

Tang Primer 20Kを音声再生サーバにする

井田 健太

受信データにもとづいて
FPGAで音声を鳴らす

ここまででFPGA上にGPIO操作を行うためのUDP (User Datagram Protocol) サーバを実装できました。応用例として、UDP経由で音声信号を受信し、再生するシステムを実装します。

● 音声用DACの制御

まずはTang Primer 20K (Sipeed) から音声を出力するために、Tang Primer 20KのDockに搭載されている音声用D-Aコンバータを制御するモジュールを作成します。

搭載されている音声用D-AコンバータはPT8211 (Princeton Technology) です。これはオーディオ用ステレオ16ビットD-Aコンバータです。384kHzまでの音声信号を入力できます。IC単体は秋月電子通商でも取り扱いがあります^{注1}。

デジタル音声信号をやり取りする規格として、I²S (Inter IC Sound) がありますが、PT8211で扱う信号はI²Sと似ているものの厳密にはI²Sではなく、LSBJ (Least Significant Bit Justified) と呼ばれる通信方式となっています。表1にFPGAとPT8211の間でやりとりする信号を示します。

▶ PT8211の動作

PT8211の音声信号は、BCKの立ち上がりエッジに同期したクロック同期信号になっています。

WSはワード・セレクト信号で現在の音声信号が左右どちらのチャンネルの信号なのかを表します。WS = 0で右側、WS = 1で左側の音声信号を表します。WSの周波数は384kHz以内とする必要があります。

DINには音声信号をMSB (Most Significant Bit, 最上位ビット) から順に入力します。このとき、WSの切り替えタイミングに注意が必要です。音声信号を表すビット列のLSB (Least Significant Bit, 最下位ビット) を入力したら、BCKの次の立ち上がりエッジでWSを変化させます。WSの周期が、16×BCKより長い場合は、先に送られたビットは無視され、WSのエッジから見て16ビット分のみが有効な音声データ

表1 FPGAとPT8211間の信号

信号名	FPGAから見た方向	内容
BCK	出力	ビット・クロック
WS	出力	ワード・セレクト
DIN	出力	データ入力

として扱われます。

▶ 作ったモジュール

ステレオ音声データの両チャンネルを連結して32ビットにしたデータをストリームとして入力し、D-Aコンバータの信号を出力するI2sMasterモジュールをリスト1に示します。また、モジュールの動作波形を図1に示します。

注意点を1つ挙げます。DINの出力は、dataOutレジスタにより1サイクル遅延するようになっているため、新しいデータの入りはWSが切り替わる1サイクル前、つまりcounter == 1.Uのときに行う必要があります。

● 音声データのバッファリング

イーサネット経由で音声データを送信する場合、音声データが送信元からFPGAに到達するまでの間も途切れずに音声を再生し続ける必要があります。

例えば、筆者の環境でホストPCからUSBイーサネット変換器経由でTang Primer 20KにICMP Echo応答を送った場合、次のように最悪で1ms程度の時間がかかります。

```
$ ping 192.168.10.2
PING 192.168.10.2 (192.168.10.2)
    56(84) bytes of data.
 64 bytes from 192.168.10.2:
    icmp_seq=1 ttl=64 time=0.350 ms
 64 bytes from 192.168.10.2:
    icmp_seq=2 ttl=64 time=1.07 ms
 64 bytes from 192.168.10.2:
    icmp_seq=3 ttl=64 time=0.205 ms
 64 bytes from 192.168.10.2:
    icmp_seq=4 ttl=64 time=0.197 ms
 64 bytes from 192.168.10.2:
    icmp_seq=5 ttl=64 time=0.183 ms
```

これはICMP Echo RequestがFPGAに到達してか

注1: <https://akizukidenshi.com/catalog/g/GI-17061/>