

オーディオ用ミドルbitDACの有望性について

カイキ日蝕仮面 (studioそんぴ)

オーディオ用DACの高分解志向は18 - 20 bit といったHi-bit化とパルス制御のLo-bit化という両極の展開を見せた。しかしどちらも一長一短あり、決め手にはなり得なかった。

16 bitデータのD/A復調には8 - 10 bitの言わばミドルbitのDACユニットが適しているのではないかと予想するものである。

* DACの分解能 *

信号がいくつかの系を通過する際の合計の分解能は通過するそれぞれの系の持つ分解能の逆数和で求められる。信号の分解能が多寡高16 bitであるのに、その再生系により高分解能を求めるのはそのためである。理論的には再生系の分解能が無限大になった時初めて信号の持つ16 bitの分解能が全部再現される事になる。

CD登場当初は技術的限界(コスト的制約の範囲で)に近かった44 KHz 16 bitの分解能であったが、年々低価格化する技術の恩恵により、現在では最も安価なCDプレーヤでも18 bit程度のDACユニットを内蔵しているものは珍しくなく、オーヴァサンプリング(以下OS)やノイズシェイピング(以下NS)によってDACシステムトータルとして20 - 22 bit相当の分解能を持つのがあたりまえになりつつある。

* DACの現状 *

現在、DACの高分解能化はLo-bit志向とHi-bit志向の2派に2極分化している。

Lo-bit志向のものはいわゆるパルスDACと呼ばれるもので、パルス列をLPFに通すだけでアナログ波形を再現するものである。市場でよく「1 bit DAC」と名乗っているが、本物の1 bit DACはフィリップスやヤマハが採用しているPDM方式ぐらいのもので、他の殆どは時間軸方向に多値であり、中には振幅方向にまで多値のものまである偽1 bit DACである。商標として本物であるかどうかとその品質の相関についてはここではあえて言及しない。

Lo-bit DACでは例外なく高次のOSを採用しており、音声信号復調の直前まで信号が高周波と同居している事が問題となる。

一方、Hi-bit DACでは復調精度がDACユニットそのものの直線性に大きく支配される。20 b

itのものではMSBとLSBの比が約105万倍にも達する。現在の技術でこの精度を正確かつ安価に量産可能なのか、甚だ疑問である。(現実にはそれ以上の「分解能」を持つDACユニットさえ商品として存在するが...)

極端に走ってある部分を集中的に改善できたとしても、それ以外の部分でデメリットを生じ、全体として改善に至らず、独善に陥るのが常である。実際のウェルポイントがこの中間にあると考えるのは自然な発想である。事実、パーブラウンのPCM67はラダー型10 bit DACと8 bit分の分解能を持つ1 bit DACを組み合わせ、優れた18 bit DACを実現している。(ただし、このDACユニットの真価を引き出すのに成功しているDACシステムはまだ少ない。)

ここでは、更に発想を進めて、高周波に頼る事なく直線性に優れた高分解能DACを考える。

* ミドルbit DAC *

デジタルフィルタの導入はDACシステムの自由度を飛躍的に増大させ、1 bit DACまでも実現可能にした。1 bitと言う名称は大層センセーショナルであり、その「受け」を狙って実際に1 bitでないにも拘らず1 bitを名乗る偽1 bit DACが巷を席卷する事となったのは先述の通りである。

2のn乗倍OSとm次のNSによって得られる分解能の改善pは式(1)で導かれる。

$$p = n * (m + 1 / 2) \quad \dots \text{式(1)}$$

p 15となるようn, mを設定し、15 bit相当以上の分解能改善を実現すればDACユニットの分解能は1 bitでもよい計算になる。パーブラウンのPCM67では1 bit DAC部の受け持ちを下位8 bit分に抑える事で1次のNSでも無理のないnを得ている。

さて、ここで目標を18 bit相当分解能に設定して、ミドルbit DACに要求されるnを求めてみよう。

n \ m	2	3	4	5	6
1	3	4.5	6	7.5	10.5
2	5	7.5	10	12.5	17.5
3	7	10.5	14	17.5	24.5

<表1>
DSPによる
分解能の改善量
(bit相当数)

