

QThread Re-entrant & thread-Safe

deepwaterooo

April 28, 2015

Contents

1	QT 的信号与槽机制	1
1.1	概述	1
1.2	信号	1
1.3	槽	1
1.4	信号与槽的关联	2
1.5	元对象工具	3
1.6	examples	3
1.7	应注意的问题	4
2	Qt 多线程之可重入与线程安全	6
2.1	QObject 可重入性	6
2.2	逐线程事件循环	6
2.3	从别的线程中访问 QObject 子类	7
2.4	跨线程的信号-槽	7
2.5	多线程与隐含共享	7
3	QThread 使用方法: QThread 中的 slots 在那个线程中执行?	8
3.1	QThread::run	8
3.2	QObject::connect	8
3.2.1	three connection types	8
3.2.2	explain by examples	8
3.3	主线程 (信号) ~ QThread(槽)	9
3.4	run 中信号与 QThread 中槽	10
4	QT 中关于信号与槽机制的实现原理: 源代码分析	12
4.1	每个对象都有一个相应的纪录该对象的元对象	13
4.1.1	QMetaObject 类	13
4.1.2	QMetaData 类	13
4.2	QObject 类实现了信号与槽机制	14
4.2.1	信号与槽建立连接的实现	14
5	正确使用 Qt 多线程	18
5.1	QThread 的常见特性	18
5.2	旧的使用方式	18
5.3	推荐的使用方式	19
5.4	GUI 界面假死的处理	19
6	QThread related Examples	20
6.1	QMutex	20
6.2	QReadWriteLock	20
6.3	Consumer Producer	21
6.4	Mandelbrotset	23
7	QT 中实现 Thread 与 GUI 主线程连通方法	28
7.1		28
8	Other Reference	28

1 QT 的信号与槽机制

1.1 概述

- 所有从 QObject 或其子类 (例如 QWidget) 派生的类都能够包含信号和槽。当对象改变其状态时, 信号就由该对象发射 (emit) 出去, 这就是对象所要做的全部事情, 它不知道另一端是谁在接收这个信号。这就是真正的信息封装, 它确保对象被当作一个真正的软件组件来使用。槽用于接收信号, 但它们是普通的对象成员函数。一个槽并不知道是否有任何信号与自己相连接。而且, 对象并不了解具体的通信机制。
- 你可以将很多信号与单个的槽进行连接, 也可以将单个的信号与很多的槽进行连接, 甚至于将一个信号与另外一个信号相连接也是可能的, 这时无论第一个信号什么时候发射系统都将立刻发射第二个信号。总之, 信号与槽构造了一个强大的部件编程机制。

1.2 信号

- 信号-槽机制完全独立于任何 GUI 事件循环。只有当所有的槽返回以后发射函数 (emit) 才返回。如果存在多个槽与某个信号相关联, 那么, 当这个信号被发射时, 这些槽将会一个接一个地执行, 但是它们执行的顺序将会是随机的、不确定的, 我们不能人为地指定哪个先执行、哪个后执行。
- 信号的声明是在头文件中进行的, QT 的 signals 关键字指出进入了信号声明区, 随后即可声明自己的信号。例如, 下面定义了三个信号:

```
signals:
    void mySignal();
    void mySignal(int x);
    void mySignalParam(int x,int y);
```

- 在上面的定义中, signals 是 QT 的关键字, 而非 C/C++ 的。接下来的一行 void mySignal() 定义了信号 mySignal, 这个信号没有携带参数; 接下来的一行 void mySignal(int x) 定义了重名信号 mySignal, 但是它携带一个整形参数, 这有点类似于 C++ 中的虚函数。从形式上讲信号的声明与普通的 C++ 函数是一样的, 但是信号却没有函数体定义, 另外, 信号的返回类型都是 void, 不要指望能从信号返回什么有用信息。
- 信号由 moc 自动产生, 它们不应该在.cpp 文件中实现。

1.3 槽

- 槽是普通的 C++ 成员函数, 可以被正常调用, 它们唯一的特殊性就是很多信号可以与其相关联。当与其关联的信号被发射时, 这个槽就会被调用。槽可以有参数, 但槽的参数不能有缺省值。
- 既然槽是普通的成员函数, 因此与其它的函数一样, 它们也有存取权限。槽的存取权限决定了谁能够与其相关联。同普通的 C++ 成员函数一样, 槽函数也分为三种类型, 即 public slots、private slots 和 protected slots。
 - public slots: 在这个区内声明的槽意味着任何对象都可将信号与之相连接。这对于组件编程非常有用, 你可以创建彼此互不了解的对象, 将它们的信号与槽进行连接以便信息能够正确的传递。
 - protected slots: 在这个区内声明的槽意味着当前类及其子类可以将信号与之相连接。这适用于那些槽, 它们是类实现的一部分, 但是其界面接口却面向外部。
 - private slots: 在这个区内声明的槽意味着只有类自己可以将信号与之相连接。这适用于联系非常紧密的类。
- 槽也能够声明为虚函数, 这也是非常有用的。
- 槽的声明也是在头文件中进行的。例如, 下面声明了三个槽:

```
public slots:
    void mySlot();
    void mySlot(int x);
    void mySignalParam(int x,int y);
```

1.4 信号与槽的关联

- 通过调用 QObject 对象的 connect 函数来将某个对象的信号与另外一个对象的槽函数相关联，这样当发射者发射信号时，接收者的槽函数将被调用。该函数的定义如下：

```
bool QObject::connect ( const QObject * sender, const char * signal,
                        const QObject * receiver, const char * member ) [static]
```

- 这个函数的作用就是将发射者 sender 对象中的信号 signal 与接收者 receiver 中的 member 槽函数联系起来。当指定信号 signal 时必须使用 QT 的宏 SIGNAL()，当指定槽函数时必须使用宏 SLOT()。如果发射者与接收者属于同一个对象的话，那么在 connect 调用中接收者参数可以省略。
- 一个信号甚至能够与另一个信号相关联，看下面的例子：

```
class MyWidget : public QWidget {
public:
    MyWidget();
    // ...
signals:
    void aSignal();
    // ...
private:
    // ...
    QPushButton *aButton;
};

MyWidget::MyWidget() {
    aButton = new QPushButton( this );
    connect(aButton, SIGNAL(clicked()), SIGNAL(aSignal()));
}
```

- 在上面的构造函数中，MyWidget 创建了一个私有的按钮 aButton，按钮的单击事件产生的信号 clicked() 与另外一个信号 aSignal() 进行了关联。这样一来，当信号 clicked() 被发射时，信号 aSignal() 也接着被发射。当然，你也可以直接将单击事件与某个私有的槽函数相关联，然后在槽中发射 aSignal() 信号，这样的话似乎有点多余。
- 当信号与槽没有必要继续保持关联时，我们可以使用 disconnect 函数来断开连接。其定义如下：

```
bool QObject::disconnect ( const QObject * sender, const char * signal,
                           const Object * receiver, const char * member ) [static]
```

- 这个函数断开发射者中的信号与接收者中的槽函数之间的关联。
- 有三种情况必须使用 disconnect() 函数：

- 断开与某个对象相关联的任何对象。这似乎有点不可理解，事实上，当我们在某个对象中定义了一个或者多个信号，这些信号与另外若干个对象中的槽相关联，如果我们要切断这些关联的话，就可以利用这个方法，非常之简洁。

```
disconnect( myObject, 0, 0, 0 )
```

或者

```
myObject->disconnect()
```

- 断开与某个特定信号的任何关联。

```
disconnect( myObject, SIGNAL(mySignal()), 0, 0 )
```

或者

```
myObject->disconnect( SIGNAL(mySignal()) )
```

- 断开两个对象之间的关联。

```
disconnect( myObject, 0, myReceiver, 0 )
```

或者

```
myObject->disconnect (myReceiver )
```

- 在 disconnect 函数中 0 可以用作一个通配符，分别表示任何信号、任何接收对象、接收对象中的任何槽函数。但是发射者 sender 不能为 0，其它三个参数的值可以等于 0。

