

## 多重解像度解析による肺音からの呼吸周期検出

## Breathing Cycle Detection using Multiresolutional Analysis with Lung Sounds

滝川 雄† 濱崎 圭輔† 園田 光太郎† 喜安 千弥† 宮原 末治† 大藤 貴‡ 岡 三喜男‡  
Yu Takigawa, Keisuke Hamasaki, Kotaro Sonoda, Senya Kiyasu, Sueharu Miyahara,

Takashi Ohfuji and Mikio Oka

## 1. はじめに

聴診による肺音の検診は、安全かつ簡便に肺の健康状態を診断できる方法の一つである。しかし、訓練を積んだ専門医でなければ詳細かつ正確な診断結果を得ることは困難である。そのため、一般の看護師による回診や訪問介護等の現場では、詳細な診断を下すことは出来なかった。

この問題に対処するため、我々は電子聴診器より収集した肺音に対し、副雑音と呼ばれる異常音の有無を自動判別する肺音検査システムの実現を目指し、研究を行ってきた[1,2]。このシステムが実用化できれば、自宅介護や訪問看護でも手軽に聴診による健康管理を行うことが可能となる。

副雑音は、その種類により呼吸周期の一定の箇所にも現れることが分かっている。そのため、肺音の正常・異常を高精度に自動判定するには、聴取した肺音中から呼吸周期をいかに正確に検出するかが重要となる。そこで本研究では、多重解像度解析[3]を利用した肺音中からの呼吸周期検出法に、周期長予測の処理を新たに追加する方法について検討した結果を報告する。

## 2. 多重解像度解析による呼吸周期検出

一般に、肺音において呼気と吸気が切り替わる際には、極短時間の無音区間が生じる。したがって、この無音区間を検出することにより、肺音における呼吸周期の切替り位置を検出することができる。しかし、電子聴診器により収集した肺音には、心音や定常性・突発性の雑音等、肺音以外の音が含まれることが多い。そのため、肺音波形から直接無音区間を検出することは困難である。その他、肺音は音声等に比べパワーが小さいため、集録する際の電子ノイズの影響が音声等の集録に比べ大きくなる傾向にある。このことも、周期検出を困難にする要因として挙げられる。

肺音波形の絶対値波形を算出し、移動平均を求め平滑化することで、心音や雑音等の影響を軽減することが可能である。しかし、平滑化が不十分であれば心音等の影響が大きく、逆に平滑化しすぎれば、検出した呼吸周期の切替り位置が実際の位置からずれてしまうという問題点がある。

以上のことから、本研究では多重解像度解析を利用した呼吸周期の検出を行う。すなわち、移動平均波形を段階的に繰り返すことにより、高解像度波形および低解像度波形を作成する。さらに図1に示すように、低解像度波形上で呼吸周期の切替り位置を求めた後、より高解像度波形上で位置の修正を行うという処理を繰り返しながら追跡していく。このことにより、心音等の影響を軽減しつつ、より正確に呼吸周期の切替り点を検出することができると考え

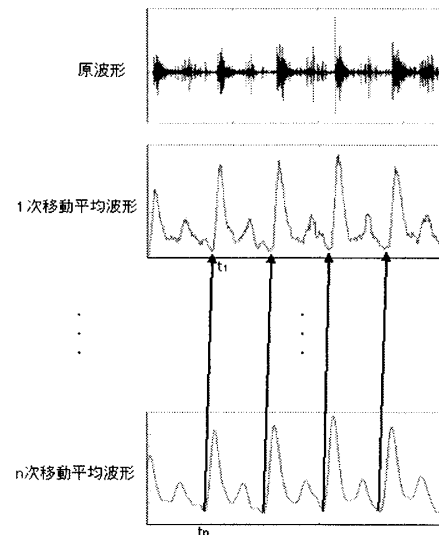


図1 多重解像度解析による呼吸周期の検出

られる。また、切替り点検出の際、あらかじめ呼吸周期長を予測し探索範囲を制限することで、検出精度を向上させる。以上のことから、以下の処理手順により肺音からの呼吸周期検出を行う。

- STEP1: 移動平均波形の算出
- STEP2: 予測周期長の検出
- STEP3: 呼吸周期の検出

以下に、各処理手順について説明する。

## 2.1. 移動平均波形の算出

まず、聴取した肺音波形  $w(t)(t=0, \dots, T)$  の絶対値波形  $W_0(t)$  を算出する。次に、 $W_0(t)$  に対し窓幅  $T_w$ 、移動幅  $T_m$  の移動平均波形  $W_1(t)$  を求める。同様に、 $W_1(t)$  の移動平均波形  $W_2(t)$ 、および  $W_2(t)$  の移動平均波形  $W_3(t)$  を求める。ここで、 $W_n(t)$  を  $n$  次移動平均波形とする。

## 2.2. 予測周期長の検出

$n$  次移動平均波形  $W_n(t)$  より、呼吸周期の周期長を予測する。まず図2に示すように、 $W_n(t)$  に対し山点の最高値  $P_{max}$  および谷点の最小値  $P_{min}$  を求め、 $P_{min}-P_{max}$  間を  $J$  等分した等高線を作成する。次に、各等高線において  $W_n(t)$  の上りとの交点を求めた後、交点間の間隔  $\tau$  を計測

†長崎大学工学部, Faculty of Engineering, Nagasaki University

‡川崎医科大学呼吸器内科, Division of Respiratory Diseases, Department of Medicine, Kawasaki Medical School

