ITE 2038 – Database System:
Project: B+ Tree Implementation

2019014266 Lim Kyu Min

Project: B+ Tree Implementation – JAVA

2019014266 Lim Kyu Min

1. Instruction

Compile Location

→ BPlusTree\B_Plus_Tree_Assignment

Constraints

1. 인덱스 파일, 입력 파일, 삭제 파일의 이름은 Predefined입니다. 파일명의 이름을 어길 시 실행이 되지 않도록 했습니다.

   → 각각 index.dat, input.csv, delete.csv입니다.

2. Insertion을 실행할 시, input.csv에 입력 값이 존재해야 합니다.

   → 예를 들어, Key가 3이고 Value가 10인 값을 넣고 싶을 때,

   3,10

   과 같이 input.csv에 값이 들어가 있어야 합니다.

3. Deletion 마찬가지로, delete할 key값이 delete.csv에 존재해야 합니다.

   → 예를 들어, Key가 3인 값을 지우고 싶을 때,

   3

   과 같이 delete.csv에 들어가 있어야 합니다.

1) Create B+ Tree (Initialize)

→ java -jar BPlusTree.jar "-c" "*INDEXFILE.NAME*" "*SIZE*"

Ex) java -jar BPlusTree.jar "-c" "index.dat" "3"

OutPut)

```
B PLUS TREE CREATED
INDEX FILE NAME : index.dat
NODE SIZE : 3
```

2) Insert B+ Tree (Insertion)

→ java -jar BPlusTree.jar "-I" "*INDEXFILE.NAME*" "*INPUTFILE.NAME*"

Ex) java -jar BPlusTree.jar "-i" "index.dat" "input.csv"

Output)

```
INPUT DATA
```

- Input.csv

```
3,1
107,2
701,3
55,4
49,5
37,6
10,7
1,8
555,9
777,10
903,11
47,12
94,13
99,14
96,15
201,16
641,17
95,124
```

- Output.csv (Print all leaf nodes)

1,8
3,1
10,7
37,6
47,12
49,5
55,4
94,13
95,124
96,15
99,14
107,2
201,16
555,9
641,17
701,3
777,10
903,11

3) Single Search B+ Tree (Single Search)

→ java -jar BPlusTree.jar "-s" " *INDEXFILE.NAME* " "*TARGET_KEY*"

Ex) java -jar BPlusTree.jar "-s" "index.dat" "107"

OutPut)

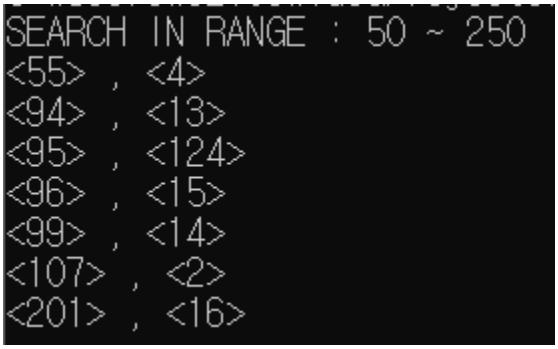
- I : Index Node
- L : Leaf Node
- V : Value

4) Ranged Search B+ Tree (Range Search)

→ java -jar BPlusTree.jar "-r" " *INDEXFILE.NAME* " "*START_KEY*" “END_KEY”

Ex) java -jar BPlusTree.jar "-4" "index.dat" "50" "250"

Output)



- Format : <key> , <Value>

5) Delete B+ Tree (Deletion)

→ java -jar BPlusTree.jar "-s" " *INDEXFILE.NAME* " "*DELETEFILE.NAME* "

Ex) java -jar BPlusTree.jar "-d" "index.dat" "delete.csv"

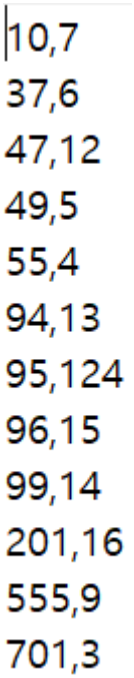
OutPut)

- Delete.csv

3
107
641
777
903

- Output of Range search - `java -jar BPlusTree.jar "-4" "index.dat" "1" "1000"`

- Output.csv (Deleted output)



- Code Analysis (각 기능을 수반하는 함수는 설명으로 대체했습니다.)