1.5 元对象工具

- 元对象编译器 moc (meta object compiler) 对 C++ 文件中的类声明进行分析并产生用于初始化元对象的 C++ 代码, 元对象包含全部信号和槽的名字以及指向这些函数的指针。
- moc 读 C++ 源文件, 如果发现有 `Q_OBJECT`, C++ 源文件, 这个新生成的文件中包含有该类的元对象代码。例如, 假设我们有一个头文件 `mysignal.h`, 在这个文件中包含有信号或槽的声明, 那么在编译之前 moc 工具就会根据该文件自动生成一个名为 `mysignal.moc.h` 的 C++ 源文件并将其提交给编译器; 类似地, 对应于 `mysignal.cpp` 文件 moc 工具将自动生成一个名为 `mysignal.moc.cpp` 文件提交给编译器。
- 元对象代码是 signal/slot 机制所必须的。用 moc 产生的 C++ 源文件必须与类实现一起进行编译和连接, 或者用 `#include` 语句将其包含到类的源文件中。moc 并不扩展 `#include` 或者 `#define` 宏定义, 它只是简单的跳过所遇到的任何预处理指令。

1.6 examples

- ```
//tsignal.h
class TsignalApp : public QMainWindow {
 Q_OBJECT

 //信号声明区
signals:
 //声明信号mySignal()
 void mySignal();
 //声明信号mySignal(int)
 void mySignal(int x);
 //声明信号mySignalParam(int, int)
 void mySignalParam(int x, int y);

 //槽声明区
public slots:
 //声明槽函数mySlot()
 void mySlot();
 //声明槽函数mySlot(int)
 void mySlot(int x);
 //声明槽函数mySignalParam(, int,int)
 void mySignalParam(int x, int y);
};

//tsignal.cpp
TsignalApp::TsignalApp() {
 //将信号mySignal与槽()mySlot相关联()
 connect(this, SIGNAL(mySignal()), SLOT(mySlot()));
 //将信号mySignal(int与槽)mySlot(int相关联)
 connect(this, SIGNAL(mySignal(int)), SLOT(mySlot(int)));
 //将信号mySignalParam(int, int与槽)mySlotParam(int, int相关联)
 connect(this, SIGNAL(mySignalParam(int, int)), SLOT(mySlotParam(int, int)));
}

// 定义槽函数mySlot()
void TsignalApp::mySlot() {
 QMessageBox::about(this, "Tsignal", "This is a signal/slot sample without parameter");
}

// 定义槽函数mySlot(int)
void TsignalApp::mySlot(int x) {
 QMessageBox::about(this, "Tsignal", "This is a signal/slot sample with one parameter");
}

// 定义槽函数mySlotParam(int, int)
void TsignalApp::mySlotParam(int x, int y) {
 char s[256];
 sprintf(s, "x:%d y:%d", x, y);
 QMessageBox::about(this, "Tsignal", s);
}
```

```

}
void TsignalApp::slotFileNew() {
 //发射信号mySignal()
 emit mySignal();
 //发射信号mySignal(int)
 emit mySignal(5);
 //发射信号mySignalParam, (5,100)
 emit mySignalParam(5, 100);
}

```

## 1.7 应注意的问题

- 1. 信号与槽的效率是非常高的，但是同真正的回调函数比较起来，由于增加了灵活性，因此在速度上还是有所损失，当然这种损失相对来说是比较小的，通过在一台 i586-133 的机器上测试是 10 微秒（运行 Linux），可见这种机制所提供的简洁性、灵活性还是值得的。但如果我们要追求高效率的话，比如在实时系统中就要尽可能的少用这种机制。
- 2. 信号与槽机制与普通函数的调用一样，如果使用不当的话，在程序执行时也有可能产生死循环。因此，在定义槽函数时一定要避免间接形成无限循环，即在槽中再次发射所接收到的同样信号。例如，在前面给出的例子中如果在 mySlot() 槽函数中加上语句 emit mySignal() 即可形成死循环。
- 3. 如果一个信号与多个槽相联系的话，那么，当这个信号被发射时，与之相关的槽被激活的顺序将是随机的。
- 4. 宏定义不能用在 signal 和 slot 的参数中。
  - 既然 moc 工具不扩展 #define，因此，在 signals 和 slots 中携带参数的宏就不能正确地工作，如果不带参数是可以的。例如，下面的例子中将带有参数的宏 SIGNEDNESS(a) 作为信号的参数是不合语法的：

```

#ifdef ultrix
#define SIGNEDNESS(a) unsigned a
#else
#define SIGNEDNESS(a) a
#endif
class Whatever : public QObject {
 signals:
 void someSignal(SIGNEDNESS(a));
};

```

- 5. 构造函数不能用在 signals 或者 slots 声明区域内。
  - 的确，将一个构造函数放在 signals 或者 slots 区内有点不可理解，无论如何，不能将它们放在 private slots、protected slots 或者 public slots 区内。下面的用法是不合语法要求的：

```

class SomeClass : public QObject {
 Q_OBJECT
public slots:
 SomeClass(QObject *parent, const char *name)
 : QObject(parent, name) {} // 在槽声明区内声明构造函数不合语法
};

```

- 6. 函数指针不能作为信号或槽的参数。
  - 例如，下面的例子中将 void (applyFunction)(QList, void\*) 作为参数是不合语法的：

```

class someClass : public QObject {
 Q_OBJECT
public slots:
 void apply(void (*applyFunction)(QList*, void*), char*); // 不合语法
};

```

- 你可以采用下面的方法绕过这个限制：

```
typedef void (*ApplyFunctionType)(QList*, void*);
class someClass : public QObject {
 Q_OBJECT
 public slots:
 void apply(ApplyFunctionType, char *);
};
```

• 7. 信号与槽不能有缺省参数。

- 既然 signal->slot 绑定是发生在运行时刻，那么，从概念上讲使用缺省参数是困难的。下面的用法是不合理的：

```
class SomeClass : public QObject {
 Q_OBJECT
 public slots:
 void someSlot(int x = 100); // 将的缺省值定义成，在槽函数声明中使用是错误的x100
};
```

• 8. 信号与槽也不能携带模板类参数。

- 如果将信号、槽声明为模板类参数的话，即使 moc 工具不报告错误，也不可能得到预期的结果。例如，下面的例子中当信号发射时，槽函数不会被正确调用：

```
public slots:
 void MyWidget::setLocation (pair location);
public signals:
 void MyObject::moved (pair location);
```

- 但是，你可以使用 typedef 语句来绕过这个限制。如下所示：

```
typedef pair IntPair;
public slots:
 void MyWidget::setLocation (IntPair location);
public signals:
 void MyObject::moved (IntPair location);
```

- 这样使用的话，你就可以得到正确的结果。

• 9. 嵌套的类不能位于信号或槽区域内，也不能有信号或者槽。

- 例如，下面的例子中，在 class B 中声明槽 b() 是不合语法的，在信号区内声明槽 b() 也是不合语法的。

```
class A {
 Q_OBJECT
 public:
 class B {
 public slots : // 在嵌套类中声明槽不合语法
 void b();
 };
 signals:
 class B {
 // 在信号区内声明嵌套类不合语法
 void b();
 };
};
```

• 10. 友元声明不能位于信号或者槽声明区内。相反，它们应该在普通 C++ 的 private、protected 或者 public 区内进行声明。下面的例子是不合语法规范的：

```
class someClass : public QObject {
 Q_OBJECT
 signals: //信号定义区
 friend class ClassTemplate; // 此处定义不合语法
};
```

## 2 Qt 多线程之可重入与线程安全

- 可重入：假如一个类的任何函数在此类的多个不同的实例上，可以被多个线程同时调用，那么这个类被称为是“可重入”的。
- 线程安全：假如不同的线程作用在同一个实例上仍可以正常工作，那么称之为“线程安全”的。

