《多通道继电器自动化测试工具指导文档》
一、文档历史
二、前言
三、DEMO示例
1、环境准备
1.1、EC600N模组准备
1.2、B2901A测试仪
2、运行模组服务
3、启动GUI工具
四、模组框架设计
1、目录结构
2、核心功能
3、用户自定义任务函数
3.1、任务注册
3.2、任务分发
4、协议帧
4.1、请求对象
4.2、响应对象
4.3、帧结构
4.4、CRC校验
5、模组通信
五、上位机框架设计
1、目录结构
2、核心功能
3、RPC介绍(通信支持)
3.1、快速上手
3.2、协议帧
3.3、用户接口
4、任务线程基类(逻辑处理)
4.1、快速上手
4.2、任务工作线程基类介绍
4.3、`BaseThread`介绍
4.4、元类`_BaseMetaClass`介绍
5、UI设计
5.1、自制测试界面并注册
5.1.1、自定义测试窗口(一个`wx.Panel`类)
5.1.2、在主窗口类中注册
5.2、界面展示
5.2.1、登录框
5.2.2、VI测试窗口
5.2.3、阻抗测试窗口
5.2.4、GPIO驱动测试窗口

《多通道继电器自动化测试工具指导文档》

一、文档历史

修订记录

版本	日期	作者	变更描述
1.0	2023-3-29	dustin.wei	初始版本

二、前言

本文旨在指导QuecPython的多通道继电器自动化测试项目的二次开发。目前实现整体项目框架，提供相关功能组件供用户使用实现具体业务开发。

三、DEMO示例

目前提供**VI曲线测试（B2901A、单点测试）**demo案例。

操作流程演示:

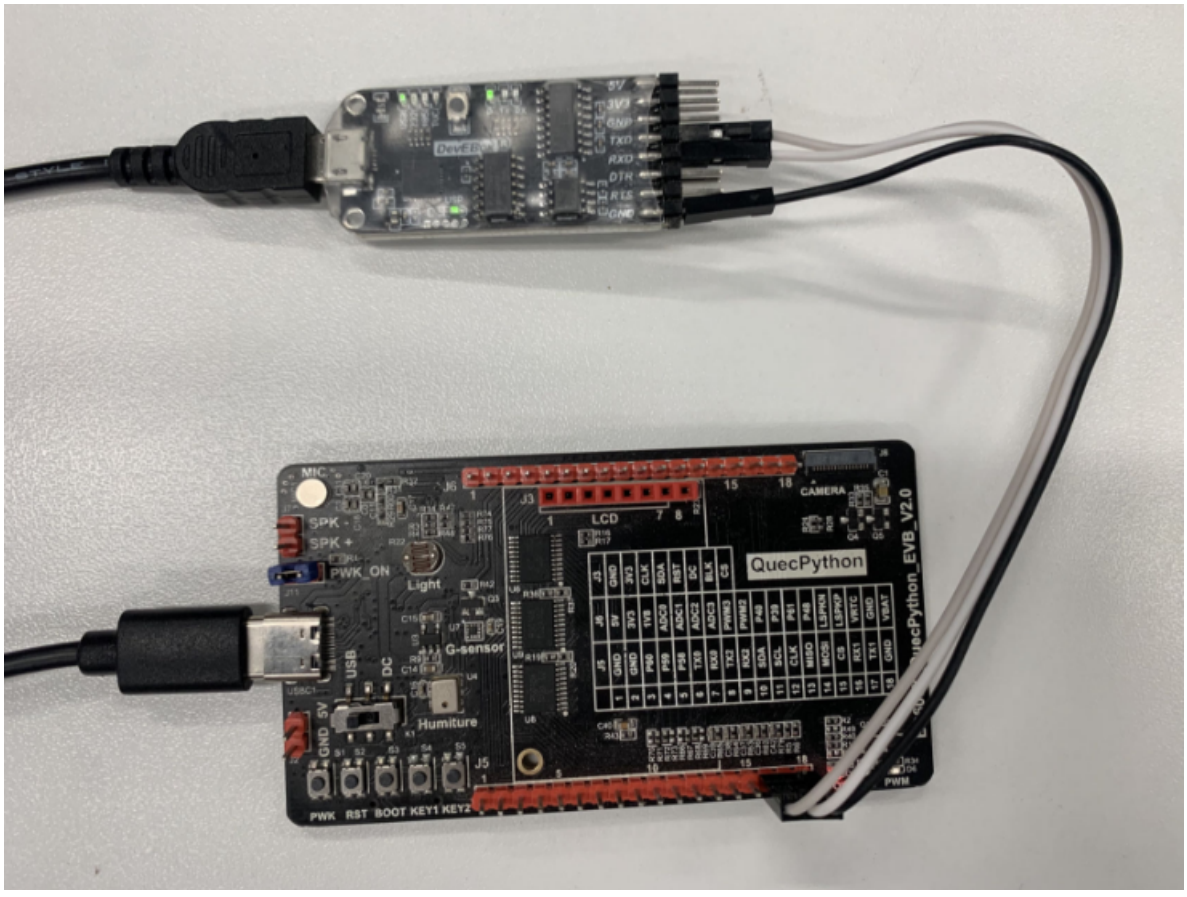
1、环境准备

搭建继电器板测试环境，接上B2901A电压电流源（需支持以太网和GPIOB测试）。

1.1、EC600N模组准备

使用type-c给模块供电，UART与TTL转USB模块的连接，如下图(仅供参考):

