

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：13501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24656242

研究課題名(和文)人間の感覚を考慮した適応信号処理

研究課題名(英文)Adaptive signal processing with consideration of the human sensation

研究代表者

大木 真(OHKI, Makoto)

山梨大学・総合研究部・教授

研究者番号：50211785

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：信号処理装置の設計には誤差の2乗を最小化する方法が広く用いられるが、出力を受け取る人間の感覚は刺激の非整数次べき乗に比例する。そこで、本研究では、誤差の非整数べき乗を最小とするLMP適応アルゴリズムを用いて音声・画像・動画の雑音除去を行った。音声に関しては、58名の被験者による主観評価実験を行い、べき乗数が1.4や1.6の場合がべき乗数2の場合よりも評価結果が高いことを示した。

研究成果の概要(英文)：For the design of signal processing systems, minimization of the squared error has been widely used. The output of signal processing systems is usually accepted by human, and the human sensation is known to be proportional to a stimulus to the non-integer number power. Therefore, we use the LMP adaptive algorithm, which minimize the error signal to the non-integer number power, in order to reduce the noise in sounds, images and videos. In order to show the performance of the proposed method, the subjective evaluation is performed.

In the noise reduction of sounds, the output signals are evaluated by 58 people, and the output with the power 1.4 and 1.6 shows the higher score than that of the output with the power 2. For images and videos, the output signals are evaluated by 14 people, the result is ambiguous because the number of people is small.

研究分野：信号処理

キーワード：感覚 適応フィルタ 雑音除去 主観評価実験 非整数次べき乗

1. 研究開始当初の背景

信号処理装置の出力を受け取るのは多くの場合人間であるにも関わらず、信号処理装置を設計する際の評価指標としては誤差の2乗が主として用いられてきた。それ以外の指標を用いる場合も、信号に加わる雑音の分布関数と関係づけて論じる場合がほとんどであった。

一方、人間の感覚は刺激の非整数次べき乗に比例するケースが多いことが知られている。この性質は、工学的にも様々な局面で利用されているが、信号処理装置の設計指標と関連づける研究はきわめて少なかった。

2. 研究の目的

そこで本研究の目的は、人間の感覚を考慮した適応信号処理アルゴリズムを用いて、人間にとってより良い信号処理結果を得ることである。具体的には、誤差の非整数次べき乗を最小化する適応アルゴリズムである LMP (Least Mean p-th Power) アルゴリズムや RLPN (Recursive Least p-Norm) アルゴリズムを用いて音声・画像・映像の雑音除去を行い、主観評価実験を行ってその効果を検証する。

3. 研究の方法

(1) 適応アルゴリズム

LMP アルゴリズムは、1993 年に Shao と Nيكias によって提案された。適応フィルタのフィルタ長を N 、入力信号を $x(n)$ 、出力信号を $y(n)$ 、参照信号 $d(n)$ 、誤差信号を $e(n)=d(n)-y(n)$ 、フィルタ係数を $w_k(n)$ 、入力信号を並べたベクトルを $x(n)$ 、フィルタ係数を並べたベクトルを $w(n)$ とすると、正規化 LMP アルゴリズムは以下の式で表すことができる。

$$w(n+1) = w(n) + p \mu \frac{\text{sgn}(e(n)) |e(n)|^{p-1} x(n)}{(b + x(n)^T x(n))} \quad (1)$$

ただし、 p はべき乗数、 μ はステップサイズ、 b は微小な正定数、 $\text{sgn}()$ は符号関数であり、 T はベクトルの転置を表す。 $p=2$ の場合が、広く用いられている正規化 LMS (Least Mean Square) アルゴリズムである。

(2) 音声の雑音処理

音声の雑音処理には、適応フィルタを2つ縦続接続した構成(川村・他, 2002年)を用いる。

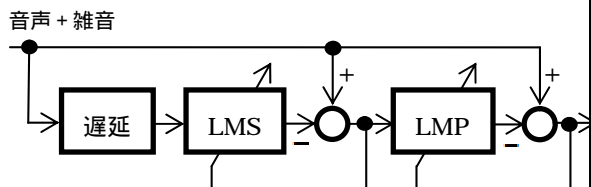


図1 音声の雑音除去法のブロック図

2つある適応フィルタの内、出力側を LMP,

前段を LMS で構成する。

(3) 画像の雑音除去

画像の場合、適応フィルタ1個だけを用いた雑音除去法(適応ラインエンハンサ)を用いる。

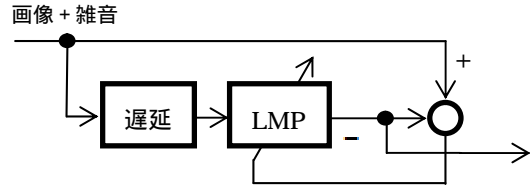


図2 画像の雑音除去法のブロック図

また、正規化 LMP アルゴリズムを2次元化して用いる。

$$w(m,n) = f w(m,n-1) + (1-f) w(m-1,n) + p \mu_h \frac{\text{sgn}(e(m,n-1)) |e(m,n-1)|^{p-1} x(m,n-1)}{(b + x(m,n-1)^T x(m,n-1))} + p \mu_v \frac{\text{sgn}(e(m-1,n)) |e(m-1,n)|^{p-1} x(m-1,n)}{(b + x(m-1,n)^T x(m-1,n))} \quad (2)$$