0. Structure

Class BPlusTree
- 전체 트리를 관리하는 클래스입니다. - 트리의 root를 설정해주는 root관련 함수와, 대부분의 B+ Tree관련 함수가 존재합니다. (Search, Insert…etc)

Class BPTNode
- 노드를 표현하는 클래스이며, BPlusTree를 상속합니다. - 해당 노드가 리프인지 아닌지 표현하는 isLeaf와 최소 키의 개수를 나타내는 minKey등의 정보를 가지고 있으며, <Key,Value>를 TreeMap을 사용하여 저장합니다. - 각각의 정보를 계산하여 저장하는 함수들이 존재합니다.

1. Create

bptCreate (Line 96 ~ 102)

```
BPlusTree bptCreate(BPlusTree bPlusTree, int size) {
    BPTNode root = new BPTNode();// Initially the root node is a leaf.
    root.determineLeaf(true);
    root.setNodeInfo(size);
    bPlusTree.setRoot(bPlusTree, root);
    return bPlusTree;
}
```

- B+ Tree를 생성하는 초기 설정하는 함수입니다. Root노드를 새로 형성하고, 그 노드를 해당 트리의 root로 설정합니다.
- determineLeaf함수를 사용하여 해당 루트노드를 리프로 초기 설정 해줍니다.
- setRootInfo메소드를 활용하여 초기 노드 정보를 설정해줍니다. (최소 키, 최대 키…등등)

2. Insert

bptInsert (Line 104 ~ 182)

```
BPTNode bptInsert(BPlusTree bPlusTree, BPTNode root, Integer key, BPTNode leftChild,
BPTNode rightChild, int size) { //Insert Index
```

```
    //System.out.println("Key " + key + "become index!");
    boolean isBiggest = true;

    if (!root.isLeaf) {//Current node is index node
        Set<Integer> keySet = root.p.keySet();
        if (!keySet.isEmpty()) {
            for (Integer i : keySet) {
                //System.out.println(i);
                if (key.equals(i)) {
                    //System.out.println("WARNING: Duplicated key is not allowed. -
Input Ignored");
                    break;
                } else if (key < i) {
                    //System.out.println("CASE 2");
                    //Case 2: The target key will be inserted to the middle of the
node
                    root.p.put(key, leftChild);
                    root.updateElementNum(root);
                    isBiggest = false;

                    //System.out.println("Change Right KEY : " + i);
                    root.p.put(i, rightChild);
                    //System.out.println("End of Operation");
                    break;
                }
            }
        } else { //There is nothing; current node is newly created index node
            root.p.put(key, leftChild);
            root.updateElementNum(root);
        }
        if (isBiggest) { // Case 1 : The target key will be inserted to the
rightmost location
            //System.out.println("Rightmost Index");
            root.p.put(key, leftChild);
            root.updateElementNum(root);
            //System.out.println("Current Index Element: " +
root.checkElementNum());

            root.setRightChild(rightChild);
        }
    }
    //System.out.println("Index Node Set");
    return root;
}
```

```
BPTNode bptInsert(BPlusTree bPlusTree, BPTNode root, Integer key, Integer value, int
size) { //Insert Leaf
    if (root.isLeaf) {//Current node is leaf node
        //System.out.println("SET: [ " + key +" , " + value + " ]");

        Set<Integer> keySet = root.v.keySet();

        if (keySet.contains(key)) {
            System.out.println("WARNING: Duplicated key is not allowed. - Input
Ignored");
        } else {
            root.v.put(key, value);
            root.updateElementNum(root);
            //System.out.println("Leaf Element : " + root.checkElementNum());
        }

        if (root.checkElementNum() > root.getMaxKeys()) {
            //System.out.println("Leaf Overflow! " + root.checkElementNum());
            root = bptLeafSplit(bPlusTree, root, size);

        }
    } else { //Current node isn't leaf node
        boolean isRecursiveCall = false;
        Set<Integer> keySet = root.p.keySet();
        for (Integer i : keySet) {
            //System.out.println("Traverse: " + i);
            if (key < i) {
                bptInsert(bPlusTree, root.p.get(i), key, value, size);
                isRecursiveCall = true;
                break;
            }
        }
        if (root.hasRightChild() && !isRecursiveCall) {
            bptInsert(bPlusTree, root.getRightChild(), key, value, size);
        }
    }

    return root;
}
```

