

生体情報圧縮のための差分符号化命令セット・プロセッサの提案

中塚 祥子[†] 坂 主 圭 史[†]
武 内 良 典[†] 今 井 正 治[†]

本論文では、前後の差分が小さい特徴を持つ生体情報の圧縮のための符号化法を提案し、その符号化法を用いた低消費電力量で圧縮を行うプロセッサを提案する。近年、日常生活で長時間かけて行う検査のための生体情報センシング機器の開発が望まれている。機器では通信時の消費電力量を抑えるために情報を圧縮する。実験結果より、提案する符号化法のための専用命令を持つ符号化プロセッサは、生体情報の符号化処理を行った場合、(従来型の) RISC 命令のみを有するプロセッサと比較して、消費電力量は最大 56.7%削減できることを確認できた。

Application Specific Instruction Set Processor for Delta Encoding of Biomedical Information

NAKATSUKA SHOKO,[†] SAKANUSHI KEISHI,[†] TAKEUCHI YOSHINORI[†]
and IMAI MASAHARU[†]

This paper proposes a coding method and an instruction set processor that utilizes characteristics of biomedical information. In recent years, biomedical information sensing system is developing for monitoring human information in daily life. In these sensing systems, information is compressed for reducing energy consumption in communication. Proposed instruction set processor is designed for proposed delta encoding with low energy. Experimental results show that proposed processor achieves 56.7% energy reduction compared to a normal RISC implementation.

1. はじめに

近年、医療現場では高血圧などの慢性疾患の患者に対して、病院で行う短時間の検査で得る生体情報だけでなく、日常生活を送りながら長時間かけて取得しつづける生体情報も重要視されている。病院の検査では異常が出ない場合でも、長時間かけて取得しつづけた生体情報に異常が発見される場合もあるからである。日常生活での長時間での検査によってかかる患者の物理的・精神的負担軽減のため、検査に使用する生体情報センシング機器は、低侵襲・無拘束・無自覚である必要がある¹⁾。このため、検査機器は小型で軽量で低消費電力でなければならない。生体情報センシング機器の開発の例としては、膀胱内圧のデータや直腸内圧のデータ等の生体情報を測定し、無線通信で体外の機器へ情報を送信するカプセル型の医療機器等がある²⁾。検査機器は長時間連続して生体情報を測定しつづける

ので、生体情報の量は多く、情報を他の機器へ送信するときにかかる消費電力量は大きくなる。このため、機器の電池のサイズを大きくせねばならなくなり、その場合、機器は小型化できなくなる。機器の小型化のために、通信時の消費電力量を削減することを考える。そのためには、送信する生体情報を圧縮して情報量を減らせば良い。精密な検査を行うためには、圧縮は1ビットの損失もなく復元できる可逆圧縮である必要がある。したがって生体情報の圧縮は、低消費電力量で行える可逆圧縮である必要がある。

本稿では、生体情報の圧縮のための符号化法を提案し、提案する符号化法を用いて低消費電力量で効率的に生体情報の圧縮を行うプロセッサを提案する。生体情報の中には前後の差分の値が小さい特徴を持つものがあるので、その特徴を持つ生体情報の圧縮手法として可逆圧縮で差分の圧縮を行う符号化法を考える。また、圧縮時の消費電力量を抑えるために、符号化法のための専用命令を追加したプロセッサを提案する。専用命令を用いることで符号化が効率的に行われ、実行サイクル数が減少し、消費電力量を抑えることがで

