跳表SkipList

1.聊一聊跳表作者的其人其事

2. 言归正传，跳表简介

3. 跳表数据存储模型

4. 跳表的代码实现分析

5. 论文，代码下载及参考资料

<1>. 聊一聊作者的其人其事

跳表是由William Pugh发明。他在 Communications of the ACM June 1990, 33(6) 668-676 发表了Skip lists: a probabilistic alternative to balanced trees，在该论文中详细解释了跳表的数据结构和插入删除操作。

William Pugh同时还是 FindBug（没有使用过，这是一款java的静态代码分析工具，直接对java 的字节码进行分析，能够找出java字节码中潜在很多错误。）作者之一。现在是University of Maryland, College Park（马里兰大学伯克分校，位于马里兰州，全美大学排名在五六十名左右的样子）大学的一名教授。他和他的学生所作的研究深入的影响了java语言中内存池实现。

> 又是一个计算机的天才！

<2>. 言归正传，跳表简介

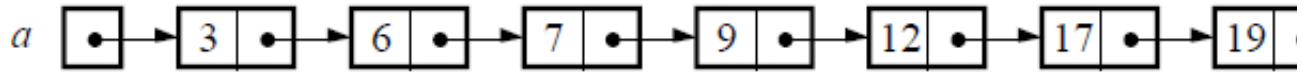
这是跳表的作者，上面介绍的William Pugh给出的解释：

> Skip lists are a data structure that can be used in place of balanced trees. Skip lists use probabilistic balancing rather than strictly enforced balancing and as a result the algorithms for insertion and deletion in skip lists are much simpler and significantly faster than equivalent algorithms for balanced trees.

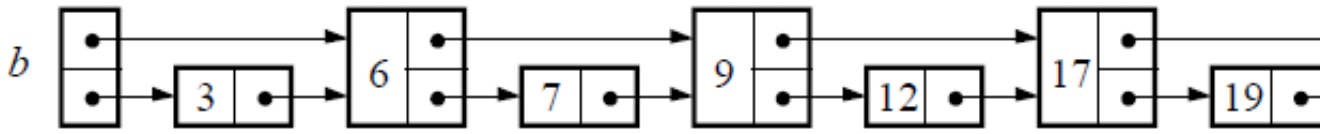
跳表是平衡树的一种替代的数据结构，但是和红黑树不相同的是，跳表对于树的平衡的实现是基于一种随机化的算法的，这样也就是说跳表的插入和删除的工作是比较简单的。

