浙江工业大学

数据结构课程设计

实验报告

2022/2023(1)

实验题目 大整数的运算

学生姓名 温家伟

学生学号 202103151422

学生班级 大数据分析 2101

任课教师 蒋莉

提交日期 2022-11-30

目录

1.大型实验的内容

1.1 问题描述

密码学分为两类密码：对称密码和非对称密码。对称密码主要用于数据的加/解密，而非对称密码则主要用于认证、数字签名等场合。非对称密码在加密和解密时，是把加密的数据当作一个大的正整数来处理，这样就涉及到大整数的加、减、乘、除和指数运算等，同时，还需要对大整数进行输出。请采用相应的数据结构实现大整数的加、减、乘、除和指数运算，以及大整数的输入和输出。

1.2 基本要求

（1）要求采用链表来实现大整数的存储和运算，不允许使用标准模板类的链表类(list)和函数。同时要求可以从键盘输入大整数，也可以文件输入大整数，大整数可以输出至显示器，也可以输出至文件。大整数的存储、运算和显示，可以同时支持二进制和十进制，但至少要支持十进制。大整数输出显示时，必须能清楚地表达出整数的位数。测试时，各种情况都需要测试，并附上测试截图；要求测试例子要比较详尽，各种极限情况也要考虑到，测试的输出信息要详细易懂，表明各个功能的执行正确；

（2）要求大整数的长度可以不受限制，即大整数的十进制位数不受限制，可以为十几位的整数，也可以为 500 多位的整数，甚至更长；大整数的运算和显示时，只需要考虑正的大整数。如果可能的话，请以秒为单位显示每次大整数运算的时间；

（3）要求采用类的设计思路，不允许出现类以外的函数定义，但允许友元函数。主函数中只能出现类的成员函数的调用，不允许出现对其它函数的调用；

（4）要求采用多文件方式：.h 文件存储类的声明，.cpp 文件存储类的实现，主函数 main 存储在另外一个单独的 cpp 文件中。如果采用类模板，则类的声明和实现都放在.h 文件中；

（5）不强制要求采用类模板，也不要求采用可视化窗口，要求源程序中有相应注释；

（6）建议采用 Visual C++ 6.0 及以上版本进行调试。

1.3 实验提示

（1）大整数的加减运算可以分解为普通整数的运算来实现；而大整数的乘、除和指数运算，可以分解为大整数的加减运算；

（2）大整数的加、减、乘、除和指数运算，一般是在求两大整数在取余操作下的加、减、乘、除和指数运算，即分别求 (a + b) mod n, (a - b) mod n, (a * b) mod n, (a / b) mod n 和(a ^ b)mod n。其中 a ^ b 是求 a 的 b 次方，而 n 称之为模数。说明：取余操作(即 mod 操作)是计算相除之后所得的余数。不同于除法运算的是，取余操作得到的是余数，而

不是除数。如 7 mod 5 = 2。模数 n 的设定，可以为 2^m 或 10^m，m 允许每次计算时从键盘输入。模数 n 的取值一般为 2^512(相当于十进制 150 位左右)，2^1024(相当于十进制 200~300 位)，2^2048(相当于十进制 300~500 位)。为了测试，模数 n 也可以为 2^256，2^128 等值；

（3）需要设计主要类有：链表类和大整数类。链表类用于处理链表的相关操作，包括缺省构造函数、拷贝构造函数、赋值函数、析构函数、链表的创建、插入、删除和显示等；而大整数类则用于处理大整数的各种运算和显示等。

2. 程序的设计思路与整体流程

本次实验使用主体上分为三个部分，即大整数的实现逻辑、界面的设计和大整数的管理。

程序设计思路图

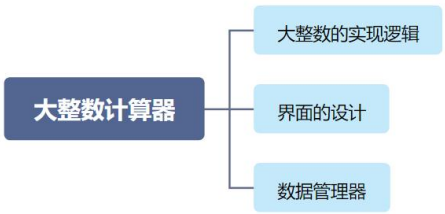


图 2-1

大整数的实现逻辑包括 Bignum.hpp 几个文件，其中 Vector 和 List 分别模拟实现了 STL 库中的 vector 和 list。然后，大整数类 Bignum 可由线性容器适配而成（仿照 STL 中 stack 由 deque 适配）。Vector 和 List 两个类分别实现了迭代器，以此统一它们在 Bignum 类中的行为。

界面的设计包括 Widget.h、Widget.cpp、Button.h、Button.cpp、Window.h、Window.cpp 几个文件。Widget 是抽象部件基类，Button 按钮类和 Window 窗口类都是继承自 Widget 类。

数据管理器写在 Manager.h 和 Manager.cpp 两个文件中，主要用于管理数据读写文件，以及大整数数据的增删查改等。

2.1 大整数的实现逻辑

2.1.1 List 的模拟实现

List 的实现模拟了 STL 中的 list，是带头双向循环链表。并且封装了迭代器以模拟指针的行为，由于链表是按需申请的空间，不连续，都是一块一块的，所以不必考虑迭代器失效

的问题。

list 迭代器不同于 string 和 vector 迭代器，string 类和 vector 类储存的数据是连续的，它们的迭代器类似指针，但是 list 类存储的数据是随机的，不能简单的用指针加减来进行访问。

为了使 list 满足迭代器的要求，我们对 list 结点进行封装，对结点指针的各种运算符操作进行重载。

模板参数列表当中为什么有三个模板参数？

```
template<class T, class Ref, class Ptr>
```

在 list 的模拟实现当中，我们 typedef 了两个迭代器类型，普通迭代器和 const 迭代器。

```
typedef __list_iterator<T, Ref, Ptr> iterator;
typedef __list_iterator<T, const T&, const T*> const_iterator;
```

迭代器类的模板参数列表当中的 Ref 和 Ptr 分别代表的是引用类型和指针类型。

当我们使用普通迭代器时，编译器就会实例化出一个普通迭代器对象；当我们使用 const 迭代器时，编译器就会实例化出一个 const 迭代器对象。其实，这很好的体现了代码的复用，当写好普通迭代器，然后再实现 const 迭代器的时候，我们首先想到的就是复制粘贴一份，然后再改出一份适于 const 类型的迭代器，但加入 3 个模板参数就可以很好地解决这个问题——普通类型模板传参 T&、T*，const 类型模板传参 const T&、const T*。

```
template<class T>
struct list_node
{
    T _data;
    list_node<T>* _next;
    list_node<T>* _prev;
    // 节点的构造函数
    list_node(const T& x = T()):_data(x), _next(nullptr), _prev(nullptr);
};

template<class T, class Ref, class Ptr>
struct __list_iterator
{
    typedef list_node<T> Node;
    typedef __list_iterator<T, Ref, Ptr> iterator;
    typedef T value_type;
    typedef Ptr pointer;
```

```
    typedef Ref reference;
    Node* _node;
    // 迭代器的构造函数
    __list_iterator(Node* node):_node(node);
    // 重载!=
    bool operator!=(const iterator& it) const;
    // 重载==
    bool operator==(const iterator& it) const;
    // 重载解引用操作符
    Ref operator*();
    // 重载->操作符
    Ptr operator->();
    // 重载+操作符
    iterator operator+(int pos);
    // 重载前置++操作符
    iterator& operator++();
    // 重载后置++操作符
    iterator operator++(int);
    // 重载前置--操作符
    iterator& operator--();
    // 重载后置--操作符
    iterator operator--(int);
};
template<class T>
class List
{
    typedef list_node<T> Node;
public:
    typedef __list_iterator<T, T&, T*> iterator;
    typedef __list_iterator<T, const T&, const T*> const_iterator;
    typedef __reverse_iterator<iterator, T&, T*> reverse_iterator;
    typedef __reverse_iterator<const_iterator, const T&, const T*> const_reverse_iterator;
    // const 迭代器的头
    const_iterator begin() const;
    // const 迭代器的尾
    const_iterator end() const;
    // 迭代器的头
    iterator begin();
    // 迭代器的尾
    iterator end();
    // 反向迭代器的头
    reverse_iterator rbegin();
    // const 反向迭代器的头
    const_reverse_iterator rbegin() const;
```

```
    // 反向迭代器的尾
    reverse_iterator rend();
    // const 反向迭代器的尾
    const_reverse_iterator rend() const;
    // 容器的第一个元素
    T& first();
    // 链表的构造函数
    List();
    // 链表的拷贝构造函数
    List(const List<T>& lt);
    // 链表的赋值运算符重载函数
    List<T>& operator=(List<T> lt);
    // 析构函数
    ~List();
    // 清理函数
    void clear();
    // 容器的大小
    size_t size() const;
    // 尾插
    void push_back(const T& x);
    // 头插
    void push_front(const T& x);
    // 任意位置的插入函数
    iterator insert(iterator pos, const T& x);
    // 尾删
    void pop_back();
    // 头删
    void pop_front();
    // 任意位置的删除函数
    iterator erase(iterator pos);
    // 交换函数
    void swap(List<T>& lt);
private:
    Node* _head;
};
```

2.1.2 Vector 的模拟实现

Vector 同样模拟的是 STL 中的 vector，由于他的迭代器就是原生指针，其他逻辑也都比较简单，此处便不展开赘述，详细的实现逻辑见源代码。

```
class Vector
{
public:
    typedef T* iterator;// 普通迭代器
    typedef const T* const_iterator;// const 迭代器
```

```
typedef __reverse_iterator<iterator, T&, T*> reverse_iterator;// 反向迭代器
typedef __reverse_iterator<const_iterator, const T&, const T*>
const_reverse_iterator;// const 反向迭代器
// 无参构造
Vector():_start(nullptr), _finish(nullptr), _endofstorage(nullptr);
// 拷贝构造
Vector(const Vector<T>& v):_start(nullptr), _finish(nullptr), _endofstorage(nullptr);
// 赋值运算符重载函数
Vector<T>& operator=(const Vector<T>& v);
// 析构函数
~Vector();
// 迭代器的头
iterator begin();
// const 迭代器的头
const_iterator begin() const;
// 迭代器的尾
iterator end();
// const 迭代器的尾
const_iterator end() const;
// 反向迭代器的头
reverse_iterator rbegin();
// const 反向迭代器的头
const_reverse_iterator rbegin() const;
// 反向迭代器的尾
reverse_iterator rend();
// const 反向迭代器的尾
const_reverse_iterator rend() const;
// 容器大小
size_t size()const;
// 容器容量
size_t capacity()const;
// 提前开空间
void reserve(size_t n);
// 开空间并初始化
void resize(size_t n, const T& val = T());
// 删除
iterator erase(iterator pos);
// 尾插
void push_back(const T& x);
// 尾删
void pop_back();
// 容器的第一个元素
T& first();
// 重载下标访问操作符
```

```
    T& operator[](size_t pos);
    // 重载下标访问操作符的 const 版本
    const T& operator[](size_t pos) const;
    // 插入
    void insert(iterator pos, const T& x);
private:
    iterator _start;
    iterator _finish;
    iterator _endofstorage;
};
```

