Cấu trúc dữ liệu và giải thuật

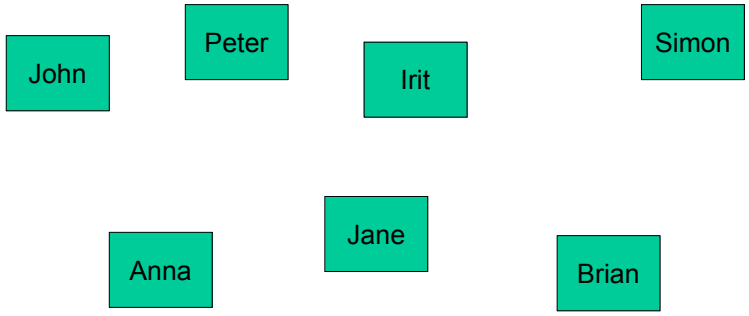
TS. Phạm Tuấn Minh
Khoa Công nghệ Thông tin, Đại học Phenikaa
minh.phamtuan@phenikaa-uni.edu.vn
https://sites.google.com/site/phamtuanminh/

Chương 2: Mảng và danh sách liên kết

- Cấu trúc lưu trữ mảng
- **Danh sách liên kết**
  - **Giới thiệu danh sách liên kết**
  - Cài đặt danh sách liên kết
  - Các thao tác trên danh sách liên kết
- Ngăn xếp
- Hàng đợi

Cấu trúc dữ liệu tuyến tính

- Giả sử có một tập các tên



1-3

Cấu trúc dữ liệu tuyến tính

- Nếu các tên sắp thành một danh sách xếp hàng

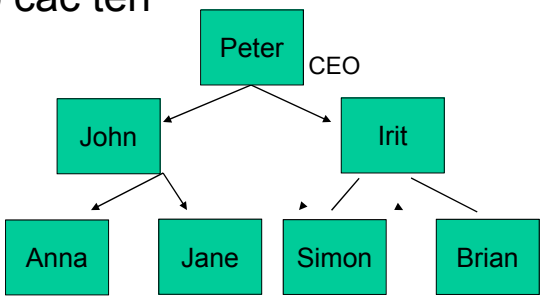
Danh sách

- Quản lý danh sách dữ liệu trên như thế nào ?

1-4

Cấu trúc dữ liệu không tuyến tính

- Tập các tên



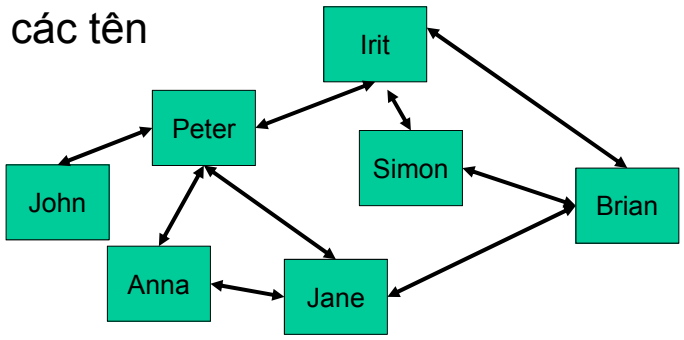
Cây

- Tổ chức công ty

1-5

Cấu trúc dữ liệu không tuyến tính

- Tập các tên



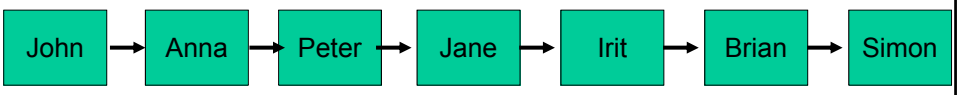
Đồ thị

- Mạng bạn bè

1-6

Cấu trúc dữ liệu đơn giản nhất

- Danh sách

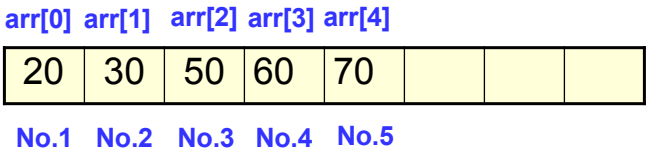


- Dữ liệu tuần tự
  - Thứ tự giữa các phần tử (No.1, No.2., No.3, …)
  - Mỗi phần tử có một vị trí trong chuỗi
  - Mỗi phần tử đến sau phần tử khác
- Lưu trữ danh sách các phần tử
  - Danh sách tên, danh sách số, ...
  - Dùng mảng để lưu trữ danh sách: Hạn chế?
  - Dùng danh sách liên kết để lưu trữ danh sách

1-7

Danh sách liên kết

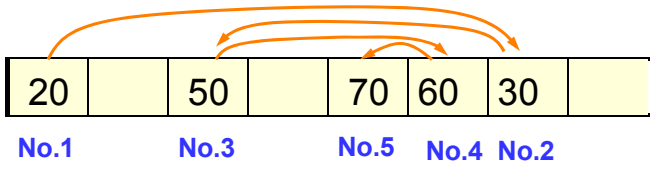
- Chúng ta muốn
  - Dễ dàng thêm một phần tử mới vào bất kì vị trí nào trong danh sách
  - Dễ dàng xóa một phần tử trong danh sách
  - Dễ dàng di chuyển vị trí của một phần tử trong danh sách
- Mảng không hỗ trợ các yêu cầu này
  - Hỗ trợ truy cập ngẫu nhiên nhanh: Vị trí trong danh sách = vị trí trong mảng



1-8

Danh sách liên kết

- Danh sách liên kết
  - Vị trí trong danh sách khác vị trí trong bộ nhớ
  - Phần tử có thể lưu trữ ở bất kì vị trí nào
  - Cần thêm dữ liệu để chỉ ra vị trí trong danh sách
  - Liên kết (Link): Con trỏ tới phần tử tiếp theo
  - Danh sách liên kết (Linked list): các nút với các liên kết



1-9

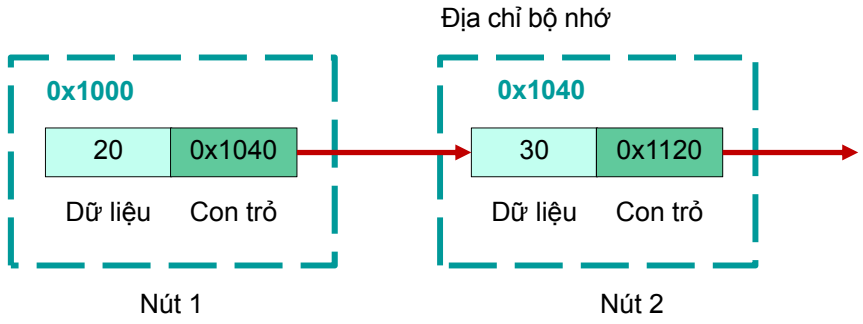
Nút trong danh sách liên kết

- Mỗi nút có cấu trúc ListNode
- Một nút cơ bản có hai thành phần
  - Dữ liệu lưu trữ bởi nút: integer, char, …
  - Liên kết: con trỏ tham chiếu tới nút tiếp theo trong danh ách

```
typedef struct _listnode{
    int num;
    struct _listnode *next;
}ListNode;
```

