

平成28年 卒業研究論文

疑似ラインセンサーを用いた
SPレコード音検出

北海学園大学工学部 電子情報工学科
魚住研究室

4513213

クーン・トビアス

2016年10月11日

目次

第1章	はじめに	2
第2章	概要	3
2.1	実験装置	3
2.1.1	接続図	3
2.1.2	CCD カメラ	4
2.1.3	パルスステージ	4
2.2	音溝形状と光照射	5
2.3	プログラム構造	5
第3章	部分読み出し法	8
3.1	撮像段階での問題	8
3.1.1	重複部分問題	8
3.1.2	湾曲問題	11
3.1.3	うねり問題	13
3.2	部分読み出し法の利点・欠点	14
第4章	画像データ生成	15
4.1	SPRecAnalyzer	15
4.1.1	物理的距離検出	15
4.1.2	自動撮像機能	15
第5章	画像処理	16
5.1	SpliceBot	16
5.2	SigExBot	16
5.3	Needle	17
5.4	fftf.m	17
第6章	結論	18

第1章 はじめに

ここをメモ用に使おう。この論文の構造について考えたいと思い。

-- 概要 --

- 実験装置
- 音溝形状と光照射
- プログラム構造

-- 部分読み出し法 --

- 撮像段階での問題
- 部分読み出し法の利点・利点

-- 画像処理 --

- SpliceBot
- SigExBot
- Needle

-- 結論 --

-- 結論 --

- 少なくとも一つの箇所を完璧に書こう。今日は部分読み出し法のところに挑もう。

第2章 概要

本研究で用いた実験装置，撮像法とプログラム構造について説明する．

2.1 実験装置

SP レコードの撮像に用いられる実験装置を図 2.1 に示す．レコードの下にあるパルスステージはレコードをカメラの位置に対して平行に（図 2.1 で言うと左右に）動かす．この平行移動をパルスモータ F が実装する回転運動と組み合わせると，SP レコードの全領域を顕微鏡の下に持ってこられる仕組みができる．

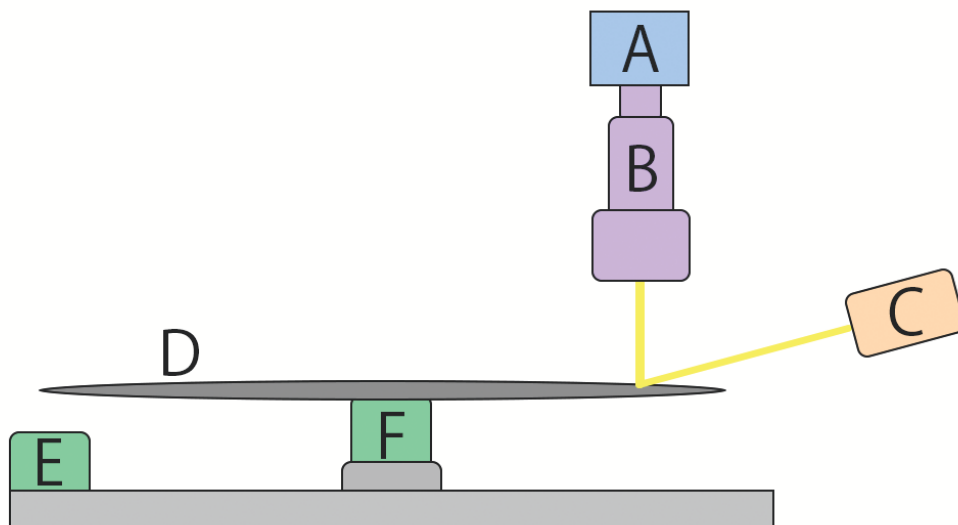


図 2.1: 実験装置の設定

2.1.1 接続図

それぞれの実験装置がどのようにしてパソコンと繋がっているかを図 2.2 に示す．GigE バスはパソコンの NIC（Network Interface Card）と接続される．

