合肥工業大學

HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

数据结构课程设计报告

设计题目：查找算法的教学演示

学生姓名：江龙

专　　业：计算机科学与技术

班　　级：计算机科学与技术一班

学　　号：2019214658

指导教师：李培培

完成日期：2020 年 6 月 15 日

（一）需求和规格说明

问题描述：实现多种查找算法(顺序表、树表、散列表三种数据类型不小于2 类)，并进行对比分析。用户输入查找数据，界面动态演示基于查找过程的图形化显示。

编程任务：

(1) 将图形化界面的基本布局设计好，根据选择的数据类型数目进行适当调整

(2) 选取并完成所选取的查找算法，即在底层完成查找算法的代码逻辑，为后续的图形化做准备，这里我选取了 5 种算法，分别是：二分查找，索引表查找，平衡二叉树，B 树，散列表的拉链法。

(3) 根据 QT 的 paintEvent 事件的特性，完成底层算法的实时动态展示。

(4) 完成 4 大按钮的功能，分别是：开始演示，暂停演示，终止演示，重新初始化。

(5) 对用户可能出现的不规范操作进行处理准备，防止程序的崩溃。

（二）设计

1．设计思想

首先此次设计重点除了对于不同结构种类的查找算法实现，还在于如何体现不同查找算法的查找过程。这里我选取的是 QT 来做可视化处理，利用重写 QT 的 paint 事件，该事件会在一开始就被自动调用，此后每一次更新需要自己手动更新该事件。利用此特性，我决定在某一块白板组件上展现算法的动态，将应的算法数据处理完后，在查找过程中同步调用更新函数，这样便达成了算法查找的同步图形化展示。

2. 设计表示

（1） 部分共同成员数据

成员数据类型	成员名	描述
Int	length	随机生成数据的长度
Int	target	查找的目标值
int	currentIndex	当前搜索点的值
int *	nums	随机生成的数据
int	count	查询次数

（2） 图形化界面

类名	成员类别	类型	成员名	描述
MainWindow	函数	void	generate ()	生成数据函数
		void	result ()	查询结果消息弹窗
		void	start(Search* currentSearch,BtnGroup* btngroup,int page)	开始按钮功能的封装
		void	pause(Search* currentSearch,BtnGroup* btngroup)	暂停按钮功能封装
		void	terminate(Search* currentSearch,BtnGroup* btngroup)	终止按钮功能封装
		void	reinitialize(Search* currentSearch,BtnGroup* btngroup,int page)	重新初始化功能封装
		void	initChcek()	切换页面时初始化所有算法的选择
		void	setTarget()	获取用户输入的查找值
	数据	bool	isProper	查找目标是否合法
		bool	isready	是否已生成数据
		int	randMax	随机数据的范围最大值
		int	randMin	随机数据的范围最小值
		int	max	随机数据中的最小值
		int	min	随机数据中的最大值
		int	randLengthMax	随机数据长度的范围最大值
		int	randLengthMin	随机数据长度的范围最小值

（3） Search 类：所有算法类的父类，用于存放一些所有算法类都会用到的封装函数

类名	成员类别	类型	成员名	描述
Search	函数	void	repaint ()	更新绘画
		void	Sleep(int msec)	自定义延时器
	数据	bool	ispause	是否点击暂停按钮
		bool	isterminate	是否点击终止按钮

（4） HashSearch 类：拉链法查找

结构体名称	成员数据类型	成员名	描述
node	Int	data	存储的单词
	node*	next	下一个结点
	bool	isSearched	是否被搜索过

类名	成员类别	类型	成员名	描述
HashSearch	函数	void	paintEvent(QPaintEvent *)	绘画事件
		void	hashSearch()	散列表查找对数据的处理
		void	getsignal(bool isHashSearch,int length,int target,int *nums)	获取图形化界面点击的信号，并对其解析处理
		void	searchBucket(bucket* &t,int index)	从 buckets 中找到指定的节点
	数据	bool	isfirst	是否是第一次绘图
		bool	ishash	是否选择了 hash 查找
		bucket*	firstBucket	指向第一个 bucket 的指针

（5） ListSearch 类：二分查找，索引表查找

类名	成员类别	类型	成员名	描述
ListSearch	函数	void	paintEvent(QPaintEvent *)	绘画事件
		void	binarySearch ()	二分查找对数据的处理

		void	getsignal(bool binary,bool indexed,int length,int target,int *nums)	获取图形化界面点击的信号，并对其解析处理
		void	indexedSearch()	索引表查找对数据的处理
	数据	bool	isBinary	是否选择的是二分查找
		bool	isIndexed	是否选择的是索引查找
		int *	indexList	每个索引项其中的最大值
		int *	starts	每个索引项的起始索引值
		int *	lengths	每个索引项的长度

（6） TreeSearch 类：平衡树查找，B 树查找

结构体名称	成员数据类型	成员名	描述
bnode	Int	data	存储数据
	bnode*	leftC	左儿子节点
	bnode*	rightC	右儿子节点
	int	level	节点的层数
	int	bf	平衡因子
Bnode	int	keynum	结点关键字个数
	int	key	关键字数组，key[0]不使用
	Bnode *	parent	双亲结点指针
	Bnode *[]	ptr	孩子结点指针数组

类名	成员类别	类型	成员名	描述
TreeSearch	函数	void	paintEvent ()	绘图事件
		void	balancedTreeSearch ()	平衡二叉树查找数据处理
		void	BTreeSearch ()	B 树查找数据处理
		void	getsignal(bool isBTree,bool isbalancedTree,int length,int target,int *nums)	接收信号，决定演示哪种算法
		int	SearchNode(bnode* &target,int data)	查找到 data 数据的父节点
		void	paint(int x,int y,bnode* n)	给当前节点画左右两个儿子节点的图
		void	Bpaint(int x,int y,int px,int py,int index,Bnode* b)	给 B 树的当前节点画儿子节点的图

		int	getHeight(bnode* t)	获取以当前节点为根的二叉树的高度
		void	setBF(bnode* t)	更新整棵树每个节点的平衡因子
		void	getBf(bnode* &target)	获取平衡因子绝对值超过1的最高层次的那个节点（注意，这里我没有采用找层次最低的平衡点，因为有个 BUG 实在无法定位修复，所以采取了消耗更大的找层次最高的平衡点）
		void	correct(bnode* begin,bnode* target)	判断当前错误属于什么型，并执行相应的修复函数
		void	getLevel(bnode* t)	更新所有节点的层次数
		void	setIndex(Bnode* &b,int num)	给新关键字找到合适的位置插入
		void	reset(Bnode* &b)	重置调整 B 树
		void	SplitBnode(Bnode *&p,Bnode *&q)	将结点p分裂成两个结点,前一半保留,后一半移入结点 q
		void	dfs(double x,double y,double px,double py,int index,int level,Bnode* b)	深度优先遍历 B 树,并逐层调用绘画
		void	getMaxLevel(Bnode* b)	获取 B 树的最大深度
		void	LL(bnode* t)	平衡二叉树 LL 型问题
		void	RR(bnode* t)	平衡二叉树 RR 型问题
		void	LR(bnode* t)	平衡二叉树 LR 型问题
		void	RL(bnode* t)	平衡二叉树 RL 型问题
	数据	bool	isbalancedTree	是否选择平衡二叉树按钮

		bool	isBTree	是否选择 B 树按钮
		int	r	圆的半径
		double	angle	平衡二叉树儿子节点的初始偏转角度
		double	addangel	每一层改变的偏转角度量
		QQueue<int>	q	存储每个节点的 x,y 坐标
		QQueue<bnode*>	node	存储节点
		QQueue<bnode*>	node_2	存储节点，用于广度优先遍历
		int	w	B 树关键字节点的宽度
		int	h	B 树关键字节点的高度
		int	maxLevel	B 树的最大深度

3. 核心算法

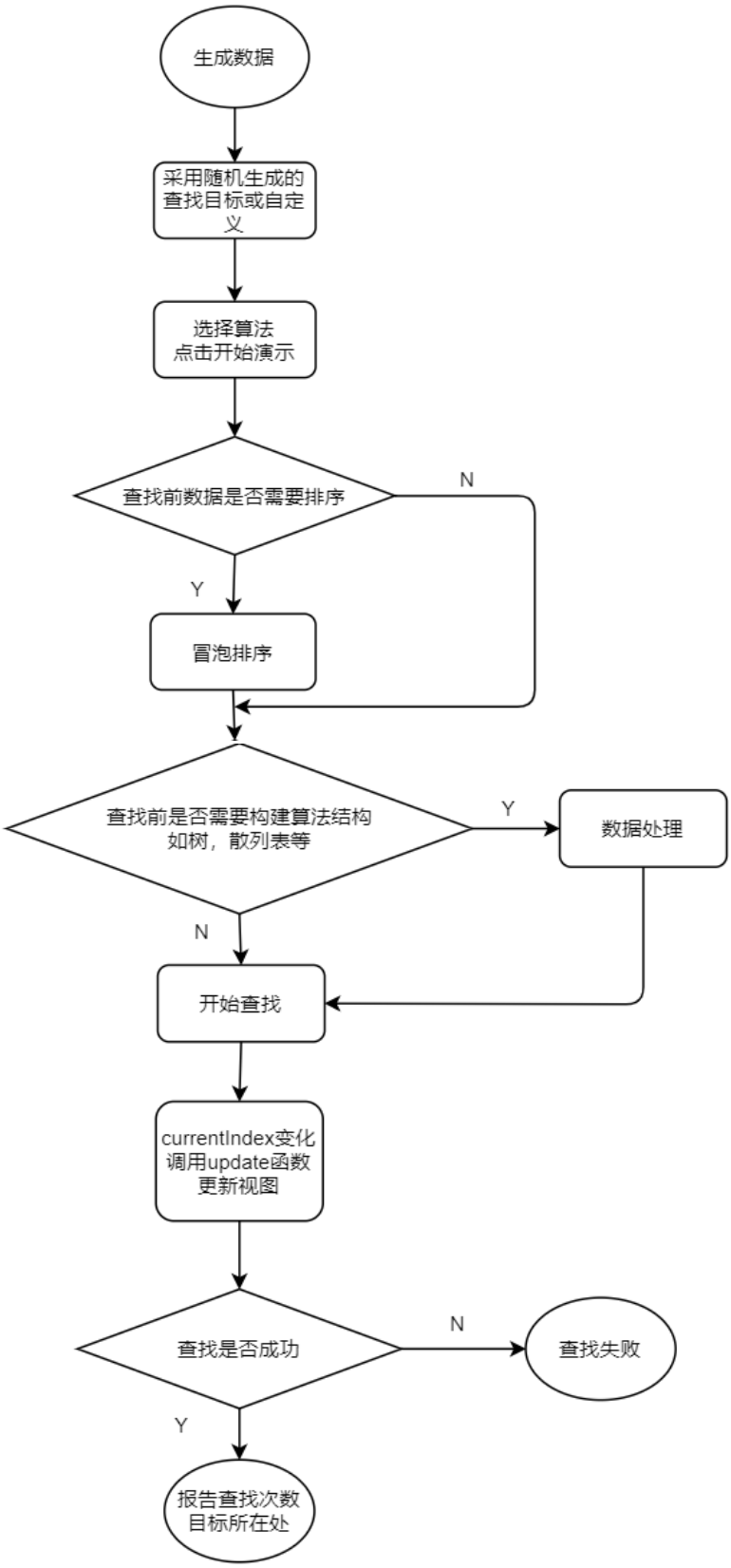
此次课设的核心算法主要是 5 个不同的查找算法和各个不同的算法类重写的 paint 绘图事件。

