

Specmurt を利用した調波構造行列による混合楽音解析の検討*

西村大樹, 中鹿亘, 滝口哲也, 有木康雄 (神戸大)

1 はじめに

我々が耳にする楽曲の多くは様々な楽器が同時刻に存在する混合楽音である。しかし, Specmurt 法 [1] は単一楽器の多重音の解析のみしか行うことができない。そこで我々は従来の Specmurt を拡張し, 複数の楽器の混合楽音から, 各楽器ごとに分離された音高を解析する新たな手法を提案する。各楽器ごとに分離された音高を解析する新たな手法を提案する。

2 Specmurt 法の概要

共通調波構造を $h(x)$, 基本周波数分布を $u(x)$ とする時, 多重音スペクトル $v(x)$ は

$$v(x) = h(x) * u(x) \quad (1)$$

と表すことができる。ここで, 共通調波構造とは全ての音の周波数成分間のパワー比が基本周波数にかかわらず普遍的に一定である調波構造パターンのことであり, 基本周波数分布とは基本周波数がどの値にどれだけの成分を持つかを表したものである。

また, 共通調波構造 $h(x)$ が既知であるなら, 基本周波数分布 $u(x)$ は

$$u(x) = h(x)^{-1} * v(x) \quad (2)$$

のように, $v(x)$ と $h(x)$ の逆畳み込みで求められる。

ただし, 線形周波数スケールでは基本周波数が $\Delta\omega$ 変化すると n 次の高調波周波数は $n\Delta\omega$ 変化してしまい, 式 (1) は成立しない。そこで, これら各関数を対数周波数スケールで扱うことにする。対数周波数スケールでは基本周波数が Δx 変化すると全ての高調波周波数も Δx 変化し, 式 (1) が成立する。

以上のように, 対数周波数スケールで逆畳み込みすることにより, 基本周波数分布を求める方法は Specmurt 法 [1] と呼ばれている。

3 提案手法

従来の Specmurt は, 各時間フレームにおいて, 単一楽器の多重音の観測スペクトルのベクトル $v(x)$ をその楽器の共通調波構造のベクトル $h(x)$ と基本周波数分布のベクトル $u(x)$ の畳み込みで表現するというものであった。本手法ではこれを拡張し, 各時間フレームにおいて, 混合楽音の観測スペクトル行列を n

種類の楽器の共通調波構造行列と基本周波数の行列の積で表現し, 擬似逆行列を利用することで基本周波数行列を求めることを目的とする。基本周波数行列が得られれば, そこに存在する要素を並べ直し, 各楽器に対応する n 個の基本周波数分布のベクトルを生成することができる。

3.1 Specmurt の拡張

単一楽器の多重音しか解析できなかった従来の Specmurt を混合楽音の解析に対応できるように, 観測スペクトル行列を調波構造行列と基本周波数行列の積で表現する拡張方法を以下に示す。

混合楽音の観測スペクトル $v(x)$ は n 種類の単一楽器の多重音観測スペクトル $v_i(x)$ ($i = 1, 2, \dots, n$) の和であると考えられるため,

$$\begin{aligned} v(x) &= v_1(x) + v_2(x) + \dots + v_n(x) \\ &= \sum_{i=1}^n v_i(x) \end{aligned} \quad (3)$$

と表すことが出来る。式 (1) を利用し,

$$v(x) = \sum_{i=1}^n h_i(x) * u_i(x) \quad (4)$$

のように, 各楽器の観測スペクトル $v_i(x)$ をその楽器に対応する共通調波構造 $h_i(x)$ と基本周波数分布 $u_i(x)$ の畳み込みで表現できる。ここで $v(x)$, $h_i(x)$, $u_i(x)$ を逆フーリエ変換したものをそれぞれ $V(y)$, $H_i(y)$, $U_i(y)$ と置くと, フーリエ変換の線形性と畳み込みの定理より, 式 (4) は

$$V(y) = \sum_{i=1}^m H_i(y) \cdot U_i(y) \quad (5)$$

として $V(y)$ は $H_i(y)$ と $U_i(y)$ の積の和となる。ここで, $V(y)$, $H_i(y)$, $U_i(y)$ ($y = 1, 2, \dots, Y$) の要素を以下のように並べ,

$$P = \begin{pmatrix} V(1) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & V(2) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & V(Y) \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$Q = \begin{pmatrix} H'(1) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & H'(2) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & H'(Y) \end{pmatrix} \quad (7)$$