- A CDD カメラ
- B 顕微鏡
- C 照射装置
- D SP レコード
- E パルスモータ、平行移動用
- F パルスモータ、回転用

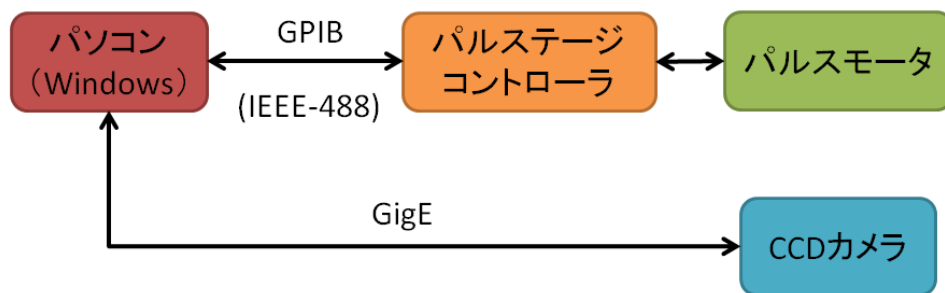


図 2.2: 実験装置の設定

2.1.2 CCD カメラ

本研究で使用されているカメラは JAI 社の「BB-500GE」である。カメラの最大解像度は 2456(h)x2058(v) であるが、Variable Partial Scan 機能を利用して実際にデータとしてパソコンに送られるのはもっと幅が狭い領域のデータである。表 2.1 にカメラのパラメータの設定を示す。

画像データ生成段階で SP レコードを一定の速度で回転させながら順次に撮像を行うため、ExposureTimeRaw パラメータ（無単位）は実験的にぶれが生じないように設定した。表 2.1 のパラメータは全て自作の C# プログラムで設定される。SoftwareTrigger を実行して画像一枚取得するためのコードを図 2.3 に示す。

```
// We need to "pulse" the Software Trigger feature in order to trigger the camera!
myCamera.GetNode("SoftwareTrigger0").Value = 0;
myCamera.GetNode("SoftwareTrigger0").Value = 1;
myCamera.GetNode("SoftwareTrigger0").Value = 0;
```

図 2.3: C# プログラムの中からカメラの SoftwareTrigger を実行させるためのコード

2.1.3 パルスステージ

パルスステージの仕様を図 2.2 に示す。

表 2.1: JAI BB-500GE のパラメータの設定

ROI 範囲設定	2456 (h) x 32 (v)
GainRaw	550
ExposureTimeRaw	222
AcquisitionMode	Continuous
ExposureMode	EdgePreSelect
PartialScan	Variable Partial Scan
VariablePartialScanStartLine	1013
VariablePartialScanNumOfLines	32
TriggerSelector	FrameStart
TriggerMode	On
TriggerSource	Software
LineSelector	CameraTrigger0
LineSource	SoftwareTrigger0
LineInverter	ActiveHight

表 2.2: パルスステージの仕様

degrees per pulse (回転運動)	0.0025
mm per pulse (平行移動)	0.002

2.2 音溝形状と光照射

顕微鏡を通して撮像される光から SP レコードの音溝に記録されたデータを復元するのが本研究目標であるから、撮像されるデータに音溝の形状が何らかの方法で読み取れなければならない。これを成し遂げるために、光を斜めに照射して、音溝の壁の一部が明るく映るようにするのが有力な方法であることが過去の研究でわかった (ref!)。図 2.4 に光の反射具合を模式的に表す。

図 2.4 を見てわかるように、SP 盤に対して垂直に反射する光は、音溝の壁部分が一番多い。一方、音溝以外の平面部分で反射する光は垂直に反射せず、顕微鏡にはほとんど入らない。この設定でカメラと顕微鏡で撮像した画像を図 2.5 に示す。