下面来研究一下跳表的核心思想：

先从链表开始，如果是一个简单的链表，那么我们知道在链表中查找一个元素I的话，需要将整个链表遍历一次。



如果是说链表是排序的，并且节点中还存储了指向前面第二个节点的指针的话，那么在查找一个节点时，仅仅需要遍历N/2个节点即可。



这基本上就是跳表的核心思想，其实也是一种通过“空间来换取时间”的一个算法，通过在每个节点中增加了向前的指针，从而提升查找的效率。

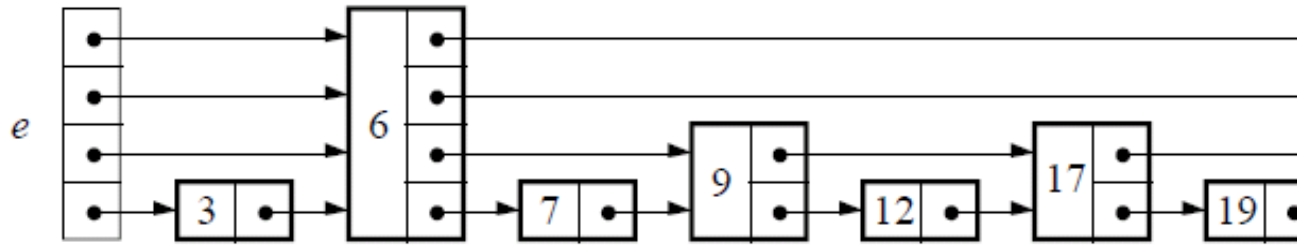
<3>.跳表的数据存储模型

我们定义：

如果一个基点存在k个向前的指针的话，那么陈该节点是k层的节点。

一个跳表的层MaxLevel义为跳表中所有节点中最大的层数。

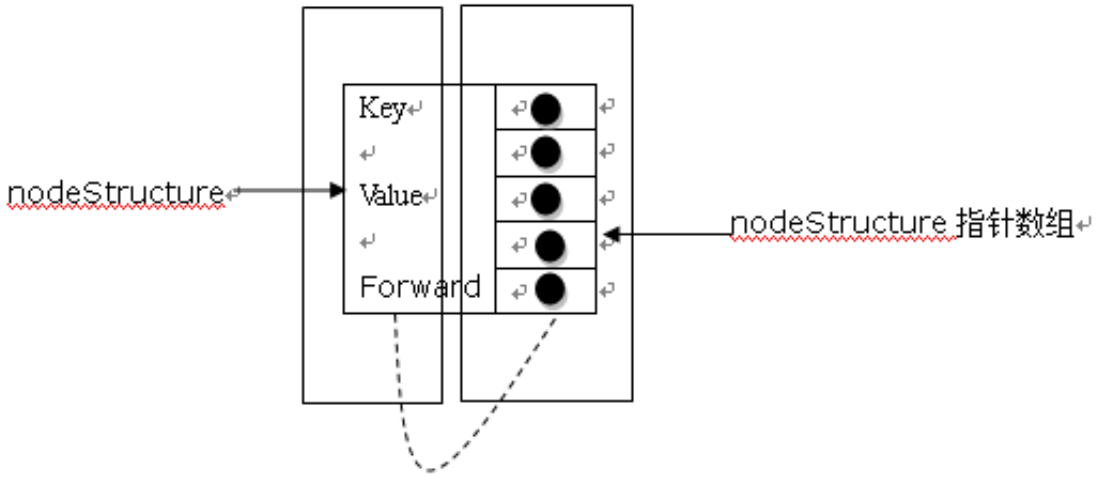
下面给出一个完整的跳表的图示：



那么我们该如何将该数据结构使用二进制存储呢？通过上面的跳表的很容易设计这样的数据结构：

定义每个节点类型：

```
// 这里仅仅是一个指针
typedef struct nodeStructure *node;

typedef struct nodeStructure

{
    keyType key;        // key值
    valueType value; // value值
    // 向前指针数组，根据该节点层数的
    // 不同指向不同大小的数组
    node forward[1];
};
```

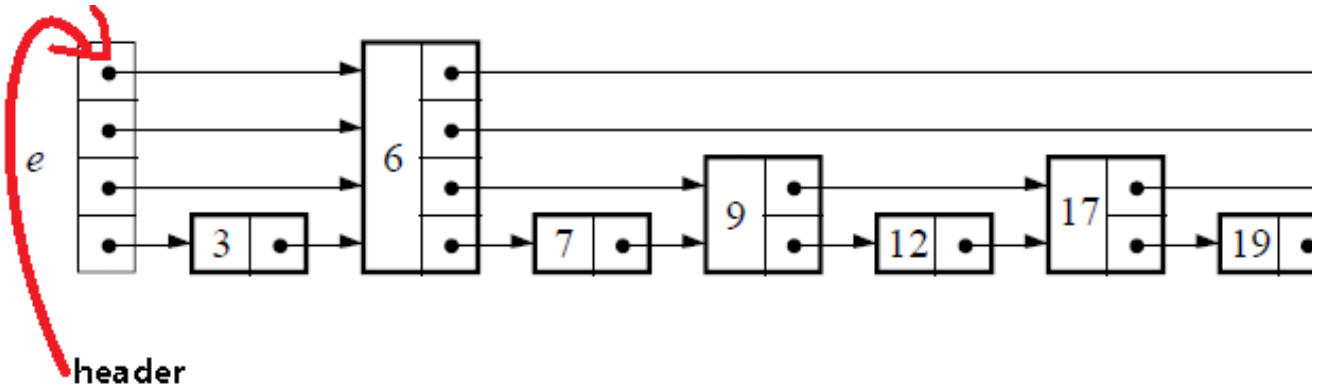


上面的每个结构体对应着图中的每个节点，如果一个节点是一层的节点的话（如7，12等节点），那么对应的forward将指向一个只含一个元素的数组，以此类推。

定义跳表数据类型：

```
// 定义跳表数据类型
typedef struct listStructure{
  int level;         /* Maximum level of the list
                     (1 more than the number of levels in the list) */
  struct nodeStructure * header; /* pointer to header */

  } * list;
```

