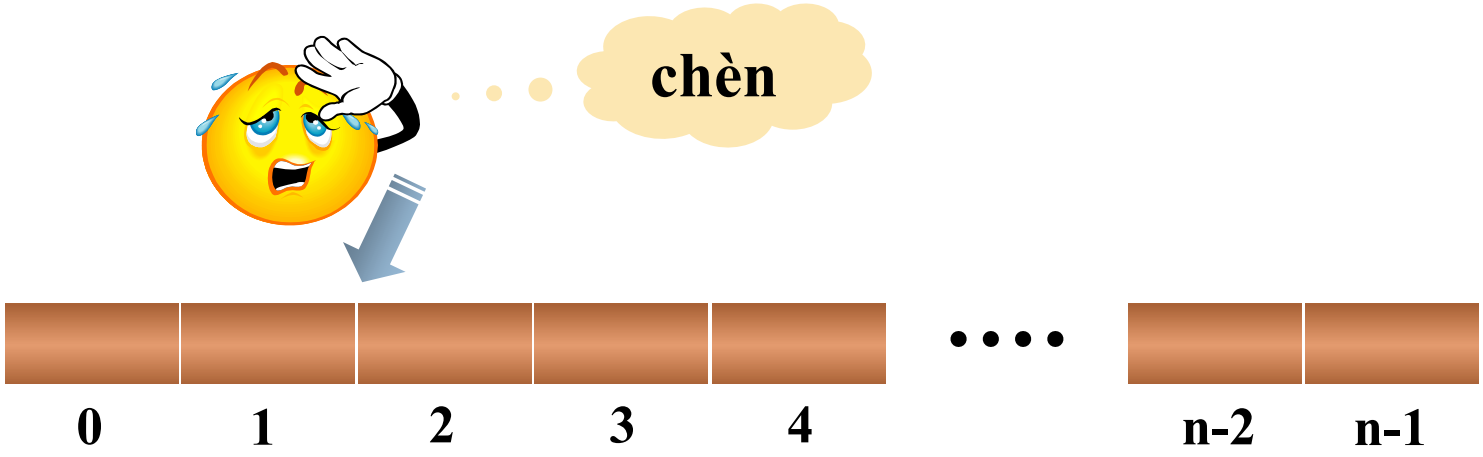
Giới thiệu

- Hạn chế của CTDL tĩnh
- Một số đối tượng dữ liệu có thể thay đổi về cấu trúc, độ lớn… chẳng hạn danh sách các học viên trong một lớp học có thể tăng thêm, giảm đi ...
- Nếu dùng những cấu trúc dữ liệu tĩnh đã biết như mảng để biểu diễn thì:
  - Những thao tác phức tạp, kém tự nhiên
  - Chương trình khó đọc, khó bảo trì
  - Sử dụng bộ nhớ không hiệu quả

  (do dữ liệu tĩnh sẽ chiếm vùng nhớ đã dành cho chúng suốt quá trình hoạt động của chương trình)

Giới thiệu

- **Cấu trúc dữ liệu tĩnh:** Ví dụ: Mảng 1 chiều
  - Kích thước cố định (fixed size)
  - Chèn 1 phần tử vào mảng rất khó
  - Các phần tử tuần tự theo chỉ số 0 $\Rightarrow$ n-1
  - Truy cập ngẫu nhiên (random access)



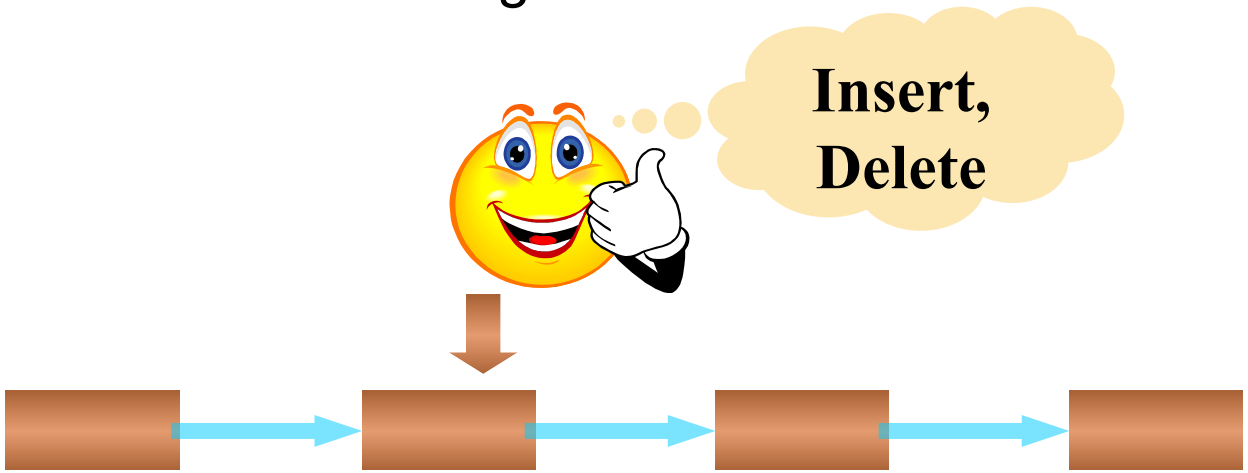
Giới thiệu

- Hướng giải quyết
- Cần xây dựng cấu trúc dữ liệu đáp ứng được các yêu cầu:
  - Linh động hơn
  - Có thể thay đổi kích thước, cấu trúc trong suốt thời gian sống

➔ *Cấu trúc dữ liệu động*

Giới thiệu

- **Cấu trúc dữ liệu động:** Ví dụ: Danh sách liên kết, cây
  - Cấp phát động lúc chạy chương trình
  - Các phần tử nằm rải rác ở nhiều nơi trong bộ nhớ
  - Kích thước danh sách chỉ bị giới hạn do RAM
  - Thao tác thêm xoá đơn giản



Biến động

- Tạo ra một biến động và cho con trỏ ‘p’ chỉ đến nó

```
void* malloc(n*sizeof(kiểu_dữ_liệu));
```

// trả về con trỏ chỉ đến vùng nhớ size byte vừa được cấp phát.

```
void* calloc(n, sizeof(kiểu_dữ_liệu));
```

// trả về con trỏ chỉ đến vùng nhớ vừa được cấp phát gồm n phần tử,

// mỗi phần tử có kích thước size byte

```
new kiểu_dữ_liệu[n]; // toán tử cấp phát bộ nhớ trong C++
```

- Hàm free(p) huỷ vùng nhớ cấp phát bởi hàm malloc hoặc calloc do p trỏ tới
- Toán tử **delete[ ]** p huỷ vùng nhớ cấp phát bởi toán tử **new** do p trỏ tới

Giới thiệu

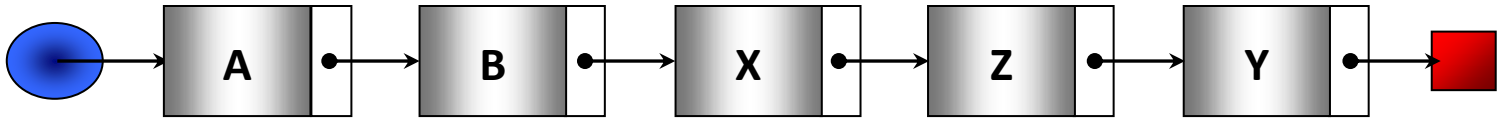
- Danh sách liên kết:
  - Mỗi phần tử của danh sách gọi là node (nút)
  - Mỗi node có 2 thành phần: phần dữ liệu và phần liên kết chứa địa chỉ của node kế tiếp hay node trước nó
  - Các thao tác cơ bản trên danh sách liên kết:
    - Thêm một phần tử mới
    - Xóa một phần tử
    - Tìm kiếm
    - …

Danh sách liên kết

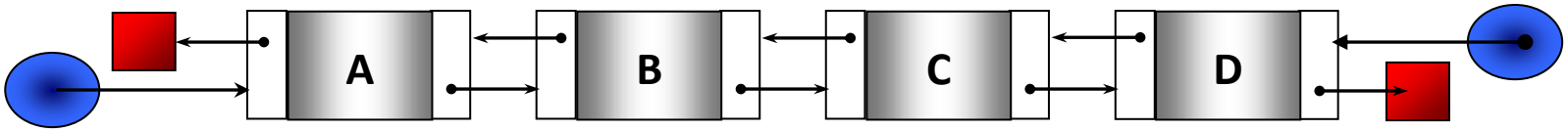
- Có nhiều kiểu tổ chức liên kết giữa các phần tử trong danh sách như:
  - Danh sách liên kết đơn
  - Danh sách liên kết kép
  - Danh sách liên kết vòng

Giới thiệu

- **Danh sách liên kết đơn:** mỗi phần tử liên kết với phần tử đứng sau nó trong danh sách:

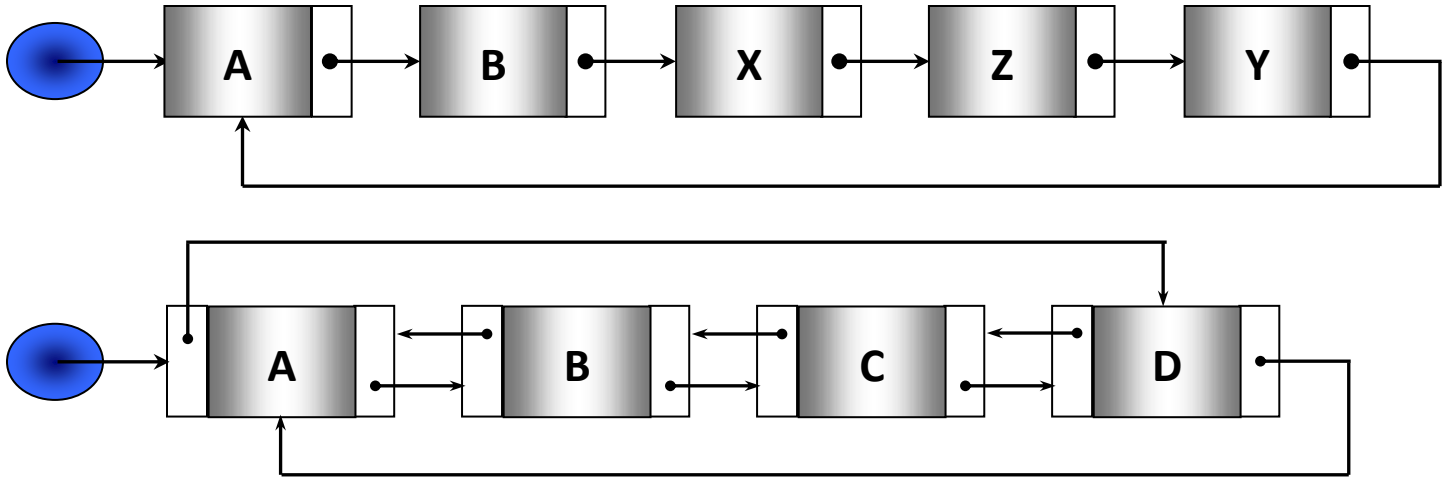


- **Danh sách liên kết đôi:** mỗi phần tử liên kết với các phần tử đứng trước và sau nó trong danh sách:



Giới thiệu

- **Danh sách liên kết vòng :** phần tử cuối danh sách liên kết với phần tử đầu danh sách:



Nội dung

- Giới thiệu
- Danh sách liên kết đơn (Single Linked List)
- Danh sách liên kết kép (Doule Linked List)
- Danh sách liên kết vòng (Circular Linked List)

Danh sách liên kết đơn (DSLK đơn)

- Khai báo
- Các thao tác cơ bản trên DSLK đơn
- Sắp xếp trên DSLK đơn

DSLK đơn – Khai báo

- Là danh sách các node mà mỗi node có 2 thành phần:
  - Thành phần dữ liệu: lưu trữ các thông tin về bản thân phần tử
  - Thành phần mối liên kết: lưu trữ địa chỉ của phần tử kế tiếp trong danh sách, hoặc lưu trữ giá trị NULL nếu là phần tử cuối danh sách
  - Khai báo node


```
struct  Node
{
    DataType data;  // DataType là kiểu đã định nghĩa trước
    Node *pNext;    // con trỏ chỉ đến cấu trúc Node
};
```

DSLK – Khai báo phần Data


```
typedef struct node
{
        DataType        data;
        struct node *   link;
}NODE;
```

Cấu trúc node

DataType ?

```
typedef struct node
{
        int             data;
        struct node *   link;
}NODE;
```

```
typedef struct node
{
        SinhVien        data;
        struct node *   link;
}NODE;
```

DSLK đơn – Khai báo

- Ví dụ 1: Khai báo node lưu số nguyên:

```
struct  Node
{       int data;
        Node *pNext;
};
```

- Ví dụ 2: Định nghĩa một phần tử trong danh sách đơn lưu trữ hồ sơ sinh viên:

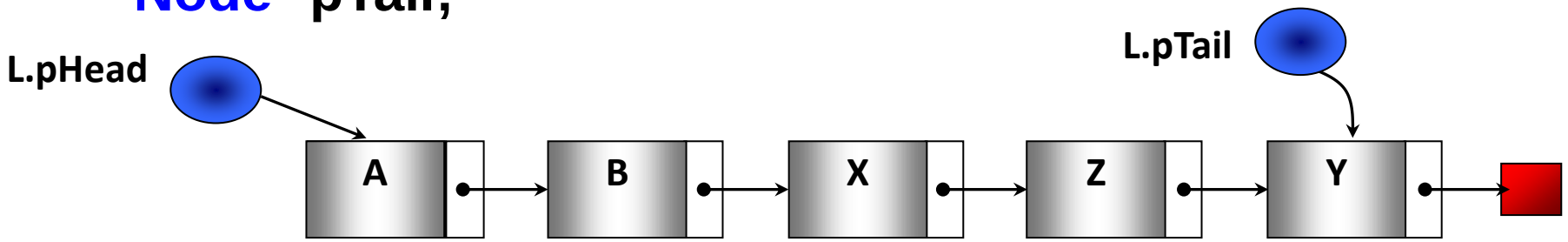
```
struct SinhVien {
        char  Ten[30];
        int     MaSV;
};
struct SVNode {
        SinhVien data;
        SVNode  *pNext;
};
```

DSLK đơn – Khai báo

- **Tổ chức, quản lý:**
  - Để quản lý một DSLK đơn chỉ cần biết địa chỉ phần tử đầu danh sách
  - Con trỏ **pHead** sẽ được dùng để lưu trữ địa chỉ phần tử đầu danh sách. Ta có khai báo:

    Node *pHead;
  - Để tiện lợi, có thể sử dụng thêm một con trỏ **pTail** giữ địa chỉ phần tử cuối danh sách. Khai báo **pTail** như sau:

    Node *pTail;



DSLK đơn – Khai báo

- Ví dụ: Khai báo cấu trúc 1 DSLK đơn chứa số nguyên

```
// kiểu của một phần tử trong danh sách
struct Node
{
  int     data;
  Node*   pNext;
};
// kiểu danh sách liên kết
struct List
{
  Node* pHead;
  Node* pTail;
};
```

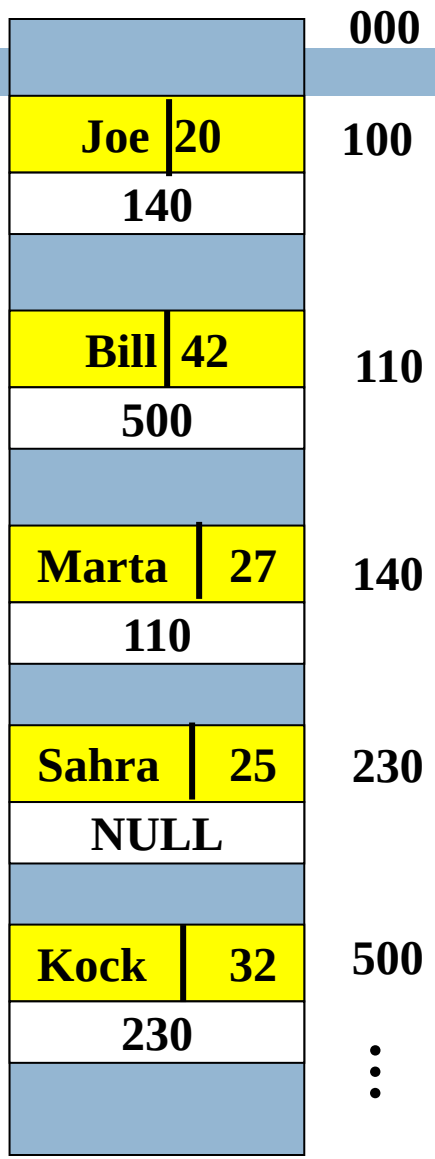
Khai báo biến kiểu danh sách:

```
List   tên_biến;
```

Lưu trữ DSLK đơn trong RAM

- **Ví dụ : Ta có danh sách theo dạng bảng sau**

Address	Name	Age	Link
100	Joe	20	140
110	Bill	42	500
140	Marta	27	110
230	Sahra	25	NULL
…	…	…	
500	Koch	31	230



DSLK đơn – Khai báo

- **Tạo một node mới**
  - Thủ tục **GetNode** để tạo ra một nút cho danh sách với thông tin chứa trong x

```
Node* getNode ( DataType  x)
{
        Node *p;
        p = new Node;  // Cấp phát vùng nhớ cho node
        if  (p==NULL)
        {
                cout<<"Khong du bo nho!";  return NULL;
        }
        p->data = x;        // Gán dữ liệu cho phần tử p
        p->pNext = NULL;
        return p;
}
```

Tạo một phần tử

Để tạo một phần tử mới cho danh sách, cần thực hiện câu lệnh:

```
Node *new_ele = GetNode(x);
```

→ new_ele sẽ quản lý địa chỉ của phần tử mới được tạo.

