

ニギッテ!! 魔術無双--筋電位計測に基づく UI 操作 を導入した VR アトラクション--

市原 瑞士*¹ 狩山 大治*¹ 樋口 雄大*¹ 野崎 颯人*²
Christian Arzate Cruz*³ 柴田 史久*¹ 木村 朝子*¹

Nigitte! Magical Muso: VR Attraction Utilizing Muscle User Interface

Mizuto Ichihara*¹, Daichi Kariyama*¹, Yudai Higuchi*¹, Hayato Nozaki*²,
Christian Arzate Cruz*³, Fumihisa Shibata*¹, Asako Kimura*¹

Abstract - The use of EMG measurement for user interface (UI) is expected. Input using electromyograms has the advantage of allowing interaction based on human muscle activity without requiring large physical movements. We developed a VR attraction that utilizes this advantage as a UI operation. We proposed a hands-free input method that does not require a hand-held controller in VR space using body tracking and arm EMG measurement.

Keywords: Electromyogram, Muscle User Interface, Virtual reality, and Augmented human

1. はじめに

筋電図 (Electromyogram; EMG) から計測される筋電位を各種システムへの入力として用いる様々なユーザインタフェース (User Interface; UI) が提案されている。筋電位は、皮膚表面で計測した筋収縮時の活動電位であり、力の強さやその時間変化をハンドヘルド型デバイスや身体動作を必要とせず計測することができる。ロボット義手や電動車イスなどの機器操作はもちろんのこと、アート&エンタテインメントなど、幅広い分野での応用が期待されている。

筋電位を UI として活用する事例として、例えば、Han らが、首と肩周りの筋肉から取得した筋電位を用いて電動車椅子を操作することで、入力インタフェースとしての筋電位の有効性を示している [1]。また Fukuda らは、前腕切断者の手首部の筋電位を使って、腕を模したマニピュレータの遠隔操作を行い、筋電位をデバイスの直感的な操作に応用できることを示している [2]。

さらに、手や腕の筋電位から、ジェスチャのような身体動作の識別を行う研究も行われている。Saridis らは、上腕下部の切断者や麻痺者の上腕三頭筋の筋電位から、



図 1 「ニギッテ!! 魔術無双」の体験風景
Fig.1 Experience of “Nigitte! Magical Muso”

腕のジェスチャの分類を行っている [3]。また Kim らは、筋電位からハンドジェスチャに寄与する特徴量を抽出し、ジェスチャの認識精度を調べた [4]。

このように、筋電位を UI 操作や、手や腕の動作の正確な識別に利用する研究が多く行われている一方で、ユーザの筋電位を UI 操作に活用する上で、どの程度、正確に力の強さが制御できるかについては明らかになっていなかった。筋電位に基づく力の強さの制御精度を明らかにすることは、力の大きさの強弱を入力とするインタラクションや、アプリケーションの設計に活かすことができる。

そこで、我々は、ユーザが目標の力の強さをどの程度安定して入力できるのか [5]、力を入れる際のハンドジェスチャの種類や力の制御によって精度は変わるのか

*1: 立命館大学 情報理工学部

*2: 立命館大学大学院 情報理工学研究科

*3: 立命館グローバル・イノベーション研究機構

*1: Faculty of Engineering, Information, and Systems, Ritsumeikan University

*2: Graduate School of Information Sci. and Eng., Ritsumeikan University

*3: Ritsumeikan Global Innovation Research Organization

[6] などを確認する実験を行ってきた。

今回は、これまでに実験してきた手を握る際の力の強さを UI 操作として導入した VR アトラクション「ニギッテ!! 魔術無双 (図 1)」を試作し、その有用性や効果を確認することを目的とした。

2. 設計方針

本アトラクションは、筋電位計測を利用して手に込められた力の大きさを UI 操作に導入することで、アトラクションにどのような効果を生むのかを確認するためのテストベッドとして制作する。

これまでにやってきた研究 [5][6] では、力の大きさをイチ入力として利用する場合、3 段階程度であればユーザが大きさを区別して入力できそうなこと、逆に力の大きさを連続的な入力として利用し、随時入力値を変更するといった使い方をする場合、小さめの力であればユーザはかなり安定して力の大きさを変更可能であることが分かった。