首先，用户在点击生成数据按钮后，会触发 generate 函数根据设定的参数随机生成数据，并记录下数据的最大值，最小值，和查找目标值。当然根据题目的要求，我们在图形界面展示出随机数据的长度，最大值，最小值和查找目标，因为必须兼容用户可以自己设定查找目标，用户可以在展示页面直接对查找目标进行更改。用户选择对应算法后，点击开始演示按钮，触发 start 函数，该函数根据用户选择的算法和生成的数据，触发不同算法类的 getsignal 函数。

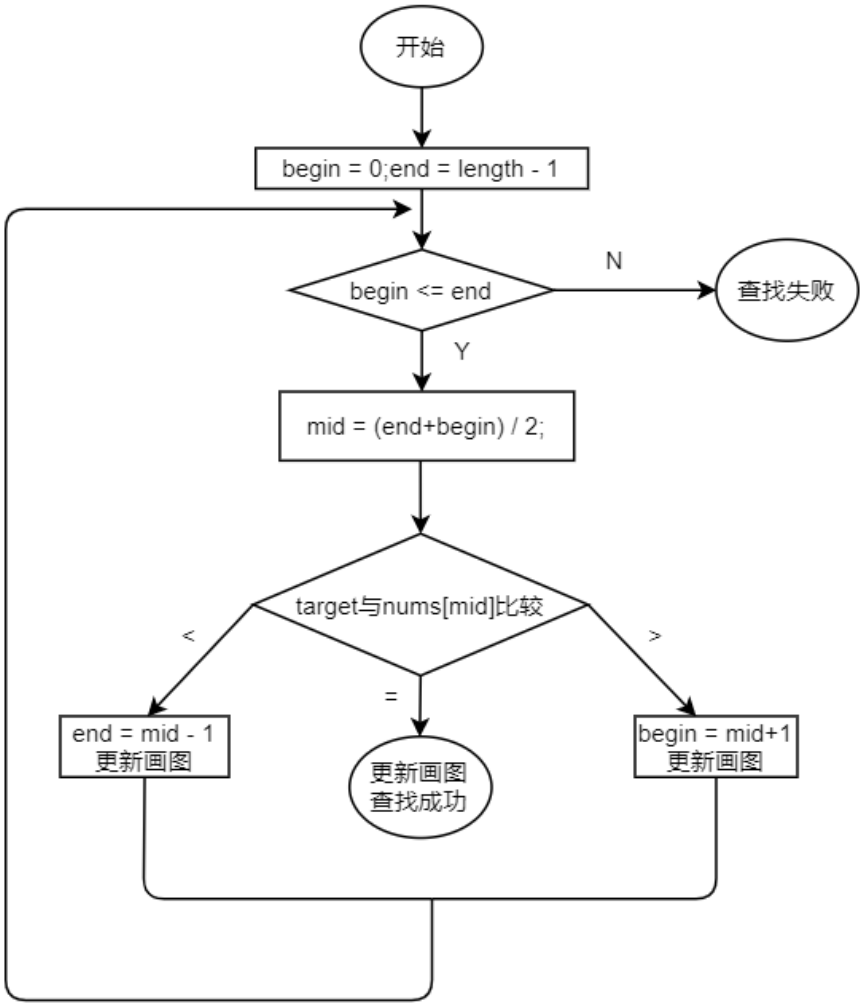
在触发对应的算法之后，因为像二分查找和索引表对数据要求必须是排序完的，所以就需要对数据进行排序处理，这里采用的冒泡排序。5 种算法诸如 binarySearch, balancedTreeSearch，BtreeSearch，indexedSearch，hashSearch 函数便是对各自算法的所需对数据进行相应的处理，比如树类的查找算法就需要重头构建相应的树，都在对应的 Search 算法中进行数据处理。处理完后即开始查找，不同于普通的算法查找，为了动态图形化显示当前查找的进度，我们通过 currentIndex 来表示当前查找节点的值，同时只要 currentIndex 变化，我们就手动

调用 update 函数，经过我们设置的短暂延迟便重新绘画整个图，如此便完成了动态实时展示查找过程的效果。

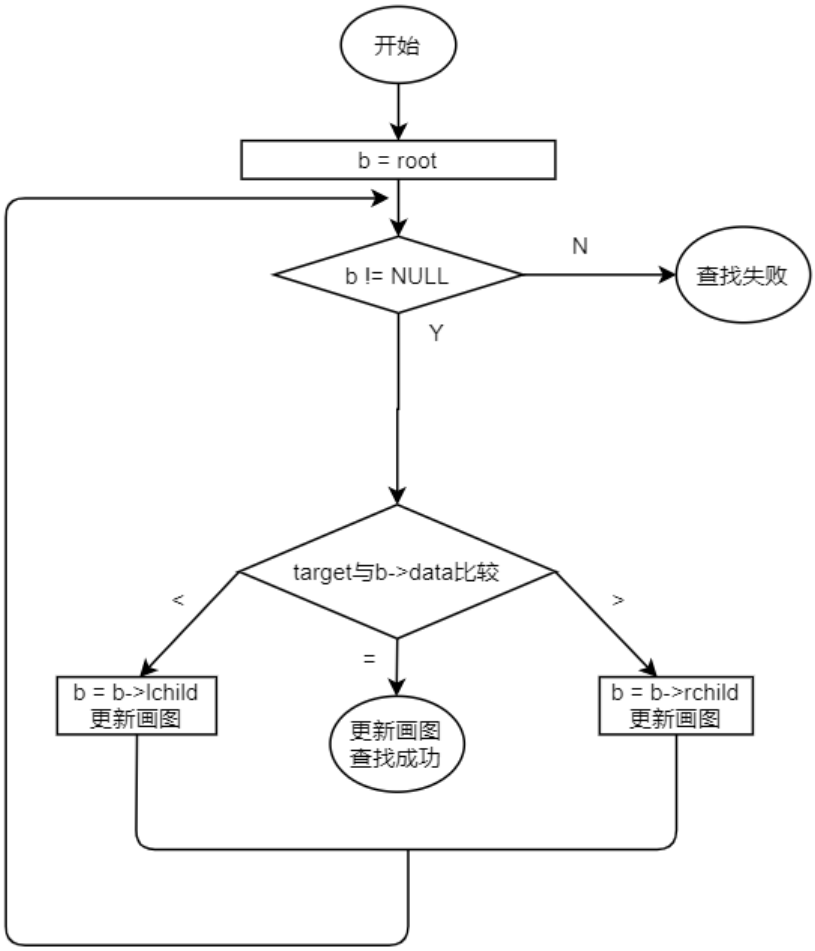
逻辑实现过程：



部分查找算法流程图如下所示：



二分查找算法


开始
b = root
b != NULL
N
查找失败
Y
target与b->data比较
<
=
>
b = b->lchild
更新画图
更新画图
查找成功
b = b->rchild
更新画图

平衡二叉树

（三）用户手册


查找算法图形化
查找目标
数据长度
最小值
最大值
生成数据
二分查找
索引表查找
顺序表
树表
散列表
开始演示
暂停演示
终止演示
重新初始化

程序运行将会显示出图形化界面

用户首先需要点击生成数据按钮，底层代码根据事先设定好的参数会随机生成数据，并且将其显示到图形化界面上。为了满足用户自定义查找目标的要求，除了查找目标可以自行设置，其他数据都是 readOnly，不可更改。

然后，用户需要选择对应的数据类型，根据所选择的数据类型，左下角的算法会有不同的显示，比如选择树表，那么左下角就会显示平衡二叉树和 B 树查找，一共 5 种算法供用户选择。

生成完数据并且选择好对应的算法后，用户可以点击开始演示按钮，根据对应的算法选择，便会在对应的空白处显示不同的动态图形化显示。暂停演示按钮只有在点击开始演示按钮后才可以点击，它会暂停整个查找过程，使动态图形暂停演示。终止演示会直接情况整个图，变化空白状态。重新初始化则会先清空当前演示并自动重新生成数据一次，然后开始根据新的数据立马演示。

