

生体情報モニタリングシステムにおけるデータマイニング

Data mining of a prototype biomedical information monitoring system

笹岡 英毅†

Hideki Sasaoka

1. まえがき

人の睡眠は人生の三分の一を占めるとも言われ、心身の健康のためには良質な睡眠が欠かせない。健康の維持のためにも睡眠時の健康状態を無拘束・無侵襲で計測できる生体情報モニタリングシステムが望まれており、種々提案されている¹⁾²⁾。このようなモニタリングシステムの実現において、収集・計測される多様で大量のデータを、統計・数学的手法をはじめとしたいろいろな手法を用いて調査することにより、有益な新しいパターン・ルールなどの知識を見つめ出す(掘り起こす)データマイニングが不可欠である。また、大量のデータを人にとって分かりやすい表現に変換し、これまで見過ごされてきた対象に関するさまざまな知識を獲得するための基本技術である信号処理/解析技術が重要である。

そのような信号処理/解析技術の一つにウェーブレット変換がある。ウェーブレット変換は、石油探査における人工地震波解析の道具として導入されて以来、数学的基礎付けから様々な分野への応用がなされ、発展を続けている。時間情報を保持したままデータの周波数情報を観察することができるため、データに隠れている周波数的な特徴が時間の経過に伴いどのように変化するかを視覚的に解析することが可能である。このような特徴からデータマイニング技術の一つとして、計測されたデータから知りたい情報を抽出するために様々な現象の解析に利用されている。

本稿では、データマイニングの一手法として、ウェーブレット解析について概説し、今後さまざまな応用が期待されている生体情報モニタリングシステムの一例であるエアマット型センサの計測データに対するウェーブレット解析によるデータマイニング事例について紹介する。

2. ウェーブレット解析

2.1 なぜウェーブレットか?

信号処理/解析の従来手法として、フーリエ変換や時間周波数解析の標準的な手法の一つである短時間フーリエ変換が広く利用されている。短時間フーリエ変換では、窓幅が周波数によらず一定であるが、窓幅によって時間周波数領域の表現が大きく異なる可能性があり、窓幅の最適化が難しいという欠点が存在する。

これに対し、ウェーブレット変換は窓幅を周波数によって変化させることで、高い周波数を解析する場合は短い窓を、低い周波数を解析する場合は長い窓を使用して、高い周波数から低い周波数までピントが合った解析を可能とし、短時間フーリエ変換での窓幅の問題を解消している。したがって、信号処理/解析における非定常な信号の解析にはウェーブレット変換がより適している。

2.2 ウェーブレット解析の利点

信号処理/解析において最も一般的な方法は、図1に示すように、フーリエ変換を用いた周波数分析である。

また、センサ信号をバンドパスフィルタにより帯域制限した後に包絡線(エンベロープ)処理し、さらにそれをフーリエ変換でスペクトル分析する方法も良く利用される。この方法は、高い周波数領域に存在し、かつ低い周波数の周期性を持つ現象に対し有効である。

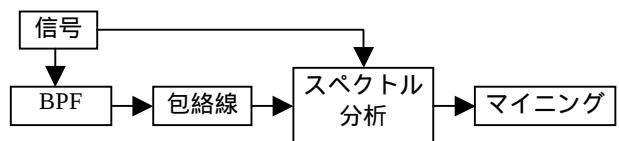


図1 スペクトル分析によるデータマイニング

図1の方法のBPF+エンベロープ処理の部分は、実は図3で示すようにウェーブレット変換とほぼ同一になる。ウェーブレット関数がBPFに相当し、エンベロープはウェーブレット変換後の強度情報に相当する。しかも、周波数に応じた複数のエンベロープ信号が一度の変換で求められるために効率の良い解析が可能となる。

