

初心者の楽器練習のための楽器別イコライザー

Musical Instrument Sound Enhancement For Supporting of Practice

平野 智彰

Tomoaki Hirano

法政大学情報科学部コンピュータ科学科

E-mail:tomoaki.hirano.wj@stu.hosei.ac.jp

Abstract

This paper show, how to construct an equalizer to help music beginners to practice playing the instrument. The score information is used to extract musical sounds. To create sub-band filter according to the harmonic structure the pitch information is used. To create sub-band filter according to the harmonic structure, the pitch information is used and extract an instrumental sound from multiple sounds. In addition, the extracted sound is corrected in MIDI sound to assimilate the spectrum envelope of MIDI sound. Extracted sound is added to multiple sound and objective instrument is emphasized. The spectrum deviation is evaluated using the spectral distortion. The average of the spectral distortion is 4.55 dB. The result shows that the proposed method can extract high-quality instrument sounds and emphasized high-quality instrument sounds for music beginners.

1 まえがき

演奏とはアドリブ等を除き音高、音長、強弱記号等の楽曲情報が記録されている楽譜を再現する作業である。特に合奏においては一緒に演奏を行う人物と音の高さや音の長さ等の情報を共有する必要がありこれらの情報を事前に知る必要がある。

初心者は、音源を聞いた際にたとえ楽譜を見たとしても、自分が演奏する楽器が音声データ中のどの音が判別できず、自分のパートの音長、音高といった情報をイメージできないことが多い。自分のパートがイメージできなければ、楽譜の情報を楽器で再現することも当然できない。自分が演奏する楽器が、メロディーを担当している際は、こういった問題が起きることは少ないのだが、メロディー以外を担当する際に起こりやすい。またこの問題は、楽器の種類が多いときに顕著に起きる。

こうした問題はメロディー部分の印象が自分のパートよりも強いからである。メロディーの印象を強くするため、作曲者は楽器数や、強弱記号、聞き取りやすい高さの楽器にメロディーを担当させるといった工夫を施している。その他にも覚えやすいメロディーを作成する等メロディーの印象を強くする工夫は考えられるが本研究では変化が顕著である音量に着目する。

本研究は、自分が演奏する楽器を聞き分けることのできないような音楽初心者の楽器練習のため、任意の楽器の音量を変化させられる楽器別イコライザーの作成を目的とする。楽曲の音声データを読み込み、含まれているそれぞれの楽器音に対して強調、抑制、抽出等の効果を与え、個別の楽器が聞き分けやすいようにし、楽器練習の補助を行う。

2 パート別の演奏抽出

本研究の目的は楽譜のある状態における楽器音の抽出である。吹奏楽においては、曲中では1つの楽器で使用される音は2オクターブ程度の音域に及ぶ。これまでもイコライザーの研究は行われており、製品も存在する。

既存のグラフィックイコライザーでは、低音部分を強めたり、高音部分を弱めたり、といった1/3オクターブバンド [1] に対応した周波数帯域のみの強弱しか実現できず、1つのパートが

演奏する広い周波数帯域の音は抽出できない。

倍音構造を意識したフィルターのかけ方としてくし型フィルターを使う方法が存在する。notch型のくし型フィルターを使う手法 [2] では、除去する音の基本周波数およびすべての高調波成分を消してしまう。そのため除去する音の高調波成分が、抽出する目的の音の基本周波数または高調波成分である場合 notch型のくし型フィルターでは音の抽出ができず、[3] 曲中ではそういった状況が多いため問題がある。Resonator型のくし型フィルターを用いることで、目的とする音が、明確な音高を持つ場合抽出できるが、フィルターの周波数特性が急峻すぎるため、音色の変質をもたらしてしまう。そのためくし型フィルターは採譜等には有用である [4] が、イコライジングには不向きである。

またこれらの問題を解決した手法として糸山らによる楽譜情報を援用し、NMFを用いた手法が存在する [5]。しかしNMFを用いる手法は、計算量が非常に多く実用化が難しい [6] こともあり、楽器練習を行いながら使用するには問題があった。

本稿では、楽譜情報を援用し、作成したサブバンドにより、対象のパートを倍音構造を保ちつつ抽出することで、本来その楽器の持つ音色のまま、単音の抽出を行う。

3 サブバンドを用いた楽器音抽出

提案手法はサブバンドを用い、演奏音データの抽出部分とパーセバルの定理 [7] をもとに抽出音を修正する部分、補正した音を元の音源に足し合わせる部分に分けることができる。