开发板上的PIN脚	TTL转USB模块	图中线的颜色
J5的16脚(RX)	TX	灰色
J5的17脚(TX)	RX	白色
J5的18脚(GND)	GND	黑色



1.2、B2901A测试仪

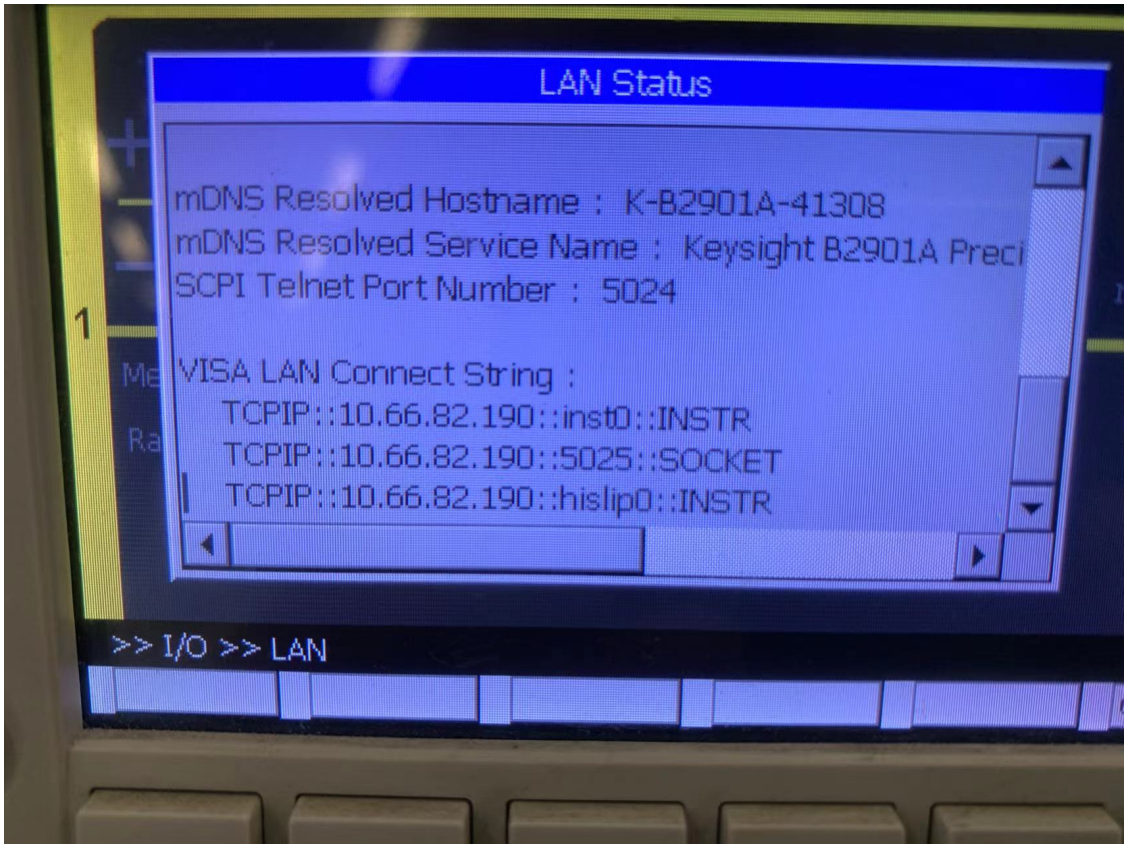
接上B2901A电压电流源（需支持以太网和GPIOB测试）。连接电源，连接LAN口和GBIP口。

启动测试仪。

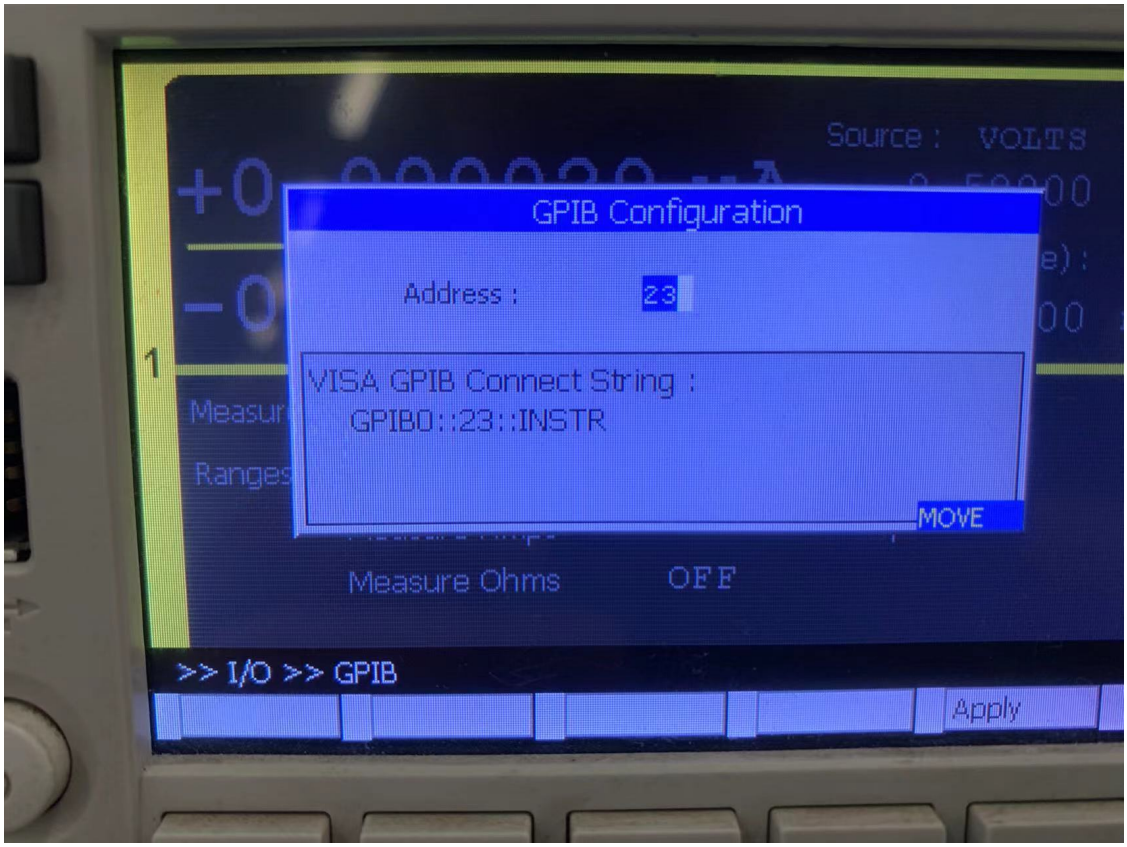
操作仪器设备查看设备地址(LAN或者GBIP)。

按钮操作流程：

- More => I/O => LAN => Status。结果显示LAN连接地址字符串，选择 TCP/IP SOCKET protocol 连接地址，如：`TCPIP::10.66.82.190::5025::SOCKET`

