信号処理システムの設計にみるMATLABとC言語の比較

開発時間を短縮させるシミュレーション言語の活用法

村上 徹

はじめに

信号処理システムの設計において，C言語やMATLABなどのシミュレーション言語を利用する機会が増えてきました．効率良く開発を行うためには，C言語とMATLABのどちらを用いればよいのでしょうか．また，どちらか一方に決められるものなのでしょうか，それとも両方を使い分けた方がよいのでしょうか．

実際は，開発するターゲットなどによって，どの方法がよいか変わってきます．したがって，それぞれの言語の特長を把握して判断する必要があります．そこで本稿では，信号処理システムで用いられるフィルタの設計を例にして，C言語とMATLABによる開発の比較を行っていきます．フィルタの設計に関しては，予備知識の必要がないように基礎から説明していきます．

1 フィルタとは

フィルタという言葉から，コーヒーのフィルタや換気扇のフィルタ，タバコのフィルタなどを連想されると思います．これらのフィルタに共通することは何でしょうか．それは，不要なものを取り除くという働きです．コーヒーのかす，換気扇の油汚れ，たばこに含まれる有害物質などを取り除くために用いるのがフィルタです．

エレクトロニクス製品にも，見えないところでフィルタが用いられています．例えば，テレビのチャネルは，選択した放送局以外の信号をフィルタで取り除いているので見たいチャネルの映像を見ることができます．また，オーディオ製品では，信号を処理する過程で発生した雑音をフィルタで取り除くことでクリアなサウンドを再生しています．

コーヒーやたばこのフィルタは，不要な物質よりも小さな隙間をもつ繊維などを用いて不要な物質を取り除いています．では，電気的なフィルタは，どのようにして不要な信号を取り除いているのでしょうか．

信号には，さまざまな周波数成分が含まれており，電気的なフィルタはこの周波数を利用して不要な信号を取り除きます．周波数は，1秒間に繰り返される波の数であり，単位はHzを用います．

たとえば，音声信号の主要な周波数成分は300Hz～3.4kHzに分布していることが知られています．音声に300Hz～10kHzの周波数範囲で均一に雑音が加わっている場合，3.4kHzより上の周波数成分を取り除くフィルタを用いると3.4kHz以上の雑音が除去されて，よりクリアにその音声を聞くことが可能になります．

電気的なフィルタには，上記のようにある周波数以上の

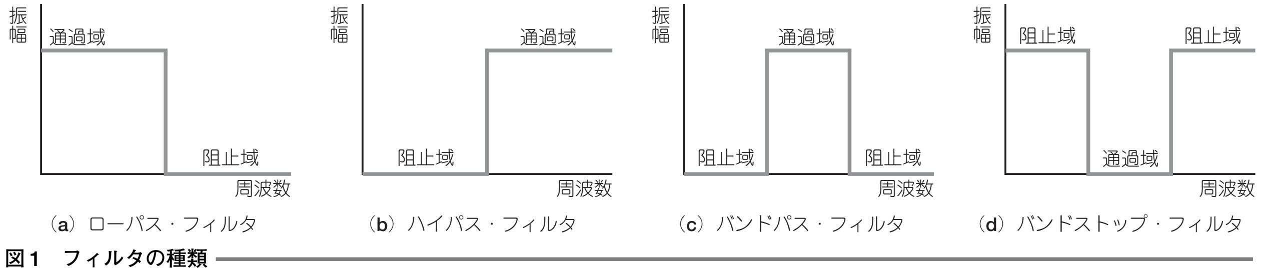

図1 フィルタの種類

成分を取り除くフィルタのほかに，**図1**に示されるようなさまざまな特性のフィルタがあります．

2 MATLABとC言語による開発の比較

本項では，**図1(a)**の特性を持つローパス・フィルタを設計するプログラムをC言語とMATLABで作成し，プログラム・コードや速度の比較などを行うことで，それぞれの言語の特長について述べていきます．なるべくわかりやすい例題ということで，フィルタ設計の中で最も簡単な式で表されるバタワース・フィルタと呼ばれる設計法を用いることにします．