3.1 演奏音データの抽出

手元にある楽譜情報をもとに、抽出したい音が音階の変化のない期間にあわせて音源を分割する。

明確な音高を持つ楽器音は倍音構造を持っている。抽出目的音の基本周波数および高調波成分は楽譜の音高情報を元に決定する。倍音構造を考慮した楽器音抽出のため、抽出対象音の基本周波数および、倍音の前後 30Hz を通すようにバンドパスフィルターを作成する。くし型フィルターではフィルタ特性が急峻すぎて対応することのなかったチューニングのずれにも対応させるためである。また基本周波数の設定だが、手元にある楽譜の音高情報により抽出したい音の音高にあわせ、バンドパスフィルターで除去する基本周波数を決める。なお高調波成分は2次から30次の高調波成分までを対象とする。楽器の特性上30次以上の高調波成分の大きさはほぼ0であるためである。また、抽出する音を30次倍音にまで限定することで、サンプリングレート以下の抽出対象音の周波数以外の高調波成分の抽出を避けられる。

最後に分割された音源がバンドパスフィルターをとおり出力されたそれぞれのサブバンドを全て足し合わせる。これにより基本周波数および、第30次までの高調波成分の前後30Hzの周波数成分をもつ音の抽出が可能となる。

3.2 抽出楽器の修正

バンドパスフィルターを用いてサブバンドごとに倍音成分を抽出した際に、目的楽器以外の成分を抽出してしまう。これは抽出対象音以外に、抽出対象音の基本周波数および高調波成分をもつ他の音の成分も抽出してしまっているためである。抽出音をより対象の楽器音に近づけるためMIDI音源より得た対象楽器音を用いて抽出音を修正する。

3.2.1 音色の修正

調波成分のパワー比を見本となる音源参照して補正することで、抽出ミスの影響を低減する。ここでの抽出ミスとは、周波数領域にのみ着目しているため、くし型フィルターを使用する際同様、抽出対象の周波数領域に成分をもつ他の楽器の音を抽出してしまうことである。また見本音源としては本人による演奏が望ましいが、本実験では楽器音の特徴を持つ MIDI 音源を使用する。

まず抽出音 x をセグメントごとに分割する。ここで、 i 番目のサブバンドの j 番目のセグメントの抽出音の時間波形を $x_{i,j}$ とし、MIDI 音源の i 番目のサブバンドの時間波形を a_i としたとき、 $x_{i,j}$ と a_i のパワー比 ψ は以下のように求まる。

$$\psi_{i,j} = \frac{\sum_{k=1}^K a_i^2[k]}{\sum_{k=1}^K x_{i,j}^2[k]} \quad (1)$$

ここで K はセグメントの長さ、 k は離散時間インデックスを表す。次に求めた $\psi_{i,j}$ を用いて $x_{i,j}$ の音量を修正する。

$$\sum_{k=1}^K (a_i[k])^2 = \sum_{k=1}^K (\sqrt{\psi} x_{i,j}[k])^2 \quad (2)$$

それぞれのパワーは上式のとおりであり、抽出音のパワーが MIDI のものに近づくよう修正するためにサブバンドにパワー比の平方根をかける。式で表すと修正後の i 番目のサブバンドの j 番目のセグメントの抽出音の時間波形 $s_{i,j}$ は以下のようになる。

$$s_{i,j}[k] = \sqrt{\psi_{i,j}} x_{i,j}[k] \quad (3)$$

すべてのセグメント、サブバンドにおいてこの修正処理を行うことで抽出音の基本周波数および高調波成分のスペクトルが MIDI のものに近づく。パーセバルの定理により

$$\int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} |X(f)|^2 df \quad (4)$$

であり、時間領域での x の値 $x(t)$ のパワーの総和が x の連続フーリエ変換であり、周波数成分を意味する $X(f)$ のパワーの総和と等しいことが示されている。したがってサブバンド波形でこの処理を行ったとき抽出音全体の周波数領域においても補正が行われていることになる。また本手法により修正音はセグメント内では音量の変化情報を保ったままスペクトルの修正が行える。