### 2.1 QObject 可重入性

- QObject 是可重入的。它的大多数非 GUI 子类，像 QTimer,QTcpSocket,QUdpSocket,QHttp,QFtp,QProcess 也是可重入的，在多个线程中同时使用这些类是可能的。
- 需要注意的是，这些类被设计成在一个单线程中创建与使用，因此，在一个线程中创建一个对象，而在另外的线程中调用它的函数，这样的行为不能保证工作良好。
- 有三种约束需要注意：
  - QObject 的孩子总是应该在它父亲被创建的那个线程中创建。这意味着，你绝不应该传递 QThread 对象作为另一个对象的父亲 (因为 QThread 对象本身会在另一个线程中被创建)
  - 事件驱动对象仅仅在单线程中使用。明确地说，这个规则适用于”定时器机制“与”网格模块“，举例来讲，你不应该在一个线程中开始一个定时器或是连接一个套接字，当这个线程不是这些对象所在的线程。
  - 你必须保证在线程中创建的所有对象在你删除 QThread 前被删除。这很容易做到: 你可以 run() 函数运行的栈上创建对象。
- 尽管 QObject 是可重入的，但 GUI 类，特别是 QWidget 与它的所有子类都是不可重入的。它们仅用于主线程。正如前面提到过的，QCoreApplication::exec() 也必须从那个线程中被调用。实践上，不会在别的线程中使用 GUI 类，它们工作在主线程上，把一些耗时的操作放入独立的工作线程中，当工作线程运行完成，把结果在主线程所拥有的屏幕上显示。

### 2.2 逐线程事件循环

- 每个线程可以有它的事件循环，初始线程开始它的事件循环需使用 QCoreApplication::exec(), 别的线程开始它的事件循环需要用 QThread::exec(). 像 QCoreApplication 一样，QThread 提供了 exit(int) 函数，一个 quit() slot。
- 线程中的事件循环，使得线程可以使用那些需要事件循环的非 GUI 类 (如，QTimer,QTcpSocket,QProcess)。也可以把任何线程的 signals 连接到特定线程的 slots，也就是说信号-槽机制是可以跨线程使用的。对于在 QApplication 之前创建的对象，QObject::thread() 返回 0, 这意味着主线程仅为这些对象处理投递事件，不会为没有所属线程的对象处理另外的事件。
- 可以用 QObject::moveToThread() 来改变它和它孩子们的线程亲缘关系，假如对象有父亲，它不能移动这种关系。在另一个线程 (而不是创建它的那个线程) 中 delete QObject 对象是不安全的。除非你可以保证在同一时刻对象不在处理事件。可以用 QObject::deleteLater(), 它会投递一个 DeferredDelete 事件，这会被对象线程的事件循环最终选取到。
- 假如没有事件循环运行，事件不会分发给对象。举例来说，假如你在线程中创建了一个 QTimer 对象，但从没有调用过 exec(), 那么 QTimer 就不会发射它的 timeout() 信号. 对 deleteLater() 也不会工作。(这同样适用于主线程)。你可以手工使用线程安全的函数 QCoreApplication::postEvent(), 在任何时候，给任何线程中的任何对象投递一个事件，事件会在那个创建了对象的线程中通过事件循环派发。事件过滤器在所有线程中也被支持，不过它限定被监视对象与监视对象生存在同一线程中。类似地，QCoreApplication::sendEvent(不是 postEvent()), 仅用于在调用此函数的线程中向目标对象投递事件。

### 2.3 从别的线程中访问 QObject 子类

- QObject 和所有它的子类是非线程安全的。这包括整个的事件投递系统。需要牢记的是，当你正从别的线程中访问对象时，事件循环可以向你的 QObject 子类投递事件。假如你调用一个不生存在当前线程中的 QObject 子类的函数时，你必须用 mutex 来保护 QObject 子类的内部数据，否则会遭遇灾难或非预期结果。像其它的对象一样，QThread 对象生存在创建它的那个线程中 — 不是当 QThread::run() 被调用时创建的那个线程。一般来讲，在你的 QThread 子类中提供 slots 是不安全的，除非你用 mutex 保护了你的成员变量。
- 另一方面，你可以安全的从 QThread::run() 的实现中发射信号，因为信号发射是线程安全的。



## 2.4 跨线程的信号 -槽

- Qt 支持三种类型的信号 -槽连接:

- 1, 直接连接, 当 signal 发射时, slot 立即调用。此 slot 在发射 signal 的那个线程中被执行 (不一定是接收对象生存的那个线程 (??))
- 2, 队列连接, 当控制权回到对象属于的那个线程的事件循环时, slot 被调用。此 slot 在接收对象生存的那个线程中被执行
- 3, 自动连接 (缺省), 假如信号发射与接收者在同一个线程中, 其行为如直接连接, 否则, 其行为如队列连接。

- 连接类型可能通过以向 connect() 传递参数来指定。注意的是, 当发送者与接收者生存在不同的线程中, 而事件循环正运行于接收者的线程中, 使用直接连接是不安全的。同样的道理, 调用生存在不同的线程中的对象的函数也是不是安全的。QObject::connect() 本身是线程安全的。

## 2.5 多线程与隐含共享

- Qt 为它的许多值类型使用了所谓的隐含共享 (implicit sharing) 来优化性能。原理比较简单, 共享类包含一个指向共享数据块的指针, 这个数据块中包含了真正原数据与一个引用计数。把深拷贝转化为一个浅拷贝, 从而提高了性能。这种机制在幕后发生作用, 程序员不需要关心它。如果深入点看, 假如对象需要对数据进行修改, 而引用计数大于 1, 那么它应该先 detach()。以使得它修改不会对别的共享者产生影响, 既然修改后的数据与原来的那份数据不同了, 因此不可能再共享了, 于是它先执行深拷贝, 把数据取回来, 再在这份数据上进行修改。例如:

```
void QPen::setStyle(Qt::PenStyle style){
 detach(); // detach from common data
 d->stylestyle = style; // set the style member
}
void QPen::detach(){
 if (d->ref != 1) {
 ... // perform a deep copy
 }
}
```

- 一般认为, 隐含共享与多线程不太和谐, 因为有引用计数的存在。对引用计数进行保护的方法之一是使用 mutex, 但它很慢, Qt 早期版本没有提供一个满意的解决方案。从 4.0 开始, 隐含共享类可以安全地跨线程拷贝, 如同别的值类型一样。它们是 完全可重入 的。隐含共享真的是”implicit”。它使用汇编语言实现了原子性引用计数操作, 这比用 mutex 快多了。
- 假如你在多个线程中同进访问相同对象, 你也需要用 mutex 来串行化访问顺序, 就如同其他可重入对象那样。总的来讲, 隐含共享真的给”隐含”掉了, 在多线程程序中, 你可以把它们看成是一般的, 非共享的, 可重入的类型, 这种做法是安全的。

## 3 QThread 使用方法: QThread 中的 slots 在那个线程中执行?

Reference: <http://mobile.51cto.com/symbian-268690.htm>

### 3.1 QThread::run

- run 对于线程的作用相当于 main 函数对于应用程序。它是线程的入口, run 的开始和结束意味着线程的开始和结束。原文如下: The run() implementation is for a thread what the main() entry point is for the application. All code executed in a call stack that starts in the run() function is executed by the new thread, and the thread finishes when the function returns.

```
class Thread : public QThread {
 Q_OBJECT
public:
 Thread(QObject* parent = 0)
 : QThread(parent) {
 }
public slots:
 void slot() { ... }
```



```
signals:
 void sig();
protected:
 void run() { ...}
};

int main(int argc, char** argv) {
 ...
 Thread thread;
 ...
}
```