- insert_CSV()함수 (Line 17) input.csv의 한 줄 데이터를 읽을 때마다 호출되는 함수입니다. 위의 것은 Index 노드를 삽입할 때 호출되는 함수이고, 밑의 함수는 Leaf 노드를 삽입할 때 호출됩니다.
- Leaf와 Index의 저장방식의 차이, 각각 Split 방법의 차이 때문에 함수

를 다르게 했습니다.

- Leaf에서의 split은 leafSplit()함수를 통하여 호출합니다. Split이 일어나는 mid (혹은 pivot)값은 최대 element개수/2를 올림한 후, 만일 element의 개수가 짝수라면 1을 추가했습니다.
- indexSplit()함수의 split 매커니즘은 리프와 비슷하나, leaf와 달리 pivot으로 parent가 되는 노드는 split과정에서 완전히 나누었습니다
  → 즉, leaf에서의 스플릿에서 mid값은 그대로 rightChild의 첫번째 element가 되는 반면, index에서의 mid값은 parent가 될 뿐, child에서 찾아볼 수 없게 되었습니다.

3. Single Search

bptSingleSearch() (Line 324 ~358)

```
boolean bptSingleSearch(BPTNode root, int key) {

    boolean recursiveCall = false;

    if (root != null) {
        if (root.isLeaf) { // Current node is leaf node
            Set<Integer> keySet = root.v.keySet();
            for (Integer i : keySet) {
                System.out.print("\nL: <"+i+"> ");
                if (i == key) {
                    System.out.println("V: <" + root.v.get(i)+">");
                    return true; // Matching key found
                }
            }
            System.out.println("\nKey " + key + " not found");
            return true;
        } else { //Current node is index node;
            Set<Integer> keySet = root.p.keySet();
            for (Integer i : keySet) {
                if (!recursiveCall) {
                    System.out.print("I: <"+i+"> ");
                    if (key < i) {
                        //System.out.println("Goes to Left Child!");
                        recursiveCall = bptSingleSearch(root.p.get(i), key);//Search
its child if i < key
                    }
                }
            }
            if (root.hasRightChild() && !recursiveCall) {
                //System.out.println("Goes to Right Child!");
```

```
                bptSingleSearch(root.getRightChild(), key);//If the node has right
child
            }
        }
    }
    return true;
}
```

- 다음과 같은 노드의 구성을 활용하여 찾습니다.
  → Index에서 현재 Key는 Key보다 작은 Children Node를 가리킵니다.
  즉, 해당 Index에 적혀있는 key를 찾으려면 해당 Key **다음에** 존재하는 Key의 제일 왼쪽 리프에 접근해야합니다.
  ➔ 각 Element의 가장 큰 Key 값은 rightChild에 저장되어 있습니다.
  ➔ Leaf의 첫번째 index는 연결되어있는 Parent key의 **앞에** 존재합니다.
  즉, RightChild의 인덱스 키값은 Parent의 가장 마지막 키값이며, 가장 첫번째 리프의 키값은 Parent의 Parent, 즉 부모의 부모 노드의 첫번째 키값으로 저장되어 있습니다.