3.2.2 音量の修正

フレームごとに独立に抽出してしまうと、抽出音の音量が対象音以外の楽器の影響を受ける。具体的にはフォルテピアノやアクセントのような音量の急激な変化がそういった音量指定のない場所であっても生じてしまう。こうした抽出音の音量の急激な変化を避けるために、対象音の音量変化に合わせ音量を修正する。抽出音 s の j 番目のセグメントの i 番目のサブバンドのパワー $P_{i,j}$ を以下のように定義する。

$$P_{i,j} = \sum_{k=1}^K s_{i,j}^2[k] \quad (5)$$

ここで、楽器音のパワーはなめらかに変化すると仮定し、楽器が本来持つ揺らぎ α とする。パワーのセグメント差分 $\Delta P_{i,j}$ を楽器が本来持つ揺らぎ α を許す形で、以下のように求める。

$$\Delta P_{i,j} = \begin{cases} \alpha & (P_{i,j+1} - P_{i,j} > \alpha) \\ P_{i,j+1} - P_{i,j} & (|P_{i,j+1} - P_{i,j}| \leq \alpha) \\ -\alpha & (P_{i,j+1} - P_{i,j} < -\alpha) \end{cases} \quad (6)$$

これにより音量の変化を α 未満に抑えることができる。なお本実験では $\alpha = 10^{-1}$ とした。これは MIDI 音源の定常部分で観測されるゆらぎが大きいもので 10^{-1} 程度であるためである。よって、 $s_{i,j+1}$ の音量は以下のように修正できる。

$$\xi_{i,j} = \frac{P_{i,j} + \Delta P_{i,j}}{P_{i,j+1}} \quad (7)$$

$$s_{i,j+1}[k] = \sqrt{\xi_{i,j}} s_{i,j}[k] \quad (8)$$

求められた $s_{i,j}$ を Overlap-add を用いて再合成することにより、修正抽出音 s を得る。

3.3 多重音と修正抽出音の加算合成

修正された抽出音と多重音を加算合成することにより抽出音の強調を実現する。多重音もしくは抽出音に任意の数をかけた後に加算合成することで強調度を調節することができる。

4 評価実験

抽出精度を評価するために MIDI 音源の混合音から単音の抽出実験を行った。また抽出実験では多くの楽器音の含まれる混合音からの抽出を行う必要があるため、抽出には吹奏楽で使用される主要楽器の数を網羅する 8 種類以上のパートがあり、4 小節以上の長さがあるものを使用した。また抽出対象音としてはホルン音を選択した。また今回作成するバンドパスフィルターは次数 1500 の FIR フィルターとした。フーリエ変換長は $N = 1024$ 点とした。またセグメントの分割点は 1024 点とする。また今回のシステムの実装には数式処理ソフト MATLAB を用いている。また MIDI 音源の作成には domino(version1.42) を用いている。MIDI データは Timidi95(version2.1(005)) を用い wav に変換したものをを用いている。評価では原音と抽出音の音質、乖離度をスペクトル歪と SNR を用いて評価した。スペクトル歪 D_t は以下の式で求められる。

$$D_t = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_w (10 \log_{10} (M_{w,t}/R_{w,t}))^2} \quad (9)$$

但し、 M は MIDI 音源のスペクトル、 R は抽出音のスペクトルである。スペクトル歪は抽出音と対象音の誤差を表す量なので数値が小さいほど結果としては高性能となる。今回は抽出を行った基本周波数および高調波成分部分のみで比較を行った。また SNR は原音と、抽出音と原音の誤差のエネルギー比であり、以下のように求められる。

$$\text{SNR}[\text{dB}] = 10 \log_{10} \frac{\sum_{w,t} M_{w,t}^2}{\sum_{w,t} (M_{w,t} - R_{w,t})^2} \quad (10)$$

これは抽出対象音と抽出音中に含まれる雑音のパワー比であり、大きい数値をとるほど高性能であることを表す。

また楽器のスペクトル包絡は、正の傾きの対数曲線と負の傾きの対数曲線を用いて近似することができる。これらに対数軸にプロットすることで直線で近似することができる。このときの正の傾きを RR(Rising Rate)、負の傾きを ROR(Roll Off Rate)、2 直線の交点の周波数を COF(Cut Off Frequency) とする [8]。これらの値のホルン音らしさの範囲は RR が -7 から $22\text{dB}/\text{dec}$ 、COF が 155Hz から 932Hz である。またホルン音らしさに関しては、音らしさは ROR に依存しないためどのような値をとっても良い [9]。抽出後のこれらのパラメータチホルン音らしさの範囲にあるかどうかとも評価した。