1-10

Nút trong danh sách liên kết



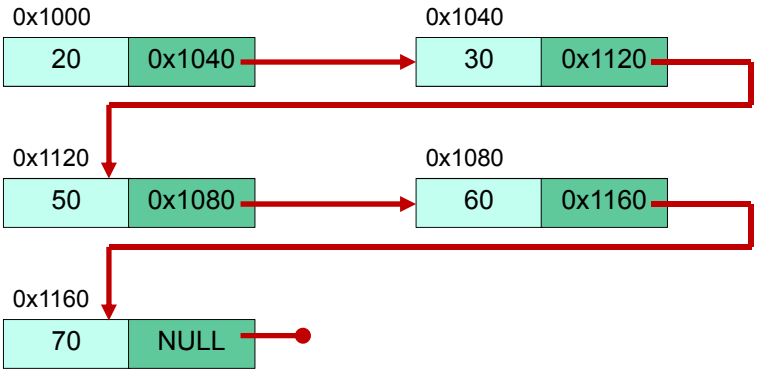

```
typedef struct _listnode{
    int num;
    struct _listnode *next;
} ListNode;
```

Mỗi structure có hai phần
- Dữ liệu
- Liên kết

1-11

Nút trong danh sách liên kết

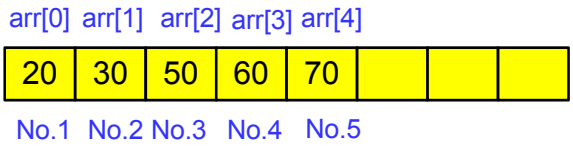
- Mỗi nút chứa một phần tử
- Con trỏ của mỗi nút chỉ tới nút tiếp theo
- Mỗi nút có thể được lưu trữ ở bất kì vị trí nào (không cần liên tục) trong bộ nhớ
- Các nút có thể tạo động bằng malloc()



1-12

Truy cập tới phần tử trong danh sách

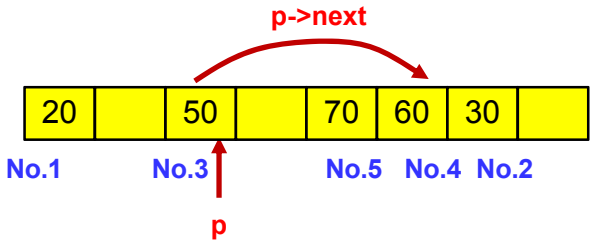
- Đối với danh sách lưu trữ trong mảng:
  - Dễ dàng truy cập phần tử thứ i trong danh sách: arr[i-1]
  - Phần tử tiếp theo của arr[i] trong danh sách được lưu trữ trong arr[i+1]
  - Phần tử trước phần tử chứa trong arr[i] trong danh sách được lưu trữ trong arr[i-1]



1-13

Truy cập tới phần tử trong danh sách

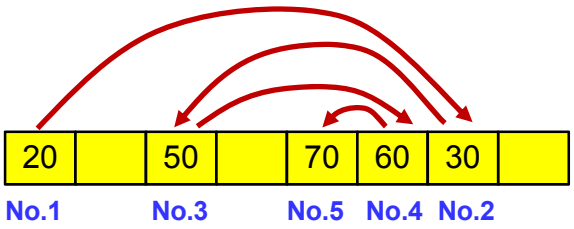
- Đối với danh sách lưu trữ trong mảng: dễ thực hiện
- Đối với danh sách lưu trữ trong danh sách liên kết:
  - Mỗi nút theo dấu của nút tiếp theo sau nó
  - Nếu p chỉ tới phần tử thứ i trong danh sách, p->next chỉ tới phần tử thứ (i+1)



1-14

Theo vết các phần tử trong danh sách

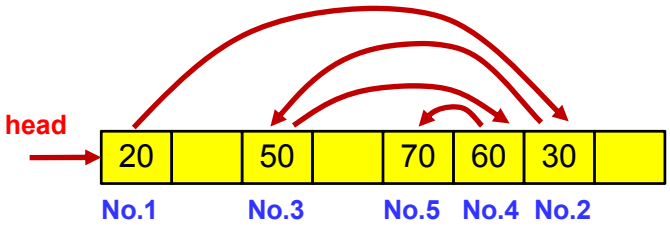
- Đối với danh sách lưu trữ trong mảng: dễ thực hiện
- Đối với danh sách lưu trữ trong danh sách liên kết:
  - Mỗi nút theo dấu của nút tiếp theo sau nó
  - Nếu p chỉ tới phần tử thứ i trong danh sách, p->next chỉ tới phần tử thứ (i+1)
  - Mọi nút trong danh sách đều truy cập bắt đầu từ nút đầu tiên trong danh sách



1-15

Theo vết các phần tử trong danh sách

- Không thể truy cập tới các nút trong danh sách liên kết nếu không có địa chỉ của nút đầu tiên
- Cần một biến con trỏ chỉ tới nút đầu tiên: **head**



1-16

So sánh lưu trữ danh sách bằng mảng và danh sách liên kết

- Truy cập ngẫu nhiên tới các phần tử trong danh sách
  - **Mảng: dễ**
  - **Danh sách liên kết: không dễ**
- Thay đổi danh sách: thêm, xóa các phần tử
  - **Mảng: không dễ**
  - **Linked List: dễ**

1-17

Chương 2: Mảng và danh sách liên kết

- Cấu trúc lưu trữ mảng
- Danh sách liên kết
  - Giới thiệu danh sách liên kết
  - **Cài đặt danh sách liên kết**
  - Các thao tác trên danh sách liên kết
- Ngăn xếp
- Hàng đợi

1-18

Nút trong danh sách liên kết

- Mỗi nút có cấu trúc ListNode
- Một nút cơ bản có hai thành phần
  - Dữ liệu lưu trữ bởi nút: integer, char, …
  - Liên kết: con trỏ tham chiếu tới nút tiếp theo trong danh sách

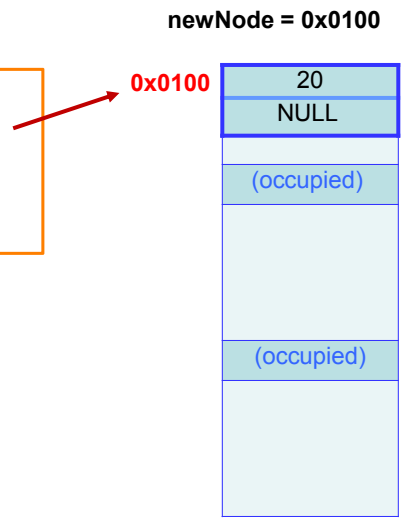
```
typedef struct _listnode{
        int num;
        struct _listnode *next;
} ListNode;
```

```
typedef struct _listnode{
        int num;
        char name[20];
        ...
        struct _listnode *next;
} ListNode;
```

1-19

Tạo nút

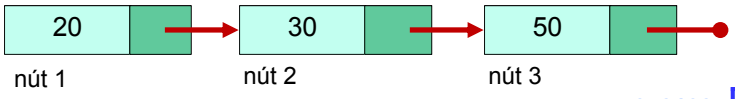
```
ListNode *newNode;
newNode=malloc(sizeof(ListNode));
newNode->num=20;
newNode->next=NULL;
```



- Tạo một nút động
  - Trong thời gian chạy
  - Sử dụng malloc()