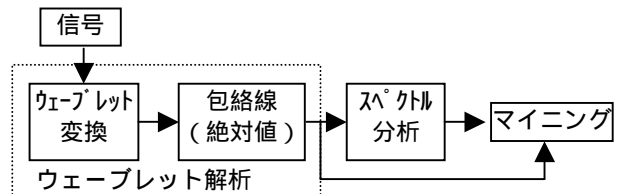


図2 ウェーブレット解析によるデータマイニング

2.3 ウェーブレット解析における可視化技術

ウェーブレット変換は、一般に次式で定義される。

$$W(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi^* \left((t-b)/a \right) dt \quad (1)$$

(1)式で、 $\psi(t)$ はウェーブレット関数、 a はスケールパラメータ、 b はシフトパラメータ、 $*$ は複素共役を示す。

本稿では、各スケールにおけるウェーブレット係数 $|W|$ の振幅値と元信号の振幅値との整合性が取り、(1)式の係数を調整した次式をウェーブレット変換の定義式として用いている。

$$W(a, b) = \frac{2}{a\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi^* \left((t-b)/a \right) dt \quad (2)$$

また、解析の際に重要な役割を果たすエンベロープ信号を得るために、(3)式で表される複素数型の Gabor ウェーブレット³⁾を用いている。

$$\psi(t) = \exp \left[-t^2/2 + i\omega t \right] \quad (3)$$

以上、(2)(3)式により、元信号が狭帯域エンベロープ信号の集合として時間周波数領域に展開され、図5に示される視覚的に解析可能な輝度グラフとして可視化される。

†(社)電子情報通信学会, IEICE

3. エアマット型センサによる生体情報モニタリング

3.1 エアマット型センサ

睡眠時の無拘束な生体計測システムの一つであるエアマット型センサは、図3に示した構成により、敷き布団の下に敷いたエアマットの振動を小型ピックアップセンサにより計測し、就寝者の生活リズム・睡眠状態・健康状態を把握することが可能なセンサである。「心拍、呼吸、体動」に相当する信号を検出し、それらより、「在床、睡眠状況、心拍数、呼吸数」などを提示する。

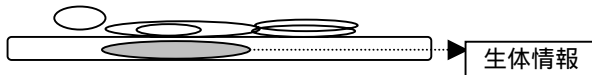


図3 エアマット型センサ

3.2 エアマットセンサ信号のウェーブレット解析

図4に被験者の安静時に計測されたエアマット型センサ信号を示す。サンプリング周波数は50Hz、解析区間は290秒、データ点数は14,500点である。図5にはエアマット型センサ信号に対してウェーブレット変換式(2)、(3)を適用し可視化した結果を示す。色の明るいところほど強度が強い(振幅が大きい)ことを示す。ウェーブレット変換結果により、3~7Hz付近の周期的特徴、0.3Hz付近の周期的特徴、時刻240sec付近の短時間の特徴が視覚的に確認できる。

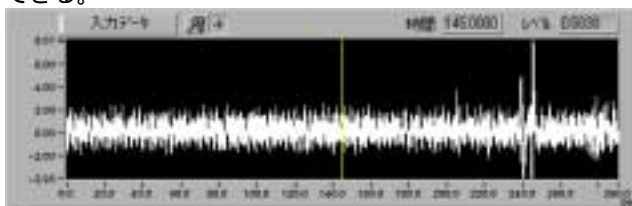


図4 エアマット型センサ信号
(横軸：時間[sec]、縦軸：振幅)

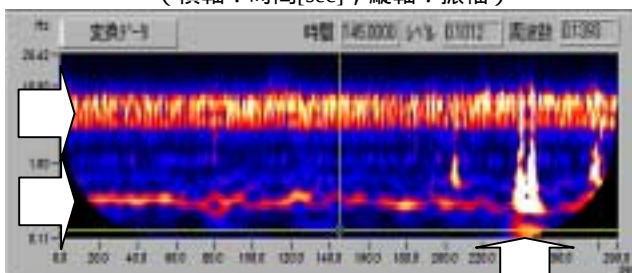


図5 エアマット型センサ信号のウェーブレット変換結果
(横軸：時間[sec]、縦軸：周波数[Hz])