2.3 プログラム構造

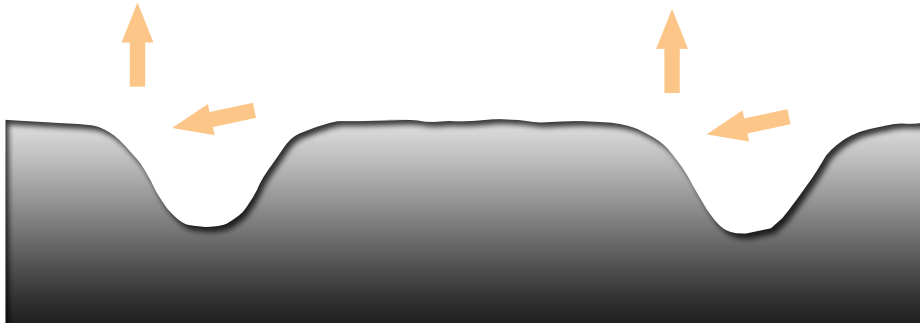


図 2.4: 反射の仕方

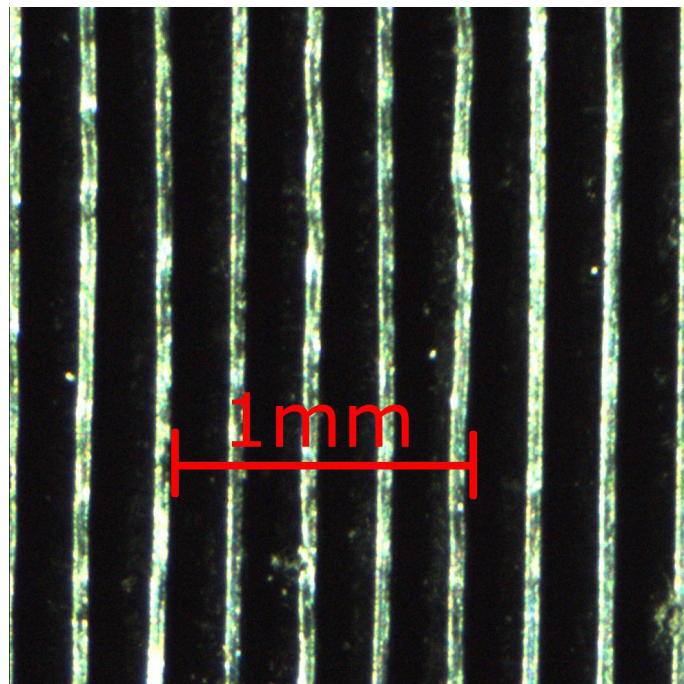


図 2.5: SprecMicroscopeImgLabaled

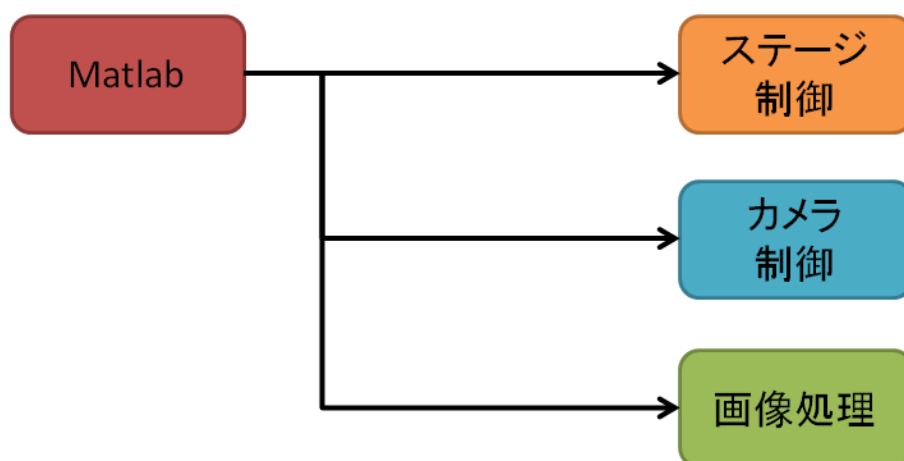


図 2.6: Prog Setup Old

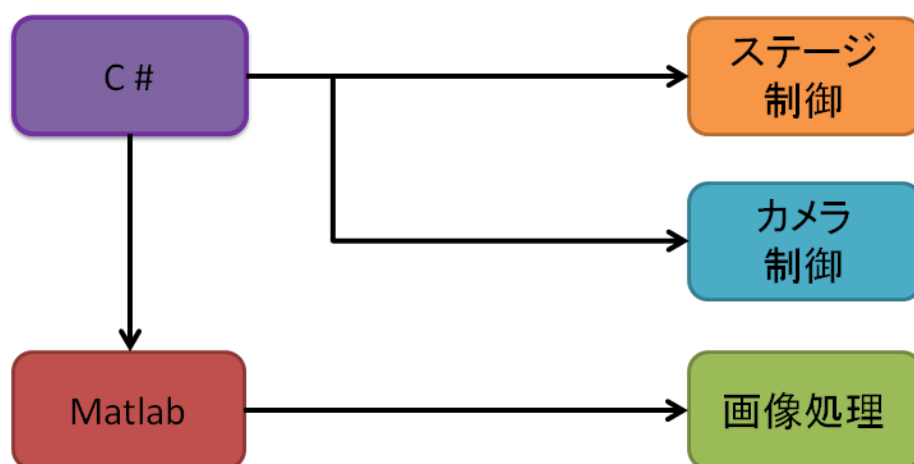


図 2.7: Prog Setup New

第3章 部分読み出し法

カメラが撮影した画像データの一部しか用いない部分読み出し法には利点もあれば欠点もあり，撮像段階で直面する問題とその解決の説明を通じてそれらについて考察する．

3.1 撮像段階での問題

画像処理技術を適応し音溝から音データを抽出するためには，画像上の音溝データが連続的で，余分な重複などがないものでなければならない．四角形の画像を撮影するカメラでその下を回る円盤の表面を撮像する際どのような問題が起きるかを調べて，解析する．

