

公立はこだて未来大学 2014 年度 システム情報科学実習
グループ報告書

Future University-Hakodate 2014 System Information Science Practice
Group Report

プロジェクト名

本物の人の手に学ぶ筋電義手の開発

Project Name

Development of myoelectric upper limb prosthesis with learning from real human hands

グループ名

計測班

Group Name

Mesurement Team

プロジェクト番号/Project No.

19

プロジェクトリーダー/Project Leader

1012116 多田建人 Kento Tada

グループリーダ/Group Leader

1012140 長谷川慎哉 Shinya Hasegawa

グループメンバ/Group Member

1012096 佐藤勇太 Yuta Satou

1012182 花田渉 Wataru Hanada

1012142 平井航太 Kouta Hirai

1012164 細井亮祐 Ryouyusuke Hosoi

指導教員

櫻沢繁 伊藤精英

Advisor

Shigeru Sakurazawa Kiyohide Ito

提出日

2015 年 01 月 14 日

Date of Submission

January 14, 2015

概要

義手は事故や病気などにより失った手を補うために装着する, 人工的に作られる 1 部である. 義手には装飾義手, 作業用義手, 能動式義手, 筋電義手の 4 種類がある. その中の 1 つである筋電義手は筋電位とよばれる筋肉が生ずる電気信号を利用することによって, 利用者の意のままに操作することのできる義手である. 厚生労働省によると 2010 年度に新たに処方された 219 本の義手のうち筋電義手は 5 分の 2 に過ぎない. 筋電義手の普及率の低さの原因として「拇指対立運動が出来ない」「物体の硬さに合わせた把持が出来ない」「義手のメンテナンスに費用, 時間, 技術が必要」の 3 つがあると考えた. そこで本プロジェクトでは, 現在実用化されている筋電義手にはない新機能である「拇指の外転・内転運動」「硬さや弾性を感じ取る振動指」「着脱可能なカバー」の実装に向け本物の人に学び研究することを目的とした. そこで計測班では親指の回転軸を増やした義手の製作を目標とした. 目標達成のために私達計測班では筋電位測定のためのアクティブ電極と電子回路の作成, モーターを動作させるプログラムの理解と修正. 筋電位測定に必要な人間の筋肉の学習を行った. 成果として, 親指, 人差し指, 中指, 薬指, 小指の屈曲筋, 長拇指外転筋の筋電位の計測, SVM での運動識別を行った. また, 義手の装着を想定し, 義手の着脱を簡便にするため制御部と義手本体との通信を無線化した.

キーワード 筋電位, 筋電義手

(※文責: 長谷川慎哉)

Abstract

Artificial arm is a part of body for people who lost their arm by accident or illness. there are four types of myoelectric hand decoration artificial arm, working artificial arm, active-type artificial arm. Such as one of them with using an electrical signal which called myoelectric potential, is a prosthetic that can be operated at will by the user. My Myoelectric Hand of 219 pieces of artificial arm that has been newly formulated in 2010 According to the Ministry of Health, Labour and Welfare is only 2 %. We think operate that low penetration rate of Myoelectric hand causes. We give three reason that, "It can not thumb opposition Movement", "It can not grip tailored to the hardness of the object", "Cost to the maintenance of artificial arm, time, technology is necessary." So we aimed to conduct the research for the mounting of the new features, that is not the conventional myoelectric hand." Abduction-adduction movements of the thumb", "Vibration finger to feel the hardness and elastic", "Removable cover" by learn to genuine hand. Therefore measurement group targeted fabrication of artificial arm with an increased axis of rotation of the thumb. Our group created, we do creating the active electrode and the electronic circuit, understood and modified of the program, learned human muscle. As a result, our group measured muscle potential of thumb, index finger, middle finger, ring finger, bent muscle of little finger long thumb abductor muscle and identified the movement using SVM. Also, in order to easily mount the artificialarm, our group made wireless. Communication system between the control unit and the artificial arm.

Keyword electric artificial arm, electronic signal

(※文責: 長谷川慎哉)

目次

第 1 章	背景	1
1.1	現在実用化されている筋電義手の問題点	1
1.2	目的	1
1.3	課題	2
第 2 章	計測班の概要	3
2.1	背景	3
2.2	目的	3
2.3	目標と課題解決のプロセス	4
2.4	課題の割り当て	5
2.5	課題と到達目標	7
第 3 章	課題解決のプロセスの概要	8
3.1	筋電計測回路	8
3.1.1	筋電位	8
3.1.2	回路	9
3.1.3	回路作成	10
3.2	内転・外転運動	11
3.2.1	「掴む」と「握る」	11
3.2.2	拇指対立運動	11
3.2.3	親指の可動	11
3.2.4	長拇指外転筋	12
3.2.5	長拇指外転筋の筋電位計測における注意事項	12
3.3	計測場所について学習したこと	13
3.3.1	指を動かす筋肉	13
3.3.2	実際に計測に使った部位	14
3.4	計測方法	15
3.5	筋電義手を動かすプログラミング	16
3.5.1	パターン認識	16
3.5.2	サポートベクターマシン	16
3.5.3	サポートベクターマシンを使用するにあたっての注意事項	16
3.5.4	内転・外転運動を可能にするための SVM での学習	17
3.5.5	プログラムについて	17
3.6	無線化	18
3.6.1	現状の課題	18
3.6.2	従来例	18
3.6.3	目的	19
3.6.4	解決すべき問題	19