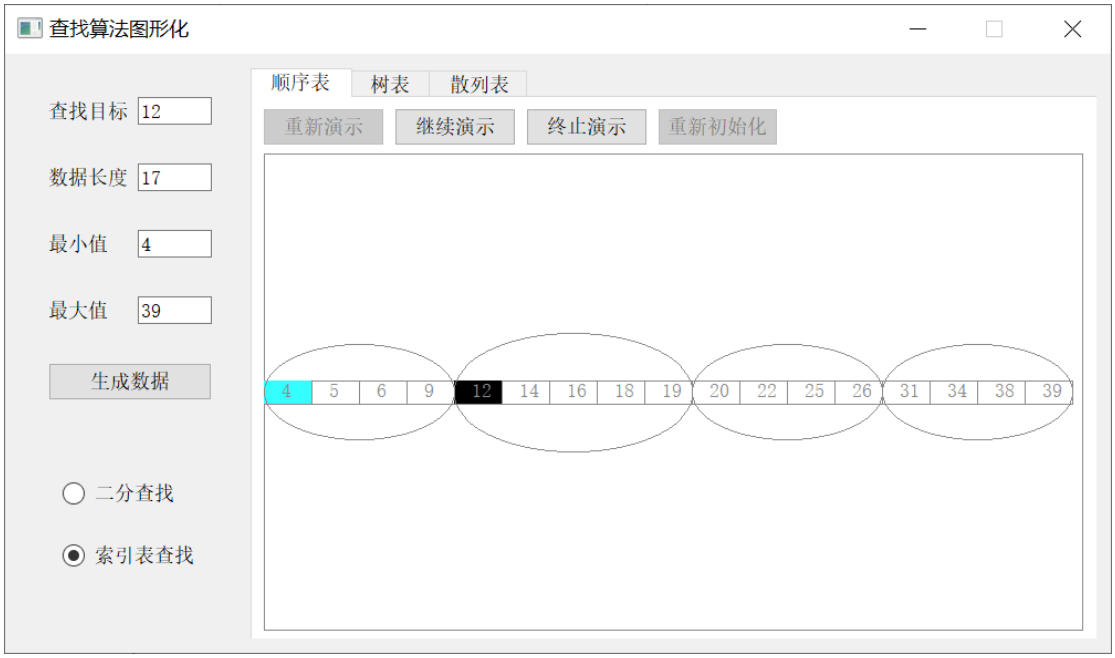
（四）调试及测试

1. 测试数据：

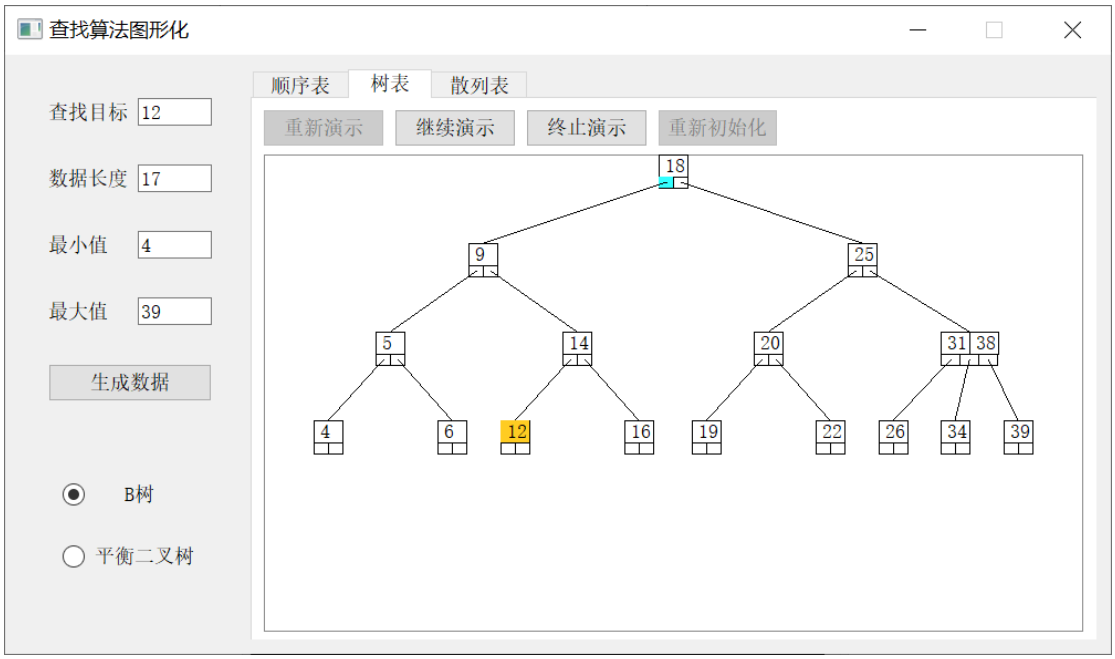
点击生成数据按钮

2. 演示示例：

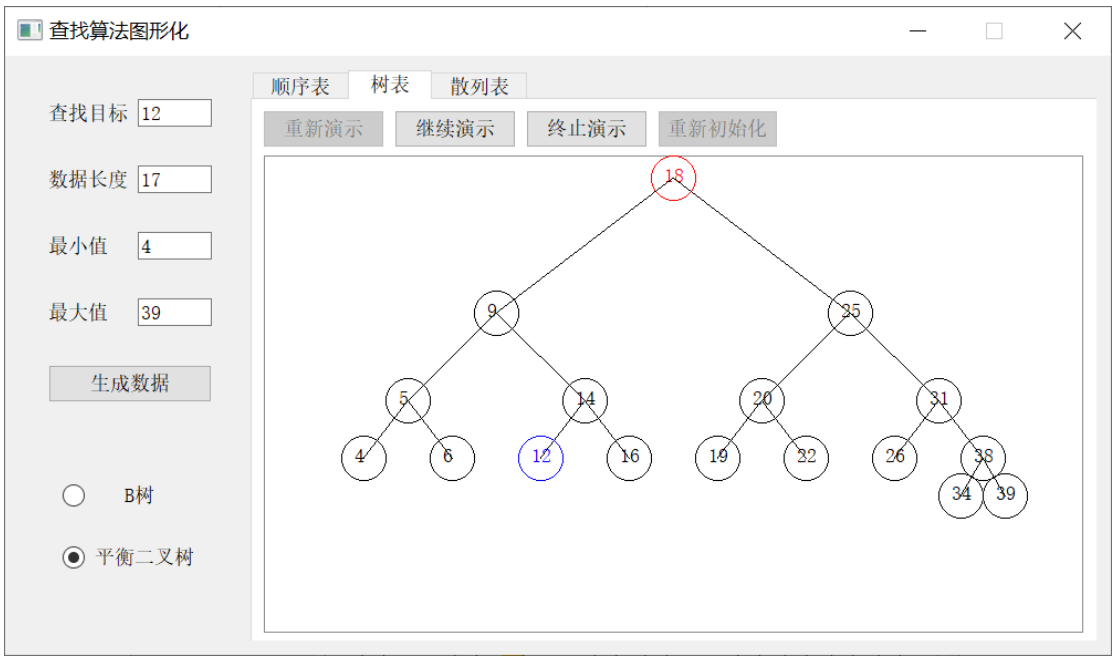
二分查找



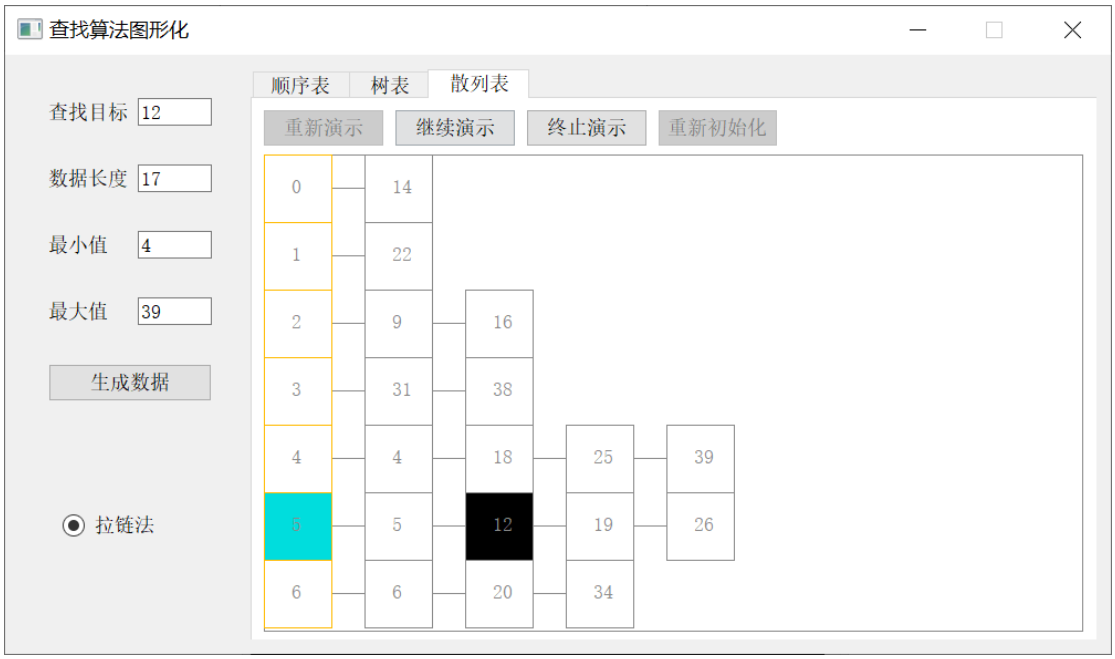
索引表查找


查找算法图形化
查找目标 12
数据长度 17
最小值 4
最大值 39
生成数据
B树
平衡二叉树
顺序表
树表
散列表
重新演示
继续演示
终止演示
重新初始化
18
9
25
5
14
20
31
38
4
6
12
16
19
22
26
34
39

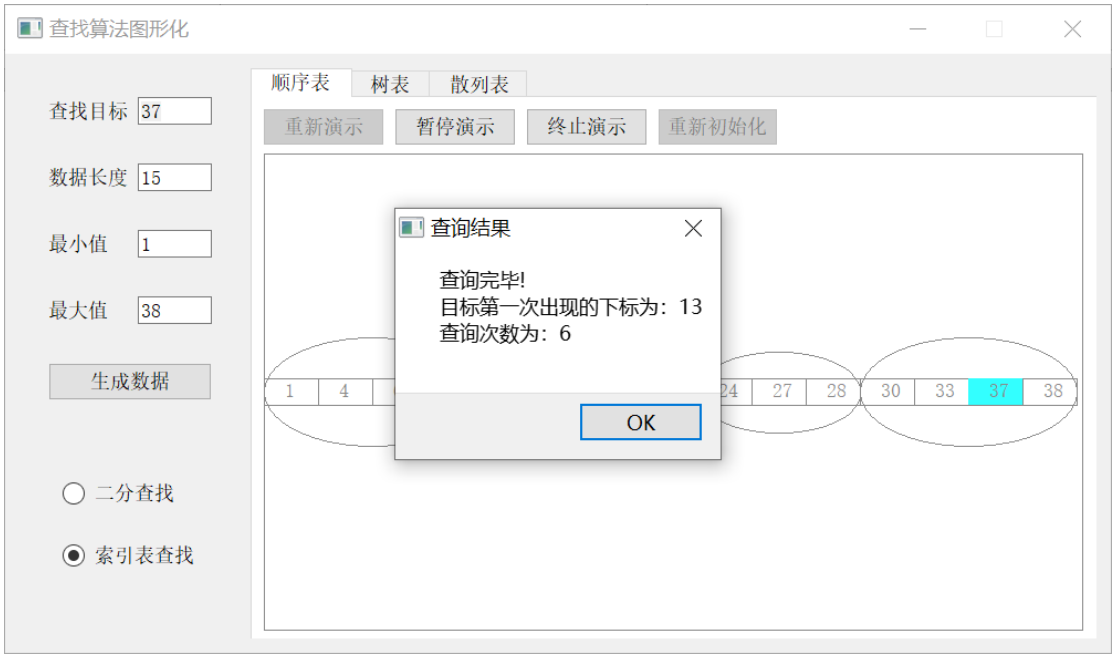
B 树查找


查找算法图形化
查找目标 12
数据长度 17
最小值 4
最大值 39
生成数据
B树
平衡二叉树
顺序表
树表
散列表
重新演示
继续演示
终止演示
重新初始化
18
9
25
5
14
20
31
4
6
12
16
19
32
26
38
34
39