Danh sách liên kết đơn (DSLK đơn)

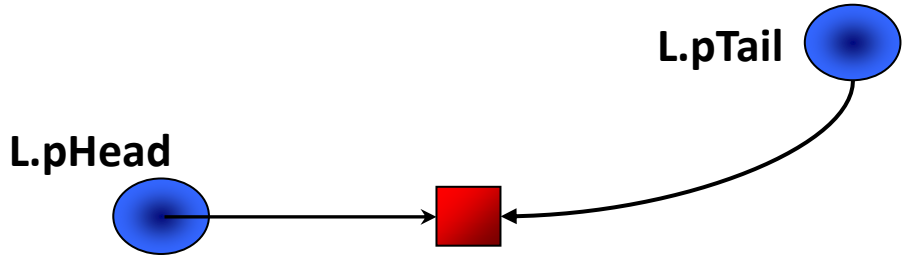
- Khai báo
- Các thao tác cơ bản trên DSLK đơn
- Sắp xếp trên DSLK đơn

DSLK đơn

- **Các thao tác cơ bản**
  - Tạo danh sách rỗng
  - Thêm một phần tử vào danh sách
  - Duyệt danh sách
  - Tìm kiếm một giá trị trên danh sách
  - Xóa một phần tử ra khỏi danh sách
  - Hủy toàn bộ danh sách
  - …

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

- Tạo danh sách rỗng




```
void Init(List &L)
{
      L.pHead = L.pTail = NULL;
}
```

DSLK đơn

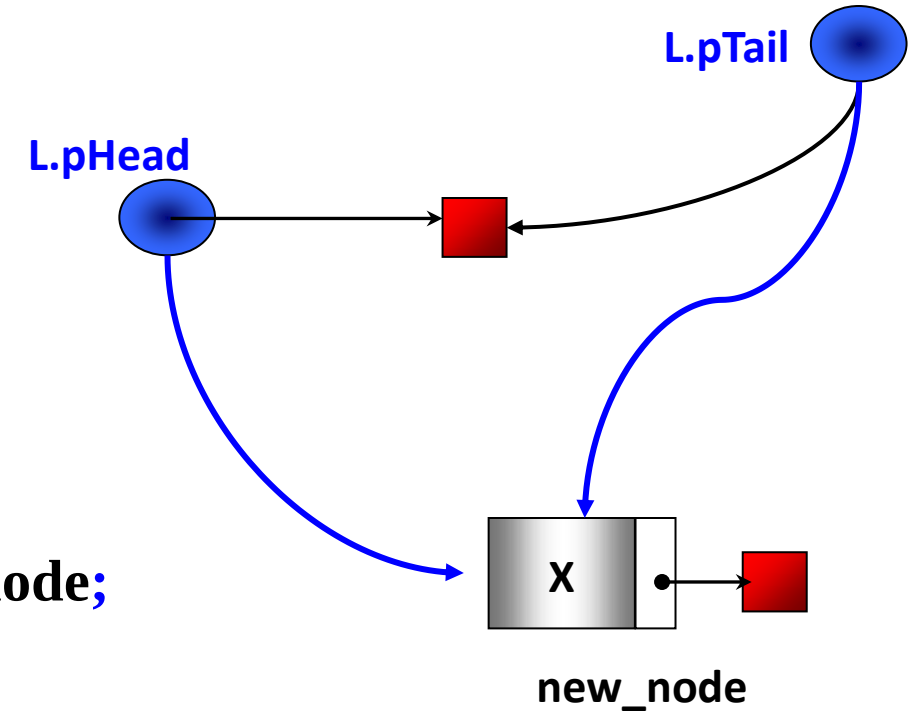
- **Các thao tác cơ bản**
  - Tạo danh sách rỗng
  - Thêm một phần tử vào danh sách
  - Duyệt danh sách
  - Tìm kiếm một giá trị trên danh sách
  - Xóa một phần tử ra khỏi danh sách
  - Hủy toàn bộ danh sách
  - …

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

- **Thêm một phần tử vào danh sách**: Có 3 vị trí thêm
  - Gắn vào đầu danh sách
  - Gắn vào cuối danh sách
  - Chèn vào sau nút q trong danh sách
- Chú ý trường hợp danh sách ban đầu rỗng

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

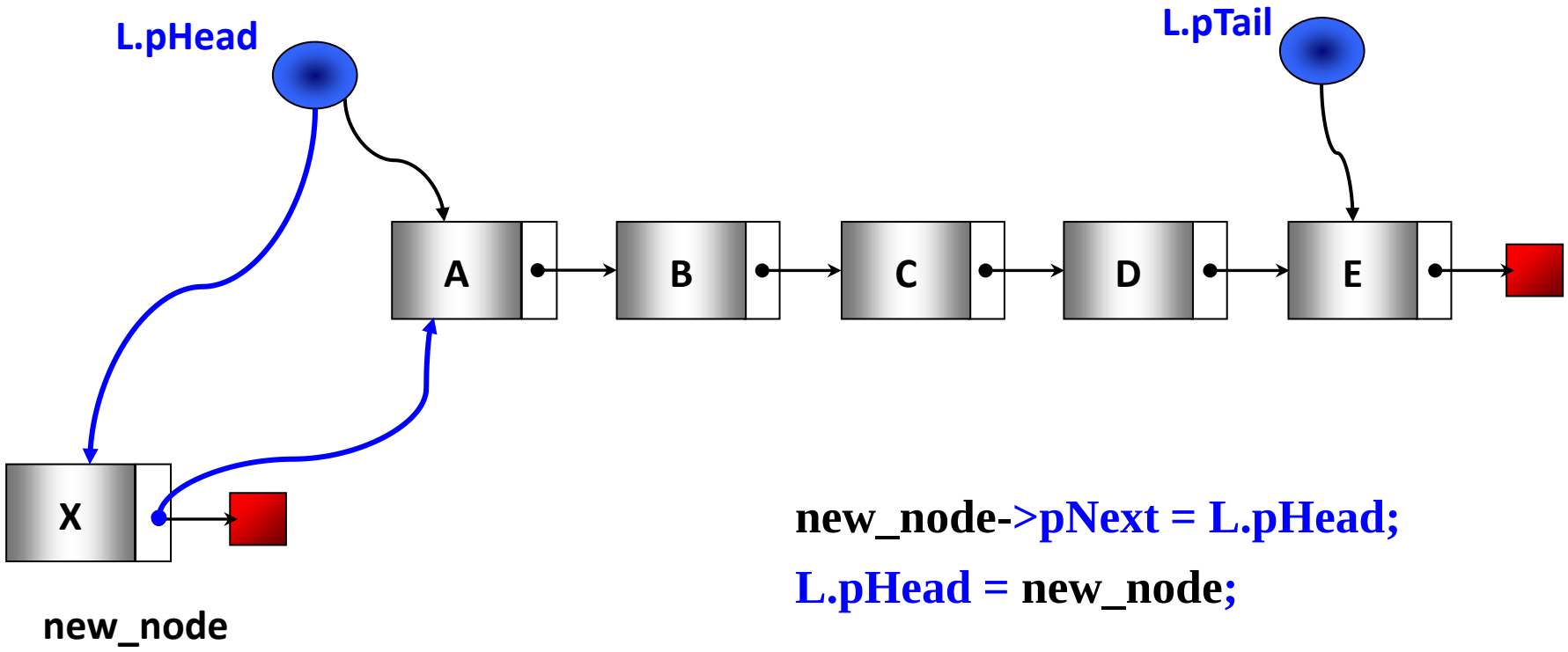
- Thêm một phần tử
  - Nếu danh sách (**L**) ban đầu rỗng



L.pHead = L.pTail = new_node;

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

- Thêm một phần tử
  - Nếu danh sách (L) ban đầu không rỗng:
    - Gắn node vào đầu danh sách




```
new_node->pNext = L.pHead;
L.pHead = new_node;
```

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

Thuật toán: Gắn nút vào đầu DS

// input: danh sách, phần tử mới new_node

// output: danh sách với new_node ở đầu DS

- Nếu DS rỗng thì
  - L.pHead = L.pTail = new_node;
- Ngược lại
  - new_node->pNext = L.pHead;
  - L.pHead = new_node;

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

Cài đặt: Gắn nút vào đầu DS

```
void addHead(List &L, Node* new_node)
{
    if (L.pHead == NULL)   // DS rỗng
    {
        L.pHead = L.pTail = new_node;
    }
    else
    {
        new_node->pNext = L.pHead;
        L.pHead = new_node;
    }
}
```

Thêm một thành phần dữ liệu vào đầu


```
void Insertfirst(LIST &L, datatype x)
{
     NODE* new_node = GetNode(x);
     if (new_node == NULL)
          return;
     addHead(L, new_node);
}
```

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

Thuật toán: Thêm một thành phần dữ liệu vào đầu DS

// input: danh sách l

// output: danh sách l với phần tử chứa X ở đầu DS

- Nhập dữ liệu cho X (???)
- Tạo nút mới chứa dữ liệu X (???)
- Nếu tạo được:
  - Gắn nút mới vào đầu danh sách (???)

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

Ví dụ: Thêm một số nguyên vào đầu ds:

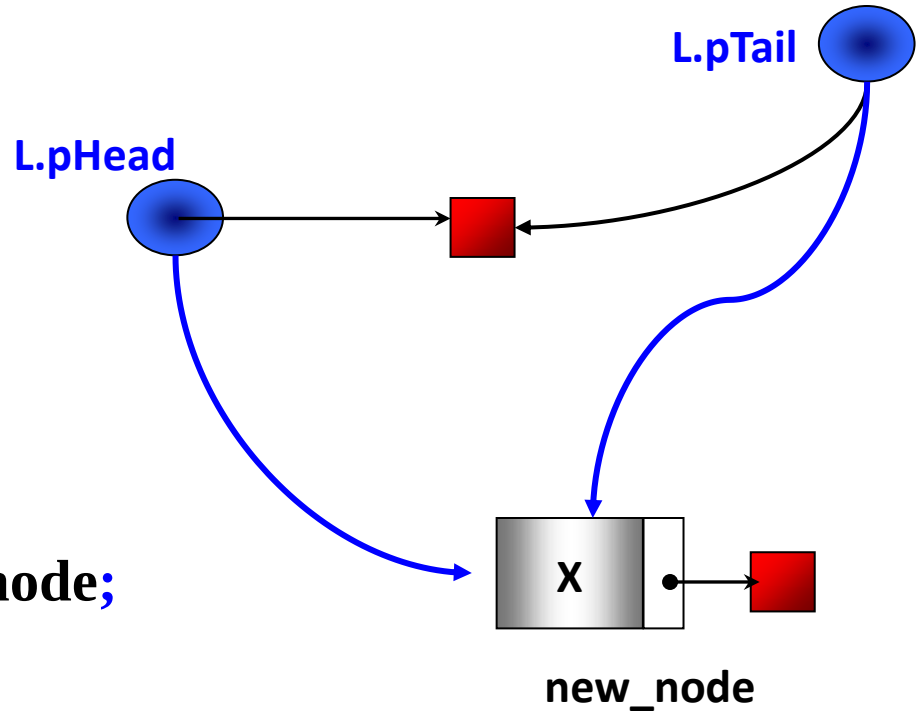
```
// Nhập dữ liệu cho X
int x;
cout<<"Nhap X=";      cin>>x;
// Tạo nút mới
Node* new_node = GetNode(x);
// Gắn nút vào đầu ds
if (new_node != NULL) addHead(L, new_node);
```

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

- **Thêm một phần tử vào danh sách**: Có 3 vị trí thêm
  - Gắn vào đầu danh sách
  - Gắn vào cuối danh sách
  - Chèn vào sau nút q trong danh sách
- Chú ý trường hợp danh sách ban đầu rỗng

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

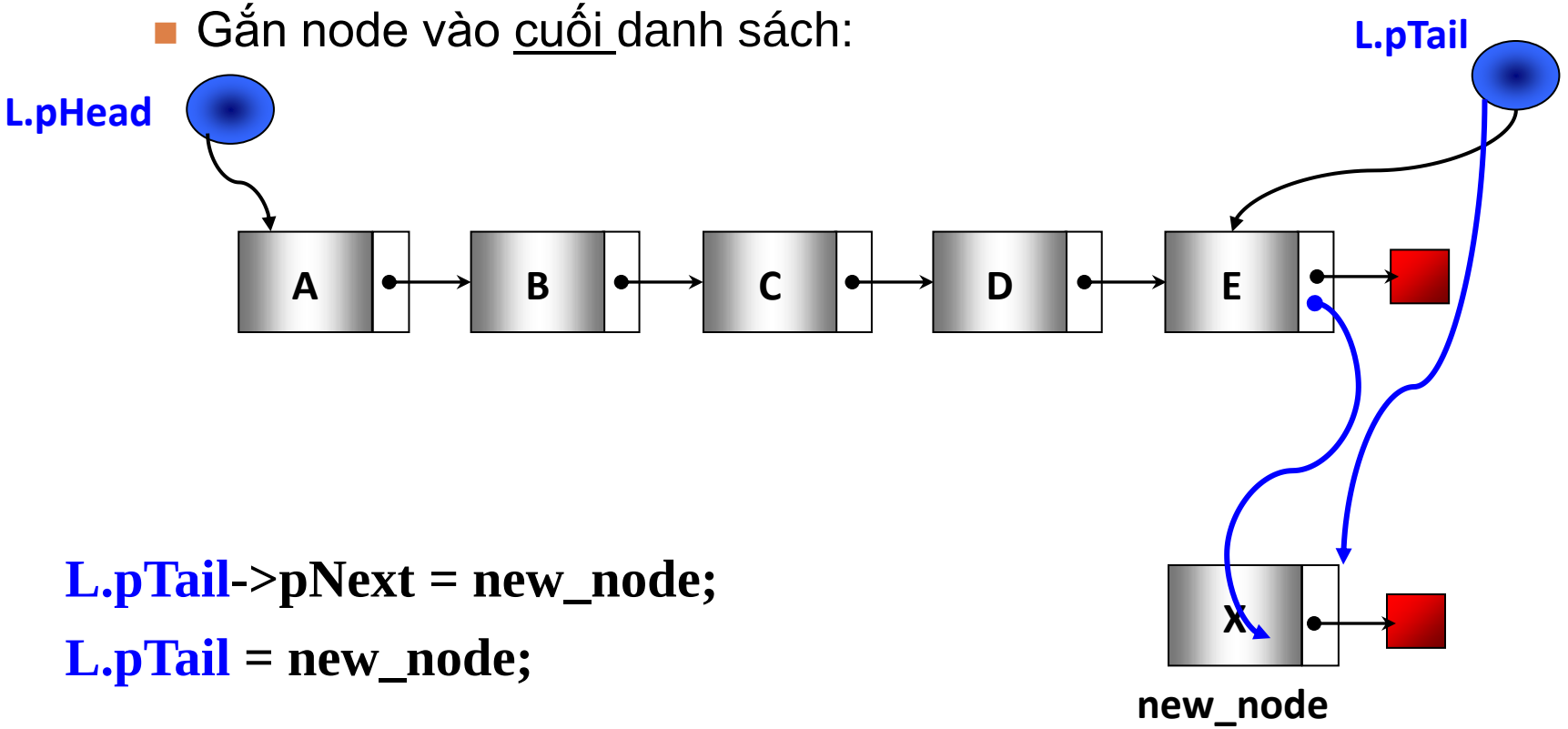
- Thêm một phần tử
  - Nếu danh sách (L)ban đầu rỗng



L.pHead = L.pTail = new_node;

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

- Thêm một phần tử
  - Nếu danh sách (L)ban đầu không rỗng:
    - Gắn node vào cuối danh sách:



L.pTail->pNext = new_node;

L.pTail = new_node;

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

Thuật toán: Thêm một phần tử vào cuối DS

// input: danh sách, phần tử mới new_node

// output: danh sách với new_node ở cuối DS

- Nếu DS rỗng thì
  - L.pHead = L.pTail = new_node;
- Ngược lại
  - L.pTail->pNext = new_node ;
  - L.pTail = new_node;

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

Cài đặt: Gắn nút vào cuối DS

```
void addTail(List &L, Node *new_node)
{
    if (L.pHead == NULL)
    {
        L.pHead = L.pTail = new_node;
    }
    else
    {
        L.pTail->pNext = new_node;
        L.pTail = new_node ;
    }
}
```

Thêm một thành phần dữ liệu vào cuối


```
void InsertLast(LIST &L, datatype x)
{
        NODE* new_node = GetNode(x);
        if (new_node == NULL)
            return;
        addTail(L, new_node);

}
```

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

Thuật toán: Thêm một thành phần dữ liệu vào cuối ds

// input: danh sách thành phần dữ liệu X

// output: danh sách với phần tử chứa X ở cuối DS

- Nhập dữ liệu cho X (???)
- Tạo nút mới chứa dữ liệu X (???)
- Nếu tạo được:
  - Gắn nút mới vào cuối danh sách (???)

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

Ví dụ: Thêm một số nguyên vào cuối ds:

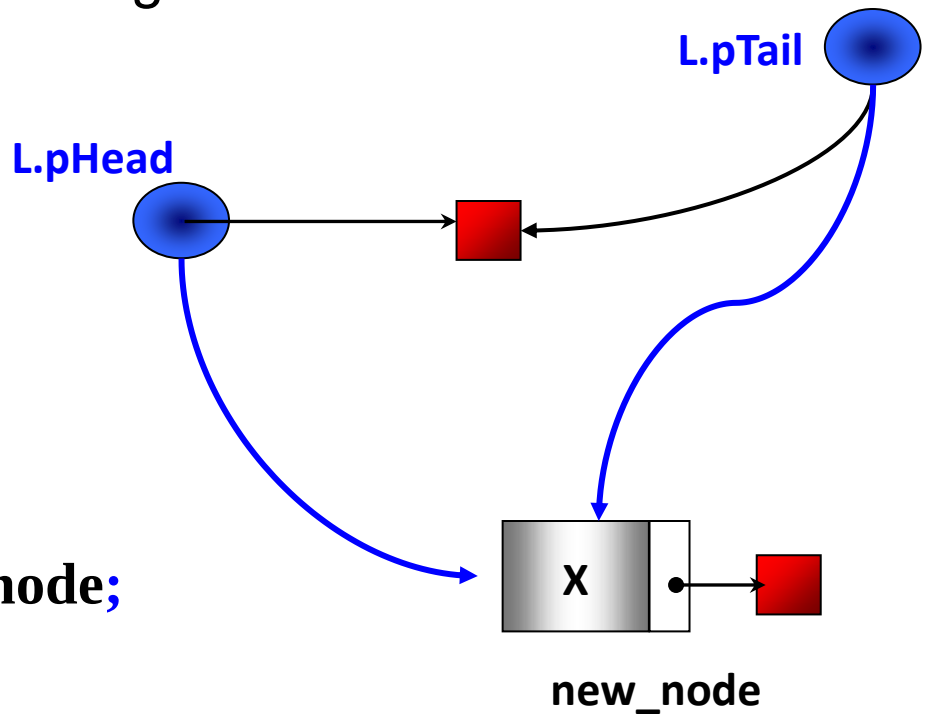
```
// Nhập dữ liệu cho X
int x;
cout<<"Nhập X=";      cin>>x;
// Tạo nút mới
Node* p = GetNode(x);
// Gắn nút vào cuối DS
if (p != NULL)          addTail(L, p);
```

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

- **Thêm một phần tử vào danh sách**: Có 3 vị trí thêm
  - Gắn vào đầu danh sách
  - Gắn vào cuối danh sách
  - **Chèn vào sau nút q trong danh sách**
- Chú ý trường hợp danh sách ban đầu rỗng

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

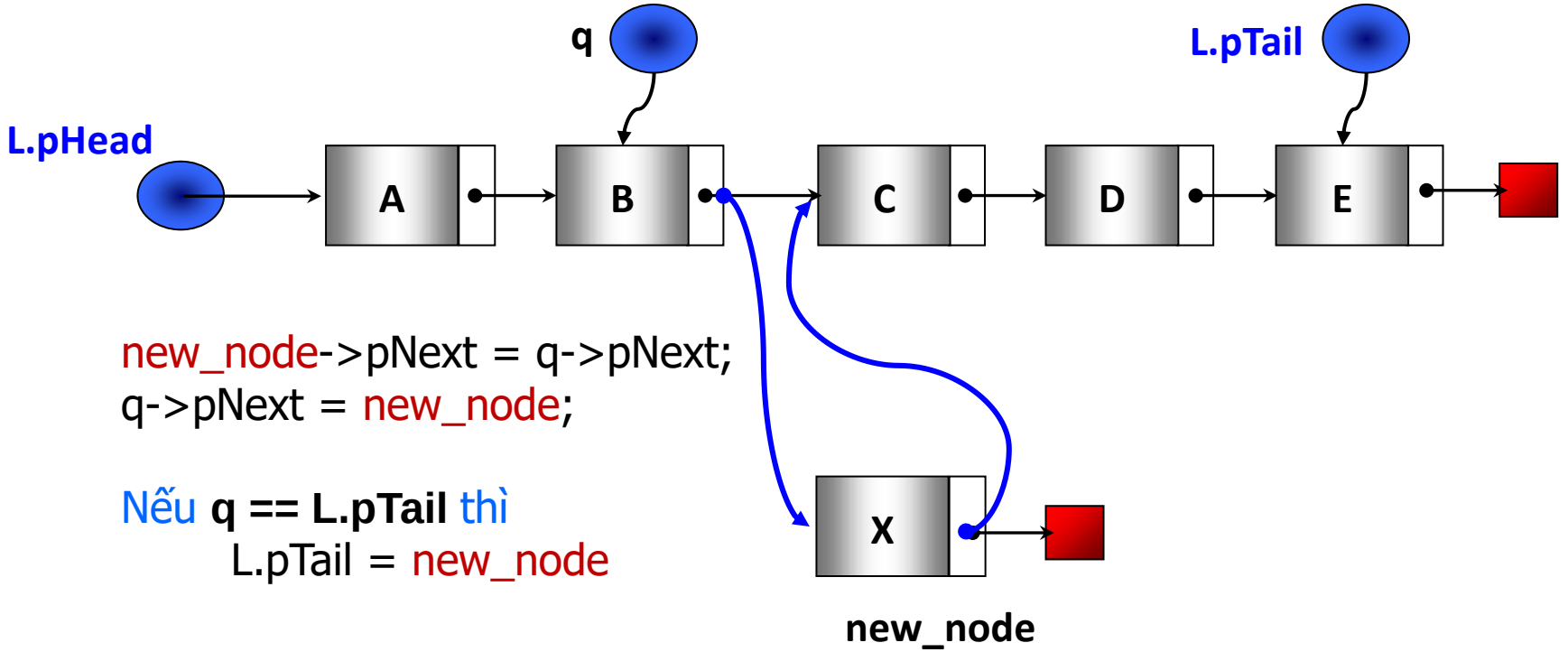
- Thêm một phần tử
  - Nếu danh sách ban đầu rỗng