3.6.5	課題設定	19
3.6.6	使用機材の選定	20
3.6.7	arduino との接続	21
3.6.8	制御用プログラム	21
3.6.9	成果	22
3.6.10	今後の展望	22
3.7	計測機器	23
3.7.1	アクティブ電極	23
3.7.2	電解質ペースト	23
3.7.3	導電布	23
3.7.4	オシロスコープ	24
第 4 章	グループ内のインターワーキング	25
4.1	制作物	25
4.1.1	スライド	25
4.1.2	中間発表までの成果	26
4.1.3	最終発表での成果	26
第 5 章	結果	27
5.1	計測班の成果	27
5.2	解決手順と評価	27
5.3	今後の課題と展望	28
第 6 章	まとめ	29
6.1	プロジェクトの成果	29
	参考文献	30

第 1 章 背景

義手は事故や病気などにより失った手を補うために装着する、人工的に作られる 1 部である。義手には装飾義手、作業用義手、能動式義手、筋電義手の 4 種類がある。その中の 1 つである筋電義手とは筋電位とよばれる筋肉が生ずる電気信号を利用することによって、利用者の意のままに操作することのできる義手である。厚生労働省によると 2010 年度に新たに処方された 219 本の義手のうち筋電義手は 5 分の 2 と低く、未だ完全な普及には至っていない。筋電義手が可能とする機能には問題点が多く、技術的な改善が求められている。

(※文責: 長谷川慎哉)

1.1 現在実用化されている筋電義手の問題点

現在実用化されている筋電義手にはいくつかの問題を抱えている。そこで本プロジェクトでは現在実用化されている筋電義手について 3 つの問題点を挙げた。具体的な問題点として (1) 筋電義手での拇指対立運動ができない、(2) 物体の硬さに合わせた把持ができない、(3) 義手のメンテナンスに費用、時間、技術が必要であるの 3 つである。

(1) 筋電義手での拇指対立運動ができない。

物体の形に合わせた把持ができず、掴む動作が不可能である。

(2) 物体の硬さに合わせた把持ができない。

(2) 物体の硬さに合わせた把持ができない。

(3) 義手のメンテナンスに費用、時間、技術が必要である。

義手が汚れたり傷ついたりした際、個人でメンテナンスができない。

(※文責: 長谷川慎哉)

1.2 目的

現在実用化されている筋電義手にはない 3 つの新機能の実装に向けた研究を行う。

(※文責: 長谷川慎哉)

1.3 課題

現在実用化されている筋電義手にはないの 3 つの新機能の実装に向けた研究を行う上での課題は以下の通りである.

- (1) 親指の外転・内転運動の実現
- (2) 硬さや弾性を感じとる「振動指」
- (3) 着脱可能なカバー

これらの新機能の研究にあたって, 本物の人の手に学ぶことで解決していくこととした.

(※文責: 長谷川慎哉)

第 2 章 計測班の概要

2.1 背景

表皮筋電位は微弱であるため、商業電源などの誘導ノイズにより意図した筋電位を計測することが難しい。そこで、微弱な筋電位を増幅する増幅回路、ノイズを減らすインスツルメンテーションアンプとハイパスフィルターからなる筋電位計測回路を製作した。任意の場所に置いたアクティブ電極からの信号では、各指の動作の識別が困難である。そこで、各電極で検出された筋電位パターンからサポートベクターマシンによって動作識別を行い、筋電義手を制御した。筋電義手には制御の際に使用する配線を多く使う。そこで配線の数の多さに対する対処法を模索することにした。

(※文責: 長谷川慎哉)

2.2 目的

生体信号計測班の目的は、筋電位を計測するための回路と電極の設計を行い、安定した信号を計測することである。また、「握る」動作ではなく、「掴む」動作を実装するため、5本の指の屈曲運動の際に生じる筋電位だけでなく、親指の内転、外転運動の際に生じる筋電位を計測することである。筋電位の計測方法は、筋肉から直接筋電位を計測する方法と、皮膚の表面から筋電位を計測する方法の2通りが存在する。筋肉から直接筋電位を計測する方法は筋肉を傷つけることや、感染症の危険があるため、皮膚の表面から筋電位を計測する方法を用いて、筋電位計測に必要な回路、電極を作成し、筋電位計測を行うこととした。このとき、5本の指の屈曲運動の際に生じる筋電位をそれぞれ計測することにした。それに加え、親指の内転・外転運動の際に生じる筋電位も計測することにした。しかし、親指を動かすための筋は手のひらの拇指球に存在するため、前腕に存在する拇指外転筋の筋電位を使用することにした。また、筋電義手の着脱時に使用時の負担を軽減するため、筋電義手の制御部と筋電義手本体との無線化を行うこととした。

(※文責: 細井亮佑)

