**RTL-SDR简介**

* **什么是SDR**

SDR，Software-defined Radio，软件无线电。简要描述即在一个硬件平台运行不同软件程序以实现不同无线电应用场景的技术。

* **什么是RTL-SDR**

SDR设备有很多，例如Airspy、HackRF等，但价格往往比较昂贵（上百美元）。而RTL-SDR是使用RTL2832U芯片作为主控的最廉价、应用最广泛的SDR方案，往往只需要十几二十美元，成本价更低，非常适合入门级硬件设计与无线电学习者学习把玩。

RTL-SDR原身是一款批量生产的DVB-T电视棒（数字高清电视信号解调器），其中RTL2832U芯片用于接收并解调DVB-T数字信号。

在一名学生Antti Palosaari发现该电视棒可以用于接收FM广播信号的原始数据后，各方人士（包括开发RTL2832U Linux驱动的Eric Fry）研究RTL2832U芯片并发现RTL2832U芯片允许通过设置进入“测试模式”，跳过DVB-T解调过程，直接向USB接口传输采样后的原始I/Q数据。最终Osmocom的工程师（主要是Steve Markgraf）实现了RTL-SDR的驱动程序，真正将RTL-SDR变成了现实。

网络上有大量RTL-SDR成品售卖，分不同产品可以接收从500kHz至1.75GHz宽广频带内的信号，实际情况在较高和较低频率下接受效果有限，但接收城市内的WFM广播（例如我国87.5MHz至108MHz间的频率范围）是绰绰有余的。

详情可查看RTL-SDR Blog上的介绍：<https://www.rtl-sdr.com/about-rtl-sdr/>。

* **RTL-SDR的应用**
* 收听FM等各类广播；
* 跟踪航班路线；
* 接收模拟电视信号；
* ……

除此之外，RTL-SDR还有大量应用场景，凡需要接收信号的应用场景都可以考虑，也可以作为学习GNURadio的入门设备。不过需要注意的是，原始的RTL-SDR方案是无法发射信号的。

* **RTL-SDR的缺憾**

RTL2832U本身的设计目的，并不是用于采样并传输原始信号，而是解调数字高清电视信号。因此，芯片内部还有一次对采样信号的重采样，且无法通过软件手段跳过，导致理论最高采样率降至3.2MSps，实际不丢包采样率可能只有2.4MSps左右。

* **一些概念的澄清**

由上所述，RTL-SDR的硬件平台仍然是电视棒，而RTL-SDR方案的真正核心，实际上是可以开启RTL2832U“测试模式”的驱动程序。

* **RTL-SDR的系统架构**

本方案采用Rafael Micro R820T2作为前端的调谐器，再添加天线、USB、时钟等构成完整的SDR硬件平台。一张比较准确的示意图（来自网络）：

图示, 示意图

描述已自动生成

RTL-SDR硬件平台整体框图

1. **全局描述**
   1. **信号链——接收到信号的处理流程**

如图所示，天线接收射频（RF）信号后送入前端的调谐器（Tuner）。调谐器处理后，信号变频至（低）中频带（IF/LIF）如3.57MHz附近，再被滤波、放大后被送入RTL2832U的I（In-phase）通道，Q通道闲置。

RTL2832U对送入的（低）中频信号进行ADC采样（28.8MSps），再进行数字下变频（DDC）获得基带信号。在“测试模式”下跳过DVB-T解码，将数据直接送入USB供上位机处理。

如前面所提到的，虽然“测试模式”下可以跳过解调部分，但其之前还有一步重采样（Resample）过程无法跳过，导致输出的I/Q数据理论最大只有3.2MSps的采样率，而非ADC时钟的28.8MSps。

* 1. **控制链——上位机控制芯片的数据流**

上位机通过枚举USB设备，获得RTL-SDR设备的句柄（需为其安装USB驱动）。

RTL2832U支持USB 2.0，并提供两个Endpoint，其中一个就用于control pipe，应该就是指指令管线，手册中也说明了具体的指令格式。于是，通过向USB发送相应的指令，就可以对RTL2832U的寄存器进行操作，而这些操作在RTL2832U内部由一个8051内核CPU管理。