2.1.3 Bignum 的模拟实现

因为用到了模板，而模板不支持分离编译，所以把.h 和.cpp 放到一个文件中，即.hpp 文件。

```
template<class Container = List<int>>
//考虑用容器适配器封装，顺序容器的迭代器全部实现以此统一成员函数的实现逻辑
class Bignum
{
public:
    //正向迭代器的头
    typename Container::iterator begin();
    //反向迭代器的头
    typename Container::reverse_iterator rbegin();
    //正向迭代器的尾
    typename Container::iterator end();
    //反向迭代器的尾
    typename Container::reverse_iterator rend();
    //大整数的长度
    size_t length()const;
    //输入
    void push_back(int val);
    //重载>
    bool operator>(const Bignum& right)const;
    //重载>=
    bool operator>=(const Bignum& right)const;
    //重载<
    bool operator<(const Bignum& right)const;
    //重载<=
    bool operator<=(const Bignum& right)const;
    //重载==
    bool operator==(const Bignum& right)const;
    //重载!=
    bool operator!=(const Bignum& right)const;
    //重载+
```

```
    Bignum operator+(const Bignum& right)const;
    //重载+=
    Bignum& operator+=(const Bignum& right);
    //重载-
    Bignum operator-(const Bignum& right);
    Bignum operator-(const Bignum& right)const;
    //重载-=
    Bignum& operator-=(const Bignum& right);
    //重载*
    Bignum operator*(const Bignum& right);
    //重载*=
    Bignum& operator*=(const Bignum& right);
    //重载/
    Bignum operator/(const Bignum& right);
    //重载/=
    Bignum& operator/=(const Bignum& right);
    //重载%
    Bignum operator%(const Bignum& right);
    //重载%=
    Bignum& operator%=(const Bignum& right);
    //重载^
    Bignum operator^(const Bignum& right);
    //重载^=
    Bignum& operator^=(const Bignum& right);
    friend std::wstringstream& operator>>(std::wstringstream& in, Bignum& right);
    //重载<<
    friend ostream& operator<<(ostream& out, const Bignum& right);
    // 显示函数
    void display(ostream& out)const;
    // 大整数转 wstring
    wstring Bignum2wstring();
    wstring Bignum_wstring()const;
    // 大整数转 string
    string Bignum_string()const;
    //2 进制转 10 进制
    void bin2dec();
    //10 进制转 2 进制
    void dec2bin();
private:
    //工具函数，实现一位数乘大整数
    Bignum _miniMul(int num, const Bignum& bignum);
    //工具函数，计算平方
    Bignum square(Bignum& right);
    Container _con;           //适配大整数
```

};

在 Bignum 这个类中，只有一个数据成员_con,他的类型为 Container，是用模板实现的，即 template<class Container = List<int>> _con 用来存放大整数。这里就是模仿了 STL 中的适配器，（就像 stack 由 deque 适配出），模板给了缺省值 List<int>,即符合了题目的用链表实现的要求。同时，在使用这个类的时候也可显示的传入其他参数。经测试，大多线性容器都可以，除了用自己实现的 Vector<int>之外，也同样支持 STL 中的 vector<int>、list<int>和 deque<int>。

成员函数重点介绍+-*/%^六个函数，其他有些代码较短，比较简单，详细实现逻辑见源代码。

重载二元算数运算符+ - * / % ^ 时，这里特别说明，虽然用^来表示次方运算改变了^的原意（按位异或），但是 map 里也有重载[]的情况，而且确实^的优先级也比其他 5 个运算符高，此次实验中也不会用到按位异或的操作，^也符合用户的输入习惯，所以此处用^来表示次方运算。

+= -= *= /= %= ^= 几个运算符分别复用对应的运算符即可。

下面是几个运算符的具体实现：

加法操作：模拟竖式加法，从后往前用两个迭代器遍历，carry 表示进位。由此有三种情况，左边迭代器走到尾：ret 插入右操作数+进位；右边迭代器走到尾：ret 插入左操作数+进位；左右迭代器都没有走到尾：ret 插入左操作数+右操作数+进位。

比如 86043+5582：在图 2-2 中，定义两个反向迭代器，分别指在 3 和 2 的位置上。第一次相加进位是 0；第二次相加时进位是 1，所以第三次相加时就加上刚才相加的进位 1。当迭代器分别走到 6 和 5 的位置,完成相加后,下一次相加由于右操作数上已经没有数字了，所以 ret 插入左操作数+进位。

加法示例图

图 2-2

减法操作：左等于右：直接返回 0；左大于右：右的每一个数字乘以 -1，然后模拟竖

式减法，borrow 表示借位；左小于右：右减左，然后给第一个数字乘上 -1。

乘法操作模拟了竖式乘法，即个位乘以另一个数，加上十位乘以另一个数再乘十……，其中，一位数与大整数相乘单独写一个迷你乘法当作工具函数以供调用。加法操作复用了前面写好的加等运算符。

比如 1234*567：图 2-3 中，用迭代器反向遍历 567，即可把乘法操作转化为下面的三个迷你乘法和两个加法操作。其中，加法得到的和存在 ret 里面，这里复用了前面写过的+=操作符；而迷你乘法专为本函数来写，所以设置为工具函数放在 private 里面，具体的实现思路为：

```
Bignum _miniMul(int num, const Bignum& bignum);
```

一个 int 类型的整数乘以 Bignum，即用迭代器遍历 Bignum,用每一位乘以 num，然后再维护一个 carry 来存放进位。

乘法示例图

图 2-3

除法操作模拟了竖式除法，先用迭代器定位出一个大整数类型的 temp 对象，每次商一个数，商好之后就减去已经除掉的部分，迭代器后移，以表示下一位数被拉下来。循环此过程即得到答案，最后记得把 0 去掉即可。

比如 7375428413/125473：图 2-4 中，temp 对象先取前六位 737542（和 125473 一样的位数），然后从 9 开始，循环往下乘 125473（9*125473、8*125473、7*125473……）当得数小于 737542 的时候就跳出循环。而本例中 5*125473=627365，小于 737542，跳出循环。这时，用 737542 减去刚才的得数 627365，得到 110187，这时再把 8 插入，即 1101878。如此循环往复，直至求出答案。

除法示例图

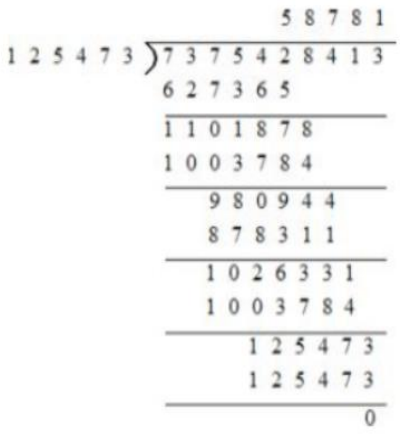


图 2-4

%复用了除法，由数学关系式“返回值 = 左 - (左 / 右) *右”得出，这个比较简单。

次方用了递归的算法，比如要算 2 的 100 次方，先算 2 的平方，再算 2 的平方的平方一直这样算下去直到逼近 100.此时应该已经算出来 2 的 64 次方，那么接下来就只需算 2 的 36 次方，递归调用自己即可。

2.2 界面的设计

界面设计用到了继承和多态的知识。界面用到三个类：按钮类、表格类和窗口类，而它们都有统一的一部分，那就是形状都是矩形。所以不妨先设计一个抽象部件基类，然后这三个类再去继承他们。这样可以大大减少代码的重复，为后续的维护工作提供了方便。

界面类关系示意图

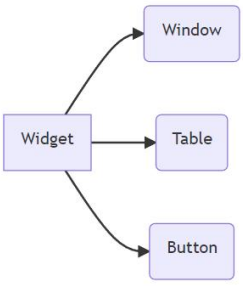


图 2-5

2.2.1 Widget

```
using std::wstring;

// 部件抽象基类
class Widget
{
```

```
public:
    Widget(const int& x = 0, const int& y = 0, const int& width = 100, const int& height
= 60);
    virtual void show() const = 0;          // 纯虚函数，显示函数用多态来实现
protected:
    int _x;         // X 坐标
    int _y;         // Y 坐标
    int _width;     // 宽度
    int _height;    // 高度
};
```

现在的部件类就是一个长方形，然后显示函数设计为纯虚函数，以便之后的子类可以调到各自对应的 show()函数。

2.2.2 Button

```
class Button :public Widget
{
public:
    Button(const int& x, const int& y, const int& width,
    const int& height, const wstring& text);
    void show() const;
    bool state(const ExMessage& msg) const;
    const wstring& getText() const;
    void setText(const std::wstring& text);
    bool isIn(const ExMessage& msg) const;

private:
    wstring _text;                      // 按钮文本
};
```

按钮类继承自部件基类，按钮文本即按钮名称，提示用户进行相应操作。

show 函数用以绘制按钮和按钮文字；

state 函数用以判断按钮三种状态：鼠标悬浮在按钮上，鼠标点击按钮，其他；

getText 函数用以获取按钮文本；

setText 函数用以获取按钮文本；

isIn 函数用以判断鼠标是否在按钮的矩形框内；

2.2.3 Table

```
// 表格类
class Table :
    public Widget
{
public:
```

```
    Table(const Manager& manager, const int& x = 0, const int& y = 0, const int& width =
100, const int& height = 60);
    void show() const;                                  // 显示表格
    void pageUp();                                      // 上一页
    void pageDown();                                    // 下一页
    void showEditTable(const wchar_t* searchTerms); // 显示编辑表格
    const int& getSearchIndex() const;                  // 获取搜索索引

private:
    size_t curIndex;                                    // 当前大整数索引
    int searchIndex;                                    // 搜索索引
    const Manager& manager;                             // 管理器引用
};
```