跳表数据类型中包含了维护跳表的必要信息，level表明跳表的层数，header如下所示：



定义辅助变量：

定义上图中的NIL变量：node NIL;

```
#define MaxNumberOfLevels 16

#define MaxLevel (MaxNumberOfLevels-1)
```

定义辅助方法：

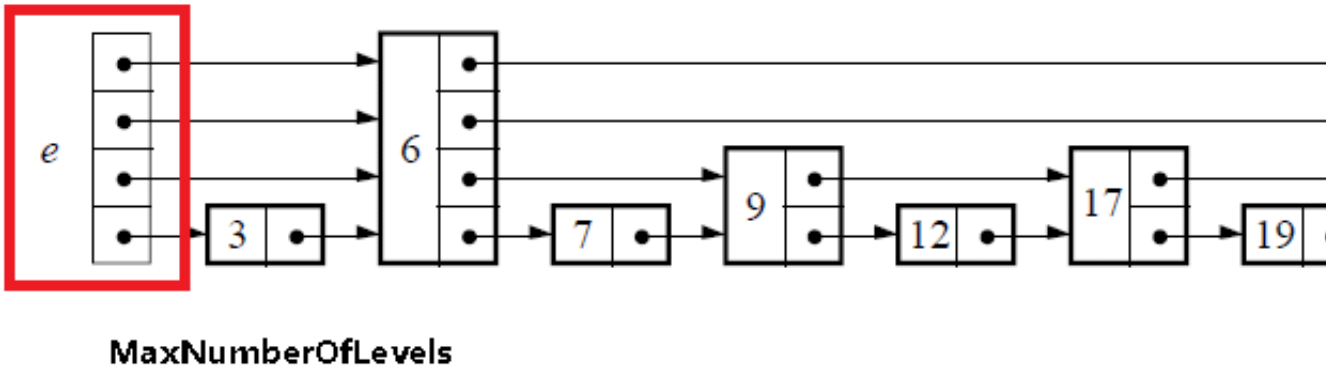
```
// newNodeOfLevel生成一个nodeStructure结构体，同时生成l个node *数组指针
#define newNodeOfLevel(l) (node)malloc(sizeof(struct nodeStructure)+(l)*sizeof(node *))
```

