

表面筋電位信号を用いた舌の動作識別

Estimation of Tongue Movement based on Suprahyoid Muscle Activity

○ 荒川 峻之 (岩手大) 佐々木 誠 (岩手大)  
 中山 淳 (一関高専) 山口 昌樹 (岩手大)

Takayuki ARAKAWA, Graduate School of Engineering, Iwate University  
 Makoto SASAKI, Graduate School of Engineering, Iwate University  
 Atsushi NAKAYAMA, Ichinoseki National College of Technology  
 Masaki YAMAGUCHI, Graduate School of Engineering, Iwate University

**Abstract:** The purpose of this study is to develop a tongue movement estimation method based on surface electromyography (EMG) signals of the suprahyoid muscles. Suprahyoid muscles usually function to open the mouth, and to control the position of the hyoid, the base of the tongue. To measure the EMG signals, a multi-channel electrode with nine electrodes was affixed to the underside of the jaw. The features of EMG signals were extracted using a root mean square (RMS) method, and its dimension was reduced using principal component analysis (PCA) from 108 to 10. Then they were associated with tongue movements using a neural network. Results show that the proposed method is allowed precise extraction of only the signal of voluntary tongue movement from EMG signals of the suprahyoid muscles with precision, with a discrimination rate greater than 97 %, and response time of less than 0.7 s.

**Key Words:** Tongue movement, Suprahyoid muscles, Principal component analysis, Neural network

1. 緒言

舌は脳神経に支配されており、頸髄損傷などによる重度障害においても運動機能が残存しやすく、素早く正確な自由度の高い随意運動が可能である。これまで、舌の随意運動を重度障害者の意思伝達へ利用するために、舌に永久磁石を固定して、磁界強度の変化を磁気センサで検出する方法や、人工口蓋プレートに圧力センサを配置して、舌の接触力を検出する方法などが提案されている<sup>(1,2)</sup>。しかしながら、いずれの方法も計測装置の口腔内設置を必要とするため、異物挿入による心理的ストレスの増加、口腔衛生状態の劣悪化、窒息、感電、バッテリーの液漏れなどの様々な危険性を含んでいる。

これに対して、著者らは、下顎底部で観測可能な舌骨上筋群の表面筋電位から、舌の随意運動を識別する安全かつ実用的な手法を開発している<sup>(3)</sup>。本研究では、主成分分析とニューラルネットワークを利用したリアルタイム舌運動推定を提案し、推定精度や推定速度の観点から本手法の有効性を検討することを目的とした。

2. リアルタイム舌運動推定法

舌の運動は、舌の形や舌先の向きなどの形態制御を担う内舌筋と、舌の前方突出や後方引き下げなど位置制御を担う外舌筋で発現される。しかし、これらの筋活動の計測には、口腔内への電極設置や針電極を要するため、本研究では、下顎底部で観測可能な舌骨上筋群（顎二腹筋、茎突舌骨筋、顎舌骨筋、オトガイ舌骨筋）の表面筋電位（surface electromyogram: EMG）に着目した。舌骨上筋群は、下顎骨が咀嚼運動を発現する咀嚼筋に固定された状態では、舌骨を引き上げて嚥下などを行うが、舌の側方運動時には顎舌骨筋、舌の前方突出時にはオトガイ舌骨筋、舌の口蓋への圧接時には茎突舌骨筋が、それぞれ舌の土台となる舌骨を適切に保持するため、これらの協調運動を利用することで、舌の運動状態の識別が可能である<sup>(3)</sup>。

本研究で提案する舌運動の推定手順を以下に示す（図1）。

1. 舌骨上筋群が密集した下顎底部に、9個の表面電極を20mm間隔で貼り付け、耳朵を不関電極とした単極誘導法により、各電極位置でのEMGを計測する。
2. 36 (=9C2)通りの各電極間EMGを計算する。
3. nサンプル前までのEMGを用いて、自乗平均平方根（root mean square: RMS）を計算する。ここで、平滑化数nは、100, 300, 500の3種類とする。

$$RMS_n = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n EMG_i^2} \tag{1}$$

