

雑音の周波数ゆらぎに適應するノイズキャンセリングシステムの構築

山崎 徹†

船瀬 新王‡

打矢 隆弘§

内匠 逸¶

†‡§¶名古屋工業大学大学院工学研究科

1 はじめに

我々の研究グループでは、ELF*帯環境電磁波の微弱信号観測を行っている。観測信号中には、商用電源を起因とした60[Hz](50[Hz])と、その高調波†による商用電源雑音が混入し、信号雑音比(SNR)は観測信号のSNRは-20~-40[dB]を下回る。よって、SNR向上のため、AD変換前に雑音を除去する必要がある。従来はAD変換前にアナログフィルタを用いて商用電源雑音の除去を行っているが、アナログフィルタは経年劣化によって除去性能が低下する。

本稿では、適応デジタルフィルタによるノイズキャンセラの実装を報告する。なお、実用時は処理をリアルタイムに行い、ネットワークを通じてデータを送信するため、後述のRTLlinux‡上で実装した。

2 提案手法

2.1 ノイズキャンセリングモデル

ノイズキャンセリングシステムのモデルを図1に示す。提案システムでは、推定した商用電源雑音をDA変換し、AD変換前の観測信号から減算する。図1中の適応フィルタは係数の値が可変なデジタルフィルタであり、対象の雑音と相関のある参照信号および、観測信号から推定雑音を減じた差分信号に応じて係数を動的に更新する。本研究で用いる適応フィルタは制御が容易なFIR型とした。

適応フィルタの係数を更新するアルゴリズムが適応アルゴリズムであり、Least Mean Square(LMS)アルゴリズムやRecursive Least Square(RLS)アルゴリズムが代表的なアルゴリズムである。本研究では、リアルタイム処理が必要となるため、計算量がフィルタの次数 M に対して $O(M)$ と少ないLMSアルゴリズムを採用する[1]。LMSアルゴリズムは勾配法を基にしており、係数 h の更新は差分信号 e と参照信号 x を用いて、以下の式で表される。

$$h(n+1) = h(n) + \mu e(n)x(n) \quad (1)$$

Development on Noise Canceling System for Frequency-Fluctuation of Noise

†Toru Yamasaki ‡Arao Funase §Takahiro Uchiya ¶Ichi Takumi

‡Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

*Extreme Low Frequency

†基本周波数の整数倍の周波数成分

‡現在は Wind River Systems 社が知的財産権を有している。

ただし、式(1)中の μ はステップサイズパラメータと呼ばれ、1回あたりの係数の更新量を調節する。

2.2 電源信号を元にした参照信号の作成

適応フィルタによって商用電源雑音を推定するためには、商用電源雑音と同じ周波数成分からなる参照信号が必要である。商用電源雑音の周波数は常に一定ではなく、 ± 0.1 [Hz]程度のゆらぎを持つ。したがって、人工的に参照信号を生成することは困難である。そこで、商用電源雑音の原因である電源信号を参照信号に利用し、含有周波数を一致させる。商用電源はほぼ正弦波であるため、高調波成分が小さい。高調波成分を補うために非線形変換を行うことにした。本提案手法では振幅の閾値を定め、振幅が閾値以下の部分を0とする。閾値以上の部分はその値から閾値を引いた値とする。

2.3 ノイズキャンセリングシミュレーション

提案手法の有効性を検証するため、実観測信号を用いた計算機シミュレーションを行う。観測信号として、実際のアンテナから取得した信号を用いる。同時に取得した電源信号を非線形変換した信号を参照信号とし、観測信号中の商用電源雑音の除去を行う。ここではDA変換を行わず、予め取得したアンテナ信号と電源信号を用いて、計算機上で商用電源雑音の除去を行う。

図2にキャンセリング前後の信号の周波数スペクトルを示す。図2から、ノイズキャンセリング前の信号では高い値を示している60[Hz]とその高調波成分のレベルが、ノイズキャンセリング後には低下している。すなわち、提案手法が有効に作用したと判断できる。

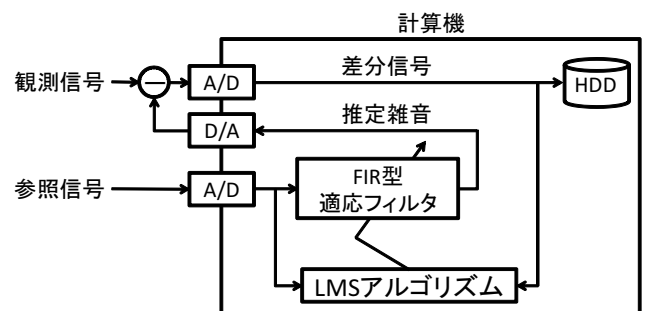


図1: ノイズキャンセリングモデル

3 システムの実装

3.1 リアルタイム処理

ノイズキャンセリングは信号の観測と同時に行うため、リアルタイム処理が必要となる。Linux は計算機のリソースを複数のタスクに平等に分け与えるプリエンティブな OS であるため、本提案システムには不向きである。本研究では、計算機の OS としてリアルタイム OS の一つである RTLinux を用いる。