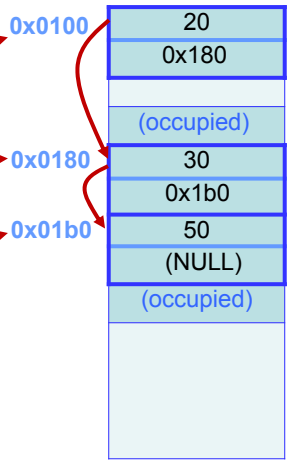
1-20

Tạo một danh sách liên kết có 3 nút



nút 1 nút 2 nút 3

```
ListNode *node1,*node2, *node3;
node1=malloc(sizeof(ListNode));
node1->num=20;
node2=malloc(sizeof(ListNode));
node1->next =node2;
node2->num=30;
node3=malloc(sizeof(ListNode));
node2->next =node3;
node3->num=50;
node3->next=NULL;
```



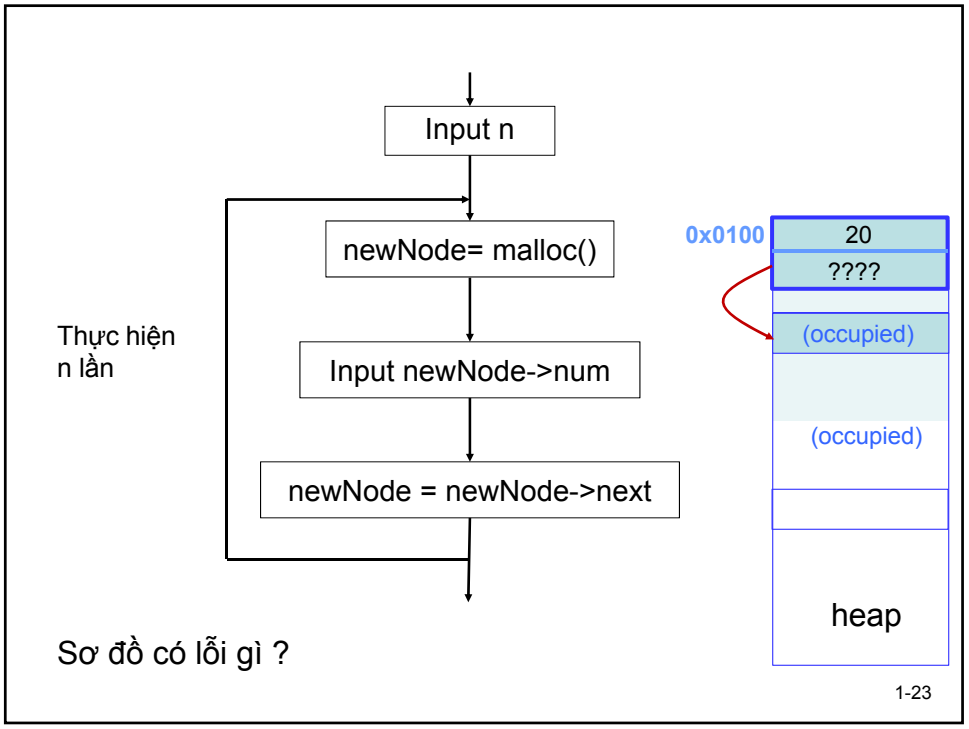
heap 1-21

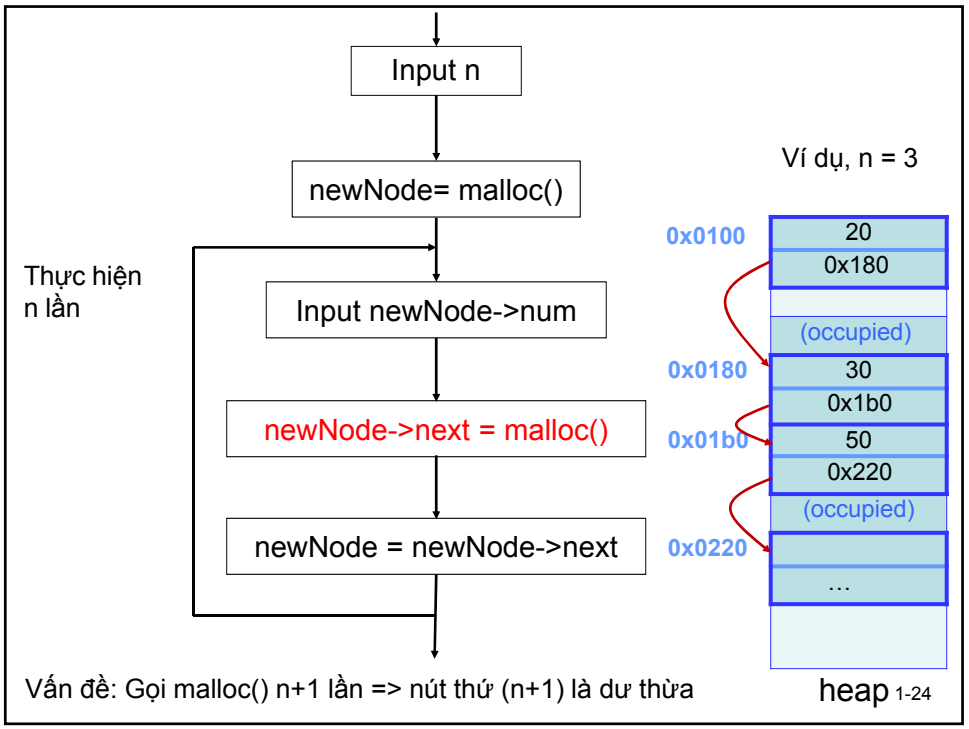
Tạo danh sách liên kết có n nút

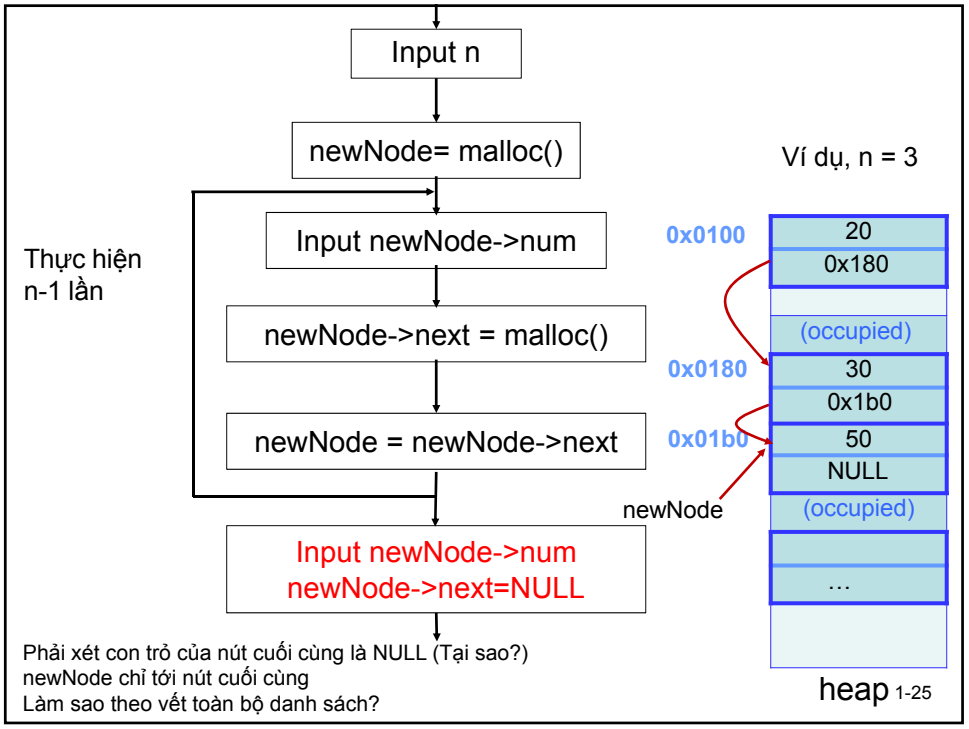
Viết một chương trình yêu cầu người dùng nhập vào số lượng số nguyên sẽ nhập n (giả sử n > 0) và sau đó hỏi giá trị từng số nguyên.

