1. **目的**

信号のパワースペクトルが窓関数によってどのように変化するかを理解する。

1. **実験概要**

C言語を用いて以下のプログラムを作成しその周波数特性を確認すると共に、これらの窓を信号に適用した際のパワースペクトルを確認する。

* ハニング窓
* ハミング窓
* ブラックマンハリス窓

今回、用いた原理は以下の通り。

* 窓関数

有限の時間範囲Tの中でだけ0出ない値をとる関数を窓関数と呼ぶ。ある信号に窓関数をかけることは、周波数領域ではそれぞれのフーリエ変換の畳み込み積分を行うことに相当する。周波数推移の性質から、単一周波数の信号を入力として加えたときの出力は、伝達関数をその分だけ移動した特性となる。したがって、窓関数をフーリエ変換すると、ある周波数成分が他の周波数にどのように漏れこむかを評価することができる。

信号処理で扱うデータ量を減らすには窓関数の時間幅を狭くすることが望ましいが、フーリエ変換の相似性より周波数特性へ及ぼす影響は大きくなる。したがって、限られた時間幅でなるべく不要な周波数応答を抑えた特性をもつのが最適な窓関数とされる。

* ハ二ング窓

（フォン）ハン窓、二乗余弦窓、とも呼ばれる。ハ二ングは「Han」と「Hamming」の両名から合成された名前である。この窓関数は以下の式で表される。

* ハミング窓

前述のハ二ング窓と並んでよく用いられる窓関数である。ハニング窓と比較して、周波数の分解性能が高い代わりにダイナミックレンジが狭い。この窓関数は以下の式で表される。

* ブラックマンハリス窓

この窓関数は、サイドローブを大きく軽減する代わりにメインローブの　　-3dB帯域が1ビンから2ビンに増加する特徴がある。式にすると以下の通り。

* パワースペクトル

ある信号を周波数成分ごとに分解し、その振幅をデシベル表記を用いて表したもの。各周波数成分の振幅値で表すのと比べ、エネルギーの分布を捉えやすいという利点がある。今回の実験では、以下のように算出する。

