

# 人工視覚系のための刺激座標情報圧縮技術に関する研究

## Data compression method for stimuli position in visual prostheses devices

2167003



研究代表者

大阪大学大学院情報科学研究科 博士課程後期

杉 浦 友 紀

### [研究の目的]

集積回路の微細化技術の向上により組込み機器の小型化および情報処理能力の飛躍的な向上がもたらされ、医療分野では使用者の恒常的な身体機能の補助および維持を目的とした埋め込み型医療機器（IMD：Implantable medical device）が登場した。IMD は主にセンサ、アクチュエータ、制御回路、および無線通信モジュールから構成され、体内側のセンサで計測した情報をもとにアクチュエータを作動させて神経の刺激や薬物の投与などを行い、使用者の状態を恒常的に維持する。また、無線通信モジュールによって外部機器へ測定データを送信する。IMD の利点として医療従事者が遠隔にしながらして使用者の容態を知ることができ、また使用者も在宅ながら診断を受けることにより、双方の負担を軽減することが期待できる。一方で、定期的なデータ送受信に起因する消費電力量は IMD の消費電力量の多くを占めており、内蔵電源の小型化や稼働時間の延長のために IMD の消費電力量の削減が重要な課題となっている。

IMD の中でも、人工視覚システムは従来の手術による治療では難しかった疾患や事故による視力の低下もしくは損失から使用者の視覚を回復することができる手法として注目されている。人工視覚システムは、視神経系上に配置さ

れた刺激インタフェースを外部の情報を元に制御し、視神経系に刺激を与えることにより、使用者に擬似的な視覚を認知させる、といったシステムである。視神経が刺激されることにより、視覚上に光覚（phosphene）が発生することが知られており、光覚の集合によって擬似的な視覚を形成する研究がなされている。刺激方法は電極による電氣的な刺激が多く用いられてきた一方で、光による刺激を用いる研究も増加しており、光遺伝学の応用によって刺激に用いる波長ごとに神経の興奮および抑制を選択できるようになったことを用いて低消費電力量かつ選択的な刺激を可能とする人工視覚システムの開発に取り組む研究が現れている。他の IMD と比較して、人工視覚システムは消費電力量について刺激点数の多さや長時間使用に耐えうる消費電力量が求められる。これらの課題を改善するために、本研究では人工視覚システムの消費電力量の削減について取り組んだ。

人工視覚システムでは刺激情報の更新頻度の高さが要求されるため無線通信モジュールの消費電力量が占める割合が大きくなることが予想される。一方で、無線通信における通信速度を落とすことは擬似視覚認識のリアルタイム性を損なう恐れがあるため、無線通信部に情報処理を加え通信量を削減することで人工視覚システムの消費電力量の削減を図る。

本研究では、刺激情報のデータサイズを効率

良く削減する圧縮手法について取り組んだ。提案する圧縮手法は、刺激情報の中でも更新頻度の高い、電極を用いて刺激する座標の情報である刺激位置情報に対して圧縮処理を行う。先行研究では、外部から入力された画像から非線形な変換処理によって生成される刺激位置情報を1次元の情報とみなしており、時間的に連続する2フレーム分の刺激位置情報から差分情報を生成し、差分情報中の変更部分および非変更部分に対しそれぞれ異なる圧縮手法を用いていた。本研究では新たに刺激位置情報を2次元平面上の情報にとらえ、2次元平面上の冗長性を利用することで1次元情報と捉えるよりもより多くの冗長性を削減できることを明らかにすると共に、差分情報の2次元平面上の変更部分の局所性を利用することでより圧縮後のデータサイズを小さくできることを示した。

#### 〔研究の内容、成果〕

圧縮の対象とする刺激位置情報は電極による刺激の有無をビットによって表現しており、ビットが‘1’の場合は刺激することを表しており、‘0’の場合は刺激しないことを表している。本稿では、1,024本の電極の使用を想定し刺激位置情報は1,024ビットで構成される。図1は刺激位置情報を32×32ビットの2次元平面にマッピングしたものであり、白点が‘1’のビット、黒点が‘0’のビットを表現している。本研究で使ったデータセットは各種被写体が撮影された映像からエミュレータを用いて刺激位置