そこで「ニギッテ!! 魔術無双」では、これらの 2 種類の入力方法を採用する。本稿では、前者を閾値モード、後者を連続値モードと呼ぶ。閾値モードでは攻撃の強度をユーザが握りこむ力の強さに応じて 3 段階で入力する。一方、連続値モードでは、ユーザの握りこむ力の強さに応じて、攻撃の強度を随時変更することが可能となる。

3. ニギッテ!! 魔術無双

「ニギッテ!! 魔術無双」はビデオゲームの定番ジャンルの一つである RPG の入力操作に、筋電位計測と全身トラッキングを導入した VR アトラクションである。体験者自身の基本攻撃手段である魔法の各種性能を、筋電位の計測により得た値をもとに変更することで、ステージごとに現れる敵を撃破して進行する。

3.1 システム構成

システム構成を図 2 に示す。本システムでは、体験者は頭部にビデオシースルー型の HMD (HTC Vive Pro

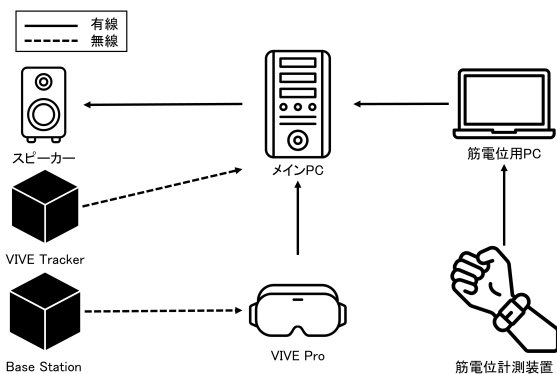


図 2 システム構成

Fig.2 System Configuration.

Eye, HTC 社・Valve 社共同開発) を装着する。また、筋電位計測装置 (図 3) を右腕の前腕部に、モーションキャプチャ用の Vive Tracker (HTC 社製) を全身 9 か所 (両手, 両肘, 腹部, 両膝, 両足) に装着し (図 4), 本アトラクションを体験する。両センサーデータの受信や仮想物体の描画には、Unity 2019.2.8f1 を使用している (図 5)。本システムのフレームレートは約 120fps である。

3.2 筋電位計測

筋電位の処理は、信号計測部、信号処理部、信号利用部の 3 つのステップで行う。

3.2.1 信号計測部

本研究で使用した筋電位計測装置の外観を図 3 に示す。この装置は、皮膚表面において -1.25mV 以上 1.25mV 以下の電圧の範囲に対応しており、この微弱な皮膚表面での電圧を増幅したアンプ出力を AD 変換し、 -8192 以上 8192 以下の範囲で PC に送信する。増幅率としては 500 倍、1000 倍、5000 倍の中から設定可能であるが、本研究では、ノイズの影響を考慮したうえで、1000 倍を採用している。サンプリング周波数は 1kHz である。電位の基準を決めるためのアースは、図 3 のように電極とは別

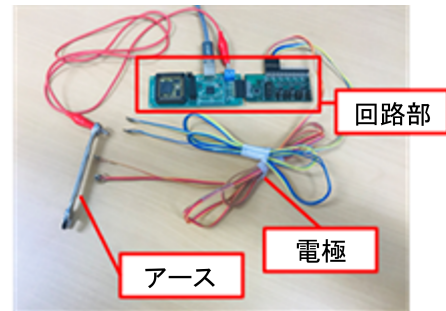


図 3 筋電位計測装置

Fig.3 Our myopotential sensor-based device.

