10.用哈希表封装myunordered_map和myunordered_set

1. 源码及框架分析

SGI-STL30版本源代码中没有unordered_map和unordered_set，SGI-STL30版本是C++11之前的STL版本，这两个容器是C++11之后才更新的。但是SGI-STL30实现了哈希表，只容器的名字是hash_map和hash_set，他是作为非标准的容器出现的，非标准是指非C++标准规定必须实现的，源代码在hash_map/hash_set/stl_hash_map/stl_hash_set/stl_hashtable.h中

hash_map和hash_set的实现结构框架核心部分截取出来如下：

```
// stl_hash_set
template <class Value, class HashFcn = hash<Value>,
          class EqualKey = equal_to<Value>,
          class Alloc = alloc>
class hash_set
{
private:
  typedef hashtable<Value, Value, HashFcn, identity<Value>,
                    EqualKey, Alloc> ht;
  ht rep;
public:
  typedef typename ht::key_type key_type;
  typedef typename ht::value_type value_type;
  typedef typename ht::hasher hasher;
  typedef typename ht::key_equal key_equal;

  typedef typename ht::const_iterator iterator;
  typedef typename ht::const_iterator const_iterator;

  hasher hash_funct() const { return rep.hash_funct(); }
  key_equal key_eq() const { return rep.key_eq(); }
};


// stl_hash_map
template <class Key, class T, class HashFcn = hash<Key>,
          class EqualKey = equal_to<Key>,
          class Alloc = alloc>
class hash_map
```

```
{
private:
  typedef hashtable<pair<const Key, T>, Key, HashFcn,
                    select1st<pair<const Key, T> >, EqualKey, Alloc> ht;
  ht rep;

public:
  typedef typename ht::key_type key_type;
  typedef T data_type;
  typedef T mapped_type;
  typedef typename ht::value_type value_type;
  typedef typename ht::hasher hasher;
  typedef typename ht::key_equal key_equal;

  typedef typename ht::iterator iterator;
  typedef typename ht::const_iterator const_iterator;
};

// stl_hashtable.h
template <class Value, class Key, class HashFcn,
          class ExtractKey, class EqualKey,
          class Alloc>
class hashtable {
public:
  typedef Key key_type;
  typedef Value value_type;
  typedef HashFcn hasher;
  typedef EqualKey key_equal;
private:
  hasher hash;
  key_equal equals;
  ExtractKey get_key;
  typedef __hashtable_node<Value> node;

  vector<node*,Alloc> buckets;
  size_type num_elements;
public:
  typedef __hashtable_iterator<Value, Key, HashFcn, ExtractKey, EqualKey,
Alloc> iterator;
  pair<iterator, bool> insert_unique(const value_type& obj);
  const_iterator find(const key_type& key) const;
};

template <class Value>
struct __hashtable_node
{
  __hashtable_node* next;
```

```
76    Value val;
77 };
```

- 这里我们就不再画图分析了，通过源码可以看到，结构上hash_map和hash_set跟map和set的完全类似，复用同一个hashtable实现key和key/value结构，hash_set传给hash_table的是两个key，hash_map传给hash_table的是pair<const key, value>
- 需要注意的是源码里面跟map/set源码类似，命名风格比较乱，这里比map和set还乱，hash_set模板参数居然用的Value命名，hash_map用的是Key和T命名，可见大佬有时写代码也不规范，乱弹琴。下面我们模拟一份自己的出来，就按自己的风格走了。