人の呼吸は健常者の安静時で通常12~20回/分程度であり、周波数に換算すると0.2~0.3Hz程度であるから、の周期的特徴は呼吸を示していることがわかる。

の特徴は一時的な変動であり、やに比べ振動の振幅が非常に大きいことから、寝返りなどの体動を示していると考えられる。

の特徴は心拍の特徴と考えられるが、の特徴ほど周期性が明確でないため、さらに詳しく解析するために2.2に示したエンベロープの周波数解析を適用する。図6は、の特徴である4Hzの狭帯域エンベロープ信号30秒間分を示し、図7は4Hzの狭帯域エンベロープ信号をフーリエ

変換によりスペクトル分析したものである。図6に示すように、このエンベロープ信号が規則正しく変動し、図7のスペクトルから約1Hzの周期性を有することが解析できる。安静時の心拍数が50~100回程度、0.8~1.6Hz程度であるから、の特徴の解析結果と一致する。従っての特徴が心拍を示していることが確認された。心拍に関しては、心拍波の高い周波数領域に存在し、かつ低い周波数の周期性を持つという非定常な性質からウェーブレット解析とスペクトル解析の複合が有効と考えられる。

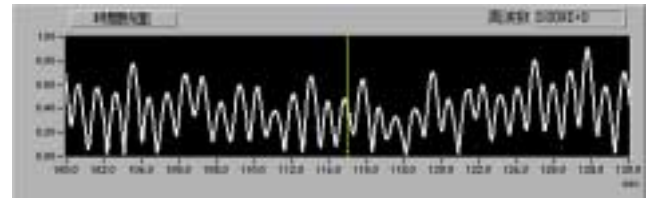


図6 4Hzの狭帯域エンベロープ信号
(横軸：時間[sec]、縦軸：強度)

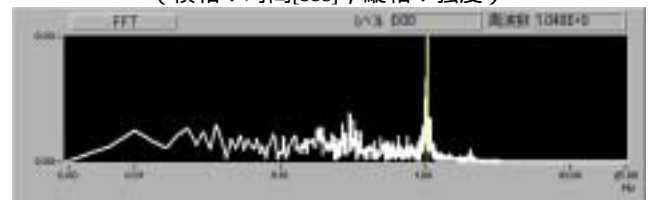


図7 4Hzの狭帯域エンベロープ信号のスペクトル
(横軸：周波数[Hz]、縦軸：振幅)

以上のウェーブレット解析結果から、心拍、呼吸、体動を、例えば心拍フィルタ、呼吸フィルタ、体動フィルタとして設計することで分離でき、それぞれをモニタリングすると共に各情報を統合することにより就寝者の生活リズム・睡眠状態・健康状態を提示できることが示された。

4. あとがき

ウェーブレット解析はデータマイニングにおける信号処理/解析技術として非常に期待され、ウェーブレットを適用し新たな視点で信号を眺めることで、これまで見過ごされてきたことが改めて発見でき、解決の糸口をつかむ一助になるであろう。

本稿では、まず、データマイニングにおける信号処理/解析プロセスにおいて、ウェーブレット解析を従来手法と対比させながら、解析手法としての位置付け、特徴、優位性を明確にした。

そして、生体情報モニタリングシステムの一例であるエアマット型センサにおける計測データに対するウェーブレット解析によるデータマイニング事例を紹介し、その有効性を示した。

今後は、より多くのデータに対し解析を行いエアマット型センサの実用化を目指していきたい。

【参考文献】

- 1) 渡邊, 渡辺: 無拘束エアマットレス型生体センサによる睡眠段階の推定—心拍数変動と睡眠段階—, 計測自動制御学会論文集, Vol.37, No.9, 821/828(2001)
- 2) 松本ら: いびき発生時の心拍・呼吸の無拘束無侵襲計測, 計測自動制御学会論文集, Vol.37, No.9, 902/904(2001)
- 3) Benedetto, J.J.: *Wavelet: Mathematics and Applications*, CRC Press, Inc., Florida.(1994)