4.1 MIDI 音源からの単音の抽出

楽曲のスコアから生成した多重音の MIDI 音源から単音を抽出する。また作成した MIDI 音源は嵐の“ナイスな心意気”、榎田 鉄之扶の“元禄”である。テンポは“ナイスな心意気”が 126bpm 、“元禄”が 60bpm である。

図 1 が抽出対象となる部分の“ナイスな心意気”のスコアである。今回の“ナイスな心意気”の抽出ではパートの構成は 10 の楽器からなり、ホルンは 1st, 2nd, 3rd の 3 パートにわかれる。今回は 1st を抽出した。

“元禄”の抽出ではパートの構成は 13 の楽器からなり、ホルンは 1st と 2nd にわかれており、1st を抽出した。

“ナイスな心意気”は音の高さが変動する一般的な譜形である。“元禄”ではアルペジオと呼ばれる和音を、拍をずらし和音の下の音から順に重ねていく譜形である。

図 2 は“ナイスな心意気”MIDI 音源の 1 小節目から 1 つ目のホルン音の時間分切り出したスペクトログラムを 0Hz から 8KHz までの範囲で拡大したものである。横軸が時間、縦軸が



図 1. “ナイスな心意気”(嵐) スコア

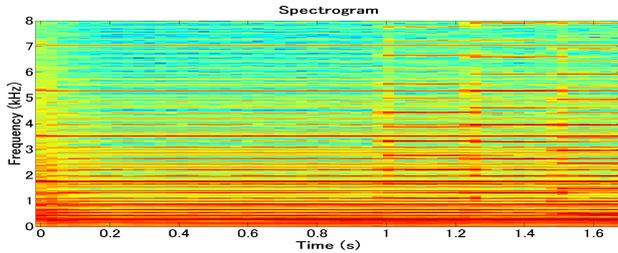


図 2. “ナイスな心意気”(嵐) の MIDI のスペクトログラム

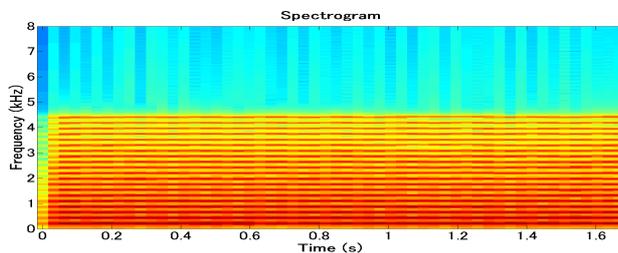


図 3. MIDI から抽出した “ナイスな心意気”(嵐) のホルン (1st) のスペクトログラム

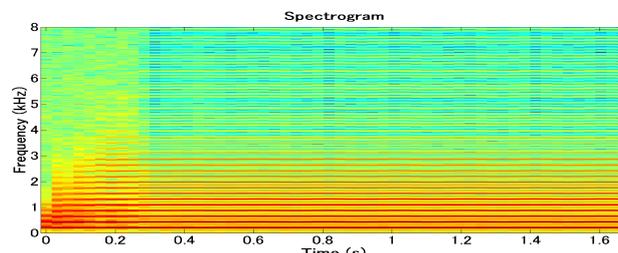


図 4. ホルン 1st の MIDI 音源のスペクトログラム

周波数を表し、色でその時間、周波数の強さを表している。図 3 は “ナイスな心意気” MIDI 音源の 1 小節目の 1 つ目のホルン音の時間分切り出した音源からホルン音の抽出を試みた音のスペクトログラムを 0Hz から 8KHz までの範囲で拡大したものである。図 3 よりホルンの基本周波数 220 Hz およびその整数倍の高調波成分の周波数帯域が強くなっていることから、倍音構造を維持したまま抽出ができていたといえる。図 3 では図 2 にあるクラリネットやピッコロのものである高い周波数成分も除去されており、十分抽出ができていたといえる。また図 4 はホルン 1st 単音の MIDI 音源のスペクトログラムであるが、図 4 と比較してもホルン 1st の基本周波数および高調波成分が十分抽出ができていたように見える。