2. 模拟实现unordered_map和unordered_set

2.1 实现出复用哈希表的框架，并支持insert

- 参考源码框架，unordered_map和unordered_set复用之前我们实现的哈希表。
- 我们这里相比源码调整一下，key参数就用K，value参数就用V，哈希表中的数据类型，我们使用T。
- 其次跟map和set相比而言unordered_map和unordered_set的模拟实现类结构更复杂一点，但是大框架和思路是完全类似的。因为HashTable实现了泛型不知道T参数导致是K，还是pair<K, V>，那么insert内部进行插入时要用K对象转换成整形取模和K比较相等，因为pair的value不参与计算取模，且默认支持的是key和value一起比较相等，我们需要时的任何时候只需要比较K对象，所以我们在unordered_map和unordered_set层分别实现一个MapKeyOfT和SetKeyOfT的仿函数传给HashTable的KeyOfT，然后HashTable中通过KeyOfT仿函数取出T类型对象中的K对象，再转换成整形取模和K比较相等，具体细节参考如下代码实现。

```
1  // MyUnorderedSet.h
2  namespace bit
3  {
4      template<class K, class Hash = HashFunc<K>>
5      class unordered_set
6      {
7          struct SetKeyOfT
8          {
9              const K& operator()(const K& key)
10             {
11                 return key;
12             }
13         };
14     public:
15         bool insert(const K& key)
16         {
```

```
17            return _ht.Insert(key);
18        }
19    private:
20        hash_bucket::HashTable<K, K, SetKeyOfT, Hash> _ht;
21    };
22 }
23
24 // MyUnorderedMap.h
25 namespace bit
26 {
27    template<class K, class V, class Hash = HashFunc<K>>
28    class unordered_map
29    {
30        struct MapKeyOfT
31        {
32            const K& operator()(const pair<K, V>& kv)
33            {
34                    return kv.first;
35            }
36        };
37    public:
38        bool insert(const pair<K, V>& kv)
39        {
40                return _ht.Insert(kv);
41        }
42    private:
43        hash_bucket::HashTable<K, pair<K, V>, MapKeyOfT, Hash> _ht;
44    };
45 }
46
47 // HashTable.h
48 template<class K>
49 struct HashFunc
50 {
51    size_t operator()(const K& key)
52    {
53        return (size_t)key;
54    }
55 };
56
57 namespace hash_bucket
58 {
59    template<class T>
60    struct HashNode
61    {
62        T _data;
63        HashNode<T>* _next;
```

```
64
65          HashNode(const T& data)
66                  :_data(data)
67                  ,_next(nullptr)
68          {}
69      };
70
71      // 实现步骤:
72      //  1、实现哈希表
73      //  2、封装unordered_map和unordered_set的框架  解决KeyOfT
74      //  3、iterator
75      //  4、const_iterator
76      //  5、key不支持修改的问题
77      //  6、operator[]
78      template<class K, class T, class KeyOfT, class Hash>
79      class HashTable
80      {
81          typedef HashNode<T> Node;
82
83          inline unsigned long __stl_next_prime(unsigned long n)
84          {
85
86              static const int __stl_num_primes = 28;
87              static const unsigned long __stl_prime_list[__stl_num_primes] =
88              {
89                53,         97,           193,       389,       769,
90                1543,       3079,         6151,      12289,     24593,
91                49157,      98317,        196613,    393241,    786433,
92                1572869,    3145739,      6291469,   12582917,  25165843,
93                50331653,   100663319,    201326611, 402653189, 805306457,
94                1610612741, 3221225473, 4294967291
95              };
96
97              const unsigned long* first = __stl_prime_list;
98              const unsigned long* last = __stl_prime_list + __stl_num_primes;
99              const unsigned long* pos = lower_bound(first, last, n);
100             return pos == last ? *(last - 1) : *pos;
101         }
102     public:
103         HashTable()
104         {
105             _tables.resize(__stl_next_prime(_tables.size()), nullptr);
106         }
107
108         ~HashTable()
109         {
110             // 依次把每个桶释放
```

```
111             for (size_t i = 0; i < _tables.size(); i++)
112             {
113                 Node* cur = _tables[i];
114                 while (cur)
115                 {
116                         Node* next = cur->_next;
117                         delete cur;
118                         cur = next;
119                 }
120                 _tables[i] = nullptr;
121             }
122         }
123 
124         bool Insert(const T& data)
125         {
126             KeyOfT kot;
127             if (Find(kot(data)))
128                   return false;
129 
130             Hash hs;
131             size_t hashi = hs(kot(data)) % _tables.size();
132 
133             // 负载因子==1扩容
134             if (_n == _tables.size())
135             {
136                 vector<Node*> newtables(__stl_next_prime(_tables.size()),
    nullptr);
137                 for (size_t i = 0; i < _tables.size(); i++)
138                 {
139                     Node* cur = _tables[i];
140                     while (cur)
141                     {
142                         Node* next = cur->_next;
143 
144                         // 旧表中结点，挪动新表重新映射的位置
145                         size_t hashi = hs(kot(cur->_data)) % newtables.size();
146                         // 头插到新表
147                         cur->_next = newtables[hashi];
148                         newtables[hashi] = cur;
149 
150                         cur = next;
151                     }
152 
153                     _tables[i] = nullptr;
154                 }
155 
156                 _tables.swap(newtables);
```

```
            }

            // 头插
            Node* newnode = new Node(data);
            newnode->_next = _tables[hashi];
            _tables[hashi] = newnode;
            ++_n;

            return true;
        }
    private:
        vector<Node*> _tables;  // 指针数组
        size_t _n = 0;          // 表中存储数据个数
    };
}
```

