

グラフフィルタを用いたスペクトログラムの再割り当て*

© 山田宏樹, 矢田部浩平 (農工大)

1 まえがき

スパース時間周波数解析は音響信号を詳細に解析する手段であり, 今なお積極的に研究が進められている. 広く知られているスパース時間周波数解析手法の一つに再割り当て法 [1] がある. 再割り当て法はスペクトログラムの各成分を重心位置に再割り当てすることによって, スパースな表現を得ることを可能にしている. しかし, 複数の成分が同時に存在する場合, 重心位置を正確に計算することが困難となり, ノイズ成分が現れる. この問題に対処するために, 本研究では, 再割り当て法により得られるスパース時間周波数表現をグラフフィルタで補正する手法について検討する.

2 再割り当て法

窓関数 $w(t)$ を用いた信号 $x(t)$ の短時間フーリエ変換を

$$X(f, t) = \int_{\mathbb{R}} x(\tau + t) \overline{w(\tau)} \exp(-2\pi i f \tau) d\tau \quad (1)$$

とする. ここで, i は虚数単位, f は周波数を表す. 短時間フーリエ変換により得られるスペクトログラムは, 不確定性原理により時間方向と周波数方向に広がりを持つ. スパース時間周波数解析では, この広がりを抑え, スペクトログラムをスパースに表現することを目的とする.

よく使われるスパース時間周波数解析手法の一つに再割り当て法がある. 再割り当て法は時間と周波数の重心を計算し, $|X(f, t)|^2$ を $|X(f_{\text{new}}, t_{\text{new}})|^2$ に移動させ, 広がった成分を一部の時間周波数ビンに集約しスパース表現を獲得する. 再割り当てする位置は

$$t_{\text{new}} = t + \text{Re} [X^{tw}(f, t)/X(f, t)] \quad (2)$$

$$f_{\text{new}} = f - \text{Im} [X^{Dw}(f, t)/X(f, t)] \quad (3)$$

で与えられる. ここで, X^{tw} , X^{Dw} はそれぞれ窓関数 tw , Dw で短時間フーリエ変換した結果であり, tw は重み付けした窓関数, Dw は微分した窓関数を表す. 移動した信号成分 $|X(f_{\text{new}}, t_{\text{new}})|^2$ はもはや格子状に並んでおらず, 点群データとなるため, 可視化の際には座標を時間周波数ビンに分割したヒストグラムとして扱われる.

3 グラフ信号のフィルタリング

グラフ信号処理は, グラフ上に分布した信号 (グラフ信号) を対象とする信号処理技術である [2]. グラフ信号処理では, 信号間の関係性をグラフにより明示することで, 通常の信号処理の枠組みでは扱いづらい不均一に分布する信号に対してもフィルタリングなどの信号処理技術の適用が可能となる.

グラフ信号のフィルタリングは, \mathcal{V} を頂点集合, \mathcal{E} を辺集合, \mathbf{W} を重み付き隣接行列としたグラフ $\mathcal{G} = (\mathcal{V}, \mathcal{E}, \mathbf{W})$ 上の信号 \mathbf{f} に対し以下のように定義される.

$$\hat{f}(m) = h_{mm}f(m) + \sum_{j \in \mathcal{N}_m} h_{mj}f(j) \quad (4)$$

ここで h_{mj} はフィルタ係数であり, \mathcal{N}_m は頂点 m と辺を共有する近傍頂点集合である. 式 (4) をベクトルで書き直すと, $\hat{\mathbf{f}} = \mathbf{H}\mathbf{f}$ となり, \mathbf{H} をグラフフィルタと呼ぶ.

4 提案手法

本研究では, 再割り当て法により移動した信号成分 $|X(f_{\text{new}}, t_{\text{new}})|^2$ を補正することを目的とする. 前述した通り, $|X(f_{\text{new}}, t_{\text{new}})|^2$ は点群データとなっているため, 通常のフィルタ処理による補正を行うことは難しい. そこで, 本研究ではグラフフィルタを用いた補正方法を検討する.