2.3 目標と課題解決のプロセス

プロジェクト全体の課題は現在実用化されている筋電義手にはない新機能の実装の研究である。「握る」動作ではなく、「掴む」動作を実装するため、5本の指の屈曲運動の際に生じる筋電位だけでなく、親指の内転・外転運動の際に生じる筋電位を計測することが計測班の課題である。また、現在実用化されている筋電義手と同等の性能を持たせるために、筋電義手の制御部と筋電義手本体との無線化を行うことを課題とした。そこで計測班の課題設定とその目標として以下のような手順を設定した。

1. 筋電義手を知る

筋電義手についての知識を得て、問題点などを学習した。

2. 中間発表までの目標の設定

中間発表までにどのような筋電義手を作成するかを話し合った。

3. 専門知識と技術の習得

計測回路や電極を作成するため指導教員や先輩方から講習を受けた。

4. 筋電位計測

ノイズを除去し、筋電位を増幅する回路を基盤に作成し筋電位の計測を行った。

5. 中間発表での成果

親指、人差し指、中指の屈曲運動の際に生じる筋電位の計測に成功した。

6. 後期の目標

前期での反省点をふまえ、最終的な目標と成果物について話し合った。

7. 5本の指の独立した動作、親指の内転・外転運動の動作

5本の指の屈曲運動だけでなく、親指の内転・外転運動の際に生じる筋電位を計測するために、人の腕の筋肉の構造について学習し、それを元に筋電位計測を行った。それに伴い、回路、電極の増設も行った。

8. 筋電義手の制御部と筋電義手本体との無線化

Xbee を使用して無線通信を行った。

(※文責: 細井亮佑)

2.4 課題の割り当て

長谷川慎哉の担当課題は以下の通りである。

- 5月：回路, 筋電義手について担当教員や先輩方から講習を受けた。
- 6・7月：プログラムについての学習を行った。
- 8月：回路の増設を行った。
- 9月：人の筋肉についての学習を行った。
- 10・11月：筋電義手の制御部と筋電義手本体との無線化のためのプログラムの学習を行った。
- 12月：ポスターの作成, 最終発表のスライド作成, 報告書作成を行った。

花田渉の担当課題は以下の通りである。

- 5月：回路, 筋電義手について担当教員や先輩方から講習を受けた。
- 6・7月：回路, 電極の作成を行った。
- 8月：回路の増設を行った。
- 9月：人の筋肉についての学習を行った
- 10・11月：5本の指の屈曲運動, 親指の内転・外転運動の筋電位を計測を行った。
- 12月：最終発表のスライド作成, 報告書作成を行った

佐藤勇太の担当課題は以下の通りである,

- 5月：回路, 筋電義手について担当教員や先輩方から講習を受けた。
- 6・7月：プログラムについての学習を行った。
- 8月：プログラムの拡張を行った。
- 9月：人の筋肉についての学習を行った。
- 10・11月：5本の指の屈曲運動, 親指の内転・外転運動の筋電位を計測を行った。
- 12月：最終発表のスライド作成, 報告書作成を行った

細井亮佑の担当課題は以下の通りである

- 5月：回路, 筋電義手について担当教員や先輩方から講習を受けた。
- 6・7月：回路, 電極の作成を行った。
- 8月：回路, 電極の増設を行った
- 9月：人の筋肉についての学習を行った。
- 10・11月：5本の指の屈曲運動, 親指の内転・外転運動の筋電位を計測を行った。
- 12月：最終発表のスライド作成, 報告書作成を行った。

Development of myoelectric upper limb prosthesis with learning from real human hands

平井航太の担当課題は以下の通りである。

5月：回路, 筋電義手について担当教員や先輩方から講習を受けた。

6・7月：回路, 電極の作成を行った。

8月：回路の増設を行った。

9月：人の筋肉についての学習を行った。

10・11月：筋電義手の制御部と筋電義手本体との無線化のためのプログラムの学習を行った。

12月：最終発表のスライド作成, 報告書作成を行った。

(※文責: 細井亮佑)

2.5 課題と到達目標

1. 手が動く仕組みについての学習

課題解決のプロセス：指導教員, 先輩方に筋電義手が動くまでの仕組みを学んだ.

2. 筋電義手についての仕組み

課題解決のプロセス：筋電義手の現状, 問題点を学習した.

3. 目標の設定

課題解決のプロセス：筋電義手の自分たちなりの問題点をふまえて, 前期までに作成する筋電義手の目標を定めた.

4. 必要な知識の学習

課題解決のプロセス：筋電位の計測に必要な知識を, 指導教員, 先輩方, 文献から学習した.

5.3 チャンネルでの筋電位の計測

課題解決のプロセス：基盤に回路を作成し, オペアンプを組み込んだ電極を作成し計測した.

6. 後期に向けての目標の再設定

課題解決のプロセス：前期の内容を考慮して, 後期の目標を設定した.

7.5 チャンネルでの筋電位の計測

課題解決のプロセス：回路, 電極を新しく増設し, 各指の筋電位計測を行った.

8. 親指の内転・外転運動の筋電位の計測

課題解決のプロセス：人体の筋肉についての資料を集め, 親指の内転・外転運動の筋電位計測に適切な筋肉を調べた.