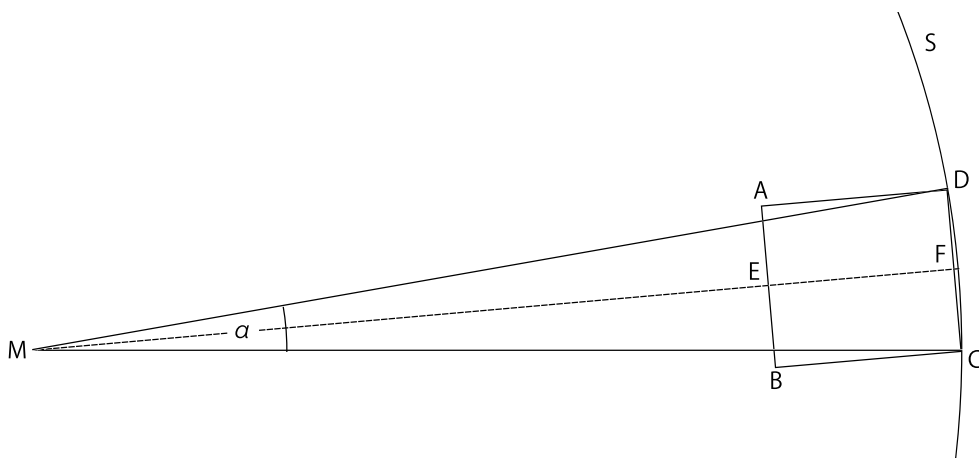


図 3.1: 撮像の様子を幾何学的に表した図

図 3.1 において，四角形 ABCD がカメラの撮像範囲，S が SP レコードの外側，M が SP レコードの中心， α が次の画像を取るための回転角度だとする．また $\overline{EG} = \overline{GF}$ である．

3.1.1 重複部分問題

図 3.2 の四角形 A, B, C が順番に撮像された画像範囲だとする．このとき，それぞれの撮像範囲が重なることがわかる．撮像範囲が四角形であることを前提とする

と、画像をどのように撮像しても重複部分、または情報損失が生じる。音溝から音を抽出する画像処理段階で、情報損失があってはならない。重複部分も画像処理を困難にするため何らかの方法でそれを最低限に抑える必要がある。