提案手法では, まず $|X(f_{\text{new}}, t_{\text{new}})|^2$ の移動前の座標情報から k 近傍法によりグラフを作成する. これにより $|X(f_{\text{new}}, t_{\text{new}})|^2$ をグラフ信号として扱うことが可能となる. 本研究では, グラフバイラテラルフィルタ (GBF) [3], グラフメディアンフィルタ (GMF), グラフ重み付きメディアンフィルタ (GWMF) [4] の3種類のグラフフィルタを用いて補正を行う.

GBF によるフィルタリングは $\hat{\mathbf{f}} = \mathbf{D}^{-1}\mathbf{W}\mathbf{f}$ で定義される. \mathbf{D} は $D_{ii} = \sum_j w_{ij}$ となる対角行列であり, \mathbf{W} は以下で与えられる重み付き隣接行列である.

$$W_{ij} = \exp\left(-\frac{(p_i - p_j)^2}{2\sigma_d^2}\right) \exp\left(-\frac{(f(i) - f(j))^2}{2\sigma_r^2}\right) \quad (5)$$

ここで p_i は頂点 i の座標を表し, σ_d と σ_r はハイパーパラメータである. GBF はバイラテラルフィルタをグラフフィルタへ拡張したものであり, エッジを保存しつつ平滑化が可能なグラフフィルタである.

*Spectrogram reassignment using graph filters. By Koki YAMADA and Kohei YATABE (Tokyo University of Agriculture and Technology)