しかし 0 秒から 0.2 秒あたりの音の立ち上がり部分に関してだが MIDI 音源のものとは大きく異なっている。これは音色の修正の際に MIDI 音源の定常部分の音を使用しているためである。立ち上がり部分、定常部分に分け抽出および修正を行う必要がある。しかし安藤らの研究によれば立ち上がり部分に含まれる周波数成分は定常部分における周波数成分とは異なっている [9]。したがってバンドパスフィルターを用いて実際に抽出を行うべきかどうかは今後実験を行って確認していく必要がある。また立ち上がり部分の抽出および修正を行う際に MIDI 音源の定常部分ではなく、MIDI 音源の立ち上がり部分を使用すれば、立ち上がり部分も含め音の抽出が行える可能性もある。

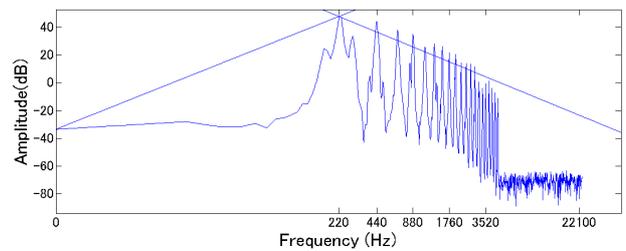


図 5. 抽出した “ナイスな心意気” のホルン (1st) のスペクトル包絡

表 1. “ナイスな心意気”(嵐) MIDI スペクトル包絡

	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6
RR	0.038	0.036	0.039	0.052	0.038	0.038
ROR	-0.101	-0.121	-0.093	-0.101	-0.104	-0.102
COF	220	220	220	220	220	220

表 2. “元禄”(榎田 鉄之扶) スペクトル包絡

	# 1	# 2	# 3
RR	0.0330	0.0440	0.0370
ROR	-0.1260	-0.1460	-0.1310
COF	311	349	261

そちらも合わせて実験を行い確認していく必要がある。

図 5 は “ナイスな心意気” の MIDI 音源からホルンを抽出したスペクトル包絡である。最小二乗法より求めた抽出音の RR, COF, ROR は 0.038dB/dec, 220Hz, -0.101dB/dec である。また各音の定常部分における包絡は “ナイスな心意気” が表 1, “元禄” が表 2 のとおりである。表中の # はその後に続く数字番目の音を意味する。表 1, 2 よりこれらの抽出音がホルンの音らしい音であるといえる。

また各音の定常部分におけるスペクトル歪率は表 3 に、SNR を表 4 に示す。スペクトル歪率についてみると、抽出精度は高くないが十分抽出は行えている。また SNR についてだが、糸山らの楽譜情報を援用した手法と比較すると、抽出精度が 15dB 程度低い。しかし楽譜情報を用いない手法 [10] と比較すると、同等以上の抽出能力を持っている。また resonator 型のくし型フィルターを利用した従来手法との性能を比較するため MIDI 音源からの抽出と同様の部分で抽出を行い、SNR, スペクトル歪を算出した。

表 3. 音別のスペクトル歪 [dB]

“ナイスな心意気”		“元禄”	
# 1	2.91	# 1	5.94
# 2	2.97	# 2	4.15
# 3	2.71	# 3	4.03
# 4	4.02	平均	4.70
# 5	6.83		
# 6	7.46		
平均	4.48		

表 4. 音別の SNR [dB]

“ナイスな心意気”		“元禄”	
# 1	20.28	# 1	13.34
# 2	15.44	# 2	16.23
# 3	15.00	# 3	16.15
# 4	14.52	平均	15.24
# 5	16.53		
# 6	11.09		
平均	15.48		

表 5. くし型フィルターで抽出した音別の SNR [dB]

“ナイスな心意気”		“元禄”	
# 1	2.12	# 1	-0.22
# 2	2.02	# 2	4.64
# 3	1.89	# 3	5.29
# 4	2.67	平均	3.2377
# 5	2.08		
# 6	0.47		
平均	1.87		