- 对照前面的定理，run 函数中的代码时确定无疑要在次线程中运行的，那么其他的呢？比如 slot 是在次线程还是主线程中运行？

## 3.2 QObject::connect

### 3.2.1 three connection types

#### 1. 自动连接 (Auto Connection)

- 这是默认设置
- 如果发送者和接收者处于同一线程，则等同于直接连接
- 如果发送者和接受者位于不同线程，则等同于队列连接
- 也就是说，只存在下面两种情况

#### 2. 直接连接 (Direct Connection)

- 当信号发射时，槽函数将直接被调用。
- 无论槽函数所属对象在哪个线程，槽函数都在发射者所在线程执行。

#### 3. 队列连接 (Queued Connection)

- 当控制权回到接受者所在线程的事件循环时，槽函数被调用。
- 槽函数在接收者所在线程执行。

### 3.2.2 explain by examples

- 不妨继续拿前面的例子来看，slot 函数是在主线程还是次线程中执行呢？
- 定理二强调两个概念：发送者所在线程和接收者所在线程。而 slot 函数属于我们在 main 中创建的对象 thread，即 thread 属于主线程
  - 队列连接告诉我们：槽函数在接受者所在线程执行。即 slot 将在主线程执行
  - 直接连接告诉我们：槽函数在发送者所在线程执行。发送者在那个线程呢？？不定！
  - 自动连接告诉我们：二者不在同一线程时，等同于队列连接。即 slot 在主线程执行
- 要彻底理解这几句话，你可能需要看 **Qt meta-object** 系统和 **Qt event** 系统
  - QThread 是用来管理线程的，它所处的线程和它管理的线程并不是同一个东西
  - QThread 所处的线程，就是执行 QThread t(0) 或 QThread \* t=new QThread(0) 的线程。也就是咱们这儿的主线程
  - QThread 管理的线程，就是 run 启动的线程。也就是次线程
  - 因为 QThread 的对象在主线程中，所以他的 slot 函数会在主线程中执行，而不是次线程。除非：QThread 对象在次线程中
  - slot 和信号是直接连接，且信号所属对象在次线程中
- 但上两种解决方法都不好，因为 QThread 不是这么用的 (Bradley T. Hughes)

### 3.3 主线程 (信号) ~ QThread(槽)

- 这是 Qt Manual 和例子中普遍采用的方法。但由于 manual 没说槽函数是在主线程执行的，所以不少人都认为它应该是在次线程执行了。

- 定义一个 Dummy 类，用来发信号
- 定义一个 Thread 类，用来接收信号
- 重载 run 函数，目的是打印 threadid

```
#include <QtCore/QCoreApplication>
#include <QtCore/QObject>
#include <QtCore/QThread>
#include <QtCore/QDebug>

class Dummy : public QObject {
 Q_OBJECT
public:
 Dummy(){}
public slots:
 void emitsig() {
 emit sig();
 }
signals:
 void sig();
};

class Thread : public QThread {
 Q_OBJECT
public:
 Thread(QObject* parent = 0)
 : QThread(parent) {
 //moveToThread(this);
 }
public slots:
 void slot_main () {
 qDebug() << "from thread slot_main:" << currentThreadId();
 }
protected:
 void run() {
 qDebug() << "thread thread:" << currentThreadId();
 exec();
 }
};

//#include "main.moc"
int main(int argc, char *argv[]) {
 QCoreApplication a(argc, argv);
 qDebug() << "main thread:" << QThread::currentThreadId();
 Thread thread;
 Dummy dummy;
 QObject::connect(&dummy, SIGNAL(sig()), &thread, SLOT(slot_main()));
 thread.start();
 dummy.emitsig();
 return a.exec();
}
```

- 然后看到结果 (具体值每次都变，但结论不变)

```
main thread: 0x1a40
from thread slot_main: 0x1a40
thread thread: 0x1a48
```

Mine here:

```
Starting /home/jenny/480/qt/build-dummyThread-Unnamed-Debug/dummyThread...
```

```
main thread: 140534496016256
from thread slot_main: 140534496016256
thread thread: 140534421948160
```

- 看到了吧，槽函数的线程和主线程是一样的！
- 如果你看过 Qt 自带的例子，你会发现 QThread 中 slot 和 run 函数共同操作的对象，都会用 QMutex 锁住。为什么？因为 slot 和 run 处于不同线程，需要线程间的同步！
- 如果想让槽函数 slot 在次线程运行（比如它执行耗时的操作，会让主线程死掉），怎么解决呢？
- 注意：发送 dummy 信号是在主线程，接收者 thread 也在主线程中。参考我们前面的结论，很容易想到：将 thread 放到次线程中不就行了这也是代码中注释掉的 moveToThread(this) 所做的，去掉注释，你会发现 slot 在次线程中运行

```
main thread: 0x13c0
thread thread: 0x1de0
from thread slot_main: 0x1de0
```

```
Mine here:
Starting /home/jenny/480/qt/build-dummyThread-Unnamed-Debug/dummyThread...
main thread: 140371166443392
thread thread: 140371092375296
from thread slot_main: 140371092375296
```

- 这可以工作，但这是 Bradley T. Hughes 强烈批判的用法。推荐的方法后面会给出。

### 3.4 run 中信号与 QThread 中槽

Reference: [http://mobile.51cto.com/symbian-268690\\_1.htm](http://mobile.51cto.com/symbian-268690_1.htm)

- examples:
  - 定义一个 Dummy 类，在 run 中发射它的信号
  - 也可以在 run 中发射 Thread 中的信号，而不是 Dummy（效果完全一样），QThread 定义槽函数，重载 run 函数

```
#include <QtCore/QCoreApplication>
#include <QtCore/QObject>
#include <QtCore/QThread>
#include <QtCore/QDebug>
```

```
class Dummy : public QObject {
 Q_OBJECT
public:
 Dummy(QObject* parent = 0)
 : QObject(parent) {}
public slots:
 void emitsig() {
 emit sig();
 }
signals:
 void sig();
};
```

```
class Thread : public QThread {
 Q_OBJECT
public:
 Thread(QObject* parent = 0)
 : QThread(parent) {
 //moveToThread(this);
 }
public slots:
 void slot_thread() {
```

```

 qDebug() << "from thread slot_thread:" << currentThreadId();
 }
signals:
 void sig();
protected:
 void run() {
 qDebug() << "thread thread:" << currentThreadId();
 Dummy dummy;
 connect(&dummy, SIGNAL(sig()), this, SLOT(slot_thread()));
 dummy.emitsig();
 exec();
 }
};

//#include "main.moc"
int main(int argc, char *argv[]) {
 QApplication a(argc, argv);
 qDebug() << "main thread:" << QThread::currentThreadId();
 Thread thread;
 thread.start();
 return a.exec();
}

```

- 想看结果么？

```

main thread: 0x15c0
thread thread: 0x1750
from thread slot_thread: 0x15c0

```

```

Mine here:
Starting /home/jenny/480/qt/build-dummyThread-Unnamed-Debug/dummyThread...
main thread: 140388248221568
thread thread: 140388174153472
from thread slot_thread: 140388248221568

```

- 其实没悬念，肯定是主线程
- thread 对象本身在主线程。所以它的槽也在要在主线程执行，如何解决呢？
  - （方法一）前面提了 moveToThread, 这儿可以用，而且可以解决问题。当同样，是被批判的对象。

```

uncomment moveToThread(this); line :
Starting /home/jenny/480/qt/build-dummyThread-Unnamed-Debug/dummyThread...
main thread: 140217092188032
thread thread: 140217018119936
from thread slot_thread: 140217018119936

```

- （方法二）注意哦，这儿我们的信号时次线程发出的，对比 connect 连接方式，会发现：
  - \* 采用直接连接，槽函数将在次线程 (信号发出的线程) 执行
  - \* 这个方法不太好，因为你需要处理 slot 和它的对象所在线程的同步。需要 QMutex 一类的东西 (have **NOT** tried this method yet~!!)
- （方法三）推荐的方法，其实，这个方法太简单，太好用了。定义一个普通的 QObject 派生类，然后将其对象 move 到 QThread 中。使用信号和槽时根本不用考虑多线程的存在。也不用使用 QMutex 来进行同步，Qt 的事件循环会自己自动处理好这个。

```

#include <QtCore/QCoreApplication>
#include <QtCore/QObject>
#include <QtCore/QThread>
#include <QtCore/QDebug>

class Dummy : public QObject {
 Q_OBJECT
public:
 Dummy(QObject* parent = 0)

```

```

 : QObject(parent) {}

public slots:
 void emitsig() {
 emit sig();
 }

signals:
 void sig();
};

class Object : public QObject {
 Q_OBJECT
public:
 Object(){}
public slots:
 void slot() {
 qDebug() << "from thread slot:" << QThread::currentThreadId();
 }
};

//#include "main.moc"
int main(int argc, char *argv[]) {
 QApplication a(argc, argv);
 qDebug() << "main thread:" << QThread::currentThreadId();
 QThread thread;
 Object obj;
 Dummy dummy;
 obj.moveToThread(&thread);
 QObject::connect(&dummy, SIGNAL(sig()), &obj, SLOT(slot()));
 thread.start();
 dummy.emitsig();
 return a.exec();
}