表格类也是继承自部件基类，用于显示从文件中读取的数据。

curIndex 和 searchIndex 主要用于管理大整数及表格的绘制中的数学逻辑，manager 用于管理大整数，依托一个表达式结构体（后面会提到）。

2.2.4 Window

```
class Window :public Widget
{
public:
    // 窗口状态标识，每个状态代表了一个界面
    enum WindowState { mainWindow, viewBigums };
    #define BACKGROUND_IMAGE L"background.jpg"                  // 背景图片名的常量
    Window(const int& width = 600, const int& height = 400);
    void show() const;                                          // 显示窗口
    void messageLoop();                                         // 消息循环
    void close();                                               // 关闭窗口
    void showMainWindow();                                      // 显示主窗口
    void showViewBignums();                                     // 显示查看大整数窗口
    Bignum<List<int>> wstring2Bignum(wstring str);              // wstring转大整数

private:
    // 主窗口按钮
    Button* mainWindow_leftnum;          // 左操作数
    Button* mainWindow_rightnum;         // 右操作数
    Button* mainWindow_sign;             // 操作符
    Button* mainWindow_exit;             // 退出程序
    Button* mainWindow_RWfile;           // 读写文件

    // 查看大整数窗口按钮
    Button* RWfile_back;                 // 返回
    Button* RWfile_pageUp;               // 上一页
```

```
    Button* RWfile_pageDown;              // 下一页

    WindowState state;                    // 窗口状态
    Table* table;                         // 大数据表格
    Manager _manager;                     // 管理器
    Bignum<List<int>> _left;              // 左操作数
    Bignum<List<int>> _right;             // 右操作数
    Bignum<List<int>> _ret;               // 结果
    int _base = 0;                        // 进制
    // C++11的新特性，支持在声明时给缺省值
};
```

数据成员已经给出了详细的注释，成员函数见名知意。

构造函数完成了新建窗口、绘制表格，读取文件、设置绘图样式、创建按钮、显示主界面、进制选择等一系列操作。

消息循环函数的流程图如下：

消息循环函数的流程图

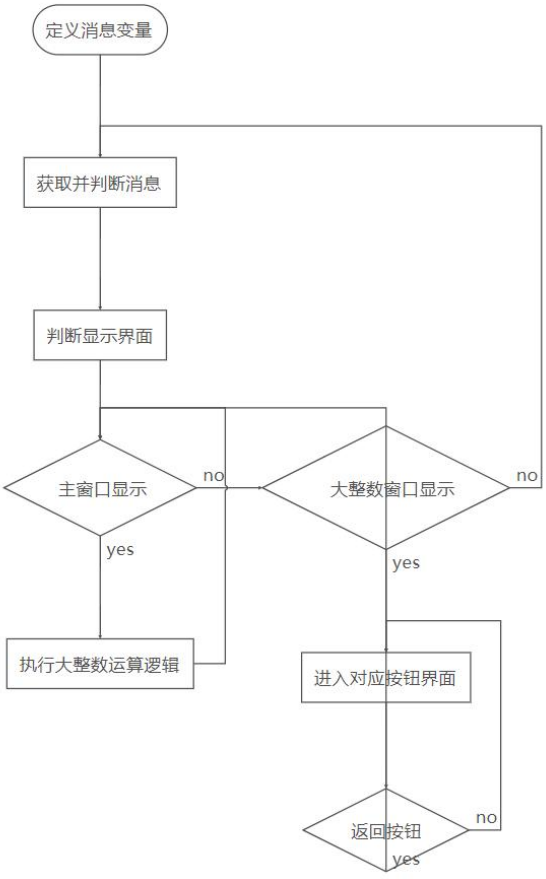


图 2-6

2.3 管理器的设计

```
struct Expression                    // 表达式结构体
{
    Bignum<List<int>> _left;         // 左操作数
    Bignum<List<int>> _right;        // 右操作数
    Bignum<List<int>> _result;       // 结果
    char _sign;                      // 操作符
};
class Manager
{
public:
    bool read(const std::string& fileName);                          // 读取文件到数据
    void write(const std::string& fileName, string wstr) const;      // 写入数据到文件
    void addBignum(const Expression& bignum);                        // 添加大整数
    const Expression& getBignums(const int& index) const;            // 获取大整数数据
    void setBignum(const int& index, const Expression& bignum);      // 修改大整数
    void deleteBignum(const int& index);                             // 删除大整数
    const size_t size() const;                                       // 大整数数量
    Bignum<List<int>> string2Bignum(string str);                     // string 转大整数
private:
    vector<Expression> _bignums;                                     // 大整数数组
};
```

首先定义一个表达式结构体 Expression，成员有左右操作数、运算符和结果。

然后管理器类的数据成员由表达式数组构成。在成员函数方面，读写都是文本文件的读写，我把两个文件分开，一个用于读取，另一个用于写入。其他函数都见名知意，或是一些辅助性质的函数，此处不再展开。

3. 调试分析

3.1 技术难点分析

3.1.1 界面的设计

早在写 C++课设的时候就用到了 easyX 图形库，但那时最初的使用明显还不够纯熟：大量重复的代码，杂乱无章的函数调用关系，以及那时还没有现在统一的面向对象的思想。C++的面向对象的思想，就是对客观事物的抽象：即先描述再组织。实现界面类的时候同样如此，定义一个部件抽象基类，再派生出按钮类、表格类和窗口类三个子类。纯虚函数的定义，也能让子类在合适的时候调用到对应的方法。

3.1.2 迭代器的模拟

可以说，迭代器的设计模式，是 STL 中的精华。本次实验模拟了迭代器。其中 Vector

的迭代器就是原生指针，而 List 的节点不连续，它的迭代器就需要进一步的封装。但在外部看来使用 List 的迭代器就像是在使用指针一样，这是因为它重载了指针的两个运算符*和->。

3.2 调试错误分析

3.2.1 宽字符的显示问题

因为 easy X 库中用的是宽字符（串），不经转换直接显示会有乱码的现象。所以应当写出两者转换的函数来对应 easy 库中的字符。

乱码错误示意图

图 3-1

3.2.2 减法操作的一些问题

在写次方操作、取模操作的时候，总是会遇到一些莫名的错误，排查后才发现，原来是减法操作就写的有问题，比如 43438-40239，先执行乘-1 的操作。即 43438+(-4 0 -2 -3 -9)，得到 03209，但在用借位转换的时候，等于 0 的情况也走了 else,直接导致了错误。所以应该大于 0、等于 0、小于 0 三种情况分开。

减法单步调试过程图

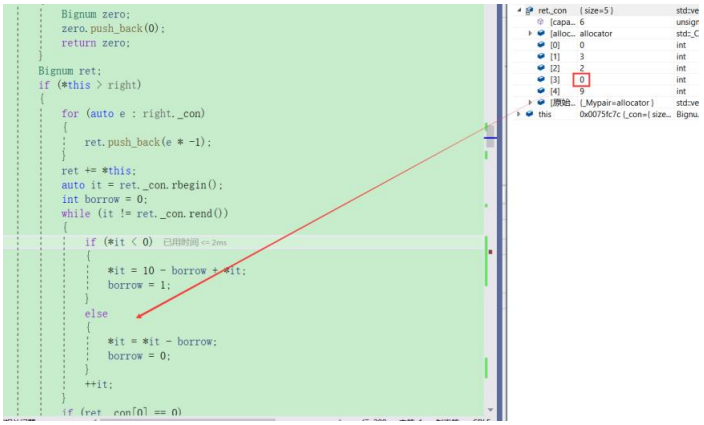


图 3-2

3.2.3 屏幕闪烁严重的问题

这个 showMainWindow()函数原本写在了循环里，直接导致了每次接受鼠标消息后，都要执行这个函数，这就意味着这个函数随着鼠标的移动而被不断执行，屏幕也不断刷新，而把它放到构造函数里就可以解决这个问题。构造函数只在窗口类初始化地时候执行一次，很好地完成了 showMainWindow()函数的功能，也就不会出现屏幕闪烁严重的问题了。

showMainWindow()函数位置图

```
void Window::messageLoop()
{
    ExMessage msg;          //保存鼠标消息的结构体
    // 开启消息循环
    while (true)
    {
        // 获取并判断消息
        msg = getmessage();
        showMainWindow()
        // 判断显示界面
        if (state == WindowState::mainWindow)       // 主窗口显示
        {
            // 输入左操作数
            if (mainWindow_leftnum->state(msg) && msg.message != WM_LBU
            {
                wchar_t leftnum[999];
                if (InputBox(leftnum, 999, L"请输入左操作数：", L"左操
                {
                    wstring temp(leftnum);
                    _left = wstring2Bignum(temp);
```

图 3-3

3.2.4 输入窗口弹两次（甚至更多次）的问题

```
if (mainWindow_leftnum->state(msg) && msg.message != WM_LBUTTONUP)
```

这里的代码原本没有加&&后的内容，输入窗口会弹出很多次。这是因为在新的窗口创建之前，循环执行了好多次。在电脑上创建 InputBox 窗口的时间内，假设循环执行了四次，因此鼠标的消息队列有了四个鼠标事件，并且左键都是按下的状态。而系统的确在这个时间内产生了很多鼠标消息，而有些消息是有可能左键同时按下的，比如当消息 WM_MOUSEMOVE 发生时，的确有可能鼠标左键按下为真。如果有这样多个消息产生，那么 InpuBox 就会弹出多次，所以应该检测是什么消息。