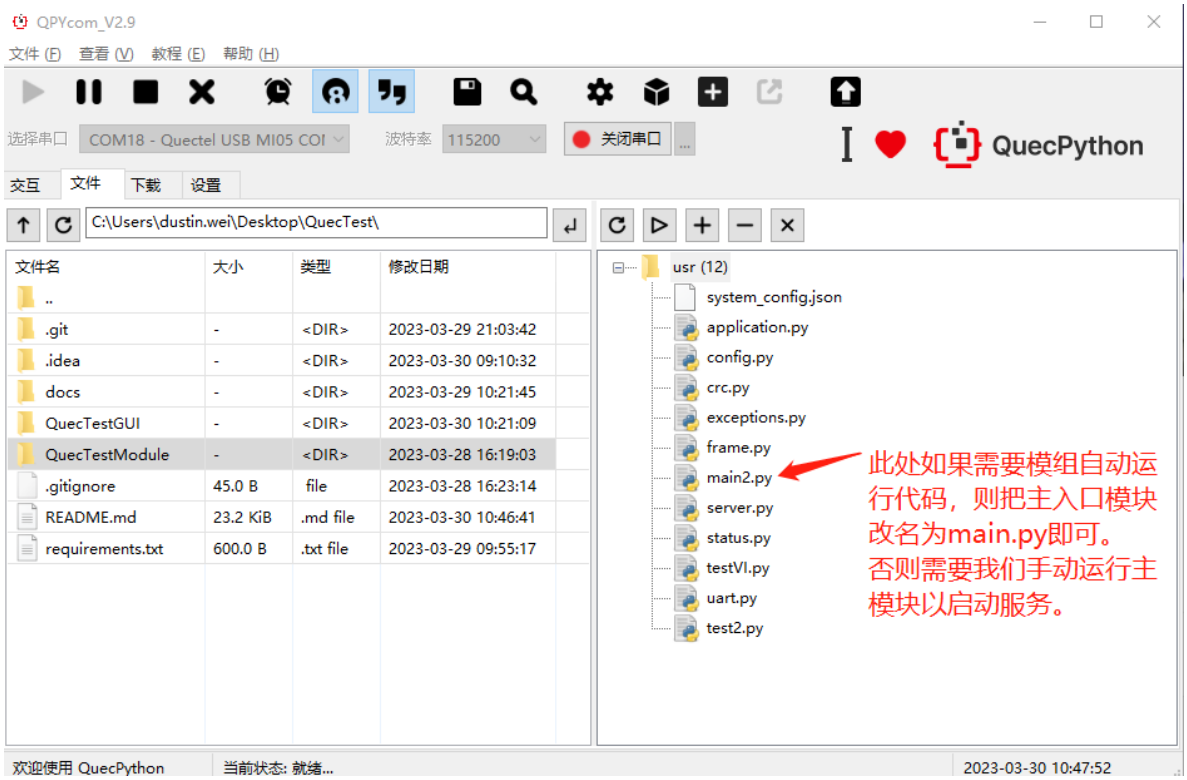


- More => I/O => GPIB。结果显示GBIP连接地址字符串，如：`GPIB0::23::INSTR`。



2、运行模组服务

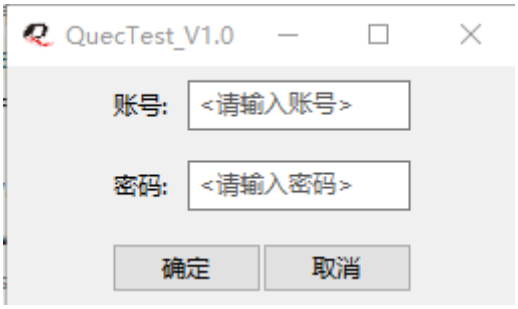
使用QPYcom，将`QuecTestModule`代码导入EC600N模块`/usr`路径下。



3、启动GUI工具

运行`QuecTestGUI/main.py`模块即可(需提前安装`requirements.txt`依赖环境，以及额外的VISA库支持)。

登录界面直接点击确认进入主界面(登录业务逻辑未实现)。



案例测试操作流程及界面展示如下。

> 主界面默认显示VI曲线测试界面。

测试结束，图片会自动保存在`images`目录下（图片保存名称可根据业务需要自行在代码中修改）。

四、模组框架设计

1、目录结构

```
QuecTestModule
|-- application.py   模组应用
|-- config.py    配置文件（用户新建测试模块，需在配置文件中注册）
|-- crc.py       crc校验
|-- exceptions.py    异常
|-- frame.py     协议帧
|-- main.py      主入口
|-- server.py    主服务
|-- status.py    状态码
|-- uart.py      基于machine.UART的同步读接口封装
`-- testVI.py    用户自定义测试模块
```

2、核心功能

通过应用对象，注册任务函数，供远程上位机调用。

在 `application.py` 中定义 App 类，该类实现了**任务注册**、**任务分发**。

3、用户自定义任务函数

3.1、任务注册

假设我们需要定义一个测试模块`testVI.py`，内部定义函数`test_vi_function`(供上位机调用)，如下。

> 注意：用户自定义任务函数的返回值，必须是可json序列化。

```python
# testVI.py

from application import app

# 注册test_vi_function任务函数，指定任务名称为'VI'，注意该名称不可重复。
@app.task('VI')
def test_vi_function(board, channel):
    """
    @param board: 板号
    @param channel: 待测模组通道号
    @return: dict, voltage and current, custom defined
    """
    # TODO: do test case
    pass
```

在定义好任务模块之后，需要在`config.py`中注册才能生效，如下：

```python
# config.py
# 测试模块导入路径列表，所有自定义测试模块，都需要加入该列表
TEST_MODULE_LIST = [
    'usr.testVI',
]

