

コンプレッサー処理された信号の復元に関する検討*

☆ 王椽, 赤石夏輝 (農工大), 中村友彦 (産総研), 山田宏樹, 矢田部浩平 (農工大)

1 まえがき

コンプレッサーは、音響信号の振幅が大きい部分を圧縮することで音量を均一化するエフェクタである。コンプレッサーを利用することで、音響信号の明瞭度を向上できる一方で、後から圧縮の度合いを調整することが困難になる。この再調整は楽曲の再編集などで必要となるため、コンプレッサーにより処理された音から元信号を復元することが望まれる。しかし、コンプレッサーは複雑な非線形システムであるため、元信号の復元は難しいとされてきた [1]。

近年、非線形システムによって処理された信号を変分不等式に基づいて復元する手法が提案された [2]。この手法では、非線形システムが既知で特定の性質を満たせば信号を復元できる。そこで本稿では、この復元手法をコンプレッサーに適用する。我々は以前、コンプレッサー処理された音響信号から、適用された処理を再現することを目的として、微分可能なコンプレッサーを用いたパラメータ推定手法を提案した [3]。本稿では、文献 [2] の復元手法を微分可能なコンプレッサーに適用し、パラメータの推定誤差と信号の復元精度の関係を調査した。

2 コンプレッサーとパラメータ推定

典型的なコンプレッサーは、エフェクトをかけ始める音量の基準を決めるスレッシュホールドや、圧縮の程度を決めるレシオといったいくつかのパラメータで制御された複雑な非線形処理を行う [4]。

我々は以前、深層ニューラルネットワーク (DNN) を用いて、未知のコンプレッサー処理が行われた信号からパラメータを推定する手法を提案した [3]。この手法は、勾配が計算できるように微分可能な形式で実装された特別なコンプレッサーを用いて、スレッシュホールド T 、レシオ R 、アタックタイム τ 、ニー W の 4 つのパラメータを推定できる [3]。本稿では、この提案手法が推定できる 4 つのパラメータを対象とする。

処理信号の再利用などの需要に応じるため、未知のコンプレッサーによって処理された信号から処理される前の信号を復元する処理が望まれている。本稿ではこの処理を逆コンプレッサーと呼ぶ。しかし、コンプレッサーの処理は複雑であり、逆システムを推定することは容易ではない。

3 提案手法

コンプレッサーは非線形システムであるため、逆コンプレッサーの実現には非線形な歪みを復元するアルゴリズムの適用が考えられる。その一つに文献 [2] の手法が存在するが、このアルゴリズムを用いて信号を厳密に復元するには、非線形な歪みを生じさせる作用素が堅非拡大写像でなければならない。一般にコンプレッサーは堅非拡大写像ではないが、極端な圧縮をしない条件下であればアルゴリズムとして問題ないだろうと我々は考えた。そこで本稿では、文献 [2] に基づいて逆コンプレッサーの実現を目指す。

3.1 非線形処理された信号を復元するアルゴリズム

非線形処理を行う関数を f 、元信号を \mathbf{x} とする。 f によって処理された信号 $\mathbf{y} = f(\mathbf{x})$ が得られたとき、元信号の復元信号 $\hat{\mathbf{x}}$ は以下の反復更新

$$\hat{\mathbf{x}}^{[k+1]} = \hat{\mathbf{x}}^{[k]} - \gamma(f(\hat{\mathbf{x}}^{[k]}) - \mathbf{y}) \quad (1)$$

によって得られる [2]。ただし、 k は反復回数、 $\hat{\mathbf{x}}^{[k]}$ は k 回反復目の復元信号、 $\gamma \in (0, 2)$ はステップサイズパラメータである。このとき、 $\hat{\mathbf{x}}$ が $\mathbf{y} = f(\mathbf{x})$ を満たすような信号 \mathbf{x} に収束するためには、 f が堅非拡大写像でなければならない [2]。