4. 测试与运行截图

首先是运行后选择进制，非 2 非 10 会提醒再次输入。

我们先选择十进制进行测试。

进制选择示意图

图 4-1

测试加法：123456789+987654321

加法测试示意图 1

图 4-2

加法测试示意图 2

图 4-3

加法测试示意图 3

图 4-4

加法测试示意图 4

图 4-5

加法测试示意图 5

图 4-6

测试减法：7186759-5100352

减法测试示意图

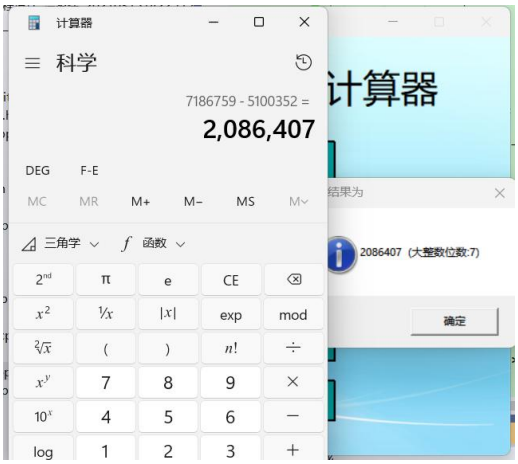


图 4-7

测试乘法：999999999*999999999

乘法测试示意图

图 4-8

测试除法：71807595100352*2022

除法测试示意图

图 4-9

测试取模：123456789%10

取模测试示意图

图 4-10

测试次方：2^10000

次方测试示意图 1

图 4-11

次方测试示意图 2

图 4-12

运行过后我们可以看到答案都很好的存在了 file.txt 中：

文件测试示意图

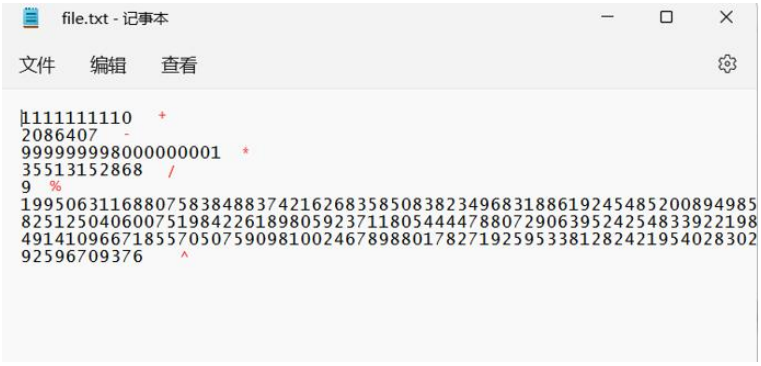


图 4-13

图 4-14 到 4-17 是从文件中读取大整数的演示：

文件读取示意图 1

图 4-14

文件读取示意图 2

图 4-15

文件读取示意图 3

图 4-16

文件读取示意图 4

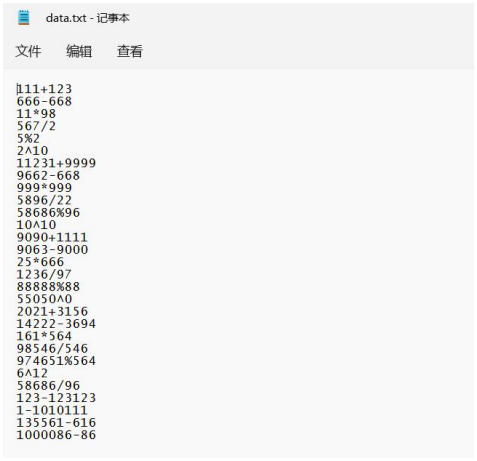


图 4-17

下面是二进制计算的测试：

二进制测试示意图

图 4-18

测试加法：1010101+1111111

二进制加法测试示意图

图 4-19

测试减法：1001001001-1010101

二进制减法测试示意图

图 4-20

测试乘法：111111111*111111111

二进制乘法测试示意图

图 4-21

测试除法：1001010010/10010

二进制除法测试示意图

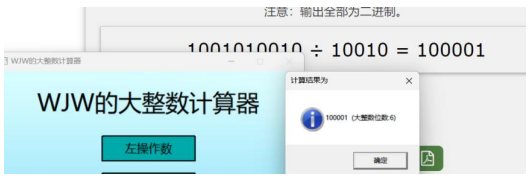


图 4-22

测试取模：1000%11（8%3）

二进制取模测试示意图

图 4-23

测试次方：10^111111(2^63)

二进制次方测试示意图 1

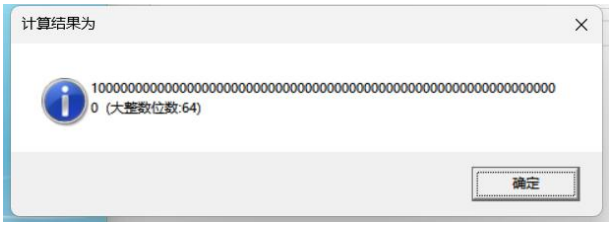
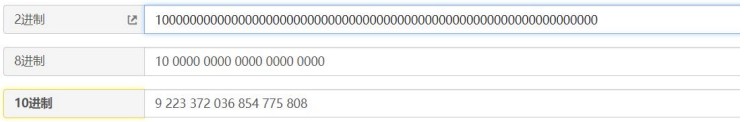


图 4-24

二进制次方测试示意图 2



二进制次方测试示意图 3

图 4-25

图 4-26

可以看到，新增了一些文件内容，即二进制的测试样例：

二进制文件测试示意图

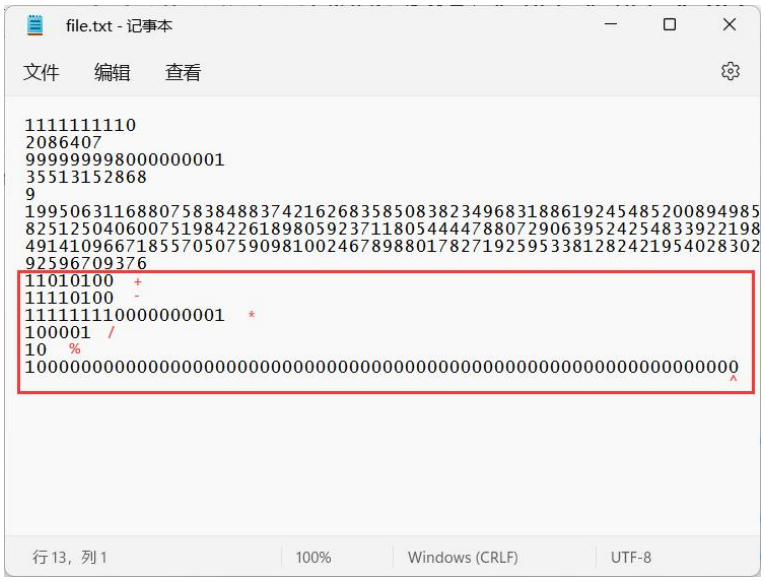


图 4-27

退出界面示意图

图 4-28

5. 实验总结

这次在写课设前就想着把学过的 C++知识都用进来，实验中包含了 STL 中的容器，迭代器，容器适配器的自定义实现。其实，在暑假就接触过这一部分的内容了，读了侯捷老师的《STL 源码剖析》，当首次接触到这一部分的技术时，个人内心是非常震撼的：容器能对外完全屏蔽内部的复杂实现逻辑，迭代器又将不同的容器的行为统一起来，适配器用泛型编程做到了代码的复用。仿函数很好的替代了函数指针，以及我在见到仿函数之前完全没有想过可以重载 operator()。并且在界面的设计上也用了继承和多态的

知识，先写一个抽象部件基类，然后窗口类，和按钮类再去继承它，这些都是我在 C++ 的课程设计中没有做到的。同时，这也算是我第一次按照面向对象的思想完完整整地写出的一份代码。都说软件工程要做到高内聚，低耦合。在这次实验中，写大整数的运算和设计界面是我分开进行的，但在最后合并地过程中并没有那么复杂，这就是面向对象的妙处！同时，在这次实验中也暴露了我的很多问题。比如，不改变数据成员的成员函数不加 const，这就导致常对象无法调用它，编程的细节习惯还是要从平时注意起来。学了 C++一年多了，终于才感觉摸到了 C++的一些门道，看着我的那本厚厚的《C++ Primer Plus》，也在感慨，自己还有很多要学习的知识。

除此之外，本次课设还有一些不满意的地方，比如次方运算速度太慢了（2^30000 大约要花 6 分钟，而我用 python 验证的时候确是秒出），首先看到这个要求的时候我还想的是一项一项的乘，这是一个不能用的算法，但后来想到了可以逐渐逼近的递归算法，确实优化了一些但还是算的很慢，这还是我要继续改进的地方。

6. 附录（源代码）

6.1 main.cpp

```
#include "Window.h"

int main()
{
    Window window(502, 420);
    window.messageLoop();
    return 0;
}
```

6.2 window.h

```
#pragma once
#include "Table.h"
#include "Widget.h"
#include "Button.h"
#include "Manager.h"
#include <Windows.h>
#include <time.h>
#include "List.hpp"

class Window :public Widget
{
```

```
public:
    // 窗口状态标识，每个状态代表了一个界面
    enum WindowState { mainWindow, viewBigums, edit };
    #define BACKGROUND_IMAGE L"background.jpg"                    // 背景图片名的常量
    Window(const int& width = 600, const int& height = 400);
    void show() const;                                            // 显示窗口
    void messageLoop();                                           // 消息循环
    void close();                                                 // 关闭窗口
    void showMainWindow();                                        // 显示主窗口
    void showViewBignums();                                       // 显示查看大整数窗口
    Bignum<List<int>> wstring2Bignum(wstring str);                // wstring转大整数

private:
    // 主窗口按钮
    Button* mainWindow_leftnum;           // 左操作数
    Button* mainWindow_rightnum;          // 右操作数
    Button* mainWindow_sign;              // 操作符
    Button* mainWindow_exit;              // 退出程序
    Button* mainWindow_RWfile;            // 读写文件

    // 查看大整数窗口按钮
    Button* RWfile_back;                  // 返回
    Button* RWfile_pageUp;                // 上一页
    Button* RWfile_pageDown;              // 下一页

    WindowState state;                    // 窗口状态
    Table* table;                         // 大数据表格
    Manager _manager;                     // 管理器
    Bignum<List<int>> _left;              // 左操作数
    Bignum<List<int>> _right;             // 右操作数
    Bignum<List<int>> _ret;               // 结果
    int _base = 0;                        // 进制
    // C++11的新特性，支持在声明时给缺省值
};
```

