基于树莓派的FM调频无线电发射器

专 业：电子信息工程

学生姓名：蔡毅超 251505202

高鹏程 251505207

陈杨霖 251505103

课程名称：电子系统设计与实践

指导教师：许志猛

2018年 9 月 9 日

**摘要**

该系统基于树莓派生成FM调制，实时生成RDS（无线电数据系统）数据。它可以包括单声道或立体声音频。并添加了RDS数据生成器和调制器。发射器使用Raspberry Pi的PWM发生器产生VHF信号。接收端使用收音设备进行接收。

**关键词：**FM调制;RDS;Raspberry Pi;收音

**基于树莓派的FM调频无线电发射装置**

1. **系统方案**

本系统主要由发射模块、接收模块组成。

1. **发射模块的论证与选择**

方案一：使用Arduino

常用的 Arduino UNO 是一颗在工业控制领域常见的 8-bit ATmega328，最高运行频率仅 20MHz。Arduino 作为一款真正传统意义上的单片机系统，一次只能运行一个你烧进去的程序，功能也相对单一。

方案二：使用树莓派（Raspberry Pi）

RPi 可以运行完整的操作系统，如 Debian 等常见 Linux 发行版 - RPi Distributions。这意味着你可以使用你熟练的语言（如 Python、Java）和熟悉的库来进行开发，同时后台运行多个进程也毫无压力。RPi 自带的接口比较全面，USB-host、RJ45、HDMI、SD读卡器等常用接口都有；

通过比较，我们选择方案二。

1. 接收模块的论证与选择

方案一：使用FM调频收音机

FM调频收音机能够接收的信号更好，干扰更小，但是不易设备不易获取。

方案二：使用四六级听力耳机

四六级听力耳机接收品质不如收音机，但是能够基本达到设计要求，且方便易携带。

通过比较，我们选择方案二。

**二 、系统的组成与电路的设计**

**1、设计想法**

RDS数据生成器位于rds.c文件中。RDS数据生成器周期性地生成四个0A组（用于发送PS）和一个2A组（用于发送RT）。get\_rds\_group生成一个组，crc用于计算CRC。

要获取RDS数据的样本，请致电get\_rds\_samples。它调用get\_rds\_group差分编码信号并生成形状的双相符号。连续的双相符号重叠：添加样本使得结果等效于将整形滤波器（在RDS标准中指定的[根升余弦（RRC）滤波器](http://en.wikipedia.org/wiki/Root-raised-cosine_filter" \t "https://blog.csdn.net/offbye/article/details/_blank)）应用于曼彻斯特编码脉冲序列。

形状的双相符号由一个名为[Pydemod](https://github.com/ChristopheJacquet/Pydemod" \t "https://blog.csdn.net/offbye/article/details/_blank)的Python程序一劳永逸地生成generate\_waveforms.py，[Pydemod](https://github.com/ChristopheJacquet/Pydemod" \t "https://blog.csdn.net/offbye/article/details/_blank)是我的其他软件无线电项目之一。这个Python程序生成一个数组waveform\_biphase，该数组由将RRC过滤器应用于正负脉冲对而产生。请注意generate\_waveforms.py，两个名为waveforms.c和的文件的输出waveforms.h都包含在Git存储库中，因此您无需自己运行Python脚本来编译Pi-FM-RDS。

在内部，程序以228 kHz采样所有信号，是RDS副载波57 kHz的四倍。FM多路复用信号（基带信号）由fm\_mpx.c。此文件处理输入音频文件的上采样到228 kHz，并生成多路复用：未调制的左+右信号（限制为15 kHz），可能是19 kHz的立体声导频，可能是左右信号，幅度 - 在38 kHz（抑制载波）和RDS信号上调制rds.c。使用零阶保持，然后是60阶的FIR低通滤波器来执行上采样。滤波器是由汉明窗口窗口化的采样sinc。滤波器系数在启动时生成，以便滤波器将频率降至最小值以下：

输入音频文件的奈奎斯特频率（采样率的一半）以避免混叠，15 kHz，左右+和右右声道的带通，符合FM广播标准。样本pi\_fm\_rds.c由Richard Hirst的[PiFmDma](https://github.com/richardghirst/PiBits/tree/master/PiFmDma" \t "https://blog.csdn.net/offbye/article/details/_blank)改编而来。该程序已更改为支持精确228 kHz的采样率。