```

完成上述3.1步骤，即表示测试的任务函数注册完毕，上位机即可使用`rpc`通信包远程调用该任务函数，见上位机框架设计。

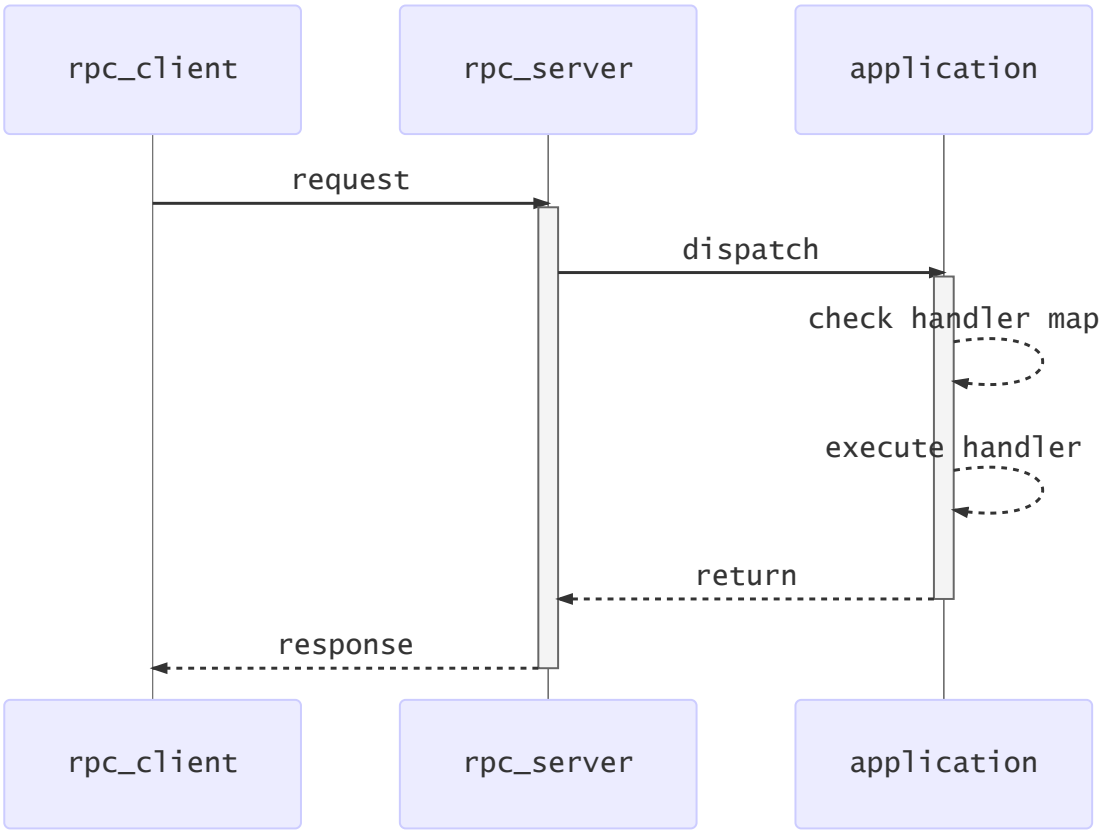
> 上位机调用方式: `rv = caller.callTask('VI', args=(1, 233))`

3.2、任务分发

任务分发是应用服务自行处理，用户无需操作。这里，简单介绍下分发逻辑。

`App`中定义一个`self.handler_map = {}`映射字典，key即为`app.task`指定的任务名，value为任务函数对象。在接收到上位机请求后，会根据请求中的task名称，在该字典中查找任务，找到则调用，找不到则返回异常。

> 详情键`server.py`和`application.py`实现。



4、协议帧

在`frame.py`中定义了请求和响应对象封装以及帧报文构建方法。

> `frame.py`模块是上位机和模组通用模块，用于构造请求和响应报文。

4.1、请求对象

请求对象用于封装远程调用函数的`函数名`和`参数(args：位置参数，kwargs：关键字参数)`。

```
>>> from rpc.frame import Request
>>> # 构造请求对象，位置参数1为任务名称，args和kwargs为任务函数位置参数和关键字参数
>>> request = Request('VI', args=(1,2))
>>> # 请求对象dump为帧报文(字节数组)
>>> request.dump()
bytearray(b'at-{"task": "VI", "args": [1, 2], "kwargs": {}}\xae')
>>> # 帧报文load为请求对象
>>> request = Request.load(bytearray(b'at-{"task": "VI", "args": [1, 2], "kwargs": {}}\xae'))
>>> request.task, request.args, request.kwargs
('testVI', [1, 2], {})
```

4.2、响应对象

响应对象用于封装返回数据，包括状态码，状态信息和用户任务函数返回值。

> 用户在注册任务函数的时候，无需关系响应对象构造，只需要正常返回函数返回值即可。

```
>>> from rpc.frame import Response
>>> from rpc import status
>>> # 构造响应对象， status为状态码，message为提示信息，data为任务函数返回值
>>> response = Response(status=status.OK, message='', data={'x': 1, 'y': 2})
>>> # 响应对象dump为帧报文(字节数组)
>>> response.dump()
bytearray(b'at9{"status": 200, "message": "", "data": {"x": 1, "y": 2}}\xa9')
>>> # 帧报文load为响应对象
>>> response = Response.load(bytearray(b'at9{"status": 200, "message": "", "data": {"x": 1, "y": 2}}\xa9'))
>>> response.status, response.message, response.data
(200, '', {'x': 1, 'y': 2})
```

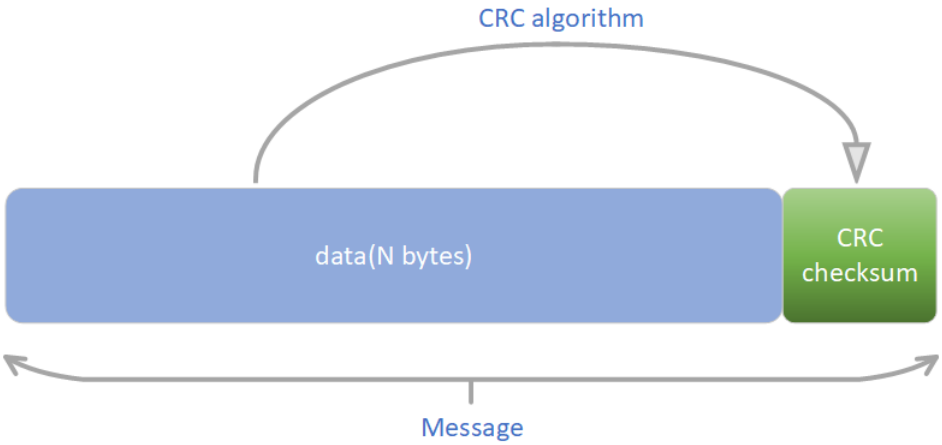
4.3、帧结构

以帧报文`b'at-{"task": "VI", "args": [1, 2], "kwargs": {}}\xae'`为例子。结构如下：

> 报文有效数据长度是用一个字节表示，且包含1byte字节的CRC校验码。所以，实际用户有效数据最大为254bytes。

帧头(2bytes)	信息长度(1byte)	信息(N bytes，用户数据经json编码，编码方式为UTF8)	CRC校验码(1byte)
b'\x61\x74'	b'\x2d'	b'{"task": "VI", "args": [1, 2], "kwargs": {}}'	b'\xae'