L.pHead = L.pTail = new_node;

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

- Thêm một phần tử
  - Nếu danh sách ban đầu rỗng
    - **Chèn một phần tử sau q**




```
new_node->pNext = q->pNext;
q->pNext = new_node;

Nếu q == L.pTail thì
        L.pTail = new_node
```

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

Thuật toán: Chèn một phần tử sau q

// input: danh sách l, q, phần tử mới new_node

// output: danh sách với new_node ở sau q

- Nếu (q != NULL) thì:

```
new_node -> pNext = q -> pNext;
q -> pNext = new_node ;
Nếu ( q == L.pTail) thì
        L.pTail = new_node;
```

- Ngược lại

Thêm new_node vào đầu danh sách

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

Cài đặt: Chèn một phần tử sau q

```
void addAfter (List &L, Node *q, Node* new_node)
{
	if (q!=NULL)
	{
		new_node->pNext = q->pNext;
		q->pNext = new_node;
		if(q == L.pTail)		L.pTail = new_node;
	}
	else addFirst(L, new_node)
}
```

Thêm một thành phần dữ liệu vào cuối


```
void InsertAfter(LIST &L, NODE *q, data x)
{
        NODE* p = GetNode(x);
        if(p==NULL) return;
        addAfter(L, q, p);
}
```

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

Thuật toán: Thêm một thành phần dữ liệu vào sau q

// input: danh sách thành phần dữ liệu X

// output: danh sách với phần tử chứa X ở cuối DS

- Nhập dữ liệu cho nút q (???)
- Tìm nút q (???)
- Nếu tồn tại q trong ds thì:
  - Nhập dữ liệu cho X (???)
  - Tạo nút mới chứa dữ liệu X (???)
  - Nếu tạo được:
    - Gắn nút mới vào sau nút q (???)
- Ngược lại thì báo lỗi

DSLK đơn

- **Các thao tác cơ bản**
  - Tạo danh sách rỗng
  - Thêm một phần tử vào danh sách
  - Duyệt danh sách
  - Tìm kiếm một giá trị trên danh sách
  - Xóa một phần tử ra khỏi danh sách
  - Hủy toàn bộ danh sách
  - …

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

- Duyệt danh sách
  - Là thao tác thường được thực hiện khi có nhu cầu xử lý các phần tử của danh sách theo cùng một cách thức hoặc khi cần lấy thông tin tổng hợp từ các phần tử của danh sách như:
    - Đếm các phần tử của danh sách
    - Tìm tất cả các phần tử thoả điều kiện
    - Hủy toàn bộ danh sách (và giải phóng bộ nhớ)
    - …

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

- Duyệt danh sách
  - Bước 1: p = pHead; *//Cho p trỏ đến phần tử đầu danh sách*
  - Bước 2: Trong khi (Danh sách chưa hết) thực hiện:
    - B2.1 : Xử lý phần tử p
    - B2.2 : p = p->pNext; *// Cho p trỏ tới phần tử kế*

```
void processList (List L)
{
        Node *p = L.pHead;
        while (p!= NULL)
        {
                // xử lý cụ thể p tùy ứng dụng
                p = p->pNext;
        }
}
```

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

Ví dụ: In các phần tử trong danh sách

```
void Output (List L)
{
        Node* p = L.pHead;
        while (p!=NULL)
        {
                cout<<p->data<<"\t";
                p = p ->pNext;
        }
        cout<<endl;
}
```

DSLK đơn

- **Các thao tác cơ bản**
  - Tạo danh sách rỗng
  - Thêm một phần tử vào danh sách
  - Duyệt danh sách
  - Tìm kiếm một giá trị trên danh sách
  - Xóa một phần tử ra khỏi danh sách
  - Hủy toàn bộ danh sách
  - …

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

- Tìm kiếm một phần tử có khóa x

```
Node* Search (List  L, int  x)
{
        Node* p = L.pHead;
        while (p!=NULL)
            {
                if (p->data == x)        return p;
                p = p->pNext;
             }
        return NULL;
}
```

DSLK đơn

- **Các thao tác cơ bản**
  - Tạo danh sách rỗng
  - Thêm một phần tử vào danh sách
  - Duyệt danh sách
  - Tìm kiếm một giá trị trên danh sách
  - Xóa một phần tử ra khỏi danh sách
  - Hủy toàn bộ danh sách
  - …

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

- Xóa một node của danh sách
  - Xóa node đầu của danh sách
  - Xóa node sau node q trong danh sách
  - Xóa node có khoá k

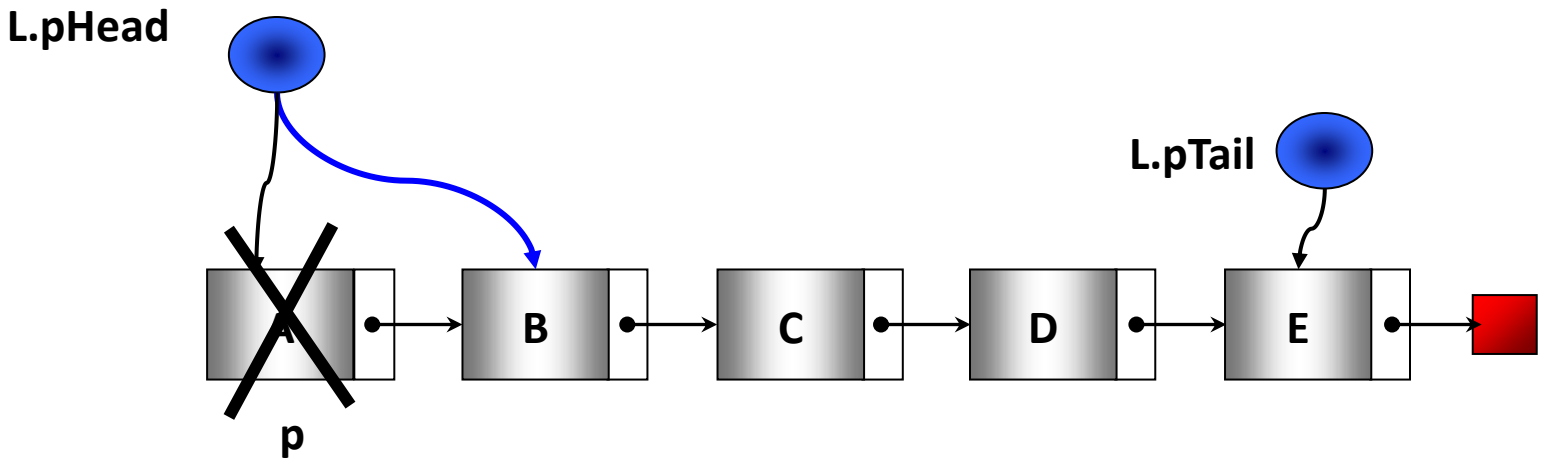
DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

Xóa node đầu của danh sách

- Gọi p là node đầu của danh sách (L.pHead)
- Cho pHead trỏ vào node sau node p (là p->pNext)
- Nếu danh sách trở thành rỗng thì L.pTail = NULL
- Giải phóng vùng nhớ mà p trỏ tới

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

- Xóa node đầu của danh sách



Node* p = L.pHead;

L.pHead = p->pNext;

Nếu danh sách chỉ có một node??? **if (L.pHead == NULL) L.pTail = NULL**

delete p;

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở


```
int removeHead (List &L)
{
  if (L.pHead == NULL) return 0;
  Node* p = L.pHead;
  L.pHead = p->pNext;
  if (L.pHead == NULL)  L.pTail = NULL; //Nếu danh sách sau
  khi xóa là rỗng
  delete p;
  return 1;
}
```

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

- Xóa một node của danh sách
  - Xóa node đầu của danh sách
  - Xóa node sau node q trong danh sách
  - Xóa node có khoá k

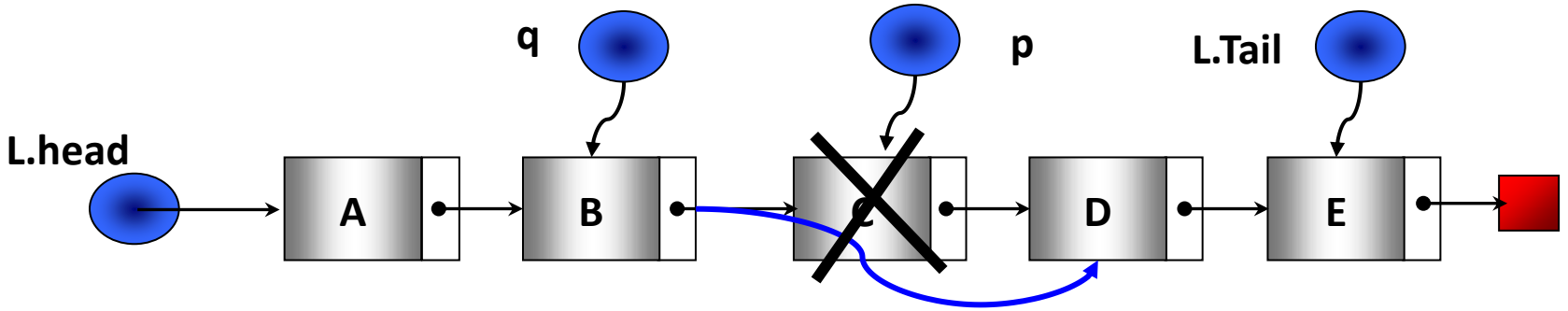
DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

Xóa node sau node q trong danh sách

- Điều kiện để có thể xóa được node sau q là:
  - q phải khác NULL (q !=NULL)
  - Node sau q phải khác NULL (q->pNext !=NULL)
  - Có các thao tác:
  - Gọi p là node sau q
  - Cho vùng pNext của q trỏ vào node đứng sau p
  - Nếu p là phần tử cuối thì pTail trỏ vào q
  - Giải phóng vùng nhớ mà p trỏ tới

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

Xóa node sau node q trong danh sách




```
Node*   p = q->pNext;
q->pNext = p->pNext;
```

Nếu node cần xóa là node cuối ds ??? `if (p == L.pTail)  L.pTail = q;`

```
delete p;
```

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

Xóa node sau node q trong danh sách

```
void RemoveAfter (LIST &l, NODE *q)
{  NODE  *p;

   if ( q != NULL)
   {
      p = q ->pNext ;
      if ( p != NULL)
      {
         if(p == l.pTail)  l.pTail = q;
         q->pNext = p->pNext;
         delete p;
      }
   }
   else
      RemoveHead(l);
}
```

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

Xóa node sau node q trong danh sách

```
int removeAfter (List &L, Node *q )
{
        if (q !=NULL && q->pNext !=NULL)
        {
                Node*   p = q->pNext;
                q->pNext = p->pNext;
                if  (p == L.pTail)        L.pTail = q;
                delete p;
                return 1;
        }
        else return 0;
}
```

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

- Xóa một node của danh sách
  - Xóa node đầu của danh sách
  - Xóa node sau node q trong danh sách
  - Xóa node có khoá k

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

- **Thuật toán: Hủy 1 phần tử có khoá k**
- Bước 1:
  - Tìm phần tử p có khóa k và phần tử q đứng trước nó
- Bước 2:
  - Nếu (p== NULL) thì
    - Báo không có k
  - Ngược lại // tìm thấy k
    - P là không phải node đầu danh sách: *trường hợp đặc biệt p* là node cuối danh sách *khi xóa p thì L.pTail thay đổi thế nào?*
    - P là node đầu danh sách: *trường hợp đặc biệt p là node duy nhất của danh sách thì sau khi xóa p thì L.pTail thay đổi thế nào?*

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

- Cài đặt:

  Hủy 1 phần tử có khoá k

```
int removeNode  (List &L, int k)
{
      Node    *p = L.pHead;
      Node    *q = NULL;
      while  (p != NULL)
      {
            if  (p->data == k) break;
            q = p;
            p = p->pNext;
      }
      if (p == NULL)  { cout<<"Không tìm thấy k"; return 0;}
      else if (q != NULL)
          { if(p == L.pTail)      L.pTail = q;
            q->pNext = p->pNext;
            delete p;
           }
```

Tìm phần tử p có khóa k và phần tử q đứng trước nó

```
else //p là phần tử đầu xâu
   {
        L.pHead = p->pNext;
        if (L.pHead == NULL)      L.pTail = NULL; //ds có 1phần tử
  }
return 1;
}
```

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

- Cài đặt:

  Hủy 1 phần tử có khoá k

```
Node* Search (List  L , int k) // Tìm node  đứng trước node có gtri k
{
        Node* p= L.pHead;
        while (p!= L.pTail  && p->pNext->data!=k)
                p=p->link;
        if (p!= L.pTail )
                return p;
        else
                return NULL;
}
```

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở


```
int RemoveNode(List &L, int k)
{
        int re = 1;
        if(L.first->data == k)
                removeHead(L);
        else
        {
                q = Search(L, k)
                if(q==NULL)
                {
                        cout<<"Không tìm thấy";
                        re = 0;
                }
                else
                        RemoveAfter(L, q) ;
        }
        return re;
}
```

DSLK đơn

- **Các thao tác cơ bản**
  - Tạo danh sách rỗng
  - Thêm một phần tử vào danh sách
  - Duyệt danh sách
  - Tìm kiếm một giá trị trên danh sách
  - Xóa một phần tử ra khỏi danh sách
  - Hủy toàn bộ danh sách
  - …

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

- **Hủy toàn bộ danh sách**
  - Để hủy toàn bộ danh sách, thao tác xử lý bao gồm hành động giải phóng một phần tử, do vậy phải cập nhật các liên kết liên quan:
  - Thuật toán:
    - Bước 1: Trong khi (Danh sách chưa hết) thực hiện:
      - B1.1:
        - p = L.pHead;
        - L.pHead = L.pHead ->pNext; *// Cho pHead trỏ tới phần tử kế*
      - B1.2:
        - Hủy p;
    - Bước 2:
      - L.pTail = NULL; *//Bảo đảm tính nhất quán khi xâu rỗng*

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

- Hủy toàn bộ danh sách: cài đặt

```
void RemoveList (List &L)
{
   Node   *p;
   while (L.pHead != NULL)
   {
       p = L.pHead;
       L.pHead = p->pNext;
      delete p;
   }
   L.pTail = NULL;
}
```

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

- Đếm số nút trong danh sách:

```
int CountNodes (List L)
{
      int count = 0;
      Node *p = L.pHead;
      while (p!=NULL)
      {
            count++;
            p = p->pNext;
      }
      return count;
}
```

DSLK đơn – Các thao tác cơ sở

- Trích phần tử đầu danh sách


```
Node* PickHead (List &L)
{
        Node  *p = NULL;
        if (L.pHead != NULL){
                p = L.pHead;
                L.pHead = L.pHead->pNext;
                p->pNext = NULL;
                if (L.pHead == NULL)  L.pTail =  NULL;
        }
        return p;
}
```

Danh sách liên kết đơn (DSLK đơn)

- Khai báo
- Các thao tác cơ bản trên DSLK đơn
- Sắp xếp trên DSLK đơn

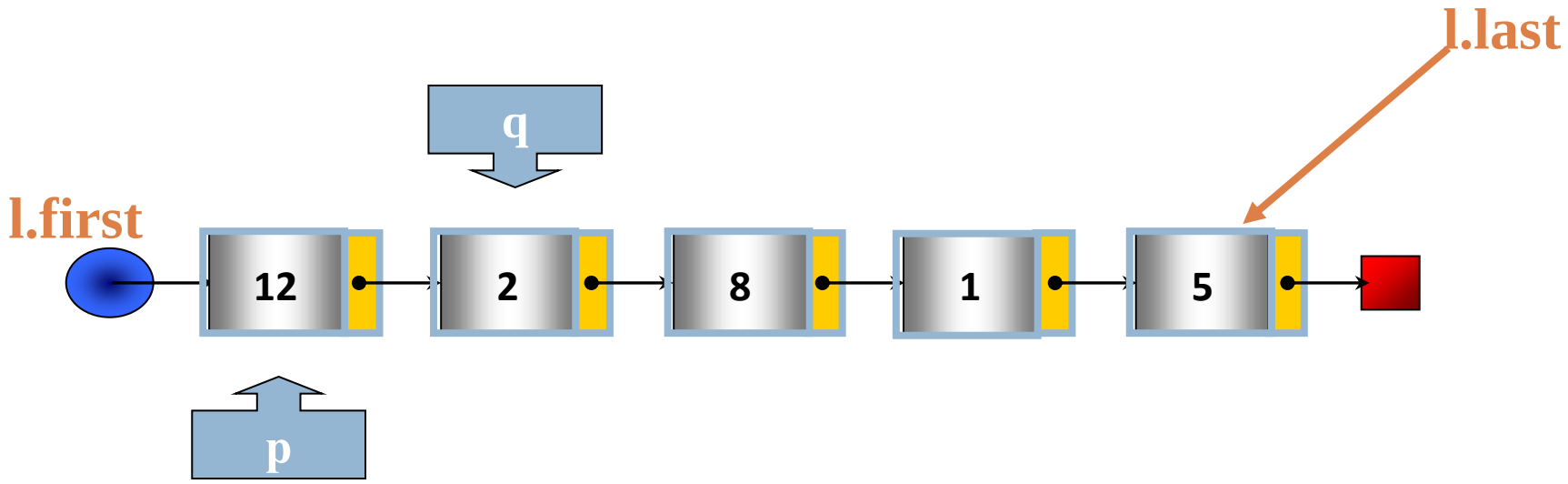
Sắp xếp danh sách
Hoán vị nội dung các phần tử trong danh sách

- Cài đặt lại trên danh sách liên kết một trong những thuật toán sắp xếp đã biết trên mảng
- Điểm khác biệt duy nhất là cách thức truy xuất đến các phần tử trên danh sách liên kết thông qua liên kết thay vì chỉ số như trên mảng.
- Do thực hiện hoán vị nội dung của các phần tử nên đòi hỏi sử dụng thêm vùng nhớ trung gian $\Rightarrow$ chỉ thích hợp với các xâu có các phần tử có thành phần data kích thước nhỏ.
- Khi kích thước của trường data lớn, việc hoán vị giá trị của hai phân tử sẽ chiếm chi phí đáng kể.