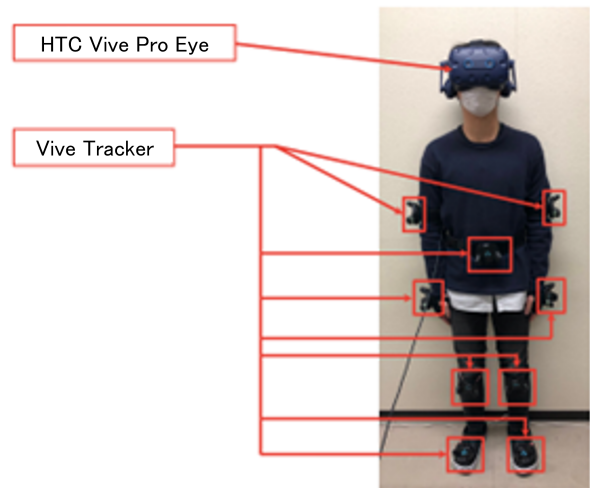


図 4 各種センサを装着した様子

Fig.4 Apparatus used during the experiment.

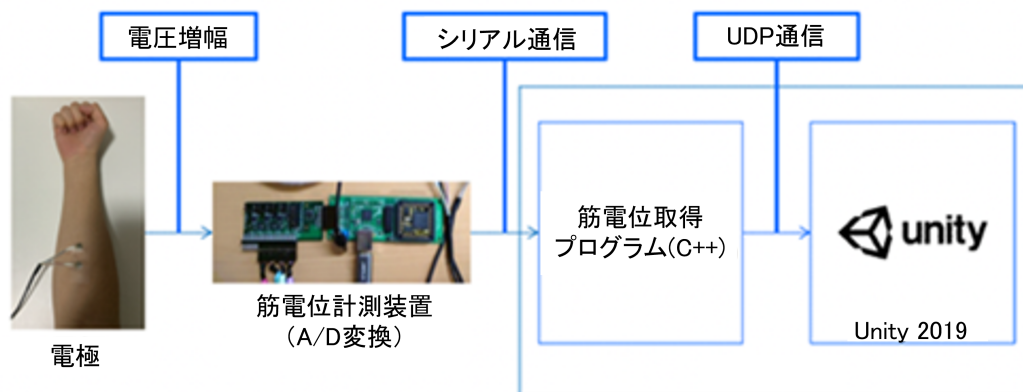


図 5 処理の流れ

Fig.5 Overview of our method.

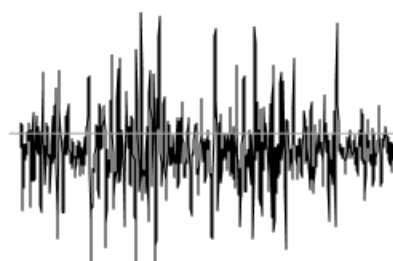
に導体をユーザが握ることで決定する。電極は双極誘導方式であり、電極の対は 20mm の間隔で 2 点に貼り付けることで EMG を計測することができる。計測後 A/D 変換した EMG 信号はシリアル通信を介して信号処理部に送信される。

3.2.2 信号処理部

信号処理部では、EMG から取得した筋電位データを信号利用部のシステムで利用できるように信号処理を行う。EMG を入力に用いる時に有効だとされている周波数帯域は 5~500Hz であるが、本研究で使用している筋電位計測装置では、0~500Hz の周波数帯域の信号が存在するため、計測信号の 5Hz 以下をカットするハイパスフィルタを適用する。さらに、約 55~66Hz における周波数帯域に対してもバンドストップフィルタによるフィルタリングを行っている。これは、この帯域に存在する電源、電化製品からの 60Hz 周辺のノイズを減衰させるためである[7]。

EMG 信号は複数の筋肉から別々の時間に発生した電位が加算された筋全体の総合的な状態を測定しているので非線形な信号であると言える。また筋肉の状態は常に変化しているので否定所な信号でもある。よって、図 6 に示すように、そのままの状態の信号を入力に利用するのは困難なので、信号の平滑化を行う必要がある。本研究では、RMS (二乗平均平方根) を利用して信号の平滑化を行う。RMS は EMG 信号から力の強さを認識するのに有効な信号処理方法である[8]。今回は約 300ms を窓区間として設定した。ここで設定した窓区間約 300ms において、RMS を算出することで、信号を平滑化することとした(図 6)。本研究では、オーバーラップを 299ms としているため、毎 1ms のフレームレートで新たな RMS が算出される。EMG 信号の平滑化に用いた RMS の式を式 (1) に示す。

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i)^2} \quad \text{式(1)}$$



(a) 計測時の EMG 波形



(b) 平滑化後の EMG 波形

図 6 EMG データの平滑化

Fig.6 EMG data smoothing.