4.4、CRC校验



采用单字节校验码，采用查表法计算。单字节crc值计算算法如下：

```
def cal_crc_perbyte(rawbyte, poly=0x07):
    """
    单字节冗余计算
    @param rawbyte: int, 0~255
    @param poly: int, crc多项式
    @return: crc校验码(单字节, 整数)
    """
    crc = rawbyte
    for _ in range(8):  # 每个字节冗余计算，共8次
        if crc & 0x80:
            crc = (crc << 1) ^ poly
        else:
            crc <<= 1
    return crc & 0xFF  # 最终结果取单低位一个字节
```

> 参考`crc.py`模块实现。

5、模组通信

协议与上位机一致，唯一不同的是模组通信使用`machine.UART`串口通信模块，这里封装了`UART.read`接口，实现阻塞式同步读，见`uart.py`如下。

```
class UARTControl(object):

    def write(self, data):
        # write bytes data
        # ...

    def read(self, nbytes, timeout=0):
        """
        if read enough bytes within blocking mode, it will return immediately.
        raise TimeOutError error if timeout, but we still get no enough bytes.
        @param nbytes: int, N bytes you want to read
        @param timeout: int, ms
                        0 for no blocking
                        <0 for blocking forever
                        >0 for blocking until timeout.
        @return: bytes actually read.
        """
```

```
        # ....
```

五、上位机框架设计

1、目录结构

```
QuecTestGUI
|-- logic   业务逻辑层
|   |-- __init__.py
|   |-- base.py 逻辑层任务线程基类
|   `-- ... 其他用户定义业务模块
|-- main.py 主入口
|-- rpc 通信层
|   |-- __init__.py
|   |-- api.py  用户接口
|   |-- crc.py  crc校验
|   |-- exceptions.py   异常
|   |-- frame.py    协议帧(请求、响应)
|   `-- status.py   状态码
|-- sources 资源
|-- ui  界面
    |-- components  界面组件
        |-- __init__.py
        |-- base.py 窗口基类(包含matlab界面类)
        |-- com.py  串口配置界面
        |-- general.py  通用配置界面
        |-- decimalctrl.py  Decimal文本输入控件
        |-- mpl.py  matlab绘图界面
        |-- timer   定时器组件
        |-- vi.py   VI测试界面
        |-- ipd.py  阻抗测试界面
    |-- exceptions.py   异常
    |-- login.py    登录界面
    |-- main_win.py 主窗口
    `-- ... 其他用户定义界面
|-- utils   工具集
    `-- smu.py  基于pyvisa封装的SMU通信组件
|-- main.py 主入口
|-- build.sh    编译脚本
```

2、核心功能

- 提供基于RPC思想设计的远程函数调用模块。使得模组任务函数调用更加简单，同时屏蔽底层通信细节。
  - 提供`TaskCaller`类(基于`pyserial`实现)，实现串口控制和远程任务函数调用。
  - 支持`crc`校验(采用单字节校验码，采用查表法计算提高计算效率)。
- 提供一个核心线程基类 —— 该线程类主要用于开启任务与GUI线程解耦。
  - 通过绑定事件函数的方式，提供更加方便与GUI通信的接口。
  - 线程的可以从具体执行过程中停止、暂停和恢复执行。
- 提供基于`matplotlib`封装的`MPLBasePanel`(派生自`wx.Panel`)，可用于界面绘制图形(比如带有刻度网格的十字轴折线图，具体风格可以通过修改代码定制)。
- 控件定制
  - 提供`DecimalCtrl`控件(派生自`wx.TextCtrl`)，用于计算高精度十进制数值。

    - 提供`Timer`(派生自`wx.Timer`)和`StaticTimerText`控件(派生自`wx.StaticText`)，用于实时监测运行时间。
- 提供SMU通信模块，可用于基于SCPI指令与程控设备通信。

3、RPC介绍(通信支持)

借助于RPC设计思想，本项目中将**对用户屏蔽底层通信细节**。对于用户而言，调用模组的**任务函数**直观感受就像是调用了一个本地函数，对通信细节无感知。

3.1、快速上手

> 需运行模组服务，且模组中必须已经定义并注册任务函数。参考模组框架设计。

在`rpc/api.py`中定义了用户接口，下面介绍具体使用方式：

```
>>> from rpc.api import TaskCaller
>>> # 实例化TaskCaller对象，见名知意，它是一个用于远程调用任务的对象。
>>> caller = TaskCaller()
>>> # open函数打开串口，开放配置，用户可根据实际情况设置
>>> caller.open({
    'port': 'COM12',
    'baudrate': 115200,
    'bytesize': 8,
    'parity': 'N',
    'stopbits': 1
})
>>> # 检测串口是否已经打开
>>> caller.isOpen()
True
>>> # callTask有参数参数: callTask(task, args=(), kwargs={}), 其中，task是任务名称(注意不一定是函数名称，在模组中是自定义的)，args和kwargs分别是调用任务函数的位置参数和关键字参数
>>> rv = caller.callTask('VI', args=(1, 233), kwargs={}) # 返回值即为任务函数的返回值，必须是json可序列化
>>> # 注意：关于任务函数的定义，详见模组框架设计
```

3.2、协议帧

参考模组框架设计`3、协议帧`。

3.3、用户接口

模块`frame/api.py`中定义`TaskCaller`类，该类基于`pyserial`封装串口通信接口，配合自定义协议，实现通信。下面详细说明该类的具体使用。

```
class TaskCaller(builtins.object)
 |  Methods defined here:
 |
 |  __init__(self)
 |      self._serial: 串口通信对象，SerialClass Object，默认是serial.Serial
 |      self._options: 用于保存可选串口配置参数
 |
 |  callTask(self, task, args=(), kwargs=None)
 |      call remote task with position and keyword arguments.
 |      @param task: str, task name
 |      @param args: position arguments
 |      @param kwargs: keyword arguments
```

```
 |      @return: the return value of remote task
 |
 |  close(self)
 |      close Port
 |
 |  isOpen(self)
 |      @return: True if Serial Object exists and open successfully else
False
 |
 |  open(self, config)
 |      open com port.
 |      @type config: dict, with same kwargs as SerialClass
 |      @return: None
 |
 |  recv(self)
 |      recv protocol frame message, bytes type, you should never use it
directly.
 |      @return: Response Object
 |      @raise RPCReadError: if something wrong when reading COM Port
 |
 |  send(self, request)
 |      send protocol frame message, bytes type, you should never use it
directly.
 |      @param request: Request Object
 |      @return: None
 |      @raise RPCWriteError: if something wrong when writing COM Port
 |
 |  ----------------------------------------------------------------------
 |  Readonly properties defined here:
 |
 |  options
 |      基于SerialClass的可选串口配置参数
 |
 |  serial
 |      获取串口通信对象
 |      @raise PortOpenError: if port not open raise PortOpenError.
 |      @return: SerialClass Object
 |
 |  ----------------------------------------------------------------------
 |  Data and other attributes defined here:
 |
 |  SerialClass = <class 'serial.serialwin32.Serial'>
 |      Serial port implementation for Win32 based on ctypes.
```