9. 制作物の動作確認

課題解決のプロセス：5本の指, 親指の内転・外転運動が別々に動作するか, また筋電義手本体が無線通信で動作するかを確認し, 各グループとの調整を行った.

10. 筋電義手の完成

課題解決のプロセス：5本の指, 親指の内転・外転運動を別々に動作させるため, 各指ごとの筋電位の違いが出るように, 計測する場所の選別を行った.

(※文責: 細井亮佑)

第 3 章 課題解決のプロセスの概要

3.1 筋電計測回路

3.1.1 筋電位

人間の筋肉は、筋肉組織を形成する収縮性のある筋細胞、または筋繊維という細長い繊維状の束で形成されている。筋細胞が束になっている筋細胞には、ミオシン、アクチン 2 種類のたんぱく質が存在し、これらが互いに重なり合い相互にスライドする形になっている。神経系からの伝達により、カルシウムイオンの濃度変化が起こる。そして、トロポニンがカルシウムイオンを受容する。ミオシンとアクチンの相互関係が解除されて、ミオシンとアクチンがすべり運動を開始する。これが、筋収縮である。収縮後カルシウムイオンがカルシウム小胞に回収され、ミオシンとアクチンの相互作用抑制に筋が弛緩する。筋肉が収縮と弛緩を起こすときに微弱な電位が発生する。これが筋電位である。

(※文責: 花田渉)

3.1.2 回路

微小な生体信号（筋電位）を計測し、筋電義手を動かすための回路を製作する。このような生体信号は、細胞外計測や表面電位（ヒトの筋電位）計測では 1 mV 以下の微弱な信号である。したがって、計測する回路は、これら微小な信号を読み取らなければいけない。しかし、筋電位を計測する際にノイズ（雑音）が入ってしまう。スムーズな計測をするためにはノイズ（雑音）の中から筋電位を取り出し、大きくする（増幅）することが求められる。具体的には 3 つある、1 つ目は高い入力抵抗を持つこと、2 つ目に十分なノイズ対策があること最後に十分な増幅率を持つことが必要となる。そこで私たちは回路設計について学習した。各回路について学習したこと。

- インストルメンテーションアンプ
このインストルメンテーションアンプは、前半では対称な二つのオペアンプで差動出力の増幅回路を作り、後半では差動増幅回路で引き算を行っている。引き算をすることで測った筋電位からの同相ノイズを消すことが可能である。より正確に同相ノイズをキャンセルするために、初段の増幅率を決定する抵抗器には精密抵抗を用いなければならない。
- ハイパスフィルタ
フィルタ回路とは目的の信号を周波数によって通過または遮断するものである。ハイパスフィルタは周波数の高い信号を通過させそれ以下の低い周波数成分を通さないフィルタ回路である。筋肉の運動による電極のズレが原因となって起こるモーションアーティファクトと呼ばれるノイズは大体 20Hz なのでこれ以下を除去する。
- バッファ
バッファは電極と筋細胞の間の皮膚による高抵抗を低抵抗へと変換するインピーダンス変換器である。
- 半波整流回路
半波整流回路とは、電流をどちらか一方にだけ流すこと回路のことである。今回はダイオードを利用して、電圧波形のうち負の部分を切り取り、正の値のみの信号へと変換する。
- 積分回路
積分回路を用いて筋電位を大筋収縮力の強さと対応付けるための処理をする。積分回路とは入力電圧を時間で積分して出力する回路である。しかし今回使用する積分回路では出力の符号が反転する。
- 反転増幅器
入力と出力の符号が反転する。各抵抗器の値の組み合わせにより増幅率を変えることができる。今回は抵抗器の一つに可変抵抗を使うことで、計測する部位により強弱のある筋電位の信号を増幅率を変えることで信号の読み取りを容易にする。

(※文責: 花田渉)

3.1.3 回路作成

次に、以前までに学習した回路を一つにまとめることで筋電位計測回路を作ることができる。まず、ブレッドボード上で回路の動作確認をした。しかし、ブレッドボード上で回路を組むと配線が多く場所を大きくとってしまう。これを解決する為に基板上で回路を組むことで配線が少なくなり全体もコンパクトになる。なぜなら、基板上では配線は直接基板に付けているので場所をとることがなく線が抜けてしまうような事故も防げる。そして、ブレッドボード上の回路を基板に移すためにはあらかじめどのように配線を組むかを考え、設計しなければならない。

今回の回路設計には PasS(Parts Arrange Support System) を使用した。PasS はユニバーサル基板上等に電子部品を実装し、配線を行うための部品配置図や配線図を作成するための補助ソフト（基板エディタ：電子 CAD）である。部品・基板を記号ではなく実際のイメージで配置し配線できる。配線の種類は、「裏面配線」、「表面配線」、「裏面被覆配線」、「表面被覆配線」の 4 種類がある。表に抵抗などを置くと同時に裏面用の基板にも反映され 2 つを同時に見ながら作業もできるため配線の間違いなどが起きにくい。さらに、表面に裏面の配線を移すことも可能なので確認も簡単にできる。そして、設計した回路図通りに基板に半田で回路を組み立てる。作成した回路により筋電位を計測する。最終発表までには、計測箇所分の回路を 6 個作成した。