2.2 支持iterator的实现

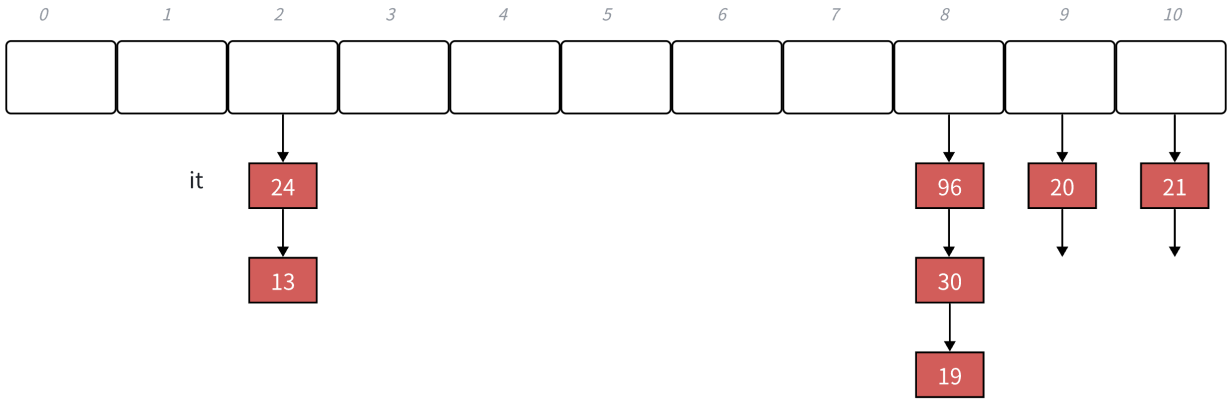
iterator核心源代码

```
template <class Value, class Key, class HashFcn,
          class ExtractKey, class EqualKey, class Alloc>
struct __hashtable_iterator {
  typedef hashtable<Value, Key, HashFcn, ExtractKey, EqualKey, Alloc>
          hashtable;
  typedef __hashtable_iterator<Value, Key, HashFcn,
                               ExtractKey, EqualKey, Alloc>
          iterator;
  typedef __hashtable_const_iterator<Value, Key, HashFcn,
                                     ExtractKey, EqualKey, Alloc>
          const_iterator;
  typedef __hashtable_node<Value> node;

  typedef forward_iterator_tag iterator_category;
  typedef Value value_type;

  node* cur;
  hashtable* ht;

  __hashtable_iterator(node* n, hashtable* tab) : cur(n), ht(tab) {}
  __hashtable_iterator() {}
  reference operator*() const { return cur->val; }
#ifndef __SGI_STL_NO_ARROW_OPERATOR
  pointer operator->() const { return &(operator*()); }
#endif /* __SGI_STL_NO_ARROW_OPERATOR */
```

```
  iterator& operator++();
  iterator operator++(int);
  bool operator==(const iterator& it) const { return cur == it.cur; }
  bool operator!=(const iterator& it) const { return cur != it.cur; }
};

template <class V, class K, class HF, class ExK, class EqK, class A>
__hashtable_iterator<V, K, HF, ExK, EqK, A>&
__hashtable_iterator<V, K, HF, ExK, EqK, A>::operator++()
{
  const node* old = cur;
  cur = cur->next;
  if (!cur) {
    size_type bucket = ht->bkt_num(old->val);
    while (!cur && ++bucket < ht->buckets.size())
      cur = ht->buckets[bucket];
  }
  return *this;
}
```