4、任务线程基类(逻辑处理)

逻辑层处于GUI和RPC通信之间，用于接收GUI用户输入参数，调用RPC用户接口与模组通信，并完成具体的业务处理。

通常，简单的任务，我们在GUI事件函数中就可以直接处理。但是对于复杂的任务，或者要求任务处理过程中需要与GUI交互实现实时渲染，比如我们在GUI中触发一个事件（可以是开始按钮点击事件，启动测试任务），就需要开启一个独立的**工作线程**来完成具体的任务，实现与GUI的解耦，不阻塞UI。

所以，在`logic/base.py`中，提供了一个**工作线程基类**`WorkThread`。

4.1、快速上手

定义测试任务工作线程在模块`logic/vi.py`中。

```
from .base import WorkThread

class VIWorkThread(WorkThread):
    def execute(self):
        # TODO: 测试业务代码编写
        pass
```

假设我们在GUI窗口的一个事件处理函数中，开启一个工作线程。

```
import wx
from logic.vi import VIWorkThread
from ui.components.base import BasePanel

class CustomPanel(BasePanel):
    def __init__(self, *args, **kwargs):
        self.button = wx.Button(self, label='开始测试')
        self.Bind(wx.EVT_BUTTON, self.handler, self.button)

    def handler(self, event):
        # TODO: 此处我们需要开启任务工作线程来开启测试任务
        self.thread = VIWorkThread(self)  # 用户需继承WorkThread重写execute方法实现业务
        self.thread.setPostHandler(self.threadPostHandler)
        self.thread.setErrorHandler(self.threadErrorHandler)
        self.thread.setFinishHandler(self.threadFinishHandler)
        self.thread.start()

    def threadPostHandler(self, data):
        """
        接收工作线程数据并处理
        @param data: 用户数据
        @return:
        """
        pass

    def threadErrorHandler(self, exc):
        """
        工作线程异常处理函数
        @param exc: 异常对象
        @return:
        """
        pass

    def threadFinishHandler(self, result):
        """
        工作线程结束并完成工作后的回调
        @param result: 线程执行结果返回值
        @return:
        """
        pass
```

如上，`WorkThread(win, context)`构造函数接收两个参数，`win`参数为当前GUI窗口对象(通常是`Window`对象)，`context`参数是任务处理需要使用上下文(该参数会被保存在工作线程对象的`context`属性中，以供任务处理过程中需要)。

另外，该线程提供了三种方式与窗口通信，分别是:

- `setPostHandler(handler)`，绑定一个函数`hander(data)`，该函数有唯一参数`data`。在线程中使用`self.post(data)`方法可触发该`handler`的调用，`post`方法的参数`data`即为`handler`实际接收的参数。
- `setErrorHandler(handler)`，绑定一个函数`handler(exc)`，该函数有唯一参数`exc`(线程触发的异常对象)。当线程抛出异常后会调用该`handler`。
- `setFinishHandler(handler)`，绑定一个函数`handler(result)`，该函数有唯一参数`result`(`WorkThread.execute`方法的返回值)。当线程任务执行结束后会调用该`handler`。

4.2、任务工作线程基类介绍

```
class WorkThread(BaseThread, metaclass=_BaseMetaClass)
 |  WorkThread(win, data=None, **kwargs)
 |
 |  Method resolution order:
 |      WorkThread
 |      BaseThread
 |      threading.Thread
 |      builtins.object
 |
 |  Methods defined here:
 |
 |  __init__(self, win, data=None, **kwargs)
 |      @param win: the wxPython GUI Window Object
 |      @param data: user data（parameters for task）
 |      @param kwargs: deliver this to threading.Thread.__init__
 |
 |  bind(self, handler)
 |      bind Event to self.win with a `handler`
 |      @param handler: callable, a wxPython GUI Event handler. usually be a method of self.win
 |      @return: None
 |
 |  post(self, data)
 |      post an Event with data to self.win, will be handled by `handler` we bind.
 |      @param data: user data
 |      @return: None
 |
 |  run(self)
 |      Method representing the thread's activity.
 |
 |      You may override this method in a subclass. The standard run() method
 |      invokes the callable object passed to the object's constructor as the
 |      target argument, if any, with sequential and keyword arguments taken
 |      from the args and kwargs arguments, respectively.
```

我们在定义自己的工作线程的时候，只需要继承`WorkThread`并重写`execute`方法实现业务逻辑即可，如下:

```python
from logic.base import WorkThread

class VITestThread(WorkThread):

    def execute(self):
        for i in range(1000):  # test 1000 times
            if self.wait():
                # self.wait() call will block. in this method we check thread status(stop|pausing). if thread stop(call self.stop()) self.wait() will return True, if thread is pausing(call self.pause()) self.wait() will block until we call self.resume().
                break
            # TODO: do anthing
            # ...
            self.post({'data': 'some data send to GUI(self.win)'})
```

4.3、`BaseThread`介绍

> `BaseThread`线程主要提供了线程开始、停止和暂停的功能。
>
> 通过在线程任务函数`execute`中调用`self.wait`来触发判定。见`BaseThread`具体实现。

```
class BaseThread(threading.Thread)
 |  BaseThread(**kw)
 |
 |  Method resolution order:
 |      BaseThread
 |      threading.Thread
 |      builtins.object
 |
 |  Methods defined here:
 |
 |  __init__(self, **kw)
 |      @param kw: deliver to threading.Thread.__init__
 |
 |  isAlive(self)
 |      return True if thread alive else False
 |
 |  isPausing(self)
 |      pause thread(just set self.run_flag)
 |
 |  isStop(self)
 |      return Ture if self.stop_flag is set else False
 |
 |  pause(self)
 |      pause the thread(just clear self.run_flag)
 |
 |  resume(self)
 |      resume the thread to continue(just set self.run_flag)
 |
 |  start(self)
 |      start thread to run
 |
 |  stop(self)
 |      stop thread(just set self.stop_flag, not kill it.)
 |
 |  wait(self)
```

```
 |      check status(stop or pausing).
 |      and return True if stop else block(if self.pause()) until thread
continue(self.resume()
```

