

Priority Queues, Maps, Sets

Κ08 Δομές Δεδομένων και Τεχνικές Προγραμματισμού

Κώστας Χατζηκοκολάκης

1

ADTs for efficient search

- So far we've seen ADTs in which elements have a **predefined order**
 - Depending only on the insertion order, not on the **values**
- And search is inefficient
- We will now discuss ADTs that take the **order** of elements into account
 - **Any** order can be used (many options, even for the same data)

2

The compare function

- A `compare` function determines the order of elements
 - `compare(a, b) < 0` iff `a` is "smaller" than `b`
 - `compare(a, b) > 0` iff `a` is "greater" than `b`
 - `compare(a, b) == 0` iff `a` and `b` are **equivalent** (not equal!)
- Examples for integers:
 - `return *(int*)a - *(int*)b`
 - `return abs(*(int*)a) - abs(*(int*)b)`
 - `return a - b`
 - Which elements are equivalent?
- Examples for strings, structs, Vectors, etc?

3

Priority Queue

- Similar to a Queue or Stack
 - No iteration, only a specific item can be accessed/removed
- **BUT**: the item that can be accessed/removed is the **maximum** one
 - with respect to a given order (`compare`)
- We can insert elements in any order
- When we remove, we always get the maximum element!

4

Create, insert

```
// Δημιουργεί και επιστρέφει μια νέα ουρά προτεραιότητας, της οποίας
// Αν destroy_value != NULL, τότε καλείται destroy_value(value) κάθε
// Αν values != NULL, τότε η ουρά αρχικοποιείται με τα στοιχεία του v
PriorityQueue pqueue_create(CompareFunc compare, DestroyFunc destroy_
// Προσθέτει την τιμή value στην ουρά pqueue.
void pqueue_insert(PriorityQueue pqueue, Pointer value);
```

- The `compare` function must be given to `pqueue_create`
 - Cannot be modified.
- We can initialize the queue with a Vector of `values`
 - might be **faster** than inserting them one by one!

5

Accessing the maximum element

```
// Επιστρέφει το μεγαλύτερο στοιχείο της ουράς
Pointer pqueue_max(PriorityQueue pqueue);
// Αφαιρεί την μεγαλύτερη τιμή της ουράς
void pqueue_remove_max(PriorityQueue pqueue);
```

- Guaranteed to work independently from the insertion order
- Efficient, even after removing elements!

6

When to use Priority Queues

- When we need to quickly find the maximum value
 - on data that is updated
- Many applications
 - Shortest Path in a graph (Dijkstra)
 - Minimum Spanning Tree (Prim)
 - Search in Artificial Intelligence (A*)
 - Sorting elements (Heapsort)
 - Load balancing algorithms
 - Compression (Huffman codes)
 - ...

7

ADTMap

- Associates a `key` to a `value`
- Allows to search for `value` given `key` (or a key **equivalent** to it)
- Can be thought as an “array” with non-integer indexes!

```
// Αυτό είναι συνηθισμένο
names[19] = "Bob";
...
printf("The student with id 19 is %s\n", names[19]);

// Ωραία θα ήταν να μπορούσαμε να κάνουμε το αντίστροφο (αλλά δε γίνει
ids["Bob"] = 19;
...
printf("The id of Bob is %d\n", ids["Bob"]);
```

- We can use a Map `ids` that associates `"Bob"` to `19`

a.k.a. Symbol table, Dictionary, Associative array, Unordered map

8

Create

```
// Δημιουργεί και επιστρέφει ένα map, στο οποίο τα στοιχεία συγκρίνονται
// τη συνάρτηση compare.
// Αν destroy_key ή/και destroy_value != NULL, τότε καλείται destroy_
// ή/και destroy_value(value) κάθε φορά που αφαιρείται ένα στοιχείο.
```

```
Map map_create(CompareFunc compare, DestroyFunc destroy_key, DestroyF
```

- We need to pass a `compare` function
 - the Map needs to know which keys are equivalent to `"Bob"`
- Separate destroy functions for keys and values