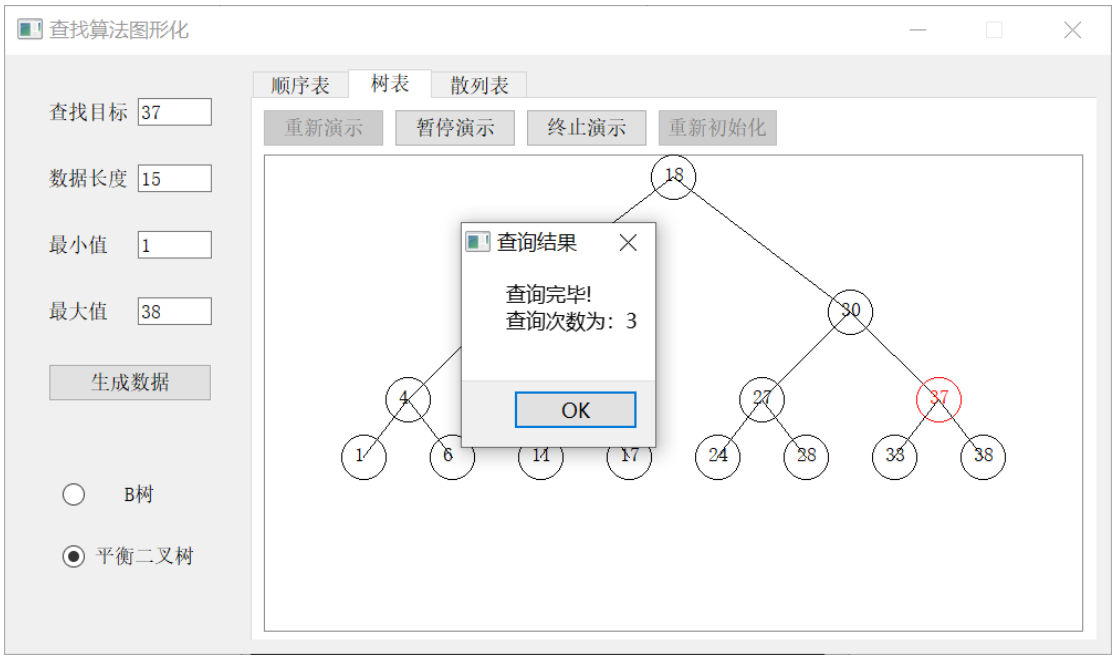
平衡树查找



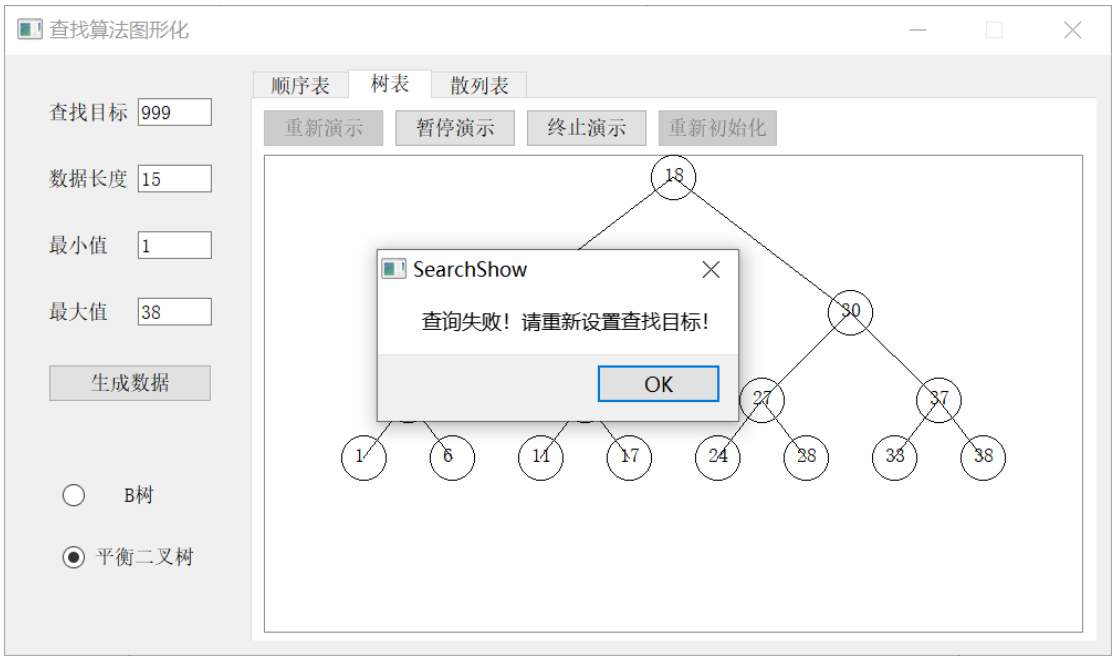
散列表查找



查找成功，以索引表为例



查找成功，以平衡二叉树为例



查找失败，以平衡二叉树为例

(五) 感想

一开始写此课设的时候，自己有很多代码重复性比较大，但是发现的时候已经比较晚了，重新进行封装后，代码量大大减少，并且逻辑更加清晰，但是的确也费了不少力气。

对于此次设计，我最大的遗憾是没有结合多线程去实现，而没有了多线程，在实现一些功能上的确比较麻烦，例如终止演示，或重复点击相同的按钮等，这些操作会造成各种各样的 bug，虽然经过我的改进，以单线程也可以完成这些功能，但总体比较遗憾，因为这应该是一次难得的多线程应用机会。

再者，因为一开始图形界面的设计问题，布局过于小，导致展示空间有限，这就使得我不得不限定随机生成数据的数目最大值，不能让用户去随意设置，因为再怎么优化展示的算法，空间始终无法满足太多的数据展示。

不过，此次课设我也收获颇多，首先是对于 bfs，dfs 的不同应用场景有了更深的理解，其次，自己去查了网上的资料，独立写出了平衡二叉树和 B 树查找，并且将他们图形化，让我对于这两种的算法的理解更加深刻，同时不再像以往一样对于树结构总有种陌生感，不熟悉各种操作。

并且，通过此次课设，我体会到了合理的函数封装与类的继承关系设计的重要性，如果只是一味的按照逻辑想到哪写到哪，那当代码量逐渐庞大起来时，便会造成自己也看不懂的困境。虽然此次对于自己的设计与封装还有很多很多的不足之处，但是经过此次的尝试，我相信自己能在下一次的程序设计种，设计出更合理的程序结构。

附录：

1. 头文件 BtnGroup.h：

```
#ifndef BTNGROUP_H
#define BTNGROUP_H

#include <QWidget>
#include "qpushbutton.h"
namespace Ui {
```

```
    class BtnGroup;
}

class BtnGroup : public QWidget
{
    Q_OBJECT

public:
    explicit BtnGroup(QWidget *parent = nullptr);
    ~BtnGroup();
    void startBegin();
    void startEnd();
    QPushButton* start;
    QPushButton* pause;
    QPushButton* terminate;
    QPushButton* reinitialize;

private:
    Ui::BtnGroup *ui;
};

#endif // BTNGROUP_H
```

2. BtnGroup 类：

```
#include "btngroup.h"
#include "ui_btngroup.h"

BtnGroup::BtnGroup(QWidget *parent) :
        QWidget(parent),
        ui(new Ui::BtnGroup)
{
    ui->setupUi(this);
    start = ui->start;
    pause = ui->pause;
    terminate = ui->terminate;
    reinitialize = ui->reinitialize;
}

void BtnGroup::startBegin(){
    ui->pause->setText("暂停演示");
    ui->start->setText("重新演示");
    ui->reinitialize->setEnabled(false);
```

```
    ui->start->setEnabled(false);
    ui->pause->setEnabled(true);
}

void BtnGroup::startEnd(){
    ui->start->setEnabled(true);
    ui->pause->setEnabled(false);
    ui->reinitialize->setEnabled(true);
}

BtnGroup::~BtnGroup()
{
    delete ui;
}
```

3. 头文件 HashSearch.h：

```
#ifndef HASHSEARCH_H
#define HASHSEARCH_H

#include <QWidget>
#include "mainwindow.h"

class HashSearch : public Search
{
    Q_OBJECT
    struct node{
        int data = NULL;
        node* next = NULL;
        bool isSearched = false;
    };
    struct bucket{
        int index = NULL;
        node* node = NULL;
        bucket* next = NULL;
    };
public:
    explicit HashSearch(QWidget *parent = nullptr);
    void paintEvent(QPaintEvent *);
    void hashSearch();
    void getsignal(bool isHashSearch,int length,int target,int *nums);//接收信号，决定演示哪种
算法
    void searchBucket(bucket* &t,int index);//根据 index 搜寻对应的 bucket
private:
    bool isfirst = true;//是否是第一次绘图
```

```
    bool ishash = false;
    int *nums;
    int buckedtLength = 7;
    int bucketIndex;
    int length;
    int target;
    int currentIndex;
    int count;//查询次数
    bucket *firstBucket;

    signals:

};

#endif // HASHSEARCH_H
```