iterator实现思路分析

- iterator实现的大框架跟list的iterator思路是一致的，用一个类型封装结点的指针，再通过重载运算符实现，迭代器像指针一样访问的行为，要注意的是哈希表的迭代器是单向迭代器。
- 这里的难点是operator++的实现。iterator中有一个指向结点的指针，如果当前桶下面还有结点，则结点的指针指向下一个结点即可。如果当前桶走完了，则需要想办法计算找到下一个桶。这里的难点是反而是结构设计的问题，参考上面的源码，我们可以看到iterator中除了有结点的指针，还有哈希表对象的指针，这样当前桶走完了，要计算下一个桶就相对容易多了，用key值计算出当前桶位置，依次往后找下一个不为空的桶即可。
- begin()返回第一个桶中第一个节点指针构造的迭代器，这里end()返回迭代器可以用空表示。
- unordered_set的iterator也不支持修改，我们把unordered_set的第二个模板参数改成const K即可，`HashTable<K, const K, SetKeyOfT, Hash> _ht;`
- unordered_map的iterator不支持修改key但是可以修改value，我们把unordered_map的第二个模板参数pair的第一个参数改成const K即可，`HashTable<K, pair<const K, V>, MapKeyOfT, Hash> _ht;`
- 支持完整的迭代器还有很多细节需要修改，具体参考下面题的代码。



2.3 map支持[]

- unordered_map要支持[]主要需要修改insert返回值支持，修改HashTable中的insert返回值为 `pair<Iterator, bool> Insert(const T& data)`
- 有了insert支持[]实现就很简单了，具体参考下面代码实现

