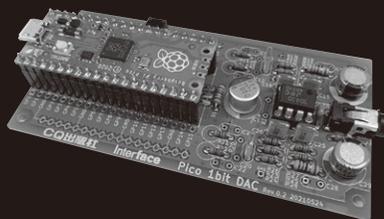


サンプリング・レートの切り替えからノイズ低減、ハイレゾ対応まで!

ラズパイPico DAC [完全版]の製作



第8回 オーバサンプリング処理の高精度化

geachlab

表1 改善ポイントごとの新旧信号処理の比較

改善ポイント	旧処理 (pico_1bit_dac_hr.uf2)	新処理 (pico_1bit_dac_hr2.uf2)
音量処理最適化	音量の分解能不足 (91 ステップ) 高負荷 = 低速 (64 ビット乗算 & シフト処理) 100% 音量でビット落ち発生	高分解能化 (1441 ステップ) 低負荷 = 高速 (32 ビット乗算 & シフト演算) 100% 音量ビット・パーフェクト化
オーバサンプリング	64 倍 2 次曲線補間 + 9 ~ 13 タップ補正フィルタ	連結ハーフバンド・フィルタによる 高精度オーバサンプリング
$\Delta\Sigma$ 変調	3 次 $\Delta\Sigma$ + 4 ビット PWM	4 次 $\Delta\Sigma$ + 5 ビット PWM

本誌2021年8月号の特集 第6部 第1章(以降, 初出記事)で, ラズベリー・パイ Pico を使った USB オーディオ DAC「ラズパイ Pico DAC」の製作記事を掲載しました。

初出記事では, USB オーディオ DAC の原理実装に注力したので, 機能や性能は限定的でした。サンプリング・レート/分解能は 48kHz/16 ビットの一択で, 簡易な $\Delta\Sigma$ 変調による可聴帯域の残留ノイズや, 電源構造由来の残留ノイズなどの課題も残っています。本連載では, これらの課題を解決してラズパイ Pico DAC を進化させる方法を紹介します。(編集部)

● 今回やること…オーバサンプリングの高精度化

今回は, 表1に示すオーバサンプリング高精度化について紹介します。

▶ 従来は Core1 に処理が集中していた

図1は, 表1の旧処理→新処理改善内容を RP2040 内の Core0, Core1 処理分担視点で示したものです。図1(a)の通り, 初出記事(2021年8月号)⁽³⁾では, FIR 補正フィルタ, 2次曲線補間によるオーバサンプリング, 2次 $\Delta\Sigma$, 1ビット PDM 変換は全て Core1 内で処理していました。

図1(b)に示すのは, 旧処理(2021年12月号)の3次元 $\Delta\Sigma$ 化, 2022年3~4月号のハイレゾ対応⁽⁵⁾の処理分担です。ハイレゾ対応と3次元 $\Delta\Sigma$ 化により, Core1 の処理量が増加して処理が間に合わなくなったので, FIR 補正フィルタ処理を Core0 に移動しています。それでも Core1 の空き時間はわずか数%しかなく, 4次元 $\Delta\Sigma$ などの高度な処理に発展させることが困難でした。

▶ Core0 の空き時間で処理を高度化

その後の調査で Core0 にはまだ 60% 程度の空き時間があり, Core0, Core1 の処理分担を見直せば, もっと高度な処理ができることが判明しました。

図1(c)に示すのが, 新処理の機能改善内容と処理分担です。

- ① Core0 の空き時間を有効活用し, FIR フィルタによる高精度オーバサンプリングを行う
- ② Core0 から Core1 に渡すデータの f_s (サンプリング・レート) を統一する。これにより, Core1 で行っていた f_s 切り替え処理と, 可変オーバサンプリング処理を排し, Core1 の負荷を軽減する
- ③ Core1 では簡易な 8 倍オーバサンプリングのみを行い, Core1 の負荷を軽減する
- ④ Core1 の負荷が軽減されて生まれた空き時間を活用し, 高度な 4 次元 5 ビット $\Delta\Sigma$ 処理を行う

以上のような Core0, Core1 処理分担の見直しにより, より高度なオーバサンプリングと PDM 変換を実現します。

1 オーバサンプリング処理の改良

■ (1) 復習と課題

● オーバサンプリングとは

ラズパイ Pico DAC は, USB から入力された PCM (Pulse Code Modulation) 信号を PDM (Pulse Density Modulation) / PWM (Pulse Width Modulation) 信号に変換し, 後段のアナログ回路に渡しています。これ