6.3 window.cpp

```
#include "Window.h"

// 宽字符串转大整数
Bignum<List<int>> Window::wstring2Bignum(wstring str)
{
    Bignum<List<int>> ret;
    for (auto e : str)
    {
```

```
            ret.push_back(e - '0');
        }
        return ret;
}

Window::Window(const int& width, const int& height) : Widget(0, 0, width, height)
{
        show();

        // 创建表格
        table = new Table(_manager, 10, 10, 502 - 20, 420 - 60);
        if (!_manager.read("data.txt"))
        {
            MessageBox(GetHWnd(), L"文件打开失败，无法对其进行操作！", L"错误", MB_OK |
MB_ICONERROR);
            exit(-1);
        }

        // 设置绘图样式
        LOGFONT f;                          // 字的属性结构体
        gettextstyle(&f);                   // 获取当前文字样式
        f.lfQuality = DEFAULT_QUALITY; // 指定文字的输出质量，指定输出质量不重要
        settextstyle(&f);                   // 设置当前文字样式
        settextcolor(BLACK);                // 设置当前文字颜色
        setbkmode(TRANSPARENT);             // 设置当前设备图案填充和文字输出时的背景模式,背景是
透明的
        setlinecolor(BLACK);                // 设置当前设备画线颜色

        // 创建按钮
        mainWindow_leftnum = new Button((502 - 150) / 2, 105, 150, 40, L"左操作数");
        mainWindow_rightnum = new Button((502 - 150) / 2, 165, 150, 40, L"右操作数");
        mainWindow_sign = new Button((502 - 150) / 2, 225, 150, 40, L"操作符");
        mainWindow_RWfile = new Button((502 - 150) / 2, 285, 150, 40, L"文件操作");
        mainWindow_exit = new Button((502 - 150) / 2, 345, 150, 40, L"退出程序");
        // 显示主界面
        showMainWindow();

        RWfile_pageUp = new Button(10, 380, 100, 30, L"上一页");
        RWfile_pageDown = new Button(250, 380, 100, 30, L"下一页");
        RWfile_back = new Button(380, 380, 100, 30, L"返回");
        // 进制选择
        while (_base != 2 && _base != 10)
        // 当输入进制不为2或10时，持续输入
        {
```

```
            wchar_t base[100];
            // 以对话框形式获取用户输入
            if (InputBox(base, 100, L"请选择进制(2/10)：", L"进制选择", NULL, 0, 0, false))
            {
                std::wstringstream format(base);
                format >> _base;
            }
        }
}

void Window::messageLoop()
{
    ExMessage msg;              //保存鼠标消息的结构体
    // 开启消息循环
    while (true)
    {
        // 获取并判断消息
        msg = getmessage();
        //showMainWindow();
        // 放到构造函数里去了，不然闪烁太严重
        //https://tieba.baidu.com/p/2242135590
        //解决InputBox弹两次的问题 && msg.message != WM_LBUTTONUP

        // 判断显示界面
        if (state == WindowState::mainWindow)       // 主窗口显示
        {
            // 输入左操作数
            if (mainWindow_leftnum->state(msg) && msg.message != WM_LBUTTONUP)
            {
                wchar_t leftnum[999];
                if (InputBox(leftnum, 999, L"请输入左操作数：", L"左操作数", NULL, 0, 0,
false))
                {
                    wstring temp(leftnum);
                    _left = wstring2Bignum(temp);
                }
            }
            // 输入右操作数
            else if (mainWindow_rightnum->state(msg) && msg.message != WM_LBUTTONUP)
            {
                wchar_t rightnum[999];
                if (InputBox(rightnum, 999, L"请输入右操作数：", L"右操作数", NULL, 0,
0, false))
                {
```

```
            wstring temp(rightnum);
            _right = wstring2Bignum(temp);
        }
    }
    // 输入操作符
    else if (mainWindow_sign->state(msg) && msg.message != WM_LBUTTONUP)
    {
        wchar_t sign[10];
        if (InputBox(sign, 10, L"请输入操作符：", L"操作符", NULL, 0, 0, false))
        {
            time_t start_time;
            time(&start_time);
            if (_base == 2)
            {
                _left.bin2dec();
                _right.bin2dec();
            }
            if (sign[0] == '+')
            {
                _ret = _left + _right;
            }
            else if (sign[0] == '-')
            {
                _ret = _left - _right;
            }
            else if (sign[0] == '*')
            {
                _ret = _left * _right;
            }
            else if (sign[0] == '/')
            {
                _ret = _left / _right;
            }
            else if (sign[0] == '%')
            {
                _ret = _left % _right;
            }
            else if (sign[0] == '^')
            {
                _ret = _left ^ _right;
            }
            if (_base == 2)
            {
                _ret.dec2bin();
```

```
                    }
                    time_t end_time;
                    time(&end_time);
                    wstring arr_bignum = _ret.Bignum2wstring();
                    wstring temp = to_wstring(int(_ret.length()));
                    arr_bignum.append(wstring(L"  (大整数位数:"));
                    arr_bignum.append(temp);
                    arr_bignum.append(wstring(L")"));
                    MessageBox(GetHWnd(), arr_bignum.c_str(), L"计算结果为", MB_OK |
MB_ICONINFORMATION);
                    time_t time = end_time - start_time;
                    wstring arr_second = to_wstring(int(time));
                    arr_second.append(wstring(L"秒"));
                    MessageBox(GetHWnd(), arr_second.c_str(), L"计算所用时间", MB_OK |
MB_ICONINFORMATION);
                    _manager.write("file.txt",_ret.Bignum_string());
                }
            }
            else if (mainWindow_RWfile->state(msg))
            {
                showViewBignums();
            }
            // 退出程序
            else if (mainWindow_exit->state(msg))
            {
                MessageBox(GetHWnd(), L"感谢使用！", L"退出", MB_OK |
MB_ICONINFORMATION);
                return;
            }
        }

        else if (state == Window::viewBigums)
        {
            if (RWfile_back->state(msg) && msg.message != WM_LBUTTONUP)
            {
                showMainWindow();
            }
            else if (RWfile_pageUp->state(msg) && msg.message != WM_LBUTTONUP)
            {
                table->pageUp();
            }
            else if (RWfile_pageDown->state(msg) && msg.message != WM_LBUTTONUP)
            {
                table->pageDown();
```

```
            }
        }
    }
}

void Window::showMainWindow()
{
    state = WindowState::mainWindow;
    cleardevice();
    // 加载背景图片
    loadimage(NULL, BACKGROUND_IMAGE, 502, 420);
    // 绘制提示文字
    RECT rect = { 0, 0, _width, 100 };
    settextstyle(50, 0, L"微软雅黑");
    drawtext(L"WJW的大整数计算器", &rect, DT_CENTER | DT_VCENTER | DT_SINGLELINE);
}

void Window::showViewBignums()
{
    state = WindowState::viewBigums;
    cleardevice();
    // 加载背景图片
    loadimage(NULL, BACKGROUND_IMAGE, 502, 420);

    // 显示控件
    table->show();
    RWfile_pageUp->show();
    RWfile_pageDown->show();
    RWfile_back->show();
}

void Window::show() const
{
    // 新建窗口
    SetWindowText(initgraph(_width, _height, EW_NOCLOSE), L"WJW的大整数计算器");
    setbkcolor(WHITE);
    cleardevice();
}

void Window::close()
{
    closegraph();
}
```

6.4 Table.h

```
#pragma once
#include "Widget.h"
#include "Manager.h"
#include <sstream>

// 表格类
class Table :
    public Widget
{
public:
    Table(const Manager& manager, const int& x = 0, const int& y = 0, const int& width =
100, const int& height = 60);
    void show() const;                                  // 显示表格
    void pageUp();                                      // 上一页
    void pageDown();                                    // 下一页
    void showEditTable(const wchar_t* searchTerms); // 显示编辑表格
    const int& getSearchIndex() const;                  // 获取搜索索引

private:
    size_t curIndex;                                    // 当前大整数索引
    int searchIndex;                                    // 搜索索引
    const Manager& manager;                             // 管理器引用
};
```

6.5 Table.cpp

```
#include "Table.h"

Table::Table(const Manager& manager, const int& x, const int& y
    , const int& width, const int& height)
    : Widget(x, y, width, height)
    , manager(manager)
{
    curIndex = 0;
    searchIndex = -1;
}

void Table::show() const
{
    // 设置绘图样式
    setfillcolor(WHITE);

    // 绘制表格
    fillrectangle(_x, _y, _x + _width, _y + _height);

    // 画竖线
```

```
    for (int i = 130; i <= 370; i += 120)
    {
        line(i, 10, i, 10 + 360);
    }

    // 画横线
    for (int j = 40; j <= 340; j += 30)
    {
        line(10, j, 10 + 482, j);
    }

    RECT rect;

    // 绘制表头
    wchar_t header[5][5] = { L"左操作数",L"操作符", L"右操作数", L"结果"}; // 表头数据
    for (int i = 10, j = 0; i < 490 && j < 5; i += 120, j++)
    {
        rect = { i, 10, i + 120, 10 + 30 };
        drawtext(header[j], &rect, DT_CENTER | DT_VCENTER | DT_SINGLELINE);
    }


    // 输出大整数数据

    size_t i = curIndex;

    for (int j = 40; j < 370; j += 30)
    {
        if (i < manager.size())    // 在不超出索引范围的情况下才读取数据
        {

            rect = { 10, j, 10 + 120, j + 30 };
            drawtext(manager.getBignums(i)._left.Bignum_wstring().c_str(), &rect,
DT_CENTER | DT_VCENTER | DT_SINGLELINE);

            rect = { 130, j, 130 + 120, j + 30 };
            drawtext(manager.getBignums(i)._sign, &rect, DT_CENTER | DT_VCENTER |
DT_SINGLELINE);

            rect = { 250, j, 250 + 120, j + 30 };
            drawtext(manager.getBignums(i)._right.Bignum_wstring().c_str(), &rect,
DT_CENTER | DT_VCENTER | DT_SINGLELINE);

            rect = { 370, j, 370 + 120, j + 30 };
```

```
            drawtext(manager.getBignums(i)._result.Bignum_wstring().c_str(), &rect,
DT_CENTER | DT_VCENTER | DT_SINGLELINE);

            i++;
        }
        else
        {
            break;
        }
    }

    // 绘制页数提示
    std::wstringstream format;
    setbkmode(OPAQUE);
    format << L"第" << (curIndex + 11) / 11 << L"页" << L"/" << L"共" << (manager.size()
+ 11) / 11 << L"页";
    outtextxy(127, 383, format.str().c_str());
    setbkmode(TRANSPARENT);
}

void Table::pageUp()
{
    // 输出大整数数据
    curIndex -= 11;
    if (curIndex > manager.size()) // 读取到第一页停止操作
    {
        curIndex += 11;
        return;
    }
    show();
}

void Table::pageDown()
{
    // 输出大整数数据
    curIndex += 11;
    if (curIndex > manager.size()) // 读取到最后一页停止操作
    {
        curIndex -= 11;
        return;
    }
    show();
}
```

```
void Table::showEditTable(const wchar_t* searchTerms)
{
    // 设置绘图样式
    setfillcolor(WHITE);

    // 绘制表格
    fillrectangle(_x, _y, _x + _width, _y + 60);

    // 画竖线
    for (int i = 130; i <= 370; i += 120)
    {
        line(i, 10, i, 10 + 60);
    }

    // 画横线
    line(10, 40, 490, 40);

    RECT rect;

    // 绘制表头
    wchar_t header[4][3] = { L"学号", L"姓名", L"班级", L"总分" };     // 表头数据
    for (int i = 10, j = 0; i < 490 && j < 4; i += 120, j++)
    {
        rect = { i, 10, i + 120, 10 + 30 };
        drawtext(header[j], &rect, DT_CENTER | DT_VCENTER | DT_SINGLELINE);
    }
}

const int& Table::getSearchIndex() const
{
    return searchIndex;
}
```