4. 主成分分析（principal component analysis: PCA）を用いて、108次元（36ch×3種類）の特徴ベクトル[RMS<sub>100</sub> RMS<sub>300</sub> RMS<sub>500</sub>]<sup>t</sup>を10次元の特徴ベクトルZ(t)に低次元化する。
5. ニューラルネットワークへの入力信号は、2サンプル前までの特徴ベクトルを考慮し、[Z(t) Z(t-1) Z(t-2)]<sup>t</sup>とする。誤差逆伝搬法により予め学習し、EMGの特徴量から、舌の運動状態に対応した識別信号（2進数表現）を推定する。
6. 閾値処理により推定値を2値化する。
7. 過去k個の推定結果に対して、多数決判定を行い、舌の運動状態を最終決定する。

なお、ニューラルネットワークの学習に必要な識別信号の教師信号は、32通りのRMSの総和に閾値処理を施して作成した。

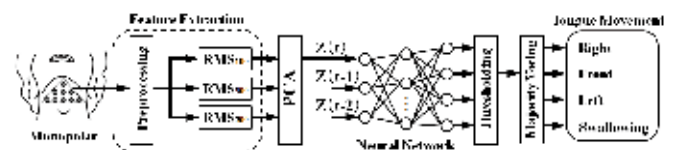


Fig.1 Estimation algorithm of tongue movement

### 3. 実験と解析

#### 3-1. 実験条件

被検者は、舌機能が正常な健康成人男性5名(年齢21.8 ± 0.8歳, 身長169.0 ± 4.8cm, 体重63.0 ± 7.0kg, mean ± SD)とした。実験では、随意運動として舌先を右, 左, 前の各方向に押し付ける3動作, 随意運動との分離が必要な動作として唾液嚥下の合計4動作を連続的に計測した。動作時間は、約1秒とし、各動作の間に1秒の安静時間を設けた。計測回数は8セットとした。EMGは、増幅率1950倍, ハイパスフィルタ2.3Hz, ローパスフィルタ320Hzの生体アンプ(ナブテスコ, NB6101HS)を介して、サンプリング周波数2,000Hzで計測した。

#### 3-2. 学習および推定条件

8セット分の計測データのうち, 4セットをニューラルネットワークの学習, 残り4セットを舌運動の推定に用いた。ニューラルネットワークは, Matlab(MathWorks, Neural Network Toolbox)を用いて構築した。中間層のユニットは15, 学習回数は5,000回とした。各パラメータの推定精度に対する影響を検討するために, 特徴抽出するフレームのシフト周期 $d$ を0.5, 2.5, 5.0, 10, 25msに変化させ, さらに多数決判定数 $k$ を1, 5, 10, 20, 50と変化させた場合の推定精度についてそれぞれ検討した。

#### 3-3. 評価指標

以下の2項目を推定精度の評価指標とした。

i) 各運動状態を正しく識別できた割合(識別率)

$$\text{識別率} = \frac{\text{推定動作の正解数}}{\text{推定に用いた動作総数}} \times 100 \quad [\%] \quad (2)$$

ii) 運動開始から識別までに要した時間(遅延時間)

### 4. 結果と考察

被験者5名に対する識別率と遅延時間の計算結果を図2に示した。また, 図中のA, B, Cの各条件における推定結果の一例を図3に示した。シフト周期 $d$ と多数決判定数 $k$ は, どちらも識別率の向上に寄与し, (C)  $d=0.5$ ,  $k=1.5$ の場合に識別率が33.8%であるのに対して, (A)  $d=25$ ,  $k=50$ の場合では97.5%に改善された。しかし, トレードオフの関係も同時に見られ, 遅延時間は0.04sから0.69sまで増加する結果となった。

シフト周期 $d$ の効果は, 上肢運動を対象としたKevinらの研究<sup>(4)</sup>でも示されており, 舌運動の場合でも同様に推定精度が向上する結果となった。また, 多数決判定数 $k$ を大きくすることで, 動作開始・終了時の遅延時間は増加するが, ニューラルネットワークの出力信号が平滑化され, 安定した動作推定を可能にすることがわかった(図3)。パワーアシストロボットの研究分野では, 人間の反応時間0.2s以内に動作推定できることが一つの基準とされているが, 重度障害者の生活支援においては, 推定速度よりも推定精度が優先される傾向にある。今後は, 本手法を利用した外部機器制御実験を実施し, 許容される遅延時間等について, 検討を行う予定である。

