

RP2040 マイコン内蔵の補間器を使って
整数演算だけで2次曲線を生成する

ラズパイ Pico DACの 64倍オーバサンプリング実装

geachlab

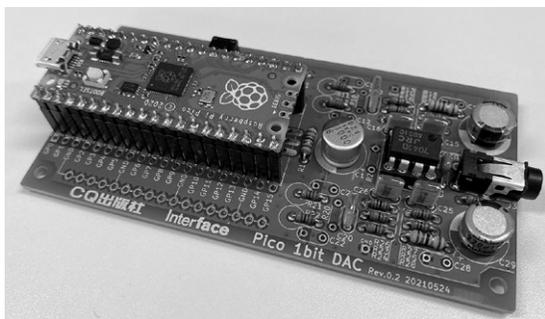


写真1 本稿で解説すること…USBオーディオDAC「ラズパイ Pico DAC」を例にオーバサンプリングのソフトウェア実装手法を紹介する写真は64倍オーバサンプリングと1ビット $\Delta\Sigma$ 変換をソフトウェア実装したUSBオーディオDAC「ラズパイ Pico DAC」の外観。製作の詳細は2021年8月号の特集で紹介している

ラズベリー・パイ Pico (以降、Pico) は、ラズベリーパイ財団が開発したマイコン・ボードです。搭載するマイコン RP2040 は、Arm Cortex-M0+ のデュアル・コア CPU をはじめ、高速な I/O 処理を行うプログラマブル I/O (PIO)、補間器 (インターポレータ)、USB インターフェースなどを備えています。

2021年8月号では、RP2040の補間器をフル活用し、64倍オーバサンプリングと、PDM (Pulse Density Modulation, 1ビット $\Delta\Sigma$) 変換をソフトウェア実装したUSBオーディオDAC「ラズパイ Pico DAC」を製作しました (写真1, 図1)。オーバサンプリングは、元の粗いデータを2次曲線で補間して、64倍の細かいデータに変換します。この曲線生成は、多分に数学的要素があります。

本稿では、ラズパイ Pico DAC を例に、オーバサンプリングの原理、数学的解析、補間器へのプログラミング手法を解説します。

オーバサンプリングの原理

● オーバサンプリングの位置づけ

PCM (Pulse Code Modulation) → PDM 変換では、多ビットの PCM 振幅軸情報を1ビットの時間軸密度

情報に変換します (図2)。

PDM が時間軸密度で振幅を表現するためには、元の PCM よりも高いサンプリング・レートが必要です。そこで PDM 変換に先立ち、PCM データのサンプリング周波数 f_s を64倍 ($f_s \rightarrow 64f_s$) にします。この処理では、補間器の Interpolator0 (以下 Interp0) を使って、2次曲線補間を行います。

● オーバサンプリング処理の概要

オーバサンプリングは、連続した3点の入力データを1セットとして、2次曲線補間を行います。ここでは図3に示す1セットの処理を説明します。

- ① 連続した3点の入力データに対し、点を時刻順に結ぶ2つの線分を描きます。その2つの線分上の2つの中点を2次曲線補間処理の始点と終点にします。
- ② 始点と終点の2次曲線の傾きは、それぞれが接する線分の傾きと同一とします。
- ③ ①と②の条件を満たす2次関数のパラメータを算出します。
- ④ ③で求めたパラメータに基づき、始点～終点を結ぶ2次曲線の補間データを生成します。
- ⑤ 1セットの処理が完了したら、入力データ3点を新しいデータへと1点ずつスライドし、①に戻り曲線補間処理を繰り返します。

各処理セットの2次曲線の始点は、前回処理セットの2次曲線の終点です。同じ線分に接しているのですから、2つの2次曲線の傾きが一致します。これにより、全体が滑らかに結合された2次曲線補間データが得られます。また、補間データの発生範囲は、3点の入力データの範囲に収まるため、後段でのリミット処理が不要になるメリットがあります。

● オーバサンプリングを数学的に解析する

前述した1セット分の処理内容を数学的手法で解析します。数学といっても、高校で習う微分公式の範囲であり、それほど高度な内容ではありません (図4)。

1セット3点の入力データ値を時刻の古い順に d_0 ,