

音響記録媒体の表面画像による信号抽出

大内 康裕[†]

†千葉工業大学情報科学部情報工学科

〒275-0016 習志野市津田沼2-17-1

Tel 047-478-0547

E-mail ouchi@cs.it-chiba.ac.jp

あらまし 現在の音響記録媒体としてCD, DVD, レコードなどさまざまな物があり, また, レコードや蠟管では蓄音機により空気の振動を媒体に直接刻んでいくという単純なしくみにより記録が行われている。それら以外にも蓄音機と同じ原理で紙面上などの絵画や文字等に周辺の信号が記録されている可能性も考えられる。そこで, 本研究では純音を出力しながら機械と人間により直線を引き直線上に存在する振動の抽出を行う。その結果, 125Hz, 250Hz の純音を 120dB で出力した場合に周波数スペクトル中に信号の存在を確認することができた。

キーワード 音響記録媒体, レコード, 蠟管, 蓄音機

Signal extraction from the picture of the sound recording media

Yasuhiro OUCHI[†]

† Department of Computer Science, Chiba Institute of Technology

2-17-1 Tsudanuma Narashino-shi Chiba 275-0016, Japan.

Tel +81-47-478-0547

E-mail ouchi@cs.it-chiba.ac.jp

Abstract There are a variety of sound recording media, such as CD, DVD and vinyl record. A gramophone records signals by grooving the vibrations of air directly onto the records or the wax cylinders. There is a possibility that ambient noise can be recorded in pictures and letters on paper by the same principles as a gramophone. Then, in this research, I drew straight lines using a machine and a human being outputting pure tones, and extracted the vibration from the straight lines. Consequently, using the machine and the human being outputting a pure tone(125Hz, 250Hz and 120dB), we were able to see the existence of a signal in frequency spectrum.

Key words Sound recording media, Vinyl record, Wax cylinder, Gramophone

1. まえがき

音響信号を記録するという事は、人と人の中で音響情報を伝えるという重要な役割を果たし、そのことによって劇場などに足を運ばなければ聴くことの出来なかった音楽が家で気軽に聞けるようになるなどさまざまな利点が挙げられる。そして、音響信号の記録は130年の歴史があり、その歴史の中で音響記録の方法、音響記録媒体などのさまざまな変化を見せ現在に至っている。

現在、音響記録媒体として広く普及しているCD、DVDではデジタルに符号化された情報をレーザーにより読み込み高音質な音響信号の再現を可能としている。1980年代以前では、カセットテープ、レコードが主流であり前者は磁気テープにヘッドを用い電氣的に記録・再生を行い、後者はレコード盤に音響信号を溝として刻み、針を用いて機械的あるいは電氣的に再生を行う。それ以前では、蓄音機があり1877年のエジソンの発明以来1920年代まで電氣を用いない音響信号の記録・再生が行われていた。当時の音響記録媒体であるレコード盤、蝋管には空気の振動を針を用いて直接刻むという単純な仕組みにより記録が行われている。蓄音機が発明される以前では音楽を伝える方法は楽譜や民族音楽の伝承に見られる口伝の方法などがあり音響信号そのものを伝える方法ではなかった。

近年、蝋管やレコードから針を用いずにレーザーにより溝だけではなくそれらの表面全体の情報を取り出すことにより音響信号の再生を試みる研究が武岡らにより行われている[1]。これは表面全体の情報から溝の情報を取り出し音響信号を抽出するという手法である。また、蓄音機では非常に単純な原理で音響信号の記録が行われており、蝋管やレコードだけでなく人間により描かれた文字・絵画あるいは壁に垂れた雨水の跡などの自然物の中に蓄音機と同じ原理により周辺等の音響信号が人間・壁などを振動として伝わり、文字・絵画等にその振動が記録されている可能性が考えられる。

本報告では、音響記録媒体の表面の拡大画像から音響信号を抽出することを目的とし、次の2つの実験を行い検討を行う。一つはレコード表面の

拡大画像から音溝の振動そのものを抽出し信号への変換を試みる。音溝の振動を抽出することによりレコードに記録されている信号そのものを再生し、傷・埃などを画像処理、信号処理により取り除くことが可能、非接触であることから貴重なレコードを劣化させないということが考えられる。もう一つはレコードと同様に紙を同じ音響記録媒体と考え蓄音機の原理で紙面上に描かれた直線からその周辺に存在した音響信号の抽出を試みる。具体的には純音を出力しながら人間と機械により紙面上に直線を描き、その直線を顕微鏡カメラにより画像として取り込み直線上に存在する振動を抽出し音響信号に変換をする。