(※文責: 花田渉)

3.2 内転・外転運動

3.2.1 「掴む」と「握る」

人間の動作には「掴む」動作と「握る」動作の類似した動作が存在する。日常生活において物体を把持するとき「握る」動作より「掴む」動作の方が多い。「掴む」動作とは、掴みたい物体に対して親指とその他の指が向き合うように把持する動作のことを指す。ここでいう親指とその他の指が向き合うよう動作することを拇指対立運動という。

(※文責: 佐藤勇太)

3.2.2 拇指対立運動

ものを把持することのできる生物は、哺乳類のなかでも人やサルなどの霊長類のみである。その中でも拇指対立運動は人間特有の動作のひとつである。チンパンジーやサルは骨格上、拇指対立運動は不可能であり、屈曲運動のみしかできない。よってチンパンジーやサルがものを把持する場合には「掴む」動作ではなく「握る」動作になる。チンパンジーやサルと同じく屈曲運動のみしかできない義手では拇指対立運動ができないため、物体を「握る」という動作しかできない。「掴む」という動作は屈曲運動と拇指対立運動を両方行うことで可能となる動作なのである。そこで、本プロジェクトでは、「掴む」動作を可能にするため、親指の拇指対立運動に注目した。

(※文責: 佐藤勇太)

3.2.3 親指の可動

人の拇指は可動する方向は一つではない。それは拇指の構造が複雑であるためである。この複雑な構造が拇指対立運動を可能にする。人が拇指対立運動をするときの拇指の動作に注目すると、拇指の屈曲運動と同時に拇指の内転・外転運動が行われている。しかし筋電義手の構造を人の拇指の構造に近づけようとするのは、非常に困難なことである。

そこで本プロジェクトでは拇指対立運動を可能にするため、拇指の屈曲運動に加えて指の開閉である内転・外転運動の動作に注目し、内転・外転運動の動作軸を加えることを目的とした。

(※文責: 佐藤勇太)

3.2.4 長拇指外転筋

拇指を動かすための筋は主に拇指の付け根の手のひらに存在する。しかし本プロジェクトが作成している筋電義手の使用者は手首より先がない人を想定している。したがって、拇指を内転・外転運動する際に生じる筋電位は計測できない。そこで前腕に存在する長拇指外転筋の筋電位を使用することにした。長拇指外転筋は尺骨骨間縁・前腕骨間膜・橈骨後面から第1中手骨底にかけて存在する筋肉で、主な働きとして拇指を外転する筋肉である。よって長拇指外転筋の計測することによって拇指を内転・外転運動の筋電位を計測するにした。

(※文責: 佐藤勇太)

3.2.5 長拇指外転筋の筋電位計測における注意事項

拇指の動きが内転・外転運動と屈曲運動の2つが存在するためそれぞれが独立して筋電位を計測できる場所が必要である。拇指の内転・外転運動は長拇指外転筋の屈曲運動をしたときに筋電位が一番小さい場所で測定した。

(※文責: 佐藤勇太)

3.3 計測場所について学習したこと

今回の実習では、身体運動の生理学事象を捉えるために、表面筋電図の計測を行う。筋電図 (EMG:Electromyogram) は中枢からの筋への運動指令をあらわしている。特に皮膚表面で計測する筋電図のことを、表面筋電図 (Surface electromyogram) と呼ぶ。

厳密に筋電図を計測するためには針電極を対象の筋肉に挿入することになる。しかし、安全性等の面から表面筋電位で計測をする双極誘導法により1カ所当たり2個の測定電極を利用する。表面筋電図ではその性質上体表面から深い部分の筋電位はうまく計測できない（皮膚の電気抵抗は、皮膚の湿潤度と皮膚角質層の厚さによって変動するのでアルコールを浸けた脱脂綿等でこすり、乾いてから電極を貼り付ける）。電解液である汗と電極の金属の間で分極電位が生じるが電極に電解ペーストを塗布して使用すれば問題なく計測できる。

(※文責: 花田渉)

3.3.1 指を動かす筋肉

- 深指屈筋

指の第一関節を曲げる筋肉は前腕にある深指屈筋と呼ばれる。深指屈筋の腱は手首、手の平を通過して第一関節付近の骨に結合している。

第1関節を閉じる働きがある。

- 浅指屈筋

指の第二関節を曲げる筋肉は前腕にある浅指屈筋と呼ばれる。浅指屈筋の腱は手首、手の平を通過して第二関節付近の骨に結合している。

第2関節を閉じる働きがある。

- 虫様筋

指の付け根の関節を曲げる筋肉は手の平にある虫様筋と呼ばれる。この虫様筋は深指屈筋の腱の手の平の部分から伸びている。

指の付け根を閉じる働きがある。

- 指伸筋

指を伸ばす筋肉は前腕にある指伸筋と呼ばれる。指伸筋の腱は手首の背側、手の平の背側を通過して指の骨に接続している。

指を伸ばす時に収縮する筋肉である。

- 背側骨間筋

中指を中心に人差し指と薬指を外側に動かす筋肉。中指に関しては左右に動かしそして固定する働きがある。

- 長母指屈筋
親指の第一関節を曲げる筋肉.
- 短母指屈筋
親指の第二関節を曲げる筋肉.
- 長母指伸筋
親指の第一関節を伸ばす時に収縮する筋肉.

