

A/D 変換

星 貴之

平成 22 年 8 月 2 日

1. はじめに

近年、センサ出力はほぼ必ずコンピュータに取り込まれ、後の処理に用いられる。よって計測に携わる者は A/D 変換器についてもよく理解する必要がある。本稿では A/D 変換における標本化、量子化、符号化について、要点をまとめる。

2. 標本化

アナログ入力に対して、まず時間に関する離散化が行われる。時間領域において元信号が有限の観測時間で切り取られ、そして一定の時間間隔で値が記録される。これは周波数領域において、元信号のスペクトルが sinc 関数によってぼやけ、デルタ関数列によって複製されることとして表される (Fig.1)。

このステップではエイリアシング (折り返し雑音) に注意する必要がある。これは元信号の帯域がサンプリング周波数の半分 (ナイキスト周波数, $\pi/\Delta T$) より広いとき、複製されたスペクトルの裾野同士が重なる現象である。一旦重なってしまうと分離することは不可能であるため、アナログ信号であるうちに適切な LPF (アンチエイリアスフィルタ) をかける必要がある。

3. 量子化

標本化の次に、電圧に関する離散化が行われる。例えば基準電圧 $V_{ref} = 5\text{ V}$ と GND の間を 10 bit で離散化する A/D 変換器の場合、電圧値は $\Delta V \approx 5\text{ mV}$ おきに区切られる。このとき 3.888 V が 3.885 V と表されるなど、真の値と量子化された値の間に $0 \sim 5\text{ mV}$ の範囲の誤差が生じる (量子化誤差)。区切りが細かいほど分解能が高いが、ノイズより細かく区切っても意味はない。究極的には熱雑音がその限界を決定する。

このステップでは V_{ref} と ΔV に注意する必要がある。DC 成分 4.000 V に乗っている振幅 0.010 V の振動波形を観察したい場合、上述の A/D 変換器では振幅と ΔV が同程度であるためせいぜい振動の有無しか見えない。かといって単に増幅しても、今度は信号全体が V_{ref} を超えてしまって振動を見ることができない。アナログ信号であるうちにオフセット成分を除去し、100 倍程度の増幅をして、あらためて 2.5 V 程度のオフセットを乗せる必要がある。このように信号を調整し、A/D 変換のレンジを有効活用するよう心掛ける。

4. 符号化

最後に、量子化された電圧を数値に変換する。 n bit の 2 進数に変換する場合、 V_{ref} の半分、そしてその半分... との比較を n 回繰り返すことにより符号化が行われる (Fig.2)。最上位ビットを MSB (Most Significant Bit)、最下位ビットを LSB (Least Significant Bit) と呼ぶ。分解能は $1\text{ LSB} = \Delta V$ である。

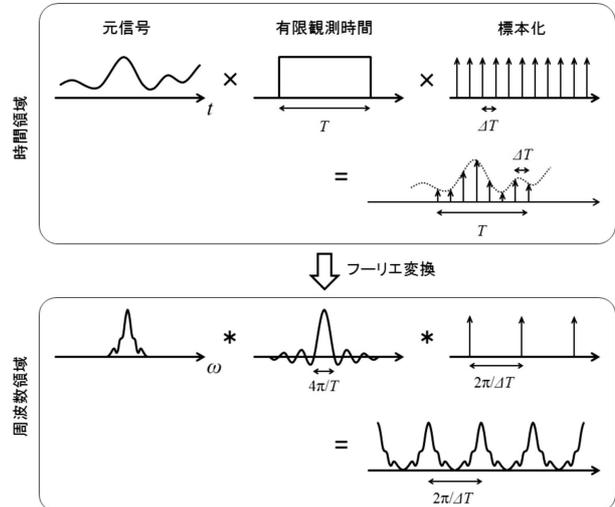


Fig.1 標本化のイメージ。簡単のため周波数領域では実部のみ図示している。積のフーリエ変換が畳み込みになることに注意。

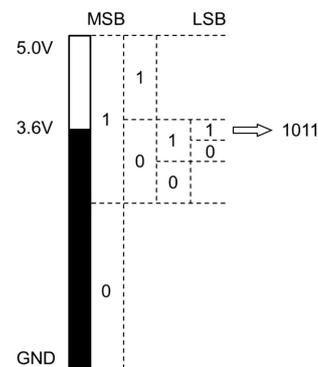


Fig.2 4-bit A/D 変換。このとき $1\text{ LSB} = 0.3125\text{ V}$ 。

5. おわりに

本稿では理想的な条件下における理論的背景のみを扱った。実際の A/D 変換器では温度や時定数、要求仕様など様々な物理的、技術的要因も関わってくる。詳細は文献 [1] などを参照していただきたい。

参考文献

- [1] 測定器玉手箱 計測に関する知識, <http://www.orixrentec.jp/cgi/tmsite/knowledge/>.
- [2] Time Fountain, <http://www.youtube.com/watch?v=rvY7NGncCgU>.
- [3] Stop Motion Goggles, <http://www.youtube.com/watch?v=zOrKwT7e364>.

A ストロボ効果

テレビ映像や点滅する光源の下では、ヘリコプターのプロペラなどが止まったりゆっくり回っているように見える。これはエイリアシングの一例である。

30 fps のカメラで、29 Hz および 31 Hz の回転運動を撮影することを考える。各画素の出力信号を周波数領域で見ると Fig.3 のようになる。人の目は 30 Hz までの LPF であり、低周波側に出現した 1 Hz の成分を知覚する。29 Hz の場合にはスペクトルの虚部（奇関数成分）の正負が元信号と比べて反転していることから、1 Hz で逆回転しているように見えることもわかる。

この現象を利用した作品に、空中に浮かんだ水滴と戯れる Time Fountain [2] や、高速運動を肉眼で観察することのできる Stop Motion Goggles [3] がある。

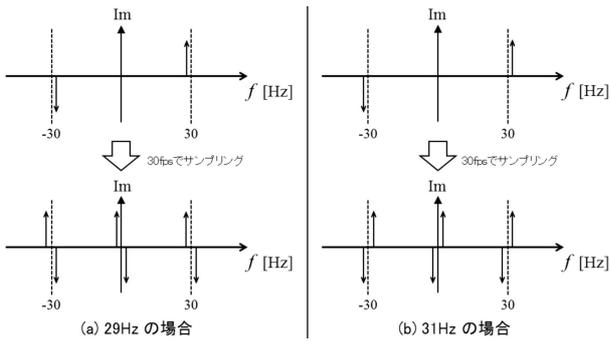


Fig.3 ストロボ効果のイメージ。スペクトルの虚部のみ図示している。実部は、元信号が実関数なので左右対称である。