ここで、新しいパラメータ f ($0 < f < 1$) は方向パラメータと呼ばれ、水平・垂直方向のどちらを重視して適応を進めるかを制御する。詳細は省略するが、 f は誤差が小さくなるように自動的に調節されるようにしている。

画像の場合、べき乗数 p を大きくすると平滑だがエッジの鈍った画像が得られ、 p を小さくするとエッジは明瞭になるがざらついた画像が得られることが分かっている。そこで、画像の平坦部では p を大きく、エッジ部では p を小さくするように制御することによって、視覚的に良好な画像を得ることができる。 p を自動調節するアルゴリズムとしては、以前に(a)方向パラメータ f を使用する方法、(b)入力信号の局所分散の変化を使用する方法、を提案していたが、今回新たに、(c)局所分散の大きさをしきい値と比較する方法、を提案した。

(4) 映像の雑音除去

映像の場合も雑音除去法には適応ラインエンハンサを用いる。また、正規化 LMP アルゴリズムを3次元化して用いる。

$$w(m,n,t) = f_h w(m,n-1,t) + f_v w(m-1,n,t) + f_t w(m,n,t-1) + p \mu_h \frac{\text{sgn}(e(m,n-1,t)) |e(m,n-1,t)|^{p-1} x(m,n-1,t)}{(b + x(m,n-1,t)^T x(m,n-1,t))} + p \mu_v \frac{\text{sgn}(e(m-1,n,t)) |e(m-1,n,t)|^{p-1} x(m-1,n,t)}{(b + x(m-1,n,t)^T x(m-1,n,t))} + p \mu_t \frac{\text{sgn}(e(m,n,t-1)) |e(m,n,t-1)|^{p-1} x(m,n,t-1)}{(b + x(m,n,t-1)^T x(m,n,t-1))} \quad (3)$$

映像の場合も、べき乗数 p の値によって画質が変化するため、画像の場合と同様に p を自動調節する。 p を調節するアルゴリズムとしては、以前に(a)局所分散の変化を使用する方法を提案していたが、今回新たに、(b)

局所的な中央値（メディアン）の変化を使用する方法を提案した。また、今回はステップサイズを自動調節するアルゴリズムも併用しているが詳細は省略する。

4. 研究成果

(1) 音声の場合

正規化 LMP アルゴリズムを用いて音声の雑音除去を行い、その結果を被験者 58 名による主観評価実験によって評価した。評価方法としては MOS (Mean Opinion Score) 法を用い、LMS アルゴリズムを用いた場合に対する LMP アルゴリズムを用いた場合の音質を表 1 のような 5 段階で評価した。

表 1 MOS 法の評価表

	評価点
とてもよくなった	5
よくなった	4
同じ	3
悪くなった	2
とても悪くなった	1

以下に、MOS 評価の例を示す。図の横軸は実験条件（雑音を含む信号の信号対雑音比 (SNR) と使用したべき乗数 p ）、縦軸は評価点、図中の青い点が標本平均、縦棒が 95% 信頼区間を表している。

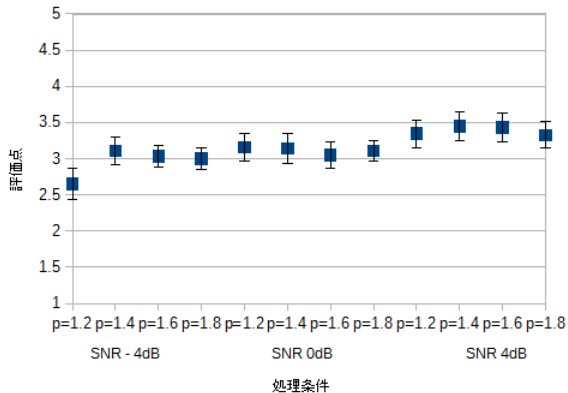


図 3 女性の声 + 白色雑音を処理した場合の評価結果

図 3 から、雑音を含む信号の信号対雑音比 (SNR) が 4dB 程度あれば、LMS に対して LMP の処理結果の MOS 値が信頼区間を含めて 3 を越える、つまり優れていることが分かる。また、LMP を使用する場合 $p=1.4, 1.6$ 付近の MOS 値が高い傾向がある。男性の声を用いた場合や雑音にピンク雑音を用いた場合もほぼ同様の結果であった。

音声に関しては、LMP よりも収束が速い RL pN アルゴリズムを用いた雑音除去も検討したが、音量が大きく変化する際に耳障りなアーチファクトが生じることがあり、改良が必要であることが分かった。