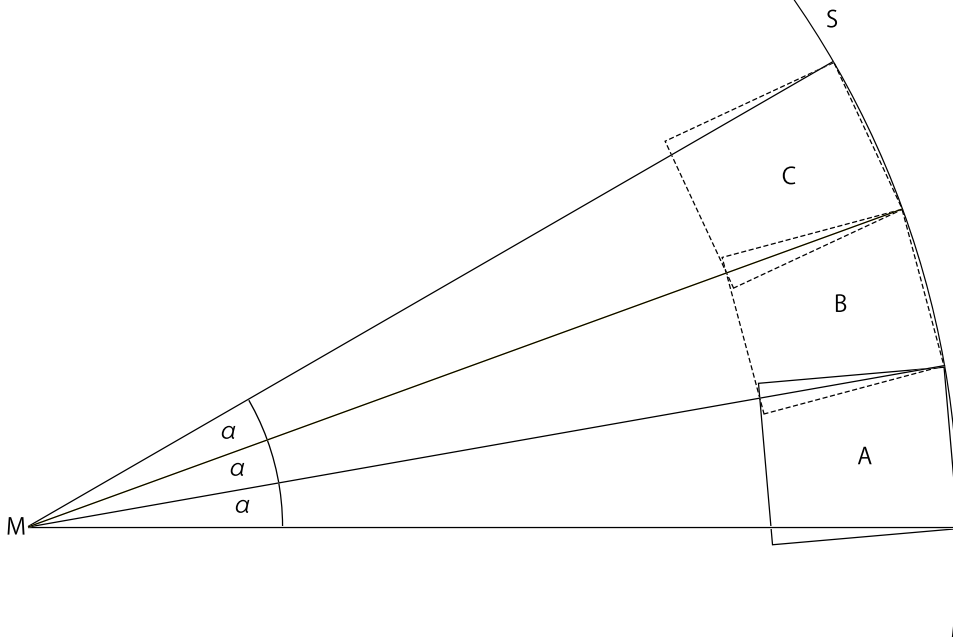


図 3.2: A, B, C と順番に撮像を行った際に重複部分が生じる

本研究では、撮像範囲の幅（図 3.3 中 $\overline{AB} = \overline{CD}$ ）を小さくすることで重複部分の影響を無視できる程度に抑える。どのくらいの幅であれば無視できる程度になるかを調べることにしよう。図 3.3 中の ϵ が一画像の片方の重複部分だとする。隣り合っている画像でのピクセルの重複部分を考えると 2ϵ となる。

ϵ を求めるために、まず直角三角形 MCF より $\frac{\alpha}{2}$ を求めておく。

$$\frac{\alpha}{2} = \arctan \left(\frac{\overline{BE}}{\overline{MF}} \right) \quad (3.1)$$

$\frac{\alpha}{2}$ を用いて以下の方程式が成り立つ。

$$\overline{BE} - \overline{BG} = \tan \left(\frac{\alpha}{2} \right) \overline{ME} \quad (3.2)$$

$$\epsilon = \overline{BG} = \overline{BE} - \tan \left(\frac{\alpha}{2} \right) \overline{ME} \quad (3.3)$$

式 3.1 を式 3.3 に代入し式を整理すると

$$\epsilon = \overline{BE} \left(1 - \frac{\overline{ME}}{\overline{MF}} \right) \quad (3.4)$$

となり，式 3.6 の単位換算定数 δ をかけると

$$\epsilon_1 = 47.52 [\text{pixel}] \quad (3.11)$$

という結果が得られる．同様に SP レコードの内側での ρ を $\overline{ME} = 50.0 [\text{mm}]$ として求めると

$$\epsilon_2 = 0.2534 [\text{mm}] = 107.14 [\text{pixel}] \quad (3.12)$$

となる．ここで，前述したように，隣り合っている画像の隣接重複距離が 2ϵ であることを思い出すと最悪の場合の隣接重複距離が

$$2\epsilon_2 = 0.5068 [\text{mm}] = 214.28 [\text{pixel}] \quad (3.13)$$

となり，これだけのピクセル数の情報が重複していると無視できない問題と判断せざるを得ない．しかしながら，上記の計算は画像の縦幅 $\overline{AB} = \overline{DC}$ がカメラの最大解像度設定にしてある際の ϵ_3 の計算結果．縦幅 32 ピクセルに指定した際の計算は以下の通りになる．

$$\text{width} = 2 \cdot \overline{BE} = 0.0378 [\text{mm}] \quad (3.14)$$

$$2\epsilon_3 = 0.00782 [\text{mm}] = 3.331 [\text{pixel}] \quad (3.15)$$

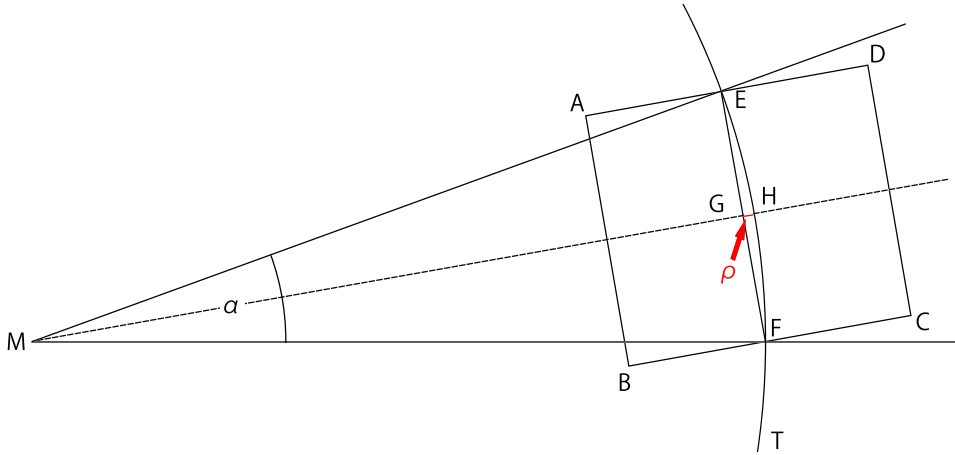
式 3.15 の結果は最悪条件の下で計算したものであることを考慮しながら，実際の撮像データで幅 3 ピクセルの音溝に大きい変化があり得ないことが確認でき，このくらいの重複であれば無視してもいいと判断できる．