[†] 大阪大学 大学院情報科学研究科

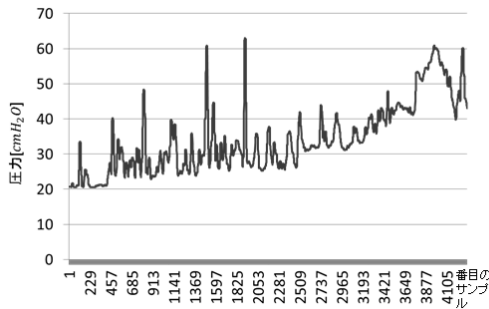


図 1 膀胱内圧のデータ
Fig. 1 Data of intravesical pressure

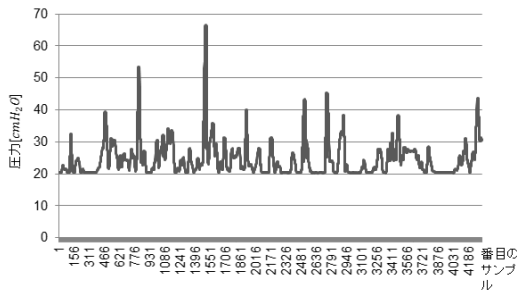


図 2 直腸内圧のデータ
Fig. 2 Data of rectum pressure

きる。

本稿の構成は以下の通りである。第 2 節では生体情報の圧縮に適した符号化法のアルゴリズムを提案する。第 3 節では提案圧縮手法と他の圧縮手法の圧縮率を比較する。第 4 節では、符号化処理のための専用命令を持つプロセッサを提案する。第 5 節では、提案したプロセッサの評価実験について述べる。第 6 節ではまとめと今後の課題について述べる。

2. 生体情報と可逆圧縮符号化法

本節では、生体情報と、提案する生体情報のための符号化法について述べる。

2.1 生体情報

生体情報は、検査機器で長時間連続して測定する。わずかな異常も逃さないように、短い間隔で測定を行う。例えば、体内埋め込み型検査機器を用いた膀胱の内圧の測定では 120[msec] ごとに測定を行う。したがって、測定で得る生体情報の量は膨大になる。

本稿で扱う生体情報は膀胱の内圧の値である膀胱内圧のデータと直腸の内圧の値である直腸内圧のデータである。膀胱内圧のデータは膀胱の圧力値 [cmH₂O] を 120[msec] ごとに測定したもので、直腸内圧のデー

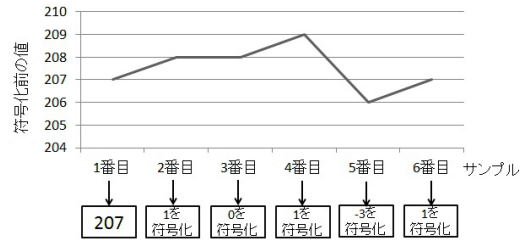


図 3 差分の符号化
Fig. 3 Delta encoding

タは直腸の圧力値 [cmH₂O] を 120[msec] ごとに測定したものである。図 1 に膀胱内圧のデータの時間変化図を、図 2 に直腸内圧のデータの時間変化図を示す。

2.2 生体情報の符号化法

表 1 に、膀胱内圧と直腸内圧の前後のサンプルの値の差分の出現確率を示す。膀胱内圧と直腸内圧のデータは、差分の絶対値が小さいものほど高い出現確率となっている。前後の差分が小さいという特徴をもつ生体情報を圧縮するため、差分を算出して符号化することを考える。生体情報を扱うため、手法は 1 ビットの損失もなく符号化・復号を行えなければならない。

図 3 に差分の符号化の考え方を示す。最初のサンプルはそのままの値を残し、2 番目のサンプルからは一つ前のサンプルとの差を符号化していく。復号の場合は、最初のサンプルは取得したデータとし、2 番目からは符号語を復号して得た差分と、1 つ前に復号したサンプルを足してサンプルの値を得る。

2.2.1 生体情報に適した差分の符号化法

生体情報をより小さく圧縮するため、生体情報に適する差分の符号化の部分の方法を提案する。ゴロム符号³⁾、指数ゴロム符号⁴⁾を基に、負数を扱えるように、そしてより小さく生体情報を圧縮できるような符号化法を提案する。

符号化の方法は以下ようになる。符号化したい値を l とする。

- (1) 以下の式を満たす i を決める。 $-4 \leq l \leq 3$ の時 $i = 1$, l がそれ以外の範囲の時は $-\sum_{j=1}^i 2^{3j-1} \leq l \leq -\sum_{j=1}^{i-1} 2^{3j-1} - 1$ または $\sum_{j=1}^{i-1} 2^{3j-1} \leq l \leq \sum_{j=1}^i 2^{3j-1} - 1$ を満たす i .
- (2) $(i-1)$ の数だけ 1 を並べ、次に 0 を入れて接頭語とする。
- (3) 末尾に $3i$ ビットで l をバイナリ符号化したものを加える。

表 2 に提案する符号化法の符号語と値の関係を示す。また、復号は以下ようになる。復号したい符号

表 1 膀胱内圧と直腸内圧のデータの差分の出現確率 (%)

Table 1 Probability of the difference of the data of intravesical pressure and rectum pressure(%)

