

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	画像データ生成	3
2.1	実験装置	3
2.1.1	接続図	4
2.1.2	CCD カメラ	4
2.1.3	パルスステージ	5
2.2	音溝形態と光照射	5
2.3	プログラム構造	5
第3章	画像データの前処理	8
3.1	重複部分問題	8
3.2	湾曲問題	11
3.3	うなり問題	13
第4章	音検出アルゴリズム	14

第1章 はじめに

第2章 画像データ生成

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．レコードに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．

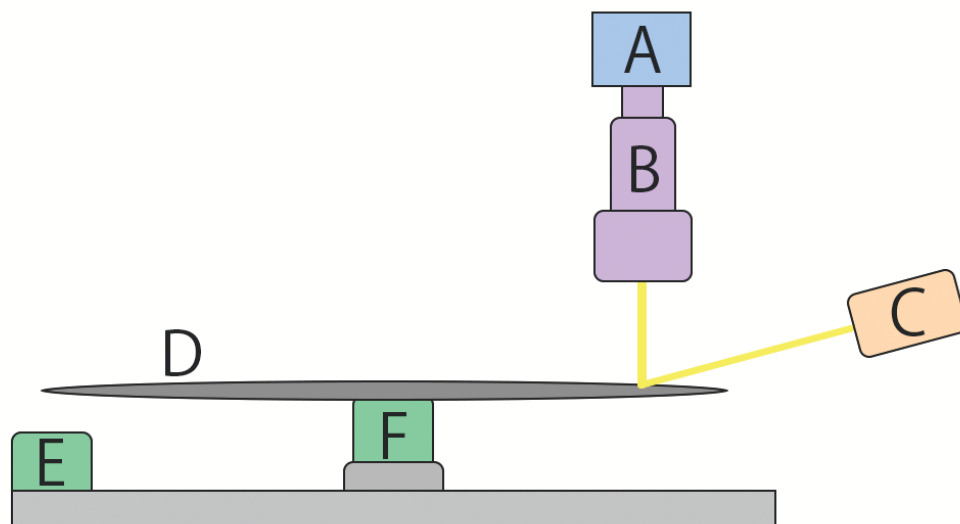


図 2.1: 実験装置の設定

- 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

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．

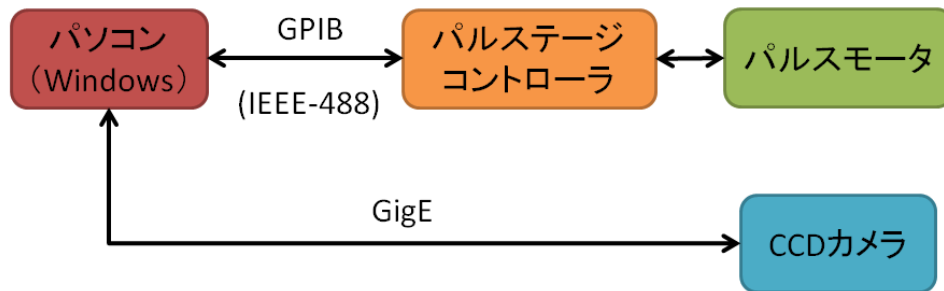


図 2.2: 実験装置の設定

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．

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

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 2.2: 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 音溝形態と光照射

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態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

