

池上研究室

池上 淳一

はじめに

本研究室は、昭和61年4月本学に新設された情報処理工学科における情報伝送の教育と研究を担当するために設置され、電子・電気工学科から配置換えされた池上淳一教授がその任に当たっている。情報は必要な時に、必要なものが正確に、且つ容易に入手できて始めてその価値が生ずるという意味から情報伝送は情報処理工学に必要な欠くべからざる重要な分野である。

教育の概念

池上研究室が担当している学科における科目は情報伝送基礎論、情報伝送方式および伝送回路の3科目と卒業研究である。

●情報伝送基礎論は半年間の必修科目である。その内容は、情報伝送の前身である電気通信の歴史、現況、将来についてその大要を述べた後、有線伝送、無線伝送、導波形伝送における伝搬状態を数式を用いて理解させ、伝送路に関する問題を解決する能力を養成する。つぎに、時間軸と周波数軸との等価変換であるフーリエ変換について詳細に解説し、電気信号を考察する場合、時間空間で考える方法と周波数空間で考える方法の二つがあることを理解させ、考察能力を向上させることを狙っている。

●情報伝送方式は、通年の選択科目である。この科目の前半では、情報伝送において避けて通れない雑音の理論的取り扱いについて考察する。つぎに、アナログ変調方式であるAM、FMについて述べ、周波数分割多重伝送システムの原理を理解させる。また、通信システムの雑音特性の良否を表現するシステム指数を定義し、各種変復調方式の通信システムについて、システム指数を表わす式の誘導過程を説明し、通信システムにおける信号および雑音電力の扱い方を理解させる。

●情報伝送方式の後半においては、まず、パルス通信について説明する。標本化定理を理解させた後、時分割多重システムを説明する。標本化パルス波形がPAM波のスペクトルに与える影響、PPMのS/N比の考察などを行う。情報伝送の幹線には、PCM方式が使用されることが多くなってきているのでこの方式について詳しく説明する。また、PCM信号を搬送波に載せる方式、すなわち、ASK変調、FSK変調、PSK変調の原理を説明しこれからの方式における雑音とBERの関係式を導き出す過程を示す。PCM方式では、受信パルス波形は、既知である。このような信号の最適検出法についても考察する。最後にトラヒック理論、交換機の構成、データ通信についてもその概要を説明する。

●伝送回路は、半年間の選択科目である。伝送回路の大要については情報伝送基礎論(必修)で説明済みであるが、この講義では、一層詳細な考察を行う。すなわち、一様な二導体線路上を伝搬する電磁波を表す式を導出し、線路上の反射係数インピーダンス整合、定在波比などを表す式を求めている。線路上を伝搬する電磁波に関する概算に便利なスミスチャートについての説明も行う。さらに、インピーダンス整合、共振回路などの考え方も説明する。最後に長方形導波管および円形導波管内の伝搬についても論及する。

●卒業研究については後述の研究概要において述べる。

●なお、平成3年3月に設置された修士課程においては、本研究室は、関連分野として通信伝送の講義を吉田恭信教授と共に分担している。この講義は、半年間の選択科目であってレーザの動作、光信号のファイバ線路上の伝搬について述べる。

研究の概要

デジタル伝送は、アナログ伝送に比べてシステムは複雑になるが、伝送中の信号品質の劣化が少ない。デジタル回路の製作には、IC技術が威力を発揮するのでIC技術の発達によりデジタル伝送が主流を占めるようになった。また、デジタル回路は電子計算機との整合性がよい点も好都合である。このような観点から情報伝送の教育・研究を任務とする本研究室では研究方針としてデジタル信号処理を採り上げ研究室所属の卒業研究生と共にデジタル信号処理の基本であるデジタルフィルタに関する研究を行ってきた。デジタルフィルタによりアナログ信号をろ波するには、アナログ信号をアナログデジタル変換機によりデジタル化した後、デジタル信号処理回路を通して所定の周波数変域の信号のみを取り出し、これをデジタルアナログ変換回路を通してアナログ信号として出力すればよい。このデジタル信号処理回路は、加減算器、係数乗算器、遅延器を要素として組み立てることが出来る。これをハードで実現したフィルタと言うことにする。今一つの実現方法はデジタル信号処理回路の入力から出力を計算するプログラムを作成し、その演算は、汎用計算機にまかせる方法である。これをソフトで実現したフィルタと言うことにする。本研究室では、後者の実現法について研究した。

デジタルフィルタの回路としては、大別して有限長インパルス応答回路(FIR回路)と無限長インパルス応答回路(IIR回路)とがある。

< FIRフィルタ >

FIRフィルタはトランスバーサル回路で実現することが多い。遅延巻器数M、取り出し係数 $h_0, h_1 \dots$

h_n とすると

この回路の伝達関数は、

$$H(e^{j\omega T}) = \sum_{n=0}^M h_n e^{-jn\omega T} \quad (1)$$

M が偶数で取り出し係数の大きさが左右対称であれば $h_M = h_0, h_{M-1} = h_1, h_{M/2+1} = h_{M/2-1}$ であるから

$$H(e^{j\omega T}) = e^{-jM\omega T/2} \left[\sum_{n=0}^{M/2-1} h_{M/2+n} \cos n\omega T \right] \quad (2)$$