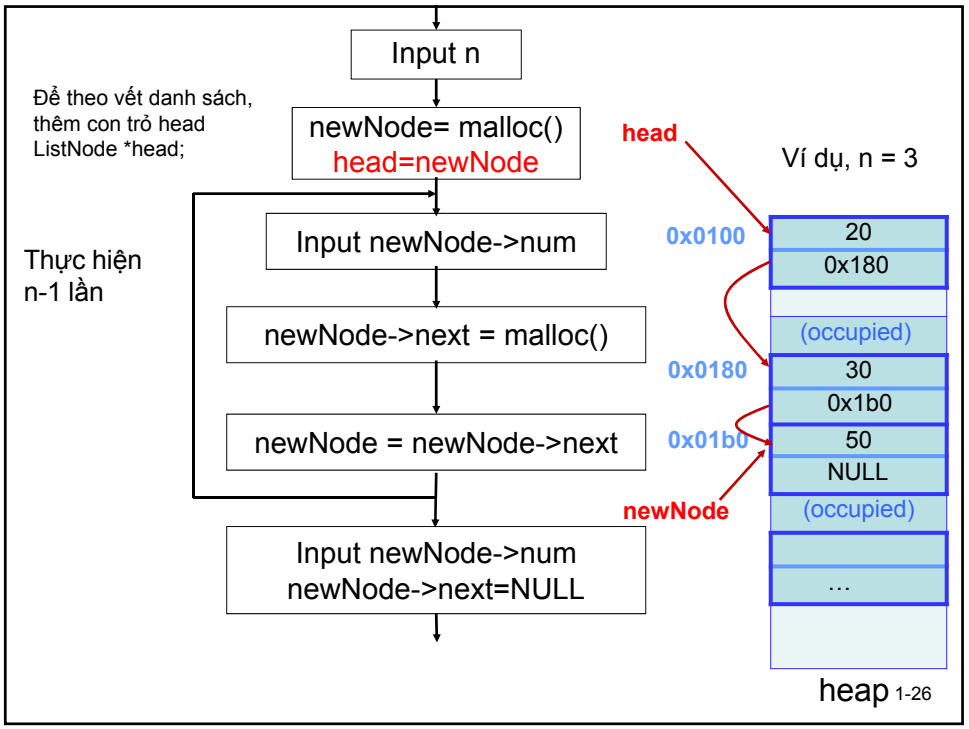
- Lặp n lần: dùng malloc() để tạo nút mới, sau đó thêm nút này vào danh sách liên kết

1-22


Input n
newNode= malloc()
Input newNode->num
newNode = newNode->next
Thực hiện
n lần
0x0100
20
????
(occupied)
(occupied)
heap
Sơ đồ có lỗi gì ?
1-23


Input n
newNode= malloc()
Input newNode->num
newNode->next = malloc()
newNode = newNode->next
Thực hiện
n lần
Ví dụ, n = 3
0x0100
20
0x180
(occupied)
0x0180
30
0x1b0
0x01b0
50
0x220
(occupied)
0x0220
…
Vấn đề: Gọi malloc() n+1 lần => nút thứ (n+1) là dư thừa
heap
1-24


Input n
newNode= malloc()
Input newNode->num
newNode->next = malloc()
newNode = newNode->next
Input newNode->num
newNode->next=NULL
Thực hiện
n-1 lần
Ví dụ, n = 3
0x0100
20
0x180
(occupied)
0x0180
30
0x1b0
0x01b0
50
NULL
newNode
(occupied)
…
heap
Phải xét con trỏ của nút cuối cùng là NULL (Tại sao?)
newNode chỉ tới nút cuối cùng
Làm sao theo vết toàn bộ danh sách?
1-25


Input n
Để theo vết danh sách,
thêm con trỏ head
ListNode *head;
newNode= malloc()
head=newNode
head
Input newNode->num
newNode->next = malloc()
newNode = newNode->next
Input newNode->num
newNode->next=NULL
Thực hiện
n-1 lần
Ví dụ, n = 3
0x0100
20
0x180
(occupied)
0x0180
30
0x1b0
0x01b0
50
NULL
newNode
(occupied)
…
heap
1-26

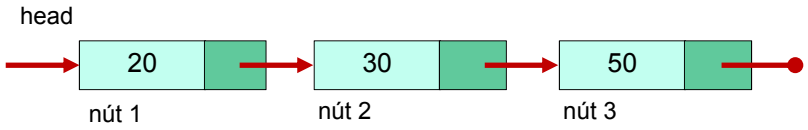
Tạo danh sách liên kết có n > 0 nút

```
int n;
ListNode *newNode, *head;
scanf("%d", &n);
newNode=malloc(sizeof(ListNode));
head=newNode;
for (int i=1; i<n; i++){
      scanf("%d", &newNode->num);
      newNode->next=malloc(sizeof(ListNode));
      newNode=newNode->next;
}
scanf("%d", &newNode->num); //the last num
newNode->next=NULL;
```

1-27

Ví dụ

- n =3, dữ liệu 20, 30, 50, kết quả chạy chương trình cho danh sách liên kết như sau



- Theo vết các phần tử trong danh sách:
  - head chỉ tới node1, head->num là 20
  - head->next chỉ tới node2, head->next->num là 30
  - head->next->next chỉ tới node3, head->next->next->num là 50
  - head->next->next->next là NULL

1-28

Tạo danh sách liên kết có n >= 0 nút

```
int n;
ListNode *newNode, *head=NULL;
scanf("%d", &n);
if (n>0) {
    newNode=malloc(sizeof(ListNode));
    head=newNode;
    for (int i=1; i<n; i++){
        scanf("%d", &newNode->num);
        newNode->next=malloc(sizeof(ListNode));
            newNode=newNode->next;
    }
    scanf("%d", &newNode->num); //the last num
    newNode->next=NULL;
}
```


Chương 2: Mảng và danh sách liên kết

- Cấu trúc lưu trữ mảng
- Danh sách liên kết
  - Giới thiệu danh sách liên kết
  - Cài đặt danh sách liên kết
  - **Các thao tác trên danh sách liên kết**
- Ngăn xếp
- Hàng đợi

Tạo danh sách liên kết có n nút

Viết một chương trình yêu cầu người dùng nhập vào số lượng số nguyên sẽ nhập n (giả sử n > 0) và sau đó hỏi giá trị từng số nguyên.
Sau đó người dùng có thể liên tục tạo các thay đổi: thêm mới, xóa phần tử trong danh sách

- Để tránh lặp lại mã chương trình, cần viết các hàm cho một số thao tác cơ bản

1-31

Các hàm cơ bản cho danh sách liên kết

- Các thao tác cơ bản
  - Chèn nút mới — **InsertNode()**
    - Vào đầu
    - Vào cuối
    - Vào giữa
  - Xóa một nút — **RemoveNode()**
    - Ở đầu
    - Ở cuối
    - Ở giữa
  - Liệt kê toàn bộ các phần tử trong danh sách — **PrintList()**
  - Tìm kiếm nút có chỉ số i trong danh sách — **FindNode()**

1-32

PrintList()

- Liệt kê tất cả các phần tử trong danh sách liên kết bắt đầu từ phần tử đầu tiên và duyệt danh sách tới phần tử cuối cùng
- Chuyển con trỏ head vào hàm