4. HashSearch 类：

```
#include "hashsearch.h"
#include "QPainter"
#include "QDebug"
HashSearch::HashSearch(QWidget *parent) : Search(parent)
{

}

//获取信号
void HashSearch::getsignal(bool isHashSearch,int length,int target,int *nums){
    ishash = isHashSearch;
    currentIndex = -1;
    count = 0;
    this->nums = nums;
    this->length = length;
    this->target = target;
    //散列表查找
    if(ishash){
        update();
        hashSearch();
    }
}

//散列表查找对数据的处理
void HashSearch::hashSearch(){
    MainWindow m;
    firstBucket = new bucket;
```

```
bucket* p = firstBucket;
bucket* last = NULL;
for (int i = 0;i<buckedtLength;i++) {
	if(p!=firstBucket)
		p = new bucket;
	p->index = i;
	p->node = new node;
	p->node->isSearched = false;
	if(last!=NULL)
		last->next = p;
	last = p;
	p = p->next;
}
node* t;
node* currentNode;
bucket* n;
//数据处理,为每个散列项加上后面的节点
for (int i = 0;i<length;i++) {
	int bucketIndex = nums[i];
	while(bucketIndex>buckedtLength-1){
		bucketIndex = bucketIndex%buckedtLength;
	}
	t = new node;
	t->isSearched = false;
	t->data = nums[i];
	searchBucket(n,bucketIndex);
	currentNode = n->node;
	while(currentNode->next!=NULL){
		currentNode = currentNode->next;
	}
	currentNode->next = t;
}
//确定目标所在的 buckedIndex
bucketIndex = target;
while(bucketIndex>buckedtLength-1){
	bucketIndex = bucketIndex % buckedtLength;
}
//第一次绘图，打上第一次绘图的标记
isfirst = true;
repaint();

//这里的 currentIndex 代表当前指向的节点
searchBucket(n,bucketIndex);
node* index = n->node;
```

```
        currentIndex = index->data;
        count++;
        while(index->data!=target){
            index = index->next;
            count++;
            if(index==NULL)
                break;
            currentIndex = index->data;
            repaint();
        }
        if(index==NULL){
            currentIndex = FalseSearch;
        }
        if(currentIndex==FalseSearch&&isterminate==false){
            m.result(1,count);
        }
        if(currentIndex!=FalseSearch&&isterminate==false){
            m.result(0,count);
        }
}

//从 buckets 中找到指定的节点
void HashSearch::searchBucket(bucket* &t,int index){
        bucket* n = firstBucket;
        while(n!=NULL){
            if(n->index==index){
                t = n;
                return;
            }
            n = n->next;
        }
}

//绘画事件
void HashSearch::paintEvent(QPaintEvent *){
        QPainter painter;
        painter.begin(this);
        //手动绘制边框
        painter.setPen(QColor(139, 139, 139));
        painter.drawLine(0, 0, this->width() - 1, 0);
        painter.drawLine(0, 0, 0, this->height() - 1);
        painter.drawLine(this->width() - 1, 0, this->width() - 1, this->height() - 1);
        painter.drawLine(0, this->height() - 1, this->width() - 1, this->height() - 1);
```

```
        //用于终止演示
        if(isterminate){
            return;
        }

        if(ishash){
            int height = this->height()/buckedtLength;
            int width = height;
            int lineLength = width/2;
            int x = 0;
            int y = 0;
            bucket * n;
            //判断当前节点是否为头节点
            bool ishead = true;
            //判断当前行是否已经完成当前节点的指向转移
            bool isget = false;
            //每循环一次绘制一行
            for (int i = 0;i<buckedtLength;i++) {
                searchBucket(n,i);
                node* t = n->node;
                //每循环一次画一个矩形
                while(t!=NULL){
                    QRect rect(x,y,width,height);
                    painter.save();
                    if(t->next!=NULL)
                        painter.drawLine(QPointF(x+width,y+height/2),
QPointF(x+width+lineLength,y+height/2));
                    if(target==t->data)
                        painter.fillRect(rect,Qt::SolidPattern);

if(currentIndex==t->data&&isfirst==false&&isget==false&&t->data!=NULL&&t->isSearched==
false){
                        painter.fillRect(rect,QColor("#00DDDD"));
                        t->isSearched = true;
                        isget = true;
                    }
                    if(bucketIndex==i&&isfirst){
                        isfirst = false;
                        painter.fillRect(rect,QColor("#00DDDD"));
                    }
                    if(ishead){

painter.drawText(x+width/2-5,y+height/2+5,QString::number(n->index));
                        painter.setPen(QColor("#FFBB00"));
```

```
                    ishead = false;
                }else{
                    painter.drawText(x+width/2-5,y+height/2+5,QString::number(t->data));
                }
                painter.drawRect(rect);
                painter.restore();
                t = t->next;
                x = x+width+lineLength;
            }
            ishead = true;
            isget = false;
            x = 0;
            y = y+height;
        }
    }
    painter.end();
}
```

5. 头文件 ListSearch.h：

```
#ifndef BINARYSEARCH_H
#define BINARYSEARCH_H

#include <QWidget>
#include "mainwindow.h"

class ListSearch : public Search
{
    Q_OBJECT
public:
    explicit ListSearch(QWidget *parent = nullptr);
    void paintEvent(QPaintEvent *);
    void binarySearch();
    void indexedSearch();
    void getsignal(bool binary,bool indexed,int length,int target,int *nums);//接收信号，决定演示哪种算法
private:
    bool isBinary = false;
    bool isIndexed = false;
    int length;
    int target;
    int *indexList;//每个索引项其中的最大值
    int *starts;//每个索引项的起始索引值
    int *lengths;//每个索引项的长度
    int *nums;//数据组
```

```
    int begin;
    int end;
    int currentIndex = 0;//当前选中的索引
    int count;//查询次数
};

#endif // BINARYSEARCH_H
```

6. ListSearch 类：

```
#include "listsearch.h"
#include "QPainter"
#include "QDebug"
#include "mainwindow.h"
ListSearch::ListSearch(QWidget *parent) : Search(parent)
{

}
//绘图事件
void ListSearch::paintEvent(QPaintEvent *){
    QPainter painter;
    painter.begin(this);
    //手动绘制边框
    painter.setPen(QColor(139, 139, 139));
    painter.drawLine(0, 0, this->width() - 1, 0);
    painter.drawLine(0, 0, 0, this->height() - 1);
    painter.drawLine(this->width() - 1, 0, this->width() - 1, this->height() - 1);
    painter.drawLine(0, this->height() - 1, this->width() - 1, this->height() - 1);

    //用于终止演示时
    if(isterminate){
        return;
    }
    //计算每个节点在图上出现的位置
    int width = this->width()/length;
    int height = width/2;
    int x = 0;
    int y = this->height()/2-height/2;

    //当选择为二分查找算法时并开始运行时，开始绘图
    if(isBinary){
        //绘图
        for(int i = 0;i<length;i++){
            QRect rect(x,y,width,height);
            painter.drawRect(rect);
```

```
            if(target==nums[i])
                painter.fillRect(rect,Qt::SolidPattern);
            if(begin==i)
                painter.fillRect(rect,QColor("#33FFFF"));
            if(end==i)
                painter.fillRect(rect,QColor("#FFCC22"));
            //数据绘图
            painter.drawText(x+width/2-5,y+height/2+5,QString::number(nums[i]));
            x += width;
        }
    }

    //索引表法的绘图
    if(isIndexed){
        int index = 0;
        if(indexList[0]>10)
            index++;
        for(int i = 0;i<length;i++){
            QRect rect(x,y,width,height);
            painter.drawRect(rect);
            if(target==nums[i])
                painter.fillRect(rect,Qt::SolidPattern);
            if(i==currentIndex)
                painter.fillRect(rect,QColor("#33FFFF"));
            //数据绘图
            painter.drawText(x+width/2-5,y+height/2+5,QString::number(nums[i]));
            //对应某个索引项的开始索引值的时候，画椭圆圈起来
            if(i==starts[index]){
                int h = width*lengths[index]/2;
                int w = width*lengths[index];
                int y = this->height()/2-h/2;
                painter.drawEllipse(x,y,w,h);
                index++;
            }
            x += width;
        }

    }
    painter.end();
}

//接收开始按钮的信号,根据参数决定演示哪种查找
void ListSearch::getsignal(bool binary,bool indexed,int length,int target,int *nums){
    isBinary = binary;
```

```
        isIndexed = indexed;
        this->nums = nums;
        this->length = length;
        this->target = target;
        //对数据进行排序，这里采用冒泡排序
        for (int i = 0;i<length;i++) {
            for (int k = 0;k<length-i-1;k++) {
                if(nums[k]>nums[k+1]){
                    int t = nums[k];
                    nums[k] = nums[k+1];
                    nums[k+1] = t;
                }
            }
        }
        //二分查找
        if(isBinary){
            update();
            binarySearch();
        }
        //索引表查询
        if(isIndexed){
            update();
            indexedSearch();
        }
}

//索引表查找的数据处理
void ListSearch::indexedSearch(){
        MainWindow m;
        //判断查找数据是否合法
        currentIndex = 0;
        indexList = new int[length];
        starts = new int[length];
        lengths = new int[length];
        count = 0;
        for (int k = 0;k<length;k++) {
            lengths[k] = 0;
        }
        int t;
        int last = 0;
        int index = 0;

        //索引表分表
        for (int i = 0;i<length;i++) {
```

```
        t = nums[i];
        if(t<10){
            starts[index] = 0;
            indexList[index] = nums[i];
            lengths[index]++;
            continue;
        }
        t = t/10;
        if(t!=last){
            index++;
            starts[index] = i;
            indexList[index] = nums[i];
            lengths[index]++;
        }else{
            indexList[index] = nums[i];
            lengths[index]++;
        }
        last = t;
}

if(target<nums[0]||target>nums[length-1]){
        m.result(1,0);
        return;
}

//搜寻合适的索引项
for (int i = 0;i<length;i++) {
        currentIndex = starts[i];
        count++;
        if(nums[currentIndex]>target){
            m.result(1,0);
            return;
        }
        repaint();
        if(isterminate)
            return;
        if(target<=indexList[i]){
            break;
        }
}

//如果一开始就找到了，直接输出
if(target==nums[currentIndex]&&isterminate==false){
        m.result(currentIndex,count);
```

```
        }

        //在某个索引项中开始查找目标
        while(target!=nums[currentIndex]){
            currentIndex++;
            count++;
            if(nums[currentIndex]>target){
                m.result(1,0);
                return;
            }
            repaint();
            if(isterminate)
                return;
            if(target==nums[currentIndex]&&isterminate==false){
                m.result(currentIndex,count);
                break;
            }
        }
}

//二分查找的数据处理
void ListSearch::binarySearch(){
        begin = 0;
        end = length-1;
        count = 0;
        MainWindow m;
        if(target>nums[end]||target<nums[begin]){
            m.result(1,0);
            return;
        }
        while(begin<=end){
            count++;
            repaint();
            if(isterminate)
                return;
            if(target==nums[begin]){
                m.result(begin,count);
                break;
            }
            if(target==nums[end]){
                m.result(end,count);
                break;
            }
            if(target>nums[(end+begin)/2]){
```

```
                begin = (end+begin)/2+1;
                update();
                continue;
            }
            if(target<nums[(end+begin)/2]){
                end = (end+begin)/2-1;
                update();
                continue;
            }
            if(target==nums[(end+begin)/2]){
                m.result((end+begin)/2,count);
                break;
            }
        }
        if(begin>end){
            m.result(1,0);
        }
}
```

7. Main 类：

```
#include "mainwindow.h"

#include <QApplication>

int main(int argc, char *argv[])
{
    QApplication a(argc, argv);
    MainWindow w;
    w.show();
    return a.exec();
}
```

