

【第七講】

迭代器

講師: 李根逸 (Ken-Yi Lee), E-mail: feis.tw@gmail.com



課程大綱

- 容器
- 對容器求最大值（泛型演算法）
 - ▶ 對陣列與串列求最大值
 - ▶ 使用模版求最大值
 - ▶ 如何得到容器的元素類別？
 - 定義巢狀型態名稱
 - 使用模組參數相依型態名稱
- 隨機存取與循序存取
 - ▶ 陣列的循序存取
 - ▶ 串列的循序存取
- 雙向鏈結串列
- 迭代器的設計與使用
 - ▶ 使用 STL 的迭代器

容器 (container)

- 前面我們介紹了陣列與串列這兩種資料結構，而在 **C++ STL** 內都視他們為一種『容器』(container)
 - ▶ 容器是將資料結構抽象化
 - ▶ 對容器的使用者來說，容器就是可存放一堆資料(元素)的型態，並提供一些操作讓我們可以存取元素或改變容器大小等。而因為提供相似的操作，所以同樣的程式邏輯通常也可以套用不同容器裡。
 - 例如陣列跟串列其實都提供部分相同的操作，很多時候同樣的程式邏輯可以套用到這兩種不同的容器中

對容器求最大值

演算法：求取容器內最大值的元素

輸入：容器 `c`

輸出：最大值 `max`

令最大值 `max` 為容器 `c` 內的第一個元素

對容器 `c` 中的每一個元素 `e`：

 如果 `e > max` 則 `max = e`

回傳 `max`

- 想想這個演算法的容器一定要是陣列或串列嗎？

對陣列與串列求最大值

```
int Max(const Array<int, 10> &c) {  
    int max = c[0];  
    for (int i = 0; i < c.Size(); ++i) {  
        const int e = c[i];  
        if (e > max) {  
            max = e;  
        }  
    }  
    return max;  
}
```

這兩個函式有什麼不同？

```
int Max(const ForwardList<int> &c) {  
    int max = c[0];  
    for (int i = 0; i < c.Size(); ++i) {  
        const int e = c[i];  
        if (e > max) {  
            max = e;  
        }  
    }  
    return max;  
}
```

【範例】 使用模版求最大值 [1]

利用模版來做到泛型，此時容器的型態可以是很多種，只要提供 `operator[]` 與 `size()` 的操作

```
template<class ElemType, class ContainerType>
const ElemType Max(const ContainerType &c) {
    ElemType max = c[0];
    for (int i = 0; i < c.size(); ++i) {
        const ElemType &e = c[i];
        if (e > max) {
            max = e;
        }
    }
    return max;
}
```

對於陣列與串列這兩種容器
這個演算法的效率一樣嗎？

`Max<int, Vector<int> >(a)` 與
`Max<int, ForwardList<int> >(b)`

在 C++11 以前，這裡的 `> >` 中間必須要空白隔開，否則會編譯錯誤

[範例] `max1.cpp`

如何得到容器的元素類別？

- 給你一個容器的類別，你可以知道他的元素類別嗎？

```
template<class ElemType, class ContainerType>
const ElemType Max(const ContainerType &c) {
    /* 省略 */
    return max;
}
```

```
int main() {
    ForwardList<int> a;
    Max<int, ForwardList<int>> >(a); // OK
    Max<int>(a) // OK
    Max(a); // [編譯錯誤] 為什麼？
}
```

我們可以不要給 `ElemType` 而讓他從 `ContainerType` 去判斷嗎？

例如給你 `ForwardList<int>` 為 `ContainerType`，那要怎麼得到 `int`？

定義巢狀型態名稱

- 我們可以在類別內定義型態名稱，此時對外部來說，該型態的全名為『類別名稱::型態名稱』

```
template<class ElemType>
class ForwardList {
public:
    typedef ElemType ValueType;
    /* 以下省略 */
};

int main() {
    ForwardList<int>::ValueType a;
    // 上面等同 int a;

    ForwardList<double>::ValueType b;
    // 上面等同 double b;
}
```


【範例】 使用模版求最大值 [2]

```
template<class ContainerType>
const ContainerType::ValueType
Max(const ContainerType &c) {
    ContainerType::ValueType max = c[0];
    for (int i = 0; i < c.size(); ++i) {
        const ContainerType::ValueType &e = c[i];
        if (e > max) {
            max = e;
        }
    }
    return max;
}
```