差分	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	-6 以下, 6 以上
膀胱内圧 (%)	0.5	0.7	1.4	4.6	17.9	47.2	16.0	4.5	1.2	0.7	0.5	4.8
直腸内圧 (%)	0.4	0.9	1.3	4.6	15.4	50.6	14.2	4.7	1.0	0.8	0.4	5.7

表 2 提案する符号化法の符号語

Table 2 Codeword of the proposed coding method

i	差分の範囲	表現法
1	-4 ~ 3	0***
2	-36 ~ -5, 4 ~ 35	10*****
3	-292 ~ -37, 36 ~ 291	110*****
4	-2340 ~ -293, 292 ~ 2339	1110*****

表 3 符号語と差分の値

Table 3 Codeword and differential value

i	差分の範囲	表現法
1	-4 ~ 3	0***
2	-36 ~ -5, 4 ~ 35	1***0***
3	-292 ~ -37, 36 ~ 291	1***1***0***
4	-2340 ~ -293, 292 ~ 2339	1***1***1***0***

語を m とする。

- (1) 接頭語を切り出し, 1 の数を数えて, その数に 1 を足したものを i とする。
- (2) 末尾の $3i$ ビットについて, 最上位ビットが 1 のときは $3i$ ビットで表される二進数の値に $\sum_{j=1}^{i-1} 2^{3j-1}$ を引いた値, 最上位ビットが 0 のときは $3i$ ビットで表される二進数の値に $\sum_{j=1}^{i-1} 2^{3j-1}$ を足した値が復号した値となる。

2.2.2 符号化の実装方法

本稿で扱う生体情報は 10 ビットで測定される膀胱内圧の値と直腸内圧の値である。したがって, 実装は $i = 4$ までで良い。また, 接頭語の 1 と 0 を 4 ビットごとに配置した。表 3 に符号語と差分の値の関係を示す。

符号化する場合は最初のサンプルはそのままの値で符号化し, 二番目以降のサンプルは直前のサンプルとの差分を符号化していく。図 4 に作成した符号化プログラムの流れを示す。前処理では, 使用する変数の初期化と最初のサンプルのロード, メモリへの保存を行う。次に, 2 番目のサンプルをロードし, 最初のサンプルとの差分を計算する。

本稿で扱う生体情報は 10 ビットなので, 符号語長は 4 ビット, 8 ビット, 12 ビット, 16 ビットのいずれかになる。メモリへ 16 ビットずつ保存する場合, 符号語長の合計が 16 ビットになるまで符号語をためてお

バッファステップ バッファ

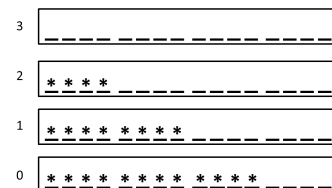


図 5 符号化時のバッファステップとバッファの状態

Fig. 5 The state of bufferstep and buffer at coding

くバッファが必要になる。また, バッファへ何ビット格納されているかの状態を示すためのバッファステップを用意した。図 5 にバッファステップとバッファとの関係を示す。バッファステップは 4 種類のバッファの状態を示しており, バッファは符号語が合わせて 16 ビットになるまで符号語を保持しておく部分である。初期状態はバッファステップが 3 のときであり, このときバッファは空の状態である。バッファステップが 2 のときのバッファの状態は上位 4 ビットに符号語が入っている状態であり, 1 のときは上位 8 ビット, 0 のときは上位 12 ビット入った状態である。バッファが 16 ビット入ったときに符号語はメモリへ保存される。

バッファステップと差分をもとに必要なビット処理の場所へ分岐する。例えば, バッファステップの値が 3 で差分の値が 2 のときはバッファステップが 3 の 4 ビット処理へ分岐する。必要なビット処理の場所へ分岐した後, 差分を符号化する。

符号語の計算の後, バッファステップと符号語長に応じてバッファへの格納・メモリへの保存・バッファステップの変更を行い, ビット処理を終える。現在のサンプルを古いサンプルとし, 次に読み込むべきサンプルがあるときはサンプルのロード部分へ戻り, サンプルがないときは終了処理へ移る。終了処理では, バッファステップが 3 以外のときにバッファに残っている符号語をメモリへ保存して終了する。

3. 提案符号化法と従来の符号化法との比較

提案する符号化法と, 他の圧縮手法との比較を行った。比較に用いたのは, ハフマン符号化, 適応的ハフマン符号化, 算術符号化, 辞書的符号化⁵⁾ と, LZ0 圧縮