2.4 bit::unordered_map和bit::unordered_set代码实现

```
// MyUnorderedSet.h
namespace bit
{
    template<class K, class Hash = HashFunc<K>>
    class unordered_set
    {
            struct SetKeyOfT
            {
                const K& operator()(const K& key)
                {
                        return key;
                }
            };
    public:
            typedef typename hash_bucket::HashTable<K, const K, SetKeyOfT, Hash>::Iterator iterator;
            typedef typename hash_bucket::HashTable<K, const K, SetKeyOfT, Hash>::ConstIterator const_iterator;

            iterator begin()
            {
                    return _ht.Begin();
            }

            iterator end()
```

```
24              {
25                      return _ht.End();
26              }
27
28              const_iterator begin() const
29              {
30                      return _ht.Begin();
31              }
32
33              const_iterator end() const
34              {
35                      return _ht.End();
36              }
37
38              pair<iterator, bool> insert(const K& key)
39              {
40                      return _ht.Insert(key);
41              }
42
43              iterator Find(const K& key)
44              {
45                      return _ht.Find(key);
46              }
47
48              bool Erase(const K& key)
49              {
50                      return _ht.Erase(key);
51              }
52
53      private:
54              hash_bucket::HashTable<K, const K, SetKeyOfT, Hash> _ht;
55      };
56
57      void test_set()
58      {
59              unordered_set<int> s;
60              int a[] = { 4, 2, 6, 1, 3, 5, 15, 7, 16, 14, 3,3,15 };
61              for (auto e : a)
62              {
63                      s.insert(e);
64              }
65
66              for (auto e : s)
67              {
68                      cout << e << " ";
69              }
70              cout << endl;
```

```
71
72              unordered_set<int>::iterator it = s.begin();
73              while (it != s.end())
74              {
75                      // 不支持修改
76                      //*it += 1;
77
78                      cout << *it << " ";
79                      ++it;
80              }
81              cout << endl;
82      }
83  }
84
85  // MyUnorderedMap.h
86  namespace bit
87  {
88      template<class K, class V, class Hash = HashFunc<K>>
89      class unordered_map
90      {
91              struct MapKeyOfT
92              {
93                      const K& operator()(const pair<K, V>& kv)
94                      {
95                              return kv.first;
96                      }
97              };
98      public:
99              typedef typename hash_bucket::HashTable<K, pair<const K, V>,
    MapKeyOfT, Hash>::Iterator iterator;
100             typedef typename hash_bucket::HashTable<K, pair<const K, V>,
    MapKeyOfT, Hash>::ConstIterator const_iterator;
101
102             iterator begin()
103             {
104                     return _ht.Begin();
105             }
106
107             iterator end()
108             {
109                     return _ht.End();
110             }
111
112             const_iterator begin() const
113             {
114                     return _ht.Begin();
115             }
```

```
116
117             const_iterator end() const
118             {
119                     return _ht.End();
120             }
121
122             pair<iterator, bool> insert(const pair<K, V>& kv)
123             {
124                     return _ht.Insert(kv);
125             }
126
127             V& operator[](const K& key)
128             {
129                     pair<iterator, bool> ret = _ht.Insert(make_pair(key, V()));
130                     return ret.first->second;
131             }
132
133             iterator Find(const K& key)
134             {
135                     return _ht.Find(key);
136             }
137
138             bool Erase(const K& key)
139             {
140                     return _ht.Erase(key);
141             }
142
143     private:
144             hash_bucket::HashTable<K, pair<const K, V>, MapKeyOfT, Hash> _ht;
145     };
146
147     void test_map()
148     {
149             unordered_map<string, string> dict;
150             dict.insert({ "sort", "排序" });
151             dict.insert({ "left", "左边" });
152             dict.insert({ "right", "右边" });
153
154             dict["left"] = "左边，剩余";
155             dict["insert"] = "插入";
156             dict["string"];
157
158             unordered_map<string, string>::iterator it = dict.begin();
159             while (it != dict.end())
160             {
161                     // 不能修改first，可以修改second
162                     //it->first += 'x';
```

```
163                     it->second += 'x';
164
165                     cout << it->first << ":" << it->second << endl;
166                     ++it;
167             }
168             cout << endl;
169     }
170 }
171
172 // HashTable.h
173 template<class K>
174 struct HashFunc
175 {
176     size_t operator()(const K& key)
177     {
178             return (size_t)key;
179     }
180 };
181
182 // 特化
183 template<>
184 struct HashFunc<string>
185 {
186     size_t operator()(const string& key)
187     {
188             size_t hash = 0;
189             for (auto e : key)
190             {
191                     hash *= 131;
192                     hash += e;
193             }
194
195             return hash;
196     }
197 };
198
199 namespace hash_bucket
200 {
201     template<class T>
202     struct HashNode
203     {
204             T _data;
205             HashNode<T>* _next;
206
207             HashNode(const T& data)
208                     :_data(data)
209                     ,_next(nullptr)
```

```
210             {}
211     };
212
213     // 前置声明
214     template<class K, class T, class KeyOfT, class Hash>
215     class HashTable;
216
217     template<class K, class T, class Ptr, class Ref, class KeyOfT, class Hash>
218     struct HTIterator
219     {
220         typedef HashNode<T> Node;
221         typedef HTIterator<K, T, Ptr, Ref, KeyOfT, Hash> Self;
222
223         Node* _node;
224         const HashTable<K, T, KeyOfT, Hash>* _pht;
225
226         HTIterator(Node* node, const HashTable<K, T, KeyOfT, Hash>* pht)
227                 :_node(node)
228                 ,_pht(pht)
229         {}
230
231         Ref operator*()
232         {
233             return _node->_data;
234         }
235
236         Ptr operator->()
237         {
238             return &_node->_data;
239         }
240
241         bool operator!=(const Self& s)
242         {
243             return _node != s._node;
244         }
245
246         Self& operator++()
247         {
248             if (_node->_next)
249             {
250                     // 当前桶还有节点
251                     _node = _node->_next;
252             }
253             else
254             {
255                     // 当前桶走完了，找下一个不为空的桶
256                     KeyOfT kot;
```

```
257                     Hash hs;
258                     size_t hashi = hs(kot(_node->_data)) % _pht->_tables.size();
259                     ++hashi;
260                     while (hashi < _pht->_tables.size())
261                     {
262                             if (_pht->_tables[hashi])
263                             {
264                                     break;
265                             }
266
267                             ++hashi;
268                     }
269