2. レコード表面画像による信号の再生

2-1 LPレコード

LPレコードの音溝は1cmあたり約200本で音溝幅は約0.05mmである。モノラルとステレオがありモノラルはレコード面に対し水平方向のみの1ch、ステレオは水平方向と垂直方向を利用した2chとなる。回転数は33 $\frac{1}{3}$ rpmと45rpmの2種類がある。針の材料はダイヤモンドやサファイアで作られている。Fig.1にモノラルLPレコードの表面の拡大画像を示す。

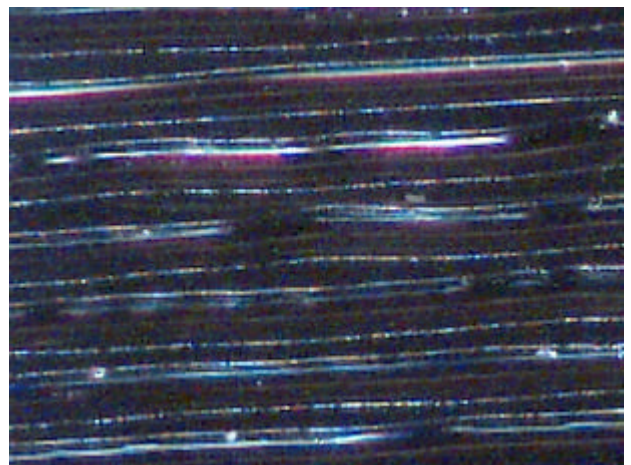


Fig.1 モノラルLPレコードの表面

2-2 音溝画像からの信号抽出

レコード表面の画像から音溝の横方向の振動を取り出す手法として、まずFig.2に示すような 256

階調グレースケールのビットマップ画像の縦方向すなわち音溝方向対し横方向に階調を調べ、その変化を $A_1(x)$ とする。Fig.3に $A_1(x)$ の変化を示し、Fig.2に示す音溝画像の左辺から1番目の列の階調の変化を表す。 $A_1(x)$ の値の大きさは明るさを表しFig.3の最大値をとる位置に音溝があることがわかる。ところが、埃、傷などが存在する場合、一番明るい部分が音溝の位置を表すとは限らない。ここで、音溝の位置を調べるべく $A_1(x)$ と n 番目の列の階調を表す $A_n(x)$ との相互相関関数により $A_1(x)$ とのずれを調べ音溝の横方向の振動とし音響信号を抽出する。また、使用したレコードは1分間に33回転のLPレコードであり1周あたり約1.81秒で再生されていることとなり、レコード1周の撮影を行った結果約215,000pixelを要する。それゆえに1秒間のサンプル数は約118,000個となるのでサンプリング周波数を118,000Hzと設定する。Fig.2に示す音溝画像から抽出した音響信号をFig.4に示す。また、レコード2周分の画像から抽出した音響信号をFig.5、通常のレコードプレーヤを用いて得られた音響信号をFig.6に示す。その結果、ノイズ成分を含むがレコードに記録されている音響信号がレコード表面の音溝画像から得られた。ノイズ成分はFig.7に示す音溝に傷や埃が存在する場合、振動を抽出する際に音溝の位置を正確に求めることが出来ずFig.8のような振動の抽出が行われ生じると考えられる。

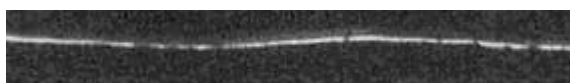


Fig.2 レコードの音溝の拡大画像

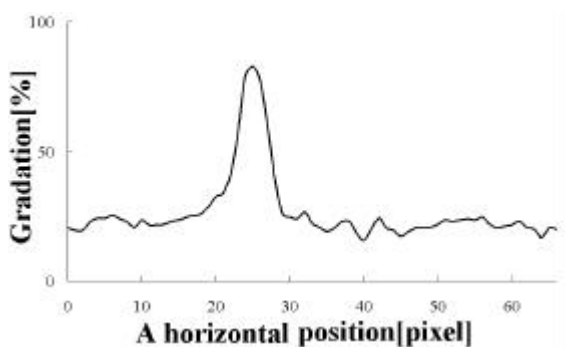


Fig.3 Fig.2の縦方向の階調の変化 (溝に対し横方向の階調の変化)