此外，RTL2832U还引出了两组I2C总线，其中带由字母T的一组（T应该就指Tuner），用于连接调谐器芯片，也就是我们方案中的R820T2。上位机可以通过USB控制RTL2832U内的CPU，间接通过这条I2C总线操作R820T2的寄存器。

1. **R820T2调谐器**
   1. **调谐器简介**

调谐器（Tuner）主要用于对射频信号进行预处理，对它进行放大、滤波、下变频到IF信号等。Osmocom的Wiki上列举了常见的可以搭配RTL2832U构成RTL-SDR的Tuner如E4000、R820T等，本方案就采用R820T2芯片。

* 1. **R820T内部结构**

图示, 示意图

描述已自动生成

R820T手册中的结构框图

RF\_IN接天线，接收输入的RF信号，接入时应添加一些滤波措施，并接一个ESD保护用的双向二极管。

信号进入后首先送进LNA（低噪声放大器）进行放大，然后是带通滤波器，再经过混频器（乘法器）下变频到中频，再经过一个带通滤波器，最后通过VGA（可变增益放大器）输出。

中间的两个pdetx是Power Detector，会检测信号的强度来调节上述信号链中各处的增益。VGA也可以通过VAGC（AGC，自动增益控制）输入的一个0.6V到2.5V的电压来调节增益，范围从+1dB到+48dB。

混频器下方是时钟相关的部分，核心部分是一个锁相环（PLL）。相关缩写大致解释如下：Div，分频器；PFD，鉴频鉴相器；VCO，压控振荡器；CP，Charge Pump，电荷泵，又称开关电容式电压变换器；Sdm是Sigma-delta modulation。以上均和锁相环结构相关，细节不多赘述。总之，其功能大概就是靠锁相环生成混频需要的本振信号——即我们设定要接收的信号的中心频率，并已知要通过调谐器将其变频到中频（例如3.57MHz，在R820T2手册中列出了所支持的中频频率表及其对应的协议），依此求解混频器需要的本振信号频率。

从晶振引出了CLK\_OUT，可以作为RTL2832U中的ADC时钟输入。猜测不直接连晶振可能是为了更稳定，因为晶振布局若靠近Tuner，就会远离RTL2832U。

左下角是用于控制R820T的I2C总线引脚，设计时需要对接RTL2832U的SCLT、SDAT。

1. **RTL2832U数字高清电视信号解调器（未使用解调功能）**
   1. **RTL2832U内部结构**

RTL-SDR名称中的RTL就来自RTL2832U芯片。其泄露的部分手册中框图如下所示：

图示

描述已自动生成

RTL2832U参考框图

如图所示，信号从输入端口进入，首先经过28.8MSps的ADC采样，然后变换到基带（Baseband）。后面会经过重采样过程（Resampler），也即最终采样率降低的原因。再后面的部分与DVB-T解调相关，我们会控制其进入“测试模式”，跳过后面的一切过程，直接将采样得到的I/Q数据通过USB 2.0传输给上位机。

除此以外，图中还显示芯片引出了AGC引脚，可以连接R820T2，用于自动增益控制（AGC），也就是前文提到的“一个0.6V到2.5V的电压”。

* 1. **只使用I通道的原因**

关于前面没有提及的，Tuner输出信号直接接入RTL2832U的I通道，而Q通道闲置的问题，原因是RTL2832U内部还设有一个零中频结构（见上图ADC之后），自动会将I通道单通道输入的信号进行I/Q调制。同时，RTL2832U也支持I/Q两路同时输入，具体使用哪种方式取决于前端的Tuner——R820T2就是IF中频输出，所以只使用I通道。

控制方法时操作RTL2832U的寄存器，关闭“Zero-IF模式”，就可以悬空芯片的Q通道输入，只接I通道。具体寄存器地址见附件中的RTL2832U手册。

* **目标**

最后明确我们的目标，为制作出RTL-SDR硬件实物，并应用各种软件手段，处理其接收到的信号。