(2) 画像の場合

6 種類のモノクロ画像に雑音を加えたのち、

2 次元正規化 LMP アルゴリズムを用いて雑音除去を行い、その結果を 14 名の被験者で評価した。評価方法としては二重尺度妨害刺激 (DSIS) 法を用い、原画像に対して雑音除去画像の画質を下記の表のように評価した。なお、雑音を含まない原画像を基準としているので、音声の場合とは評価項目が異なっている。

表 2 DSIS 法の評価表

	評価点
劣化がわからない	5
わかるが気にならない	4
気になるが邪魔にならない	3
邪魔になる	2
非常に邪魔になる	1

図 4 に、標準画像 boat に対する評価結果の例を示す。図の横軸は処理方法、縦軸は評価点、図中の青い点が標本平均、縦棒が 95% 信頼区間である。先に述べたように、べき乗数 p を自動調節する方法としては、(a) 方向パラメータ f を使用する方法 (図中で「方向」と表記)、(b) 入力信号の局所分散の変化を使用する方法 (「分散」と表記)、(c) 局所分散の大きさをしきい値と比較する方法 (「th100」などと表記、数字はしきい値) の 3 種類を用いた。

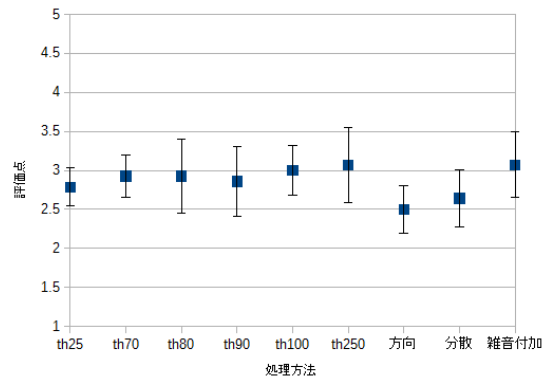


図 4 boat 画像の評価結果

画像の場合は、雑音除去による画像のエッジの平滑化が目につきやすいため、雑音除去結果が必ずしも雑音付加画像よりも高評価になるとは限らない。図 4 の結果では、しきい値を用いた p の調節法が他の調節法よりも若干標本平均が良い傾向があるが、信頼区間が広いいため、明確に優劣を言うことはできない。明確な結果を得るためには、被験者を増やして主観評価実験を行う必要がある。

(3) 映像の場合

5 種類のモノクロ映像に雑音を加えたのち、3 次元正規化 LMP アルゴリズムを用いて雑音除去を行い、その結果を 14 名の被験者で評価した。評価法は、画像の場合と同じ DSIS 法である。

馬の映像の処理結果を図 5 に示す。図の横軸は処理方法、縦軸は評価点、図中の青い点が標本平均、縦棒が 95% 信頼区間である。ベ

き乗数 p を調節するアルゴリズムは、(a)局所分散の変化を使用する方法(図中で「分散」と表記)、(b)局所的な中央値(メディアン)の変化を使用する方法(図中で「中央値」と表記)、それぞれについてステップサイズ μ の上限を大小 2 種類用意し、計 4 種類を比較した。

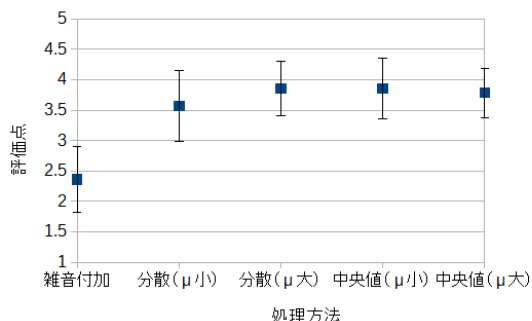


図 5 馬の映像の評価結果

動画像に関しては、画像と比較してエッジの平滑化が目立ちにくいいため、雑音除去結果の評価はすべて雑音付加映像よりも高いスコアとなっている。一方、信頼区間が広いいため、各処理方法の間の優劣についてははっきりしたことが言えない。明確な結果を得るためには、被験者を増やして主観評価実験を行う必要がある。

(4) 全体の評価

主観評価実験の結果、音声の雑音除去に関しては評価指標のべき乗数が 2 の場合よりも $p=1.4$ や $p=1.6$ の方が良いという結果が得られた。したがって、人間の感覚を考慮して適応アルゴリズムを設計することに一定の効果があることが示されたと言える。

画像・映像の主観評価実験は、被験者の数がまだ不足しており、確定的なことは言えないが、今後、被験者数を増やして検証を行いたい。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

佐藤達郎, 舘岡高志, 兼本大輔, 大木真,
 “NLMP 適応アルゴリズムによる雑音除去の評価”, 第 34 回日本生体医工学会
 甲信越支部大会講演論文集, pp.39-40,
 2014 年 10 月 18 日, 山梨大学甲府キャンパス(山梨県甲府市).

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.sp.es.yamanashi.ac.jp/~ohki/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大木 真 (OHKI, Makoto)

山梨大学・大学院総合研究部・教授

研究者番号： 50211785