8. 头文件 MainWindow.h：

```
#ifndef MAINWINDOW_H
#define MAINWINDOW_H

#include <QMainWindow>
#include "search.h"
#include "btngroup.h"
QT_BEGIN_NAMESPACE
namespace Ui { class MainWindow; }
QT_END_NAMESPACE

class MainWindow : public QMainWindow
```

```
{
    Q_OBJECT

public:
    MainWindow(QWidget *parent = nullptr);
    ~MainWindow();
    void generate();//生成数据函数
    void result(int index,int count);//查询结果消息弹窗
    void start(Search* currentSearch,BtnGroup* btngroup,int page);
    void pause(Search* currentSearch,BtnGroup* btngroup);
    void terminate(Search* currentSearch,BtnGroup* btngroup);
    void reinitialize(Search* currentSearch,BtnGroup* btngroup,int page);
    void initChcek();//切换页面时初始化所有算法的选择
    void setTarget();//获取用户输入的查找值
private:
    Ui::MainWindow *ui;
    int randMax = 40;//随机数据的范围最大值
    int randMin = 1;//随机数据的范围最小值
    int max;//随机数据中的最小值
    int min;//随机数据中的最大值
    int randLengthMax = 20;//随机数据长度的范围最大值
    int randLengthMin = 15;//随机数据长度的范围最小值
    int length;//数据长度
    int target = randMax+1;//数据目标
    int *nums;//存放数据的数组
    int isready = false;//是否已生成数据
    bool isProper = false;//查找目标是否合法
};
#endif // MAINWINDOW_H
```

9. MainWindow 类：

```
#include "mainwindow.h"
#include "ui_mainwindow.h"
#include "listsearch.h"
#include "QTime"
#include "QMessageBox"
#include "QDebug"
MainWindow::MainWindow(QWidget *parent)
        : QMainWindow(parent)
        , ui(new Ui::MainWindow)
{
    ui->setupUi(this);
    this->setWindowTitle("查找算法图形化");
    this->setFixedSize(1000,541);
```

```
//初始将暂停按钮禁用
ui->btnGroup->pause->setEnabled(false);
ui->btnGroup_2->pause->setEnabled(false);
ui->btnGroup_3->pause->setEnabled(false);

//算法页面与对应的类型页面相匹配
connect(ui->tabWidget,&QTabWidget::currentChanged,ui->stackedWidget,[=](){
    ui->stackedWidget->setCurrentIndex(ui->tabWidget->currentIndex());
    initChcek();
    terminate(ui->showBoard,ui->btnGroup);
    terminate(ui->showBoard_2,ui->btnGroup_2);
    terminate(ui->showBoard_3,ui->btnGroup_3);
});

//点击开始演示按钮时，发送信号
connect(ui->btnGroup->start,&QPushButton::clicked,[=](){
    start(ui->showBoard,ui->btnGroup,1);
});
connect(ui->btnGroup_2->start,&QPushButton::clicked,[=](){
    start(ui->showBoard_2,ui->btnGroup_2,2);
});
connect(ui->btnGroup_3->start,&QPushButton::clicked,[=](){
    start(ui->showBoard_3,ui->btnGroup_3,3);
});

//点击暂停按钮
connect(ui->btnGroup->pause,&QPushButton::clicked,[=](){
    pause(ui->showBoard,ui->btnGroup);
});
connect(ui->btnGroup_2->pause,&QPushButton::clicked,[=](){
    pause(ui->showBoard_2,ui->btnGroup_2);
});
connect(ui->btnGroup_3->pause,&QPushButton::clicked,[=](){
    pause(ui->showBoard_3,ui->btnGroup_3);
});

//点击生成数据按钮，生成数据
connect(ui->generate,&QPushButton::clicked,[=](){
    generate();
    ui->btnGroup->start->setText("开始演示");
    ui->btnGroup_2->start->setText("开始演示");
    ui->btnGroup_3->start->setText("开始演示");
});
```

```
    //点击终止按钮时
    connect(ui->btnGroup->terminate,&QPushButton::clicked,[=](){
        terminate(ui->showBoard,ui->btnGroup);
    });
    connect(ui->btnGroup_2->terminate,&QPushButton::clicked,[=](){
        terminate(ui->showBoard_2,ui->btnGroup_2);
    });
    connect(ui->btnGroup_3->terminate,&QPushButton::clicked,[=](){
        terminate(ui->showBoard_3,ui->btnGroup_3);
    });

    //点击重新初始化按钮
    connect(ui->btnGroup->reinitialize,&QPushButton::clicked,[=](){
        reinitialize(ui->showBoard,ui->btnGroup,1);
    });
    connect(ui->btnGroup_2->reinitialize,&QPushButton::clicked,[=](){
        reinitialize(ui->showBoard_2,ui->btnGroup_2,2);
    });
    connect(ui->btnGroup_3->reinitialize,&QPushButton::clicked,[=](){
        reinitialize(ui->showBoard_3,ui->btnGroup_3,3);
    });
}

//切换页面时清空所有算法的选择
void MainWindow::initChcek(){
    //不关掉自动排除，则无法修改按钮的 checked 值
    ui->binary->setAutoExclusive(false);
    ui->binary->setChecked(false);
    ui->binary->setAutoExclusive(true);

    ui->index->setAutoExclusive(false);
    ui->index->setChecked(false);
    ui->index->setAutoExclusive(true);

    ui->hash->setAutoExclusive(false);
    ui->hash->setChecked(false);
    ui->hash->setAutoExclusive(true);

    ui->balancedTree->setAutoExclusive(false);
    ui->balancedTree->setChecked(false);
    ui->balancedTree->setAutoExclusive(true);
}

//开始按钮功能的封装
```

```
void MainWindow::start(Search* currentSearch,BtnGroup* btngroup,int page){
    setTarget();
    if(isready==false||isProper==false)
        return;
    currentSearch->ispause = false;
    currentSearch->isterminate = false;
    btngroup->startBegin();
    if(page==1)

ui->showBoard->getsignal(ui->binary->isChecked(),ui->index->isChecked(),length,target,nums);
    if(page==2)

ui->showBoard_2->getsignal(ui->BTree->isChecked(),ui->balancedTree->isChecked(),length,targ
et,nums);
    if(page==3)
        ui->showBoard_3->getsignal(ui->hash->isChecked(),length,target,nums);
    btngroup->startEnd();
}

//暂停按钮功能封装
void MainWindow::pause(Search* currentSearch,BtnGroup* btngroup){
    currentSearch->ispause = !currentSearch->ispause;
    if(currentSearch->ispause==true)
        btngroup->pause->setText("继续演示");
    else
        btngroup->pause->setText("暂停演示");
}

//终止按钮功能封装
void MainWindow::terminate(Search* currentSearch,BtnGroup* btngroup){
    currentSearch->isterminate = true;
    currentSearch->ispause = false;
    btngroup->pause->setText("暂停演示");
    btngroup->pause->setEnabled(false);
    btngroup->start->setEnabled(true);
    btngroup->reinitialize->setEnabled(true);
    //以白板覆盖,达到终止演示的效果
    currentSearch->update();
}

//重新初始化功能封装
void MainWindow::reinitialize(Search* currentSearch,BtnGroup* btngroup,int page){
    terminate(currentSearch,btngroup);
    generate();
```

```
    btngroup->reinitialize->setEnabled(false);
    btngroup->start->setText("开始演示");
    start(currentSearch,btngroup,page);
}

//随机生成数据
void MainWindow::generate(){
    isready = true;
    //初始化最大最小值，方便后面查询随机数据的最大最小值
    min = randMax;
    max = randMin;
    qsrand(QTime(0, 0, 0).secsTo(QTime::currentTime()));
    //随机生成数据长度
    length = qrand()%(randLengthMax-randLengthMin)+randLengthMin;
    nums = new int[length];
    //初始化数组
    for (int i = 0;i<length;i++) {
        nums[i] = -1;
    }
    //随机生成数据,并对数据进行去重
    int i = 0;
    while(i<length){
        bool isSame = false;
        int num = qrand()%(randMax-randMin)+randMin;
        for (int k = 0;nums[k]!=-1;k++) {
            if(num==nums[k]){
                isSame = true;
                break;
            }
        }
        if(isSame==true){
            continue;
        }
        nums[i] = num;
        if(max<nums[i])
            max = nums[i];
        if(min>nums[i])
            min = nums[i];
        i++;
    }
    //确定目标值
    target = nums[qrand()%(length-1)];

    //显示随机数据的一些信息
```

```
    ui->target->setText(QString::number(target));
    ui->length->setText(QString::number(length));
    ui->max->setText(QString::number(max));
    ui->min->setText(QString::number(min));
}

//通知查询结果的消息窗
void MainWindow::result(int index,int count){
    QMessageBox msgBox;
    if(index==1){
        msgBox.setText("查询失败！请重新设置查找目标！");
        msgBox.exec();
        return;
    }
    QString s = "查询完毕!";
    s.append("\n");
    if(index!=0){
        s.append("目标第一次出现的下标为：");
        s.append(QString::number(index));
        s.append("    ");
        s.append("\n");
    }
    s.append("查询次数为：");
    s.append(QString::number(count));
    s.append("    ");
    s.append("\n");
    msgBox.setText(s);
    msgBox.setWindowTitle("查询结果");
    msgBox.exec();
}

//获取用户输入的查找值
void MainWindow::setTarget(){
    isProper = false;
    QString str = ui->target->text();
    if(str=="")
        return;
    int target = str.toUInt();
    if(target>0)
        isProper = true;
    if(isProper == true)
        this->target = target;
    else{
        QMessageBox msgBox;
```

```
            QString s = "您输入的查找目标不合法!";
            s.append('\n');
            s.append("查找目标值必须大于 0!");
            msgBox.setText(s);
            msgBox.setWindowTitle("查询错误");
            msgBox.exec();
        }

}

MainWindow::~MainWindow()
{
    delete ui;
}
```

10. 头文件 Search.h：

```
#ifndef SEARCH_H
#define SEARCH_H

#include <QWidget>
#include "QTime"
#define FalseSearch -2147483648

class Search : public QWidget
{
    Q_OBJECT
public:
    explicit Search(QWidget *parent = nullptr);
    bool ispause = false;
    bool isterminate = false;
    void repaint();//更新绘画
    void Sleep(int msec);//自定义延时器

    signals:

};

#endif // SEARCH_H
```

11. Search 类：

```
#include "search.h"
#include "QTime"
#include "QCoreApplication"
Search::Search(QWidget *parent) : QWidget(parent)
```

```
{

}

//重新绘画
void Search::repaint(){
    //将 1.5s 的绘画延迟重塑成 15 份 0.1s,更加频繁的检测自身的状态,已解决程序未及时终止便开始新一轮绘图的情况
    for (int i = 0;i<15;i++) {
        Sleep(100);
        while(ispause){
            Sleep(100);
        }
        if(isterminate)
            return;
    }
    update();
}

//自定义的延时器函数
void Search::Sleep(int msec)
{
    QTime dieTime = QTime::currentTime().addMSecs(msec);
    while( QTime::currentTime() < dieTime )
        QCoreApplication::processEvents(QEventLoop::AllEvents, 100);
}
```