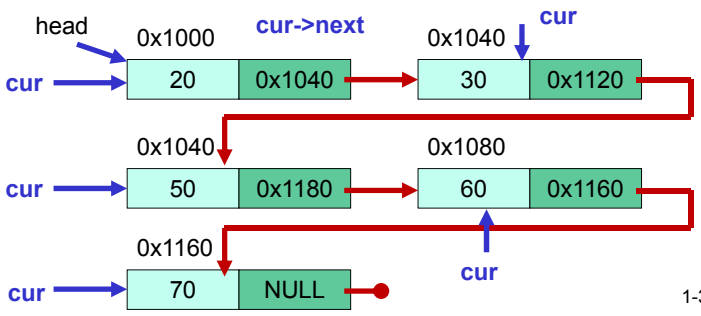
  void printList(ListNode *head)
- Tại mỗi nút, sử dụng con trỏ next để di chuyển tới phần tử tiếp theo

1-33

PrintList()

```
void printList(ListNode *head){
    ListNode *cur=head;
    if (cur== NULL) return;
    while (cur!= NULL){
        printf("%d\n", cur ->num);
        cur = cur ->next;
    }
}
```

20
30
50
60
70



1-34

findNode()

- Tìm con trỏ chỉ tới nút có chỉ số i
- Truyền con trỏ head vào hàm

  ListNode * findNode(ListNode *head, int i)

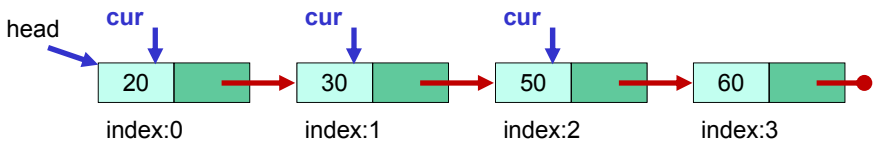
findNode()

```
ListNode *findNode(ListNode*head, int i) {
    ListNode *cur=head;
    if (head==NULL || i<0) return NULL;
    while(i>0){
        cur=cur->next;
        if (cur==NULL) return NULL;
        i--;
    }
    return cur;
}
```

i=2 i=1 i=0

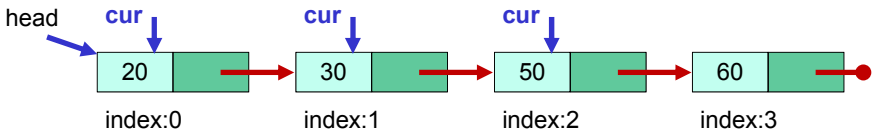
Khi danh sách trống hoặc chỉ số không hợp lệ

Khi danh sách ngắn hơn chỉ số



findNode()

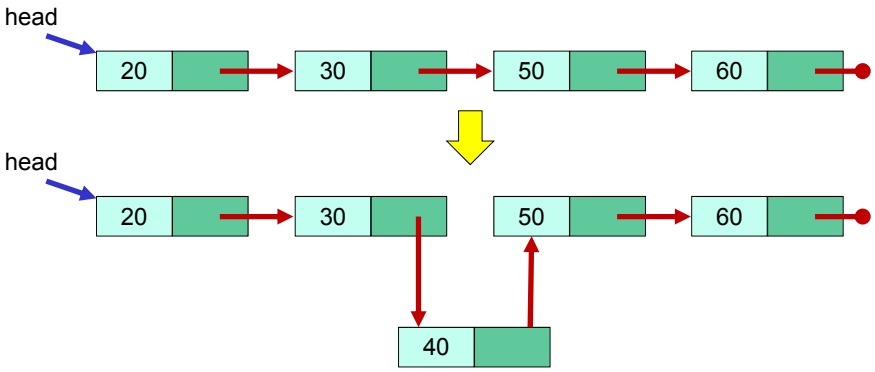
```
ListNode *findNode(ListNode*head, int i) {
    ListNode *cur=head;
    if (head==NULL || i<0) return NULL;
    if (i == 0) return head;
    while(i>0){
        cur=cur->next;
        if (cur==NULL) return NULL;
        i--;
    }
    return cur;
}
```



1-37

insertNode()

- Thêm nút (40) vào giữa của danh sách liên kết không rỗng
- Thêm nút này vào vị trí có chỉ số 2, ngay sau nút có chỉ số 1



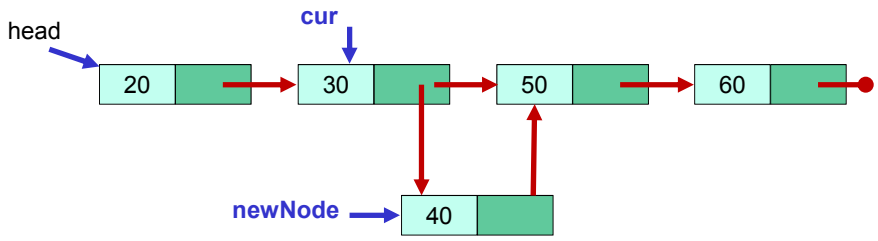
1-38

insertNode()

- Thêm nút (40) vào giữa của danh sách liên kết không rỗng
- Thêm nút này vào vị trí có chỉ số 2, ngay sau nút có chỉ số 1

```
newNode->next = cur->next;
cur->next = newNode;
```

Chú ý thứ tự của lệnh
Điều gì xảy ra nếu thay đổi thứ tự câu lệnh?

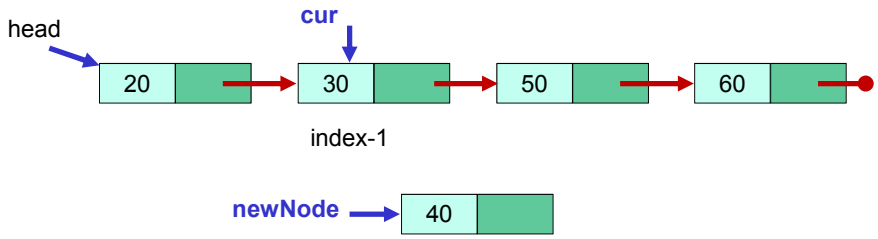


1-39

insertNode(): vị trí giữa, danh sách không trống

- Sử dụng findNode() để tìm địa chỉ của con trỏ cur
- Nếu chèn nút mới vào vị trí chỉ số 2, con trỏ cur cần chỉ tới nút có chỉ số 1

  findNode(..., **index-1**)

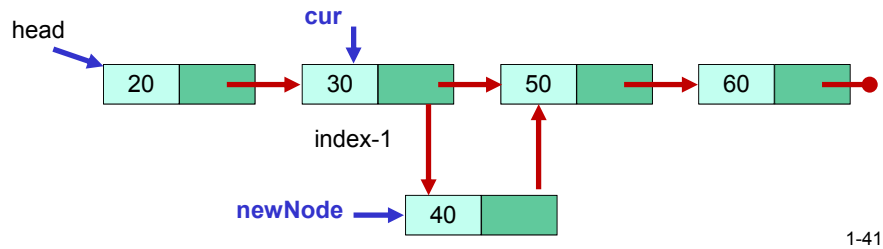


1-40

insertNode(): vị trí giữa, danh sách không trống

```
// Tìm nút trước vị trí cần chèn
// Tạo nút mới và liên kết lại
if ((cur = findNode(*ptrHead, index-1)) != NULL) {
    newNode = malloc(sizeof(ListNode));
    newNode->num=40;
    newNode->next = cur ->next;
    cur->next = newNode;
}
```