など指を動かす, 把持するだけでも多くの部分の筋肉を使用している.

(※文責: 花田渉)

3.3.2 実際に計測に使った部位

今回私たちが作成した筋電義手は各指が屈曲するタイプの義手と親指の可動軸が多いタイプの義手の2通りの義手を作成した. 作成する義手は手首より先が無い人を想定しており, 手のひらや手の甲にある筋肉は使用できない. つまり手のひらにある筋肉以外で指を屈曲, 開くことができる筋肉を腕から探さなければならない.

私たちが計測に使用したのは屈曲運動をする際に生じる筋電位である. これは浅指屈筋など前腕に存在する屈曲筋で計測する. したがって各指で屈曲させたときに生じる筋肉の場所を探し, 尚且つ指を屈曲させたときにその指だけの反応をする場所を探すことでパターン分けすることができる. 今回筋電義手を動かす為に計測した部位を説明していく.

親指, 人差し指, 中指, 薬指, 小指, はそれぞれの屈曲筋で計測した. 拇指の内転・外転運動は5指の屈曲を計測する際には強く反応しない長母指外転筋により計測に成功した.

(※文責: 花田渉)

3.4 計測方法

皮膚の高インピーダンスに対応したアクティブ電極を 1ch あたり 2 個セットで使用し計測部位に貼り付けた。その上から導電布を巻く。人体と回路などの機器との基準電位を合わせるため導電布とグラウンド線とを接続した。筋電計測回路を使用し微弱な筋電位信号を増幅し信号に含まれるノイズを除去し PC で読み込める波形に変形した。アクティブ電極と筋電計測回路内に組み込まれた増幅回路の 1 種オペアンプを稼働させるため、 $\pm 5V$ の電源を供給した。処理を行った信号を arduino で PC に取り込んだ。

(※文責: 長谷川慎哉)

3.5 筋電義手を動かすプログラミング

3.5.1 パターン認識

パターン認識とは、人間が行う学習をコンピュータで実現しようとする技術手法である。パターン認識は、入力された複数個のサンプルデータを解析し、結果を利用して識別を行うものである。本プロジェクトでは、複数個の筋電位の値をサンプルデータとし、その結果を学習させ、与えられた筋電位のパターンの識別を行う。

(※文責: 佐藤勇太)

3.5.2 サポートベクターマシン

サポートベクターマシンとは、高次元化を用いて未知の領域を最適なパターンに分けるのに適している。ch ごとに与えられたデータの最短距離をとり、その中心を取って結ぶことにより識別境界を設定する。これをマージン最大化という。

(※文責: 佐藤勇太)

3.5.3 サポートベクターマシンを使用するにあたっての注意事項

学習させるデータが多いと細かな領域を決定することができるが、多すぎると 0 付近に混在するノイズまでも学習してしまい、領域がずれてしまうため、学習させる個数を制限させる必要がある。また学習させるパターンが多すぎると他のパターンとの区別がつきにくくなり、誤作動が頻繁に発生してしまい正確な動きが困難になる。本プロジェクトでは、それらを踏まえたうえで、1 秒間に 100 個のデータが入力されたが、0.1 秒ごとに平均を取り、10 個のデータに圧縮した。学習パターンも最小限に抑えるために親指から小指までの各指を動かすための 5 パターンと親指の内転・外転運動を計測するための 1 パターンの 6 パターンで計測を行った。

(※文責: 佐藤勇太)

3.5.4 内転・外転運動を可能にするための SVM での学習

拇指の屈曲運動に加えて内転・外転運動のパターンを学習する必要があるため、屈曲運動、内転・外転運動だけをするパターンで 2 パターン必要となる。また屈曲運動と内転・外転運動を両立するための動作に 1 パターンが必要となる。また屈曲運動と内転・外転運動を両立させ動作させる際、義手の構造上内転・外転運動を先に行う必要があったため条件式を付け加えて、後から屈曲運動を行うようにした。またモーターの種類によって稼動域が大きく異なったため、それぞれの指に対して的確な角度に曲げるためのプログラムを作成した。それを用いることでモーターを適切に回転させ、それぞれの指の屈曲運動、拇指の内転・外転運動を可能にした。

(※文責: 佐藤勇太)

3.5.5 プログラムについて

今回サポートベクターマシンは Processing 内で実装し, Arudino を用いて取り入れた筋電位をパターン化し別の Arudino にパターンを送ることでそのパターンに応じたモーターを動かした。判別の方法としてサポートベクターマシンを使用し, 計測された筋電位をパターン化する。各指で取れた筋電位をパターン化し, それを学習させた後, もう一度筋電位を計測した。その筋電位がどのパターンと一致しているのかを調べ, そのパターンに応じた値を出力する。このようにして, どの指を動かしているのか判別している。