● バタワース・フィルタの振幅特性の理論式

バタワース・フィルタの振幅特性は，下記の式で与えられます．

$$\left|H(j2\pi f)\right|^2 = \frac{1}{1+\left(f/f_c\right)^{2N}} \quad \cdots\cdots (1)$$

ただし，j：虚数単位，N：フィルタ次数，

f_c：定数のカットオフ周波数，f：変数の周波数

図2は，カットオフ周波数f_cを1にして，周波数fを0Hzから5Hzまで変化させたときの式(1)の値を対数でプロットしたものです．この図からローパス・フィルタの特性となっていることがわかります．fがカットオフ周波数と同じ値のとき，式(1)の値は1/2(すなわち対数では3dB)となります．このように，カットオフ周波数とは振幅特性が3dB減衰する周波数のことをいいます．

● 極の導出

フィルタの設計は，式(1)で与えられた振幅特性になるフィルタの伝達関数を求めることです．この伝達関数を求めるために必要となるのが，極と呼ばれるものです．式(1)は，ラプラス演算子sを用いて表すと，以下のように書き直すことができます．

$$\left|H(s)\right|^2 = \frac{1}{1+(-1)^N\left(s/\omega_c\right)^{2N}} \quad \cdots\cdots (2)$$

ただし，$s = j\omega = j2\pi f$，$\omega_c = 2\pi f_c$

ω：角周波数，ω_c：カットオフ角周波数

式(2)は複素関数$H(s)$の2乗となっているので，ある関数とその関数の共役を掛けたときに，この式の右辺になるような，ある関数がバタワース・フィルタの伝達関数となります．分子は1なので，分母の関数がわかればフィルタの伝達関数が求まります．

以下では，簡単化のために$\omega_c=1$として，Nが1と2のとき分母の関数がどのようになるのかについて考えていきます．

① *N*=1のとき

式(2)の分母は$1-s^2$となり，$s^2=1$を満たす二つの根α，βを求めて$1-s^2=-(s-\alpha)(s-\beta)$と展開したときの$s-\alpha$か$s-\beta$がバタワース・フィルタの分母の関数になります．この根α，βのことをフィルタの極といいます．

ここでは，式(2)の分母の項$(-1)^N$が-1になるNが1以上の奇数のときにも同じ考え方で一般解となるように，極α，βを次のオイラーの公式を用いて求めていきます．

$$e^{j\theta} = \cos(\theta) + j\sin(\theta) \quad \cdots\cdots (3)$$

を用いると，**図3**に示されるように1という数字は$e^{j2\pi k}$(kは整数)と表すことができます．

よって極は，$s^2=1 \Rightarrow s^2=e^{j2\pi k}$を解くことにより，

$$s = e^{j2\pi k/2} = e^{j\pi k} \quad \cdots\cdots (4)$$

から±1と求まります．

したがって，$1-s^2=-(s+1)(s-1)$と展開できるので，

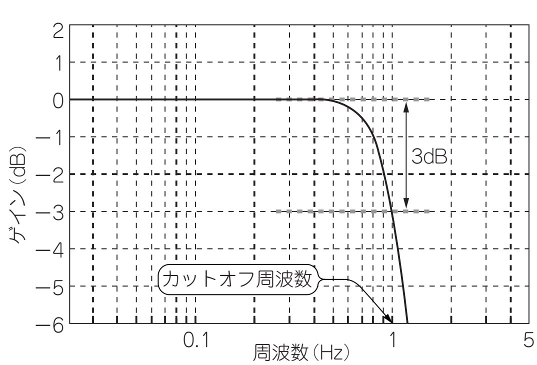

図2 バタワース・フィルタの振幅特性

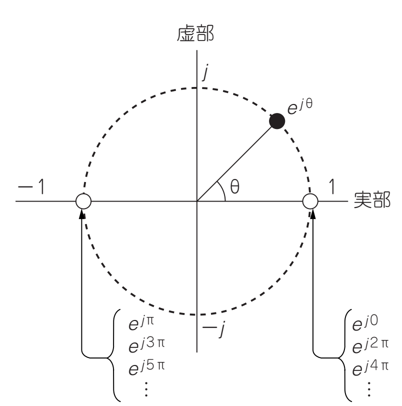

図3 オイラーの公式の幾何学的表示