

## 164 ウェーブレット極大値表現を用いた心電図圧縮

福澤慎一 中静 真 菊池久和 牧野秀夫 石井郁夫

新潟大学工学部

## 1. まえがき

無拘束心電図記録では、1日以上にわたって心電図波形が記録される。記録された心電図データは大容量なものとなり、波形の取扱について2つの問題が生じる。1つは波形を全て観測することが困難であるということである。そこで短時間で診断を行うために、心電図波形からのQRS波自動検出法が提案されている<sup>[1]</sup>。もう1つの問題点は情報量が膨大であるために、心電図波形を記録し、データベースを構築するためには、大容量の蓄積装置が必要となる点である。そこで、少ない記憶容量で長時間の心電図を記録する為に、数多くの圧縮符号化法が提案されている。

さて、従来まで心電図解析では、2つの問題は区別して取り扱われていた。例えば、現在画像符号化によく使われているDCT、直交ウェーブレット変換など、直交変換を用いた変換符号化が心電図圧縮にも適用されている。しかしながらこれらの変換は、時間軸波形に対して時間シフト不変な表現とはなっていない。そのために、特定のQRS波間隔をもつ心電図波形だけを、圧縮データから検索し、観察するためには、いったん圧縮データを復元した後、QRS波検出を行って、希望する区間を抽出しなければならない。圧縮データから容易にQRS波の発生時刻等の情報が得られる圧縮方法を用いれば、全ての圧縮データを復元せずに、大量の心電図波形から、特定のQRS波間隔をもつ心電図波形を、直接検索出来る心電図波形データベースを構築することが出来る。

そこで本研究では、心電図波形データベース構築を目的として、以下の2点を特長とするデータ圧縮法を提案する。

- 1) 高圧縮率の実現
- 2) QRS波のピークを示す時刻が圧縮データから得られる。

本研究では心電図圧縮のために、ウェーブレット極大値表現を用いる。以後、ウェーブレット極大値表現<sup>[2]</sup>とその再構成方法について示し、心電図波形圧縮に適用した結果について報告する。

## 2. ウェーブレット極大値表現

ウェーブレット極大値表現では、離散2進ウェーブレット変換の振幅の極大値と平滑化出力で信号を表現する。

画像解析の分野では、平滑化関数の1次導関数を

ウェーブレット関数に用いて、ウェーブレット極大値によりエッジを検出している。検出されたエッジ情報から画像の再構成を行うことが可能である<sup>[3]</sup>。信号を特徴点のみで表現することで、特徴の記述と同時に情報圧縮を行う事ができる。

平滑化関数の2次導関数をウェーブレット関数とした場合、ウェーブレット変換の極大値が波形のピークと一致する。心電図波形の場合、波形のピーク位置と振幅データが診断の時に重要な情報である。心電図のピーク(変曲点)認識に、波形の2次微分関数のピークが用いられている<sup>[4]</sup>。そこで心電図波形に対しては、心電図の特徴点であるピークを、平滑化関数の2次導関数を基底関数に用いたウェーブレット変換の極大値より抽出し、情報圧縮を試みる。

## 3. ウェーブレット極大値表現からの信号復元

ウェーブレット極大値表現からの原信号ウェーブレット変換の復元は、以下の2つの関数

$\Gamma$ : 与えられた極大値表現と等しい極大値を持つ関数空間

$V$ : 全ての信号のウェーブレット変換の空間

の間を、初期関数から $\Gamma$ から $V$ への直交射影と、 $V$ から $\Gamma$ への非拡大射影を交互に繰り返す事で実現される。

$\Gamma$ から $V$ への直交射影は、ウェーブレット逆変換、順変換により得られ、 $V$ から $\Gamma$ への非拡大射影は、極大値間には1点以下の極値を持つという性質を満たすように、関数を修正する事で実現される<sup>[2,5]</sup>。

$\Gamma$ が凸空間であることから、射影の反復は共通集合の1つに収束する。2つの関数空間の共通集合には原信号のウェーブレット変換が含まれている。共通集合のいずれの要素も原信号ウェーブレット変換に近いものとなる為に、得られた解をウェーブレット逆変換することで原信号復元を行うことが出来る<sup>[2,5]</sup>。

## 4. 心電図圧縮

シミュレーションでは、心電図データベースMIT-BIH Arrhythmia Data Baseの中から、正常な心電図波形であるMIT103を用い、極大値表現によるデータ圧縮を試みた。またウェーブレット変換として、5オクターブの結果を使用した。平滑化信号は極値を記録する。また、原信号を1つの信号として扱うにはサンプル点数が多いた