270                     if (hashi == _pht->_tables.size())
271                     {
272                             _node = nullptr; // end()
273                     }
274                     else
275                     {
276                             _node = _pht->_tables[hashi];
277                     }
278             }
279
280             return *this;
281         }
282     };
283
284     template<class K, class T, class KeyOfT, class Hash>
285     class HashTable
286     {
287         // 友元声明
288         template<class K, class T, class Ptr, class Ref, class KeyOfT, class Hash>
289         friend struct HTIterator;
290
291         typedef HashNode<T> Node;
292     public:
293         typedef HTIterator<K, T, T*, T&, KeyOfT, Hash> Iterator;
294         typedef HTIterator<K, T, const T*, const T&, KeyOfT, Hash> ConstIterator;
295
296         Iterator Begin()
297         {
298                 if (_n == 0)
299                         return End();
300
```

```
301                 for (size_t i = 0; i < _tables.size(); i++)
302                 {
303                         Node* cur = _tables[i];
304                         if (cur)
305                         {
306                                 return Iterator(cur, this);
307                         }
308                 }
309 
310                 return End();
311         }
312 
313         Iterator End()
314         {
315                 return Iterator(nullptr, this);
316         }
317 
318         ConstIterator Begin() const
319         {
320                 if (_n == 0)
321                         return End();
322 
323                 for (size_t i = 0; i < _tables.size(); i++)
324                 {
325                         Node* cur = _tables[i];
326                         if (cur)
327                         {
328                                 return ConstIterator(cur, this);
329                         }
330                 }
331 
332                 return End();
333         }
334 
335         ConstIterator End() const
336         {
337                 return ConstIterator(nullptr, this);
338         }
339 
340         inline unsigned long __stl_next_prime(unsigned long n)
341         {
342 
343                 static const int __stl_num_primes = 28;
344                 static const unsigned long __stl_prime_list[__stl_num_primes] =
345                 {
346                   53,         97,         193,       389,       769,
347                   1543,       3079,       6151,      12289,     24593,
```

```
348                   49157,      98317,      196613,    393241,    786433,
349                   1572869,    3145739,    6291469,   12582917,  25165843,
350                   50331653,   100663319,  201326611, 402653189, 805306457,
351                   1610612741, 3221225473, 4294967291
352                 };
353
354                 const unsigned long* first = __stl_prime_list;
355                 const unsigned long* last = __stl_prime_list +
    __stl_num_primes;
356                 const unsigned long* pos = lower_bound(first, last, n);
357                 return pos == last ? *(last - 1) : *pos;
358         }
359
360         HashTable()
361         {
362                 _tables.resize(__stl_next_prime(_tables.size()), nullptr);
363         }
364
365         ~HashTable()
366         {
367                 // 依次把每个桶释放
368                 for (size_t i = 0; i < _tables.size(); i++)
369                 {
370                         Node* cur = _tables[i];
371                         while (cur)
372                         {
373                                 Node* next = cur->_next;
374                                 delete cur;
375                                 cur = next;
376                         }
377                         _tables[i] = nullptr;
378                 }
379         }
380
381         pair<Iterator, bool> Insert(const T& data)
382         {
383                 KeyOfT kot;
384                 Iterator it = Find(kot(data));
385                 if (it != End())
386                         return make_pair(it, false);
387
388                 Hash hs;
389                 size_t hashi = hs(kot(data)) % _tables.size();
390
391                 // 负载因子==1扩容
392                 if (_n == _tables.size())
393                 {
```

```
394
395                         vector<Node*>
    newtables(__stl_next_prime(_tables.size()+1), nullptr);
396                         for (size_t i = 0; i < _tables.size(); i++)
397                         {
398                                 Node* cur = _tables[i];
399                                 while (cur)
400                                 {
401                                         Node* next = cur->_next;
402
403                                         // 旧表中节点，挪动新表重新映射的位置
404                                         size_t hashi = hs(kot(cur->_data)) %
    newtables.size();
405                                         // 头插到新表
406                                         cur->_next = newtables[hashi];
407                                         newtables[hashi] = cur;
408
409                                         cur = next;
410                                 }
411
412                                 _tables[i] = nullptr;
413                         }
414
415                         _tables.swap(newtables);
416                 }
417
418                 // 头插
419                 Node* newnode = new Node(data);
420                 newnode->_next = _tables[hashi];
421                 _tables[hashi] = newnode;
422                 ++_n;
423
424                 return make_pair(Iterator(newnode, this), true);
425         }
426
427         Iterator Find(const K& key)
428         {
429                 KeyOfT kot;
430                 Hash hs;
431                 size_t hashi = hs(key) % _tables.size();
432                 Node* cur = _tables[hashi];
433                 while (cur)
434                 {
435                         if (kot(cur->_data) == key)
436                         {
437                                 return Iterator(cur, this);
438                         }
```

```
439
440                         cur = cur->_next;
441                 }
442
443                 return End();
444         }
445
446         bool Erase(const K& key)
447         {
448                 KeyOfT kot;
449                 Hash hs;
450
451                 size_t hashi = hs(key) % _tables .size();
452                 Node* prev = nullptr;
453                 Node* cur = _tables[hashi];
454                 while (cur)
455                 {
456                         if (kot(cur->_data) == key)
457                         {
458                                 if (prev == nullptr)
459                                 {
460                                         _tables[hashi] = cur->_next;
461                                 }
462                                 else
463                                 {
464                                         prev->_next = cur->_next;
465                                 }
466
467                                 delete cur;
468                                 --_n;
469                                 return true;
470                         }
471
472                         prev = cur;
473                         cur = cur->_next;
474                 }
475
476                 return false;
477         }
478     private:
479         vector<Node*> _tables;  // 指针数组
480         size_t _n = 0;          // 表中存储数据个数
481     };
482 }
```