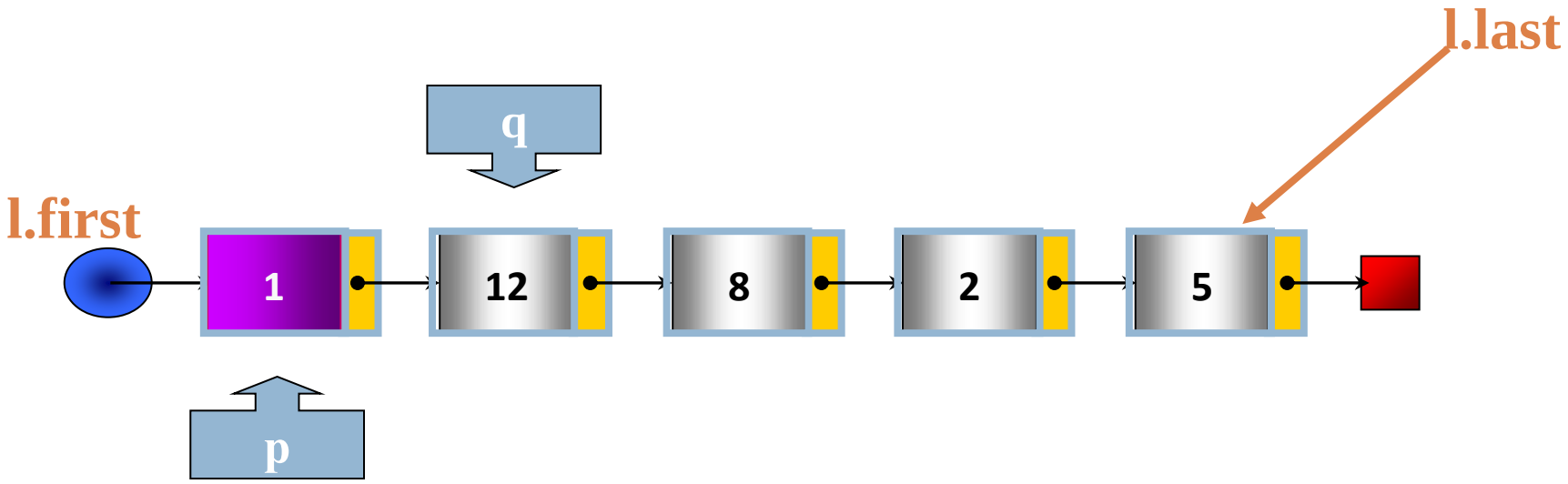
Sắp xếp bằng phương pháp đổi chỗ trực tiếp
(*Interchange Sort*)


```
void   SLL_InterChangeSort ( List  &L )
{
   for ( Node* p=L.first ; p!=L.last ; p=p->link )
        for ( Node* q=p->link ; q!=NULL ; q=q->link )
             if ( p->data > q->data )
                  Swap( p->data , q->data );
}
```

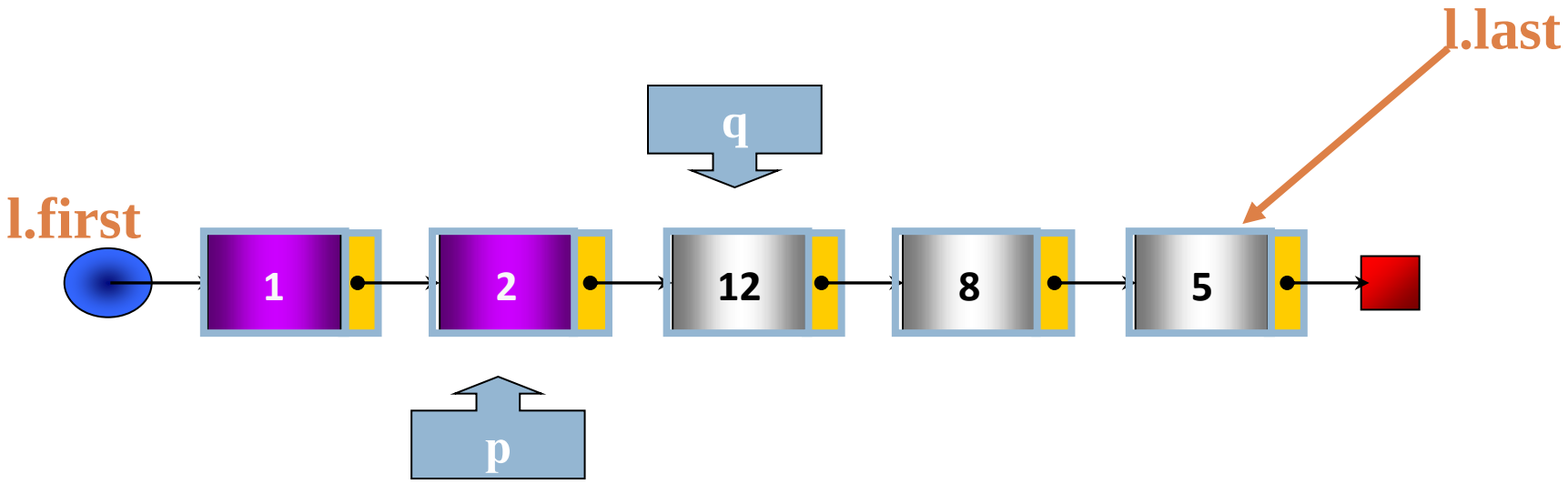
Sắp xếp đổi chỗ trực tiếp
(*Interchange Sort*)



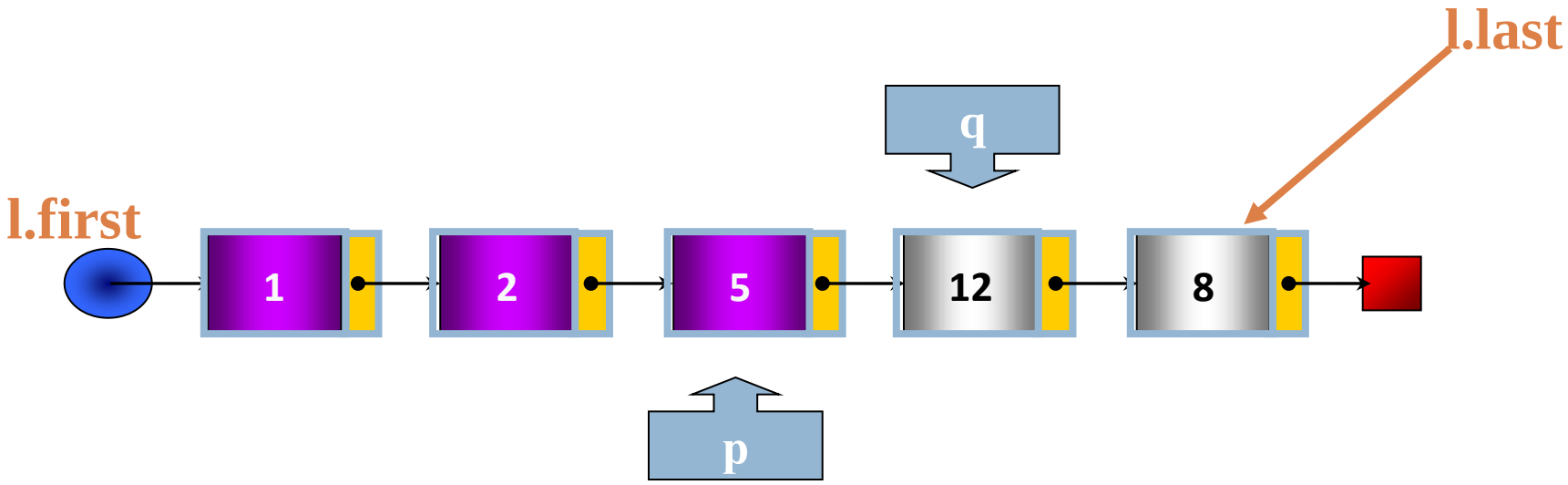
Sắp xếp đổi chỗ trực tiếp
(*Interchange Sort*)



Sắp xếp đổi chỗ trực tiếp
(*Interchange Sort*)

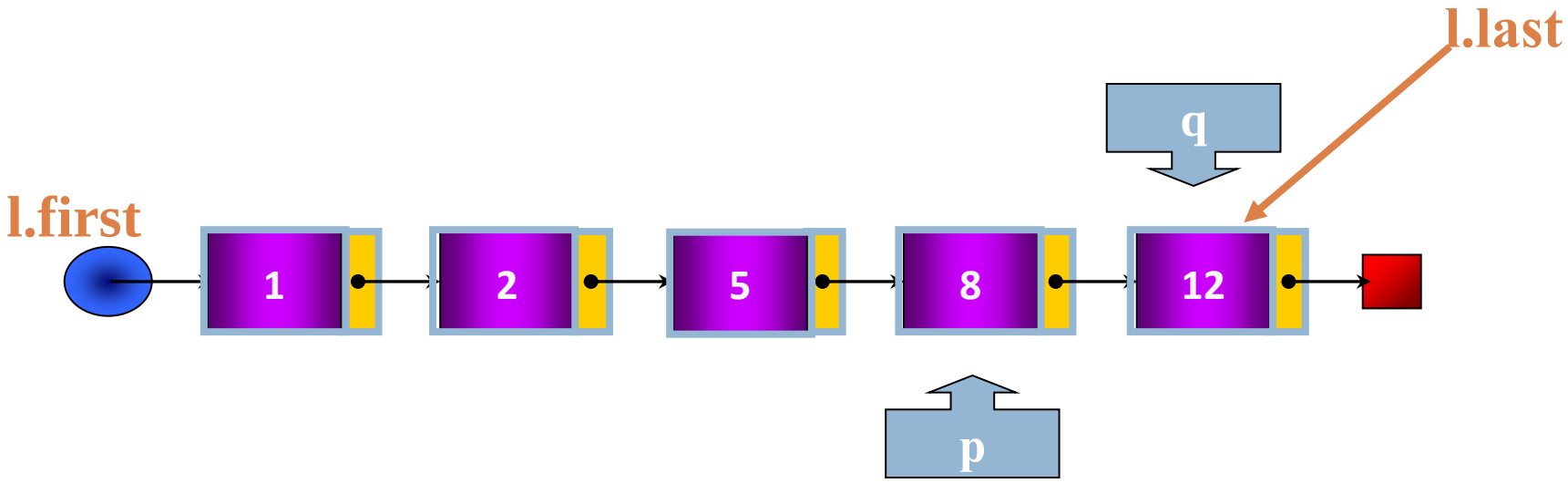


Sắp xếp đổi chỗ trực tiếp
(*Interchange Sort*)



Sắp xếp đổi chỗ trực tiếp
(*Interchange Sort*)

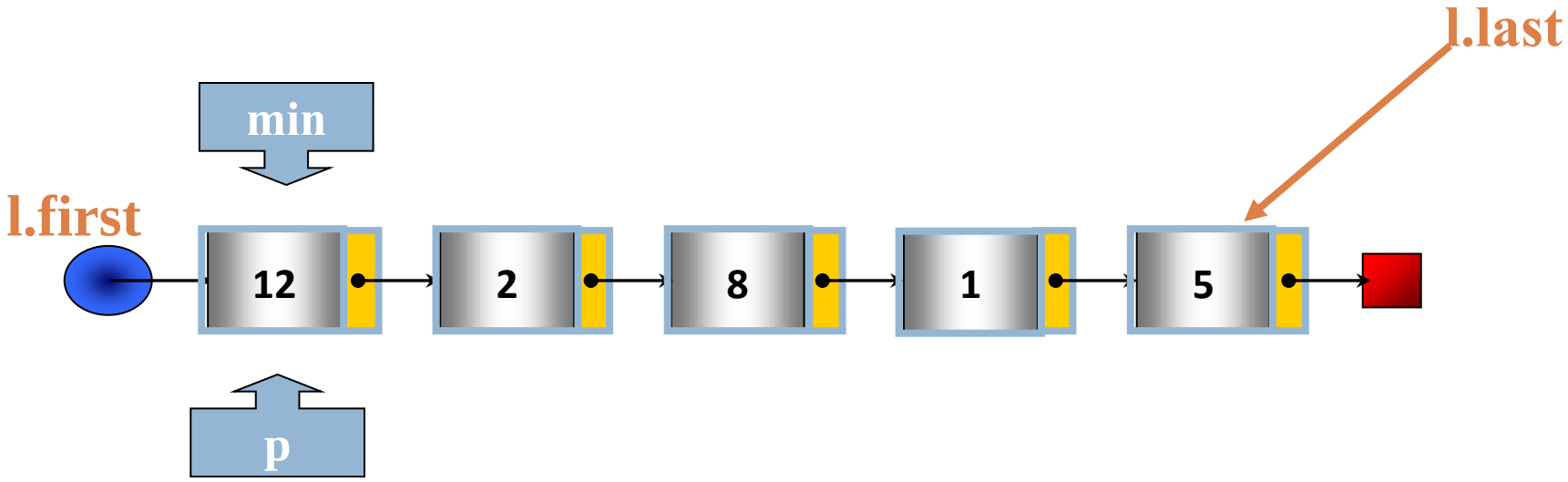
Dừng



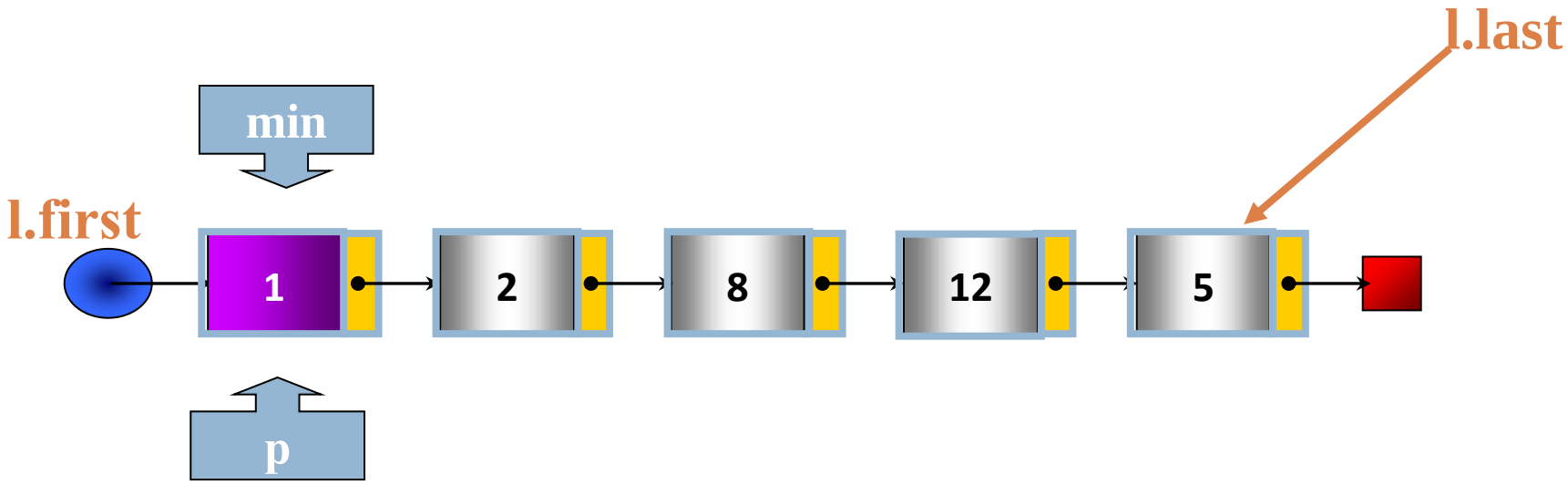
Sắp xếp bằng phương pháp chọn trực tiếp (*Selection sort*)


```
void    ListSelectionSort (LIST &L)
{
    for ( Node* p = L.first ; p != L.last ; p = p->link )
    {
        Node* min = p;
        for ( Node* q = p->link ; q != NULL ; q = q->link )
                if ( min->data > q->data ) min = q ;
                        Swap(min->data, p->data);
    }
}
```

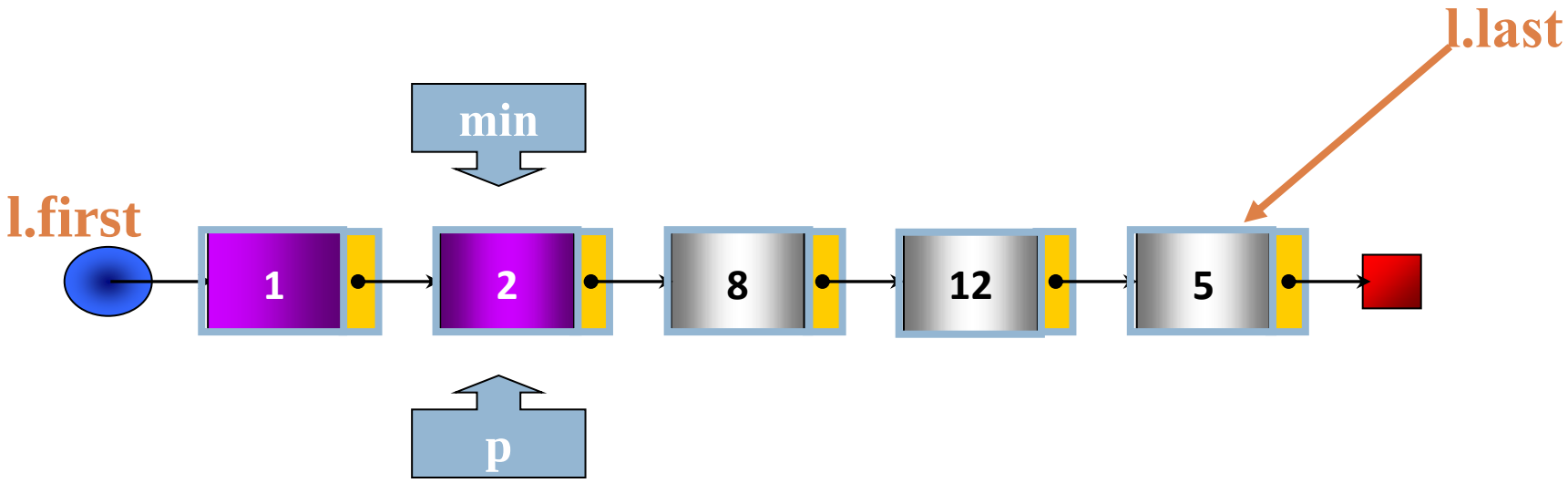
Sắp xếp bằng phương pháp chọn trực tiếp
(*Selection sort*)



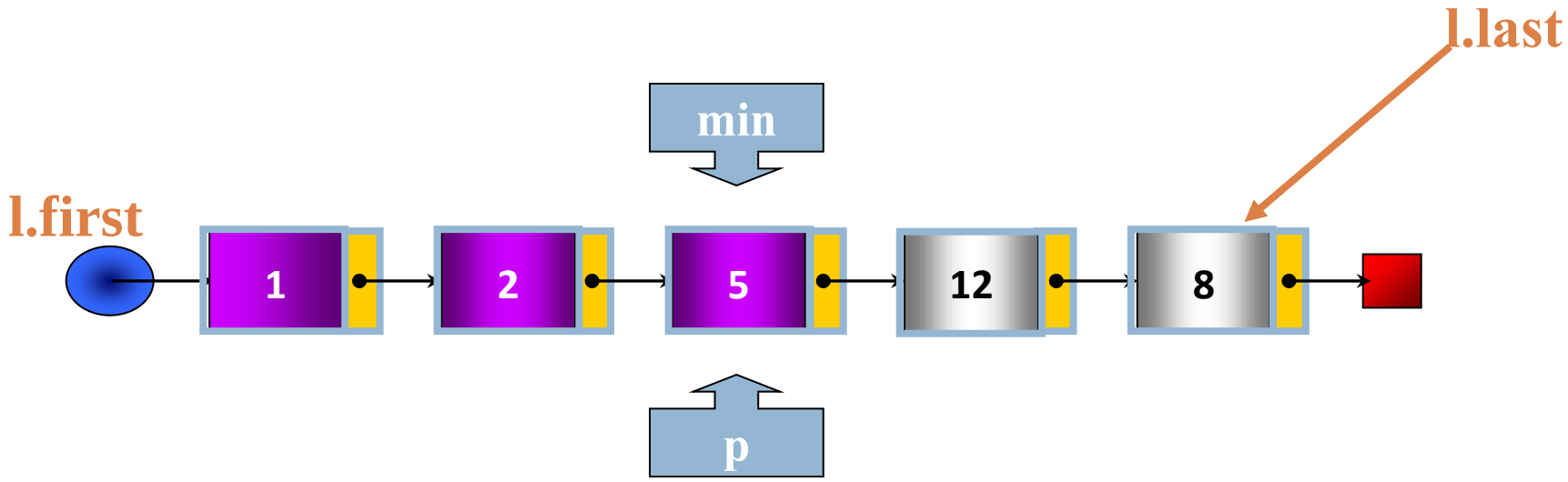
Sắp xếp bằng phương pháp chọn trực tiếp
(*Selection sort*)