それぞれの音での SNR は 5 のようになった。有意差があることを示すために t 検定を行った結果、1 パーセントの水準で有意差があることが認められた。

4.2 録音音源からの単音の抽出

図 4 はホルン 1st の MIDI 音源のスペクトログラムである “ナイスな心意気” の実演奏音源からホルンパートの抽出を行った。録音音源は遮音壁に囲まれた音楽練習場で収録したものであり、120bpm になるように指揮したものである。

図 6 は録音音源のスペクトログラム、図 7 は抽出音のスペクトログラムである。録音音源の 0 秒、0.5 秒、1.1 秒 1.6 秒付近を見ると 5kHz 以上の高周波が存在するがスネアドラムの音である。図 7 の抽出音ではスネアドラムの高周波が除去されてい

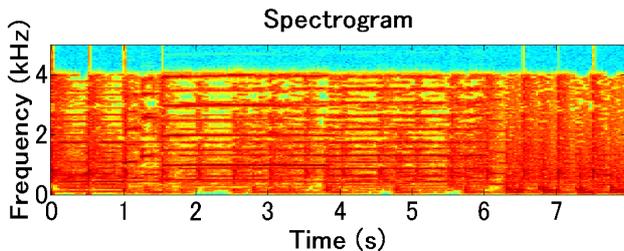


図 6. 録音音源のスペクトログラム

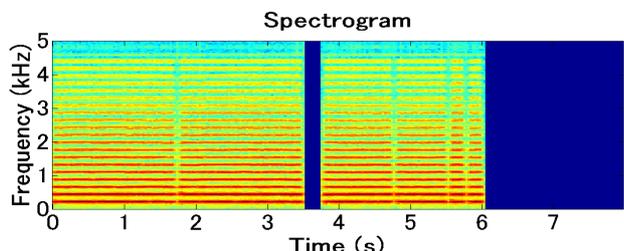


図 7. 録音音源からの抽出音スペクトログラム

表 6. “ナイスな心意気”(録音音源)のスペクトル包絡 (dB/dec)

	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6
RR	0.039	0.036	0.039	0.033	0.038	0.038
ROR	-0.091	-0.113	-0.089	-0.093	-0.098	-0.098
COF	220	220	220	220	220	220

表 7. “ナイスな心意気”(録音)のスペクトル歪

音	スペクトル歪 [dB]
# 1	3.56
# 2	6.56
# 3	4.77
# 4	4.93
# 5	5.42
# 6	6.08
平均	5.22

ることがわかる。また図 4 の MIDI 音源と比較すると MIDI の音に近い音が抽出されていることがわかる。このことからホルン音は十分抽出できているといえる。

またスペクトル包絡の形を調べたところ、各音の定常部分における RR, ROR, COF は表 6 のようになり、MIDI 音源から抽出した際と同様ホルン音の音らしさの範囲内にある。

また抽出対象音が MIDI の音ではなく実際の演奏音のため、MIDI 音源からの抽出の際信頼性はないが、疑似的に抽出対象音とし、スペクトル歪を算出したところ、表 7 のようになった。表 7 から、録音音源でも抽出が行えているといえる。以上から MIDI の音源だけでなく録音音源でも楽器音の抽出が可能であることがわかる。またこの録音音源はアマチュアの楽団の練習を録音したものであるため、チューニングのずれがある。今回の実験では大きな問題もなく抽出できているため一般的に考えるチューニングのずれには対応していると思われる。

5 あとがき

MIDI 音源と抽出音とのスペクトル歪を評価したところ平均は 4.55dB, SNR を評価したところ平均は 15.40dB となった。SNR は糸山らの従来手法と比べ、15dB 程低く高品質とはいえない。しかし Resonator 型のくし型フィルターを利用したものと比較したところ SNR は 11dB 程高く、スペクトル歪は 3dB 程低くなった。くし型フィルターを利用したものと比較して性能改善は行えている。また抽出したホルン音のスペクトル包絡を比較したところ RR, ROR, COF は安藤の主張するホルン音の音らしさ範囲内であった。そのため本イコライザーは演奏パートを十分抽出できており初心者楽器練習の観点からみても有用である。

今後の課題だが音量の補正を行ってはいないが、打楽器等の強い音が混合音中に含まれていれば、抽出音に多少の揺らぎが生じてしまう。同様に音質の補正を行っているものの、抽出対象音に含まれる高調波成分以上のものを抽出してしまう問題があ