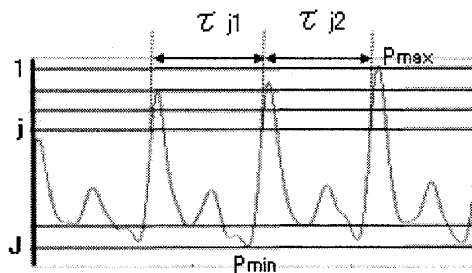


図2 予測周期長の検出

する。全等高線における交点間隔  $\tau$  についてヒストグラムを取り、最も多かった交点間隔をその肺音における予測周期長  $\tau'$  とする。

移動平均波形上より呼吸周期を検出する場合、波形上の局所的な最小谷を呼吸周期の切り替わり点として検出する。呼吸周期長を予測せずに検出を行う場合、背景雑音等により呼吸周期中の最小谷点を誤検出する恐れがある。しかし、呼吸周期長を予測し、切り替わり点の探索範囲を制限することで、誤検出を削減できるものと考えた。

### 2.3. 呼吸周期の検出

2.2 節で求めた予測周期長  $\tau'$  および  $n$  次移動平均波形より、肺音波形中における呼吸周期の切り替わり点を検出する。まず、 $W_n(t)$  において呼吸周期の切り替わり点の候補点  $t_n$  を検出する。同様に、 $t_n$  を基準として、 $W_{n-1}(t)$  における候補点  $t_{n-1}$  を、 $t_{n-1}$  を基準として  $W_{n-2}(t)$  における候補点  $t_{n-2}$  を検出する。最終的に、 $t_1$  を呼吸周期の切り替わり点として検出する。

本手法における、検出の処理手順を以下に示す。

- S1 : 検出開始点  $t_s=0$
- S2 :  $t_3=\text{sign min}\{W_3(t)\}(t_s+2\tau'/3 \leq t \leq t_s+4\tau'/3)$
- S3 :  $t_n=\text{sign min}\{W_n(t)\}(t_{n-1}-T_w/2 \leq t \leq t_{n-1}+T_w/2)$   
( $n=2,1$ )
- S4 :  $t_1$  を呼吸周期の切り替わり点として検出する。
- S5 :  $t_s=t_1$  とし、 $t_s+2\tau'/3 > T$  なら検出処理を終了する。  
そうでなければ、S2へ。

## 3. 評価実験

### 3.1 実験データ

本論文では、「CD による聴診トレーニング呼吸音編」[4]に集録されている呼吸音データを実験データとして用いた。使用したデータ数は全 17 データ、呼吸周期数は全 173 周期である。実験データには健常者の肺音の他、代表的な副雑音である断続性ラ音（水泡音、捻髪音）、連続性ラ音（笛音、いびき音）および胸膜摩擦音が含まれる。表 1 に実験データの内訳を示す。なお、各肺音データのサンプリング周波数は 11.025kHz とし、移動平均波形算出時のパラメータは、窓幅  $T_w=300[\text{ms}]$ 、移動幅 1[ms] とした。

### 3.2 実験結果と考察

表 2 に、実験データに対し多重解像度解析により周期

表 1 実験データの内訳

データ種	データ数	呼吸周期数
健常肺音	2	15
水泡音	4	44
捻髪音	4	55
笛音	3	22
いびき音	3	26
胸膜摩擦音	1	11
計	17	173

表 2 呼吸周期検出率[%]

データ種	周期長予測無し	周期長予測有り
健常肺音	0	60
水泡音	34	84
捻髪音	95	85
笛音	55	45
いびき音	65	92
胸膜摩擦音	100	100
平均	62	80

検出を行う際に、周期長予測処理の有無による検出率の変化を比較した結果を示す。

表 2 に示すように、周期長を予測することで、呼吸周期検出率が平均で 18% 向上し 80% となった。このことから、周期長を予測し呼吸周期の切り替わり点の探索範囲を制限することの効果があることが分かった。

データ種毎に周期検出率を比較すると、笛音における周期検出率が低かった。これは、笛音の 1 データにおいて、予測周期長として実際の 2 倍の周期長を検出したためであった。すなわち、2 周期分の波形を 1 周期として検出するため、結果としてこのデータからは、正しい呼吸周期を検出することが出来なかった。なお、この 1 データを除いた場合の笛音の周期検出率は 77% であった。笛音以外では、健常肺音での検出率が低かった。これは、健常肺音のデータにおいて、呼吸音に対して背景雑音が大きく、呼吸音区間において振幅値が切り替わり位置よりも小さい位置があったためであった。

## 4. まとめ

本稿では、肺音からの呼吸周期検出法として、多重解像度解析による呼吸周期検出法に対し、周期長を予測する処理を追加し周期検出精度を改善する手法について提案し、その有効性について検討した。

### 参考文献

- [1]喜安他, "呼吸の周期性を考慮した異常肺音の自動検出", 映像情報メディア学会誌, **61(12)**, pp.1769-1773, 2007
- [2]滝川他, "肺音を対象とした異常音検査実験システムの試作", 映像情報メディア学会年次大会講演予稿集, 2008
- [3]守田, "多重解像度解析-スケールスペースとその応用", コンピュータビジョン, pp.54-63, 新技術コミュニケーションズ 1998
- [4]石原他, "CD による聴診トレーニング-呼吸音編増補版-", 南江堂, 1993