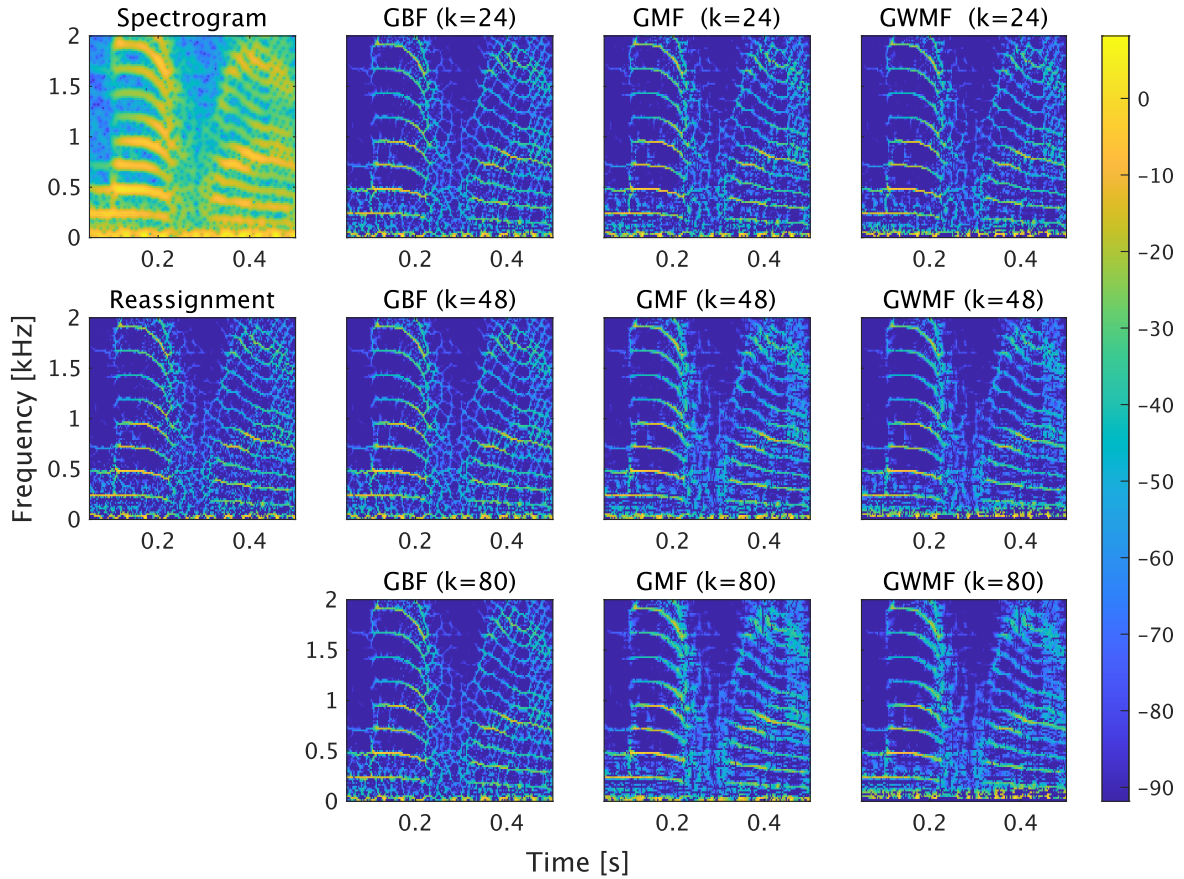


図-1 各手法により得られた音声信号の時間周波数表現。可視化のため、座標を時間周波数ビンで分割したヒストグラムを表示している。

GWMF によるフィルタリングは $f(m) = \mathbf{h}_m \diamond \mathbf{z}_m$ で定義され、 $\mathbf{h}_m \diamond \mathbf{z}_m$ は \mathbf{h}_m を重みとした \mathbf{z}_m の重み付き中央値を表す。ここで、 $\mathbf{z}_m \in \mathbb{R}^{|\mathcal{N}_m|}$ は頂点 m 上の信号と近傍頂点上の信号が格納されたベクトルであり、 $\mathbf{h}_m \in \mathbb{R}^{|\mathcal{N}_m|}$ は以下で与えられる重みベクトルである。

$$h_m(l) = \exp\left(-\frac{(f(m) - z_m(l))^2}{\sigma_h^2}\right) \quad (6)$$

GMF は GWMF の特殊例として含まれ、 \mathbf{h}_m の要素を全て 1 としたとき GWMF は GMF となる。GMF と GWMF は中央値フィルタをグラフフィルタに拡張したものであり、外れ値に対して頑健に平滑化が可能なグラフフィルタである。

5 実験結果

再割り当て法により得られた音声信号のスパース時間周波数表現を 3 種類のグラフフィルタ (GBF, GMF, GWMF) で補正した結果を比較した。窓関数 w として窓長が 250 のブラックマン窓を用い、時間シフト長を 20、周波数点数を 400 とした。用いたグラフは $k = \{24, 48, 80\}$ とした k 近傍グラフである。

図-1 に各グラフフィルタにより補正したスパース

時間周波数表現を示す。グラフフィルタにより再割り当て法のスパース表現に存在するノイズ成分が補正されていることが見て取れる。

6 むすび

本研究では、グラフフィルタを用いた再割り当て法により得られるスパース時間周波数表現の補正方法を提案した。今後は、グラフスペクトル領域で設計したグラフフィルタを用いた補正方法およびより最適なグラフ構造の選択に取り組む。

参考文献

- [1] F. Auger and P. Flandrin, "Improving the readability of time-frequency and time-scale representations by the reassignment method," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 43, no. 5, pp. 1068–1089, 1995.
- [2] D. I. Shuman, S. K. Narang, P. Frossard, A. Ortega, and P. Vandergheynst, "The emerging field of signal processing on graphs: Extending high-dimensional data analysis to networks and other irregular domains," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 30, no. 3, pp. 83–98, 2013.
- [3] A. Gadde, S. K. Narang, and A. Ortega, "Bilateral filter: Graph spectral interpretation and extensions," in *Proc. IEEE Int. Conf. Image Process.*, 2013, pp. 1222–1226.
- [4] S. Segarra, A. G. Marques, G. R. Arce, and A. Ribeiro, "Design of weighted median graph filters," in *2017 IEEE 7th Int. Workshop Comput. Adv. Multi-Sens. Adapt. Process.*, 2017, pp. 1–5.