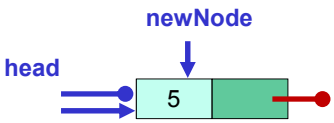
Đúng cả với trường hợp thêm vào cuối của danh sách



1-41

insertNode(): vị trí bất kì, danh sách trống/không trống

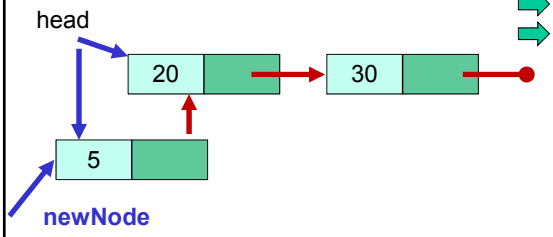
- Trường hợp danh sách trống




```
newNode=malloc(sizeof(ListNode));
newNode->num = 5;
newNode -> next =head;
head = newNode;
```

- Trường hợp chèn vào vị trí chỉ số 0

```
newNode=malloc(sizeof(ListNode));
newNode->num = 5;
newNode -> next =head;
head = newNode;
```



1-42

InsertNode()

- Danh sách tham số của hàm insertNode()?

  int insertNode(ListNode *head, …)

- Gợi ý: Có thể thay đổi địa chỉ lưu trong con trỏ head từ trong hàm insertNode() không?

1-43

Con trỏ và truyền tham số

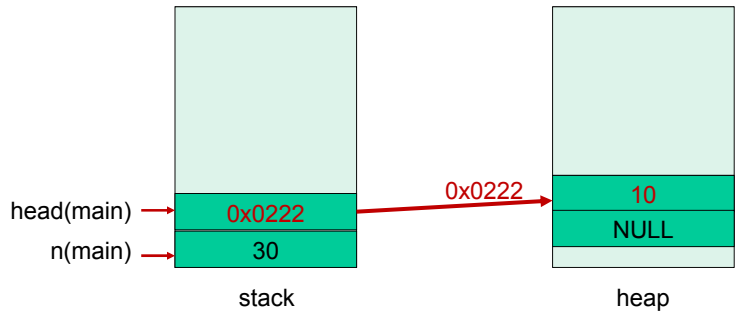
main()

```
int n;
ListNode *head=NULL;
head=malloc(sizeof(ListNode));
head->num=10;

…
insertNode(head,n,0);
```

insertNode(ListNode *head, int n, int i)

```
if (head==NULL || i = 0) {
    newNode=malloc(sizeof(ListNode));
    newNode->num=n;
    newNode -> next =head;
    head = newNode;
}
…
```



1-44

Con trỏ và truyền tham số

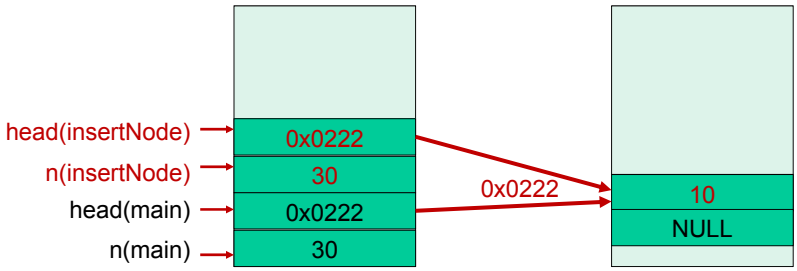
main()

```
int n;
ListNode *head=NULL;
head=malloc(sizeof(ListNode));
head->num=10;

…
insertNode(head,n,0);
```

insertNode(ListNode *head, int n, int i)

```
if (head==NULL || i=0) {
    newNode=malloc(sizeof(ListNode));
    newNode->num=n;
    newNode -> next =head;
    head = newNode;
}
…
```



Con trỏ và truyền tham số

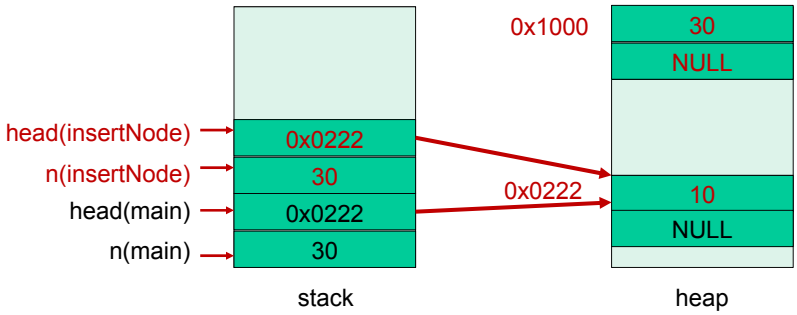
main()

```
int n;
ListNode *head=NULL;
head=malloc(sizeof(ListNode));
head->num=10;

…
insertNode(head,n,0);
```

insertNode(ListNode *head, int n, int i)

```
if (head==NULL || i=0) {
    newNode=malloc(sizeof(ListNode));
    newNode->num=n;
    newNode -> next =head;
    head = newNode;
}
…
```



Con trỏ và truyền tham số

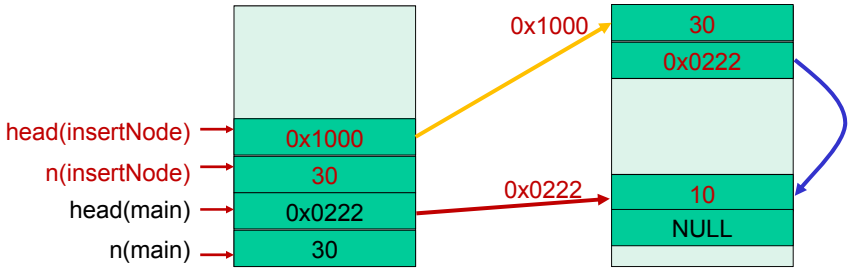
main()

```
int n;
ListNode *head=NULL;
head=malloc(sizeof(ListNode));
head->num=10;

…
insertNode(head,n,0);
```

insertNode(ListNode *head, int n, int i)

```
if (head==NULL || i=0) {
    newNode=malloc(sizeof(ListNode));
    newNode->num=n;
    newNode -> next =head;
    head = newNode;
}
…
```



1-47

Con trỏ và truyền tham số

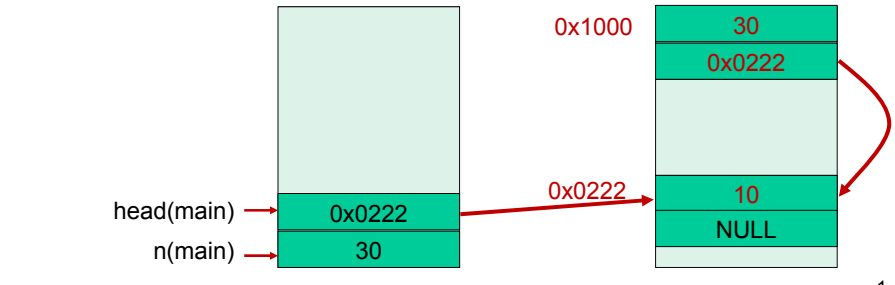
main()

```
int n;
ListNode *head=NULL;
head=malloc(sizeof(ListNode));
head->num=10;

…
insertNode(head,n,0);
...
```

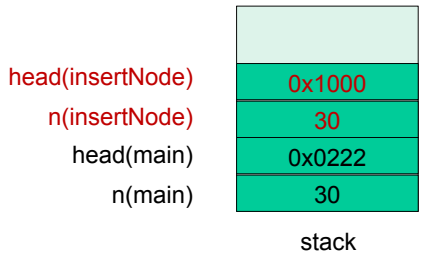
insertNode(ListNode *head, int n, int i)

```
if (head==NULL || i=0) {
    newNode=malloc(sizeof(ListNode));
    newNode->num=n;
    newNode -> next =head;
    head = newNode;
}
…
```



1-48

InsertNode()



- Không thực hiện được

  int insertNode(ListNode *head, …)
- Nếu muốn chèn một nút vào một danh sách trống hoặc chèn một nút vào vị trí chỉ số 0 thì cần thay đổi địa chỉ chứa trong con trỏ pointer
- Tuy nhiên, chỉ giá trị của bản sao của head trong hàm insertNode() thay đổi, giá trị của con trỏ head ngoài insertNode() không thay đổi
- Cách thay đổi một biến trong hàm?