但し、 : デシベル表記のパワースペクトル

　　　 : 離散フーリエ変換後の信号

1. **使用機器**

Windows 10 64 bit

Cpad for Borland C++ Compiler

Borland C++ Compiler 5.5

1. **実験内容**
   1. **窓関数の実装**

以下の窓関数を出力するプログラムを作成し、その出力をExcelでグラフ化して形状を確認する。

1. ハニング窓
2. ハミング窓
3. ブラックマンハリス窓
   1. **窓関数の適用**

前回の実験で作成した信号(4)~(6)に対し、(A)~(C)のいずれかの窓関数をかけたものを出力しグラフ化する。

* 1. **パワースペクトルによる表現**

4.2で作成した各データのパワースペクトルを求める。横軸を周波数、縦軸をデシベル値とする。

* 1. **パワースペクトルの解析**

指示されたデータ群の中から一つを選び、スペクトル解析を行う。但し、信号のサンプリング周波数は不明であるので、正規化周波数で議論すること。

1. **実験結果**
   1. **窓関数の実装**

作成した窓関数の出力結果を図5.1(a) ~ (c)に示す。

図5.1 (a)　ハニング窓

図5.1(b)　ハミング窓

図5.1 (c)　ブラックマンハリス窓

* 1. **窓関数の適用**

前回の実験で作成した信号(4)~(6)に対し、(C) ブラックマンハリス窓をかけた結果を、図5.2 (a) ~ (c)に示す。

図5.2 (a)　 10.913Hzの正弦波とブラックマンハリス窓の積

図5.2 (b)　 15.913Hzの正弦波とブラックマンハリス窓の積

図5.2 (c)　 10.913Hzと15.913Hzの合成波とブラックマンハリス窓の積

* 1. **パワースペクトルによる表現**

4.2で作成した各データのパワースペクトルを図5.3(a) ~ (c)に示す。

図5.3 (a)　ブラックマンハリス窓を通した10.913Hzの正弦波のパワースペクトル

図5.3 (b)　ブラックマンハリス窓を通した15.913Hzの正弦波のパワースペクトル

図5.3 (c)　ブラックマンハリス窓を通した合成波のパワースペクトル

* 1. **パワースペクトルの解析**

ピアノの音（測定点256個）にブラックマンハリス窓をかけてパワースペクトルを求めたものが図5.4である。

図5.4　ピアノの音のパワースペクトル

1. **考察**
   1. **窓関数の実装ついて**

各窓関数とも、参考資料と比較し同一の特徴を示していることから、実験結果は妥当であると考えられる。

* 1. **窓関数の適用について**

4.2 (4)で、前回作成した(4) の信号に対し窓関数を乗じたものについて、詳細が分かるよう描き起こしたものが図6.1である。

図6.1　窓関数処理の比較

上図において、実線が信号に窓関数を乗じたもの、点線が窓関数、一点鎖線が元信号を表している。

元信号に窓関数を乗じることで、任意の領域のみ振幅を保ちそれ以外の部分を減衰させる処理を実現していることが見て取れる。

* 1. **パワースペクトルによる表現について**

4.3 (4)で、前回作成した(4) の信号に対し窓関数を乗じたもののパワースペクトルについて、詳細が分かるよう描き起こしたものが図6.2である

図6.2　パワースペクトルにおける窓関数

上図は10.913Hzの正弦波のパワースペクトルに対し、ブラックマンハリス窓を乗じる前後の比較である。実線が窓関数処理あり、一点鎖線は窓関数なしを表している。また、測定点512点のうち、半分はDFTの性質によって生じる折り返しであり、特性解析には直接関係がないため省略してある。

図を見ると、元信号で大きくスペクトルが立っている周波数の近傍を残して他は大きく減衰していることが分かる。これにより、任意の周波数のみを取り出す処理として用いることができると考えられる。

* 1. **パワースペクトルの解析について**

4.4 で、ピアノの音の信号に対し窓関数を乗じパワースペクトルについて詳細が分かるよう描き起こしたものが図6.4である

図6.4　ピアノの音のパワースペクトル

上図はピアノの音のパワースペクトルに対し、ブラックマンハリス窓を乗じる前後の比較である。実線が窓関数処理あり、一点鎖線は窓関数なしを表している。またこちらも、測定点512点のうち、半分は特性に直接関係がないため省略してある。

図を見ると、正規化周波数が80を超えた辺りから大きく減衰させられていることが分かる。また、元信号と比較してリップルが大きくなっている点も特徴として挙げられる。

図6.5はピアノと男声のパワースペクトルの比較である。

図6.5　ピアノと男声のパワースペクトルの比較

実線がピアノ、一点鎖線が男声のパワースペクトルを表している。図の中で比較すると、ピアノよりも男声の方が高域でのパワーが高く、全体を通してリップルが少ないという特徴が見受けられる。

1. **結論**

今回の実験を通して、以下の事項を達成した。

* パワースペクトルと窓関数の関係の理解

1. **調査課題**

**DSPについて**

Digital Signal Processer の略であり、日本語では「ディジタル信号処理装置」となる。内部の多くはマイクロプロセッサであるが、信号処理で多く用いられる積和演算等が高速処理できるように特化ハードウェアが実装されている。基本的にはCPUであるため、仕様・機能の変更はソフトウェア側のみで対応可能な点が大きなメリットである。また、アナログ回路による信号処理と比較し、

1. 温度などの周辺環境の影響を受けにくい
2. S/N比を大きくとれる
3. 調整が容易
4. 再設計・量産向きである

等の点で有利である。

入力信号に対し何等かの処理を施して出力するシステムをフィルタと呼び、そのインパルス応答が有限時間で収まるものがFIR (Finite Impulse Response)フィルタである。これをDSPで実装する場合、ある時刻での入力値に、それ以前の入力値を（定数を乗じて）足し合わせることが多い。このとき、定数や遅延器の数を変えることで、移動平均、ローパス、ハイパス、くし形など様々なフィルタを実現できる。以下にシステム例を示す。

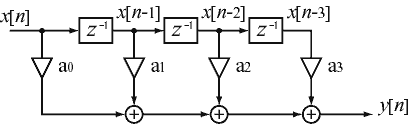


図8.1　DSPシステム例（四点平均フィルタ）

上図において、は乗算を、は遅延器を表している。

**参考文献**

* オーム社　ディジタル信号処理　著：貴家仁志　第1版4刷
* オーム社　通信工学概論　著：木村磐根
* https://jp.mathworks.com/help/signal/ref/blackmanharris.html?requestedDomain=jp.mathworks.com　Math Works ブラックマンハリス窓　ドキュメント
* <http://www.heg.co.jp/dspnyuumon/dsp1.htm>　有限会社平塚エンジニアリング　DSP入門
* <https://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%AA%93%E9%96%A2%E6%95%B0#.E7.AA.93.E9.96.A2.E6.95.B0.E3.81.AE.E6.84.8F.E5.91.B3> 窓関数