12. 头文件 TreeSearch.h：

```
#ifndef TREESEARCH_H
#define TREESEARCH_H
#define ORDER 3
#include <QWidget>
#include "mainwindow.h"
#include "search.h"
#include "QTime"
#include <QQueue>



class TreeSearch : public Search
{

    Q_OBJECT
    struct bnode{
```

```
        int data;
        bnode* leftC = NULL;
        bnode* rightC = NULL;
        int level = 0;//节点的层数
        int bf = 0;//平衡因子
    };


    const int Max=ORDER-1; //结点的最大关键字数量
    const int Min=(ORDER-1)/2;   //结点的最小关键字数量

    struct Bnode{                          //B 树和 B 树结点类型
        int keynum;                        //结点关键字个数
        int key[ORDER+1];                  //关键字数组，key[0]不使用
        struct Bnode *parent;              //双亲结点指针
        struct Bnode *ptr[ORDER+1];        //孩子结点指针数组
        Bnode(){
            for (int i = 0; i < ORDER+1 + 1; i++)
            {
                ptr[i] = NULL;
                key[i] = -1;
            }
            keynum = 0;
            parent = NULL;
        }
    };
public:
    explicit TreeSearch(QWidget *parent = nullptr);
    void paintEvent(QPaintEvent *);//绘图事件
    void balancedTreeSearch();//平衡二叉树查找数据处理
    void BTreeSearch();//B 树查找数据处理
    void getsignal(bool isBTree,bool isbalancedTree,int length,int target,int *nums);//接收信号，决定演示哪种算法
    int SearchNode(bnode* &target,int data);//查找到 data 数据的父节点
    void paint(int x,int y,bnode* n);//给当前节点画左右两个儿子节点的图
    void Bpaint(int x,int y,int px,int py,int index,Bnode* b);//给 B 树的当前节点画儿子节点的图
    int getHeight(bnode* t);//获取以当前节点为根的二叉树的高度
    void setBF(bnode* t);//更新整棵树每个节点的平衡因子
    void getBf(bnode* &target);//获取平衡因子绝对值超过 1 的最高层次的那个节点（注意，这里我没有采用找层次最低的平衡点，因为有个 BUG 实在无法定位修复，所以采取了消耗更大的找层次最高的平衡点）
    void correct(bnode* begin,bnode* target);//判断当前错误属于什么型，并执行相应的修复函数
```

```
    void getLevel(bnode* t);//更新所有节点的层次数
    void setIndex(Bnode* &b,int num);//给新关键字找到合适的位置插入
    void reset(Bnode* &b);//重置调整 B 树
    void SplitBnode(Bnode *&p,Bnode *&q);//将结点 p 分裂成两个结点,前一半保留,后一半移入结点 q
    void dfs(double x,double y,double px,double py,int index,int level,Bnode* b);//深度优先遍历 B 树,并调用绘画
    void getMaxLevel(Bnode* b);//获取 B 树的最大深度
    void LL(bnode* t);
    void RR(bnode* t);
    void LR(bnode* t);
    void RL(bnode* t);
private:
    bnode* root;//二叉树的根节点
    Bnode* Broot;//B 树根节点
    bool isbalancedTree = false;
    bool isBTree = false;
    int length;
    int target;
    int currentIndex;
    int *nums;
    int count;//查询次数
    int r = 20;//圆的半径
    double angle = 30;//初始偏转角度
    double addangel = 7.5;//每一层改变的偏转角度量
    QQueue<int> q;//存储每个节点的 x,y 坐标
    QQueue<bnode*> node;//存储节点
    QQueue<bnode*> node_2;//存储节点，用于广度优先遍历
    int w = 26;//B 树关键字节点的宽度
    int h = 20;//B 树关键字节点的高度
    int maxLevel;//B 树的最大深度
};

#endif // TREESEARCH_H
```

13. TreeSearch 类：

```
#include "treesearch.h"
#include "QPainter"
#include "math.h"
#include "QDebug"
#include <QQueue>
#include "math.h"
TreeSearch::TreeSearch(QWidget *parent) : Search(parent)
{
```

```
}

//绘图事件
void TreeSearch::paintEvent(QPaintEvent *){
    QPainter painter;
    painter.begin(this);
    //手动绘制边框
    painter.setPen(QColor(139, 139, 139));
    painter.drawLine(0, 0, this->width() - 1, 0);
    painter.drawLine(0, 0, 0, this->height() - 1);
    painter.drawLine(this->width() - 1, 0, this->width() - 1, this->height() - 1);
    painter.drawLine(0, this->height() - 1, this->width() - 1, this->height() - 1);

    //用于终止演示时
    if(isterminate){
        return;
    }


    if(isbalancedTree){
        int x = this->width()/2;
        int y = r;
        bnode *n;
        //画根节点
        node.enqueue(root);
        painter.setPen(Qt::black);
        if(root->data==target){
            painter.setPen(Qt::blue);
        }
        if(root->data==currentIndex){
            painter.setPen(Qt::red);
        }
        painter.drawEllipse(QPoint(x,y),r,r);
        painter.drawText(QPoint(x-8,y+4),QString::number(root->data));
        q.enqueue(this->width()/2);
        q.enqueue(r);
        while(!q.isEmpty()){
            n = node.dequeue();
            x = q.dequeue();
            y = q.dequeue();
            paint(x,y,n);
        }
    }
```

```
    if(isBTree){
        Bnode* b = Broot;
        int x = this->width()/2 - w*b->keynum/2;
        int y = 0;
        int px = x;
        int py = y;
        maxLevel = 0;
        getMaxLevel(Broot);
        dfs(x,y,px,py,0,1,b);
    }

    painter.end();
}

//给当前节点画左右两个儿子节点的图
void TreeSearch::paint(int x,int y,bnode* n){
    QPainter painter;
    painter.begin(this);
    int lx = x-8*r/pow(2,n->level-1);
    int ly = y+(x-lx)*tan((angle+(n->level)*addangel)*3.1415/180);
    int rx = x+8*r/pow(2,n->level-1);
    int ry = ly;
    if(n->leftC!=NULL){
        painter.drawLine(QPoint(x,y),QPoint(lx,ly));
        if(n->leftC->data==target){
            painter.setPen(Qt::blue);
        }
        if(n->leftC->data==currentIndex){
            painter.setPen(Qt::red);
        }
        painter.drawEllipse(QPoint(lx,ly),r,r);
        painter.drawText(QPoint(lx-8,ly+4),QString::number(n->leftC->data));

        q.enqueue(lx);
        q.enqueue(ly);
        node.enqueue(n->leftC);
    }
    painter.setPen(Qt::black);
    if(n->rightC!=NULL){
        painter.drawLine(QPoint(x,y),QPoint(rx,ry));
        if(n->rightC->data==target){
            painter.setPen(Qt::blue);
        }
```

```
            if(n->rightC->data==currentIndex){
                painter.setPen(Qt::red);
            }
            painter.drawEllipse(QPoint(rx,ry),r,r);
            painter.drawText(QPoint(rx-8,ry+4),QString::number(n->rightC->data));
            q.enqueue(rx);
            q.enqueue(ry);
            node.enqueue(n->rightC);
        }
        painter.end();
}

//接收开始按钮的信号,根据参数决定演示哪种查找
void TreeSearch::getsignal(bool isBTree,bool isbalancedTree,int length,int target,int *nums){
        this->isbalancedTree = isbalancedTree;
        this->isBTree = isBTree;
        this->nums = nums;
        this->length = length;
        this->target = target;

        //平衡树
        if(this->isbalancedTree){
            update();
            balancedTreeSearch();
        }

        //B 树
        if(this->isBTree){
            update();
            BTreeSearch();
        }
}

//平衡二叉树查找数据处理
void TreeSearch::balancedTreeSearch(){
        MainWindow m;
        root = new bnode;
        root->data = nums[0];
        root->level = 1;
        root->bf = 0;
        bnode* t;
        count = 1;
        int l;
```

```
//根据数据生成二叉树
for (int i = 1;i<length;i++) {
	bnode* begin = NULL;
	bnode* newNode = new bnode;
	newNode->data = nums[i];
	l = SearchNode(t,nums[i]);
	if(nums[i]>t->data){
		t->rightC = newNode;
	}else{
		t->leftC = newNode;
	}
	newNode->level = l+1;
	setBF(root);
	getBf(begin);
	if(begin!=NULL){
		correct(begin,newNode);
	}
}
//更新所有节点的层次
getLevel(root);
update();
//查找开始
currentIndex = root->data;
repaint();
if(isterminate==true){
	return;
}
bnode* n = root;
while(target!=currentIndex&&n!=NULL){
	if(target>n->data){
		n = n->rightC;
	}else if(target<n->data){
		n = n->leftC;
	}
	if(n==NULL){
		currentIndex = FalseSearch;
	}else{
		currentIndex = n->data;
	}
	count++;
	repaint();
	if(isterminate==true){
		return;
	}
```

```
        }
        if(currentIndex==FalseSearch&&isterminate==false){
            m.result(1,count);
        }
        if(currentIndex!=FalseSearch&&isterminate==false){
            m.result(0,count);
        }
}

//查找到 data 数据的父节点
int TreeSearch::SearchNode(bnode* &target,int data){
        bnode* t = root;
        int level = 1;
        while(t!=NULL&&t->data!=data){
            target = t;
            if(data>t->data){
                t = t->rightC;
            }else{
                //如果节点值与数据相等，统一放右边
                t = t->leftC;
            }
            level++;
        }
        return level;
}

//获取以当前节点为根的二叉树的高度
int TreeSearch::getHeight(bnode* t){
        if(t==NULL){
            return 0;
        }
        return qMax(getHeight(t->leftC)+1,getHeight(t->rightC)+1);
}

//更新整棵树每个节点的平衡因子
void TreeSearch::setBF(bnode* t){
        if(t!=NULL){
            t->bf = getHeight(t->leftC) - getHeight(t->rightC);
            setBF(t->leftC);
            setBF(t->rightC);
        }
}

//获取平衡因子绝对值超过 1 的最高层次的那个节点（注意，这里我没有采用找层次最低的
```

