

心電図圧縮のための ADPCM における実データ組み込み手法の評価

小宮山広幸† 清水郁子† 幸島明男†‡ 車谷浩一†‡

東京農工大学工学府† 産業技術総合研究所‡

1. はじめに

心電データを病気の診断に用いる際には、周波数は数百 Hz 以上、解像度は 10bit 以上必要であるといわれており、長時間の心電データを保存するためには膨大なデータ容量が必要となる。さらに、ポータブル心電計を考えるとデータのリアルタイム通信も重要である。また、心電データで特に重要な情報は、心臓が脈打つ瞬間の R 波と呼ばれる波であり R 波付近は特に高い精度が要求される。以上のことから、心電データ圧縮では、リアルタイムに圧縮可能であり R 波付近で高精度であることが重要であると考えられる。

従来さまざまな心電データの圧縮手法が提案されてきた。近年、離散コサイン変換や離散ウェーブレット変換、経験的モード分解などの波形分解手法を用いた圧縮が主流である[1, 2, 3]。また、遺伝的アルゴリズムを用いた手法[4]など、機械学習を応用した研究もおこなわれている。これらは高圧縮率を実現しているが、リアルタイムに波形を圧縮することは出来ない。

本研究では、適応的差分パルス符号変調 (ADPCM) [5] を基にした心電データの圧縮手法[6]を用いる。ADPCM は一般に音声データなどの波形データに用いられる非常に計算時間が短い不可逆圧縮法として知られており、元のデータの 1 サンプルを 4bit に圧縮する。しかし、ADPCM による圧縮を行うとデータが急激に変化する部分で誤差が大きくなる。ところが、前述の通り心電図においてもっとも重要なデータは心拍を表す R 波であり、この周辺において心電の電位は急激な変化を起こすため、ADPCM は心電データの圧縮に適さない。そこで我々は、電位の変化が緩やかな部分は ADPCM で圧縮を行い、急激に変化する部分だけは元データを格納する圧縮手法[6]を提案した。この提案手法を本論文では ADPCM+RD アルゴリズムと呼ぶ。ADPCM+RD は、事前処理のいらぬリアルタイムな心電データ圧縮手法である。本論文では、圧縮率と平均誤差率について、MIT-BIH 不整脈データベース[7]を用いて ADPCM+RD と従来提案された心電データ圧縮手法とを比較した結果について報告する。

2. ADPCM における実データ組み込み手法

2.1. 手法の概要

ADPCM は過去の値の変化から StepSize と呼ばれる変数の値を増減させ、次の値の範囲を予測する。StepSize は過去の値の変動が大きければ増加し、小さければ減少する。次に圧縮したい今回の値を以下の式で表し、4bit の ADPCM 値を格納する。

$$\text{今回の値} = \text{前回の値} + (\text{StepSize} \times \text{ADPCM 値})$$

このため StepSize が小さい時に急激にデータが変化すると、圧縮したデータを復号した値と元のデータの値との間に大きな差が生じる。

そこで ADPCM+RD では、心電の電位変化が激しい部分、つまり、ADPCM における予測値との差が大きいデータは圧縮せず元の値を保存することで、復号したデータの再現率を向上させる。心電データは平坦な波形が大部分を占めるため、ADPCM をそのまま用いる場合と大差ないデータ容量に圧縮することが可能である。

具体的には、以下のように元のデータを圧縮データに組み込む。圧縮時には、ADPCM の圧縮アルゴリズムと同様に、心電データを 1 サンプル 4bit に圧縮する。4bit のうち、先頭の 1bit は符号ビット、後半 3bit は予測値との差を表す。ADPCM+RD では、後半の 3bit の値が最大値の 7 であるとき、その直後のビットに元のデータを挿入する。つまり従来の ADPCM で

"{2} {1} {4} {7} {5}..."

と出力されるデータの場合、ADPCM+RD では

"{2} {1} {4} {7} {RawData (12bit)} {5}..."

