

# Make binary search dynamic

林橋毅 111502563

2022 年 11 月 16 日

## Part I

### Introduction

本專題的題目是 Make binary search dynamic，顧名思義是讓二分搜尋動態化，可以用對數時間進行搜尋、線性時間插入元素。若結構中有  $N$  個元素，並且我們可以假設  $N = 2^k$ ，這個結構將會有以下性質：有  $k$  層，第  $i, 0 \leq i < k$  層是一個大小為  $2^i$  的 array，每層不是空的就是滿的且都是由小到大排序好的。

## Part II

### Method

本節將會介紹我為了這格資料結構所設計的函式。

## 1 resize

為了要達成動態大小的資料結構，我設計了 `resize` 的函式，參考 `vector` 的方法，每次增加容量都將容量翻倍，這樣可以均攤時間複雜度也可以達到動態調整的功能。

---

**Algorithm 1** `resize(sizeLayer)`

---

```
declare new list size = 2*size(old list)
copy the old list to new list
Assign new list to the structure
Update maxLayer <- sizeLayer
```

---

## 2 merge

合併是這個資料結構的核心，由 `merge` 方法為結構中層與層之間提供連結，在插入、刪除都會用到，與 `merge sort` 的 `merge` 相似，給定兩層的數據，產生合併後的 `array` 並且進行 `push` 的操作，時間複雜度為  $\theta(N)$ 。

給定 `list_0`, `list_1`, `del_0`, `del_1`, `layer`，合併 `list_0` 跟 `list_1` 並且放到第 `layer + 1` 層，其中 `del_0`, `del_1` 分別是 `list_0`, `list_1` 的刪除陣列，如果 `list_k[i]`  $k \in \{0, 1\}$  若被刪除則 `del_k[i]` 為 1 反之為 0。

---

**Algorithm 2** merge(list\_0, list\_1, del\_0, del\_1, layer)

---

```
Declare new list
declare two pointer p0, p1 <- list_0.end, list_1.end
while p0 >= 0 and p1 >= 0 do
    if p0 < 0 then
        put remain element in list_1 to new list
    end if
    if p1 < 0 then
        put remain element in list_0 to new list
    end if
    if list_0[p0] > list_1[p1] then
        put list_0[p0] to new list
        p0-1
    else
        put list_1[p1] to new list
        p1-1
    end if
end while
if space is not enough then
    rezise
end if
update the deletion array
push new list the next layer
```

---

### 3 push

為了將合併過後的 array 搬運到下一層，我設計了一個 push 函式，這個 function 檢查下一層是否為空，若為空就可以放到下一層，若不為空就將下層與當前合併過後的 array 進行合併，並且在移動過程中要更新空層的

位置，而且還有檢查空間是否足夠進行，若不足就執行 `resize` 的 function。

---

**Algorithm 3** `push(n)`

---

```
if next layer is empty then
    put the layer to next layer
else
    merge(this layer, next layer)
end if
```

---

## 4 insert

進行插入元素時，給定欲插入的元素  $n$ ，因為題目要求不能重複插入，所以要檢查是否已存在該元素。插入時，如果第一層是空的就放在第一層，如果不是就跟第一層合併後下推。

---

**Algorithm 4** `insert(n)`

---

```
if n is found in structure then
    return Insert Failed
end if
N++ // N is number of element in the structure
if the first layer is empty then
    Input n the the first layer
else if the first layer is full then merge(n, first layer ,0) // 0-th layer
end if
return Insert Success
```

---

## 5 find

搜尋指令是指在給定目標值，搜尋該值在資料結構中的位置。由於每一層的 `array` 都是排序好的，所以我們可以依續使用二分搜尋每一層是否

存在想要查詢的值，就可以快速建構查詢指令。理論上，二分搜尋法的時間複雜度是  $\theta(N)$   $N$  是欲搜尋陣列的元素數量。假設我們有  $M$  個元素，總共有  $\lg(M)$  層 array，且第  $i$  層的 array 元素數量為  $2^i, i \geq 0$ ，我們可以推測搜尋的時間複雜度為  $\theta((\lg M)^2)$

---

**Algorithm 5** find( $n$ , layer)

---

```

if layer > base then
    return -1
end if
binary search for  $n$  in layer-th layer
if found  $n$  in layer-th then
    return found
else if not found then
    return find( $n$ , layer+1)
end if

```

---

## 6 delete

進行刪除操作時，先搜尋到該元素，刪除後得要整理我們的結構以騰出空間，不過不必過於積極整理結構，可以使用一個表格紀錄該元素是否已經被刪除，如果查詢到已被刪除的元素就可以直接回答刪除，刪除時順便檢查該層已被刪除的元素數量是否為該層應有元素的一半，若有就可以跟上一層合併。

---

**Algorithm 6** delete( $n$ )

---

```
  if  $n$  is not existed then
    return Delete Failed
  end if
  Delete element by record a array
  if number of element are deleted this layer == half of size of this layer
  then
    declare new list called tidyList
    iterate the old list and add element which didn't deleted to tidyList
    if previous layer is full then
      merge(previous layer, tidyList)
    else
      put the tidyList the previous layer
    end if
  end if
end if
```

---

## Part III

# Experiment

為了實測這個資料的資料結構並且與紅黑樹相比較，我設計一個簡單的測驗：給定數字  $N$ ，進行  $N$  次測試，第  $i$ , ( $0 \leq i \leq N$ ) 次測試分別測試插入 1 到  $i$ 、查詢 1 到  $i$ 、刪除 1 到  $i$ ，接著個別紀錄插入、查詢、刪除的時間。