好的基本的数据结构定义已经完成，接下来来分析对于跳表的一个操作。

<4>. 跳表的代码实现分析

4.1 初始化

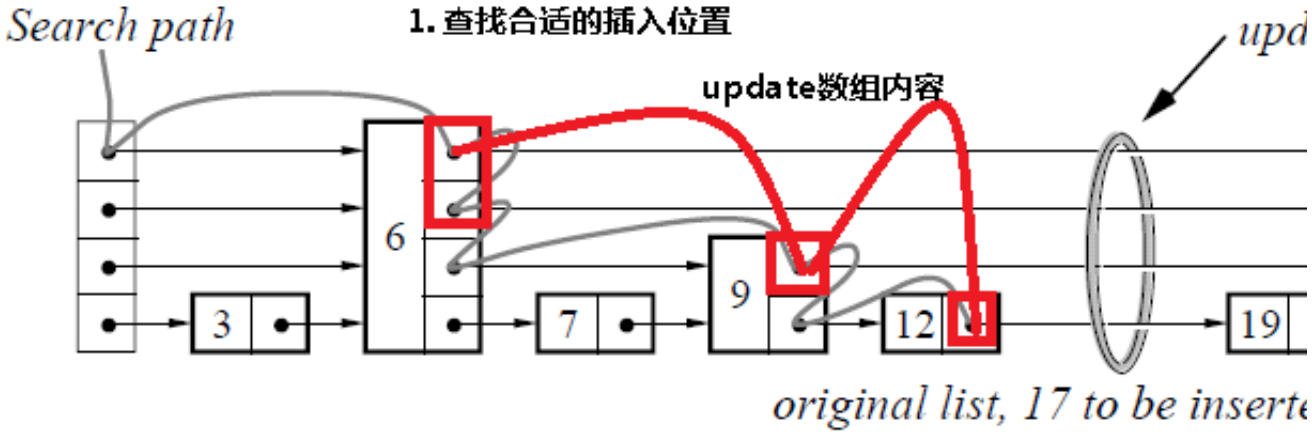
初始化的过程很简单，仅仅是生成下图中红线区域内的部分，也就是跳表的基础结构：

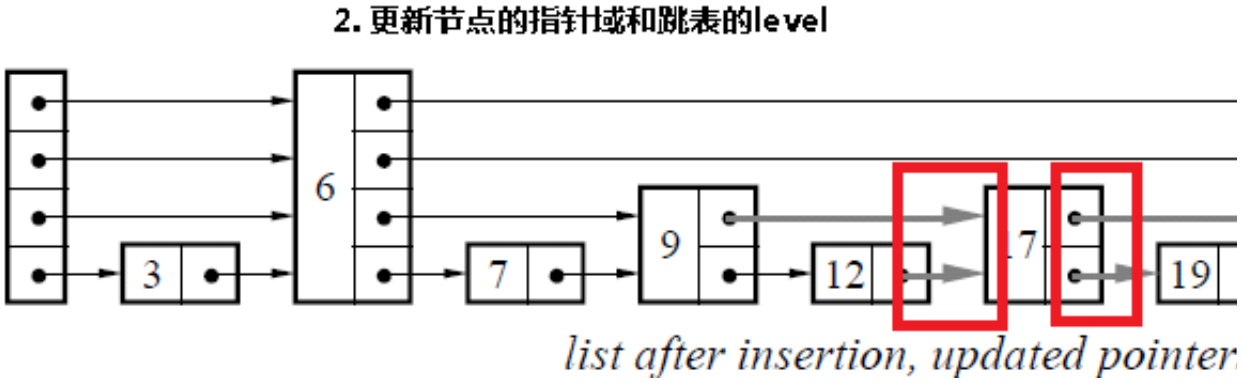



```
list newList()
{
  list l;
  int i;
  // 申请list类型大小的内存
  l = (list)malloc(sizeof(struct listStructure));
  // 设置跳表的层level，初始的层为0层（数组从0开始）
  l->level = 0;

  // 生成header部分
  l->header = newNodeOfLevel(MaxNumberOfLevels);
  // 将header的forward数组清空
  for(i=0;i<MaxNumberOfLevels;i++) l->header->forward[i] = NIL;
  return(l);

};
```

