2.向量

（c）无序向量

邓俊辉

deng@tsinghua.edu.cn

元素访问

- 似乎不是问题：通过`V.get(r)`和`V.put(r, e)`接口，已然可以读、写向量元素
- 但就**便捷性**而言，远不如数组元素的访问方式：`A[r]`　　//可否沿用借助下标的访问方式？
- 可以！为此，需**重载**下标操作符“[]”

```
template <typename T> //0 <= r < _size
T & Vector<T>::operator[]( Rank r ) const { return _elem[ r ]; }
```

- 此后，对外的`V[ r ]`即对应于内部的`V._elem[ r ]`

右值：`T x = V[r] + U[s] * W[t];`

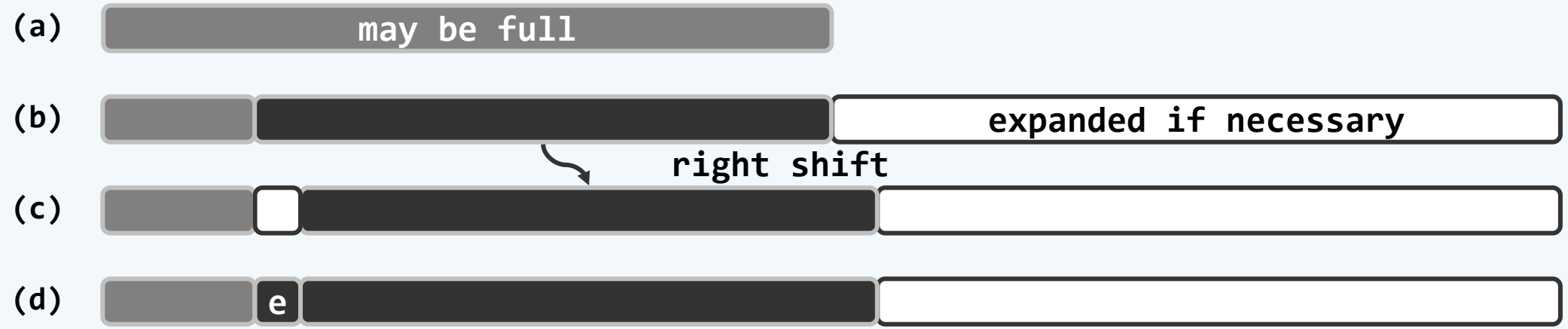
左值：`V[r] = (T) (2*x + 3);`

- 为便于讲解，这里采用了简易的方式处理意外和错误（比如，入口参数越界等）

实际应用中，应采用更为严格的方式

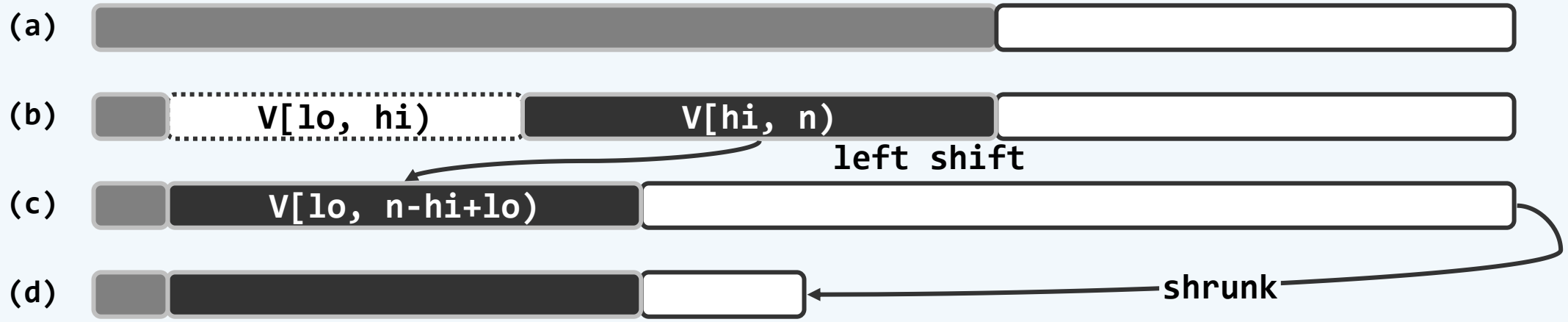
插入

```
template <typename T> //e作为秩为r元素插入，0 <= r <= size
Rank Vector<T>::insert(Rank r, T const & e) { //O(n - r)
    expand(); //若有必要，扩容
    for (int i = _size; i > r; i--) //自后向前
        _elem[i] = _elem[i - 1]; //后继元素顺次后移一个单元
    _elem[r] = e; _size++; //置入新元素，更新容量
    return r; //返回秩
}
```