RTLinux は Linux を拡張したフリーのリアルタイム OS である。RTLinux の構成を図 3 に示す。RTLinux では、明示的に設定した優先度に基づいてタスクを実行する。ここで、Linux は最低優先度のタスクと見なされる。Linux に対する割り込みは一旦 RTLinux のカーネルが受け、Linux を実行するまで処理を行わない。

実際に構築する提案システムにおいては、信号の AD 変換、フィルタ係数の更新、推定雑音の計算および DA 変換を RT タスクとして行う。観測した信号のデータは RTLinux によって提供される RT-FIFO というデバイスへ渡し、Linux のタスクから読み出して高度な信号処理や記録を行う。

3.2 実装システムの動作実験

実装したノイズキャンセリングシステムの動作確認実験を行った。ファンクションジェネレータから生成した 60[Hz] の正弦波を観測信号と参照信号に入力として与え、キャンセリングを行う。図 4 にキャンセリング前後の信号の周波数スペクトルを示す。図 4 より、60[Hz] の成分が約 80[dB] 減衰しており、キャンセリングが正常に行われたと判断できる。

また、実験途中に入力信号の周波数を ± 0.1 [Hz] 変動させたが、キャンセリングは正常に行われた。よって、実装システムは周波数変動に対して、高速にトラッキング可能であると確認できた。

4 まとめ

本稿では、周波数ゆらぎを持つ商用電源雑音に対して、適応フィルタを用いたノイズキャンセリング手法を提案した。また、シミュレーションによる提案手法の有効性の検証、および実装したシステムの検証を行った。

参考文献

- [1] Simon Haykin, “適応フィルタ理論”, 科学技術出版, 2001.

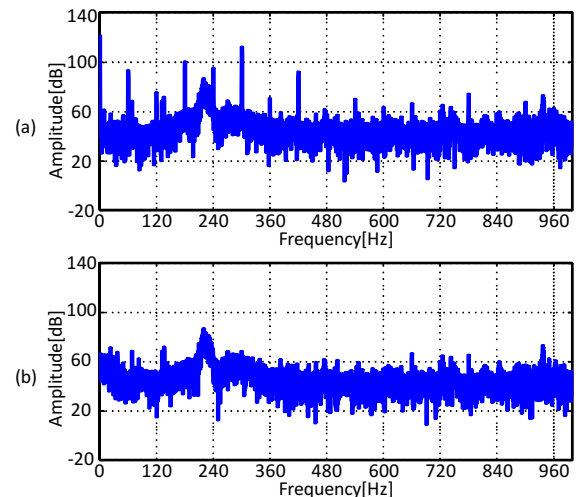


図 2: シミュレーションにおける (a) キャンセリング前の信号 (b) キャンセリング後の信号

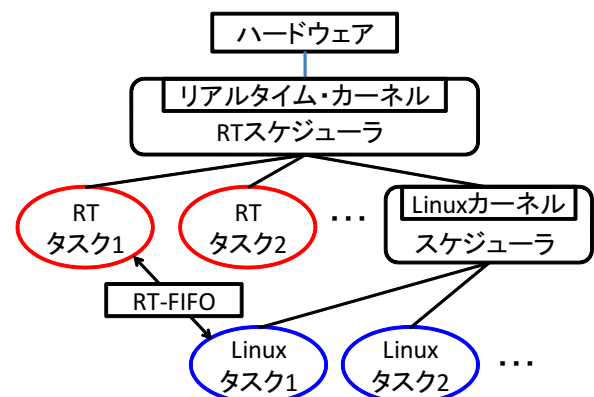


図 3: RTLinux の構成

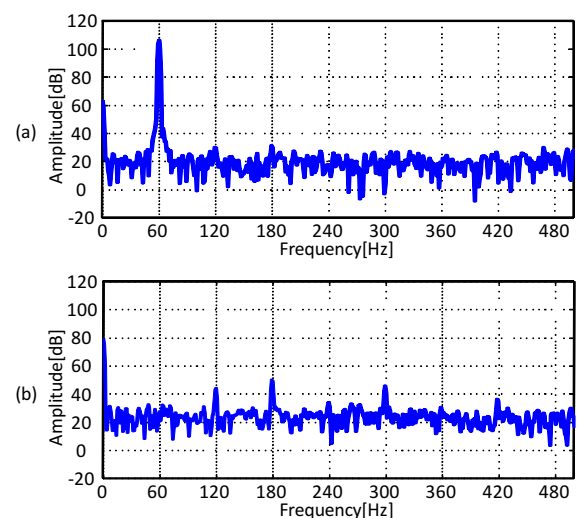


図 4: 動作実験における (a) キャンセリング前の信号 (b) キャンセリング後の信号