平衡点，因为有个 BUG 实在无法定位修复，所以采取了消耗更大的找层次最高的平衡点）

```
void TreeSearch::getBf(bnode* &target){
    bnode* t;
    node_2.enqueue(root);
    while(!node_2.isEmpty()){
        t = node_2.dequeue();
        if(qAbs(t->bf)>1){
            target = t;
        }
        if(t->leftC!=NULL)
            node_2.enqueue(t->leftC);
        if(t->rightC!=NULL)
            node_2.enqueue(t->rightC);
    }
}

//判断当前错误属于什么型，并执行相应的修复函数
void TreeSearch::correct(bnode* begin,bnode* target){
    if(begin->leftC==NULL)
        qDebug()<<"";
    if(target->data > begin->data){
        if(begin->rightC!=NULL && target->data > begin->rightC->data){
            RR(begin);
        }else{
            RL(begin);
        }
    }else{
        if(begin->leftC!=NULL && target->data < begin->leftC->data){
            LL(begin);
        }else{
            LR(begin);
        }
    }
}

void TreeSearch::LL(bnode* t){
    bnode* begin = t;
    bnode* mid = begin->leftC;
    if(mid->rightC!=NULL){
        begin->leftC = mid->rightC;
        mid->rightC = begin;
    }else{
        begin->leftC = NULL;
        mid->rightC = begin;
```

```
    }
    //如果根节点参与了旋转，需要跳转 root 的指向
    if(begin==root){
        root = mid;
    }else{
        bnode* p;
        SearchNode(p,begin->data);
        if(p->leftC==begin)
            p->leftC = mid;
        else
            p->rightC = mid;
    }
}

void TreeSearch::RR(bnode* t){
    bnode* begin = t;
    bnode* mid = begin->rightC;
    if(mid->leftC!=NULL){
        begin->rightC = mid->leftC;
        mid->leftC = begin;
    }else{
        begin->rightC = NULL;
        mid->leftC = begin;
    }
    //如果根节点参与了旋转，需要跳转 root 的指向
    if(begin==root){
        root = mid;
    }else{
        bnode* p;
        SearchNode(p,begin->data);
        if(p->leftC==begin)
            p->leftC = mid;
        else
            p->rightC = mid;
    }
}

void TreeSearch::LR(bnode* t){
    bnode* begin = t;
    bnode* mid = begin->leftC;
    bnode* end = mid->rightC;
    if(end->leftC!=NULL){
        begin->leftC = end;
        mid->rightC = end->leftC;
```

```
            end->leftC = mid;
        }else{
            begin->leftC = end;
            mid->rightC = NULL;
            end->leftC = mid;
        }
        LL(begin);
}

void TreeSearch::RL(bnode* t){
        bnode* begin = t;
        bnode* mid = begin->rightC;
        bnode* end = mid->leftC;
        if(end->rightC!=NULL){
            begin->rightC = end;
            mid->leftC = end->rightC;
            end->rightC = mid;
        }else{
            begin->rightC = end;
            mid->leftC = NULL;
            end->rightC = mid;
        }
        RR(begin);
}

//更新所有节点的层次数
void TreeSearch::getLevel(bnode* t){
        if(t==NULL){
            return;
        }
        int level = 1;
        bnode* curNode = root;
        while(curNode->data!=t->data){
            if(t->data>curNode->data){
                curNode = curNode->rightC;
            }else{
                curNode = curNode->leftC;
            }
            level++;
        }
        t->level = level;
        getLevel(t->leftC);
        getLevel(t->rightC);
}
```

```
//B 树的数据处理
void TreeSearch::BTreeSearch(){
    Broot = new Bnode;
    Broot->key[1] = nums[0];
    Broot->keynum = 1;
    for (int i = 1;i<length;i++) {
        Bnode* b = Broot;
        for (int j = 0;j<=ORDER+1;j++) {
            if(((nums[i] < b->key[j+1]) || (nums[i] > b->key[j+1] && b->key[j+1]==-1)) &&
b->ptr[j]!=NULL){
                b = b->ptr[j];
                j = -1;
                continue;
            }
            if(nums[i] < b->key[j+1]&&b->ptr[j]==NULL){
                setIndex(b,nums[i]);
                break;
            }
            if(b->key[j]==-1 && j!=0){
                b->key[j]=nums[i];
                b->keynum++;
                break;
            }
        }
        if(b->keynum == Max+1){
            reset(b);
        }
    }
    update();
    //在 B 树中开始搜索
    Bnode* b = Broot;
    MainWindow m;
    count = 0;

    for (int j = 0;j<=ORDER+1;j++) {
        if(b==NULL){
            currentIndex = -999;
            repaint();
            if(isterminate==true){
                return;
            }
            m.result(1,count);
            return;
```

```
            }
            if( b->key[j] < target && target < b->key[j+1] ){
                currentIndex = b->key[j+1];
                count++;
                repaint();
                if(isterminate==true){
                    return;
                }
                b = b->ptr[j];
                j = -1;
                continue;
            }
            if( b->key[j+1] < target && ( b->key[j+2]==-1 || j+1==ORDER )){
                currentIndex = -b->key[j+1]-1;
                count++;
                repaint();
                if(isterminate==true){
                    return;
                }
                b = b->ptr[j+1];
                j = -1;
                continue;
            }
            if(target==b->key[j+1]){
                currentIndex = target;
                count++;
                repaint();
                if(isterminate==true){
                    return;
                }
                m.result(0,count);
                return;
            }
        }


}

//给新关键字找到合适的位置插入
void TreeSearch::setIndex(Bnode* &b,int num){
        for (int i = 1;i<ORDER+1;i++) {
            if(b->key[i]>num&&b->key[i]!=-1){
                for (int k = ORDER;k>=i;k--) {
                    b->key[k] = b->key[k-1];
```

```
                }
                b->key[i] = num;
                break;
            }
            if(b->key[i]==-1){
                b->key[i] = num;
                break;
            }
        }
        b->keynum++;
}

//重置调整 B 树
void TreeSearch::reset(Bnode* &b){
        Bnode* newChild = new Bnode;
        Bnode* parent;
        if(b->parent==NULL){
            parent = new Bnode;
            parent->key[1] = b->key[ORDER/2+1];
            parent->keynum = 1;
            SplitBnode(b,newChild);
            parent->ptr[0] = b;
            b->parent = parent;
            parent->ptr[1] = newChild;
            newChild->parent = parent;
            Broot = parent;
        }else{
            parent = b->parent;
            setIndex(parent,b->key[ORDER/2+1]);
            SplitBnode(b,newChild);
            for (int i = 0;i<ORDER+1;i++) {
                if(parent->ptr[i]==b){
                    for (int k = ORDER; k>i; k--) {
                        parent->ptr[k+1] = parent->ptr[k];
                    }
                    parent->ptr[i+1] = newChild;
                    newChild->parent = parent;
                    break;
                }
            }
            if(parent->keynum==Max+1){
                reset(parent);
            }
        }
```

```
}

//将结点 p 分裂成两个结点,前一半保留,后一半移入结点 q
void TreeSearch::SplitBnode(Bnode *&p,Bnode *&q){
	int index = 0;
	p->key[ORDER/2+1] = -1;
	p->keynum--;
	for (int i = ORDER/2+2;i<ORDER+1;i++) {
		if(p->key[i]!=-1){
			q->key[index+1] = p->key[i];
			q->keynum++;
			q->ptr[index] = p->ptr[i-1];
			p->ptr[i-1] = NULL;
			p->key[i] = -1;
			p->keynum--;
			index++;
		}
	}
	q->ptr[index] = p->ptr[ORDER];
	p->ptr[ORDER] = NULL;
	//将新节点的儿子节点的父亲节点重置为新结点自己
	for (int i = 0;i<ORDER;i++) {
		if(q->ptr[i]!=NULL)
			q->ptr[i]->parent = q;
	}
}

//给 B 树的当前节点画儿子节点的图
void TreeSearch::Bpaint(int x,int y,int px,int py,int index,Bnode* b){
	QPainter painter;
	painter.begin(this);

	int ww;
	int wh = h/2;
	int wx;
	int wy = y+h;
	int nums = b->keynum+1;
	ww = w*b->keynum/nums;
	wx = x;
	if(b!=Broot){
		int piancha = (w*b->parent->keynum/(b->parent->keynum+1))/2;

painter.drawLine(px+w*b->parent->keynum/(b->parent->keynum+1)*(index+1)-piancha,py+h*5/
4,x+w*b->keynum/2,y);
```

```
        }
        bool flag = false;
        for (int i = 0;i<nums;i++) {
            if(i!=nums-1){
                QRect rect(x,y,w,h);
                painter.drawRect(rect);
                QString s = "#FFCC22";
                if(target==currentIndex)
                    s = "#33FFFF";
                if(target==b->key[i+1])
                    painter.fillRect(rect,QColor(s));
                painter.drawText(x+6,y+h-4,QString::number(b->key[i+1]));
                x += w;
            }
            QRect rect(wx,wy,ww,wh);
            painter.drawRect(rect);
            wx += ww;
            if(target!=currentIndex){
                if(currentIndex==b->key[i+1])
                    painter.fillRect(rect,QColor("#33FFFF"));
                if(currentIndex + b->key[i+1] == -1){
                    flag = true;
                    continue;
                }
                if(flag){
                    painter.fillRect(rect,QColor("#33FFFF"));
                }
            }
        }


        painter.end();
}

//深度优先遍历 B 树,并调用绘画
void TreeSearch::dfs(double x,double y,double px,double py,int index,int level,Bnode* b){
        if(b==NULL){
            return;
        }
        Bpaint(x,y,px,py,index,b);
        px = x;
        py = y;
        y += 4*h;
        double newX;
```

```
        double change;
        level++;
        if(maxLevel==3){
            if(level==2){
                change = (double)7.5*w;
            }
            if(level==3){
                change = (double)2.5*w;
            }
        }
        if(maxLevel==4){
            if(level==2){
                change = (6+(double)7/12)*w;
            }
            if(level==3){
                change = (3+(double)1/4)*w;
            }
            if(level==4){
                change = (2+(double)1/6)*w;
            }
        }
        for (int i = 0;i<b->keynum+1;i++) {
            newX = x;
            if(b->keynum==1){
                if(i == 0){
                    newX = newX-change;
                }
                if(i == 1){
                    newX = newX+change;
                }
            }else{
                if(i == 0){
                    newX = newX-change;
                }
                if(i == 2){
                    newX = newX+change;
                }
            }
            dfs(newX,y,px,py,i,level,b->ptr[i]);
        }

}

//获取 B 树的最大深度
```

```
void TreeSearch::getMaxLevel(Bnode* b){
	if(b!=NULL){
		maxLevel++;
		getMaxLevel(b->ptr[0]);
	}
}
```