6.6 Button.h

```
#pragma once
#include "Widget.h"
#include "Vector.hpp"
#include "List.hpp"

class Button :public Widget
{
public:
    Button(const int& x, const int& y, const int& width,
    const int& height, const wstring& text);
    void show() const;
```

```
    bool state(const ExMessage& msg) const;
    const wstring& getText() const;
    void setText(const std::wstring& text);
    bool isIn(const ExMessage& msg) const;

private:
    wstring _text;                      // 按钮文本
};
```

6.7 Button.cpp

```
#include "Button.h"

Button::Button(const int& x
    , const int& y
    , const int& width
    , const int& height
    , const wstring& text)
    : Widget(x, y, width, height)
    , _text(text)
{

}

void Button::show() const
{
    // 设置样式
    setlinestyle(PS_SOLID, 2);
    setfillcolor(CYAN);
    settextstyle(25, 0, L"微软雅黑");

    // 绘制按钮
    fillrectangle(_x, _y, _x + _width, _y + _height);

    // 绘制文本
    RECT rect = { _x, _y, _x + _width, _y + _height };
    drawtext(_text.c_str(), &rect, DT_CENTER | DT_VCENTER | DT_SINGLELINE);
}

bool Button::state(const ExMessage& msg) const
{
    if (msg.message == WM_MOUSEMOVE && isIn(msg))    // 按钮悬浮
    {
        // 设置样式
```

```
            setlinestyle(PS_SOLID, 2);
            setfillcolor(LIGHTBLUE);
            settextstyle(25, 0, L"微软雅黑");

            // 绘制按钮
            fillrectangle(_x, _y, _x + _width, _y + _height);

            // 绘制文本
            RECT rect = { _x, _y, _x + _width, _y + _height };
            drawtext(_text.c_str(), &rect, DT_CENTER | DT_VCENTER | DT_SINGLELINE);
            return false;
        }
        else if ((msg.message == WM_LBUTTONDOWN || msg.message == WM_LBUTTONUP) && isIn(msg))
        // 按钮被点击
        {
            // 设置样式
            setlinestyle(PS_SOLID, 2);
            setfillcolor(LIGHTBLUE);
            settextstyle(25, 0, L"微软雅黑");

            // 绘制按钮
            fillrectangle(_x, _y, _x + _width, _y + _height);

            // 绘制文本
            RECT rect = { _x, _y, _x + _width, _y + _height };
            drawtext(_text.c_str(), &rect, DT_CENTER | DT_VCENTER | DT_SINGLELINE);
            return true;
        }
        else// 恢复按钮原来的状态
        {
            show();
            return false;
        }
    }

    const wstring& Button::getText() const
    {
        return _text;
    }

    void Button::setText(const std::wstring& text)
    {
        this->_text = text;
    }
```

```
bool Button::isIn(const ExMessage& msg) const
{
    if (msg.x >= this->_x && msg.x <= this->_x + _width
        && msg.y >= this->_y && msg.y <= this->_y + _height)
    {
        return true;
    }
    return false;
}
```

6.8 Widget.h

```
#pragma once
#include <graphics.h>
#include <time.h>
#include <conio.h>
#include <string>
#include "Vector.hpp"
#include "List.hpp"

using std::wstring;

// 部件抽象基类
class Widget
{
public:
    Widget(const int& x = 0, const int& y = 0, const int& width = 100, const int& height
= 60);
    virtual void show() const = 0;          // 纯虚函数，显示函数用多态来实现
protected:
    int _x;         // X 坐标
    int _y;         // Y 坐标
    int _width;     // 宽度
    int _height;    // 高度
};
```

6.9 Widget.cpp

```
#include "Widget.h"

Widget::Widget(const int& x, const int& y, const int& width, const int& height)
    : _x(x)
    , _y(y)
    , _width(width)
    , _height(height)
{
```

```
}
```

6.10 Bignum.hpp

```
#pragma once
#include <list>
#include <vector>
#include <deque>
#include <string>
#include <iostream>
#include "Vector.hpp"
#include "List.hpp"
#include "Algorithm.hpp"
using namespace std;
template<class Container = List<int>>
//考虑用容器适配器封装，顺序容器的迭代器全部实现以此统一成员函数的实现逻辑
class Bignum
{
public:

    //正向迭代器的头
    typename Container::iterator begin()
    {
        return _con.begin();
    }

    //反向迭代器的头
    typename Container::reverse_iterator rbegin()
    {
        return _con.rbegin();
    }

    //正向迭代器的尾
    typename Container::iterator end()
    {
        return _con.end();
    }

    //反向迭代器的尾
    typename Container::reverse_iterator rend()
    {
        return _con.rend();
    }
```

```
//大整数的长度
size_t length()const
{
    return _con.size();
}

//输入
void push_back(int val)
{
    _con.push_back(val);
}

//重载>
bool operator>(const Bignum& right)const
{
    //先比较长度，长度大的数值大
    if (length() > right.length())
    {
        return true;
    }
    else if (length() < right.length())
    {
        return false;
    }
    //再逐个比较，相等就接着比
    else
    {
        auto it = _con.begin();
        auto right_it = right._con.begin();
        while (it != _con.end())
        {
            if (*it < *right_it)
            {
                return false;
            }
            else if (*it > *right_it)
            {
                return true;
            }
            else
            {
                ++it;
                ++right_it;
            }
```

```
            }
            return false;//循环结束的话说明两者相等
        }
    }

    //重载>=
    bool operator>=(const Bignum& right)const
    {
        return (*this > right) || (*this == right);
    }

    //重载<
    bool operator<(const Bignum& right)const
    {
        return !(*this >= right);
    }

    //重载<=
    bool operator<=(const Bignum& right)const
    {
        return (*this < right) || (*this == right);
    }

    //重载==
    bool operator==(const Bignum& right)const
    {
        if (length() != right.length())
        {
            return false;
        }
        else
        {
            auto it_con = _con.begin();
            auto it_right = right._con.begin();
            while (it_con != _con.end())
            {
                if (*it_con != *it_right)
                {
                    return false;
                }
                else
                {
                    ++it_con;
                    ++it_right;
```

```
            }
        }
    }
    return true;
}

//重载!=
bool operator!=(const Bignum& right)const
{
    return !(*this == right);
}

//重载+
Bignum operator+(const Bignum& right)const
{
    int carry = 0;                                          // 进位
    Bignum ret;
    auto it_con = _con.rbegin();
    auto it_right = right._con.rbegin();
    while (it_con != _con.rend() || it_right != right._con.rend())
    {
        if (it_con == _con.rend())
        {
            ret.push_back((*it_right + carry) % 10);
            carry = (*it_right + carry) / 10;
            it_right++;
        }
        else if (it_right == right._con.rend())
        {
            ret.push_back((*it_con + carry) % 10);
            carry = (*it_con + carry) / 10;
            it_con++;
        }
        else
        {
            ret.push_back((*it_con + *it_right + carry) % 10);
            carry = (*it_con + *it_right + carry) / 10;
            it_con++;
            it_right++;
        }
    }
    if (carry)
    {
        ret.push_back(carry);
```

```
        }
        Reverse(ret.begin(), ret.end());
        return ret;
    }

    //重载+=
    Bignum& operator+=(const Bignum& right)
    {
        *this = *this + right;
        return *this;
    }

    //重载-
    Bignum operator-(const Bignum& right)
    {
        Bignum ret;
        if (*this == right)
        {
            Bignum zero;
            zero.push_back(0);
            return zero;
        }
        else if (*this > right)
        {
            for (auto e : right._con)
            {
                ret.push_back(e * -1);
            }
            ret += *this;
            while (*ret._con.begin() == 0)
            {
                ret._con.erase(ret.begin());
            }
            auto it = ret._con.rbegin();
            int borrow = 0;
            while (it != ret._con.rend())
            {
                if (*it < 0)
                {
                    *it = 10 - borrow + *it;
                    borrow = 1;
                }
                else if (*it > 0)
                {
```

```
                *it = *it - borrow;
                borrow = 0;
            }
            else
            {
                if (borrow)
                {
                    *it = 10 - borrow + *it;
                }
            }
            ++it;
        }
        while (*ret._con.begin() == 0)
        {
            ret._con.erase(ret.begin());
        }
    }
    else
    {
        ret = right - *this;
        *ret._con.begin() *= -1;
    }
    return ret;
}

Bignum operator-(const Bignum& right)const
{
    Bignum ret;
    if (*this == right)
    {
        Bignum zero;
        zero.push_back(0);
        return zero;
    }
    else if (*this > right)
    {
        for (auto e : right._con)
        {
            ret.push_back(e * -1);
        }
        ret += *this;
        while (*ret._con.begin() == 0)
        {
            ret._con.erase(ret.begin());
```

```
            }
            auto it = ret._con.rbegin();
            int borrow = 0;
            while (it != ret._con.rend())
            {
                if (*it < 0)
                {
                    *it = 10 - borrow + *it;
                    borrow = 1;
                }
                else if (*it > 0)
                {
                    *it = *it - borrow;
                    borrow = 0;
                }
                else
                {
                    if (borrow)
                    {
                        *it = 10 - borrow + *it;
                    }
                }
                ++it;
            }
            while (*ret._con.begin() == 0)
            {
                ret._con.erase(ret.begin());
            }
        }
        else
        {
            ret = right - *this;
            *ret._con.begin() *= -1;
        }
        return ret;
}

//重载-=
Bignum& operator-=(const Bignum& right)
{
    *this = *this - right;
    return *this;
}
```

```
//重载*
Bignum operator*(const Bignum& right)
{
    Bignum ret;
    auto it = right._con.rbegin();
    int N = 0;
    while (it != right._con.rend())
    {
        //调用工具函数
        Bignum temp = (_miniMul(*it, *this));
        for (int i = 0; i < N; ++i)
        {
            temp.push_back(0);
        }
        N++;
        ret += temp;
        ++it;
    }
    return ret;
}

//重载*=
Bignum& operator*=(const Bignum& right)
{
    *this = *this * right;
    return *this;
}

//重载/
Bignum operator/(const Bignum& right)
{
    Bignum ret;
    Bignum zero;
    zero.push_back(0);
    if (*this < right)
    {
        ret.push_back(0);
    }
    else if (*this == right)
    {
        ret.push_back(1);
    }
    else
    {
```

```
        //模拟竖式除法
        Bignum temp;
        auto it = _con.begin();
        for (size_t i = 0; i < right.length() - 1; ++i)
        {
            temp.push_back(*it);
            ++it;
        }
        temp.push_back(*it);
        while (it != _con.end())
        {
            for (int i = 9; i >= 0; --i)
            {
                if (_miniMul(i, right) <= temp)
                {
                    {
                        ret.push_back(i);
                    }
                    temp -= _miniMul(i, right);
                    if (it + 1 != _con.end())
                    {
                        if (temp == zero)
                        {
                            temp._con.erase(temp.begin());
                        }
                        temp.push_back(*(it + 1));
                    }
                    break;
                }
            }
            ++it;
        }
    }
    if (*ret.begin() == 0 && ret._con.size() != 1)
    {
        ret._con.erase(ret.begin());
    }
    return ret;
}

//重载/=
Bignum& operator/=(const Bignum& right)
{
    *this = *this / right;
```

```
    return *this;
}

//重载%
Bignum operator%(const Bignum& right)
{
    Bignum ret;
    ret = *this - (*this / right) * right;
    return ret;
}

//重载%=
Bignum& operator%=(const Bignum& right)
{
    *this = *this % right;
    return *this;
}

//重载^
Bignum operator^(const Bignum& right)
{
    Bignum zero;
    zero.push_back(0);
    Bignum one;
    one.push_back(1);
    Bignum two;
    two.push_back(2);
    if (right == zero)
    {
        return one;
    }
    else if (right == one)
    {
        return *this;
    }
    else if (right == two)
    {
        return square(*this);
    }
    Bignum ret = *this;
    Bignum pow;
    pow.push_back(1);
    while (pow * two < right)
    {
```

```
            ret = square(ret);
            pow *= two;
        }
        ret *= ((*this) ^ (right - pow));
        return ret;
    }

    //重载^=
    Bignum& operator^=(const Bignum& right)
    {
        *this = *this ^ right;
        return *this;
    }

    friend std::wstringstream& operator>>(std::wstringstream& in, Bignum& right)
    {
        char temp = 0;
        while (true)
        {
            temp = getchar();                    //神奇的getchar
            if (temp == ' ' || temp == '\n')
            {
                break;
            }
            right.push_back(temp - '0');
        }
        return in;
    }

    //重载<<
    friend ostream& operator<<(ostream& out, const Bignum& right)
    {
        for (auto e : right._con)
            //这里又犯了低级错误
            //for(auto e : _con)
            //友元函数已不属于这个类了，只是能访问到这个类的数据而已
            //所以直接_con里面是没有数据的
        {
            out << e;
        }
        return out;
    }

    // 显示函数
```

```
void display(ostream& out)const
{
    for (auto e : _con)
    {
        out << e;
    }
    out << endl;
}

// 大整数转wstring
wstring Bignum2wstring()
{
    wstring ret;
    auto it = _con.begin();
    if (*it < 0)
    {
        *it *= -1;
        ret.push_back('-');
    }
    for (auto e : _con)
    {
        ret.push_back(e + '0');
    }
    return ret;
}

wstring Bignum_wstring()const
{
    wstring ret;
    auto it = _con.begin();
    if (*it < 0)
    {
        ret.push_back('-');
        ret.push_back(*it * (-1) + '0');
    }
    for (auto e : _con)
    {
        if (e >= 0)
        ret.push_back(e + '0');
    }
    return ret;
}

// 大整数转string
```

```
string Bignum_string()const
{
    string ret;
    auto it = _con.begin();
    if (*it < 0)
    {
        ret.push_back('-');
    }
    for (auto e : _con)
    {
        ret.push_back(e + '0');
    }
    return ret;
}

//2进制转10进制
void bin2dec()
{
    Bignum ret;
    ret.push_back(0);
    Bignum pow;
    pow.push_back(0);
    Bignum one;
    one.push_back(1);
    Bignum two;
    two.push_back(2);
    auto it = _con.rbegin();
    while (it != _con.rend())
    {
        ret += _miniMul(*it, two ^ pow);
        pow += one;
        it++;
    }
    *this = ret;
}

//10进制转2进制
void dec2bin()
{
    Bignum ret;
    Bignum zero;
    zero.push_back(0);
    Bignum two;
    two.push_back(2);
```

```
        while (*this != zero)
        {
            Bignum temp = *this % two;
            ret.push_back(temp._con.first());
            *this /= two;
        }
        Reverse(ret.begin(), ret.end());
        *this = ret;
    }

private:
    //工具函数，实现一位数乘大整数
    Bignum _miniMul(int num, const Bignum& bignum)
    {
        Bignum ret;
        Bignum zero;
        zero.push_back(0);
        if (num == 0)
        {
            return zero;
        }
        int carry = 0;//进位
        //这里出现过忘记用反向迭代器，直接用语法糖遍历的错误
        auto it = bignum._con.rbegin();
        while (it != bignum._con.rend())
        {
            ret.push_back((*it * num + carry) % 10);
            carry = (*it * num + carry) / 10;
            ++it;
        }
        if (carry)
        {
            ret.push_back(carry);
        }
        Reverse(ret.begin(), ret.end());
        return ret;
    }
    //工具函数，计算平方
    Bignum square(Bignum& right)
    {
        return right * right;
    }
    Container _con;            //适配大整数
};
```