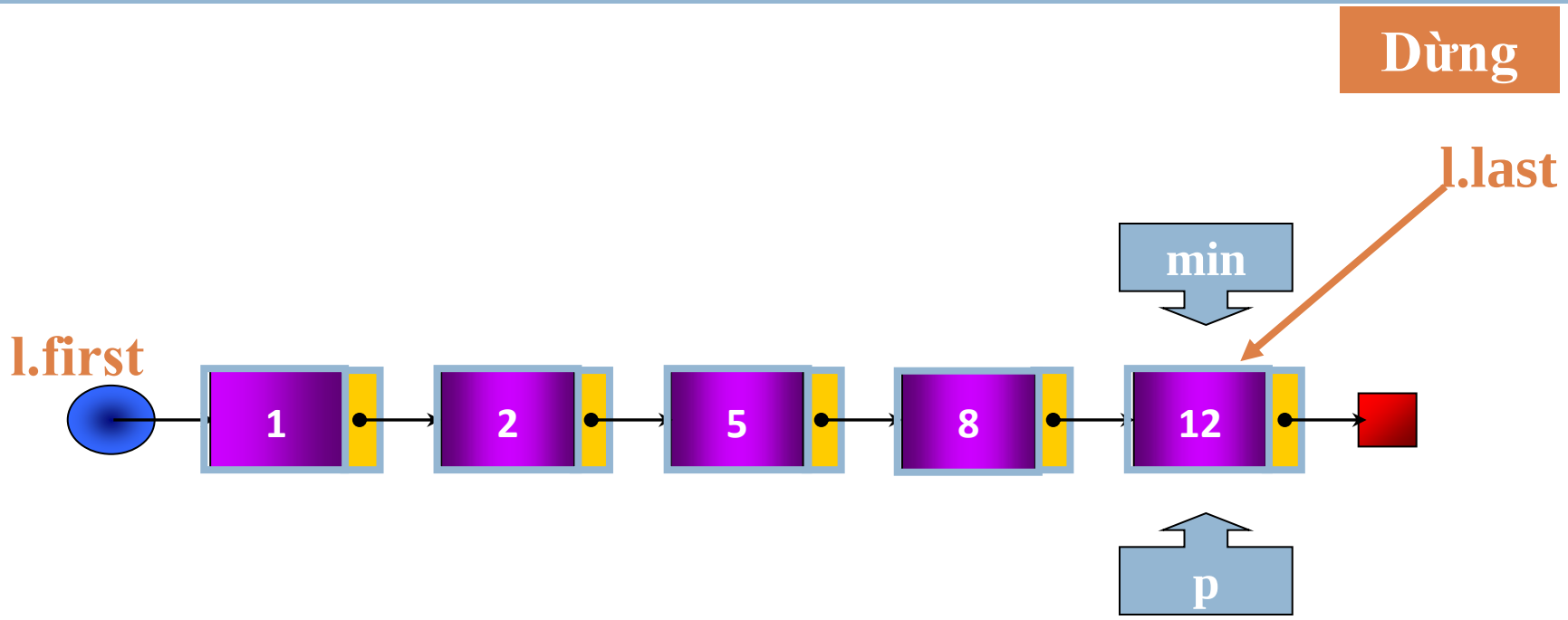
Sắp xếp bằng phương pháp chọn trực tiếp
(*Selection sort*)



Sắp xếp bằng phương pháp chọn trực tiếp
(*Selection sort*)



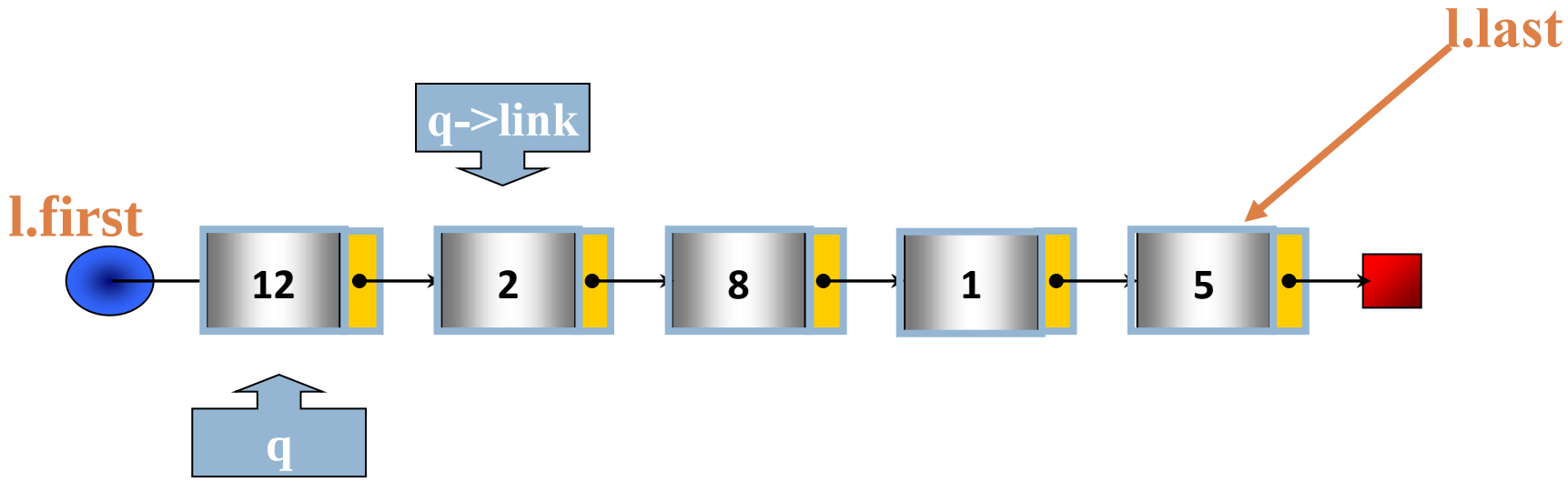
Sắp xếp bằng phương pháp chọn trực tiếp
(*Selection sort*)



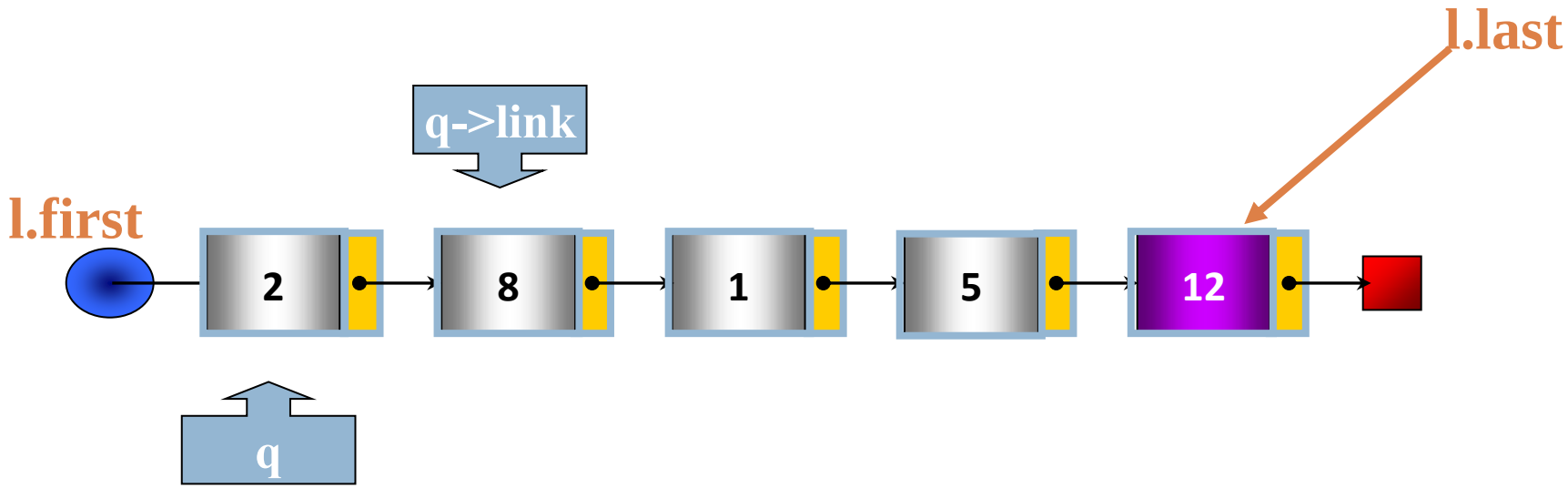
Sắp xếp bằng phương pháp nổi bọt
(*Bubble sort*)


```
void   SLL_BubleSort (  List   L )
{
   Node*  t = L.last ;
   for ( Node* p = L.first ;  p != NULL ; p = p->link)
   {     Node*  t1;
         for ( Node*  q=L.first ; p!=t ; q=q->link )
         {
               if( q->data  > q->link->data )
                     Swap( q->data , q->link->data );
               t1 = q ;
         }
         t = t1;
   }
}
```

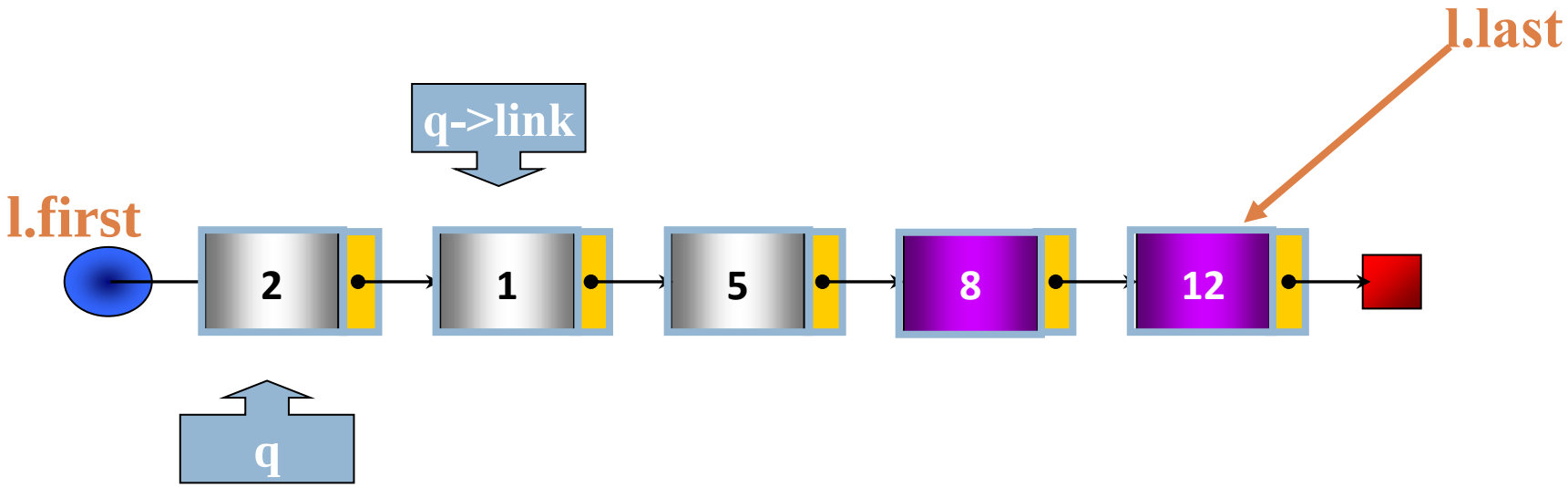
Sắp xếp bằng phương pháp nổi bọt
(*Bubble sort*)



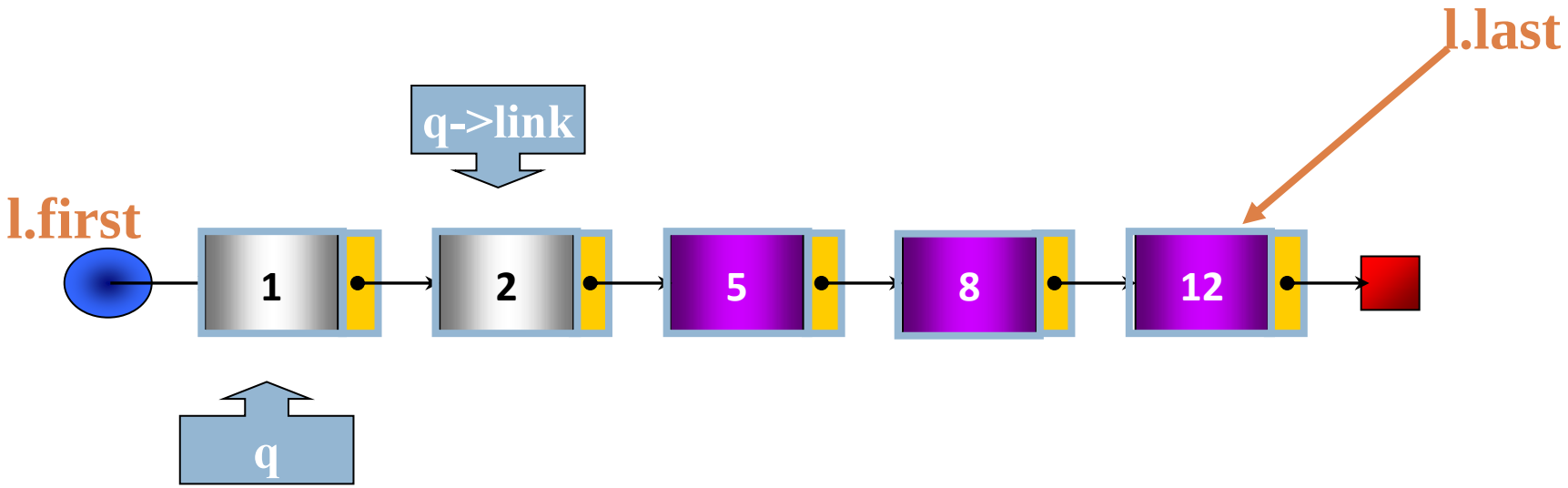
Sắp xếp bằng phương pháp nổi bọt
(*Bubble sort*)



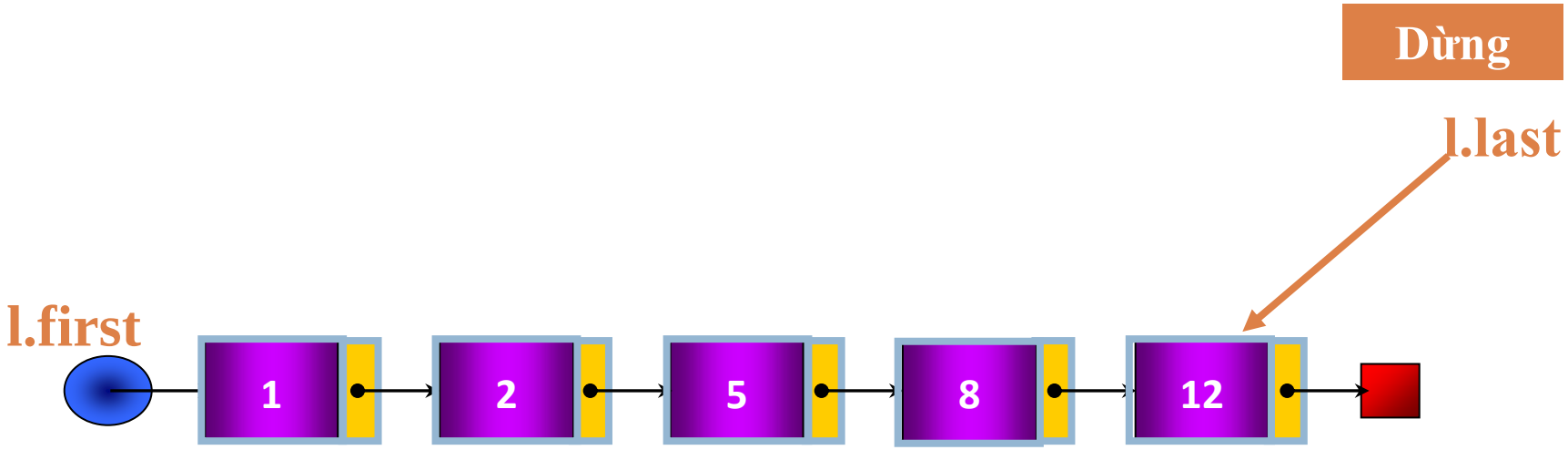
Sắp xếp bằng phương pháp nổi bọt
(*Bubble sort*)



Sắp xếp bằng phương pháp nổi bọt
(*Bubble sort*)



Sắp xếp bằng phương pháp nổi bọt
(*Bubble sort*)

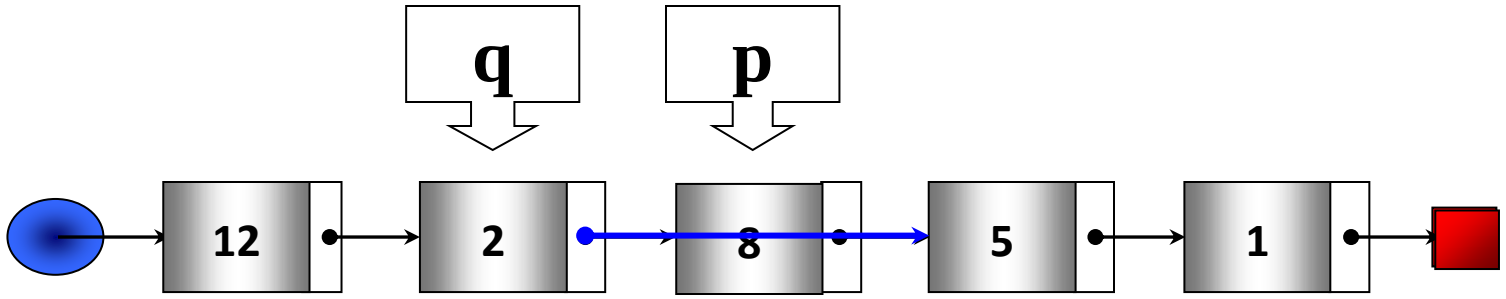


Sắp xếp Thay đổi các mối liên kết

- Thay vì hoán đổi giá trị, ta sẽ tìm cách thay đổi trình tự móc nối của các phần tử sao cho tạo lập nên được thứ tự mong muốn ⇒ chỉ thao tác trên các móc nối (link).
- Kích thước của trường link:
  - Không phụ thuộc vào bản chất dữ liệu lưu trong xâu
  - Bằng kích thước 1 con trỏ (2 hoặc 4 byte trong môi trường 16 bit, 4 hoặc 8 byte trong môi trường 32 bit…)
- Thao tác trên các móc nối thường phức tạp hơn thao tác trực tiếp trên dữ liệu.

⇒Cần cân nhắc khi chọn cách tiếp cận: Nếu dữ liệu không quá lớn thì nên chọn phương án 1 hoặc một thuật toán hiệu quả nào đó.