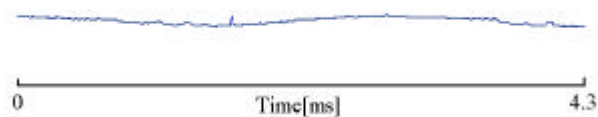


Fig.4 Fig.2から抽出した音溝の位置

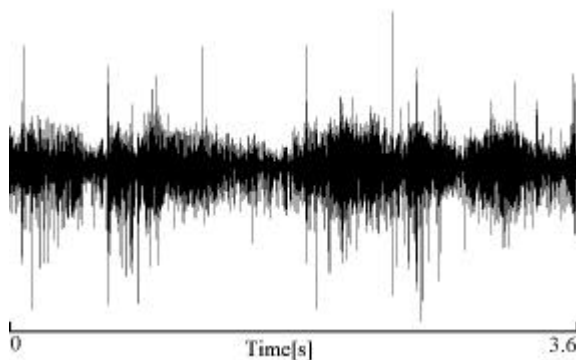


Fig.5 レコード表面の音溝画像を用いたレコード音の信号

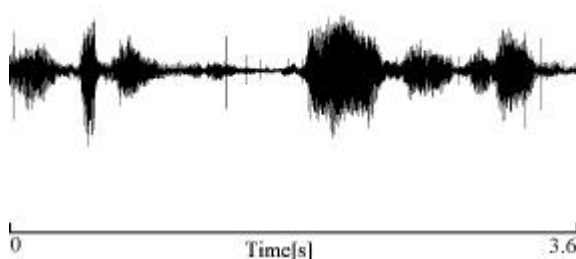


Fig.6 通常のレコードプレーヤを用いたレコード音の信号



Fig.7 音溝に存在する傷や埃



Fig.8 傷や埃による振動抽出の影響

3. 描かれた直線からの音響信号の抽出

2. で述べたレコードの表面画像から音溝の横方向の振動を抽出し音響信号を再生することが出来た。レコードの記録の仕組みと同様に、音による空気の振動がなんらかの経路をたどり紙面上の筆跡などに記録されている可能性が考えられる。本章では、蓄音機と同じ原理により記録されていると思われる人の筆跡中などに含まれる周辺の音響信号の存在の可能性を見出すべく以下の実験・検討を行う。

3 - 1 紙面上への音響信号の記録

まず、紙面上へ直線を描くことにより音響信号の記録を行う。記録装置として紙を一定速度で送り出す装置と軽量の棒の先にペンを取り付けたものを組み合わせて使用する。紙を一定速度で送り出す装置はレベルレコーダ(B&K Type2305)を使用する。通常、レベルレコーダは騒音計などの出力を記録するという目的で使用されるが、本実験ではそのような目的で使用するわけではない。Fig.9に示すようにレベルレコーダとスピーカ(SONY SS-G5)を千葉工業大学無響室にて机の上に配置する。また、ペンを取り付けた軽量の棒は長さ約 1m のポリスチレン製のものを使用し、無響室のくさび型吸音材に取り付け、他端に取り付けてある水性のペンをレベルレコーダに装着されている紙面に接するように配置する。今回の実験ではレベルレコーダの紙送り速度を 30mm/s に設定し記録を行う。Fig.10上部の線が上記の方法により描かれた直線であり、図中の長さは約 2cm である。また、機械を用いずに人間による記録では人間が水性のペンを持ち体は机に触れないように椅子に座りながら記録を行う。ペンのスピードはおよそ 0.6m/s である。信号は 125Hz 250Hz 500Hz の純音を用い、それぞれペンの位置で 120dB, 110dB, 100dB となるようにスピーカから出力する。純音は計算機により作成したサンプリング周波数 48kHz, 16bit 量子化の信号を DAT に取り込んだものを使用する。

3 - 2 紙面上の直線からの信号の抽出

3 - 1 による手法により紙面上に記録された直

線をFig.10に示す。Fig.1に示すレコード音溝の画像に比べ線が振動している様子を確認するのは困難である。ここで、2. で述べたレコードの音溝の振動の抽出と同様の手法を用い描かれた線の横方向の振動の抽出を行う。



Fig.9 スピーカと線の記録装置

描かれた直線を画像として取り込む手段としてモデリングマシン(Roland PNC-2700)と顕微鏡カメラ(IntelPlay QX3)を組み合わせたFig.11に示す装置を用いて行う。Fig.11中の左にあるものがモデリングマシンで X,Y,Z 軸方向の移動を細かに制御することができる。この装置を用い顕微鏡カメラを移動させ 0.5mm の幅で画像を取り込み、それらを結合することでFig.12に示す画像を得ることができる。Fig.12に示す直線は長さ約 1.5mm である。