4.2 插入操作

由于跳表数据结构整体上是有序的，所以在插入时，需要首先查找到合适的位置，然后就是修改指针（和链表中操作类似），然后更新跳表的level变量。





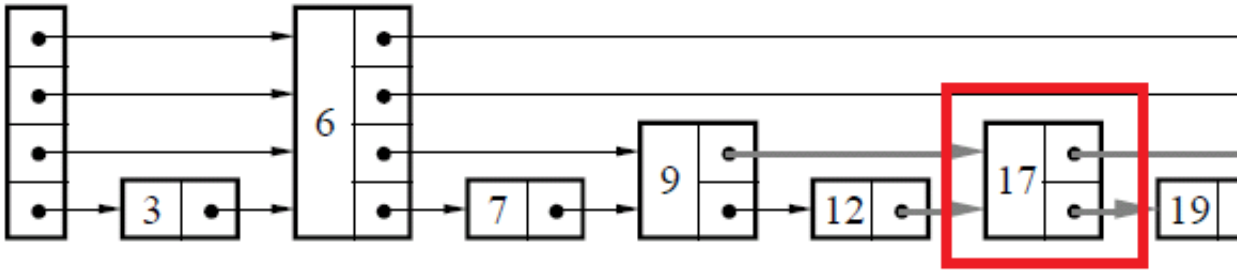

```
boolean insert(l,key,value)
        register list l;
        register keyType key;
        register valueType value;
{
  register int k;
  // 使用了update数组
  node update[MaxNumberOfLevels];
  register node p,q;
  p = l->header;
  k = l->level;
  /*******************1步**********************/
  do {
            // 查找插入位置
            while (q = p->forward[k], q->key < key)
                  p = q;

            // 设置update数组
            update[k] = p;
      } while(--k>=0);      // 对于每一层进行遍历

      // 这里已经查找到了合适的位置，并且update数组已经
      // 填充好了元素
   if (q->key == key)
   {
     q->value = value;
     return(false);
   };
```

```
 // 随机生成一个层数
 k = randomLevel();
if (k>l->level)
{
    // 如果新生成的层数比跳表的层数大的话
  // 增加整个跳表的层数
    k = ++l->level;
    // 在update数组中将新添加的层指向l->header
    update[k] = l->header;
};

/******************2步*********************/
// 生成层数个节点数目
q = newNodeOfLevel(k);
q->key = key;
q->value = value;

// 更新两个指针域
do
{
        p = update[k];
        q->forward[k] = p->forward[k];
        p->forward[k] = q;
    } while(--k>=0);

    // 如果程序运行到这里，程序已经插入了该节点
 return(true);

}
```

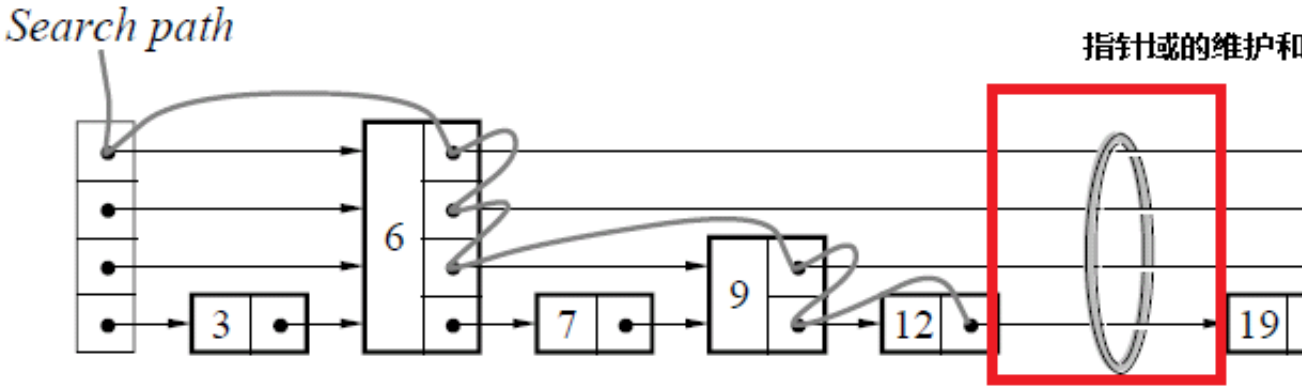
4.3 删除某个节点

和插入是相同的，首先查找需要删除的节点，如果找到了该节点的话，那么只需要更新指针域，如果跳表的level需要更新的话，进行更新。

1. 首先查找需要删除的节点17，并设置update



2. 维护跳表的数据结构



指针域的维护和

```
boolean delete(l,key)
register list l;
register keyType key;
{
  register int k,m;
  // 生成一个辅助数组update
  node update[MaxNumberOfLevels];
  register node p,q;
  p = l->header;
  k = m = l->level;
  // 这里和查找部分类似，最终update中包含的是：
  // 指向该节点对应层的前驱节点
  do
  {
            while (q = p->forward[k], q->key < key)
                  p = q;
                  update[k] = p;
      } while(--k>=0);
      // 如果找到了该节点，才进行删除的动作
  if (q->key == key)
  {
      // 指针运算
            for(k=0; k<=m && (p=update[k])->forward[k] == q; k++)
                  // 这里可能修改l->header->forward数组的值的
              p->forward[k] = q->forward[k];
            // 释放实际内存
            free(q);

            // 如果删除的是最大层的节点，那么需要重新维护跳表的
```

```
            // 层数level
        while( l->header->forward[m] == NIL && m > 0 )
            m--;
            l->level = m;
            return(true);
        }
    else
        // 没有找到该节点，不进行删除动作
        return(false);

}
```