Phương pháp lấy Node ra khỏi danh sách giữ nguyên địa chỉ của Node



1 . q->link = p->link ; // *p->link chứa địa chỉ sau p*

2 . q->link = NULL ; // *p không liên kết phần tử Node*

Quick Sort : Thuật toán

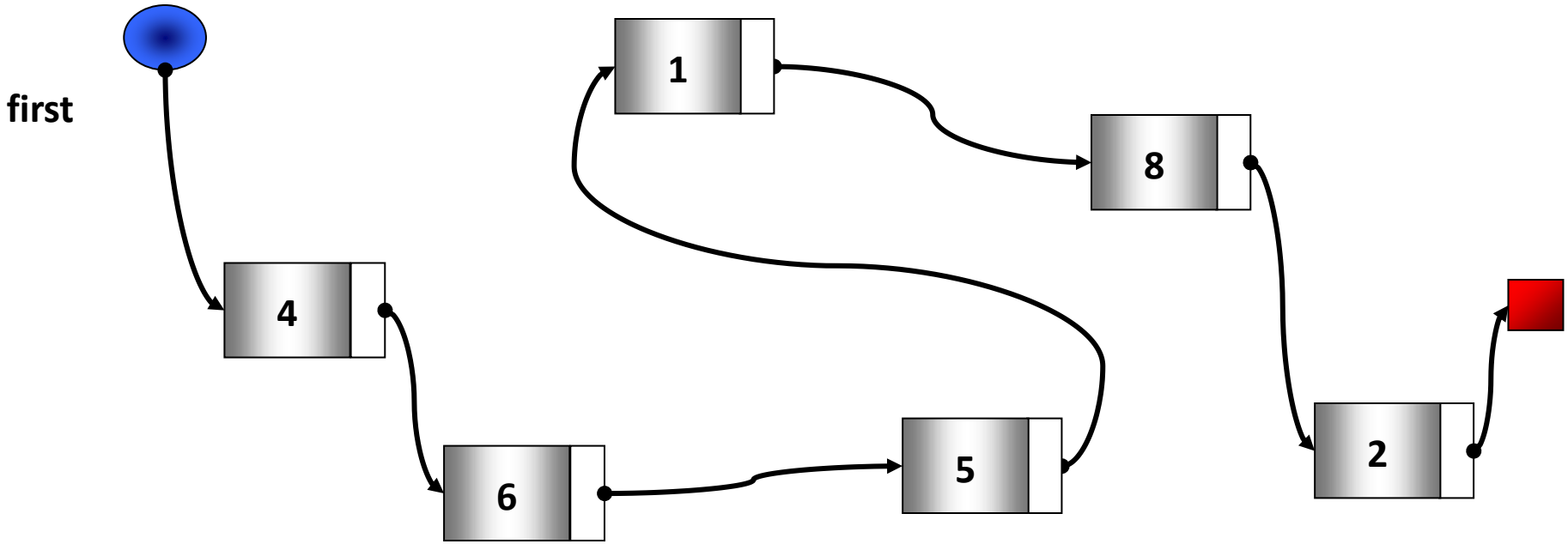
//input: xâu (first, last)

//output: xâu đã được sắp tăng dần

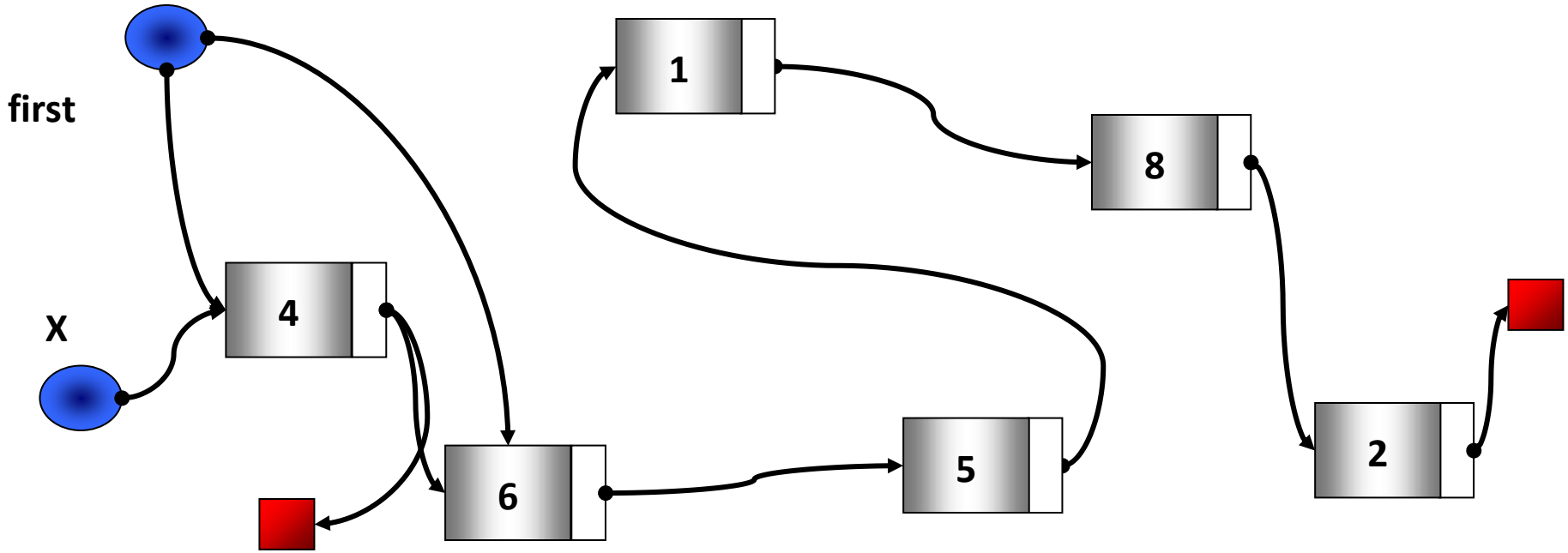
- Bước 1: Nếu xâu có ít hơn 2 phần tử

  Dừng; *//xâu đã có thứ tự*
- Bước 2: Chọn X là phần tử đầu xâu L làm ngưỡng. Trích X ra khỏi L.
- Bước 3: Tách xâu L ra làm 2 xâu L_1 (gồm các phần tử nhỏ hơn hay bằng X) và L_2 (gồm các phần tử lớn hơn X).
- Bước 4: Sắp xếp Quick Sort (L_1).
- Bước 5: Sắp xếp Quick Sort (L_2).
- Bước 6: Nối L_1, X, và L_2 lại theo trình tự ta có xâu L đã được sắp xếp.