3.2.3 信号利用部

信号利用部では、3.2.2 で平滑化処理を行った EMG 信号を用いて手を握る際の力の大きさを決定する。「ニギッテ!! 魔術無双」では、敵を攻撃するための魔法の発射と威力や飛翔速度、効果範囲の決定に筋電位を使用しており、筋電位の大きさの利用方法として、2 章で述べた連続値モードと閾値モードの 2 種類を用意している。

連続値モードは、力が 10%以上込められている間は魔法が発射できるモードである。力の大きさに比例して魔法の威力や飛翔速度、効果範囲が強化される仕組みになっている。

閾値モードは、キャリブレーションの結果をもとに閾値を決定している。今回は閾値を 50%と 85%の 2 か所に設けた。この閾値モードでは、一度力を込めた後、力を完全に抜き、入力値が 0%になると魔法が発射される。0

～50%を力の大きさ「小」、50～85%を「中」、85～100%を「大」とし、魔法発射のために力を込めた際に到達した区間によって魔法の威力、飛行速度、効果範囲が変化する。強化内容は、炎魔法と雷魔法は、「中」は「小」の1.5倍、「大」は「中」の1.5倍、氷魔法は「中」は「小」の2倍、「大」は「中」の3倍となっている。

また、図7に示すようなゲージを体験者の視野内に提示することで、常に自身の手の筋電位の大きさを確認可能となっている。このゲージは筋電位の大きさをキャリブレーションの結果をもとに0～100%で表示している。

3.3 魔法と敵

本アトラクションで登場する魔法と敵の種類をまとめた表を表1、2に示す。炎魔法、氷魔法、雷魔法は筋電位を使用して発射し、土魔法と必殺技は身体トラッキングを使用して特定の動作を行うことで発射する。右腕の先にポインターが配置されており、魔法はこのポインターに向かって飛んでいくため、右腕を敵に向けてことで照準を定め、魔法を発射することが可能である。また、魔法の切り替えは体験者の左前方に配置されている本型オブジェクトに触れてページをめくることで切り替えることができる。左手を使用して右から左に向かってページをめくると炎魔法、氷魔法、雷魔法の順で切り替わり、左から右に向かってページをめくると先程とは逆順で切り替わる。

また、敵の攻撃に対しては身体を動かして攻撃を避けることで回避したり、魔法による相殺により防御したりすることが可能である。

3.4 ステージとスコア

1 ステージクリアするごとに報酬を受け取る強化部屋に移動し、各種魔法や体力を強化しつつ、全3ステージを体験するという流れになっている。体験者の体力は2000である。報酬による強化内容は、各種魔法は1段階強化で基本の威力や飛行速度、効果範囲が1.5倍、2段階強化でさらに1.5倍され、体力は1段階強化で1000増加、2段階強化でさらに1000増加となっている。また、全身トラッキングによって取得可能なユーザの情報は、攻撃の回避や魔法の照準、特殊な攻撃の発動などに使用している。3ステージを終えた後、敵の撃破数やボス討伐の有無による加点と敵からダメージを受けることによる減点をもとにスコアが導出される。

4. 体験の流れ

本アトラクションの体験の流れを以下に示す。なお、体験時間はデバイスの着脱を含めて7分程度である。

- (1) まずHMDとVive Trackerを身につけ、右腕に筋電位計測装置を装着し、直立姿勢で体験する
- (2) VR空間内にアトラクションの開始画面が表示
- (3) 開始画面で筋電位のキャリブレーションを行い、体験者の筋電位の最大値と最小値を計測



図7 筋電位のゲージ

Fig.7 EMG activation gauge.

表1 魔法の仕様

Table 1 Magic Actions specifications.

魔法	特性	強化内容	備考
炎魔法	攻撃力が高い	攻撃力 上昇	単体に効果的
氷魔法	飛行速度が速い スロー効果あり	飛行速度 上昇	敵を足止めしたいときに効果的
雷魔法	攻撃範囲が広い	攻撃範囲 拡大	複数体に効果的
土魔法	プレイヤーの周り 360°に対して攻撃 敵をノックバック		右足を上げて踏み込むと発動 30秒に1回 使用可能
必殺技	攻撃力が高く 攻撃範囲が広い		両手を上げて前に突き出すと発動 プレイ中に 1回のみ使用可能

表2 敵の仕様

Table 2 Enemy specifications.