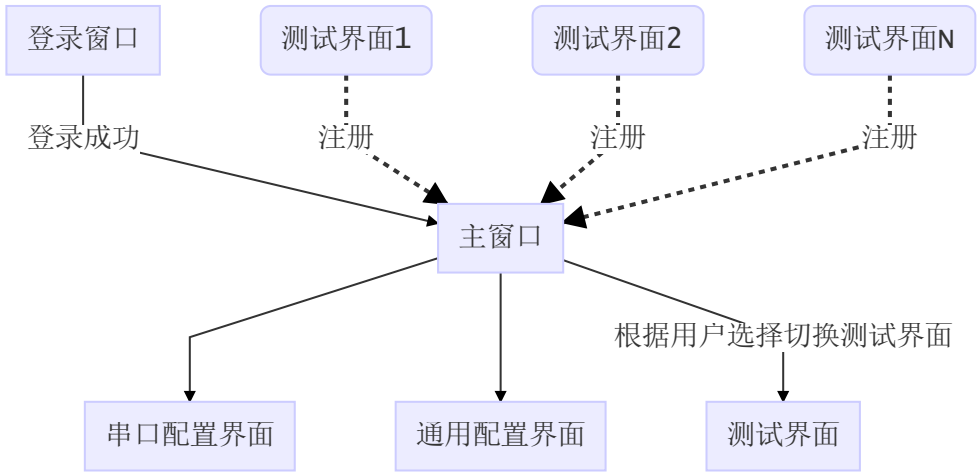
4.4、元类`_BaseMetaClass`介绍

该元类被指定为`WorkThread`基类的元类，旨在用户继承`WorkThread`自定义工作线程类的时候，在每个类中构建基于`wxPython`的事件对象`RESULT`和绑定对象`EVT_RESULT`，这两个对象是以类属性形式存在，用于GUI交互通信使用，用户无需关注。

> 事件对象和绑定对象使用`wx.lib.newevent.NewEvent`函数生成。关于wxPython事件，请查询官方文档。

5、UI设计

GUI采用wxPython接口实现，采用单窗口形式，通过动态控制`Panel`的隐藏与展示实现业务界面的切换。



5.1、自制测试界面并注册

整个app界面分为三个部分，如上图所示：**串口配置窗口**、**通用配置窗口**和**测试窗口**。

其中，**测试窗口**可以根据实际需要，自定义并注册进整个界面，我们通过通用配置窗口中的`TestItem`选择框选择具体的测试项目，展示该测试窗口并测试。

下面，我们简单说明，如何新增一个测试窗口并注册。

5.1.1、自定义测试窗口(一个`wx.Panel`类)

继承在窗口基类`ui.components.BasePanel`。并添加需要的控件。

> 界面使用wxPython框架编写，参阅https://www.wxpython.org/。

5.1.2、在主窗口类中注册

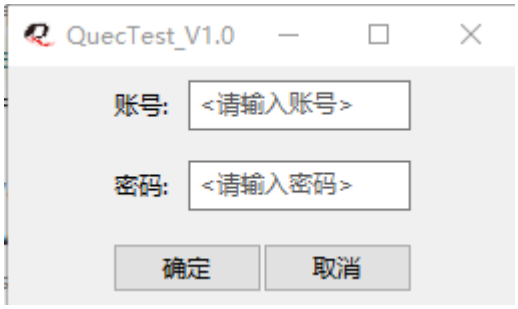
将编写好的测试窗口Panel类对象，添加进`MainWindow.getPanels`返回列表即可。

```python
class MainWindow(wx.Frame):

    # ...

    def getPanels(self):
        """
        获取用户自定义测试界面Panel类对象，返回一个列表。
        列表中的所有测试Panel都会被注册进主窗口
        """
        return [
            VIPanel(self, name='VI曲线测试'),
            IpdPanel(self, name='阻抗测试')
        ]

    def registerPanels(self):
        panels = self.getPanels()
        for panel in panels:
            panel.Hide()
            self.name2item_map.update({panel.GetName(): panel})
```

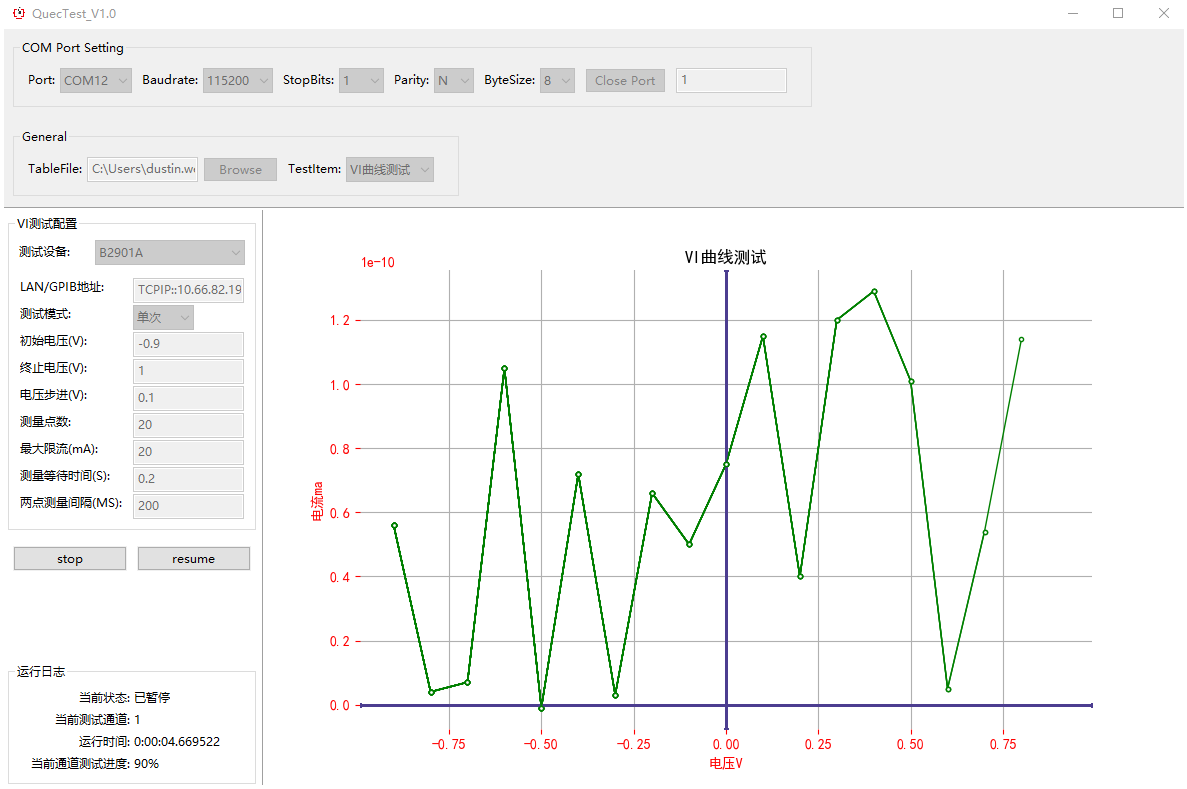
```
20              self.item_box.Add(panel, 1, wx.ALL | wx.EXPAND, 0)
```