我們在所有容器的類別內提供 `ValueType` 這個型態

上面範例會編譯錯誤！

[範例] `max2.cpp`

使用模版參數相依型態名稱

- 如果巢狀型態名稱是屬於一個由模版參數決定的類別時，預設不會被當做是個型態名稱，所以我們要加上 `typename` 修飾字來表示該名稱是個型態名稱：

```
template<class ContainerType>
const typename ContainerType::ValueType
Max(const ContainerType &c) {
    typename ContainerType::ValueType max = c[0];
    for (int i = 0; i < c.size(); ++i) {
        const typename ContainerType::ValueType &e = c[i];
        if (e > max) {
            max = e;
        }
    }
    return max;
}
```

`Container::ValueType`
是個模版參數相依型態名稱

[範例] `max2.cpp`

【總結】 容器與泛型演算法

- 即便是不同的容器類別，只要他們提供相同的操作，那我們就可以對他們設計同一套演算法。
 - ▶ 但是不同容器對於相同的操作可能有不同的效率，如何選擇一個好的演算法去套用到各種不同的容器，或者要替某些特別的容器設計特別的演算法是需要考慮的。
- 透過在類別內部定義型態名稱，我們可以更有效的設計泛型函式，讓他更好使用
 - ▶ 對於巢狀型態名稱，如果類別名稱的部份包含了模版參數時，我們需要加上 **typename** 的修飾字才可以把該巢狀型態名稱作為型態用

隨機存取與循序存取

■ 隨機存取 (**random access**) 元素：

- ▶ 串列的資料散布在不同的位置，不能像陣列一樣直接算出任意元素的位置，而必須要一步一步的走，所以串列對於隨機存取的效率很差，花的時間與個數成正比
- ▶ 因為這是串列本身設計的問題，所以串列是不適合做大量的隨機存取的。相反地，這卻是陣列的優點

■ 循序存取 (**sequential access**) 元素：

- ▶ 不論是陣列或串列，如果我們是要從頭到尾存取一遍的話，那都是可以有相同效率的！

陣列的循序存取

- 陣列可以做有效率的循序存取：

```
void Print(const Array<int, 10> &c) {  
    // 使用隨機存取的方式做循序存取  
    // 陣列每次執行 operator[] 都要重新計算元素的記憶體位址  
    for (int i = 0; i < c.Size(); ++i) {  
        cout << c[i];    // cout << *(c.data_+i);  
    }  
}
```

陣列的隨機存取與循序存取的差異不顯著

```
void Print(const Array<int, 10> &c) {  
    // 使用指標做循序存取 (避免重新計算位址，可能比較有效率)  
    int * const begin = &c[0]  
    int * const end    = &c[10];  
    for (int *p = begin; p != end; ++p) {  
        cout << *p << endl;  
    }  
}
```

[範例] array.cpp

串列的循序存取

- 串列也可以做有效率的循序存取：

```
void Print(const ForwardList<int> &c) {  
    // 使用隨機存取的方式做循序存取  
    // 陣列每次執行 operator[] 都要從頭移動到指定的元素  
    for (int i = 0; i < c.Size(); ++i) {  
        cout << c[i];    // operator[] 會執行一個迴圈  
    }  
}
```

串列的隨機存取與循序存取的差異很顯著

```
void Print(const ForwardList<int> &c) {  
    // 使用指標做循序存取  
    ForwardListNode<int> * const begin = c.head_;  
    ForwardListNode<int> * const end   = NULL;  
    for (ForwardListNode<int> *p = begin; p != end;  
         p = p->link) {  
        cout << p->data << endl;  
    }  
}
```

我們可以存取 head_ 這個私有成員嗎？

[範例] flist.cpp

陣列與串列的循序存取 [1]

- 陣列與串列雖然是不同的線性容器，但是循序存取的邏輯相同：

- ▶ 陣列：

```
int * const begin = &a[0];  
int * const end   = &a[10];  
for (int *p = begin; p != end;  
    ++p) {  
    cout << *p;  
}
```