4.4 查找

查找操作其实已经在插入和删除过程中包含，比较简单，可以参考源代码。

<5>. 论文，代码下载及参考资料

SkipList论文

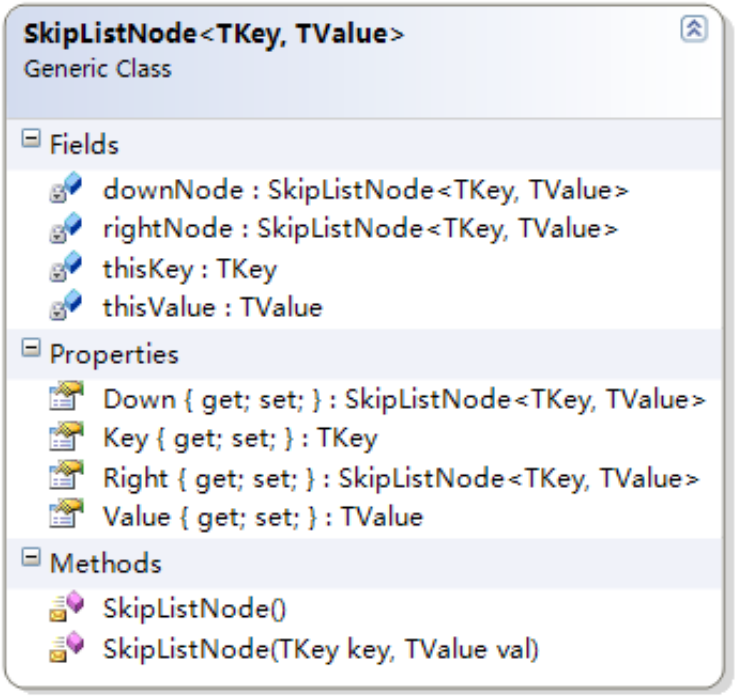
/Files/xuqiang/skipLists.rar

//--

增加跳表c#实现代码 2011-5-29下午

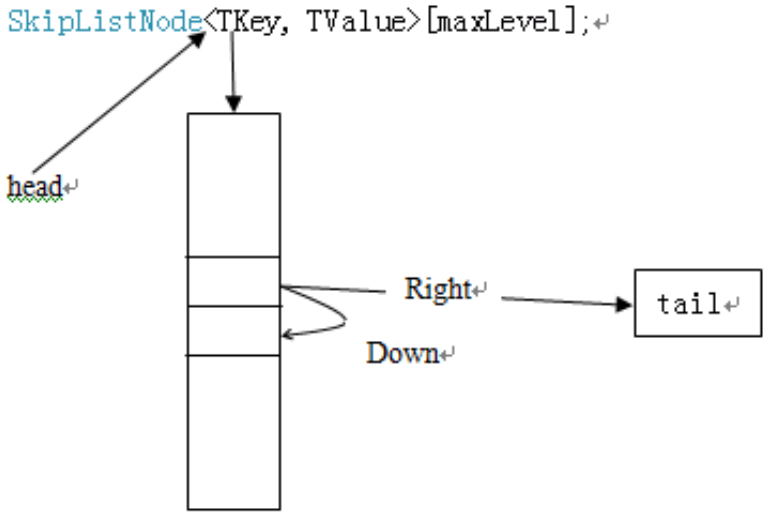
上面给出的数据结构的模型是直接按照跳表的模型得到的，另外还有一种数据结构的模型：

跳表节点类型，每个跳表类型中仅仅存储了左侧的节点和下面的节点：



我们现在来看对于这种模型的操作代码：

1. 初始化完成了如下的操作：



2. 插入操作：和上面介绍的插入操作是类似的，首先查找到插入的位置，生成update数组，然后随机生成一个level，然后修改指针。

3. 删除操作：和上面介绍的删除操作是类似的，查找到需要删除的节点，如果查找不到，抛出异常，如果查找到的需要删除的节点的话，修改指针，释放删除节点的内存。