5.2、界面展示

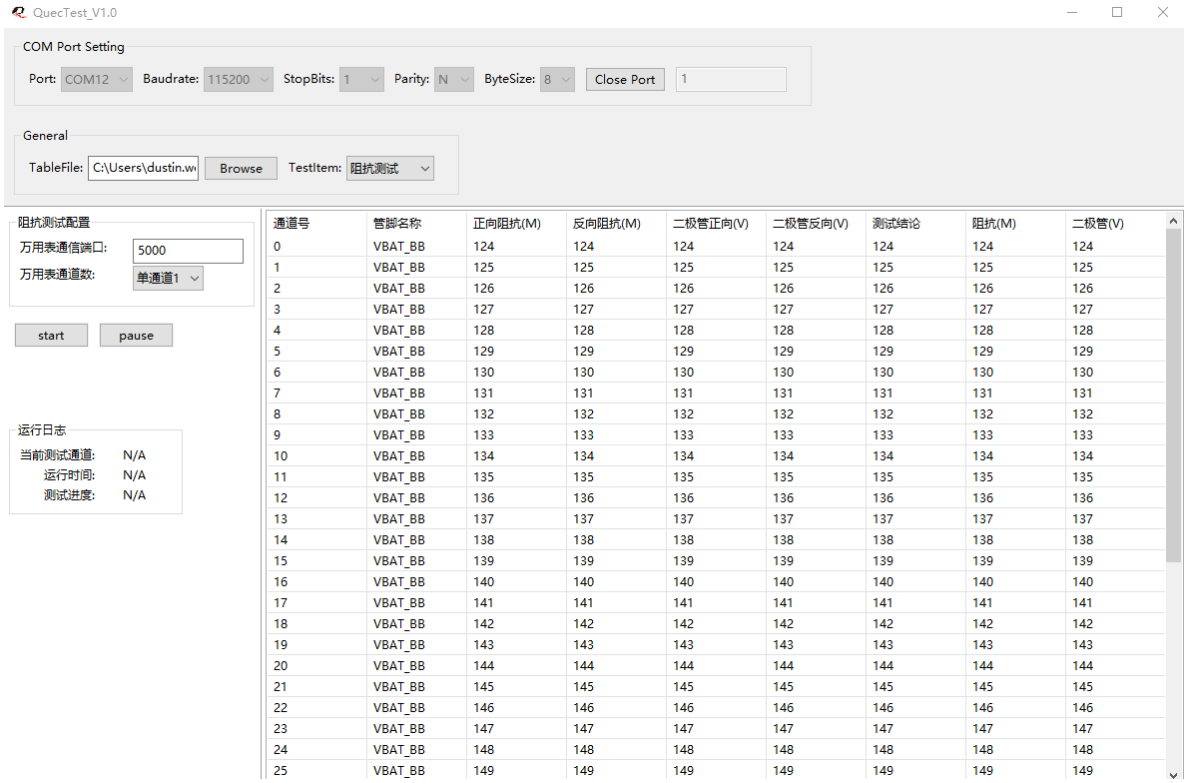
5.2.1、登录框



5.2.2、VI测试窗口



5.2.3、阻抗测试窗口



通道号	管脚名称	正向阻抗(M)	反向阻抗(M)	二极管正向(V)	二极管反向(V)	测试结论	阻抗(M)	二极管(V)
0	VBAT_BB	124	124	124	124	124	124	124
1	VBAT_BB	125	125	125	125	125	125	125
2	VBAT_BB	126	126	126	126	126	126	126
3	VBAT_BB	127	127	127	127	127	127	127
4	VBAT_BB	128	128	128	128	128	128	128
5	VBAT_BB	129	129	129	129	129	129	129
6	VBAT_BB	130	130	130	130	130	130	130
7	VBAT_BB	131	131	131	131	131	131	131
8	VBAT_BB	132	132	132	132	132	132	132
9	VBAT_BB	133	133	133	133	133	133	133
10	VBAT_BB	134	134	134	134	134	134	134
11	VBAT_BB	135	135	135	135	135	135	135
12	VBAT_BB	136	136	136	136	136	136	136
13	VBAT_BB	137	137	137	137	137	137	137
14	VBAT_BB	138	138	138	138	138	138	138
15	VBAT_BB	139	139	139	139	139	139	139
16	VBAT_BB	140	140	140	140	140	140	140
17	VBAT_BB	141	141	141	141	141	141	141
18	VBAT_BB	142	142	142	142	142	142	142
19	VBAT_BB	143	143	143	143	143	143	143
20	VBAT_BB	144	144	144	144	144	144	144
21	VBAT_BB	145	145	145	145	145	145	145
22	VBAT_BB	146	146	146	146	146	146	146
23	VBAT_BB	147	147	147	147	147	147	147
24	VBAT_BB	148	148	148	148	148	148	148
25	VBAT_BB	149	149	149	149	149	149	149

5.2.4、GPIO驱动测试窗口

待补充。