

Bio Headphone for facial expression estimation as Phase analysis of EMG signal

バイオヘッドホン

耳で測定した筋電と信号解析による表情検出

富田 尚† 佐野あかね† 安田 章夫
Takashi Tomita Akane Sano Akio Yasuda

1. はじめに

筋肉が動いたときに発生する微弱な電圧変化である筋電などの生体情報は、非線形性が高く、その意味を読み取る解析が困難であり、たくさんの情報を持った多くの電極の中からわずかな情報を読み出している。筋電信号は、人体の動作の精密さ、正確さから推定して、高度に制御された信号であるはずである。

私たちはこの非線形な情報の中からその意味を読み出す方法として、信号の位相に着目した。人体の姿勢は、いずれ同じ場所に戻るということは、いろいろな経路をたどりながらも、回転ととらえることができる。

位相をあらわす方法として、ヒルベルト変換を応用した。この方法は、それぞれの時間の信号の位相を推定によらず定義できるという特徴を持っている。また、この位相の変化速度は周波数と同じ次元を持つため、瞬時の周波数に相当する変化を読み取ることができる。

また、この解析を行うためには、フーリエ変換のような平均化する働きが無い場合、元信号のひずみの少なさと、ノイズの少なさがとても重要である。回路のノイズを下げ、また信号のひずみの少ない、5000倍の高いゲインの回路を作成した。

応用として、イヤホンより筋電信号を読み出すインターフェースを提案する。イヤホンは、通常身につけて違和感の無いデバイスである。頭部に装着するため、表情などの情報に近く、特に従来取得が困難だった、個人の感情などの個別の変化に対する情報の取得に有利に働く。非線形解析を応用することにより、数は少ないが表情の検出に成功した。そして、加速度計と組み合わせることによって、動作の状態を取り入れることにより多くのそれぞれ個人の状態を推定できる。

2. 装置

イヤホン形状から、筋電信号を取り出すために、イヤホンチップ上に電極を4つ配置した。2つの筋電電極と1つの電圧中立電極、1つのチャージ補正用電極である。

回路構成としては、図に示すように筋電測定回路のほか、にチャージアップを補正するための回路がある。



図1 筋電電極配置

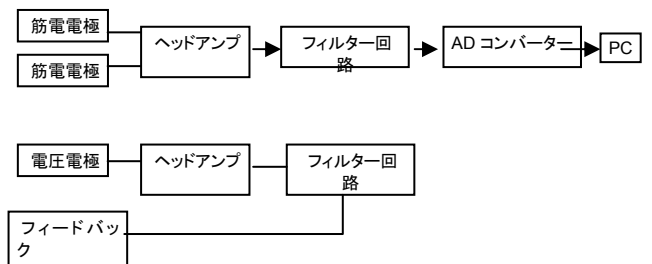


図2 回路ブロック図

筋電により得られた信号は、ADコンバーターに入力されて、PCに送られ、解析される。

3. 解析

ADコンバーターより入力された信号は信号解析することができる。非線形製の高い筋電信号を

ヒルベルト変換は $F(e^{i\omega})$ をフーリエ変換とすると

$$F(e^{i\omega}) = F_r(e^{i\omega}) + iF_i(e^{i\omega}) \quad (1)$$

$F_r(e^{i\omega})$ は実数部 $F_i(e^{i\omega})$ は虚数部である。

$$F_r(e^{i\omega}) = \frac{1}{H(e^{i\omega})} F_i(e^{i\omega}) = -H(e^{i\omega}) F_i(e^{i\omega}) \quad (2)$$

の関係が成り立つ $H(e^{i\omega})$ がヒルベルト変換である。ヒルベルト変換のそれぞれの要素 $h[n]$ は

$$h[n] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^0 ie^{i\omega n} d\omega - \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} ie^{i\omega n} d\omega \quad (3)$$

のようにあらわされる。

逆フーリエ変換部ではこの $h[n]$ を逆フーリエ変換し、波形に戻す。

位相速度検出は逆フーリエ変換後のデータと元データを図3のように phase portrait でプロットして、座標を求める。このとき位相 Φ の計算方法は図6中の1点か2点まで t 時間かかって変化したとしたとき形成される3角形それぞれの辺の長さ a, b, c から