```

\* 结果：恩，slot 确实不在主线程中运行（这么简单不值得欢呼么？）

```

main thread: 0x1a5c
from thread slot: 0x186c

```

```

Mine here:
Starting /home/jenny/480/qt/build-dummyThread-Unnamed-Debug/dummyThread...
main thread: 139964716550016
from thread slot: 139964642481920

```

## 4 QT 中关于信号与槽机制的实现原理：源代码分析

本文介绍的内容是 QT 中关于信号与槽机制的实现原理，每个对象都有一个相应的纪录该对象的元对象，关于元对象的类在本文中有所介绍。

### 4.1 每个对象都有一个相应的纪录该对象的元对象

关于元对象的类：下面介绍有两种

#### 4.1.1 QMetaObject 类

- /\*生成元对象需要的输入参数\*\*\*\*\*//
- // 类名
- const char \* const class\_name;
- // 父类名
- QMetaObject \*superclass;
- // 记录信息slot
- const QMetaData \* const slot\_data;

```

// 记录槽的个数
int n_slots;

// 记录信息signal
const QMetaData * const signal_data;

// 记录信号的个数
int n_signals;

/***** 元对象类提供的方法 *****/
int numSlots(bool super = FALSE) const; // 返回槽的个数
int numSignals(bool super = FALSE) const; // 返回信号的个数
int findSlot(const char *, bool super = FALSE) const; // 查找槽
int findSignal(const char *, bool super = FALSE) const; // 查找信号

// 返回指定位置的槽
const QMetaData *slot(int index, bool super = FALSE) const;

// 返回指定位置的信号
const QMetaData *signal(int index, bool super = FALSE) const;

// 所有槽名字的列表
QStringList slotNames(bool super = FALSE) const;

// 所有信号名字的列表
QStringList signalNames(bool super = FALSE) const;

// 槽的起始索引
int slotOffset() const;

// 信号的起始索引
int signalOffset() const;

/*两个获取类的元对象的方法*****/
static QMetaObject *metaObject(const char *class_name);
static bool hasMetaObject(const char *class_name);

```

#### 4.1.2 QMetaData 类

```

// 记录元对象数据for 信号与槽
struct QMetaData {
 const char *name; // 名称
 const QUMethod* method; // 详细描述信息
 enum Access { Private, Protected, Public };
 Access access; // 访问权限
};

```

### 4.2 QObject 类实现了信号与槽机制

它利用元对象纪录的信息，实现了信号与槽机制。

#### 4.2.1 信号与槽建立连接的实现

##### 1. 接口函数：

```

// 连接
// 参数发送对象，信号，接收对象，处理信号的信号槽(/)
static bool connect(const QObject *sender, const char *signal,
 const QObject *receiver, const char *member);
bool connect(const QObject *sender, const char *signal,
 const char *member) const;

static bool disconnect(const QObject *sender, const char *signal,

```

```

 const QObject *receiver, const char *member);
bool disconnect(const char *signal = 0,
 const QObject *receiver = 0, const char *member = 0);
bool disconnect(const QObject *receiver, const char *member = 0);

// 连接的内部实现
// 发送对象, 信号的索引, 接收对象, 处理信号的类型, 处理信号信号槽的索引(//)
static void connectInternal(const QObject *sender, int signal_index,
 const QObject *receiver, int membcde, int member_index);
static bool disconnectInternal(const QObject *sender, int signal_index,
 const QObject *receiver, int membcde, int member_index)

```

## 2. 信号与槽连接的实现原理:

```

// 一阶段
bool QObject::connect(const QObject *sender, // 发送对象
 const char *signal, // 信号
 const QObject *receiver, // 接收对象
 const char *member // 槽
) {
 // 检查发送对象, 信号, 接收对象, 槽不为null
 if (sender == 0 || receiver == 0 || signal == 0 || member == 0) {
 return false;
 }

 // 获取发送对象的元对象
 QMetaObject *smeta = sender->metaObject();
 // 检查信号
 if (!check_signal_macro(sender, signal, "connect", "bind"))
 return false;
 // 获取信号的索引
 int signal_index = smeta->findSignal(signal, true);
 if (signal_index < 0) { // normalize and retry
 nw_signal = qt_rmWS(signal-1); // remove whitespace
 signal = nw_signal.data()+1; // skip member type code
 signal_index = smeta->findSignal(signal, true);
 }
 // 如果信号不存在, 则退出
 if (signal_index < 0) { // no such signal
 return false;
 }

 // 获取信号的元数据对象
 const QMetaData *sm = smeta->signal(signal_index, true);
 // 获取信号名字
 signal = sm->name;
 // 获取处理信号的类型 (是信号槽) /
 int membcde = member[0] - '0'; // get member code // **** membcde
 // 发送信号对象
 QObject *s = (QObject *)sender; // we need to change them
 // 接收信号对象
 QObject *r = (QObject *)receiver; // internally
 // 获取接收对象的元对象
 QMetaObject *rrmeta = r->metaObject();
 int member_index = -1;

 switch (membcde) { // get receiver member
 case Q_SLOT_CODE: // 如果是槽
 // 获取槽索引
 member_index = rmeta->findSlot(member, true);
 if (member_index < 0) { // normalize and retry
 nw_member = qt_rmWS(member); // remove whitespace
 member = nw_member;
 member_index = rmeta->findSlot(member, true);
 }
 }
}

```



```

break;
case Q_SIGNAL_CODE:// 如果是信号
 // 获取信号索引
 member_index = rmeta->findSignal(member, true);
 if (member_index < 0) { // normalize and retry
 nw_member = qt_rmWS(member); // remove whitespace
 member = nw_member;
 member_index = rmeta->findSignal(member, true);
 }
 break;
}
// 如果接收对象不存在相应的信号或槽，则退出
if (member_index < 0) {
 return false;
}
// 检查连接的参数发送的信号，接收对象，处理信号的槽或信号()
if (!s->checkConnectArgs(signal,receiver,member)) {
 return false;
} else {
 // 获取处理信号的元数据对象
 const QMetaData *rm = membcode == Q_SLOT_CODE ?
 rmeta->slot(member_index, true) :
 rmeta->signal(member_index, true);
 if (rm) {
 // 建立连接
 // 发送信号的对象，信号的索引，接收信号的对象，处理信号的类型，处理信号的索引()
 connectInternal(sender, signal_index, receiver, membcode, member_index);
 }
}
return true;
}

// 二阶段
// 建立连接
// 发送信号的对象，信号的索引，接收信号的对象，处理信号的类型，处理信号的索引()
void QObject::connectInternal(const QObject *sender, int signal_index,
 const QObject *receiver, int membcode, int member_index)
{
 // 发送信号的对象
 QObject *s = (QObject*)sender;
 // 接收信号的对象
 QObject *r = (QObject*)receiver;
 // 如果发送对象的连接查询表为，则建立null
 if (!s->connections) { // create connections lookup table
 s->connections = new QSignalVec(signal_index+1);
 Q_CHECK_PTR(s->connections);
 s->connections->setAutoDelete(true);
 }
 // 获取发送对象的相应信号的连接列表
 QConnectionList *clist = s->connections->at(signal_index);
 if (!clist) { // create receiver list
 clist = new QConnectionList;
 Q_CHECK_PTR(clist);
 clist->setAutoDelete(true);
 s->connections->insert(signal_index, clist);
 }
 QMetaObject *rrmeta = r->metaObject();
 const QMetaData *rm = 0;
 switch (membcode) { // get receiver member
 case Q_SLOT_CODE:
 rm = rmeta->slot(member_index, true);
 break;
 case Q_SIGNAL_CODE:
 rm = rmeta->signal(member_index, true);

```

```

 break;
 }
 // 建立连接
 QConnection *c = new QConnection(r, member_index, rm ? rm->name : "qt_invoke", memb
 Q_CHECK_PTR(c);
 // 把连接添加到发送对象的连接列表中
 clist->append(c);
 // 判断接收对象的发送对象列表是否为null
 if (!r->senderObjects) { // create list of senders
 // 建立接收对象的发送对象列表
 r->senderObjects = new QSenderObjectList;
 }
 // 把发送对象添加到发送对象列表中
 r->senderObjects->append(s); // add sender to list
}