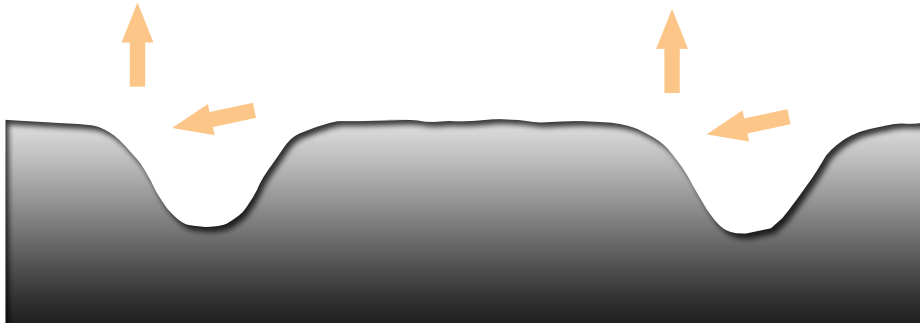


図 2.4: 反射の仕方

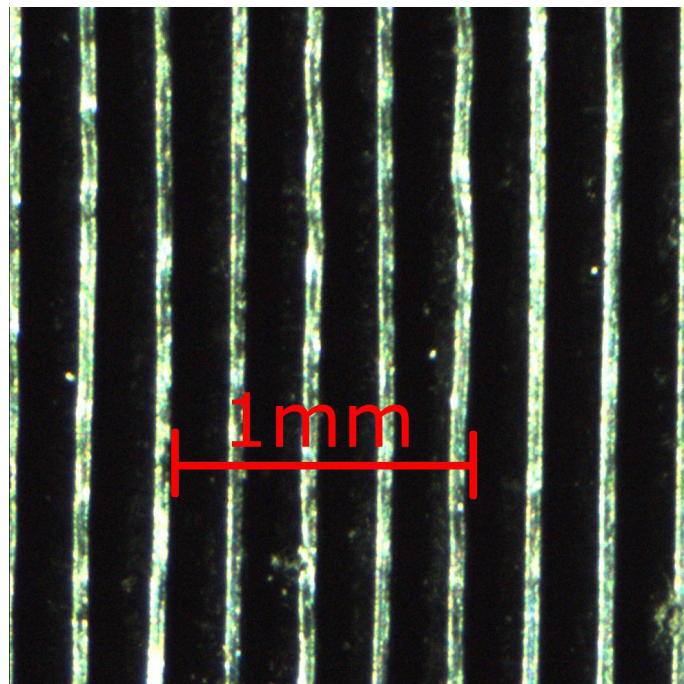


図 2.5: SprecMicroscopeImgLabaled

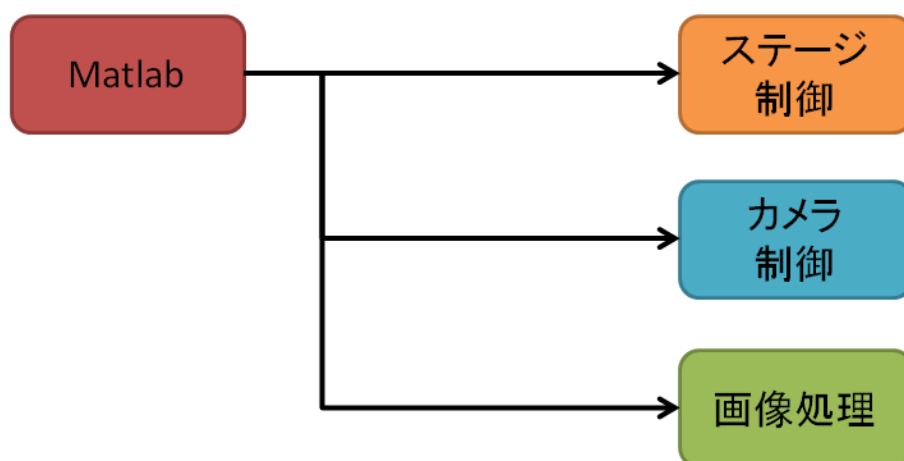


図 2.6: Prog Setup Old

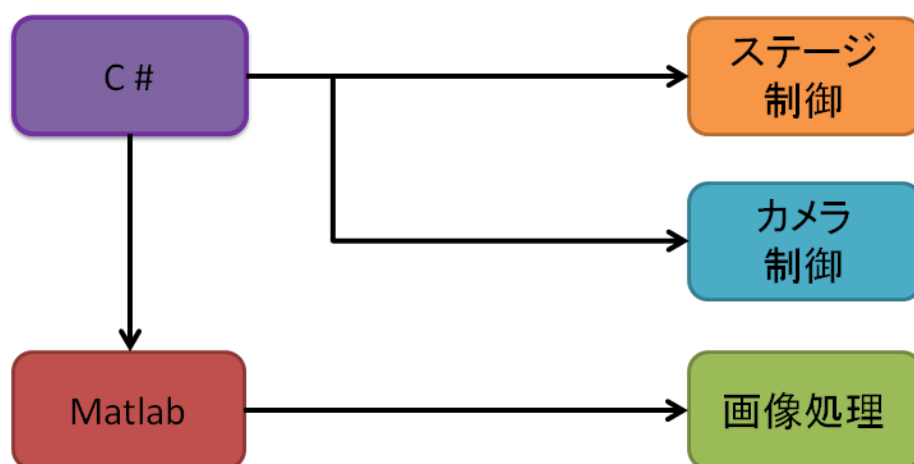


図 2.7: Prog Setup New

第3章 画像データの前処理

画像処理を駆使して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影するときに，どのような問題が起きるかを調べて，解析する．

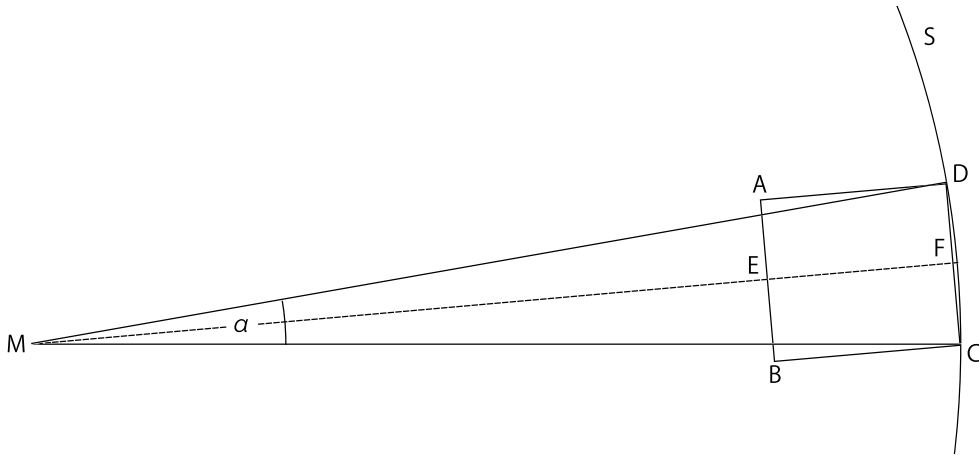


図 3.1: 撮像の様子を幾何学的に表した図

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 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から何らかの方法でそれを最低限に抑える必要がある．