図1 刺激位置情報の例



図2 被写体の例

情報を生成している。図2にデータセット内の被写体の例を示す。被写体として自動車や歩行者などが画像に含まれており、全4,650フレームで構成されている。連続する2フレーム分の刺激位置情報のフレーム間で排他的論理和を計算して取得した差分情報では、‘1’で前後のフレームで変更があったことを、‘0’で変更がなかったことを表す。刺激位置情報と差分情報を比較すると、差分情報では刺激位置情報より‘1’のビットの発生頻度が低いことが確認できる。このビット発生頻度の偏りを用いて差分情報の冗長性を削減することで、差分情報のデータサイズを効率良く削減できることが期待できる。

図3に刺激位置情報を2次元平面にマッピングしたときの‘1’のビットの発生率を表現したヒートマップを示す。各ヒートマップはそれぞれデータセット中の被写体サンプルごとのデータで、サンプル car の刺激位置情報を用いて計測している。ヒートマップでは、各点の明度が同じ座標における‘1’のビットの発生頻度を表現しており、ある点の色が暗い場合は‘1’のビットの発生頻度が低く、ある点の色が明るい場合は‘1’のビットの発生頻度が高いことを表している。また、図3(b)に差分情報を用いて計測した発生頻度のヒートマップを示す。ここから、‘1’のビットの発生の局所性を活用するために、差分情報を正方形に分割し、全てが‘0’のビットで埋まっている領域に対し新たに符号語を割り当てることで差分情報に含まれる冗長性を大いに削減することが期待できることが分かる。