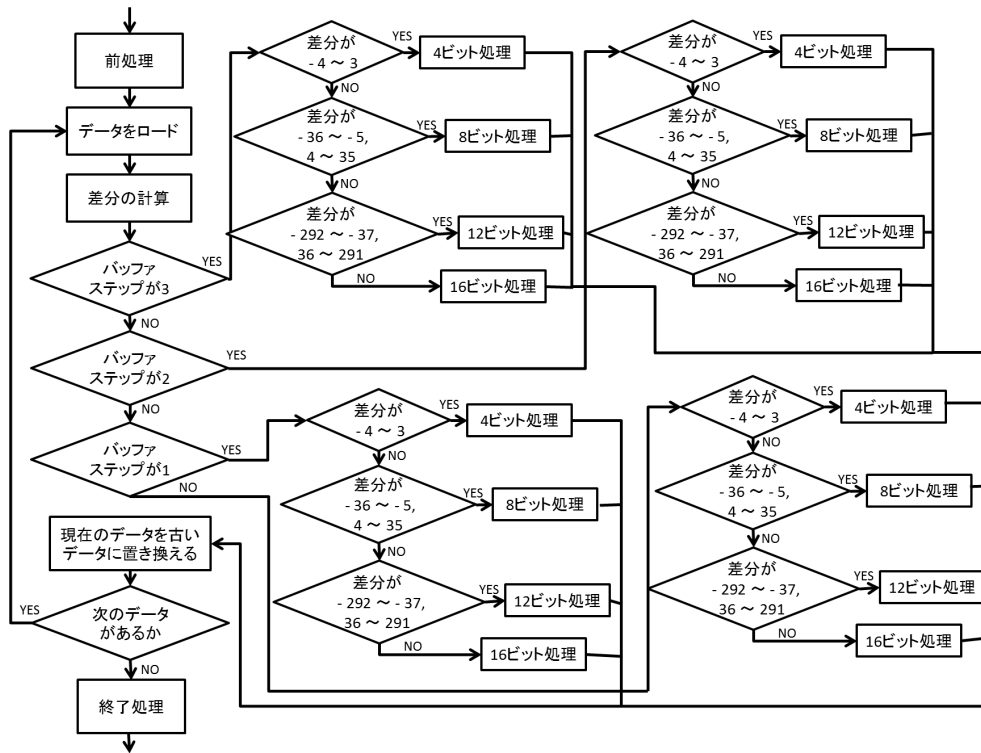


図 4 符号化の流れ
Fig. 4 Encoding flow

のサブセットである miniLZO 圧縮である。miniLZO 圧縮は生体情報センシングシステムでの情報圧縮に使われている。⁶⁾ これらは全て可逆圧縮である。

$$C = (1 - \text{compsize}/\text{rawsize}) * 100 \quad (1)$$

圧縮率 C[%] は、圧縮後のサイズ compsize と元のデータサイズ rawsize を用いて式 (1) で表される。圧縮率の値が大きいほど小さく圧縮できたことを意味し、圧縮率が負の値となったときは、元のデータのサイズよりも大きくなったことを意味する。

表 4 に膀胱内圧のデータを 6 種類の圧縮手法で圧縮した場合の圧縮率の比較結果を示す。どのデータにおいても、提案手法は圧縮率を 50%以上を保っている。

表 5 に直腸内圧のデータを 6 種類の圧縮手法で圧縮した場合の圧縮率の比較結果を示す。どのデータにおいても、提案手法は圧縮率を 50%以上を保っている。

miniLZO 圧縮、ハフマン符号化、適応的ハフマン符号化、算術符号化、辞書的符号化については、元のデータよりも符号化後のデータの方が大きくなっているものもある。これは、差分の出現確率は偏りが大きい、元の値そのものの出現確率は偏りが小さいからであると考えられる。以上より、提案する符号化法は差分が小さい生体情報のデータでは効果的に圧縮が可能で

あることがわかる。

4. 生体情報圧縮処理向きプロセッサ・アーキテクチャ

本節では、符号化に適したプロセッサを提案する。ASIP Solutions 社の提供する 16 ビットの汎用 RISC プロセッサである Brownie Micro 16 をベースに、符号化のための専用命令を追加する。専用命令を用いることで符号化が効率的に行われ、実行サイクル数が減少し、消費電力量を抑えることができる。プロセッサの設計に使用したツールは ASIP Meister⁷⁾⁸⁾ である。