る。フィルターの次数等最適なパラメーターを見直し、音量、音質の修正精度を高める必要がある。

また楽器の演奏でグリッサンドやポルタメント等ピッチが連続的に変化する場合がある。その際バンドパスフィルターの通過帯域を設定できず、本手法はこのような奏法には対応しない。現在ピッチ推定の研究は盛んに行われている [11] ためこうしたピッチ推定の研究と合わせることによって解決が図れる。

また音の立ち上がり部分に関してだが現在定常部分と同様の処理を行っている。立ち上がり部分に含まれる周波数成分は定常部分における周波数成分とは異なっているため、定常部分と立ち上がり部分で抽出および修正法をかえる必要がある。MIDI 音源の立ち上がり部分の音を使用し、抽出および修正を行えば立ち上がり部分も含め音の抽出が行える可能性もあるが立ち上がり部分に含まれる周波数成分と定常部分における周波数成分の差のためバンドパスフィルターによる抽出が適当であるとはいえない。今後実験を行い、立ち上がり部分の抽出方法を研究していく必要がある。

またその他の課題として本イコライザーにはユーザーインターフェースが無くコンソールへ直接譜面情報を入力している。入力は非常に煩雑な作業であり、練習意欲を削ぐ可能性が高い。譜面情報のスキャンによる、自動入力の研究等も行われている [12] ため、その研究と併用し入力の自動化を行い、手間を省くことができるユーザーインターフェースを作成すればより良いものとなる。

また吹奏楽においては楽曲によってはプロによる見本となる音源が存在することもある。すべての楽曲に見本となる音源が存在するわけではないため見本音源を使用することを検討しなかったが、見本音源が存在する場合は、見本音源と練習音源それぞれの抽出や差分情報を出力する等、初心者楽器練習の観点から考えて有効な活用法が考えられる。

参考文献

- [1] 小泉宣夫, 岩崎真 “サウンドシンセシス 電子音響学入門”, 講談社, 2011
- [2] 三輪多恵子 “くし形フィルターを利用した採譜のための異楽器音中のピッチ推定”, 電気学会論文誌 C, 118,1, pp.57-64, 1998
- [3] 三輪多恵子, 田所嘉昭・斎藤努 “くし形フィルターによる楽器音の採譜の問題点とその解決法の検討”, 電子情報通信学会技術研究報告, 100,328, pp.25-32, 2000
- [4] 寺井優, 田所嘉昭 “Resonator 型くし形フィルターによる打楽器音を含む楽音の音高推定法の検討”, 情報処理学会研究報告, [音楽情報科学],78,pp119-124,2008
- [5] 糸山克寿, 後藤真孝, 駒谷和範, 尾形哲也, 奥乃博 “楽譜情報を援用した多重奏音楽音響信号の音源分離と調波・非調波統合モデルの制約付きパラメータ推定の同時実現”, 情報処理学会論文誌,49,3, pp.1465-1479,2008
- [6] 仲野翔一, 山本一公, 中川聖一, “NMF と VQ 手法による音楽重畳音声の音声認識”, 電子情報通信学会技術研究報告, 111, 97, pp.23-28, 2011.
- [7] Plancherel, Michel (1910) “Contribution a l’etude de la representation d’une fonction arbitraire par les integrales dfinies,” Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo, vol. 30, pages 298-335.
- [8] W.Strong,M.Clark “Synthesis of Wind-Instrument Tones”, J.A.S.A., vol.41,1967,p.39.
- [9] 安藤由典 “金管楽器音の持続部分と立ち上がりにおける特徴物理量について”, 音楽学, 日本音楽学会, 30,2, pp.89-107, 1984
- [10] 荒井佑真, 東山三樹夫, 白井克彦 “サブバンド信号振幅変化に着目した音源分離”, 情報処理学会研究報告, 12, pp.139-144, 2008
- [11] 亀岡弘和, 西本卓也, 篠田浩一, 嵯峨山茂樹 “ハーモニック・クラスタリングによる多重音の基本周波数推定アルゴリズム”, 情報処理学会研究報告, pp.48, 27-32, 2003
- [12] 宮尾秀俊, 中野康明 “楽譜の自動認識における音符記号の抽出”, 情報処理学会研究報告, 94, pp.7-14, 1994