Sắp xếp quick sort

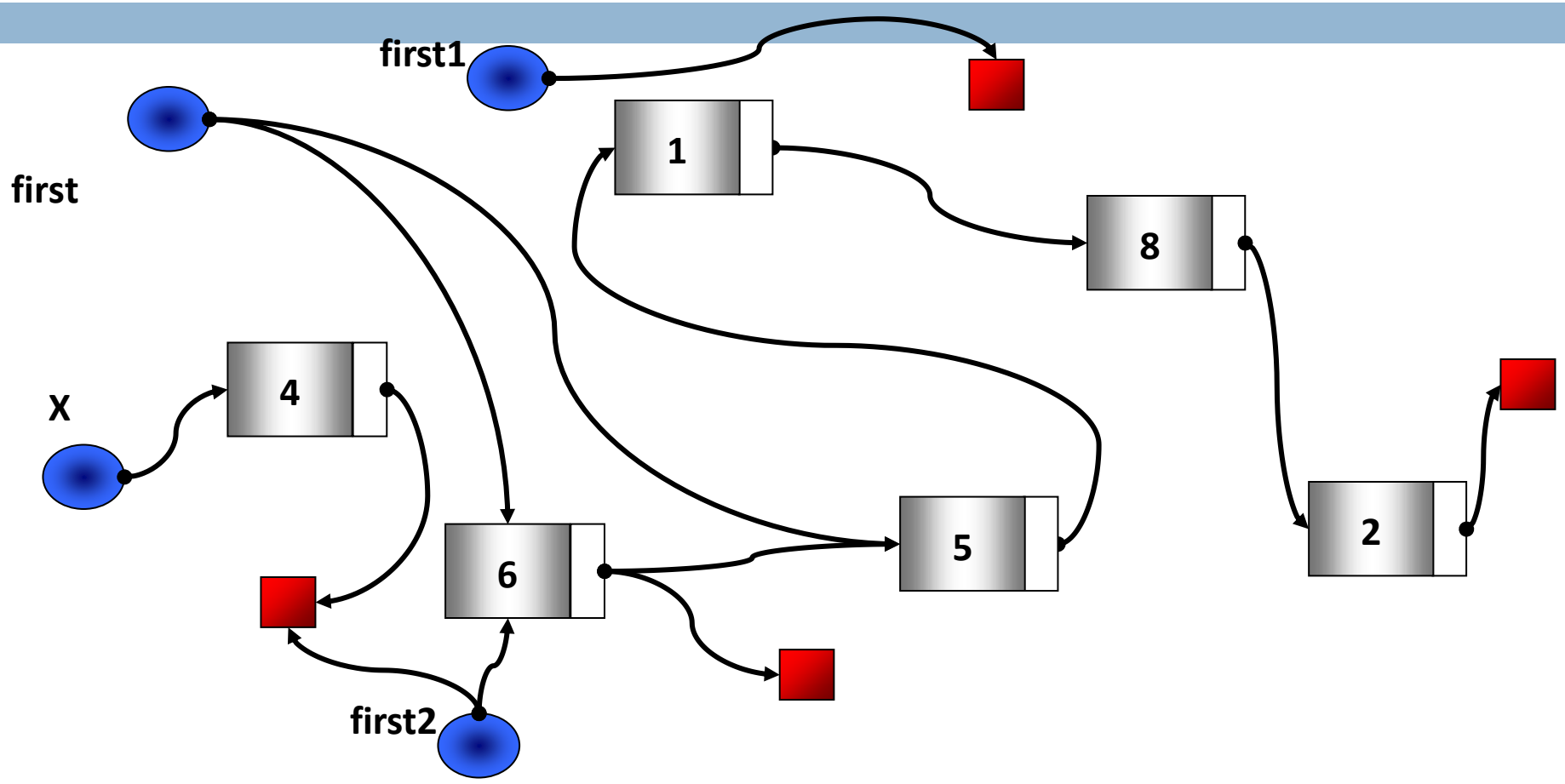


Quick sort : phân hoạch



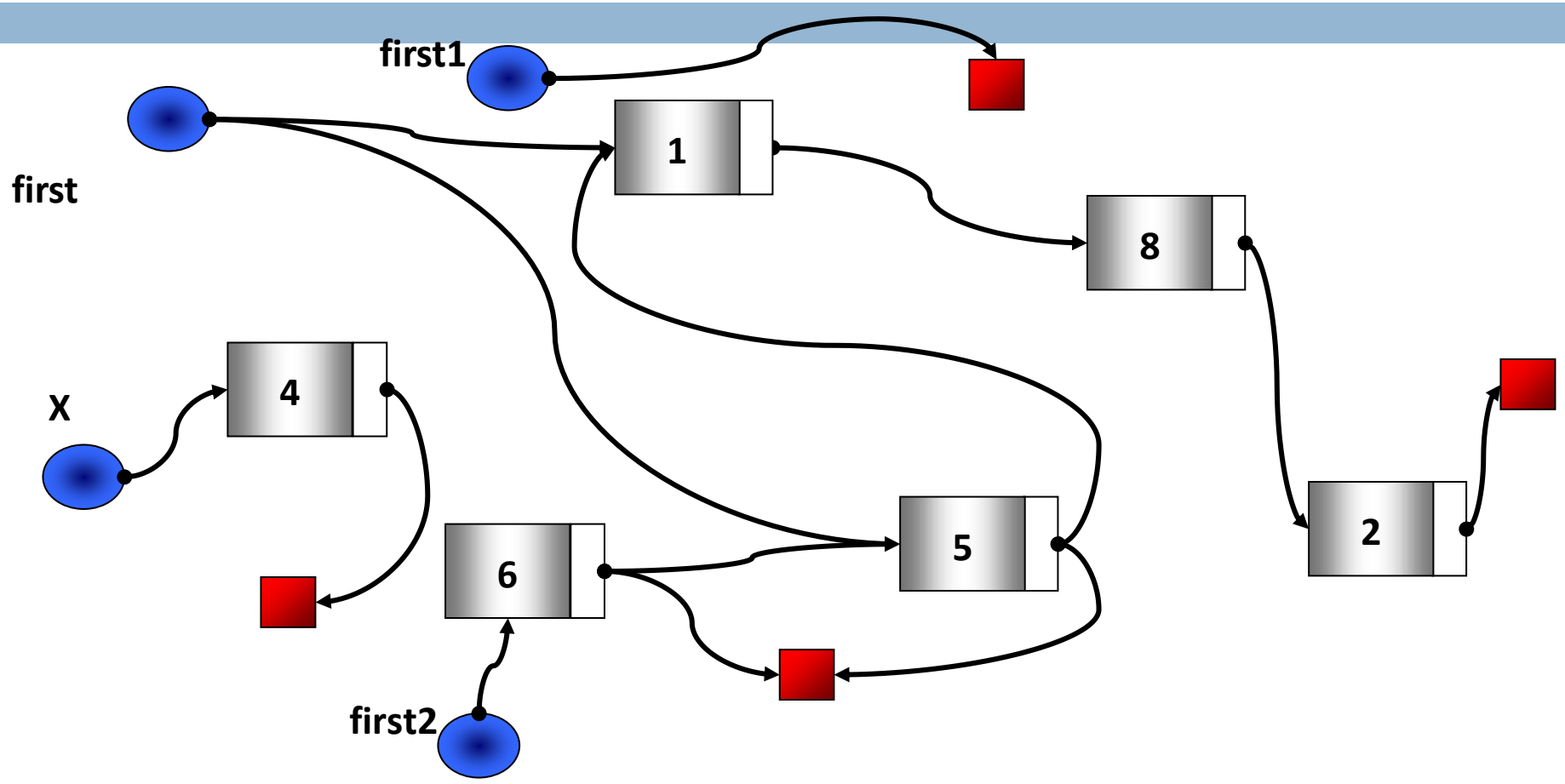
Chọn phần tử đầu xâu làm ngưỡng

Quick sort : phân hoạch



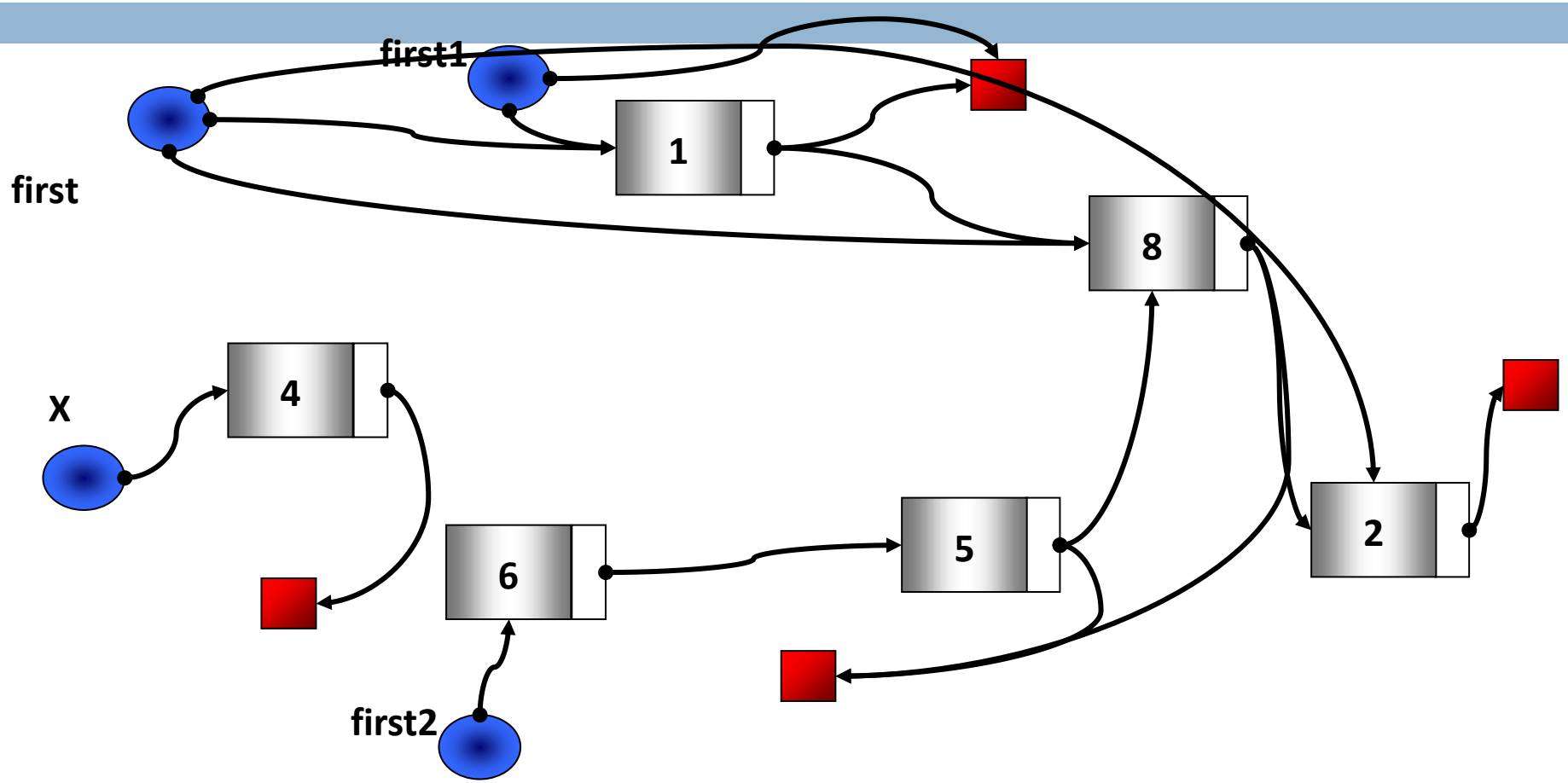
Tách xâu hiện hành thành 2 xâu

Quick sort : phân hoạch



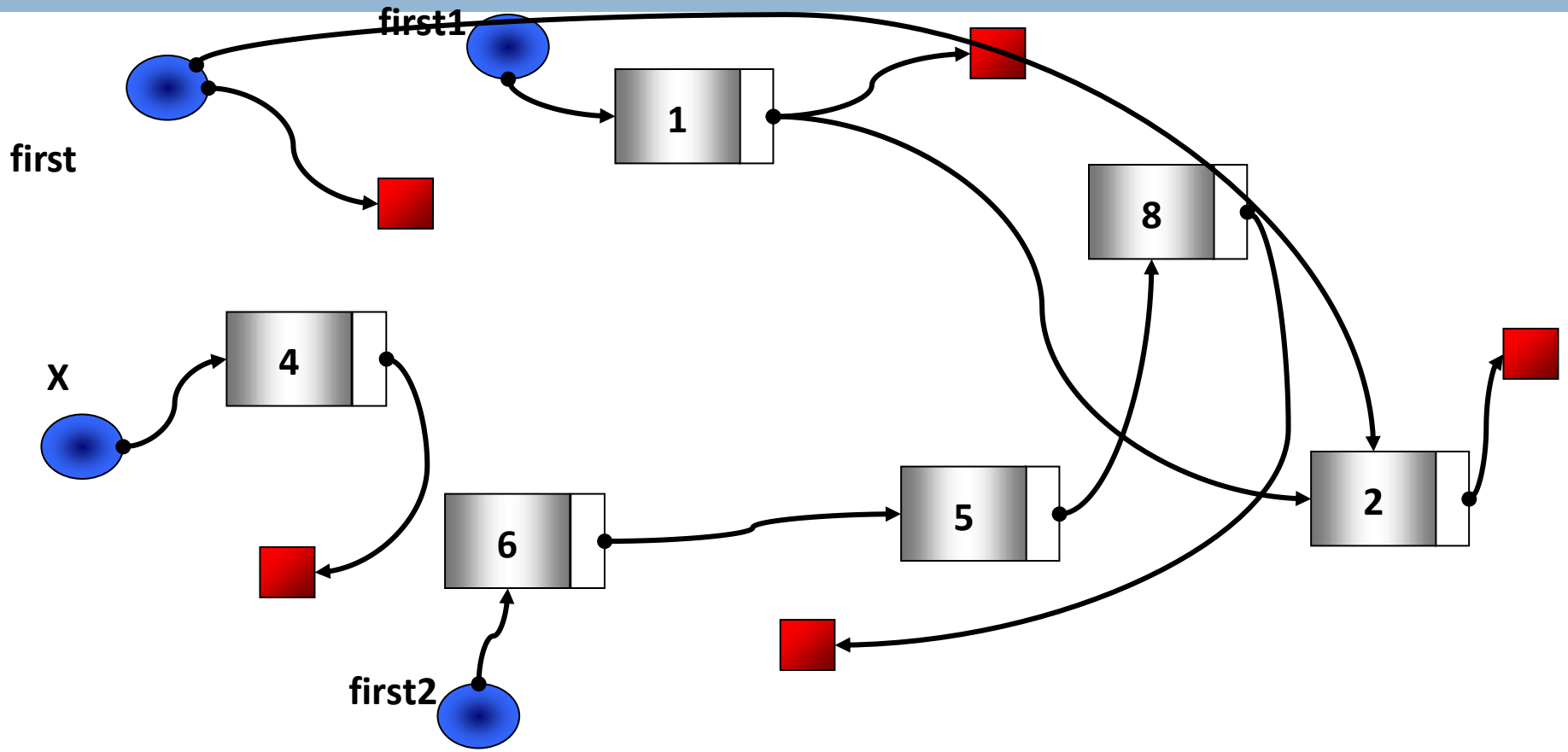
Tách xâu hiện hành thành 2 xâu

Quick sort : phân hoạch



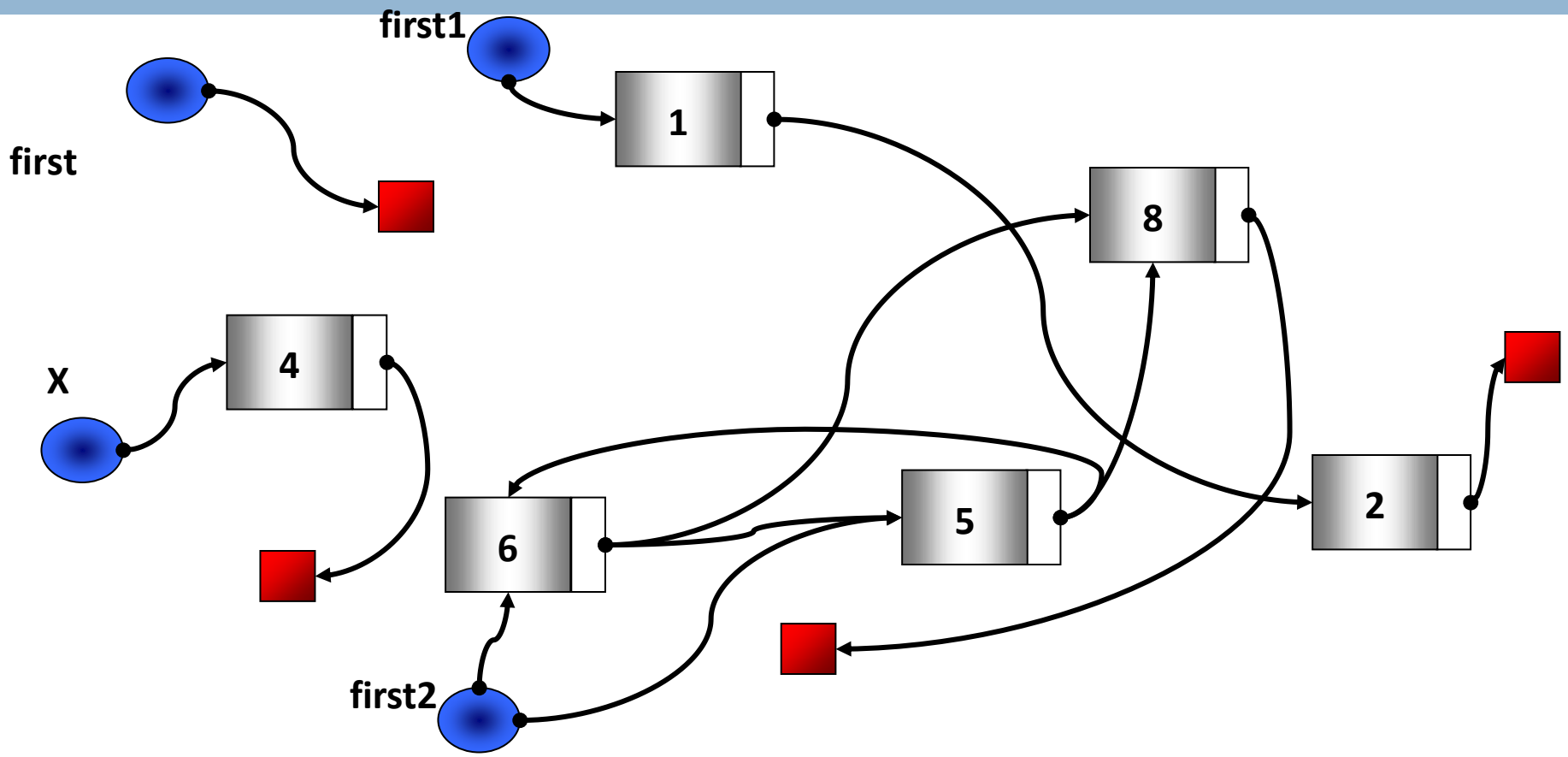
Tách xâu hiện hành thành 2 xâu

Quick sort : phân hoạch



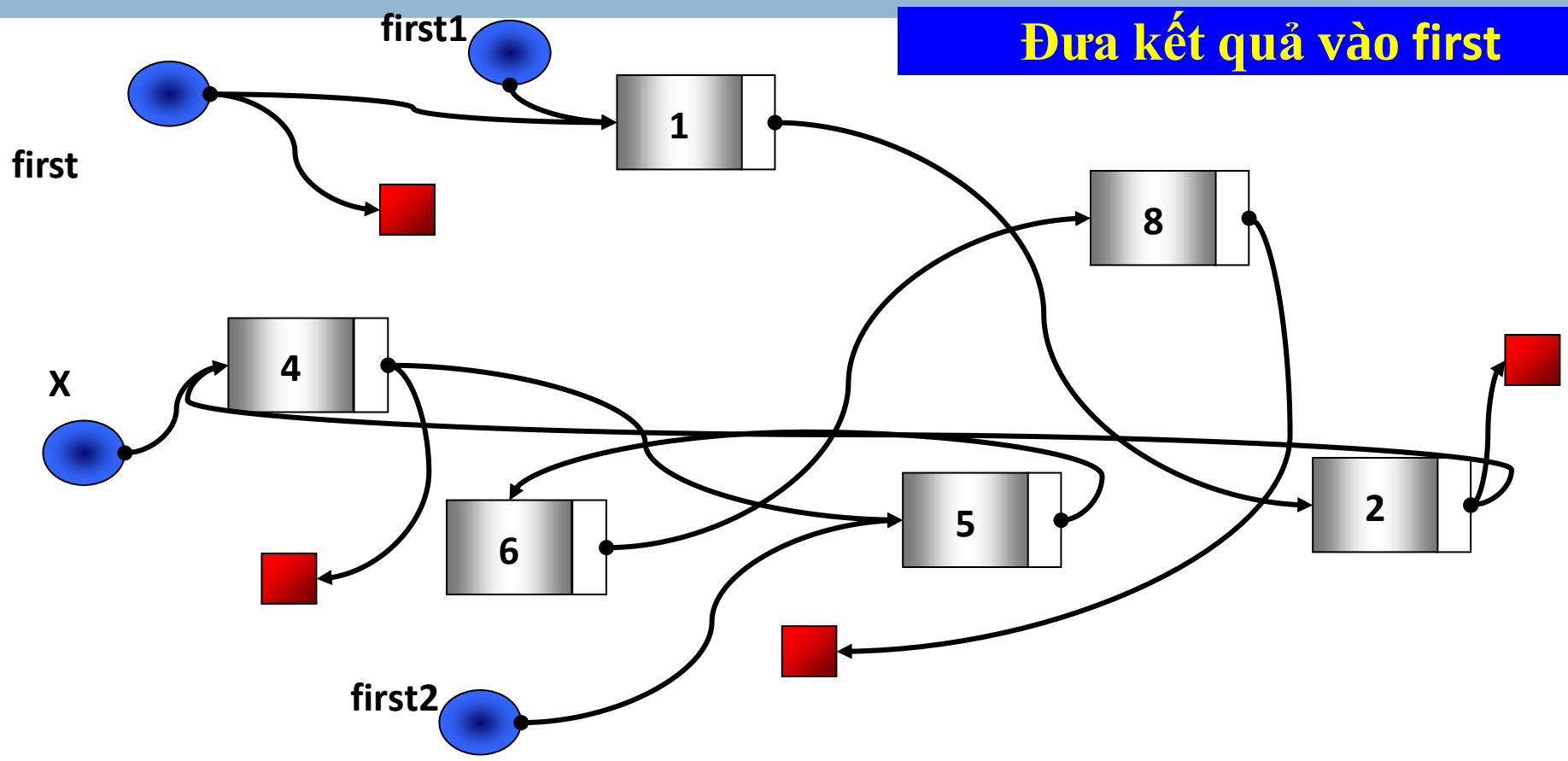
Tách xâu hiện hành thành 2 xâu

Quick sort



Sắp xếp các xâu l1, l2

Quick sort



Nối 2 danh sách


```
void SListAppend(SLIST &l, LIST &l2)
{
  if (l2.first == NULL) return;
  if (l.first == NULL)
      l = l2;
  else {
      l.first->link = l2.first;
      l.last = l2.last;
  }
  Init(l2);
}
```

```
void SListQSort(SLIST &l) {
   NODE *X, *p;
   SLIST l1, l2;
   if (list.first == list.last) return;
   Init(l1);     Init(l2);
   X = l.first; l.first=x->link;
   while (l.first != NULL) {
      p = l.first;
      if (p->data <= X->data) AddFirst(l1, p);
      else        AddFirst(l2, p);
   }
   SListQSort(l1);      SListQSort(l2);
   SListAppend(l, l1);
   AddFirst(l, X);
   SListAppend(l, l2);
}
```

Quick sort : nhận xét

Nhận xét:

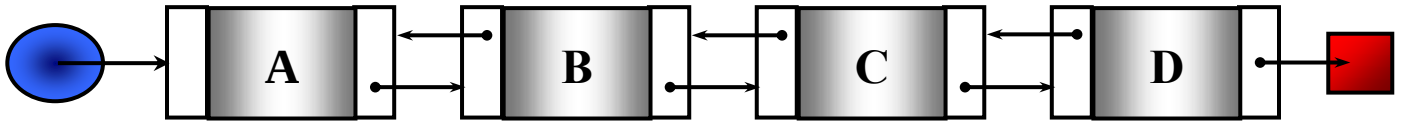
- Quick sort trên xâu đơn đơn giản hơn phiên bản của nó trên mảng một chiều
- Khi dùng quick sort sắp xếp một xâu đơn, chỉ có một chọn lựa phần tử cầm canh duy nhất hợp lý là phần tử đầu xâu. Chọn bất kỳ phần tử nào khác cũng làm tăng chi phí một cách không cần thiết do cấu trúc tự nhiên của xâu.

Nội dung

- Giới thiệu
- Danh sách liên kết đơn (Single Linked List)
- Danh sách liên kết đôi (Double Linked List)
- Danh sách liên kết vòng (Circular Linked List)

Danh sách liên kết đôi (DSLK đôi)

- Là danh sách mà mỗi phần tử trong danh sách có kết nối với 1 phần tử đứng trước và 1 phần tử đứng sau nó



DSLK đôi – Khai báo cấu trúc

- Dùng hai con trỏ:
  - pPrev liên kết với phần tử đứng trước
  - pNext liên kết với phần tử đứng sau

```
struct DNode
{
   DataType   data;
   DNode*     pPre;      // trỏ đến phần tử đứng trước
   DNode*     pNext;     // trỏ đến phần tử đứng sau
};
struct DList
{
   DNode*   pHead;       // trỏ đến phần tử đầu ds
   DNode*   pTail;       // trỏ đến phần tử cuối ds
};
```

DSLK đôi – Tạo nút mới

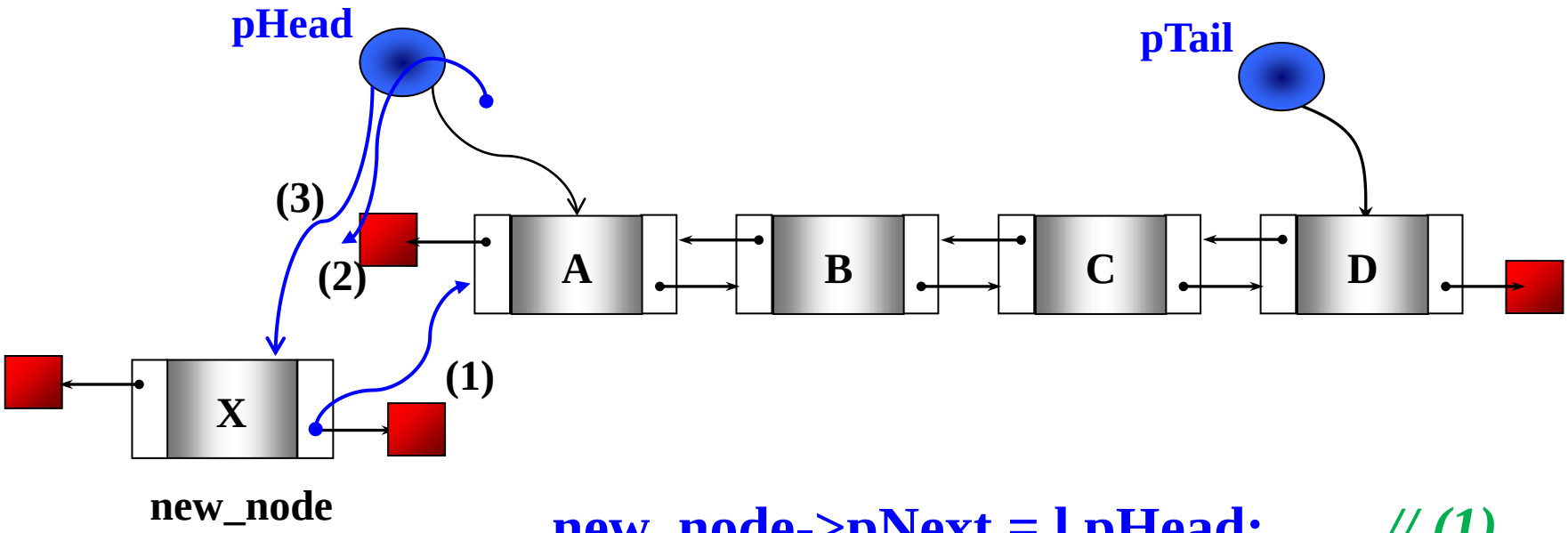
- Hàm tạo nút:


```
DNode* getNode ( DataType x)
{
   DNode *p;
   p = new DNode;   // Cấp phát vùng nhớ cho phần tử
   if  (p==NULL) {
      cout<<"Khong du bo nho";  return NULL;
   }
   p->data = x;          // Gán thông tin cho phần tử p
   p->pPrev = p->pNext = NULL;
   return p;
}
```

DSLK đôi – Thêm 1 nút vào ds

- Có 4 loại thao tác chèn new_node vào danh sách:
  - Cách 1: Chèn vào đầu danh sách
  - Cách 2: Chèn vào cuối danh sách
  - Cách 3 : Chèn vào danh sách sau một phần tử q
  - Cách 4 : Chèn vào danh sách trước một phần tử q

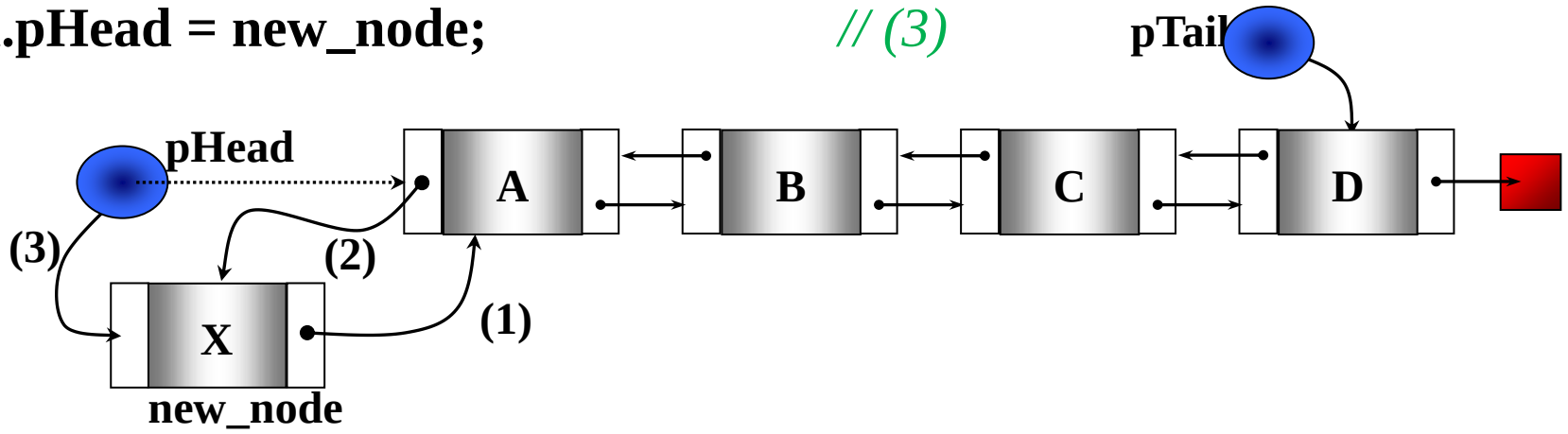
DSLK đôi – Thêm vào đầu ds



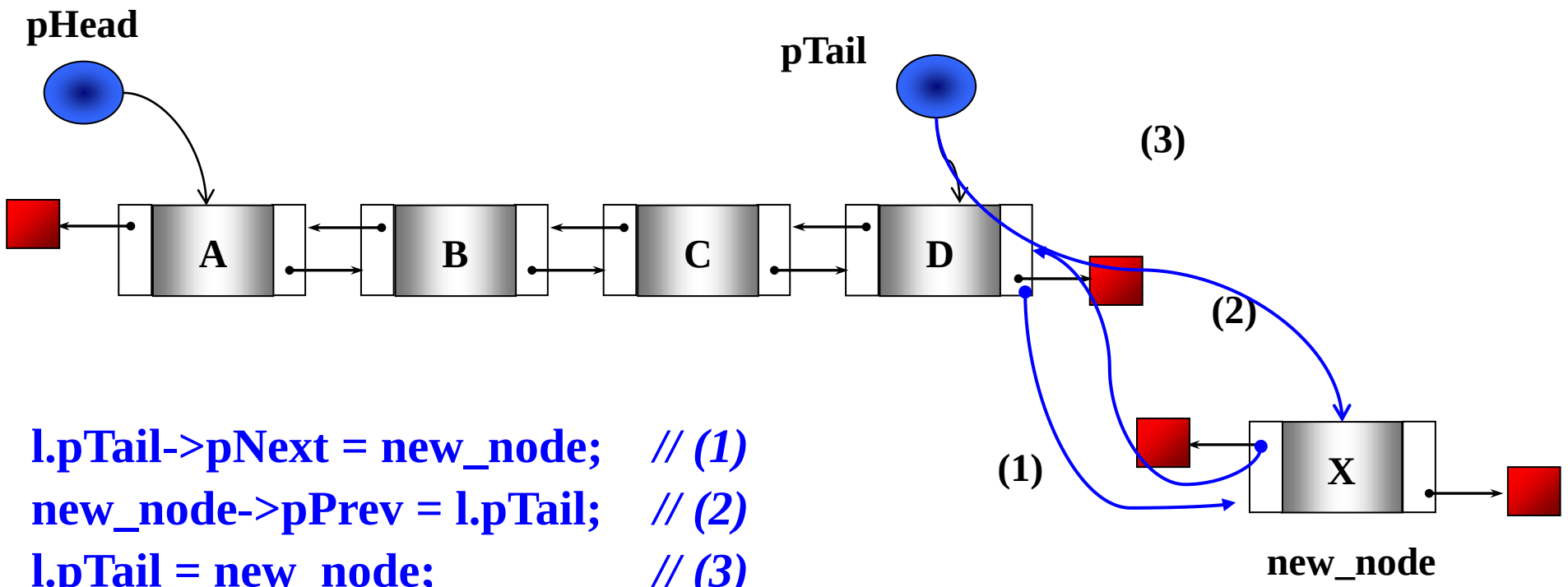

```
new_node->pNext = l.pHead;      // (1)
l.pHead->pPrev = new_node;      // (2)
l.pHead = new_node;             // (3)
```