4.1 符号化用プロセッサの専用命令

Brownie Micro 16 に追加する符号化用の専用命令について述べる。図 6 に追加する符号化用専用命令を用いた場合の符号化の制御フローグラフを示す。前処理の後、LDSAM 命令で値をロードし、差分を算出する。BR3 命令で差分の値に応じて必要な符号化処理部分へ分岐をし、COM4 ~ COM16 命令で差分の符号化処理を行い、RES0 ~ RES3 命令で符号語を格納する。現在のデータを古いデータに置き換えた後、BRENC 命令で次のループへ移るか、終了処理へ移る。

以下で用いている記号について、&はビット毎の論

表 4 膀胱内圧のデータの圧縮率 (%)

Table 4 Comparison of compression ratio of intravesical pressure data (%)

膀胱内圧 のデータ	提案手法	適応的				
		miniLZO	ハフマン	ハフマン	算術	辞書的
データ 1	57.1	16.1	-9.7	-8.0	-8.0	28.2
データ 2	54.9	-20.1	-24.7	-24.8	-24.5	-9.2
データ 3	58.2	22.9	-2.5	1.2	-0.4	35.2

表 5 直腸内圧のデータの圧縮率 (%)

Table 5 Comparison of compression ratio of rectum pressure data (%)

直腸内圧 のデータ	提案手法	適応的				
		miniLZO	ハフマン	ハフマン	算術	辞書的
データ 4	57.3	27.9	13.9	17.2	14.8	39.3
データ 5	51.6	-3.9	-9.1	-5.7	-7.3	4.9
データ 6	58.2	33.5	10.7	13.5	11.8	39.7

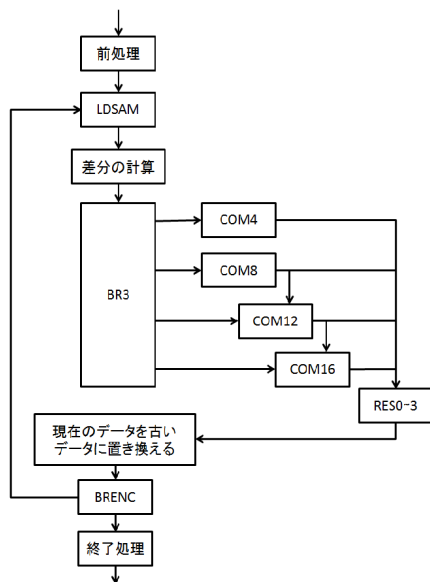


図 6 専用命令を用いた場合の符号化の制御フローグラフ
Fig. 6 Controll flow graph of encoding in the case of using special instructions

理積を、| はビット毎の論理和を、<< は指定したビット数分の左シフト演算を意味している。

4.1.1 データロード命令

- LDSAM rs (LoaD SAMple)
次に符号化するサンプルを GPR(rs) へロードする。

4.1.2 符号化用分岐命令

符号化用分岐命令は符号化に必要な分岐をまとめた命令である。

- BRENC rs (BRanch ENCode)
GPR(rs) に入る符号化すべきサンプルの数を基に、符号化すべきサンプルがあるときには前処理

の直後の状態に戻り、サンプルがないときには終了処理部分へ移る。

- BR3 rs (BRanch 3bufferstep)
GPR(rs) に入っているバッファステップの値と、レジスタ GPR7 に格納されている差分の値に応じて 16 箇所へ分岐する。図 7 に BR3 分岐命令の動作を示す。例えば、バッファステップの値が 3 で差分の値が 2 のときは、バッファステップが 3 のときの 4 ビット処理部分へ分岐する。

4.1.3 差分符号化命令

差分符号化命令は差分を符号化するとき使用する命令である。

- COM4 rd rs (COMpress 4bit)
GPR(rs) を 4 ビットに符号化する命令。
 $GPR(rd) = GPR(rs) \& 0x0007$ の計算を行う。
- COM8 rd rs (COMpress 8bit)
GPR(rs) を 8 ビットに符号化するとき使用する命令。
 $GPR(rd) = (GPR(rs) \ll 1) \& 0x0070 | GPR(rs) \& 0x0007 | 0x0080$ の計算を行う。
- COM12 rd rs (COMpress 12bit)
GPR(rs) を 12 ビットに符号化するとき使用する命令。
 $GPR(rd) = (GPR(rs) \ll 2) \& 0x0700 | GPR(rs) | 0x0880$ の計算を行う。
- COM16 rd rs (COMpress 16bit)
GPR(rs) を 16 ビットに符号化するとき使用する命令。
 $GPR(rd) = (GPR(rs) \ll 3) \& 0x7000 | GPR(rs) | 0x8880$ の計算を行う。