義手本体に送るデータが多すぎると, その分のタイムラグが生じてしまう可能性がある。また, データが多すぎることによって, 判別が難しくなり, 誤作動が起りやすくなってしまう。そのため無線通信のタイムラグを少なくし, 義手の動作の正確性を向上させるためにパソコンから Arudino に出力するデータをどの指かを判別したパターンのみとし, 通信量を少なくした。Arudino に送られてきたデータを元にどの指のパターンかを解析し, それに応じてモーターの回転を行った。

本プロジェクトでは, Arudino でモーターの回転を行ったが, 各 5 本の指が独立してそれぞれがばらばらに動く場合, 親指の屈曲運動と内転・外転運動, さらにそれらの両方を両立させて動作する場合, 「掴む」動作の 3 つの場合に応じたモーターの回転数をそれぞれ調べ, その場合に応じたモーターの回転を行った。

(※文責: 佐藤勇太)

3.6 無線化

3.6.1 現状の課題

昨年度から本プロジェクトで製作している筋電義手は、筋電位のパターン分けやモーターの制御を行うノートパソコンと筋電義手本体が有線接続で通信を行っている。ノートパソコンでは使用者の腕に取り付けられた電極で測定された筋電位をパターン分けし、パターンに合致した動作を筋電義手に行わせる信号を送信している。筋電義手の各指を動作させるモーターは小型のマイコンである arduino に接続されており、ノートパソコンから送信された信号を arduino が処理しモーターを動作させている。

前期に製作した筋電義手では昨年度の後期に製作したものと同様に、ノートパソコンと義手本体に取り付けられた arduino を専用のシリアルケーブルで接続することでノートパソコンからの信号を arduino へ送信していた。しかし実際に私達が製作した筋電義手を装着して生活を送る事を想定すると、日常動作を行う上で制御部と動作部を繋ぐこのシリアルケーブルが行動の障害となる可能性や日常生活に支障をきたす可能性があることが昨年度から指摘されていた。私達が製作している筋電義手では、小型化した制御部を身に付け装着した筋電義手を動作させることを目標としている。この際に制御部と筋電義手本体が有線で接続されていると想定すると、筋電義手の着脱時に手間がかかる事や制御部と筋電義手を結ぶケーブルが周囲の人や物に接触してしまう事が考えられる。筋電義手を装着した腕の自由な動作を実現するためにはケーブルの長さに十分な余裕を持たせる必要が生じるが、その分ケーブルと周囲の人や物が接触する可能性が上昇してしまう。

(※文責: 平井航太)

3.6.2 従来例

現在実用化されている筋電義手は無線通信によってモーターを制御しているものと、制御部を義手本体に内蔵しているものが大部分を占めている。無線通信によって制御している製品では Android スマートフォンを制御用の装置として利用することで無線化を実現しているものなどもある。昨年度のプロジェクトでは Zigbee という通信規格を採用している通信機器を利用することで無線化に取り組んでいた。Zigbee を採用している通信機器は arduino との連携が容易なことや他の通信規格の製品と比べて消費電力が極めて少ないといった特徴を持っている。しかし昨年度のプロジェクトではニューラルネットワークによる筋電位のパターン分類が不安定であったことや無線通信装置の制御に用いるプログラムが正常に動作しなかったことなどの要因により通信の無線化には成功しなかった。

(※文責: 平井航太)

3.6.3 目的

現状の課題と従来例から、私達は制御部と筋電義手本体間の通信を無線化することを目標の1つとした。実際に筋電義手を着用し生活する場面を想定すると、通信の無線化は必須事項であると考えられる。通信の無線化が実現できた場合、筋電義手の着脱の手間が改善されることや義手着用の動作の自由度向上などが実現され着用者への負担を大きく軽減することが可能になる。また可能であれば筋電位測定部とノートパソコン間の通信を無線化することも目標とした。

(※文責: 平井航太)

3.6.4 解決すべき問題

制御部と筋電義手本体間の通信を無線化するにあたって解決すべき問題について記載する。現在、無線通信装置の規格には様々なものがあるが通信可能距離や通信速度、電波強度などは各規格によって大きく異なっている。私達が製作している筋電義手では制御部を体のどこかに身に付けることを想定しているため長大な通信可能距離は必要とされないが、室内で5m程度の確実な通信が保障されている必要がある。

また通信速度と電波強度に関しても筋電義手という機器の性質上、使用者が筋肉を動かしてから筋電義手が実際に動作するまでの時間は可能な限り短縮する必要がある事に加えて、信号を確実に送信するため十分な通信速度と電波強度が保障されているかも確認する必要がある。

(※文責: 平井航太)

3.6.5 課題設定

以上の事を考慮し、私達は無線化に向けていくつかの課題を設定した。まずは必要とされる性能を持った無線機器の選定である。今回必要とされている性能は先ほど挙げた通信可能距離や通信速度、電波強度などである。またモーターの制御に使用している arduino との接続性や通信機器本体の値段なども考慮に入れて選定を行っていく。

また使用する通信機器に合わせて制御用のプログラムを新たに作成する必要がある。前期までに作成したプログラムは Processing と arduino IDE を使用しているため、これらのプログラムに組み込むことが可能な形式のプログラムを作成する必要がある。

無線化が実現できた場合には様々なパターンの検証を行い、必要とされている性能を実現できているかどうかを検証する必要がある。その為に通信距離や使用環境などを変化させながら通信の検証を行っていく。