```

### 3. 信号发生时激活的操作函数。激活 slot 的方法

```

// 接口:
void QObject::activate_signal(int signal) {
#ifdef QT_NO_PRELIMINARY_SIGNAL_SPY
 if (qt_preliminary_signal_spy) {
 //信号没有被阻塞
 //信号>=0
 //连接列表不为空, 或者信号对应的连接存在
 if (!signalsBlocked() && signal >= 0 &&
 (!connections || !connections->at(signal))) {
 QUObject o[1];
 qt_spy_signal(this, signal, o);
 return;
 }
 }
#endif
 if (!connections || signalsBlocked() || signal < 0)
 return;
 //获取信号对应的连接列表
 QConnectionList *clist = connections->at(signal);
 if (!clist)
 return;
 QUObject o[1];
 //
 activate_signal(clist, o);
}

void QObject::activate_signal(QConnectionList *clist, QUObject *o) {
 if (!clist)
 return;
#ifdef QT_NO_PRELIMINARY_SIGNAL_SPY
 if (qt_preliminary_signal_spy)
 qt_spy_signal(this, connections->findRef(clist), o);
#endif
 QObject *object;
 //发送对象列表
 QSenderObjectList* sol;
 //旧的发送对象
 QObject* oldSender = 0;
 //连接
 QConnection *c;
 if (clist->count() == 1) { // save iterator
 //获取连接
 c = clist->first();
 //
 object = c->object();
 //获取发送对象列表
 sol = object->senderObjects;
 }
}

```

```

 if (sol) {
 //获取旧的发送对象
 oldSender = sol->currentSender;
 //
 sol->ref();
 //设置新的发送对象
 sol->currentSender = this;
 }
 if (c->memberType() == Q_SIGNAL_CODE)//如果是信号，则发送出去
 object->qt_emit(c->member(), o);
 else
 object->qt_invoke(c->member(), o);//如果是槽，则执行
 //
 if (sol) {
 //设置恢复为旧的发送对象
 sol->currentSender = oldSender;
 if (sol->deref())
 delete sol;
 }
} else {
 QConnection *cd = 0;
 QConnectionListIt it(*clist);
 while ((c=it.current())) {
 ++it;
 if (c == cd)
 continue;
 ccd = c;
 object = c->object();
 //操作前设置当前发送对象
 sol = object->senderObjects;
 if (sol) {
 oldSender = sol->currentSender;
 sol->ref();
 sol->currentSender = this;
 }
 //如果是信号，则发送出去
 if (c->memberType() == Q_SIGNAL_CODE){
 object->qt_emit(c->member(), o);
 }
 //如果是槽，则执行
 else {
 object->qt_invoke(c->member(), o);
 }
 //操作后恢复当前发送对象
 if (sol) {
 sol->currentSender = oldSender;
 if (sol->deref())
 delete sol;
 }
 } // while
}
}

```

## 5 正确使用 Qt 多线程

Reference: <http://my.oschina.net/u/200628/blog/187865>

### 5.1 QThread 的常见特性

- run() 是线程的入口，就像 main() 对于应用程序的作用。QThread 中对 run() 的默认实现调用了 exec()，从而创建一个 QEventLoop 对象，由其处理该线程事件队列（每一个线程都有一个属于自己的事件队列）中的事件。简单用代码描述如下：

```

int QThread::exec() {
 //...
 QEventLoop eventLoop;
 int returnCode = eventLoop.exec();
 //...
 return returnCode;
}

int QEventLoop::exec(ProcessEventsFlags flags) {
 //...
 while (!d->exit) {
 while (!posted_event_queue_is_empty) {
 process_next_posted_event();
 }
 }
 //...
}

```

- 由此可见，exec() 在其内部不断做着循环遍历事件队列的工作，调用 QThread 的 quit() 或 exit() 方法使停止工作，尽量不要使用 terminate()，该方法过于粗暴，造成资源不能释放，甚至互斥锁还处于加锁状态。

## 5.2 旧的使用方式

```

#include "QThread"
#include "QMutexLocker"
#include "QMutex"

class Thread : public QThread {
 Q_OBJECT
public:
 Thread();
 void stop();
private:
 bool m_stopFlag;
 QMutex mutex;
protected:
 void run();
};

Thread::Thread() {
 m_stopFlag = false;
}

void Thread::stop() {
 QMutexLocker locker(&mutex);
 m_stopFlag = true;
}

void Thread::run() {
 while (1) {
 {
 QMutexLocker locker(&mutex);
 if(m_stopFlag)
 break;
 }
 qDebug() << "This is in thread[" << currentThreadId() << "]. " << (int)currentThread()
 sleep(2);
 }
 m_stopFlag = false;
}

```

- 这是 qt4.6 及之前的使用方法，这种方式本没有什么错误，可以处理我们的绝大多数需求。下面的调用可以看出 Thread 对象本身工作在主线程下，即使调用的 t.stop() 方法，它也是工作在主线程下，只有 run() 范围内的代码工作在次线程中。

```
int main(int argc, char *argv[]) {
 QApplication a(argc, argv);
 qDebug() << "From main thread: " << QThread::currentThreadId();
 Thread t;
 QObject::connect(&t, SIGNAL(finished()), &a, SLOT(quit()));
 t.start();
 return a.exec();
}
```

## 5.3 推荐的使用方式

- `#include <QtCore>`

```
class Worker : public QObject {
 Q_OBJECT
private slots:
 void onTimeout() {
 qDebug() << "Worker::onTimeout get called from?: " << QThread::currentThreadId();
 }
};

//#include "main.moc"
int main(int argc, char *argv[]) {
 QApplication a(argc, argv);
 qDebug() << "From main thread: " << QThread::currentThreadId();
 QThread t;
 QTimer timer;
 Worker worker;
 QObject::connect(&timer, SIGNAL(timeout()), &worker, SLOT(onTimeout()));
 timer.start(1000);
 worker.moveToThread(&t);
 t.start();
 return a.exec();
}
```

- 这是 Qt4.7 及以后版本推荐的工作方式。其主要特点就是利用 Qt 的事件驱动特性，将需要在次线程中处理的业务放在独立的模块（类）中，由主线程创建完该对象后，将其移交给指定的线程，且可以将多个类似的对象移交给同一个线程。在这个例子中，信号由主线程的 QTimer 对象发出，之后 Qt 会将关联的事件放到 worker 所属线程的事件队列。由于队列连接的作用，在不同线程间连接信号和槽是很安全的。

## 5.4 GUI 界面假死的处理

- 在 GUI 程序中，主线程也叫 GUI 线程，因为它是唯一被允许执行 GUI 相关操作的线程。对于一些耗时的操作，如果放在主线程中，就是出现界面无法响应的问题。这种问题的解决一种方式是，把这些耗时操作放到次线程中，还有一种比较简单的方法：在处理耗时操作中频繁调用 `QApplication::processEvents()`。这个函数告诉 Qt 去处理那些还没有被处理的各类事件，然后再把控制权返还给调用者。

```
QElapsedTimer et;
et.start();
while(et.elapsed() < 300)
 QApplication::processEvents();
```

# 6 QThread related Examples

## 6.1 QMutex

- ```
class MyClass {
public:
    void doStuff(int c) {
        mutex.lock();
        a = c;
        b = c * 2;
```

```

        mutex.unlock();
    }
private:
    QMutex mutex;
    int a;
    int b;
};

```

6.2 QReadWriteLock

```

• #include <QApplication>
#include <QPushButton>
#include <QWaitCondition>

QWaitCondition mycond;

class Worker : public QPushButton, public QThread {
    Q_OBJECT
public:
    Worker(QWidget *parent = 0, const char *name = 0)
        : QPushButton(parent, name) {
        setText("start working");
        //connect(this, SIGNAL(clicked()), SLOT(slotClicked()));
        QThread.start();
    }
    public slots:
        void slotClicked() {
            mycond.wakeOne();
        }
protected:
    void run() {
        while (TRUE) {
            qApp->lock();
            setCaption("waiting");
            qApp->unlock();

            mycond.wait();

            qApp->lock();
            setCaption("working!");
            qApp->unlock();
            do_complicated_thing();
        }
    }
};

int main(int argc, char *argv[]) {
    QApplication app(argc, argv);
    Worker firstworker(0, "worker");
    app.setMainWidget(&worker);
    worker.show();
    return app.exec();
}