- 해당 메커니즘을 활용하여 찾고자 하는 key값과 같거나 처음으로 더 큰 Key의 Child에 접근, 해당 과정을 재귀적으로 만들어 Leaf까지 접근했습니다.

4. Ranged Search

bptRangeSearch() (Line 360 ~382)

```
void bptRangeSearch(BPTNode root, int start, int end) {

    //System.out.println("***Performing Range Search...***");

    BPTNode firstLeaf = root;
    while (!firstLeaf.isLeaf) { //Search for leftmost leaf (smallest data)
        Set<Integer> keySet = firstLeaf.p.keySet();
        //System.out.println("Cur Leaf : " + keySet.iterator().next());
        firstLeaf = firstLeaf.p.get(keySet.iterator().next()); //Reach to the
leftmost data
    }

    //System.out.println("Starting Operation: Searching for values ranges in " +
start + " and " + end);

    while (firstLeaf != null) { //Search all leaf nodes
        for (Integer i : firstLeaf.v.keySet()) {
```

```
            //System.out.println("Traverse: " + i);
            if (i >= start && i <= end)
                System.out.println("<" + i + "> , <" + firstLeaf.v.get(i)+">");
        }
        firstLeaf = firstLeaf.r;
    }

}
```

- 다음과 같은 노드의 구성을 활용하여 찾습니다.
  → 각각의 Leaf는 연결되어 있으며, 이를 활용하여 손쉽게 전체 Leaf Value에 접근할 수 있습니다.

- 해당 메커니즘을 활용하여 모든 Index의 가장 첫번째 child에 접근하여 첫번째 Key값을 찾은 후, RightChild으로 접근하며 전체 Leaf에 접근했습니다. 해당 과정에서 범위 내에 있는 Key와 Value만 출력하였습니다.

5. Delete

bptDelete() (Line 447~468)

```
void bptDelete(BPlusTree bPlusTree, BPTNode root, Integer key) {
    BPTNode target = reachToTarget(root, key);
    BPTNode duplicatedIndex = findDuplicates(target, key);
    if (target.checkElementNum() > target.getMinKeys()) { //Case 1: Current Key has
enough key to be deleted.
        target.v.remove(key);
        target.updateElementNum(target);
        if (!Objects.isNull(duplicatedIndex))
            renewKey(duplicatedIndex, key, target.v.keySet().iterator().next());
    } else { //Deficiency
        //System.out.println("DEFICIENCY");
        //Case 2: Borrow & Rotation
        //System.out.println("Case 2");
        boolean isSuccessful = false;
        isSuccessful = rotation(target, key, target.isLeaf);
        if (!isSuccessful) { //Case 3: Merge
            //System.out.println("Case 3");
            target.v.remove(key);
            target.updateElementNum(target);
            mergeNode(bPlusTree, target, key);
        }
    }
}
```

- 3가지 Case로 나뉩니다.
  - ➔ 1. 해당 Element가 Delete를 하기에 충분한 양이 있을 때:
    → 별 다른 과정 없이 해당 노드를 지웁니다. 만약 중복된 노드가 존재하면 해당 노드를 올바른 값으로 정정합니다.

  - ➔ 2. 해당 Element가 Underflow상태이지만, 키 값을 주변 Sibling에서 빌려올 수 있을 때.
    → RightSibling을 우선으로 하여 Rotation을 시도합니다. 만약 해당 sibling의 Element가 충분할 때, 값을 빌려오고 인덱스파일을 알맞게 수정합니다.

  - ➔ 3. Element가 Underflow상태이며, 주변 Sibling에서 값을 빌려올 수 없을 때
    → Merge를 시도합니다. Parent와 Sibling끼리 Merge하고, 이로 인해서 변하는 인덱스 값들은 Recursive하게 delete처리를 합니다.