表2に示す通り、2 - 3次のNSを使う事によって、1 bit DACが実用になる程の改善量を得る事も可能である。ミドルbit DACではDAC本体の分解能が8 - 10 bitあるので、残りをNSとOSによって稼げばよく、1 bit DACを使う時よりも遙かに低い再量子化周波数で済む。

DAC単体の分解能をqとすると、求められるm, nの値は表2のようになる。

q	m \ p	1	2	3
8	10	7	4	3
9	9	6	4	3
10	8	6	4	3
11	7	5	3	2

<表2>

18 bit
分解能を
得るのに要する
nの値

DAC単体の分解能が9, 11 bitというのはいずれも8, 10 bit DACをサインマグニチュードで使った場合に相当する。

NSとミドルbit DACを効果的に組み合わせる事により、8 - 16倍といった実用的な再量子化周波数で十分な分解能が得られるのが解る。

NSを使う事によりノイズ分布が高い帯域に寄る。高次NSではあまりnを小さくできないので、4倍(n = 2)は避けた方がよく、また3次以上のNSは技術的にいろいろ問題が多くなるので1, 2次のNSが望ましいと思われる。18 bit分解能を目標とするなら2次NSで10 bit DACのサインマグニチュード(11 bit DACになる)の8倍OSと、8 bit DACの16倍OSが適当という事になる。

ミドルbit DACの利点

マルチbit DACで問題になるのは直線性である。全体の直線性が悪ければ即、波形歪になるし、特に大小のbitの間の比の精度はゼロクロス歪等の厄介な歪の元となる。

分解能の向上のためにDACユニットの分解能を増やすと、無信号時のノイズレベル等は改善されてスペックは上がるが、MSBとLSBの比が大きくなる事によって直線性の確保はより困難になり、全体として改善になるかどうか怪しくなってくる。また、仮に高性能なDACが可能となっても、DACユニ

ットの単価はそうそう下げてはくれない。

8 - 10 bitのDACユニットはLSBとMSBの比が8 bit DACで256倍、10 bit DACでも1,024倍と小さく、量産性もよい。また映像信号用としてもニーズがあるため、高速な素子が量産されている。速度にゆとりがある事は精度を確保するうえで重要である。パルスカウント方式FM復調回路ではパルス回路の速度は帯域にして搬送波の10倍は欲しいと指摘されており、DACシステムでもこの値に準ずると考えておいた方がよいだろう。

ミドルbit DACシステムの将来

CD登場当初、16 bit分解能を確保するために8 bit DACをふたつ、上下8 bitずつに割り振って使うのが主流であった。次第に高分解能のDACユニットが安価に量産できるようになり、1ユニットで16 bit以上の分解能は珍しくなくなった。しかし実際には精度を得るためにレーザトリミング等の技術が使われており、全体としては直線性を得ているように見えても細かく見ればギザギザである。量子化雑音は複雑になり、最下位bit付近の直線性は得られない。それでDACユニットのbit数を上げて直線性の乱れを相対的に小さくしようというのがハイビット化の発想であった。

これもCD初期と言える頃、マランツがNSを使って4 fs 14 bit (17 bit相当になる) DACのシステムを発表した。16 bitのDACユニットは当時の技術ではかなり高度なものであり、技術的に無理のない14 bit DACユニットでより高性能を狙った。(今回のミドルbit DAC構想と同じ発想である。)しかし「14 bit DACユニット」は「14 bit DACシステム」と誤解され「16 bitの信号を下2 bit捨てるのか」という受け入れ方しかされなかった。これは多分に宣伝の問題と思われる。宣伝担当者が技術的理解不十分であった不幸な時代の出来事と言える。。

ミドルbit DACによるDACシステムを実現するにはミドルbit DAC用の出力を持つデジタルフィルタが必要であり、現在の所それは入手可能な状態にないため、当研究所では実験できない。有望性の提唱に留め、専門各位による実験報告を待つ事にする。

参考文献

- キツチュ「私の理論は正しい」
- そんぴ 「この論文はフィクションです」
- 春日二郎「ハイファイFMチューナ」