有辦法用同樣的程式碼實作這個邏輯嗎？

- ▶ 串列：

```
ForwardListNode<int> * const begin = b.head_;  
ForwardListNode<int> * const end   = NULL;  
for (ForwardListNode<int> *p = begin; p != end;  
    p = p->link) {  
    cout << p->data;  
}
```

陣列與串列的循序存取 [2]

- 如果我們新增一些類別 (**Iterator**) 作為包裝，可以如下設計的話就更像了：

這些類別要支援哪些操作？

- ▶ 陣列：

```
const ArrayIterator<int> begin = a.Begin();  
const ArrayIterator<int> end   = a.End();  
for (ArrayIterator<int> p = begin; p != end;  
     ++p) {  
    cout << *p;  
}
```

[範例] array_iterator.cpp

- ▶ 串列：

```
const ForwardListIterator<int> begin = b.Begin();  
const ForwardListIterator<int> end   = b.End();  
for (ForwardListIterator<int> p = begin; p != end;  
     ++p) {  
    cout << *p;  
}
```

[範例] flist_iterator.cpp

迭代器（泛型指標）

- ▶ 設計一個迭代器（**Iterator**）類別，並支援類似指標的操作
- ▶ 指標需要允許哪些操作（運算子）？
 - **operator++**: 移動到下一個元素
 - **operator***: 間接取值運算子
 - **operator->**: 指標取值運算子
 - **operator==**: 比較兩個指標是否指向同一個元素
 - **operator!=**: 比較兩個指標是否指向不同元素
- ▶ 為什麼要這樣做？
 - 限制指標的能力，提昇安全性
 - 包裝指標的操作，讓使用指標更簡單，隱藏實作細節
 - 抽象化指標操作，可以用在後面的泛型演算法

【範例】 使用迭代器求最大值

```
int Max(const Array<int, 10> &c) {  
    ArrayIterator<const int> max_iter = c.Begin();  
    for (ArrayIterator<const int> p = c.Begin();  
         p != c.End(); ++p) {  
        if (*p > *max_iter) {  
            max_iter = p;  
        }  
    }  
    return *max_iter;  
}
```

const 所放的位置？

上下哪一個的效率比較好？

```
int Max(const ForwardList<int> &c) {  
    ForwardListIterator<const int> max_iter = c.Begin();  
    for (ForwardListIterator<const int> p = c.Begin();  
         p != c.End(); ++p) {  
        if (*p > *max_iter) {  
            max_iter = p;  
        }  
    }  
    return *max_iter;  
}
```

可以寫成同一個嗎？

【範例】 使用模版求最大值 [3]

```
template<class ContainerType>
const typename ContainerType::ValueType
Max(const ContainerType &c) {
    typename ContainerType::ConstIterator max_iter = c.Begin();
    for (typename ContainerType::ConstIterator p = c.Begin();
         p != c.End(); ++p) {
        if (*p > *max_iter) {
            max_iter = p;
        }
    }
    return *max_iter;
}

int main() {
    ForwardList<int> b;
    Max<ForwardList<int> >(b);
    Max(b);
    return 0;
}
```

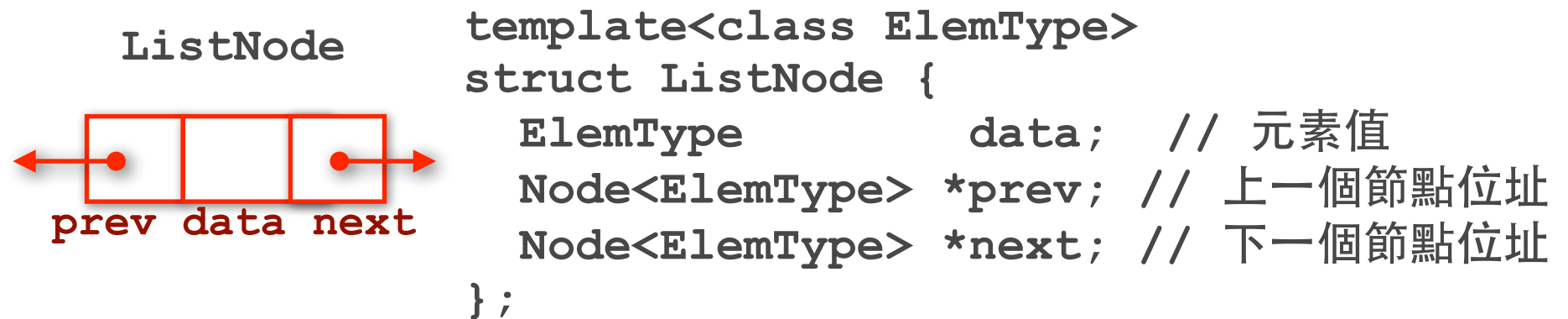
對每個容器我們在類別內定義
Iterator 型態、
ConstIterator 與
ValueType 型態