6.11 __reverse_iterator.hpp

```
#pragma once
template<class iterator, class Ref, class Ptr>
struct __reverse_iterator
{
    typedef __reverse_iterator<iterator, Ref, Ptr> riterator;
    iterator _cur;
    // 利用正向迭代器实现反向迭代器的构造函数
    __reverse_iterator(iterator it)
        : _cur(it)
    {

    }

    // 复用正向迭代器的操作实现反向迭代器
    // 正向迭代器的begin
    riterator operator++()
    {
        _cur--;
        return *this;
    }

    riterator operator++(int)
    {
        riterator tmp(*this);
        _cur--;
        return tmp;
    }

    riterator operator--()
    {
        _cur++;
        return *this;
    }

    riterator operator--(int)
    {
        riterator tmp(*this);
        _cur++;
        return tmp;
    }

    Ref operator*()
```

```
    {
        // 因为正向迭代器的begin是反向的end，正向的end是反向的begin，stl中的设计是保持
对称的
        // 而正向的end是_finish，是指向最后一个元素的下一个位置
        // 所以方向迭代器取元素时要先减减再解引用
        iterator tmp = _cur;
        tmp--;
        return *tmp;
    }

    Ptr operator->()
    {
        return &(operator*());
    }

    bool operator!=(const riterator& it)
    {
        return _cur != it._cur;
    }

    bool operator==(const riterator& it)
    {
        return _cur == it._cur;
    }
};
```

6.12 Vector.hpp

```
#pragma once

#include<iostream>
#include<cassert>
#include "List.hpp"
#include "__reverse_iterator.hpp"

using namespace std;
template<class T>
class Vector
{
public:
    typedef T* iterator;//普通迭代器
    typedef const T* const_iterator;//const 迭代器
    typedef __reverse_iterator<iterator, T&, T*> reverse_iterator;//反向迭代器
    typedef __reverse_iterator<const_iterator, const T&, const T*>
const_reverse_iterator;//const 反向迭代器
```

```
// 无参构造
Vector()
    :_start(nullptr)
    , _finish(nullptr)
    , _endofstorage(nullptr)
{

}
// 拷贝构造
Vector(const Vector<T>& v)
    :_start(nullptr)
    , _finish(nullptr)
    , _endofstorage(nullptr)
{
    _start = new T[v.capacity()]; //开辟一块和容器 v 大小相同的空间
    for (size_t i = 0; i < v.size(); i++) //将容器 v 当中的数据一个个拷贝过来
    {
        _start[i] = v[i];
    }
    _finish = _start + v.size(); // 容器有效数据的尾
    _endofstorage = _start + v.capacity(); // 整个容器的尾
}
// 赋值运算符重载函数
Vector<T>& operator=(const Vector<T>& v)
{
    if (this != &v)
    {
        delete[]_start; // 释放原空间
        _start = new T[v.capacity()]; // 开辟新空间
        for (size_t i = 0; i < v.size(); i++) // 拷贝数据
        {
            _start[i] = v[i];
        }
        _finish = _start + v.size(); // 更新_finish
        _endofstorage = _start + v.capacity(); // 更新_capacity
    }
    return *this;
}
// 析构函数
~Vector()
{
    delete[] _start;
}
```

```
// 迭代器的头
iterator begin()
{
    return _start;
}
// const 迭代器的头
const_iterator begin() const
{
    return _start;
}
// 迭代器的尾
iterator end()
{
    return _finish;
}
// const 迭代器的尾
const_iterator end() const
{
    return _finish;
}
// 反向迭代器的头
reverse_iterator rbegin()
{
    return reverse_iterator(end());
}
// const 反向迭代器的头
const_reverse_iterator rbegin() const
{
    return const_reverse_iterator(end());
}
// 反向迭代器的尾
reverse_iterator rend()
{
    return reverse_iterator(begin());
}
// const 反向迭代器的尾
const_reverse_iterator rend() const
{
    return const_reverse_iterator(begin());
}
// 容器大小
size_t size()const
{
    return _finish - _start;
```

```
}
// 容器容量
size_t capacity()const
{
    return _endofstorage - _start;
}
// 提前开空间
void reserve(size_t n)
{
    size_t sz = size();
    if (n > capacity())
    {
        T* temp = new T[n];//开新空间
        //把原有的数据拷入
        if (_start)
        {
            memcpy(temp, _start, sizeof(T) * size());
            delete[] _start;
        }
        _start = temp;
    }
    _finish = _start + sz;
    _endofstorage = _start + n;
}
// 开空间并初始化
void resize(size_t n, const T& val = T())
{
    //开空间
    if (n > capacity())
    {
        reserve(n);
    }
    //初始化
    if (n > size())
    {
        while (_finish < _start + n)
        {
            *_finish = val;
            ++_finish;
        }
    }
    else
    {
        _finish = _start + n;
```

```
        }
    }
    // 删除
    iterator erase(iterator pos)
    {
        assert(pos >= _start && pos < _finish);
        iterator cur = pos + 1;
        while (cur < _finish)
        {
            *(cur - 1) = *cur;
            cur++;
        }
        _finish--;
        return pos;//更新 pos 位置
    }
    // 尾插
    void push_back(const T& x)
    {
        //满了的话就先开空间
        if (_endofstorage == _finish)
        {
            size_t newCapacity = capacity() == 0 ? 4 : 2 * capacity();
            reserve(newCapacity);
        }

        *_finish = x;
        ++_finish;
    }
    // 尾删
    void pop_back()
    {
        if (_finish > _start)
        {
            --_finish;
        }
    }
    // 容器的第一个元素
    T& first()
    {
        return _start[0];
    }
    // 重载下标访问操作符
    T& operator[](size_t pos)
    {
```

```
        assert(pos < size());
        return _start[pos];
    }
    // 重载下标访问操作符的 const 版本
    const T& operator[](size_t pos) const
    {
        assert(pos < size());
        return _start[pos];
    }
    // 插入
    void insert(iterator pos, const T& x)
    {
        //检查越界
        assert(pos >= _start && pos <= _finish);
        //满了就扩容
        if (_finish == _endofstorage)
        {
            //扩容后 pos 就失效了，需要更新
            size_t n = pos - _start;
            size_t newCapacity = capacity() == 0 ? 4 : 2 * capacity();
            reserve(newCapacity);
            pos = _start + n;
        }
        //挪动数据
        iterator end = _finish - 1;
        while (end >= pos)
        {
            *(end + 1) = *end;
            --end;
        }
        *pos = x;
        ++_finish;
    }
private:
    iterator _start;
    iterator _finish;
    iterator _endofstorage;
};
```