1-49

Con trỏ và truyền tham số

- Truyền vào một con trỏ, chỉ tới biến mà chúng ta muốn thay đổi
- Biến muốn thay đổi là con trỏ head

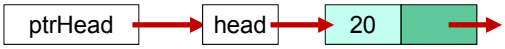
  ListNode *head

- Cần truyền vào con trỏ chỉ tới con trỏ head

  ListNode **head

- Có thể viết lại như sau

  ListNode **ptrHead



1-50

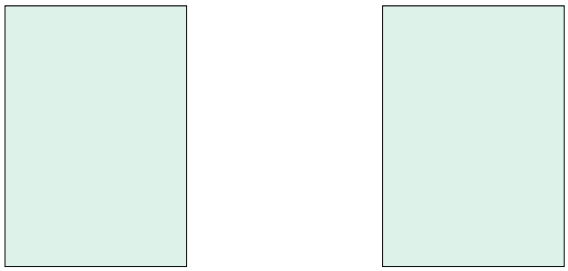
Con trỏ và truyền tham số

main()

```
int n;
ListNode **ptrHead=NULL;
head=malloc(sizeof(ListNode));
head->num=10;
head->next= NULL;
…
ptrHead=&head;
insertNode(ptrHead,30,0);
```

insertNode(ListNode *ptrHead, int n, int i)

```
if (*ptrHead==NULL || i=0) {
    newNode=malloc(sizeof(ListNode));
    newNode->num = n;
    newNode->next =*ptrHead;
    *ptrHead= newNode;
}
…
```



stack heap

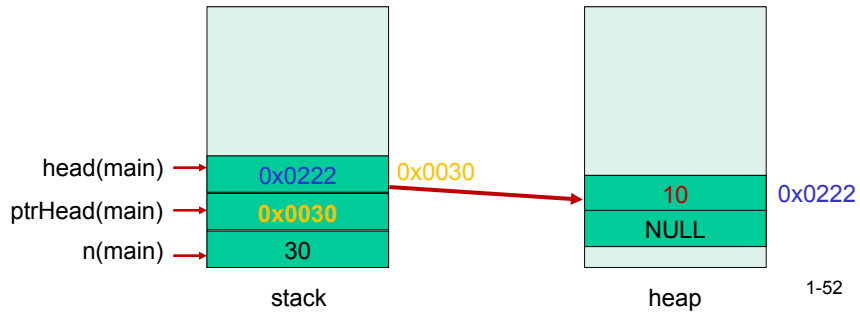
Con trỏ và truyền tham số

main()

```
int n;
ListNode **ptrHead=NULL;
head=malloc(sizeof(ListNode));
head->num=10;
head->next= NULL;
…
ptrHead=&head;
insertNode(ptrHead,30,0);
```

insertNode(ListNode *ptrHead, int n, int i)

```
if (*ptrHead==NULL || i=0) {
    newNode=malloc(sizeof(ListNode));
    newNode->num=n;
    newNode -> next =*ptrHead;
    *ptrHead= newNode;
}
…
```

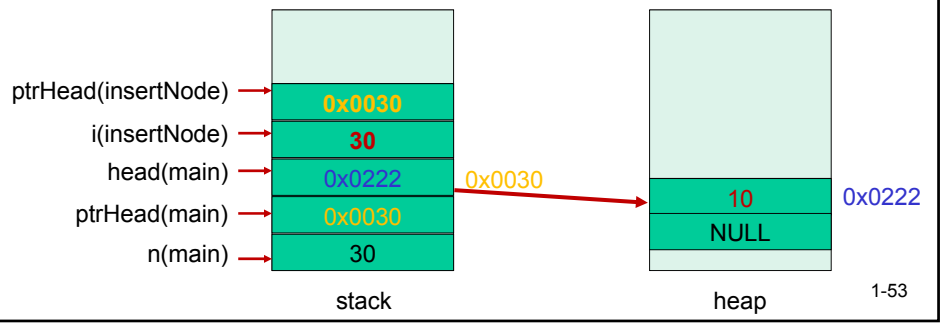


Con trỏ và truyền tham số

```
main()
int n;
ListNode **ptrHead=NULL;
head=malloc(sizeof(ListNode));
head->num=10;
head->next= NULL;
…
ptrHead=&head;
insertNode(ptrHead,30,0);
```

```
insertNode(ListNode *ptrHead, int n, int i)

if (*ptrHead == NULL || i=0) {
    newNode = malloc(sizeof(ListNode));
    newNode->num = n;
    newNode->next = *ptrHead;
    *ptrHead= newNode;
}
…
```



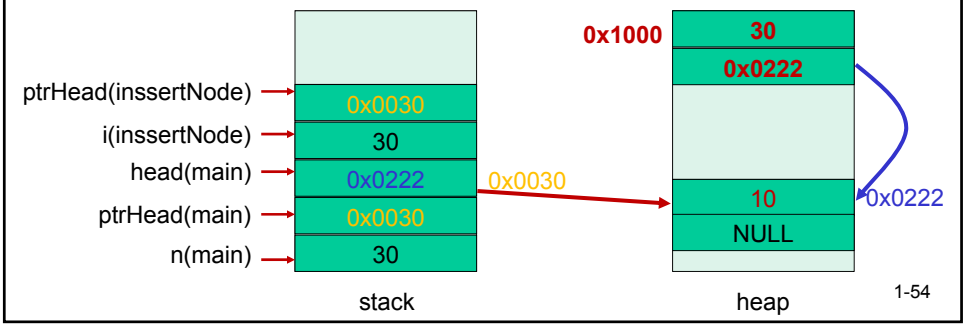
1-53

Con trỏ và truyền tham số

```
main()
int n;
ListNode **ptrHead=NULL;
head=malloc(sizeof(ListNode));
head->num=10;
head->next= NULL;
…
ptrHead=&head;
insertNode(ptrHead,30,0);
```

```
insertNode(ListNode *ptrHead, int n, int i)

if (*ptrHead==NULL || i=0) {
    newNode=malloc(sizeof(ListNode));
    newNode->num = n;
    newNode -> next = *ptrHead;
    *ptrHead= newNode;
}
…
```