敵の名称	攻撃力	体力	攻撃を受けた際に減少するスコア	攻撃方法
スライム	150	100	150	近接攻撃
ゴブリン	100	75	100	近接攻撃
ワスプ	30	1	30	針による 遠距離攻撃
ボス	100	2000	100	魔法による 遠距離攻撃

- (4) 体験者の前に筋電位の使用方法の選択ボタンが表示され、触れるとステージ1へ移動し、アトラクション開始
- (5) 体験者に向かって次々と集まってくる敵モンスターを倒す
- (7) 一定時間が経過すると強化部屋へ移動し、4種類の強化内容から1つを選択
- (8) 一定時間が経過すると、ステージ2へ移動
- (9) (4)、(5)を繰り返した後、ボスステージへ移動
- (10) ボスの撃破、または体験者のアトラクション内の体力がなくなる、または一定時間経過によってアトラクション終了とし、スコアを表示
- (11) 体験終了

5. まとめと今後の展望

我々は、手を握る際の力の強さを UI 操作として導入する VR アトラクション「ニギッテ!! 魔術無双 (図 1)」を試作した。筋電位計測と全身トラッキングを組み合わせ、VR 空間内でハンズフリーで直観的な UI 操作の提案、および応用事例の提示を行った。

今後の展望として、現在は強い筋電位の値しか活用できておらず、弱い筋電位の値が活用できていないため、この弱い筋電位の活用が考えられる。本アトラクションでは、魔法の威力、飛翔速度、効果範囲の決定に筋電位の値を使用しているため、体験者は主に強い筋電位の値を使用する。そこで、筋電位の値の大きさに対して魔法の飛翔距離を反比例させることで、威力などが低い魔法も使用するようになり、弱い筋電位も活用されようと考えられる。

謝辞

本システムの原形の開発に協力された江崎佑真、松下彩夏、宮崎和海、早川魁人、藤原侑史の諸君らに感謝します。

参考文献

- [1] 吉田成朗, 鳴海拓志, 橋本直, 谷川智洋, 稲見昌彦, 五十嵐健夫, 廣瀬通孝: ジェスチャ操作型飛行ロボットによる身体性の拡張, 情報処理学会インタラクション 2012, IPSJ Interaction 2012, pp. 403 - 408 (2012).
- [2] 遠山茂樹: 農業用パワーアシストスーツの開発, 農業機械学会誌, 第 72 巻, 第 2 号, pp. 109 - 113 (2010).
- [3] G. N. Saridis and T. P. Gootee: EMG pattern analysis and classification for a prosthetic arm, IEEE Trans. on Biomedical Engineering, Vol. BME-29, No. 6, pp. 403 - 412 (1982).
- [4] J. Kim, S. Mastnik and E. André: EMG-based hand gesture recognition for realtime biosignal interfacing, ACM Proc. Int. Conf. Intelligent User Interfaces 2008, pp. 30 - 39 (2008).
- [5] 東森拓磨, 片岡佑太, 柴田史久, 木村朝子: 対話型 UI 操作への手腕随意筋の電位計測利用の基礎的検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2022 -HCI-197, No. 37, pp. 1 - 4 (2022).
- [6] 野崎颯人, 片岡佑太, 柴田史久, 木村朝子: 筋電位計測に基づくハンドジェスチャ入力の精度特性分析, インタラクション 2022 予稿集, pp. 413 - 417 (2022)
- [7] T. S. Saponas, D. Tan, D. Morris, J. Turner, J. A. Landay: Making muscle-computer interfaces more practical, Proc. SIGCHI, 2010, pp. 851 - 854 (2010).
- [8] H. Benko, T. S. Saponas, D. Morris, D. Tan: Enhancing input on and above the interactive surface with muscle sensing, Proc. ITS. 2009, pp. 93 - 100 (2009).