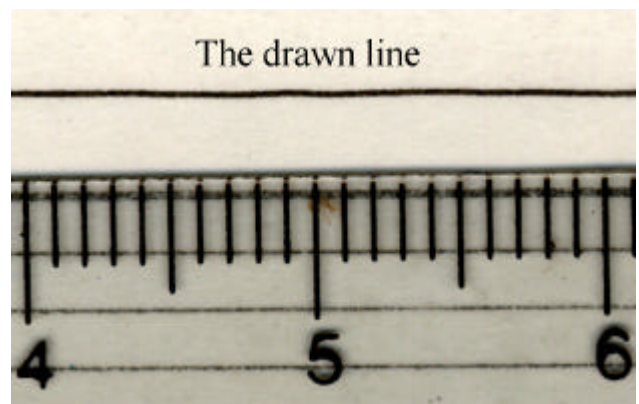


Fig.10 描かれた直線の拡大画像
(125Hz,120dB を出力しながらの記録)



Fig.11 直線の画像読み取り装置



Fig.12 記録した直線の拡大画像
(125Hz,120dB を出力しながらの記録)

直線の拡大画像からレコードの場合と同じように諧調の変化を用いて線の位置を求め、直線の振動を抽出する。Fig.13に 125Hz,120dB で出力しながら記録した直線の振動, Fig.14に 250Hz,120dB で出力しながら記録した直線の振動, Fig.15に無音状態で記録した直線の振動を表す。この場合 紙送り速度が30mm/sであり30mmの長さに約 18500pixel を要するのでサンプリング周波数を 18500Hz と設定する。これらの図を比較すると純音の存在は確認できない。そこで、これらの信号に対し FFT を行い周波数スペクトルを調べる。ここでは、8192point の区間を方形波窓によりそのまま切り出し FFT を行う。1point ずつ時間軸方向に移動し FFT を行い、得られたスペクトルから各周波数に対し平均を行うことによりノイズ成分を小さくする手法を用いる。Fig.16に 125Hz,120dB で出力しながら記録した直線の振動のスペクトル, Fig.17に 250Hz,120dB で出力しながら記録した直線の振動のスペクトル, Fig.18に無音状態で記録した直線の振動のスペク

トルを表す。これらの結果から 100Hz から 1000Hz の範囲で最大の周波数を求めると、僅かではあるが記録時にスピーカから出力していた純音に近い周波数が得られる。また、無音状態で記録した場合は 261.96Hz にスペクトルの最大値が見られた。