M が奇数の場合も同様の扱いが出来る。

●フーリエ級数展開法

(2)式の右辺の $e^{-jM\omega T/2}$ はすべての周波数成分に対する一定の時間遅れであるからこれを除外すると、所望の振幅周波数特性を偶関数と考え、フーリエ級数に展開すれば展開係数が所望の振幅周波数特性のフィルタの取り出し係数 h_n になる。 n は有限個で打ち切らなければならないから所謂ギブス現象を生じ、したがって振幅特性にリップルを生じる。

リップルを小さくする方法として窓関数と言われる有限長の重み系列 W_n を h_n に乗じ、 h_n を作り、これを h_n の代わりに使用する方法がある。これは、 W_n のフーリエ変換を $W(e^{j\omega T})$ とすると h_n のフーリエ変換 $H(e^{j\omega T})$ は、 $H(e^{j\omega T})$ と $W(e^{j\omega T})$ との複素たみ込み積分となるので W_n を適当に選びリップルを小さくしようと言うものである。 W_n として種々の系列を使用した場合のリップルの抑圧効果を数値計算により検討した。⁽¹⁾

リップルを小さくする今一つの方法として、テイラー級数を用いた逐次近似法により、目的とする振幅周波数特性からのずれの2乗和を最小とすように h_n を求めることを試み、その有効性を確認した。⁽²⁾

●周波数サンプリングフィルタについて検証した。このフィルタは Z 平面上の N 個の指定したサンプリング点 Z_k で所望の振幅特性上の値 $H(Z_k)$ を取る Z^{-1} に関する $N-1$ 次の多項式を内挿公式を用いて求める。この式は、サンプリング点以外では、誤差があるので遮断域のサンプリング値を変えて誤差を最小にする。誤差を小さくするには、線形計画法が用いられるが、比較的簡単で良い結果を与える方法を考察した。⁽³⁾

●最小位相推移フィルタについて検討した。音声の伝送・処理には、直線位相特性よりも遅延時間が小さいことが望まれるので阻止域チェビシェフ最小位相低域フィルタを設計し、その特性を検討した。⁽⁴⁾

●符号間干渉を抑圧するフィルタでは次の信号の検出点でそれ以前の信号の影響がないことと、また伝送帯域幅も所定の値に納める必要がある。このためにコサインロールオフ特性が要求される。このような特性を持つフィルタの設計についても考察した。⁽⁵⁾

< IIRフィルタ >

IIRフィルタはFIRフィルタと比べて少ない素子数で急峻な遮断特性を得ることが出来る。しかし、完全な直線位相特性は実現できず、また、伝達関数の極が単位円外にあると不安定になるので注意を要する。

IIRフィルタの設計としては、①アナログフィルタの伝達関数からインパルス不変変換、双一次変換、整合 Z 変換などにより目的のデジタルフィルタの伝達関数 $H(z)$ を得る方法と② Z 平面上において直接所望の特性に近似する方法がある。②の方法による設計について検討した結果について述べる。

●チェビシェフ特性を持つフィルタを設計する場合、 Z 平面を他の周波数平面 $W = \xi + j\zeta$ に変換して W 平面上で設計する方法がある。いま帯域通過フィルタを設計する場合について説明する。上および下の遮断周波数を ω_u および ω_l とし、

$$W^2 = \frac{z^2 - 2z \cos \omega_l T + 1}{z^2 - 2z \cos \omega_u T + 1} \quad (3)$$

により Z 平面から W 平面に変換すると Z 平面上の単位円周上 $\angle \omega_l T$ と $\angle \omega_u T$ との間にある通過域は W 平面上では虚軸の上に写像される。次に Z 平面上の阻止域内に適当に設定した数個の角周波数 w_1, w_2, \dots, w_n を W 平面に写像し、これを w_1, w_2, \dots, w_n とする。 w_1, w_2, \dots, w_n を用いて W 平面の虚軸上でオールパス関数 $F(w)$ をつくと

$$F(w) = \prod_{i=1}^n \frac{w_i + w}{w_i - w} \quad (4)$$

つぎに

$$T_m(w) = \{1 + F(w)\} / 2 \quad (5)$$

を作ると $|T_m(w)|$ は 0 と 1 の間で振動する関数となる。これを用いて通過域チェビシェフ・フィルタを設計できる。阻止域の減衰特性はオールパス関数を作るとき選定する w_1, w_2, \dots, w_n により決まる。

同じような方法により阻止域をチェビシェフ特性にすることもできる。通過域、阻止域共にチェビシェフ特性にする設計法を考慮し、これに従いフィルタを設計しその特性を検討した。⁽⁶⁾

●通過域遅延平坦かつ振幅平坦阻止域チェビシェフ低域フィルタを設計することを検討した。⁽⁷⁾

参考文献

- (1) 六明政毅 平成5年情報卒論
- (2) 丸吉 仁 平成8年情報卒論
- (3) 高原茂治 平成4年情報卒論
- (4) 野村純一 平成6年情報卒論
- (5) 花木久枝 平成6年情報卒論
- (6) 高原茂治 平成6年情報修論
- (7) 赤石典隆 平成7年情報卒論