3.1.2 湾曲問題

SP レコードに刻まれた音溝がらせん状にレコードの中心へと近づいていく仕組みであるからレコードの任意の位置で音溝の形状を撮像した際にそれが湾曲していることが画像情報に残される．複数の連続的に撮像された画像を並べてみると音溝の湾曲成分が周期的な上下振動として残り，音検出段階でこのゆっくりとした振動が間違っって音情報として検出されることを防ぐために，湾曲の影響を最低限に抑える必要がある．

図 3.4 において，四角形 ABCD がカメラの撮像範囲，T が SP レコードの音溝，M が SP レコードの中心， α が次の画像を取るための回転角度だとする．また， $\overline{FG} = \overline{GE}$ ，角 MGF は直角である．

$$\overline{GF} = \frac{1}{2}\overline{AB} \quad (3.16)$$

図 3.4: 音溝湾曲を数値化した変数 ρ

$$\frac{\alpha}{2} = \arctan \left(\frac{\overline{GF}}{\overline{MF}} \right) \quad (3.17)$$

$$\overline{MG} = \cos \left(\frac{\alpha}{2} \right) \overline{MF} \quad (3.18)$$

$$\rho = \overline{MH} - \overline{MG} \quad (3.19)$$

式 3.16～式 3.19 より

$$\rho = \overline{MH} \left\{ 1 - \cos \left[\arctan \left(\frac{\overline{AB}}{2\overline{MH}} \right) \right] \right\} \quad (3.20)$$

重複問題の計算と同様にレコードの一番外側と内側で ρ を求めることにする．まず，画像の横幅を 32 ピクセルと設定し，実際の画像幅を

$$\text{width} = \overline{AB} = 0.0378 [\text{mm}] \quad (3.21)$$

と置いておく（単位換算には式 3.6 の γ を用いる）．レコードの外側だと

$$\overline{MH} = 120.0 [\text{mm}] \quad (3.22)$$

になる．このときの湾曲問題係数 ρ は

$$\rho_1 = 0.001488 [\mu\text{m}] = 0.000629 [\text{pixel}] \quad (3.23)$$

レコードの内側では

$$\overline{MH} = 50.0 [\text{mm}] \quad (3.24)$$

なので，湾曲問題係数は

$$\rho_2 = 0.03572 [\mu\text{m}] = 0.0015 [\text{pixel}] \quad (3.25)$$

となる．比較のため，以下に悪条件（レコードの内側での撮像）のもとで画像幅 2058 ピクセル（ $\overline{AB} = 4.87 [\text{mm}]$ ）のときの湾曲問題係数を示す．

$$\rho_3 = 59.18 [\mu\text{m}] = 25.0 [\text{pixel}] \quad (3.26)$$

以上の計算より，横幅 32 ピクセルで画像撮像を行った場合の湾曲問題による影響が極めて小さく，無視できる程度であることがわかる．

3.1.3 うねり問題

うねり問題はレコードに開けられた穴が偏心しているために起きる．ここまでの幾何学的問題はレコードの性質（音溝がらせん状に円形のレコードに刻まれている）やカメラの撮像範囲が四角形に対し，レコードがカメラの下で回転することに起因している．ただし，うねり問題は湾曲問題と重複問題と異なり，不可避の問題ではない．完璧に作られたレコードをそれにぴったりと合う実験装置であれば，うねり問題は起きないと言える．

