

# Taylor series based designs of linear-phase non-recursive FIR digital filters

(線形位相非巡回型 FIR デジタルフィルターの  
テーラー級数に基づく設計法)

## 学位論文内容の要旨

デジタル信号処理は、デジタル計算機の発明と連続信号をその標本から再構成するシャノンの標本化定理の出現により始まる。デジタルシステムは、アナログシステムに比して高精度・高信頼性で、小型、部品の精度・ドリフト・周囲環境の信号に不感、かつ回路のパラメータが容易に変えられるなどと利点が多い。デジタル計算機の進化と最近の新たなデジタル技術の開発により、現在の日常生活の多くの応用面で、例えば電話のように、アナログ信号からデジタル信号への切り換えが進んでおり、近い将来にはテレビのように他の物も切り換えていくと期待されている。このような事情のため、デジタル信号処理は工学のあらゆる分野で最も活発な研究領域の一つとなっている。

デジタル信号処理の重要なツールの一つであるデジタルフィルタリングは、所望の規格に基づき、信号スペクトル中の適当な成分を増加・減衰・分離等の操作をすることであり、その設計法には従来簡単だが精度の低いウィンドウ基準のものから、もっとも洗練されたチェビシェフ設計法まで、種々のものが知られている。一般に、デジタルフィルタの性能を評価する主要な基準は、その周波数応答と所望の規格との合致の程度による精度であるが、実時間の応用では、効率すなわち処理時間と必要なメモリの量に、より重きが置かれる。従来の設計法の多くは、程度の差はあるものの、これら二つの基準を同時に満たしていない。本論文は、そのような従来の設計法より高精度で、かつ実時間システムにおいても十分使用に耐えるほど高効率なデジタルフィルタの新しい設計法の開発に関する研究について述べたもので、8章からなっている。

第1章は序論で、フィルタリングの基本概念と従来の設計法について概説している。

第2章では、テーラー級数に基づく有限回差分近似をもとに、デジタル微分器係数を直接導出する新たな方法を提案している。すなわち、デジタルフィルタリングの古典的例の一つにデジタル微分器(DD)がある。数値微分ではテーラー級数に基づく微分の有限回差分近似が用いられるが、そのような近似がこれまでデジタル微分器として実現された例はない。それは、デジタル微分器係数の導出にはその近似式の次数に等しい大きな数の線形方程式を解く必要があり、これまで定式化ができなかったためである。我々は、任意の次数の前進・後退・中央各近似を求めることに成功し、その

係数を定式化した。それらの式により任意の次数のDDが実現されるばかりでなく、内挿多項式や演算子あるいはロレンゲ関などの、従来の代替数値微分技術が不要になることが分かった。

第3章では、高次のDDでは前進・後退差分近似からは安定なものが得られず、中央差分近似式のみが任意の次数で安定なⅢ型DDを与え、かつそれが線形位相特性を持つことを明らかにした。更に中央差分近似式に基づくDDが、まったく異なる手順で求められている従来の最大線形DDと同一の係数を持つことを明らかにした。Ⅲ型の最大線形DDは、高周波領域では満足に動作せず、そのため応用が低周波領域のみに限られることは、良く知られたことであるが、その動作周波数域を大幅に拡張する新たな改良法を提案している。

第4章では、前章で見出された最大線形DDとテーラー級数間の関係から、テーラー級数を用いて正確で効率的なDDを実現する新しい微分の近似式が導出できるとの着想の下、新たに開発した有限差分近似式について述べている。その近似式は従来の方法より、特にナイキスト周波数近傍でも正確な近似を与えるもので、それに基づき実現したⅣ型の最大線形DDがⅢ型のDDより特に高周波領域でより理想DDに近い特性を持つことを証明している。またこのDDの精度は、ナイキスト周波数にごく近い狭い周波数域では理想DDからのずれが比較的大きいが、そのような周波数領域を狭めるための修正設計法も提案している。

第5章は、実際のデータ処理では多用されるが、一次DDに比べてその効率的設計法が従来殆ど研究されていない、高次DDの設計法について述べている。従来高次のDDには、複数の一次DDを縦続に接続するという、非効率的な設計法が用いられていたが、ここではテーラー級数による一次の中央差分と第4章で提案した新しい近似式を高次微分に拡張することにより、高次DDの係数を与える新たな式を求めた。これにより、任意の次数の極めて正確かつ効率的なDDが直接実現可能になった。

第6章では、本論文のⅣ型DD全帯域フィルターを元に従来技術を加味して、高域／低域通過フィルターおよび中間域停止フィルターを導出する、新しい設計法を開発した。すなわち、あるフィルターの係数から別なフィルターの係数を求める、極めて簡単な方法が従来から知られている。従って、あるフィルターの端子係数を求める直接的な方法が知れば、それにより多くの他種のフィルターが直接的に簡単に求められる。これをⅣ型DD全帯域フィルターの設計法に適用した。従来の最大平坦(MAX FLAT)フィルターは、多くの場合その設計が周波数応答の式として与えられ、端子係数を与えるものではないため、この方法が適用できなかったが、本論文のⅣ型DDは全帯域フィルターの係数を直接求めるものであり、これが可能になった。