と出力する。復号時には、ADPCM と同様に復号するが、圧縮データ 4bit のうち後半 3bit が最大値の箇所を見つけたらその直後から特定の bit 数を元データとしてそのまま出力する。

2.2. ADPCM のパラメータチューニング

ADPCM は音声データ用の圧縮手法であり、StepSize の最大値や最小値、初期値などのパラメータは扱うデータに応じて経験的に決められている。本研究ではこれらのうち StepSize の最小値を MIT-BIH の心電データに合わせてチューニングすることで平均誤差の小さい圧縮を可能にする。MIT-BIH のデータで最小 StepSize を変更しながら平均誤差の推移を調べた結果、MIT-BIH の心電データでの最適な ADPCM の最小 StepSize は 4 とする。

3. 評価

評価には一般的な心電データ圧縮の評価項目[1]である圧縮率 (CR) と平均誤差率 (PRD) を用いる。CR, PRD はそれぞれ以下の数式で定義する。

$$\text{CR} = \frac{\text{InputData}}{\text{OutputData}}$$

$$\text{PRD}(\%) = 100 \times \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} (X_s(n) - X_r(n))^2}{\sum_{n=0}^{N-1} (X_s(n))^2}}$$

このとき、InputData は入力データサイズを表し、OutputData は出力データサイズを表す。N はデータサンプル数を表し、 X_s , X_r はそれぞれ圧縮、復号前後のデータサンプルの値を表す。

表 1 に ADPCM+RD の CR と PRD を MIT-BIH 不整脈データベース全 48 データで調べた結果を示す。100.dat ~ 234.dat は MIT-BIH の心電データ名である。全データで

Evaluation of Real-Data Embedding in Adaptive Differential Pulse Code Modulation for Electrocardiographic Data Compression

†Hiroyuki Komiyama, Ikuko Shimizu, Akio Sashima, Koichi Kurumatani, Tokyo University of Agri. and Tech.

‡Akio Sashima, Koichi Kurumatani, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

あまり変化がないCRに比べ、PRDはデータ毎のばらつきがあることがわかる。ADPCMはStepSizeとADPCM値の乗算で値を表現するため、StepSizeが大きくなる部分では元データの細かい再現が出来なくなる。このことから、PRDが大きいデータはStepSizeが大きくなる部分が多い、つまり値が急激に変化する部分が多いということがわかる。

表2にADPCM+RDと先行研究[1][2][3][4]における、MIT-BIH不整脈データベースを用いたCRとPRDの示す。Immune Algorithm[4]は101.dat, 117.dat, 119.dat, 207.dat, 210.datの5つのデータに対する結果の平均であり、それ以外はMIT-BIH全48データの平均である。

ADPCM+RDと先行研究を比較するとPRDは遺伝的アルゴリズムを用いた手法以外に対して半分以下になった。一方でCRは比較した全ての手法よりも低い値を示すことがわかった。

表1 各データにおけるADPCM+RDでのCRとPRD

	CR	PRD		CR	PRD
100.dat	2.907696	1.514997	201.dat	2.945699	1.075341
101.dat	2.886973	1.293234	202.dat	2.853848	1.161373
102.dat	2.879206	1.412631	203.dat	2.69375	1.060121
103.dat	2.885853	1.867822	205.dat	2.938101	1.255998
104.dat	2.838263	1.738656	207.dat	2.85056	0.792646
105.dat	2.816088	0.967457	208.dat	2.748771	1.202612
106.dat	2.748151	1.671902	209.dat	2.766766	2.290612
107.dat	2.747663	0.926987	210.dat	2.887819	1.227542
108.dat	2.778237	0.830618	212.dat	2.678064	1.960309
109.dat	2.845619	0.879598	213.dat	2.750306	1.295906
111.dat	2.831537	1.028532	214.dat	2.784791	1.11751
112.dat	2.930295	0.377099	215.dat	2.710419	1.903148
113.dat	2.797544	1.8835	217.dat	2.751214	0.945455
114.dat	2.833685	1.474092	219.dat	2.901337	0.847519
115.dat	2.935951	1.390541	220.dat	2.924178	1.393953
116.dat	2.812895	0.883382	221.dat	2.852946	1.406092
117.dat	2.882015	0.377104	222.dat	2.81818	1.639053
118.dat	2.727616	0.758994	223.dat	2.912091	0.876618
119.dat	2.83157	0.694456	228.dat	2.773811	0.995055
121.dat	2.946171	0.228079	230.dat	2.913561	1.762394
122.dat	2.8044	0.580942	231.dat	2.924196	1.870279
123.dat	2.881683	0.769758	232.dat	2.919712	1.408052
124.dat	2.929635	0.489873	233.dat	2.831857	1.063266
200.dat	2.787458	1.333432	234.dat	2.909909	1.512993