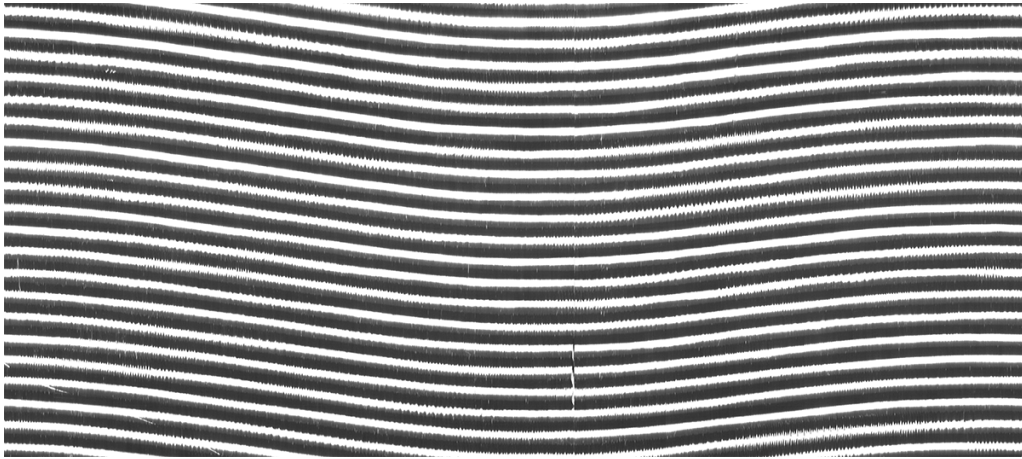


図 3.5: レコード一週分の画像データ．横幅は圧縮された．

図 3.5 にレコードの一週分の画像データを示す．ページ内に収まるように，横幅は圧縮されました．この画像データに見られる音溝の形を確認してみると，ゆっくりと上下振動していることが分かる．この振動は音情報ではなく，単なる穴が偏心しているために起きる．本研究においては，うねり問題の影響を信号処理で抑制する．

3.2 部分読み出し法の利点・欠点

撮像時に直面する問題とその解決法については前節に詳しく説明している。ただし、部分読み出し法の利点・欠点について議論を進められるようにそれらの問題をもう一度リストアップする。

- 重複部分問題
- 湾曲問題
- うねり問題

重複問題と湾曲問題は本研究と同じ実験設定ならば必ず台頭する。その解決法に関しては、画像処理を通じて克服する手法もあるが、部分読み出しを採用すれば重複問題と湾曲問題の影響が無視できる程度に収まる。これが部分読み出しの利点の一つである。

欠点として挙げられるのは画像結合が増えること。幅が非常に小さい（本研究では32ピクセル）画像データを数多く取得し、画像処理を通して連結させる過程において、隣り合っている画像データの境界面が重複も欠損もなく実際の音溝を連続的に再現できるかどうか部分が部分読み出し法の難点である。

第4章 画像データ生成

ここで SPRecAnalyzer について書く．映画を撮るか，画像を取るか．

4.1 SPRecAnalyzer

4.1.1 物理的距離検出

pixelprocessing.m 無料オープンソースツールボックス JSONLAB をインストールする必要がある

4.1.2 自動撮像機能

第5章 画像処理

SPRecAnalyzer を利用して取得した画像データは数多くの 2456x32 ピクセルの画像ファイルから構成される。原理的には Matlab で直接この画像データをメモリに読み込み画像処理の元にする 것도可能ではあるが、画像処理アルゴリズムのデバッグ作業などを考えると、この非常に幅が狭い画像データを一度もう少し幅が広い画像ファイルにまとめてから画像処理を行った方が画像データ生成メカニズムや後ほどの画像処理での結果確認が取りやすくなる。

幅が狭い画像データを数十枚束ねて幅が広い画像データを作成しておくのが SpliceBot アルゴリズムの仕事である。SpliceBot が作成した画像データを元に音溝に隠れて信号データを抽出するのは SigExBot。最後に SigExBot の信号データに信号処理を施して音信号の形に変形してくれるのは Needle。本研究の画像処理は全部 Matlab で行うことになっている。Matlab の有料ツールボックスのインストールは不要。

5.1 SpliceBot

- アルゴリズムが要求するフォルダ構造.
- アルゴリズムの使い方



図 5.1: フォルダ Round1 の中身

5.2 SigExBot

- アルゴリズムが要求するフォルダ構造.

5.3 Needle

5.4 fftf.m

Shmuel Ben-Ezra バンドができるように改造.

第6章 結論