3.2 逆コンプレッサー

提案手法では、非線形関数 f をコンプレッサー関数 $\text{comp}_{\mathcal{P}}$ で置き換えた以下の反復更新

$$\hat{\mathbf{x}}^{[k+1]} = \hat{\mathbf{x}}^{[k]} - \gamma(\text{comp}_{\mathcal{P}}(\hat{\mathbf{x}}^{[k]}) - \mathbf{y}) \quad (2)$$

を行う [2]。ただし、 \mathcal{P} はコンプレッサーに設定されているパラメータの組である。この提案手法を用いれば逆コンプレッサーの実現が期待できる。

コンプレッサー処理が既知である場合、式 (2) の反復によって出力信号から元信号を復元できると考えられる。しかし、今回はコンプレッサー処理が未知である場合を想定している。このとき、推定されたパラメータを用いたコンプレッサー処理は、観測された信号を得るために行われた真の処理とは異なるため、理想的な処理である式 (2) の反復は行われない。この逆コンプレッサーの性質を明らかにするために、設定パラメータと真のパラメータが異なる場合の復元精度を調べる必要がある。

*Study on recovering signals processed by compressors. By Meng WANG, Natsuki AKAISHI (Tokyo University of Agriculture and Technology (TUAT)), Tomohiko NAKAMURA (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)), Koki YAMADA and Kohei YATABE (TUAT).

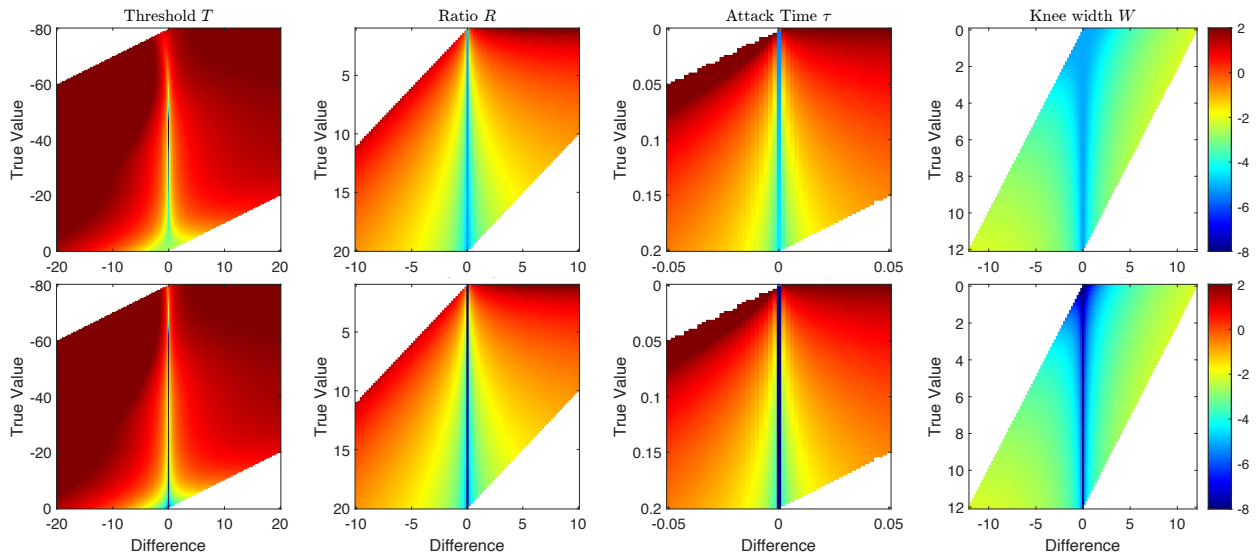


図-1 設定パラメータの誤差と信号の復元精度の関係。各パラメータの図は、他の全てのパラメータは正しい状態で、そのパラメータのみを変化させた際の復元結果である。上段と下段はそれぞれ、反復回数が 50 と 200 回のときの復元結果である。縦軸は各設定パラメータの値、横軸は設定パラメータと真のパラメータの誤差である。カラーバーの値は、復元信号と元の信号の二乗誤差の \log_{10} をとったものである。