レジスタ GPR7 に格納されている差分を 12 ビットに符号化して得た符号語をレジスタ GPR10 に格納す

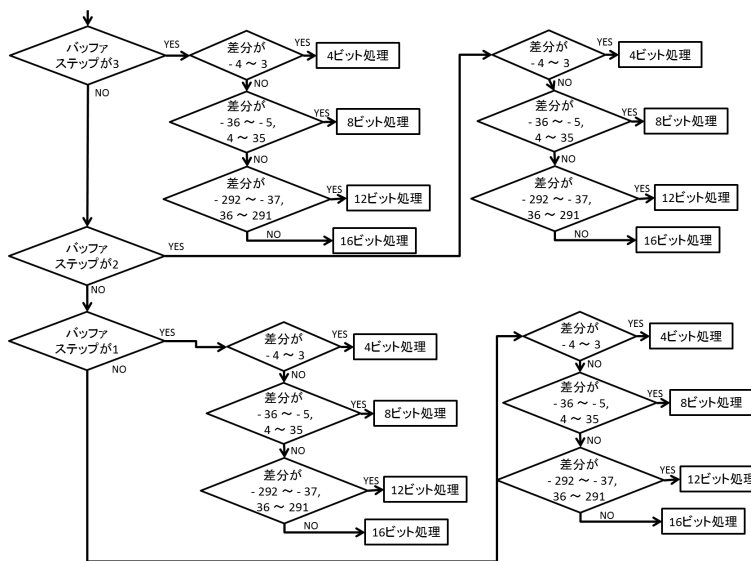


図 7 BR3 分岐命令の動作

Fig. 7 Behavior of instruction of BR3

る動作を，専用命令を使って記述すると以下のようになる。

COM8 %GPR10,%GPR7

COM12 %GPR10,%GPR7

COM8 命令を使って差分から 12 ビットの符号の下位 8 ビットを符号化し，レジスタ GPR10 へ格納する。COM12 命令を使って，差分から 12 ビットの符号の上位 4 ビットを符号化し，レジスタ GPR10 に格納されている COM8 命令で符号化した下位 8 ビットと連結して 12 ビットの符号語を作り，レジスタ GPR10 へ格納する。

レジスタ GPR7 に入っている差分を 16 ビットに符号化して得た符号語をレジスタ GPR10 に入れる動作を，専用命令を使って記述すると以下のようになる。

COM8 %GPR10,%GPR7

COM12 %GPR10,%GPR7

COM16 %GPR10,%GPR7

4.1.4 符号格納命令

符号化したデータが 16 ビットに満たないときにバッファへ格納する命令である。rs を符号語，rd をバッファとする。

- RES3 rd rs (RE-Stuff bufferstep3)
バッファステップが 3 のときの 4 ビット格納処理を行う。
 $GPR(rd) = (GPR(rs) \ll 12) \& 0xf000$ の計算を行う。
- RES2 rd rs (RE-Stuff bufferstep2)
バッファステップが 2 のときの 4 ビット格納処理

を行う。

$GPR(rd) = ((GPR(rs) \ll 8) \& 0xf00)$
 $GPR(rd)$ の計算を行う。

- RES1 rd rs (RE-Stuff bufferstep1)
バッファステップが 1 のときの 4 ビット格納処理を行う。
 $GPR(rd) = (GPR(rs) \ll 4) \& 0xf0$
 $GPR(rd)$ の計算を行う。
- RES0 rd rs (RE-Stuff bufferstep0)
バッファステップが 0 のときの 4 ビット格納処理を行う。
 $GPR(rd) = (GPR(rs) \& 0xf)$
 $GPR(rd)$ の計算を行う。

5. 評価実験

本節では，専用命令を実装したプロセッサと，ベースとなった命令拡張を行っていない RISC プロセッサ (Brownie Micro 16) との比較実験とその考察について述べる。