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といえるか

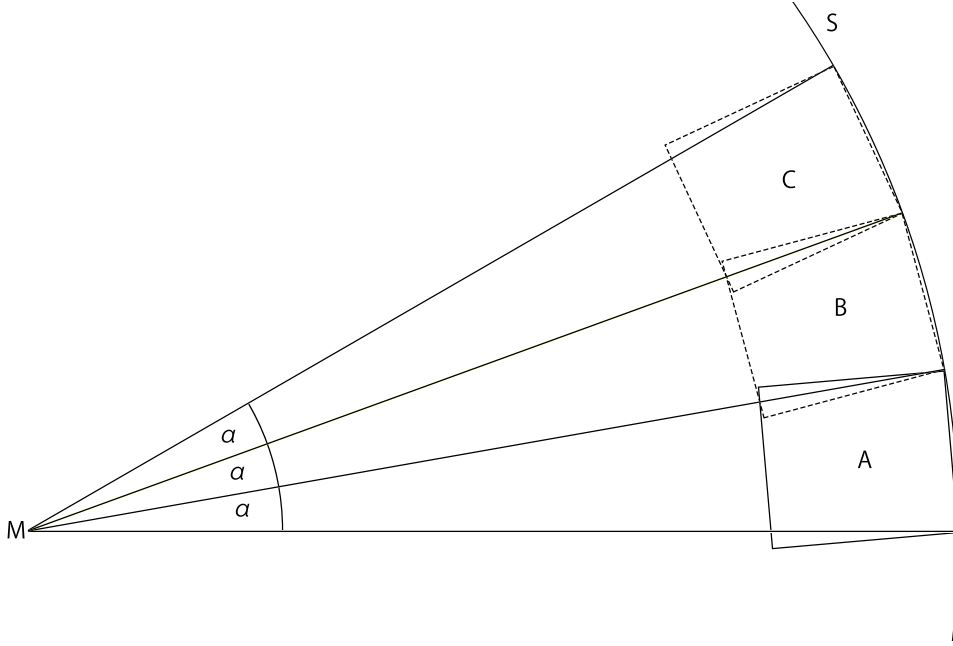


図 3.2: A, B, C と順番に撮像を行った際に重複部分が生じる

を調べる．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

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

が得られる．本研究で作成した C# プログラムの中のキャリブレーション機能を利用した後のパルスステージだと，変数 \overline{BE} ， \overline{ME} と \overline{MF} は常に把握できていることから，SP レコードの任意の位置においての ϵ を求めることができる． ϵ の性質を調べるために，まずカメラの最大解像度で撮像を行ったときの計算を進めてみる．ただし，撮像場所においては SP レコードの一番外側と内側と 2 つのケースに分ける

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

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位下の通りになる．

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

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

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．

3.2 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態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．

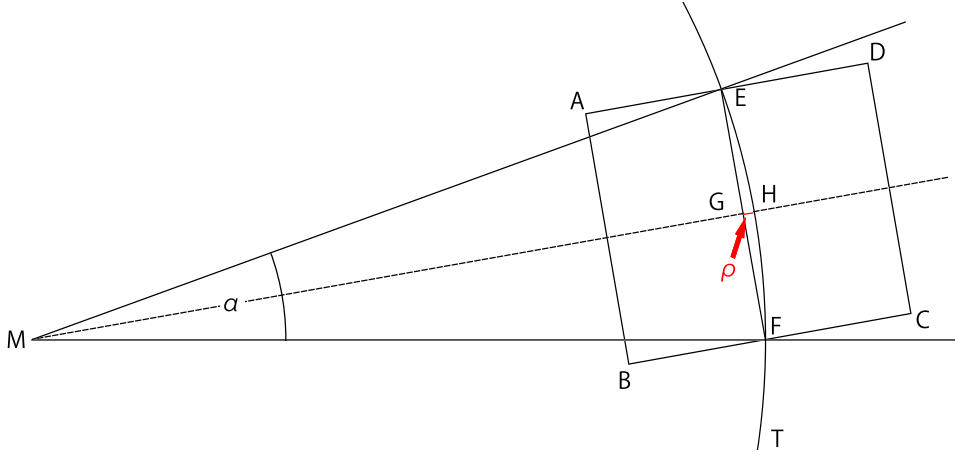
図 3.4 において，四角形 ABCD がカメラの撮像範囲，T が SP レコードの音溝，M が SP レコードの中心， α が次の画像を取るための回転角度だとする．また， $\overline{FG} = \overline{GE}$ ，角 MGF は直角である．

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

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

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

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

図 3.4: 音溝湾曲を数値化した変数 ρ

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．

3.3 うなり問題

第4章 音検出アルゴリズム