ここから、本研究で提案する圧縮手法について

て述べる。圧縮の効率の良さを表すために圧縮比 (CR: Compression ratio) を指標として用いる。圧縮比 CR は以下の式によって定義される。

$$CR = \frac{D_r}{D_c},$$

ただし,  $D_r$  は圧縮前のデータサイズ (=1024),

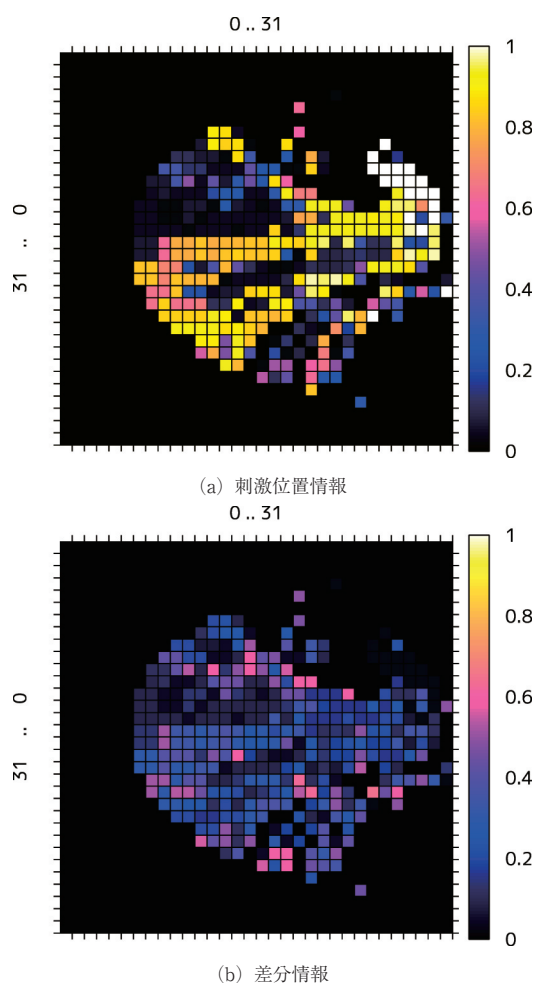


図3 ビット '1' 発生頻度のヒートマップ

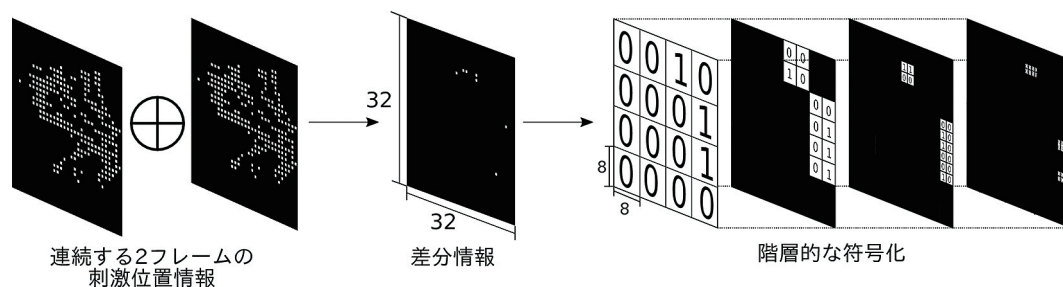


図4 提案手法の概要

$D_c$  は圧縮後のデータサイズを表す。

図4に提案する圧縮手法の概要図を示す。提案する圧縮手法は以下の手順で刺激位置情報のデータサイズを圧縮する。

- (1) 現在の刺激位置情報およびその直前フレームの刺激位置情報の連続する2フレームに対し排他的論理和を計算することで差分情報を取得する。
- (2) 差分情報を  $32 \times 32$  ビットの2次元平面上にマッピングし, 正方形のウィンドウによって格子状に分割し, それぞれの領域に対し符号語を割り当てる。領域内のすべてのビットが '0' の場合, 符号語 '0' を割り当て, それ以外は '1' を割り当てる。
- (3) (2)において '0' が割り当てられた領域を分割対象から除外する。
- (4) 該当領域に対し, ウィンドウ幅を  $1/2$  に設定して(2)に戻る。もし分割対象に何も残っていない場合は処理を終了し, ウィンドウ幅が1となった場合は残っている全ての分割対象のビットを符号語に加える。

提案する圧縮手法と先行研究の手法を圧縮比によって比較し, 圧縮の効率の良さにおける提案する圧縮手法の優位性を明らかにする。評価で使用する手法は一般的な符号化手法である静的ハフマン符号化 (SHC: Static Huffman coding), 指数ゴロム符号化 (EGC: Exponential Golomb coding) と, 先行研究で提案されている  $\alpha$ -EGC, および提案手法 (初期ウィンドウ

表1 圧縮率 CR の比較

| 手法                  | CR (平均) |
|---------------------|---------|
| SHC                 | 1.12    |
| EGC (k=2)           | 3.68    |
| $\alpha$ -EGC (k=3) | 4.16    |
| 提案手法                | 4.38    |

幅 8) である。表 1 に実験結果をまとめる。実験結果より、提案する圧縮手法は先行研究で述べられている  $\alpha$ -EGC と比較して圧縮比が 5.3% 向上したことが分かる。以上から、提案する圧縮手法は刺激位置情報をもつ時間方向の相関性を利用して生成した差分情報に含まれる変更点の発生頻度の局所性を利用して、2 次元平面上にマッピングし階層的に冗長性を削減する事で刺激位置情報を先行研究より効率良く圧縮することが示された。

#### [今後の研究の方向, 課題]

本研究では、脳皮質刺激型人工視覚システムの消費電力量の削減を目指して、無線通信モジュールの消費電力量を削減のための刺激位置

情報を効率良く圧縮する手法を提案した。提案した圧縮手法は刺激位置情報を持つ時間方向の相関性および 2 次元平面上にマッピングした際の局所性を利用して、連続するフレームの間に生成される差分情報をもつ冗長性を効率良く削減できることを特徴とする。評価実験より、自動車や歩行者を被写体とする実データから生成された刺激位置情報のデータセットを用いた圧縮比を用いた圧縮処理の効率の良さの計測では、先行研究と比較して約 5 % の圧縮比の改善がみられた。

今後として、提案手法を他の神経補綴デバイスへ応用し、よりデータ通信量を削減することで、システム全体の消費電力量の削減に貢献することを目指す。

#### [成果の発表, 論文等]

- [1] 杉浦友紀, 劉載勲, 武内良典, “脳皮質刺激型人工視覚システムにおける刺激位置情報に対する時空間特性を利用した圧縮手法の提案,” ETNET2018, pp. 1-6, Feb, 2018.