**2、RDS调频原理：**

1.1技术原理

所谓RDS技术是利用调频多工技术，在调频广播的富余频带内增设一个副载波信道，用以传送数据信息。根据国际无咨委(CCIR)组织的用各种副载波和调制方式所作的试验表明在多径传输条件下，中心频率为导频信号频率(19kHz)的三倍并与之锁相时，所造成的干扰最小。

因此，可以将所需发送的数据信息对57kHz的副载波进行抑制副载波的双边带调幅，然后与立体声复合信号一起构成基带调制信号，再对VHF主载波调频。在图1中，RDS数据信号占用了57±2.4kHz的基带频率，它不会干扰立体声广播，也不会降低其质量，同时，它也不会受到广播节目的干扰。

1.2信息发送格式

按照RDS标准，广播数据信号的发送采用数据块连续重复的数据结构。最大的数据单元为一组，每个码组由4块组成，分别设为A、B、C、D；每块有26比特，其中16个信息比特，10个校验比特。按照RDS标准，广播数据信号的发送采用数据块连续重复的数据结构。最大的数据单元为一组，每个码组由4块组成，分别设为A、B、C、D；每块有26比特，其中16个信息比特，10个校验比特。

1.3信源编码及解码

本系统所用编码是一种最佳的纠正突发误码的缩短循环码，其生成多项式g(x)=x10+x8+x7+x5+x4+x3+1。相应地生成矩阵G。发射端通过一个16信息比特m x与16×26的G矩阵相乘，所得结果再与每个块特有的偏置字(10个比特)模二加，便产生一个26比特的数据系列。接收端RDS解码器获得RDS时钟信号和RDS数据信号。将接收到的无差错的比特系列与校验矩阵H相乘，便得到偏置字所对应的伴随式，从而建立起数据流的块同步和组同步。

**3、如何使用它**

Pi-FM-RDS取决sndfile库。要在类似Debian的发行版上安装此库，例如Raspbian，请运行sudo apt-get install libsndfile1-dev。然后克隆源存储库并make在src目录中运行：

sudo git clone https://github.com/Christophe.Jacquet/PiFmRds.githttps://github.com/Christophe.Jacquet/PiFmRds.git

可以运行：

sudo ./pi\_fm\_rds

将在107.9 MHz上生成FM传输，默认站名（PS），无线电文本（RT）和PI代码，无音频。射频信号在GPIO 4上发射（插头P1上的引脚7）。

通过引用音频文件添加单声道或立体声音频，如下所示：

sudo ./pi\_fm\_rds -audio sound.wav

要测试立体声音频，尝试stereo\_44100.wav 提供的文件。

运行Pi-FM-RDS的更一般语法如下：

pi\_fm\_rds [-freq freq] [-audio file] [-ppm ppm\_error] [-pi pi\_code] [-ps ps\_text] [-rt rt\_text]

所有参数都是可选的：

-freq 指定载波频率（以MHz为单位）。示例：-freq 107.9。

-audio 指定要作为音频播放的音频文件。采样率无关紧要：Pi-FM-RDS将重新采样并对其进行过滤。如果提供立体声文件，Pi-FM-RDS将产生FM立体声信号。示例：-audio sound.wav。支持的格式取决于libsndfile。这包括WAV和Ogg / Vorbis（以及其他），但不包括MP3。指定-作为文件名来读取标准输入上的音频数据（用于将音频传输到Pi-FM-RDS）。