第7章では、第6章の方法を発展させ、全域通過フィルター、Ⅲ型ヒルベルト変換器、Ⅳ型ヒルベルト変換器および微分ヒルベルト変換器の直接設計法を開発した。さらに、帯域通過／停止フィルターおよび各帯域ごとに異なる振幅特性を持つ多帯域フィルターの設計法を提案している。

第8章は結論で、本論文を総括している。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 大 場 良 次  
副 査 教 授 中 山 恒 義  
副 査 教 授 田 村 信 一 朗  
副 査 教 授 宮 永 喜 一

学 位 論 文 題 名

## Taylor series based designs of linear-phase non-recursive FIR digital filters

(線形位相非巡回型 FIR デジタルフィルターの  
テーラー級数に基づく設計法)

デジタルシステムは、アナログシステムに比して高精度・高信頼性で柔軟性に富むなど、利点が多い。計算機の進化と最近の新たなデジタル技術の開発により、日常生活の多くの応用面でアナログからデジタルへ、システムの切換えが進んでいる。このため工学のあらゆる分野で、デジタル信号処理は最も活発な研究領域の一つとなっている。デジタル信号処理の重要なツールの一つであるデジタルフィルタリングは、信号スペクトル中の適当な成分を、所望の規格に基づき増加・減衰・分離等の操作をすることであり、従来その設計法としては、簡単だが精度の低いウィンドウ基準のものから、もっとも洗練されたチェビシェフ設計法まで、種々のものが知られている。一般にデジタルフィルタの性能を評価する主要な基準は、その精度と効率、すなわち処理時間と必要なメモリの量であるが、実用的には後者により重きが置かれる。従来の設計法の多くは、程度の差はあるものの、これら二つの基準を同時に充たしてはいなかった。本論文は、そのような従来の設計法より高精度でかつ実時間システムにおいても十分使用に耐えるほど高効率な、デジタルフィルタの新しい設計法の開発に関する研究について述べたもので、8章からなっている。

第1章は序論で、フィルタリングの基本概念と従来の設計法について概説している。

第2章では、テーラー級数に基づく有限回差分近似をもとに、デジタル微分器係数を直接導出する新たな方法を提案している。すなわち、数値微分で用いられるテーラー級数に基づく微分の有限回差分近似を基に、任意次数のデジタル微分器係数の導出に成功し、その係数を定式化した。その式により任意の次数のデジタル微分器が、従来の方法のような繰り返し計算を必要とせずに直接実現されるばかりでなく、内挿多項式や演算子あるいはロレンゲ図など、従来の代替数値微分技術が不要になることを明らかにしている。

第3章では、高次のデジタル微分器では前進・後退差分近似からは安定なものが得られ

ず、中央差分近似式のみが任意の次数で安定なⅢ型デジタル微分器を与え、かつそれが線形位相特性を持つことを明らかにするとともに、その動作周波数域を大幅に拡張する新たな改良法を提案している。更に、中央差分近似式に基づくデジタル微分器の係数は、異なる手順で求められる従来の最大線形デジタル微分器のそれと同一であることを見出している。

第4章では、前章で見出した最大線形デジタル微分器係数との関係から着想を得て、正確で効率的なデジタル微分器をテーラー級数に基づき実現するための新たな有限差分近似式について述べている。それにより実現されるⅣ型の最大線形デジタル微分器は、特に高周波領域でⅢ型のそれより、より理想に近い特性を持つことを明らかにしている。また、ナイキスト周波数に近い周波数域に存在する比較的精度の劣る領域を狭めるための修正設計法も提案している。

第5章は、従来殆ど研究されていなかった、高次デジタル微分器の効率的設計法について述べている。すなわち、テーラー級数による一次の中央差分と第4章で提案した新しい近似式を高次微分に拡張することにより、新たに高次デジタル微分器の係数を与える式を求めている。これにより、任意の次数の極めて正確かつ効率的なデジタル微分器が直接実現可能になった。

第6章では、本手法によるⅣ型デジタル微分器全帯域フィルターに従来技術を加味して、高域/低域通過フィルターおよび中間域停止フィルターを導出する新しい設計法を開発している。すなわち、あるフィルターの係数から別なフィルターの係数を求める方法は従来から知られているが、これをⅣ型デジタル微分器全帯域フィルターの係数に適用することにより、任意フィルターの係数を直接求めることに成功している。

第7章では、第6章の方法を発展させ、全域通過フィルター、Ⅲ型ヒルベルト変換器、Ⅳ型ヒルベルト変換器および微分ヒルベルト変換器の直接設計法を開発した。さらに、帯域通過/停止フィルターおよび各帯域ごとに異なる振幅特性を持つ多帯域フィルターの設計法を提案している。

第8章は結論で、本論文を総括している。

以上を要するに、本論文は標本値のテーラー級数表示式を微分係数について解くことにより、デジタル微分器を設計する新たな手法を提案し、それに基づき、任意の非巡回型 FIR デジタルフィルターの新しい設計法を開発したもので、計測工学ならびに情報処理の進展に寄与するところが大きい。よって、著者は北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格があると認める。