† ソニー株式会社

$$\cos\phi = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \quad (4)$$

$$\phi = \sin^{-1}(1 - \cos^2\phi) \quad (5)$$

よってφを求める。アークサインによって求めることで、短い時間で小さなφでも計算感度を高く保つ。φ/tが位相速度vである。

周波数 $f = \phi / 2\pi t$ の関係があるため $f = v / 2\pi$ である。

位相速度の計算方法

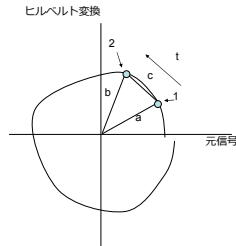


図3 位相変化量の説明

4. バイオヘッドホン

筋電極に加えて、加速度計、心拍計を装着してバイオヘッドホンとした。このイヤホンから、顔面の表情筋の筋電を得ることができる。

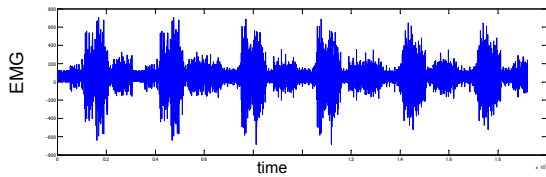


図4 筋電信号の測定例

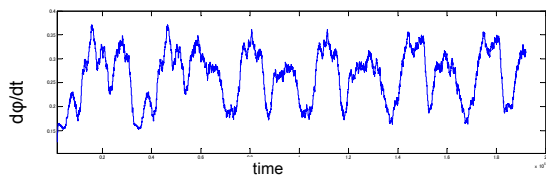


図5 位相速度 (周波数) の計算例

この筋電信号の $d\phi/dt$ を計算したものが図5である。ここに示したように位相速度が表情の動きの種類によって、位相速度に差があることがわかる。

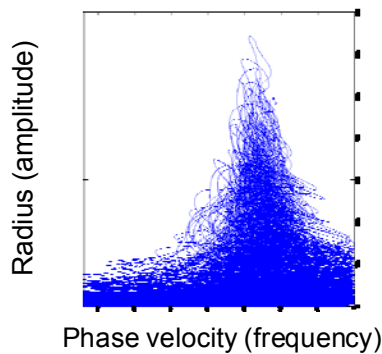


図6 位相速度 (周波数) と振幅の関係

さらに位相速度と振幅の関係を見ると大きな振幅が発生するときの位相速度がほぼ一定であることを発見した。

特定の位相速度 (周波数) と特定の振幅によってどの筋肉が動作しているかがわかるのでこれを表情と捉えることができると考えた。

横軸に周波数、縦軸に位相速度としたときに特定の領域で表情が求まるため、この特性を利用して、表情検出を試みた。

4. 表情検出

表情の特定いくつかの表情として、無表情、スマイル、噛み締めるという動作をしたときの位相速度 (周波数) と振幅の関係を図7に示す。

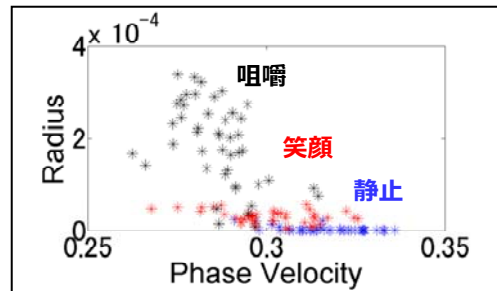


図7 位相速度と表情のマッピング

データは 0.4 秒ごとの平均値である。それぞれの状態ではほぼ分離してはいるがやや重なっている。そこで ada-boost法を用いて機械学習を行った。10 fold validation で3人の被験者の平均行った結果、約90%の性格さで表情の検出が可能になった。

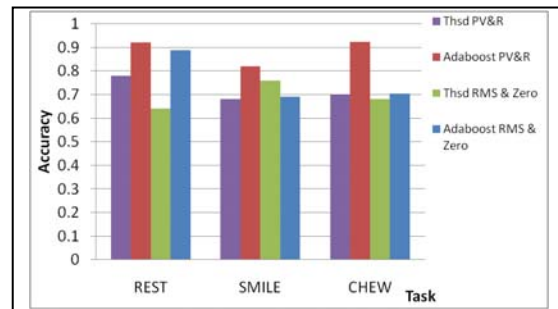


図8 機械学習による精度

さらに比較のために機械学習を用いずに閾値判定を行ったもの、また、ゼロクロス-ゼロクロス時間の平均値と振幅の平均値を用いた方法でさらに機械学習を行ったものの4つの中で、位相速度と振幅を用いた方法がもっとも高性能に判定することができる。

4. まとめ

筋電信号をイヤホンの電極より測定し、顔面の表情筋の動きを推定し、表情として表示することができた。



図9 バイオヘッドホン