Iterator 型態與 ConstIterator 的不同？

[範例] max3.cpp

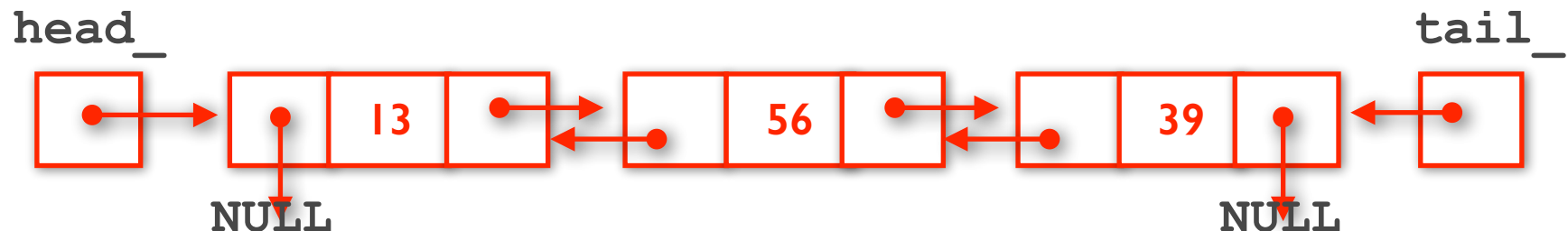
雙向鏈結串列簡介

- 雙向 (**bidirectional**) 指的是串列中每個節點除了儲存下一個節點的位置，也儲存上一個節點的位置：



- ▶ 雙向鏈結串列的優點：

- 可以直接 Insert() 或 Erase() 指向的元素
- 可以逆向存取串列，在尾端新增刪除元素可以很快。



【範例】簡易雙向鏈結串列

```
template<class ElemType>
class List {
public:
    typedef ListNode<ElemType> Node;
    typedef ListIterator<ElemType> Iterator;
    typedef ListIterator<const ElemType> ConstIterator;
    typedef ListReverseIterator<ElemType> ReverseIterator;
    typedef ListReverseIterator<const ElemType> ConstReverseIterator;

    List();
    explicit List(int n);
    ~List();
    int Size() const;
    Iterator Begin();
    ConstIterator Begin() const;
    Iterator End();
    ConstIterator End() const;
    ReverseIterator Rbegin();
    ConstReverseIterator Rbegin() const;
    ReverseIterator Rend();
    ConstReverseIterator Rend() const;
};
```

[範例] dlist.cpp

使用 STL 的串列

- C++ STL 具有 **std::list** 這個雙向鏈結串列模版

- ▶ 需 **#include <list>**

- 問題是我們要怎麼使用這個模版？

- ▶ 請參照標準說明文件或 **C++ Reference** 網站

- **size()**
- **push_back()** 和 **pop_back()**
- **push_front()** 和 **pop_front()**
- **resize()** 和 **clear()**

值得注意的是 **std::list** 不支援 **operator[]**，為什麼？

- ▶ 怎麼存取串列裡面的元素與使用 **insert()** 和 **erase()** ？

使用 STL 容器的迭代器 [1]

■ C++ STL 內常見的迭代器可分為：

▶ 單向 (forward) 迭代器：

- 支援 **operator++**

▶ 雙向 (bidirectional) 迭代器：

- 支援 **operator++** 和 **operator--**

▶ 隨機存取 (random access) 迭代器：

- 支援 **operator++**, **operator--**, **operator+** 和 **operator-**

■ 容器與迭代器：

▶ **std::forward_list** 支援單項迭代器

▶ **std::list** 支援雙向迭代器

▶ **std::vector** 支援隨機存取迭代器

使用 STL 容器的迭代器 [2]