DSLK đôi – Thêm vào đầu ds


```
void addHead (DList &l, DNode* new_node)
{
    if (l.pHead==NULL)
            l.pHead = l.pTail = new_node;
    else
        {   new_node->pNext = l.pHead;      // (1)
            l.pHead->pPrev = new_node;      // (2)
            l.pHead = new_node;             // (3)
        }
}
```



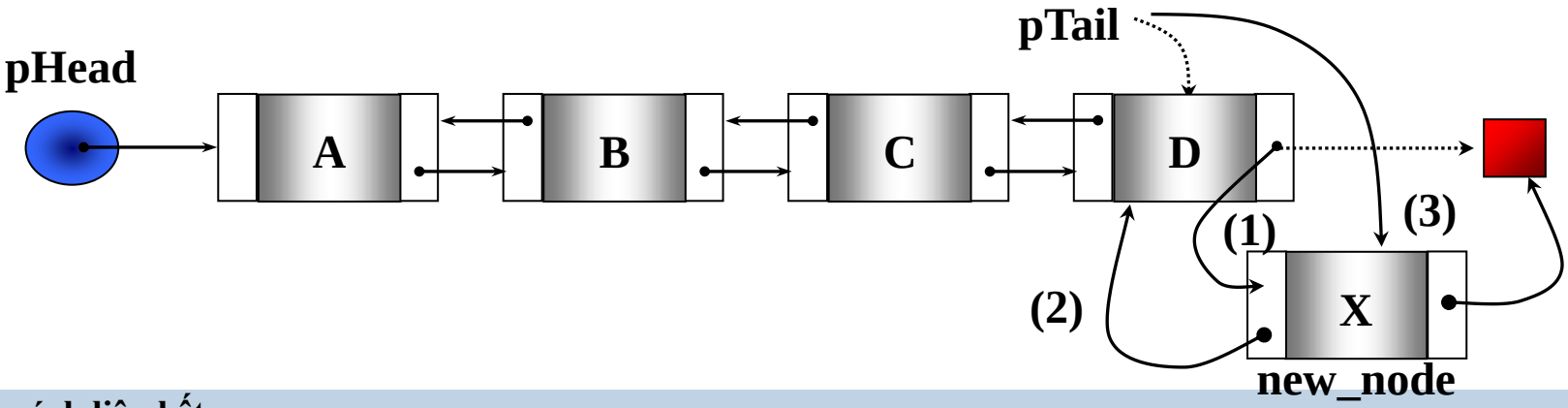
DSLK đôi – Thêm vào cuối ds



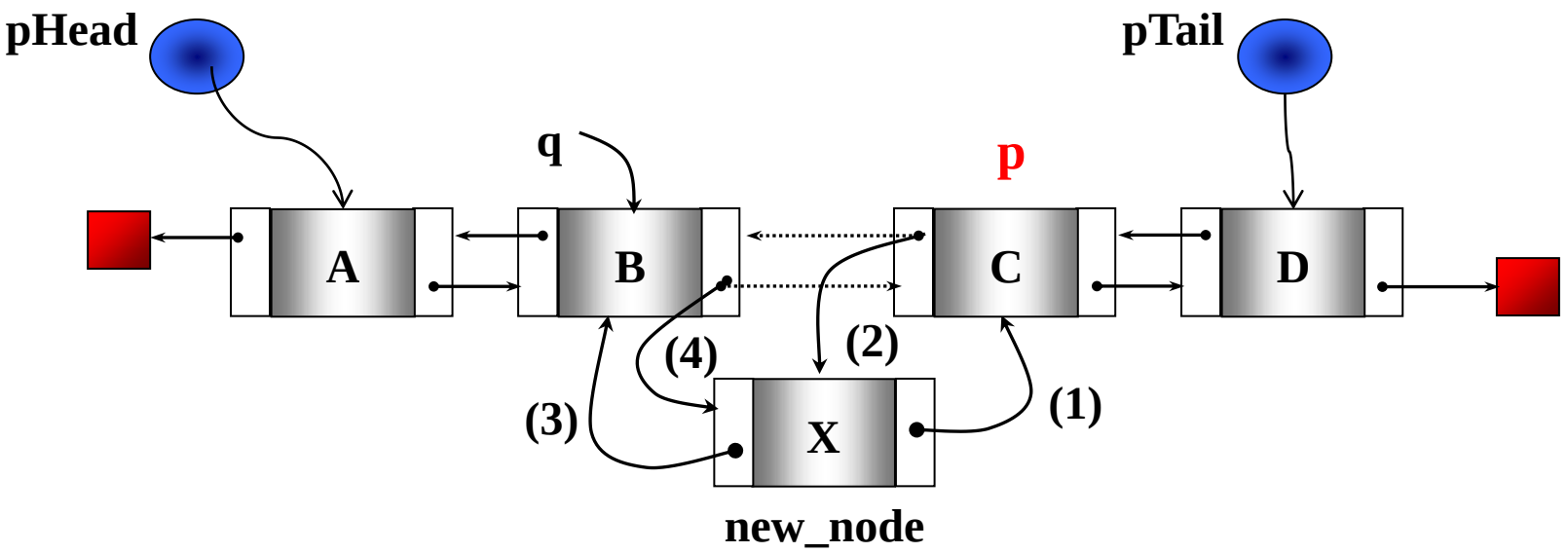

```
l.pTail->pNext = new_node;     // (1)
new_node->pPrev = l.pTail;     // (2)
l.pTail = new_node;            // (3)
```

DSLK đôi – Thêm vào cuối ds


```
void addTail (DList &l, DNode *new_node)
{       if  (l.pHead==NULL)
                l.pHead = l.pTail = new_node;
        else
        {       l.pTail->pNext = new_node;          // (1)
                new_node->pPrev = l.pTail;          // (2)
                l.pTail = new_node;                 // (3)
        }
}
```



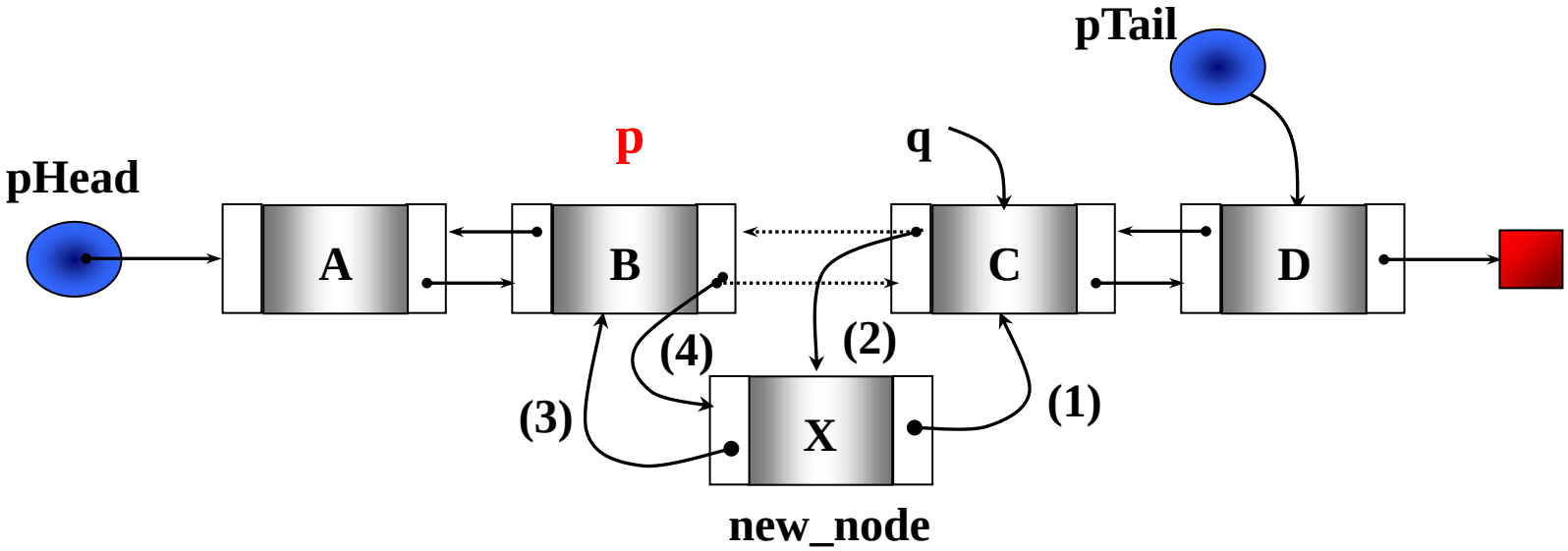
DSLK đôi – Chèn vào sau q



DSLK đôi – Chèn vào sau q


```
void addAfter (DList &l, DNode *q, DNode *new_node)
{
        DNode *p = q->pNext;
        if  (q!=NULL) {
          new_node->pNext = p;                          //(1)
          if (p != NULL)   p->pPrev = new_node;         //(2)
          new_node->pPrev = q;                          //(3)
          q->pNext = new_node;                          //(4)
          if (q == l.pTail)   l.pTail = new_node;
        }
        else
          addFirst (l, new_node);  // chèn vào đầu ds
}
```

DSLK đôi – Chèn vào trước q



DSLK đôi – Chèn vào trước q


```
void addBefore (DList &l, DNode q, DNode* new_node)
{       DNode* p = q->pPrev;
        if  (q!=NULL)
        {       new_node->pNext = q;          //(1)
                q->pPrev = new_node;          //(2)
                new_node->pPrev = p;          //(3)
                if (p != NULL)   p->pNext = new_node; //(4)
                if (q == l.pHead)  l.pHead = new_node;
        }
        else
                addTail (l, new_node); // chèn vào cuối ds
}
```

DSLK đôi – Hủy phần tử

- Có 5 loại thao tác thông dụng hủy một phần tử ra khỏi danh sách liên kết đôi:
  - Hủy phần tử đầu ds
  - Hủy phần tử cuối ds
  - Hủy một phần tử đứng sau phần tử q
  - Hủy một phần tử đứng trước phần tử q
  - Hủy 1 phần tử có khóa k

DSLK đôi – Hủy đầu ds


```
int removeHead (DList &l)
{
   if ( l.pHead == NULL)     return 0;
   DNode *p = l.pHead;
   l.pHead = l.pHead->pNext;
   l.pHead->pPrev = NULL;
   delete p;
   if (l.pHead == NULL)      l.pTail = NULL;
   else    l.pHead->pPrev = NULL;
   return 1;
}
```

DSLK đôi – Hủy cuối ds


```
int removeTail (DList &l)
{
   if (l.pTail == NULL) return 0;
   DNode *p = l.pTail;
   l.pTail = l.pTail->pPrev;
   l.pTail->pNext = NULL;
   delete p;
   if (l.pHead == NULL)   l.pTail = NULL;
   else      l.pHead->pPrev = NULL;
   return 1;
}
```

DSLK đôi – Hủy phần tử sau q


```
int removeAfter (DList &l, DNode *q)
{
   if (q == NULL)   return 0;
   DNode *p = q ->pNext ;
   if  (p != NULL)
   {
         q->pNext = p->pNext;
         if  (p == l.pTail)    l.pTail  = q;
         else     p->pNext->pPrev = q;
         delete p;
         return 1;
   }
  else  return 0;
}
```

DSLK đôi – Hủy phần tử trước q


```
int removeBefore (DList &l, DNode *q)
{
   if (q == NULL) return 0;
   DNode *p = q ->pPrev;
   if (p != NULL)
   {
         q->pPrev = p->pPrev;
         if (p == l.pHead)   l.pHead = q;
         else        p->pPrev->pNext = q;
         delete p;
         return 1;
    }
   else  return 0;
}
```

DSLK đôi – Hủy phần tử có khóa k


```
int  removeNode (DList &l, int k)
{
   DNode *p = l.pHead;
   while (p != NULL)
   {
         if (p->data== k)   break;
         p = p->pNext;
   }
```

DSLK đôi – Hủy phần tử có khóa k


```
    if (p == NULL)  return 0;  // Không tìm thấy k
    DNode *q = p->pPrev;
    if  (q != NULL) // Xóa nút p sau q
        return removeAfter (l, q);
    else        // Xóa p là nút đầu ds
        return removeHead (l);
}
```

DSLK đôi – Nhận xét

- DSLK đôi về mặt cơ bản có tính chất giống như DSLK đơn
- Tuy nhiên DSLK đôi có mối liên kết hai chiều nên từ một phần tử bất kỳ có thể truy xuất một phần tử bất kỳ khác
- Trong khi trên DSLK đơn ta chỉ có thể truy xuất đến các phần tử đứng sau một phần tử cho trước
- Điều này dẫn đến việc ta có thể dễ dàng hủy phần tử cuối DSLK đôi, còn trên DSLK đơn thao tác này tốn chi phí O(n)

DSLK đôi – Nhận xét

- Bù lại, xâu đôi tốn chi phí gấp đôi so với xâu đơn cho việc lưu trữ các mối liên kết. Điều này khiến việc cập nhật cũng nặng nề hơn trong một số trường hợp. Như vậy ta cần cân nhắc lựa chọn CTDL hợp lý khi cài đặt cho một ứng dụng cụ thể

Nội dung

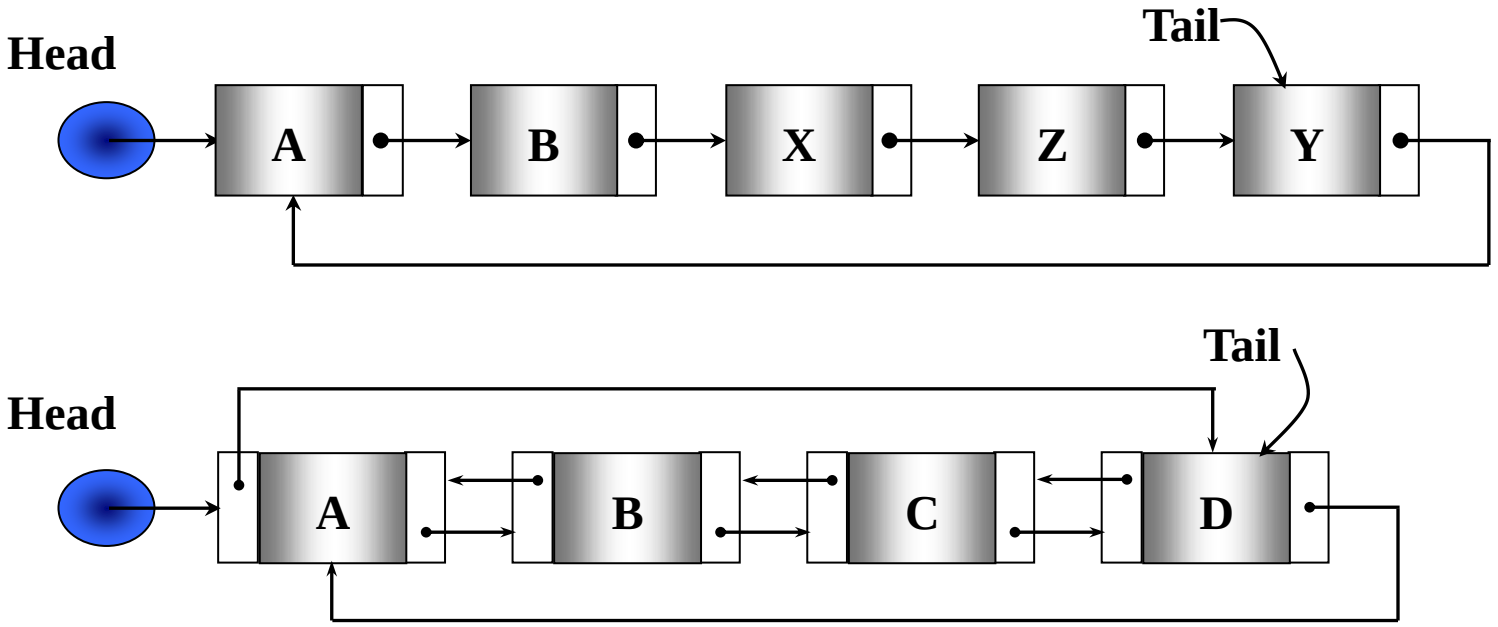
- Giới thiệu
- Danh sách liên kết đơn (Single Linked List)
- Danh sách liên kết đôi (Double Linked List)
- Danh sách liên kết vòng (Circular Linked List)

Danh sách liên kết vòng (DSLK vòng)

- Là một danh sách liên kết đơn (hoặc đôi) mà phần tử cuối danh sách, thay vì mang giá trị NULL, trỏ tới phần tử đầu danh sách
- Đối với danh sách vòng, có thể xuất phát từ một phần tử bất kỳ để duyệt toàn bộ danh sách

DSLK vòng

- Để biểu diễn, có thể sử dụng các kỹ thuật biểu diễn như danh sách đơn (hoặc đôi)



DSLK vòng – Tìm kiếm

- Danh sách vòng không có phần tử đầu danh sách rõ rệt, nhưng ta có thể đánh dấu một phần tử bất kỳ trên danh sách xem như phân tử đầu xâu để kiểm tra việc duyệt đã qua hết các phần tử của danh sách hay chưa

DSLK vòng – Tìm kiếm


```
Node* Search (List &l, int x)
{
        Node *p = l.pHead;
        do{
                if  (p->data== x) return p;
                p = p->pNext;
        } while  (p != l.pHead);      // chưa đi giáp vòng
        return p;
}
```

DSLK vòng – Thêm vào đầu ds


```
void  addHead (List &l, Node *new_node)
{
        if (l.pHead == NULL)
        {
                l.pHead = l.pTail = new_node;
                l.pTail->pNext = l.pHead;
        }
        else
        {
                new_node->pNext = l.pHead;
                l.pTail->pNext = new_node;
                l.pHead = new_node;
        }
}
```

DSLK vòng – Thêm vào cuối ds


```
void    addTail (List &l, Node *new_node)
{
        if (l.pHead == NULL)
        {
                l.pHead = l.pTail = new_node;
                l.pTail->pNext = l.pHead;
        }
        else
        {
                new_node->pNext = l.pHead;
                l.pTail->pNext = new_node;
                l.pTail = new_node;
        }
}
```

DSLK vòng – Thêm sau nút q


```
void  addAfter (List &l, Node *q, Node *new_node)
{
        if (l.pHead == NULL)
        {
                l.pHead = l.pTail = new_node;
                l.pTail->pNext = l.pHead;
        }
        else
        {
                new_node->pNext = q->pNext;
                q->pNext = new_node;
                if (q == l.pTail)
                        l.pTail = new_node;
        }
}
```

DSLK vòng – Hủy nút đầu ds


```
int removeHead (List &l)
{
        Node *p = l.pHead;
        if (p == NULL) return 0;
        if (l.pHead == l.pTail)
                l.pHead = l.pTail = NULL;
        else
        {
                l.pHead = p->pNext;
                if (p == l.pTail)
                        l.pTail->pNext = l.pHead;
        }
        delete p;
        return 1;
}
```

DSLK vòng – Hủy phần tử sau q


```
int  removeAfter(List &l, Node *q)
{
        if (q == NULL) return 0;
        Node *p = q ->pNext ;
        if (p == q)     l.pHead = l.pTail = NULL;
        else{
                q->Next = p->pNext;
                if (p == l.pTail)     l.pTail = q;
            }
        delete p;
        return 1;
}
```