```

6.3 Consumer Producer

```

• consumer.h

#ifndef CONSUMER_H
#define CONSUMER_H

#include <QObject>
#include <QThread>

```

```

#include <QTime>
#include <stdio.h>
#include <QWaitCondition>
#include <QMutex>
#include "producer.h"

extern const int DataSize;
extern const int BufferSize;

extern char buffer[BufferSize];
extern QWaitCondition bufferNotEmpty;
extern QWaitCondition bufferNotFull;
extern QMutex mutex;
extern int numUsedBytes;

class Consumer : public QThread {
    Q_OBJECT
public:
    void run() {
        for (int i = 0; i < DataSize; ++i) {
            mutex.lock();
            if (numUsedBytes == 0)
                bufferNotEmpty.wait(&mutex);
            mutex.unlock();

            fprintf(stderr, "%c", buffer[i % BufferSize]);

            mutex.lock();
            --numUsedBytes;
            bufferNotFull.wakeAll();
            mutex.unlock();
        }
        fprintf(stderr, "\n");
    }

    virtual ~Consumer() {};
};

#endif

```

- producer.h

```

#ifndef PRODUCER_H
#define PRODUCER_H

#include <QObject>
#include <QThread>
#include <QTime>
#include <QWaitCondition>
#include <QMutex>

const int DataSize = 1000;
const int BufferSize = 200;

extern char buffer[BufferSize];
extern QWaitCondition bufferNotEmpty;
extern QWaitCondition bufferNotFull;
extern QMutex mutex;
extern int numUsedBytes;

class Producer : public QThread {
    Q_OBJECT
public:
    void run() {
        qsrand(QTime(0, 0, 0).secsTo(QTime::currentTime()));
    }
};

```



```

        for (int i = 0; i < DataSize; ++i){
            mutex.lock();
            if (numUsedBytes == BufferSize)
                bufferNotFull.wait(&mutex);
            mutex.unlock();

            buffer[i % BufferSize] = "aeiu"[(int)qrand() % 4];

            mutex.lock();
            ++numUsedBytes;
            bufferNotEmpty.wakeAll();
            mutex.unlock();
        }
    }
    virtual ~Producer() {};
};

#endif

```

- main.cpp

```

#include <QtCore>
#include <stdio.h>
#include "mainwindow.h"
#include "producer.h"
#include "consumer.h"

extern const int DataSize;
extern const int BufferSize;

char buffer[BufferSize];
QWaitCondition bufferNotEmpty;
QWaitCondition bufferNotFull;
QMutex mutex;
int numUsedBytes = 0;

int main(int argc, char *argv[]) {
    QApplication app(argc, argv);
    Producer producer;
    Consumer consumer;
    producer.start();
    consumer.start();
    producer.wait();
    consumer.wait();
    return 0;
}

```

6.4 Mandelbrotset

- renderthread.h

```

#ifndef RENDERTHREAD_H
#define RENDERTHREAD_H

#include <QMutex>
#include <QSize>
#include <QThread>
#include <QWaitCondition>
#include <QImage>

class RenderThread : public QThread {
    Q_OBJECT
public:
    RenderThread(QObject *parent = 0);

```

```

~RenderThread();
void render(double centerX, double centerY, double scaleFactor, QSize resultSize);
signals:
    void renderedImage(const QImage &image, double scaleFactor);
protected:
    void run();
private:
    uint rgbFromWaveLength(double wave);
    QMutex mutex;
    QWaitCondition condition;
    double centerX;
    double centerY;
    double scaleFactor;
    QSize resultSize;
    bool restart;
    bool abort;
    enum {ColormapSize = 512};
    uint colormap[ColormapSize];
};

#endif

```

- renderthread.cpp

```

#include <QtGui>
#include <math.h>
#include "renderthread.h"

```

```

RenderThread::RenderThread(QObject *parent)
    : QThread(parent) {
    restart = false;
    abort = false;
    for (int i = 0; i < ColormapSize; i++)
        colormap[i] = rgbFromWaveLength(380.0 + (i * 400.0 / ColormapSize));
}

```

```

void RenderThread::render(double centerX, double centerY, double scaleFactor, QSize resultSize) {
    QMutexLocker locker(&mutex);
    this->centerX = centerX;
    this->centerY = centerY;
    this->scaleFactor = scaleFactor;
    this->resultSize = resultSize;
    if (!isRunning()) {
        start(LowPriority);
    } else {
        restart = true;
        condition.wakeOne();
    }
}

```

```

void RenderThread::run() {
    forever {
        mutex.lock();
        QSize resultSize = this->resultSize;
        double scaleFactor = this->scaleFactor;
        double centerX = this->centerX;
        double centerY = this->centerY;
        mutex.unlock();
        int halfWidth = resultSize.width() / 2;
        int halfHeight = resultSize.height() / 2;
        QImage image(resultSize, QImage::Format_RGB32);
        const int NumPasses = 8;
        int pass = 0;
        while (pass < NumPasses) {
            const int MaxIterations = (1 << (2 * pass + 6)) + 32;

```

```

const int Limit = 4;
bool allBlack = true;
for (int y = -halfHeight; y < halfHeight; y++) {
    if (restart) break;
    if (abort) return;
    uint *scanLine = reinterpret_cast<uint*>(image.scanLine(y + halfHeight));
    double ay = centerY + (y * scaleFactor);
    for (int x = -halfWidth; x < halfWidth; x++) {
        double ax = centerX + (x * scaleFactor);
        double a1 = ax;
        double b1 = ay;
        int numIterations = 0;
        do {
            ++numIterations;
            double a2 = (a1 * a1) - (b1 * b1) + ax;
            double b2 = (2 * a1 * b1) + ay;
            if ((a2 * a2) + (b1 * b1) > Limit) break;
        } while (numIterations < MaxIterations);
        if (numIterations < MaxIterations) {
            *scanLine++ = colormap[numIterations % ColormapSize];
            allBlack = false;
        } else {
            *scanLine++ = qRgb(0, 0, 0);
        }
    }
}
if (allBlack && pass == 0) {
    pass = 4;
} else {
    if (!restart)
        emit renderedImage(image, scaleFactor);
    ++pass;
}
}
mutex.lock();
if (!restart) {
    condition.wait(&mutex);
}
restart = false;
mutex.unlock();
}
}

```

```

uint RenderThread::rgbFromWaveLength(double wave) {
    double r = 0.0;
    double g = 0.0;
    double b = 0.0;
    if (wave >= 380.0 && wave <= 440.0) {
        r = -1.0 * (wave - 440.0) / (440.0 - 380.0);
        b = 1.0;
    } else if (wave >= 440.0 && wave <= 490.0) {
        g = (wave - 440.0) / (490.0 - 440.0);
        b = 1.0;
    } else if (wave >= 490.0 && wave <= 510.0) {
        g = 1.0;
        b = -1.0 * (wave - 510.0) / (510.0 - 490.0);
    } else if (wave >= 510.0 && wave <= 580.0) {
        r = (wave - 510.0) / (580.0 - 510.0);
        g = 1.0;
    } else if (wave >= 580.0 && wave <= 645.0) {
        r = 1.0;
        g = -1.0 * (wave - 645.0) / (645.0 - 580.0);
    } else if (wave >= 645.0 && wave <= 780.0) {
        r = 1.0;
    }
}

```

```

    }
    double s = 1.0;
    if (wave > 700.0) {
        s = 0.3 + 0.7 * (780.0 - wave) / (780.0 - 700.0);
    } else {
        s = 0.3 + 0.7 * (wave - 380.0) / (420.0 - 380.0);
    }
    r = pow(r * s, 0.8);
    g = pow(g * s, 0.8);
    b = pow(b * s, 0.8);
    return qRgb(int(r * 255), int(g * 255), int(b * 255));
}

```

```

RenderThread::~RenderThread() {
    mutex.lock();
    abort = true;
    condition.wakeOne();
    mutex.unlock();
    wait();
}