6.13 List.hpp

```
#pragma once
#include "__reverse_iterator.hpp"
template<class T>
struct list_node
```

```
{
    T _data;

    list_node<T>* _next;
    list_node<T>* _prev;
    // 节点的构造函数
    list_node(const T& x = T())
        :_data(x)
        , _next(nullptr)
        , _prev(nullptr)
    {

    }
};

template<class T, class Ref, class Ptr>
struct __list_iterator
{
    typedef list_node<T> Node;
    typedef __list_iterator<T, Ref, Ptr> iterator;
    typedef T value_type;
    typedef Ptr pointer;
    typedef Ref reference;
    Node* _node;
    // 迭代器的构造函数
    __list_iterator(Node* node)
        :_node(node)
    {

    }
    // 重载!=
    bool operator!=(const iterator& it) const
    {
        return _node != it._node;
    }
    // 重载==
    bool operator==(const iterator& it) const
    {
        return _node == it._node;
    }
    // 重载解引用操作符
    Ref operator*()
    {
        return _node->_data;
```

```
    }
    // 重载->操作符
    Ptr operator->()
    {
        return &(operator*());
    }
    // 重载+操作符
    iterator operator+(int pos)
    {
        Node* tmp = this->_node;
        for (int i = 0; i < pos; ++i)
        {
            tmp = tmp->_next;
        }
        iterator ret(tmp);
        return ret;
    }
    // 重载前置++操作符
    iterator& operator++()
    {
        _node = _node->_next;
        return *this;
    }
    // 重载后置++操作符
    iterator operator++(int)
    {
        iterator tmp(*this);
        _node = _node->_next;
        return tmp;
    }
    // 重载前置--操作符
    iterator& operator--()
    {
        _node = _node->_prev;
        return *this;
    }
    // 重载后置--操作符
    iterator operator--(int)
    {
        iterator tmp(*this);
        _node = _node->_prev;
        return tmp;
    }
};
```

```
template<class T>
class List
{
    typedef list_node<T> Node;
public:
    typedef __list_iterator<T, T&, T*> iterator;
    typedef __list_iterator<T, const T&, const T*> const_iterator;
    typedef __reverse_iterator<iterator, T&, T*> reverse_iterator;
    typedef __reverse_iterator<const_iterator, const T&, const T*> const_reverse_iterator;
    // const 迭代器的头
    const_iterator begin() const
    {
        return const_iterator(_head->_next);
    }
    // const 迭代器的尾
    const_iterator end() const
    {
        return const_iterator(_head);
    }
    // 迭代器的头
    iterator begin()
    {
        return iterator(_head->_next);
    }
    // 迭代器的尾
    iterator end()
    {
        return iterator(_head);
    }
    // 反向迭代器的头
    reverse_iterator rbegin()
    {
        return reverse_iterator(end());
    }
    // const 反向迭代器的头
    const_reverse_iterator rbegin() const
    {
        return const_reverse_iterator(end());
    }
    // 反向迭代器的尾
    reverse_iterator rend()
    {
        return reverse_iterator(begin());
    }
```

```
// const 反向迭代器的尾
const_reverse_iterator rend() const
{
    return const_reverse_iterator(begin());
}
// 容器的第一个元素
T& first()
{
    return *begin();
}
// 链表的构造函数
List()
{
    _head = new Node;
    _head->_next = _head;
    _head->_prev = _head;
}
// 链表的拷贝构造函数
List(const List<T>& lt)
{
    _head = new Node();
    _head->_next = _head;
    _head->_prev = _head;

    for (auto e : lt)
    {
        push_back(e);
    }
}
// 链表的赋值运算符重载函数
List<T>& operator=(List<T> lt)
{
    swap(lt);
    return *this;
}
// 析构函数
~List()
{
    clear();
    delete _head;
    _head = nullptr;
}
// 清理函数
void clear()
```

```
{
    iterator it = begin();
    while (it != end())
    {
        it = erase(it);
    }
}
// 容器的大小
size_t size() const
{
    size_t sz = 0;
    auto it = begin();
    while (it != end())
    {
        sz++;
        it++;
    }
    return sz;
}
// 尾插
void push_back(const T& x)
{
    insert(end(), x);
}
// 头插
void push_front(const T& x)
{
    insert(begin(), x);
}
// 任意位置的插入函数
iterator insert(iterator pos, const T& x)
{
    Node* cur = pos._node;
    Node* prev = cur->_prev;
    Node* newnode = new Node(x);
    prev->_next = newnode;
    newnode->_prev = prev;
    newnode->_next = cur;
    cur->_prev = newnode;
    return iterator(newnode);
}
// 尾删
void pop_back()
{
```

```
        erase(--end());
    }
    // 头删
    void pop_front()
    {
        erase(begin());
    }
    // 任意位置的删除函数
    iterator erase(iterator pos)
    {
        assert(pos != end());
        Node* cur = pos._node;
        Node* prev = cur->_prev;
        Node* next = cur->_next;
        prev->_next = next;
        next->_prev = prev;
        delete cur;
        return iterator(next);
    }
    // 交换函数
    void swap(List<T>& lt)
    {
        std::swap(_head, lt._head);
    }
private:
    Node* _head;
};
```

6.14 Manager.h

```
#pragma once
#include "Bignum.hpp"
#include <string>
#include <vector>
#include "Vector.hpp"
#include <fstream>
#include <iostream>

struct Expression                   // 表达式结构体
{
    Bignum<List<int>> _left;        // 左操作数
    Bignum<List<int>> _right;       // 右操作数
    Bignum<List<int>> _result;      // 结果
    char _sign;                     // 操作符
```

```
};

class Manager
{
public:
    bool read(const std::string& fileName);                          // 读取文件到数据
    void write(const std::string& fileName, string wstr) const;      // 写入数据到文件
    void addBignum(const Expression& bignum);                        // 添加大整数
    const Expression& getBignums(const int& index) const;            // 获取大整数数据
    void setBignum(const int& index, const Expression& bignum);      // 修改大整数
    void deleteBignum(const int& index);                             // 删除大整数
    const size_t size() const;                                       // 大整数数量
    Bignum<List<int>> string2Bignum(string str);                     // string 转大整数
private:
    Vector<Expression> _bignums;                                     // 大整数数组
};
```

6.15 Manager.cpp

```
#include "Manager.h"
#include <algorithm>

bool Manager::read(const std::string& fileName)
{
    string arr[100];
    ifstream infile(fileName, ios::in | ios::_Nocreate);

    int i = 0;
    while (infile >> arr[i])
    {
        string left;
        string right;
        char sign;
        for (auto e : arr[i])
        {
            if (e > '9' || e < '0')
            {
                sign = e;
                left = string(arr[i].begin(), arr[i].begin() + arr[i].find(sign));
                right = string(arr[i].begin() + arr[i].find(sign)+1, arr[i].end());
                Expression temp;
                temp._left = string2Bignum(left);
                temp._right = string2Bignum(right);
                temp._sign = sign;
                if (temp._sign == '+')
```

```
                {
                    temp._result = temp._left + temp._right;
                }
                else if (temp._sign == '-')
                {
                    temp._result = temp._left - temp._right;
                }
                else if (temp._sign == '*')
                {
                    temp._result = temp._left * temp._right;
                }
                else if (temp._sign == '/')
                {
                    temp._result = temp._left / temp._right;
                }
                else if (temp._sign == '%')
                {
                    temp._result = temp._left % temp._right;
                }
                else if (temp._sign == '^')
                {
                    temp._result = temp._left ^ temp._right;
                }
                _bignums.push_back(temp);
            }
        }
        ++i;
    }
    infile.close();

    return true;

}

void Manager::write(const std::string& fileName, string wstr) const
{
    ofstream outfile(fileName, ios::out | ios::_Nocreate | ios::app);
    // 写入数据
    outfile << wstr.c_str() << endl;
    outfile.close();
}

void Manager::setBignum(const int& index, const Expression& bignum)
{
```

```
    _bignums[index] = bignum;
}

void Manager::deleteBignum(const int& index)
{
    _bignums.erase(_bignums.end() + index);
}

void Manager::addBignum(const Expression& bignum)
{
    _bignums.push_back(bignum);
}

const Expression& Manager::getBignums(const int& index) const
{
    return _bignums[index];
}

const size_t Manager::size() const
{
    return _bignums.size();
}

Bignum<List<int>> Manager::string2Bignum(string str)
{
    Bignum<List<int>> ret;
    for (auto e : str)
    {
        ret.push_back(e - '0');
    }
    return ret;
}
```

6.16 Algorithm.hpp

```
#pragma once
template <class BidirectionalIterator>
void Reverse(BidirectionalIterator first, BidirectionalIterator last)
{
    while ((first != last) && (first != --last))
    {
        std::iter_swap(first, last);
        ++first;
    }
}
```