5.1 実験方法

符号化専用命令を実装した符号化用プロセッサと Brownie Micro 16 について，6 種類のテストデータに対して符号化を行い，実行サイクル数，消費電力量を比較した。またプロセッサの面積と消費電力と最大動作周波数の比較を行った。

プロセッサの面積と最大動作周波数は Synopsys 社の Design Compiler⁹⁾ を用いて見積もった値である。論理合成で使用したライブラリは 0.18 μ m CMOS ラ

表 7 プロセッサの設計指標
Table 7 Design qualities of processors

プロセッサ	面積 [μm^2]	消費		最大動作
		電力 [mW]		周波数 [MHz]
Brownie Micro 16	61,449	3.051		190
提案 プロセッサ	80,382 (+30.8%)	3.076 (+0.8%)		143 (-24.7%)

イブラリである。論理合成は、面積が最小になるように条件を与えて行った。最大動作周波数はプロセッサのクリティカルパスの遅延時間が最小となる時の値である。論理合成して得た回路で符号化プログラムをMentor社のModelSim¹⁰⁾を用いてシミュレーションして実行サイクル数を測定し、さらにPower Compiler⁹⁾を用いて消費電力を測定した。消費電力量は、実行サイクル数N[サイクル]、消費電力P[μW]、動作周波数f[MHz]を用いて式(2)で求められる。実験時の動作電圧は1.8[V]、動作周波数は100[MHz]である。

$$E = PN \frac{1}{f} \quad (2)$$

5.2 テストデータ

テストデータは、膀胱内圧のデータと直腸内圧のデータである。膀胱内圧のデータはデータ1・データ2・データ3で、サンプルが1000個のデータである。直腸内圧のデータはデータ4・データ5・データ6で、サンプルが1000個のデータである。表6に膀胱内圧と直腸内圧の各データにおける符号化の圧縮率を示す。

5.3 実験結果

5.3.1 プロセッサの面積、消費電力、最大動作周波数

表7にBrownie Micro 16と提案プロセッサの面積と消費電力、及び最大動作周波数を示す。表7中の括弧内の数値は、Brownie Micro 16を基準とした時の増減の割合を表している。面積について、Brownie Micro 16と比べて符号化用プロセッサは30.8%増加している。消費電力について、Brownie Micro 16と比べて符号化用プロセッサは0.8%増加している。最大動作周波数について、Brownie Micro 16と比べて符号化用プロセッサは24.7%減少している。

5.3.2 符号化処理時の実行サイクル数と消費電力量

符号化処理時の実行サイクル数と消費電力量について、Brownie Micro 16と符号化用プロセッサについて比較を行った。表8に膀胱内圧のデータと直腸内圧のデータを符号化したときの実行サイクル数を示す。表8中の括弧内の数値は、Brownie Micro 16に対する増減の割合を表している。符号化用プロセッサはBrownie Micro 16と比べて最大61.1%実行サイク

ル数を削減した。

表9に膀胱内圧のデータと直腸内圧のデータを符号化したときの消費電力量を示す。表9中の括弧内の数値は、Brownie Micro 16に対する増減の割合を表している。符号化用プロセッサはBrownie Micro 16と比べて最大56.7%消費電力量を削減した。

5.4 考察

5.4.1 プロセッサの面積、消費電力、最大動作周波数

プロセッサの面積はBrownie Micro 16と比べ、30.8%増加した。消費電力においても増加した。面積と消費電力の増加は、専用命令を追加したことによるものである。また、命令を追加したことによりクリティカルパスの長さが伸びたために遅延が大きくなり、符号化用プロセッサはBrownie Micro 16よりも最大動作周波数が減少した。

5.4.2 実行サイクル数と消費電力量

符号化処理時では、Brownie Micro 16と比べ、符号化用プロセッサの実行サイクル数・消費電力量ともに大幅に削減することができた。専用命令を用いることで、実行サイクル数を削減できた。消費電力量について、消費電力は符号化用プロセッサよりもBrownie Micro 16の方が小さいが、消費電力の差よりも実行サイクル数の差が大きいため消費電力量は実行サイクル数の影響を強く受けるので、消費電力量も大幅に削減することができた。

6. おわりに

本研究では、差分が小さいという特徴を持つ生体情報の圧縮手法として差分の符号化法を提案した。そして、提案した符号化法を効果的に用いる専用命令を持ったプロセッサを提案した。提案したプロセッサを用いて、生体情報センシング機器と外部機器との通信時の消費電力量を削減するために、送信する生体情報に対して低消費電力での圧縮を行った。