```

- Mandelbrotwidget.h

```

#ifndef MANDELBROTWIDGET_H
#define MANDELBROTWIDGET_H

#include <QPixmap>
#include <QWidget>
#include "renderthread.h"

class MandelbrotWidget : public QWidget {
    Q_OBJECT
public:
    MandelbrotWidget(QWidget *parent = 0);
protected:
    void paintEvent(QPaintEvent event);
    void resizeEvent(QResizeEvent *event);
    void keyPressEvent(QKeyEvent *event);
    void wheelEvent(QWheelEvent *event);
    void mousePressEvent(QMouseEvent *event);
    void mouseMoveEvent(QMouseEvent *event);
    void mouseReleaseEvent(QMouseEvent *event);
private slots:
    void updatePixmap(const QImage &image, double scaleFactor);
private:
    void zoom(double zoomFactor);
    void scroll(int deltaX, int deltaY);
    RenderThread thread;
    QPixmap pixmap;
    QPoint pixmapOffset;
    QPoint lastDragPos;
    double centerX;
    double centerY;
    double pixmapScale;
    double curScale;
};

#endif

```

- Mandelbrotwidget.cpp

```

#include <QtGui>
#include <math.h>
#include "mandelbrotwidget.h"

```

```

const double DefaultCenterX = -0.637011f;
const double DefaultCenterY = -0.0395159f;
const double DefaultScale = 0.00403897f;
const double ZoomInFactor = 0.8f;
const double ZoomOutFactor = 1 / ZoomInFactor;
const int ScrollStep = 20;

MandelbrotWidget::MandelbrotWidget(QWidget *parent)
    : QWidget(parent) {
    centerX = DefaultCenterX;
    centerY = DefaultCenterY;
    pixmapScale = DefaultScale;
    curScale = DefaultScale;
    qRegisterMetaType<QImage>("QImage");
    connect(&thread, SIGNAL(renderedImage(const QImage &, double)),
            this, SLOT(updatePixmap(const QImage &, double)));
    setWindowTitle(tr("Mandelbrot"));
    setCursor(Qt::CrossCursor);
    resize(550, 400);
}

void MandelbrotWidget::paintEvent(QPaintEvent event) {
    QPainter painter(this);
    painter.fillRect(rect(), Qt::black);
    if (pixmap.isNull()) {
        painter.setPen(Qt::white);
        painter.drawText(rect(), Qt::AlignCenter,
                        tr("Rendering initial image, please wait..."));
        return;
    }
    if (curScale == pixmapScale) {
        painter.drawPixmap(pixmapOffset, pixmap);
    } else {
        double scaleFactor = pixmapScale / curScale;
        int newWidth = int(pixmap.width() * scaleFactor);
        int newHeight = int(pixmap.height() * scaleFactor);
        int newX = pixmapOffset.x() + (pixmap.width() - newWidth) / 2;
        int newY = pixmapOffset.y() + (pixmap.height() - newHeight) / 2;
        painter.save();
        painter.translate(newX, newY);
        painter.scale(scaleFactor, scaleFactor);
        QRectF exposed = painter.matrix().inverted().mapRect(rect().adjusted(-1, -1, 1,
        painter.drawPixmap(exposed, pixmap, exposed);
        painter.restore();
    }
    QString text = tr("Use mouse wheel or the '+' and '-' keys to zoom."
                    "Press and hold left mouse button to scroll.");
    QFontMetrics metrics = painter.fontMetrics();
    int textWidth = metrics.width(text);
    painter.setPen(Qt::NoPen);
    painter.setBrush(QColor(0, 0, 0, 127));
    painter.drawRect((width() - textWidth) / 2 - 5, 0, textWidth + 10, metrics.lineSpacing());
    painter.setPen(Qt::white);
    painter.drawText((width() - textWidth) / 2, metrics.leading() + metrics.ascent(), text);
}

void MandelbrotWidget::resizeEvent(QResizeEvent *event) {
    thread.render(centerX, centerY, curScale, size());
}

void MandelbrotWidget::keyPressEvent(QKeyEvent *event) {
    switch (event->key()) {
    case Qt::Key_Plus:
        zoom(ZoomInFactor);
    }
}

```

```

        break;
    case Qt::Key_Minus:
        zoom(ZoomOutFactor);
        break;
    case Qt::Key_Left:
        scroll(-ScrollStep, 0);
        break;
    case Qt::Key_Right:
        scroll(+ScrollStep, 0);
        break;
    case Qt::Key_Down:
        scroll(0, -ScrollStep);
        break;
    case Qt::Key_Up:
        scroll(0, +ScrollStep);
        break;
    default:
        QWidget::keyPressEvent(event);
    }
}

void MandelbrotWidget::wheelEvent(QWheelEvent *event) {
    int numDegrees = event->delta() / 8;
    double numSteps = numDegrees / 15.0f;
    zoom(pow(ZoomInFactor, numSteps));
}

void MandelbrotWidget::mousePressEvent(QMouseEvent *event) {
    if (event->button() == Qt::LeftButton) {
        lastDragPos = event->pos();
    }
}

void MandelbrotWidget::mouseMoveEvent(QMouseEvent *event) {
    if (event->buttons() & Qt::LeftButton) {
        pixmapOffset += event->pos() - lastDragPos;
        lastDragPos = event->pos();
        update();
    }
}

void MandelbrotWidget::mouseReleaseEvent(QMouseEvent *event) {
    if (event->button() == Qt::LeftButton) {
        pixmapOffset += event->pos() - lastDragPos;
        lastDragPos = QPoint();
        int deltaX = (width() - pixmap.width()) / 2 - pixmapOffset.x();
        int deltaY = (height() - pixmap.height()) / 2 - pixmapOffset.y();
        scroll(deltaX, deltaY);
    }
}

void MandelbrotWidget::updatePixmap(const QImage &image, double scaleFactor) {
    if (!lastDragPos.isNull())
        return;
    pixmap = QPixmap::fromImage(image);
    pixmapOffset = QPoint();
    lastDragPos = QPoint();
    pixmapScale = scaleFactor;
    update();
}

void MandelbrotWidget::zoom(double zoomFactor) {
    curScale *= zoomFactor;
    update();
}

```

```

        thread.render(centerX, centerY, curScale, size());
    }

    void MandelbrotWidget::scroll(int deltaX, int deltaY) {
        centerX += deltaX * curScale;
        centerY += deltaY * curScale;
        update();
        thread.render(centerX, centerY, curScale, size());
    }
}

```

- main.cpp

```

#include "mainwindow.h"
#include <QApplication>
#include "mandelbrotwidget.h"

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

```

7 QT 中实现 Thread 与 GUI 主线程连通方法

<http://mobile.51cto.com/symbian-270684.htm>

7.1

8 Other Reference

- 了解 Qt 多线程编程新手必学 (1)

<http://mobile.51cto.com/symbian-269482.htm>

- QT 核心编程之 Qt 线程 (3)

<http://mobile.51cto.com/symbian-270589.htm>

- 浅谈 Qt 中多线程编程

<http://mobile.51cto.com/symbian-268343.htm>

- 解析 QT 多线程程序详细设计上篇

<http://mobile.51cto.com/symbian-270667.htm>

- 解析 QT 多线程程序详细设计之 QObject 可重入性下篇

<http://mobile.51cto.com/symbian-270674.htm>

- Qt 的插件机制 (1)

<http://mobile.51cto.com/symbian-268027.htm>

- Qt 和 KDE 在未来将面临新的挑战 and 机遇

<http://mobile.51cto.com/hot-247522.htm>

- QT 源码之 Qt 信号槽机制与事件机制的联系

<http://mobile.51cto.com/symbian-270997.htm>

- QT 进程间通信详细介绍

<http://mobile.51cto.com/symbian-270726.htm>

- 解析 QT 静态库和动态库

<http://mobile.51cto.com/symbian-267846.htm>

- Linux 下 QT 实现串口通讯小实例

<http://mobile.51cto.com/symbian-270754.htm>

- Linux 虚拟串口及 Qt 串口通信实例

<http://mobile.51cto.com/symbian-270768.htm>