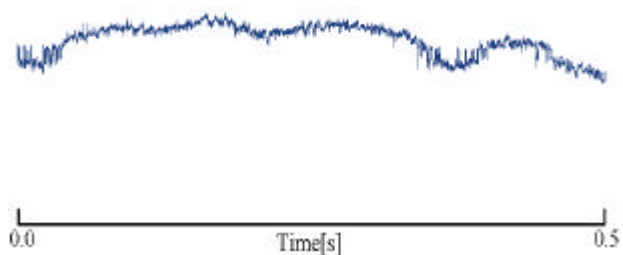


Fig.13 125Hz,120dB で出力しながら記録した直線の振動

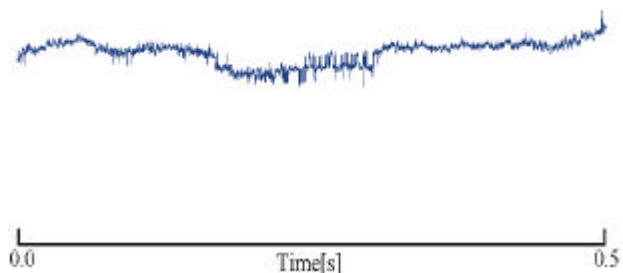


Fig.14 250Hz,120dB で出力しながら記録した直線の振動

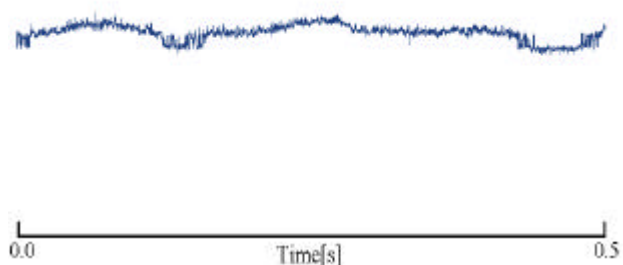


Fig.15 無音状態で記録した直線の振動

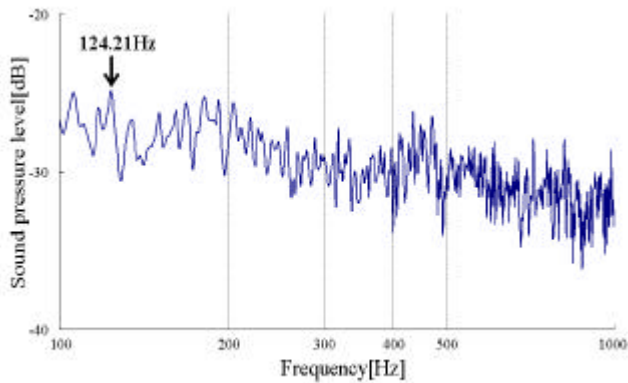


Fig.16 125Hz,120dB で出力しながら記録した直線の振動のスペクトル

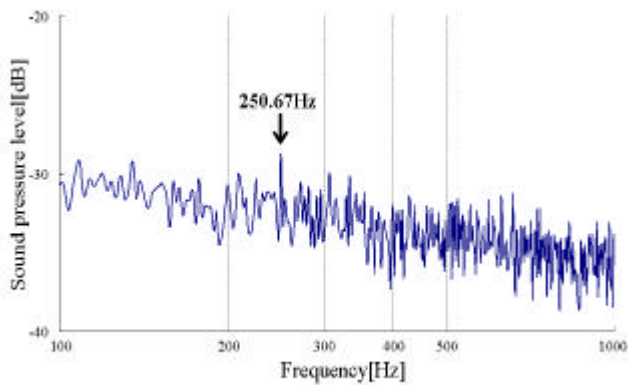


Fig.17 250Hz,120dB で出力しながら記録した直線の振動のスペクトル

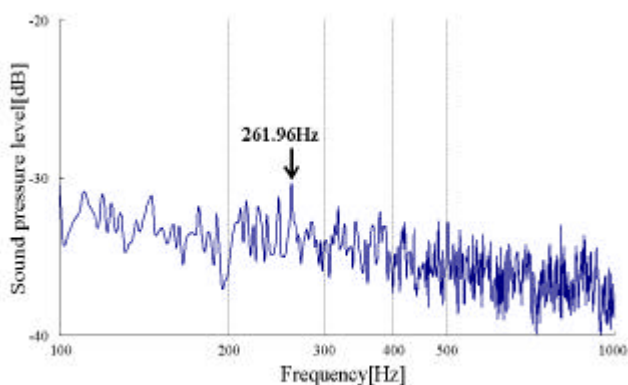


Fig.18 無音状態で記録した直線の振動のスペクトル

4. むすび

本報告で音響記録媒体の表面の拡大画像から音響信号を再生するという目的で二つの実験を行い検討を行った。一つはレコードの表面の拡大画像から音溝の横方向の振動を抽出し音響信号の再生を試みた。二つ目はレコードの場合と同様に蓄音機と同じ原理により音響信号が記録されていると思われる紙面上の描かれた直線から微小な横方向の振動を抽出し記録時に存在した音響信号の再現を試みた。

その結果、レコードでは音溝の振動を画像から抽出することが出来、再生が可能であった。今回の画像の取り込みは光学 200 倍という倍率で行い音溝の変動は高々 4bit で表現出来る程度であり、また撮影時のレコードに照射する光の向きなどにより音溝に影などが現れ、溝の位置が正確に抽出できないという結果も得られた。今後は、さらに高倍率、またレコードに照射する光の角度などを検討することにより抽出する音響信号の音質は向上するものと思われる。

紙面上からの音響信号の抽出では、125Hz、250Hz、500Hz の純音をそれぞれ 120dB、110dB、100dB で出力しながらまたは無音状態で紙面上に直線を描き、それらの拡大画像から直線の振動を抽出し音響信号に変換したところ、波形そのものには純音は見られないが FFT により周波数解析を行ったところ無音状態で記録した結果では見られないピークが 120dB で出力したときの状態に限りスペクトル上に僅かではあるが存在が確認でき、蓄音機と同じ原理により人間や機械により描かれた直線にも音響信号の記録の可能性を見出すことが出来たと言える。今回の実験では、120dB よりも小さい純音に関しては確認は困難であったが、さらに小さいレベルの音源の抽出するべく直線の横方向の振動の抽出方法の検討、またはレコードと同様、撮影時の倍率等を検討する必要がある。

参考文献

[1] 武岡成人, 山岡憲二, 山崎芳男, "レーザー前面読み出しによる蝋管の再生," 音講論集, pp.563-564, 2002.3.