符号化では膀胱内圧のデータ、直腸内圧のデータに対し50%から60%程度の圧縮ができたことを確認した。符号化用プロセッサでは、専用命令追加前のプロセッサと比較して実行サイクル数・消費電力量を50%程度削減することができた。今後は復号処理についてのプロセッサの検討を行う。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省「医・工・情報連携によるハイブリッド医工学産学連携拠点整備事業」および地域イノベーション戦略支援プログラム(国際競争力強化地域)「けいはんな学研都市ヘルスケア開発地域」による。

表 6 膀胱内圧のデータと直腸内圧のデータの圧縮率 (%)

Table 6 Compression ratio of intravesical pressure and rectum pressure (%)

	膀胱内圧のデータ			直腸内圧のデータ		
	データ 1	データ 2	データ 3	データ 4	データ 5	データ 6
圧縮率 (%)	55.9	57.4	58.2	57.1	57.0	58.9

表 8 膀胱内圧のデータと直腸内圧のデータの符号化処理時の実行サイクル数

Table 8 Execution cycles of coding of data of intravesical pressure and rectum pressure

プロセッサ	膀胱内圧のデータ [Cycles]			直腸内圧のデータ [Cycles]		
	データ 1	データ 2	データ 3	データ 4	データ 5	データ 6
Brownie Micro 16	573,580	557,184	550,045	560,485	562,101	545,033
提案	231,955	224,737	221,238	226,008	226,585	219,473
プロセッサ	(-59.6%)	(-61.1%)	(-59.8%)	(-59.7%)	(-59.7%)	(-59.7%)

表 9 膀胱内圧のデータと直腸内圧のデータの符号化処理時の消費電力量

Table 9 Energy consumption of coding of data of intravesical pressure and rectum pressure

プロセッサ	膀胱内圧のデータ [nJ]			直腸内圧のデータ [nJ]		
	データ 1	データ 2	データ 3	データ 4	データ 5	データ 6
Brownie Micro 16	23,631	23,012	22,717	23,092	23,271	22,401
提案	10,345	10,046	9,867	10,057	10,128	9,701
プロセッサ	(-56.2%)	(-56.3%)	(-56.6%)	(-56.5%)	(-56.5%)	(-56.7%)

参 考 文 献

- 1) 今井正治, 武内良典, "医療・ヘルスケア用生体情報センシング・システムでの無線通信の高信頼度化と低消費電力化", 2012年電子情報通信学会総合大会, pp. SS-43 - 46, March 2012.
- 2) Hirofumi Iwato, Keishi Sakanushi, Yoshinori Takeuchi, Masaharu Imai, Akira Matsuzawa, and Yoshihiko Hirao, "A Low Power SoC for Pressure Measurement Capsules in Ambulatory Urodynamic Monitoring", Proceedings of Cool Chips XIII, pp. 441-446, Apr. 2010.
- 3) S. W. Golomb, "Run-Length Encodings," IEEE Trans. on Information Theory, IT-12(3), pp. 339-401, 1966.
- 4) L. LI, K. Chakrabarty, "On Using Exponential-Golomb Codes and Subexponential Codes for System-on-a-Chip Test Data Compression," Journal of Electronic Testing : Theory and Applications 20, 667-670, 2004.
- 5) Mark Nelson, Jean-Loup Gailly (荻原剛志, 山口英 訳), 「データ圧縮ハンドブック 改訂第2版」, 株式会社トッパン, 1996.
- 6) oberhumer.com GmbH, <http://www.oberhumer.com/>
- 7) 今井正治, 武内良典, "コンフィギュラブル・プロセッサ生成技術の現状と今後の展望", 第17回回路とシステム 軽井沢ワークショップ, pp.541-548, 2004.
- 8) 今井正治, 武内良典, 塩見彰睦, 佐藤淳, 北嶋暁, "特定用途向きプロセッサ開発システム ASIP Meis-ter", 電子情報通信学会技術研究報告. ICD, Vol. 102, No. 401, pp. 39-44, 2002.
- 9) Synopsys, Inc., http://www.synopsys.co.jp/products/dc_ultra/detail.html
- 10) Mentor Graphics Japan Co.,Ltd., <http://www.mentorg.co.jp/>