### 5. 結論

本研究では, 舌骨上筋群の表面筋電位から, リアルタイムに舌の随意運動と嚥下動作を識別する方法を提案し, 実験によりその有効性を検証した。

本研究の一部は, 日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(C)(課題番号: 24500637), 中山隼雄科学技術文化財団, 栢森情報科学振興財団の支援を受けて実施された。

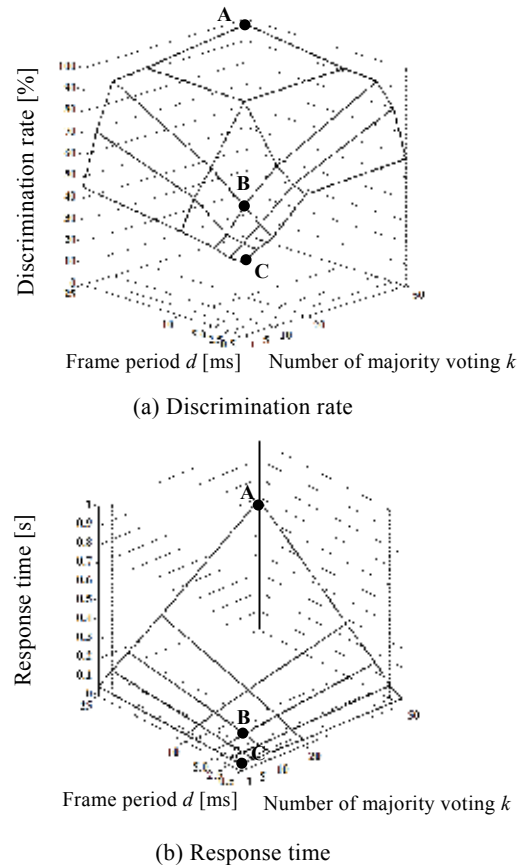


Fig.2 Estimation results of tongue movement

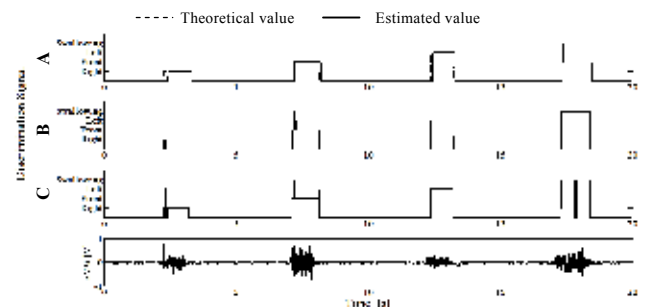


Fig.3 Effects of frame period  $d$  and number of majority voting  $k$  on estimation precision  
(A,  $d=25$  ms,  $k=50$ ; B,  $d=1.0$  ms,  $k=20$ ; C,  $d=0.5$  ms,  $k=10$ )

#### 参考文献

- (1) Huo X, Wang J, Ghovanloo M, "Introduction and preliminary evaluation of the Tongue Drive System: wireless tongue-operated assistive technology for people with little or no upper-limb function", J Rehabil Res Dev, vol.45, no.6, pp.921-930, 2008.
- (2) 一ノ瀬裕, 和久本雅彦, 本多清志, 東輝明, 佐藤準二, "ワイヤレス式舌圧センサを用いたヒューマンインタフェースと電動車椅子の制御への応用", 電子情報通信学会論文誌, vol.J86-D-II, pp.364-367, 2003.
- (3) 佐々木誠, 荒川峻之, 中山淳, 山口昌樹, "舌骨上筋群の協調運動を利用した舌運動推定法", 生体医工学, vol.50, no.1, pp.31-37, 2012.
- (4) Kevin Englehart, Bernard Hudgins, "A robust real-time control scheme for multi-function myoelectric control", IEEE Trans Biomed Eng, vol.50, no.7, pp.848-854, 2003.