区间删除

```
❖template <typename T> //删除区间[lo, hi)，0 <= lo <= hi <= size
  int Vector<T>::remove( Rank lo, Rank hi ) { //O(n - hi)
     if ( lo == hi ) return 0; //出于效率考虑，单独处理退化情况
     while ( hi < _size ) _elem[ lo ++ ] = _elem[ hi ++ ]; //[hi, _size)顺次前移
     _size = lo; shrink(); //更新规模，若有必要则缩容
     return hi - lo; //返回被删除元素的数目
  }
```



单元素删除

- 可以视作区间删除操作的特例：[r] = [r, r + 1)
- template <typename T> //删除向量中秩为r的元素，0 <= r < size

```
T Vector<T>::remove( Rank r ) { //O(n - r)
   T e = _elem[r]; //备份被删除元素
   remove( r, r + 1 ); //调用区间删除算法
   return e; //返回被删除元素
}
```

- 反过来，基于remove(r)接口，通过反复的调用，实现remove(lo, hi)呢？
- 每次循环耗时正比于删除区间的后缀长度 = n - hi = $O(n)$

  而循环次数等于区间宽度 = hi - lo = $O(n)$

  如此，将导致总体$O(n^2)$的复杂度

查找

- 无序向量：T为可判等的基本类型，或已重载操作符"=="或"!="

  有序向量：T为可比较的基本类型，或已重载操作符"<"或">"

  例如：稍后介绍的词条类Entry

- template <typename T> //O(hi - lo) = O(n)，在命中多个元素时可返回秩最大者

```
Rank Vector<T>::find( T const & e, Rank lo, Rank hi ) const { //0<=lo<hi<=_size
   while ( (lo < hi--) && (e != _elem[hi]) ); //逆向查找
   return hi; //hi < lo意味着失败；否则hi即命中元素的秩
} //Excel::match(e, range, type)
```

- 输入敏感（input-sensitive）：最好O(1)，最差O(n)

唯一化：算法

❖ 应用实例：网络搜索的局部结果经过去重操作，汇总为最终报告

❖
```
template <typename T> //删除重复元素，返回被删除元素数目
int Vector<T>::deduplicate() { //繁琐版 + 错误版
   int oldSize = _size; //记录原规模
   Rank i = 1; //从_elem[1]开始
   while ( i < _size ) //自前向后逐一考查各元素_elem[i]
      find( _elem[i], 0, i ) < 0 ? //在前缀中寻找雷同者
         i++ //若无雷同则继续考查其后继
       : remove(i); //否则删除雷同者（至多一个？！）
   return oldSize - _size; //向量规模变化量，即删除元素总数
}
```

唯一化：正确性

❖ **不变性**：在当前元素V[i]的前缀V[0, i)中，各元素彼此**互异**

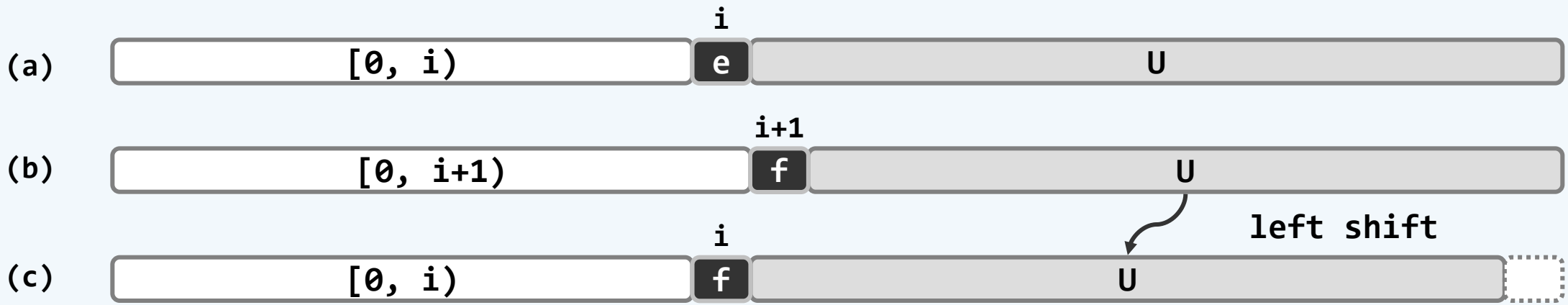
初始i = 1时自然成立；其余的一般情况，...