* Study on mixed music analysis with specmurt based on the harmonic structure matrix, by NISHIMURA, Daiki, NAKASHIKA, Toru, TAKIGUCHI, Tetsuya, ARIKI, Yasuo (Kobe University)

$$R = \begin{pmatrix} U'(1) & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & U'(2) & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & U'(Y) \end{pmatrix} \quad (8)$$

と、観測スペクトル行列 P 、調波構造行列 Q 、基本周波数行列 R を定義する．ただし、式 (7) の $H'(y)$ と式 (8) の $U'(y)$ はそれぞれ

$$H'(y) = \begin{pmatrix} H_1(y) & H_2(y) & \cdots & H_n(y) \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$U'(y) = \begin{pmatrix} U_1(y) & U_2(y) & \cdots & U_n(y) \end{pmatrix}^T \quad (10)$$

であり、 P, Q, R はそれぞれ $Y \times Y, Y \times nY, nY \times Y$ の大きさの行列となる．式 (6), (7), (8) を用いて式 (5) を書き換えると、

$$P = Q \cdot R \quad (11)$$

のように調波構造の要素と基本周波数の要素の積で混合楽音の観測スペクトルを表現できる．こうすることで、ベクトル表現の式 (5) では n 個存在した未知の基本周波数分布の項を一つにまとめることができる．本手法では式 (11) を拡張 Specmurt と呼ぶ．

3.2 調波構造行列による基本周波数分布の計算

式 (11) を

$$R = Q^+ \cdot P \quad (12)$$

と変形する． Q^+ は調波構造行列 Q の擬似逆行列である． P と Q から式 (12) より基本周波数行列 R を求めることが出来る．最後に、基本周波数行列 R の要素を分離して $U_i(y)$ を生成し、

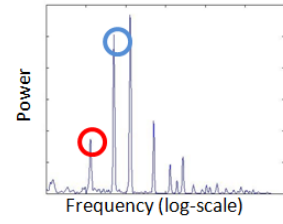
$$u_i(x) = \mathcal{F}[U_i(y)] \quad (13)$$

と $U_i(y)$ をフーリエ変換することで楽器 i に対応する基本周波数分布 $u_i(x)$ が得られる．

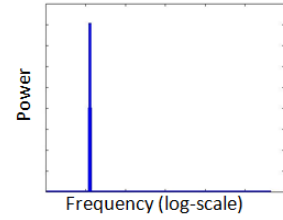
4 実験

提案手法による混合楽音解析を評価するため、バイオリン (A3) とピアノ (E4) を同時に鳴らした混合楽音を対象に解析を行った．調波構造行列 Q を生成する際には、あらかじめ用意したバイオリン (A3) とピアノ (E4) の調波構造を使用している．また、 Q は $Y \times mY$ の長方形行列であるため擬似逆行列の計算には特異値分解を利用している．

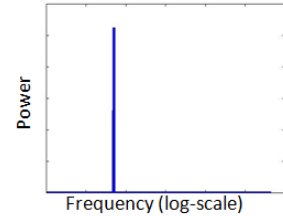
Fig. 1(a) は本実験で用いた混合楽音の観測スペクトルである．赤い円で囲んだピークがバイオリン (A3) の基本周波数であり、青い円で囲んだピークがピアノ (E4) の基本周波数である．Fig. 1(b) と Fig. 1(c) に本手法による解析結果を示す．それぞれ観測スペクトル



(a) Observed spectrum of mixed music (Red circle is fundamental frequency of violin A3, and blue circle is fundamental frequency of piano E4).



(b) Analysis result (violin).



(c) Analysis result (piano).

Fig. 1 Observed spectrum of mixed music and analysis results.

ル (Fig. 1(a)) の基本周波数成分のみが取り出されており、本手法による混合楽音解析が有効であることがわかる．

5 おわりに

簡単な例であるが、二楽器における混合楽音解析は成功し、本手法による解析方法の有効性を示せた．今後はさらに楽器数の多いものや複雑な和音を持つ信号を対象に解析を進めていきたい．また、解析対象信号の楽器数や調波構造を既知としているが、これらの情報が未知でも行える混合楽音解析の手法を検討していきたい．

参考文献

- [1] S. Saito, H. Kameoka, K. Takahashi, T. Nishimoto and S. Sagayama, “Specmurt Analysis of Polyphonic Music Signals,” IEEE Trans. on ASLP, vol. 16, no. 3, pp. 639–650, 2008.