9

Insert, find

```
// Προσθέτει το κλειδί key με τιμή value. Αν υπάρχει κλειδί ισοδύναμο
// παλιά key & value αντικαθίσταται από τα νέα.
```

```
void map_insert(Map map, Pointer key, Pointer value);
```

```
// Επιστρέφει την τιμή που έχει αντιστοιχιστεί στο συγκεκριμένο key,
// το key δεν υπάρχει στο map.
```

```
Pointer map_find(Map map, Pointer key);
```

10

Example

```
// name => id
ADTMap ids = map_create(compare_strings, NULL, NULL);

// ids["Bob"] = 19
map_insert(ids, "Bob", create_int(19));

...

// Find ids["Bob"]
printf("The id of Bob is %d\n", *(int*)map_find(ids, "Bob"));
```

11

Remove

```
// Αφαιρεί το κλειδί που είναι ισοδύναμο με key από το map, αν υπάρχει
// Επιστρέφει true αν βρέθηκε τέτοιο κλειδί, διαφορετικά false.
```

```
bool map_remove(Map map, Pointer key);
```

Example:

```
map_remove(ids, "Bob");

...

if(map_find(ids, "Bob") == NULL) {
    printf("No student named Bob exists");
}
```

12

Iteration

```
// Μέσω κόμβων
for(MapNode node = map_first(ids); // ξενικάμε από τον πρώτο
    node != MAP_EOF; // μέχρι να φτάσουμε στο
    node = map_next(ids, node)) { // μετάβαση στον επόμενο

    char* name = map_node_key(ids, node); // το κλειδί του συγκεκρι
    int* id = map_node_value(ids, node); // η τιμή του συγκεκριμέν
    printf("%s's id is %d\n", name, *id);
}
```

13

When to use Map

- When we need equality search
 - One of the most commonly used operations
 - And the data is updated frequently
- Check if some value is already seen
 - eg. memoization
- Provided natively by many programming languages
 - but we need to understand how it works!

14

ADTSet

- An **ordered** set of **unique** values
- Allows to search for a **value** efficiently
- Allows to iterate the set in the correct **order**

15

Create

```
// Δημιουργεί και επιστρέφει ένα σύνολο, στο οποίο τα στοιχεία συγκρί
// βάση τη συνάρτηση compare.
// Αν destroy_value != NULL, τότε καλείται destroy_value(value) κάθε
// αφαιρείται ένα στοιχείο.
Set set_create(CompareFunc compare, DestroyFunc destroy_value);
```

We need to pass a **compare** function.

The Set maintains the **order** of the values.

16

Insert, find

```
// Προσθέτει την τιμή value στο σύνολο, αντικαθιστώντας τυχόν προηγούμενη  
// ισοδύναμη της value.
```

```
void set_insert(Set set, Pointer value);
```

```
// Επιστρέφει την μοναδική τιμή του set που είναι ισοδύναμη με value,  
// δεν υπάρχει
```

```
Pointer set_find(Set set, Pointer value);
```

17

Example

```
ADTSet names = set_create(compare_strings, NULL);  
  
set_insert(names, "Alice");  
set_insert(names, "Bob");  
  
...  
  
printf("Is Bob present? %d\n", set_find(names, "Bob") != NULL);
```

18

Remove

```
// Αφαιρεί τη μοναδική τιμή ισοδύναμη της value από το σύνολο, αν υπάρχει  
// Επιστρέφει true αν βρέθηκε η τιμή αυτή, false διαφορετικά.
```

```
bool set_remove(Set set, Pointer value);
```

Example:

```
set_remove(names, "Bob");
```

```
...
```

```
if(set_find(students, "Bob") == NULL) {  
    printf("No student named Bob exists");  
}
```

19

Iteration

```
// Μέσω κόμβων, στη σειρά διάταξης!
```

```
for(SetNode node = set_first(ids); // ξεκινάμε από τον πρώτο  
    node != SET_EOF; // μέχρι να φτάσουμε στο  
    node = set_next(ids, node)) { // μετάβαση στον επόμενο  
  
    char* name = set_node_value(ids, node); // Η τιμή του συγκεκριμένου κόμβου  
    printf("%s\n", name, *id);  
}
```

20

When to use Set

- When we need to access values in a certain **order**
 - And the data is updated frequently
- When we need **range** search
 - One of the most commonly used operations
- But also equality search