- 雙向鏈結串列 (**std::list**) 與可變大小陣列 (**std::vector**) 這些容器提供的迭代器類別：
 - ▶ 一般迭代器：
 - **iterator, const_iterator**
 - ▶ 反向迭代器：
 - **reverse_iterator, const_reverse_iterator**
- 容器提供的操作：
 - **begin()**：回傳指向開頭的一般迭代器
 - **end()**：回傳表示結尾的一般迭代器
 - **rbegin()**：回傳指向反向開頭的反向迭代器
 - **rend()**：回傳表示反向結尾的反向迭代器

使用迭代器循序存取容器

■ 使用迭代器去循序存取 **std::vector** 和 **std::list**

```
vector<int> a;
for (int i = 0; i < 10; ++i) a.push_back(rand()%20);
for (vector<int>::iterator p = a.begin();
     p != a.end(); ++p) {
    cout << *p << " ";
}
cout << endl;
```

```
list<int> b;
for (int i = 0; i < 10; ++i) b.push_back(rand()%20);
for (list<int>::iterator p = b.begin();
     p != b.end(); ++p) {
    cout << *p << " ";
}
cout << endl;
```

使用迭代器反向循序存取容器

- 使用迭代器去反向循序存取 **std::vector** 和 **std::list** :

```
vector<int> a;  
for (int i = 0; i < 10; ++i) a.push_back(rand()%20);  
for (vector<int>::reverse_iterator p = a.rbegin();  
     p != a.rend(); ++p) {  
    cout << *p << " ";  
}  
cout << endl;
```

```
list<int> b;  
for (int i = 0; i < 10; ++i) b.push_back(rand()%20);  
for (list<int>::reverse_iterator p = b.rbegin();  
     p != b.rend(); ++p) {  
    cout << *p << " ";  
}  
cout << endl;
```

使用固定值迭代器存取容器

- 當容器本身是固定值 (**const**) 時，只能使用固定值迭代器 (**const_iterator**)：

```
list<int> a;
for (int i = 0; i < 10; ++i) a.push_back(rand()%20);
const list<int> b = a;
for (list<int>::const_iterator p = a.begin();
     p != a.end(); ++p) {
    cout << *p << " ";
}
cout << endl;

for (list<int>::const_reverse_iterator p = a.rbegin();
     p != a.rend(); ++p) {
    cout << *p << " ";
}
cout << endl;
```

使用迭代器去插入與刪除

- 在 `std::vector` 與 `std::list` 中，`insert()` 與 `erase()` 需要提供一個迭代器表示插入或刪除的位址：

`std::vector` 支援隨機存取

```
vector<int> a;  
for (int i = 1; i <= 10; ++i) a.push_back(rand()%10);  
a.insert(a.begin()+5, 10);      // 插入 10 在 a[5] 的位置  
a.erase(a.begin()+5);          // 移除 a[5] 的元素
```

```
list<int> b(a.begin(), a.end()); // 使用迭代器複製容器  
list<int>::iterator p = b.begin();  
advance(p, 5);    // for(int i = 1; i <= 5; ++i) ++p;  
b.insert(p, 10);  
b.erase(p);
```

`advance()` 是移動迭代器的函式

[範例] `edit.cpp`

陣列與串列的效率比較

操作	可變大小陣列 (<code>std::vector</code>)	單向鏈結串列 (<code>std::forward_list</code>)	雙向鏈結串列 (<code>std::list</code>)
<code>size, empty</code> (大小等資訊)	與個數無關	與個數無關	與個數無關
<code>at, operator[]</code> (隨機存取)	與個數無關	與個數有關 (內建不支援)	與個數有關 (內建不支援)
<code>push_front, pop_front</code> (在前端新增或移除元素)	與個數有關	與個數無關	與個數無關
<code>push_back, pop_back</code> (在尾端新增或移除元素)	可能與個數無關	與個數有關 (內建不支援)	與個數無關
<code>insert, erase</code> (在任意位置新增或移除元素)	與個數有關	給定迭代器後 與個數無關	給定迭代器後 與個數無關
解構式, 複製建構式與賦值運算子 (大三法則)	與個數有關	與個數有關	與個數有關

`std::forward list` 是 C++11 後才有內建