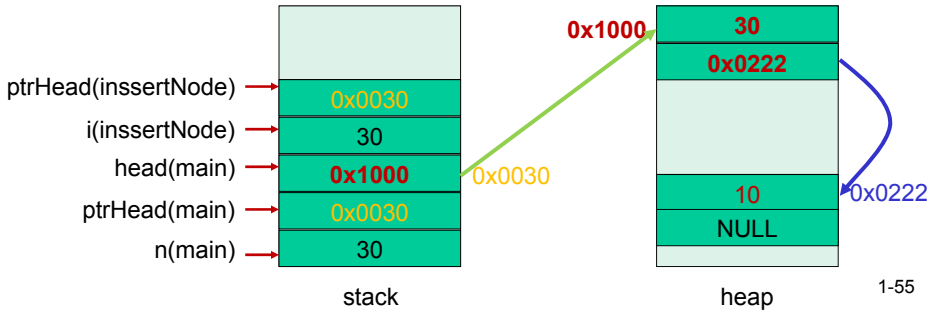
1-54

Con trỏ và truyền tham số

```
main()
int n;
ListNode **ptrHead=NULL;
head=malloc(sizeof(ListNode));
head->num=10;
head->next= NULL;
…
ptrHead=&head;
insertNode(ptrHead,30,0);
```

```
insertNode(ListNode *ptrHead, int n, int i)

if (*ptrHead==NULL || i=0) {
    newNode=malloc(sizeof(ListNode));
    newNode->num = n;
    newNode -> next = *ptrHead;
    *ptrHead= newNode;
}
…
```



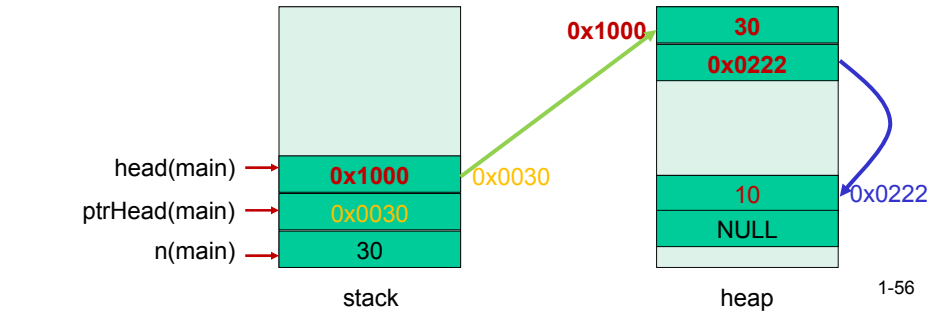
1-55

Con trỏ và truyền tham số

```
main()
int n;
ListNode **ptrHead=NULL;
head=malloc(sizeof(ListNode));
head->num=10;
head->next= NULL;
…
ptrHead=&head;
insertNode(ptrHead,30,0);
```

```
insertNode(ListNode *ptrHead, int n, int i)

if (*ptrHead==NULL || i=0) {
    newNode=malloc(sizeof(ListNode));
    newNode->num = n;
    newNode -> next = *ptrHead;
    *ptrHead= newNode;
}
…
```



1-56

InsertNode()

- Chúng ta đã hoàn thành code cho hàm insertNode()
  - Đã xem xét việc chèn một nút mới tại mọi vị trí
    - Trước
    - Sau
    - Giữa
  - Đã xem xét tất cả các trạng thái của danh sách
    - Trống
    - Một nút
    - Nhiều nút

1-57

InsertNode()

```
void insertNode(ListNode **ptrHead, int index, int value){
    ListNode *cur, *newNode;
    // If empty list or inserting first node, need to update head pointer
    if (*ptrHead == NULL || index == 0){
            newNode = malloc(sizeof(ListNode));
            newNode->num = value;
            newNode->next = *ptrHead;
            *ptrHead = newNode;
    }
    // Find the nodes before and at the target position
    // Create a new node and reconnect the links
    else if ((cur = findNode(*ptrHead, index-1)) != NULL){
            newNode = malloc(sizeof(ListNode));
            newNode->num = value;
            newNode->next = cur->next;
            cur->next = newNode; }
    else printf(" can not insert the new item at index %d!\n", index);
}
```

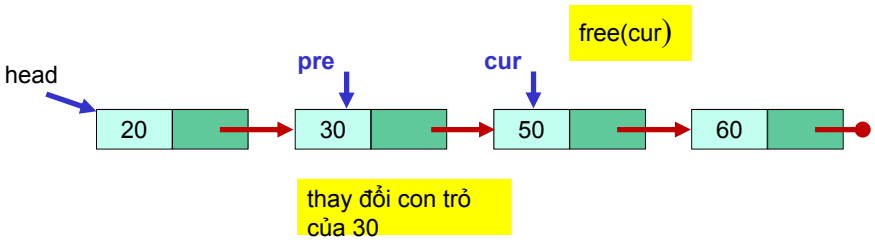
1-58

Phiên bản khác của InsertNode()

```
int insertNode(ListNode **ptrHead, int index, int value){
    ListNode *pre, *cur;
    // If empty list or inserting first node, need to update head pointer
    if (*ptrHead == NULL || index == 0){
        cur = *ptrHead;
        *ptrHead = malloc(sizeof(ListNode));
        (*ptrHead)->num = value;
        (*ptrHead)->next = cur;
        return 0;
    }
    // Find the nodes before and at the target position
    // Create a new node and reconnect the links
    if ((pre = findNode(*ptrHead, index-1)) != NULL){
        cur = pre->next;
        pre->next = malloc(sizeof(ListNode));
        pre->next->num = value;
        pre->next->next = cur;
        return 0;
    }
return -1;
}
```


removeNode(..., 2)

- Tìm nút, loại bỏ
- Giải phóng bộ nhớ không sử dụng

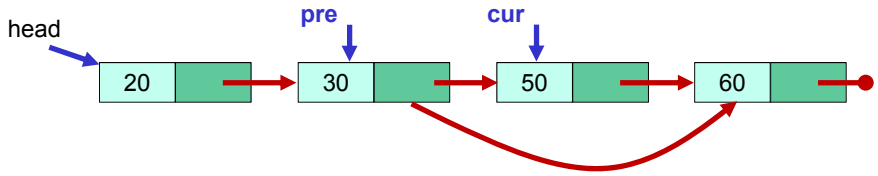


removeNode(..., 2)

- Tìm nút, loại bỏ
- Giải phóng bộ nhớ không sử dụng

Nếu pre->next là nút cần xóa

```
cur = pre->next;
pre->next = cur->next;
free(cur);
```

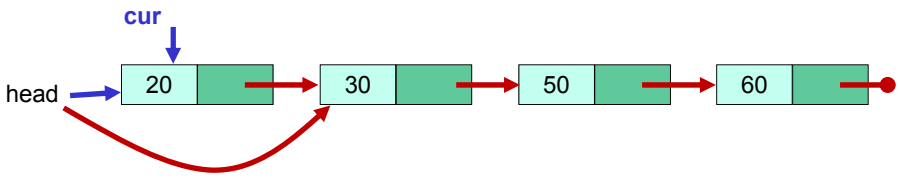


1-61

removeNode(..., 0)

- Nếu nút muốn xóa là nút đầu tiên

```
cur = head;
head = cur->next;
free(cur);
```



1-62

removeNode(..., i)

- void removeNode(ListNode **ptrHead, int index);

1-63

Chương 2: Mảng và danh sách liên kết

- Cấu trúc lưu trữ mảng
- Danh sách liên kết
  - Giới thiệu danh sách liên kết
  - Cài đặt danh sách liên kết
  - Các thao tác trên danh sách liên kết
- Ngăn xếp
- Hàng đợi

1-64

Cấu trúc dữ liệu và giải thuật

- Nội dung bài giảng được biên soạn bởi TS. Phạm Tuấn Minh.