-pi指定RDS广播的PI代码。4个十六进制数字。示例-pi FFFF。

-ps指定RDS广播的电台名称（节目服务名称，PS）。限制：8个字符。示例：-ps RASP-PI。

-rt指定要传输的无线电文本（RT）。限制：64个字符。示例：-rt 'Hello, world!'。

-ctl指定一个命名管道（FIFO），用作控制通道，在运行时更改PS和RT。

-ppm以百万分率（ppm）表示您的Raspberry Pi振荡器误差。

默认情况下，PS在Pi-FmRds序列号之间来回切换，从...开始00000000。PS每秒变化一次。

### 4、时钟校准

RDS标准规定57 kHz副载波的误差必须小于±6 Hz，即小于105 ppm（百万分之一）。Raspberry Pi的振荡器误差可能高于此数字。这就是-ppm参数发挥作用的地方：指定Pi的误差，Pi-FM-RDS相应地调整时钟分频器。在实践中，我们发现即使不使用-ppm参数，Pi-FM-RDS也能正常工作。所以认为接收器比RDS规范中规定的更宽容。测量ppm误差的一种方法是播放pulses.wav文件：它将播放一个脉冲1秒钟，然后播放1秒钟的静音，依此类推。使用好的声卡记录收音机的音频输出。假设以44.1 kHz采样。测量10个间隔。例如，使用[Audacity](http://audacity.sourceforge.net/" \t "https://blog.csdn.net/offbye/article/details/_blank)确定这10个区间的样本数：在没有时钟错误的情况下，它应该是441,000个样本。有了我的Pi，我发现了441,132个样本。因此，我们的ppm误差为（441132-441000）/ 441000 \* 1e6 = 299 ppm，假设我们的采样设备（音频卡）没有时钟错误......

### 5、将音频管道输入Pi-FM-RDS

如果使用参数-audio -，Pi-FM-RDS将读取标准输入的音频数据。这允许您将程序的输出传输到Pi-FM-RDS。例如，这可以用于使用Sox读取MP3文件：

sox -t mp3 http://www.linuxvoice.com/episodes/lv\_s02e01.mp3 -t wav - 丨sudo ./pi\_fm\_rds -audio -

### 6、在运行时更改PS和RT

使用命名管道（FIFO）在运行时控制PS和RT。对于这个运行Pi-FM-RDS的-ctl参数。

mkfio rds\_ctl

sudo ./pi\_fm\_rds -ctl rds\_ctl

发送“命令”来改变PS和RT：

cat >rds\_ctl

PS MyText

RT A text to be sent as radiotext

PS OtherTxt

每行必须以PS或开头RT，后跟一个空格字符和所需的值。静默忽略任何其他行格式。

**三、注意事项**

切勿使用此程序通过天线传输VHF-FM数据，因为在大多数国家/地区都是非法的。此代码仅用于实验目的。总是从树莓派屏蔽传输线直接连接到无线电接收器，从而不发射无线电波。

**四、测试方案与测试结果**

1. **测试方案**
2. 硬件测试
3. 硬件软件联调
4. **测试条件与仪器**

测试条件：检查多次，接收设置是否能正常工作，树莓派路径是保证正确，调频指令保证正确无误，确保想要播放的wav格式音乐文件完好能正常播放，树莓派设置的频道区间没有被占用。

测试仪器：四六级考试的听力耳机（其他能够接收到电台频率的收音设备也可以）。

1. **测试结果及分析**
2. **测试结果（数据）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率  （Mhz） | 80.2 | 85.7 | 93.2 | 94.7 | 95.0 | 98.2 | 100.5 |
| 是否正常接收 | 是 | 是 | 是 | 否 | 是 | 是 | 是 |

**（2）测试分析与结论**

1. 当设定的频道没有被其他电台占用时，四六级听力耳机能正常接收到我们所预存的wav格式音乐。
2. 当设定的频道被其他电台占用时，四六级听力耳机无法正常接收到我们所预存的wav格式音乐。

综上所诉，本次设计达到设计要求。

**五、结论**

这次的实验室结合我们之前所学，是将树莓派的用途更深一步的研习，可能我们的成果并不是很高端，但是随着不断地进步，对于树莓派的开发使用一定会越来越理想。这次课程设计，让我们对树莓派一块有了更多的了解，在实验的中途遇到了很多问题，廷尉是将转图与树莓派的结合，有许多地方要进行修改和调试，例如接收到的音频信号噪声干扰很强，需要外加滤波器提高收音品质。但是因为不断地查询自来哦和询问老师同学也让我们的能力有了加强，我们知道了，设计是不可能顺顺利利的，需要有良好的心态和勇于寻找问题根源的态度，团队间要相互配合，这样才能达到我们想要的目的。做出我们想要的结果。