表2 ADPCM+RDと先行研究の性能比較

	CR	PRD
Real-Time Compression[1]	21.29	1.74
DWT Compression[2]	15.10	2.82
EMD Compression[3]	13.50	29.82
Immune Algorithm[4]	20.04※	0.82※
ADPCM+RD	2.84	1.20

次に計算量についての検討を行う。ADPCMは元のデータ間の差分を計算してStepSizeという変数の倍率としてデータを格納していくため計算量は $O(N)$ で表すことが出来る。ADPCM+RDもADPCMの途中に場合分けを挟むアルゴリズムであるため計算量は同様に $O(N)$ で表すことが出来る。一方、比較対象のReal-Time Compression[1]では離散コサイン変換が使われており計算量は $O(N \log N)$ である。DWT Compression[2]はそれぞれ計算量 $O(N)$ である離散ウェーブレット変換と差分パルス符号変調を使用している。EMD Compression[3]で用いられている経験的モード分解

の計算量は、数値が収束するまでの繰り返し計算を含むため計算量の見積もりが難しいが、元波形を複数の波形に加法分解する性質上少なくとも $O(N)$ 以上の計算量である。以上のことからADPCM+RDは理論上これら二つのアルゴリズムより計算量が少ないことがわかる。

4. まとめ

本論文では心電図圧縮のためのADPCMにおける実データ組み込み手法(ADPCM+RD)の評価を行った。ADPCM+RDの長所は、R波などのデータが急激に変化する部分を完全に保持したままリアルタイムの圧縮復号が可能などである。また、従来提案された手法と比較して高い精度で復号出来ることがわかった。これは、データが急激に変化する部分を保持したことにより、R波の部分が完全に再現されているためである。さらに、ADPCMは簡単な四則演算と場合分けをデータサンプルの数だけ計算すればよいので、非常に計算量が少ない。ADPCM+RDはADPCMの処理に場合分けを加える手法であり、計算量を大きく増やすことはないためADPCM同様、シンプルなアルゴリズムで低計算量な圧縮が行えると言える。

一方で、先行研究と比べて圧縮率が低い点が短所と言える。ADPCMでは圧縮後のデータは1サンプルが一律4bitであるため、1サンプルが12bitであるMIT-BIHのデータを圧縮した場合CRの最大値は3である。さらに、一部のデータは元データの値を保持しているためCRは3弱という結果になった。今後の課題は、リアルタイム性と精度を維持しつつ圧縮率を上げることである。

参考文献

- [1] SangJoon Lee, Jungkuk Kim, MyoungHo Lee, "A Real-Time ECG Data Compression and Transmission Algorithm for an e-Health Device", IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING, VOL. 58, NO. 9, 2011
- [2] Mohammed M. Abo-Zahhad, Tarik K. Abdel-Hamid, Abdelfatah M. Mohamed, "Compression of ECG Signals Based on DWT and Exploiting the Correlation between ECG Signal Samples", Int. J. Communications, Network and System Sciences, 2014, pp.53-70
- [3] Dan Yang, Meng-zhi Qin, Bin Xul "ECG Compression Algorithm Based on Empirical Mode Decomposition", International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition Vol.8, No.2, 2015, pp. 165-174
- [4] Mohammed Abo-Zahhad, Sabah M. Ahmed and Nabil Sabor, "Wavelet Threshold-Based ECG Data Compression Technique Using Immune Optimization Algorithm", International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition Vol.8, No.2, 2015, pp. 347-360
- [5] International Telecommunication Union, "40, 32, 24, 16kbit/s adaptive differential pulse code modulation (ADPCM)", G.726, 1990
- [6] 小宮山広幸, 清水郁子, 池田剛, 幸島明男, 車谷浩一, "適応的差分パルス符号変調を用いた心電データ圧縮", 電子情報通信学会総合大会講演論文集 2015年_情報・システム(1), 88, 2015-02-24
- [7] MIT-BIH Arrhythmia Database, <https://www.physionet.org/physiobank/database/mitdb/>