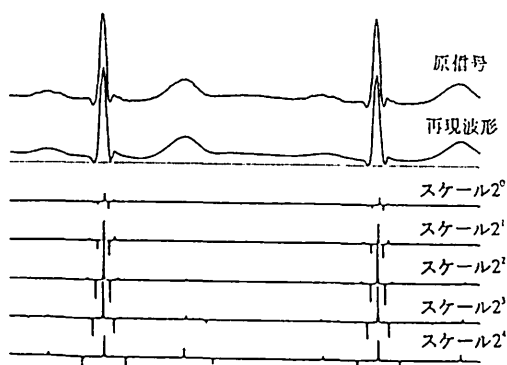


図1. 原波形と再現波形とウェーブレット極大値

めに、直接処理を行う事は困難である。そこで、原信号を2048サンプル点ごとにブロック分割した後、処理を行った。

小さなスケールのウェーブレット変換では、雑音の影響で多数の極大値が検出され、このままでは高圧縮率は実現できない。そこで、11bitで表現されている振幅値データを8bitに量子化し、0以外の値をもつ極大値だけを記録することで雑音除去を行った。図1に、心電図波形のウェーブレット極大値を雑音除去した後の結果を示す。PQRST波の発生、ピーク、消滅に対応して極大値が発生している。

ウェーブレット変換後の各スケールの極大値は原信号のピークの位置に近い場所に存在している。1つの極大値に対して、その極大値のスケールの1/2倍のスケールの極大値の中から、対応する極大値を検索し、その対応する極大値との座標差を記録する方法を用いた。最大スケールの極大値に対しては、平滑化信号の極値との座標差を記録する。つまり、1つの極大値について、

1) 振幅値

2) 対応する極大値が2倍のスケールにある場合、座標の差

・対応する極大値が2倍のスケールにない場合、座標の2つと、平滑化信号の極値を記録した。

再現の際の射影回数は80回行った。平滑化信号も、射影操作によりウェーブレット変換と同時に復元を行っている。

MIT103のデータの中から、サンプル点数10240点でのビット圧縮率を示す。圧縮結果の比較の為に、従来から広く使われているSAPAを用いた結果を示す。SAPAは、心電図波形を折れ線で近似する方法で、折れ線の端点を記録することでデータ圧縮を行う方法である<sup>[1]</sup>。図2に圧縮結果を示す。

ウェーブレット極大値表現を用いた圧縮結果も、SAPAを用いた圧縮結果もハフマン符号化後のデータ量

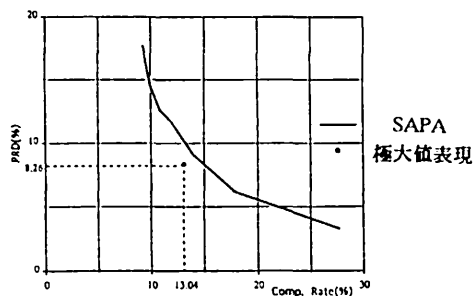


図2. 圧縮結果

での圧縮率で示している。再現された心電図波形の評価方法は、規格化rms差PRDによる評価を行った。PRDは百分率で表した場合、再構成波形が原波形に近づくほど、値が0%に近づていく。

## 5. むすび

今回はウェーブレット極大値表現を用いた心電図圧縮を行った。従来の方法であるSAPAと比較して、同圧縮率の場合PRDで2%程高い再現精度が得られた。また、SAPAでは直線の端点が必ずしも特徴点をとらえているとは限らない為に、圧縮データからQRS波のピークを正確に検出するとは出来ない<sup>[4]</sup>。

今後の課題としては、ビット圧縮法の改善と、効果的なデータ検索方法についての検討が挙げられる。

## 参考文献

- [1]古川孝, 武藤孝一, "ソフトウェアにおける心電図解析の原理," *BME*, vol.1, No. 1, pp50-55, 1987.
- [2]S. Mallat, S. Zohng, "Characterization of signals from multiscale edges," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 14, 7, pp. 710-732, July 1992.
- [3]M. Ishijima, et al., "Scan-Along Polygonal Approximation for Data Compression of Electrocardiograms," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. BME-30, 11, pp. 723-729, Nov. 1983.
- [4]S. M. S. Jalleddine, et al., "ECG Data Compression Techniques -A Unified Approach-", *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 37, No. 4, pp329-343, April 1990.
- [5]Z. Cvetkovic, M. Veterli, "Wavelet Extrema and Zero-Crossings Representation : Properties and Consistent Reconstruction", *Proc. on ICASP*, 3, pp117-120.
- [6]P. S. Hamilton, W. J. Tompkins, "Quantitative Investigation of QRS Detection Rules Using the MIT/BIH Arrhythmia Database", *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. BME-33, No. 12, Dec. 1986.