❖ **单调性**：随着反复的while迭代

1）当前元素**前缀**的长度单调非降，且迟早增至_size　//1)和2)对应

2）当前元素**后缀**的长度单调下降，且迟早减至0　//2)更易把握

故算法**必然终止**，且至多迭代$O(n)$轮



唯一化：复杂度

❖ 每轮迭代中find()和remove()累计耗费线性时间，总体$O(n^2)$　//可进一步优化，比如...

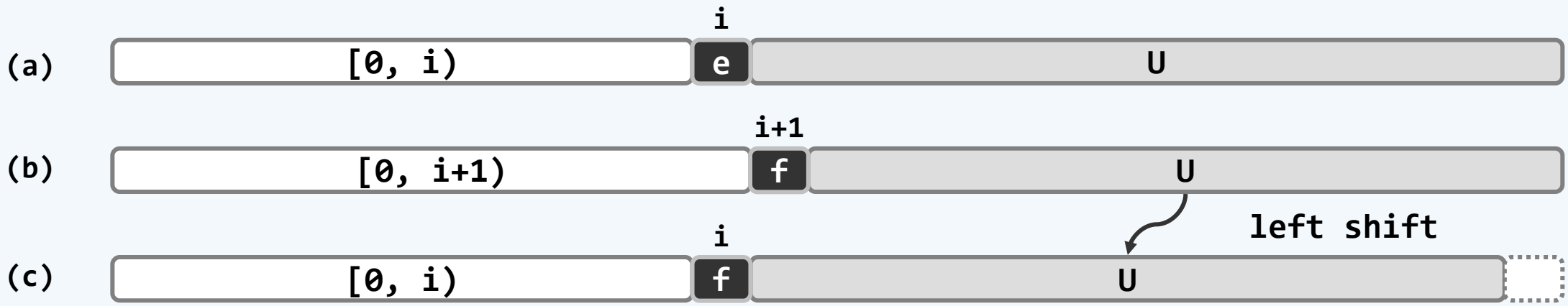
❖ 1. 仿照uniquify()高效版的思路，元素移动的次数可降至$O(n)$

但比较次数依然是$O(n^2)$；而且，稳定性将被破坏

2. 先对需删除的重复元素做标记，然后再统一删除

稳定性保持，但因查找长度更长，从而导致更多的比对操作

3. V.sort().uniquify()：简明实现最优的$O(n\log n)$　//下节



遍历

❖ 遍历向量，统一对各元素分别实施visit操作

如何指定visit操作？如何将其传递到向量内部？

❖ 利用函数指针机制，只读或局部性修改

```
template <typename T>
void Vector<T>::traverse( void ( * visit )( T & ) )
   { for (int i = 0; i < _size; i++) visit( _elem[i] ); }
```

❖ 利用函数对象机制，可全局性修改

```
template <typename T> template <typename VST>
void Vector<T>::traverse( VST & visit )
   { for (int i = 0; i < _size; i++) visit( _elem[i] ); }
```

❖ 体会两种方法的优劣

遍历：实例

- 比如，为统一将向量中所有元素分别加一，只需...
- 首先，实现一个可使单个T类型元素加一的类

```
template <typename T> //假设T可直接递增或已重载操作符“++”
struct Increase { //函数对象：通过重载操作符“()”实现
   virtual void operator()( T & e ) { e++; } //加一
};
```

- 此后...

```
template <typename T> void increase( Vector<T> & V ) {
   V.traverse( Increase<T>() ); //即可以之为基本操作遍历向量
}
```

- 作为练习，可模仿此例，实现统一减一、加倍，甚至求和等遍历功能