可以發現無論是插入、查詢、刪除都的時間表現都比紅黑樹要差，插入時間與紅黑樹非常接近，但在查詢跟刪除與紅黑樹差距較大，與理論上較符合。

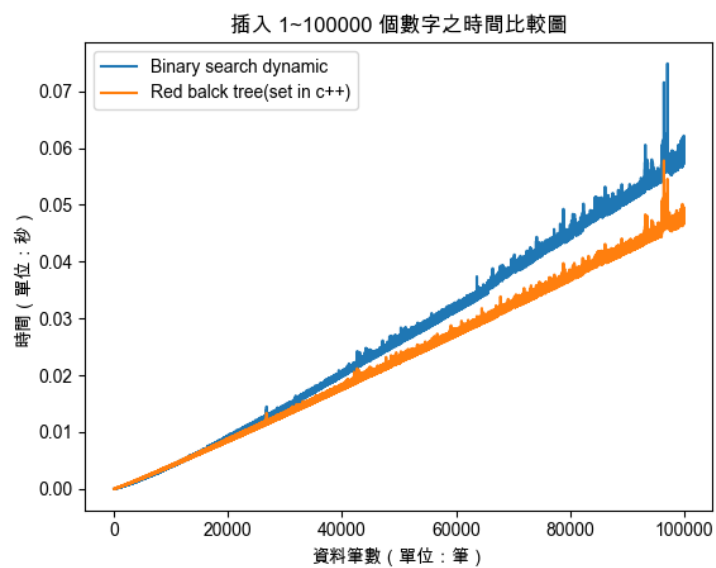


Fig. 1. 插入時間比較圖

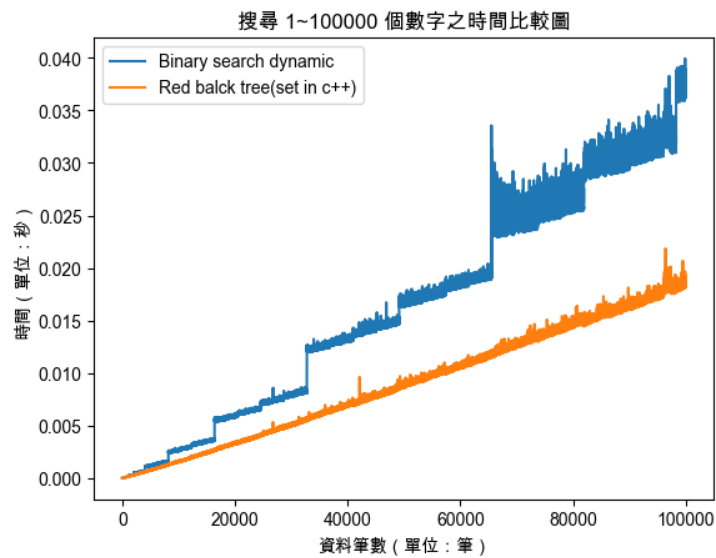


Fig. 2. 搜尋時間比較圖

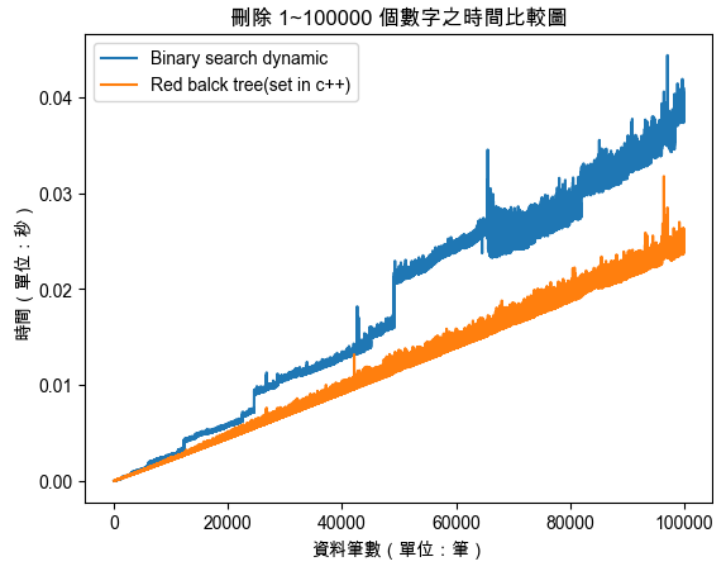


Fig. 3. 刪除時間比較圖

## Part IV

# Conclusion & Reflection

本篇實作了動態二分搜尋，是一個相較於紅黑樹更直觀且複雜度也表現良好的資料結構，在易寫性及複雜度上取得相當好的平衡，在插入元素時與紅黑樹表現相當，但在搜尋跟刪除略輸一些，但在刪除時的空間壓縮仍需要在未來將其完善。

在這次專題中，我更深入接觸記憶體的操作及管理，雖然在撰寫方面仍有許多不熟練，但已進步許多也讓我如何設計一個資料結構跟分解需要使用的方法，這次我就先實作出 merge 的方法後圍繞著 merge 將 insert push 撰寫完成，讓我有設計程式結構的經驗。不過我認為我在細節部分仍要加強，感覺可以在將程式更精簡及加速。