表-1 パラメータ (スレッシュヨルド T , レシオ R , アタックタイム τ , ニー W) の生成範囲および誤差範囲

| | T [dB] | R | τ [ms] | W [dB] |
|------|-----------|-----------|-------------|-----------|
| 生成範囲 | [-80, 0] | [1, 20] | [0, 200] | [0, 12] |
| 誤差範囲 | [-20, 20] | [-10, 10] | [-50, 50] | [-12, 12] |

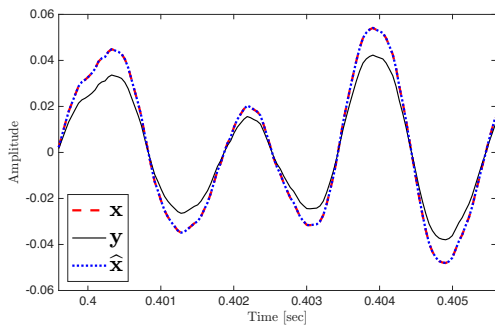


図-2 設定パラメータと真のパラメータが一致するときの元の信号 x , 処理信号 y , 復元信号 \hat{x} の時間波形の一例

4 実験

実験では、提案手法を用いる際にコンプレッサーのパラメータが未知な状況を想定し、設定パラメータと真のパラメータが異なる場合の復元精度を調査した。まず、元信号 x はサンプリング周波数が 22.05 kHz で長さが 1.0s のボンゴの録音データとした。次に、真のパラメータ P を用いてコンプレッサー処理した信号 y を生成した。最後に、任意の誤差を持つ設定パラメータ \hat{P} を用いて、提案手法により y から \hat{x} を復元した。提案手法の設定は、反復回数を 50 または 200 回に、 γ を 1.9 にした。真のパラメータの生成範囲と設定パラメータの誤差範囲を表-1 に示す。

はじめに、設定パラメータの誤差と信号の復元精度

の関係を図-1 に示す。設定パラメータ \hat{P} と真のパラメータ P が一致すれば、反復回数が多いほど復元精度が高くなる。特に反復回数が 200 のとき、 \hat{P} と P が一致すれば概ね元信号の復元が可能である。ただし、スレッシュヨルド T を下げすぎると、過剰な圧縮により復元が難しいことが分かった。また、 \hat{P} と P に誤差がある場合は復元が難しいが、ニー W に関しては他のパラメータに比べて復元精度に与える影響が少ないといえる。

次に、設定パラメータ \hat{P} と真のパラメータ P が一致するときの元の信号 x , 処理信号 y , 復元信号 \hat{x} の時間波形の一例を図-2 に示す。真のパラメータが既知であれば、元信号とほとんど誤差なく処理信号を復元できることが分かった。

5 むすび

本稿では、コンプレッサー処理された信号を復元する手法を提案し、その性能を調査した。今後はコンプレッサーパラメータ推定モデルと組み合わせて、処理信号から元の信号を直接復元する研究に取り組む。

参考文献

- [1] S. Gorlow and J. D. Reiss, "Model-based inversion of dynamic range compression," *IEEE Trans. Audio Speech Lang. Process.*, **21**, 1434–1444 (2013).
- [2] P. L. Combettes and Z. C. Woodstock, "Signal recovery from inconsistent nonlinear observations," *IEEE ICASSP*, pp. 5872–5876 (2022).
- [3] 王椽, 中村友彦, 山田宏樹, 矢田部浩平, "微分可能なコンプレッサーのパラメータ推定に関する検討," 音講論集, pp. 259–260 (2023.9).
- [4] D. Giannoulis, M. Massberg and J. D. Reiss, "Digital dynamic range compressor design—a tutorial and analysis," *J. Audio Eng. Soc.*, **60**, 399–408 (2012).