(※文責: 平井航太)

3.6.6 使用機材の選定

まず今回の無線化に使用する機材の選定を行った。各機材を評価していく上で検証する点として、「筋電義手の制御部として必要な通信性能を持っていること」、「arduino との連携が容易であること」、「乾電池の電力で動作可能なこと」の3つの点を挙げた。

「筋電義手の制御部として必要な通信性能を持っていること」として、着用時の確実な通信を実現するために通信可能距離が室内で5m以上あることを挙げた。またモーターの制御に使用しているプログラムの関係上、1000bps以上の通信速度が保障されていることを挙げた。この2つの項目を満たした通信機器であれば、日常使用において着用者にストレスを感じさせずに使用してもらえようと考えた。

また前期までに製作した筋電義手は本体にarduinoを組み込みarduinoでノートパソコンと連携し各モーターを動作させているため今回新たに使用する通信機器にも「arduino との連携が容易であること」を必要項目とした。具体的にはarduinoに搭載可能なシールドがネット通販で入手可能であることを必要項目の中に入れた。

また筋電義手の各指を動作させているモーターの電源に乾電池を使用しているため、今回新たに使用する通信機器にも「乾電池の電力で動作可能なこと」を評価の対象に加えた。乾電池の電力ではモーターと同時に使用できない程の消費電力を持つ通信機器を採用した場合、バッテリーが巨大化してしまい実際の使用時に着用者への負担を増やしてしまう可能性がある。したがって「乾電池の電力で動作可能なこと」も重要な評価点であると考えた。

今回評価の対象とした無線通信機器はBluetooth規格の「Bluetooth Mate Gold WRL」,zigbee規格の「Xbee XB24-Z7WIT-004」,Wifi規格の「ARDUINO-A000058」の3つである。この3つの無線通信機器を挙げた理由はそれぞれ専用のarduinoシールドが存在しておりarduinoとの連携が容易であると考えたからである。それぞれの通信装置を評価した結果、今回のプロジェクトで使用する無線通信機器にはzigbee規格の「Xbee XB24-Z7WIT-004」(以下“Xbee”)を採用する事とした。Xbeeを採用した理由は今回要求されている通信性能を満たしていること、消費電力が極めて小さくモーターと同時に使用しても乾電池程度の電力で十分に動作可能であること、また昨年度のプロジェクトにおいて採用されており新たに機器を購入する必要が無いこと、昨年度までの知識の蓄積があることの4点である。

(※文責: 平井航太)

3.6.7 arduino との接続

Xbee を使ってノートパソコンと筋電義手本体間の通信を無線化するためには arduino に接続する必要がある。したがって Xbee 専用のワイヤレスプロトシールドである「ARDUINO - A 000064」を用意した。このワイヤレスプロトシールドを使用して片方の Xbee を義手本体の arduino に接続し、ノートパソコンの USB ポートにも microUSB ケーブルを使用してもう片方の Xbee を接続することでノートパソコンと筋電義手本体間の無線通信が可能になる。しかし前期までに使用していたプログラムはノートパソコンと筋電義手本体間をシリアルケーブルで接続していなければ正常に動作しない仕様であるため、無線通信でモーターを制御するためには新たに制御用のプログラムを作成する必要がある。

(※文責: 平井航太)

3.6.8 制御用プログラム

新たに作成する制御用プログラムでは、前期に作成したシリアルケーブル通信用のプログラムを Xbee 間の通信用に書き換える必要がある。また無線通信ではシリアルケーブルを用いた有線通信ほどの通信速度は出ないためノートパソコンから arduino への通信は必要最低限に減らす必要がある。

私達はまず Xbee 間の通信用にプログラムを書き換える作業を行った。最初に書籍やインターネットのサイトなど参考にしながら学習を進めていった。学習の結果、Xbee 間における無線通信もシリアル通信であるという事がわかった。したがってシリアルケーブルでの通信用に作成された前期のプログラムを大きく変更する必要はなく、通信方法などのいくつかの追記で無線通信を実現できることがわかった。したがって私達は通信速度や使用 USB ポートなどの追記、修正を行うことでこの工程を終了させた。

次に私達はノートパソコンから arduino に送信する信号の量を減らす事に挑戦した。Xbee における無線通信速度は 1200bps~1Mbps となっており、筋電義手の制御には問題の無い数値ではあるがシリアルケーブルによる通信速度よりは大幅に減少している。そこで私達は Xbee の通信速度に合わせて送信する信号の量を減らすためにプログラムを修正した。修正の結果、以前までは動作させるモーターの番号とモーターを動かす角度の 2 つを送信していたのに対し、モーターを動かす角度を arduino に記憶させておくことでノートパソコン側から送信する信号はモーターの番号だけに減らす事に成功した。

(※文責: 平井航太)

3.6.9 成果

無線化に向けての活動の成果について記載する。以上までの活動により、私達はノートパソコンと筋電義手本体間の無線通信を実現させることに成功した。無線通信機器選定の際に設定した「室内で 5m 以上の通信可能距離が保障されている」という事を検証するために実際にノートパソコンと筋電義手本体間の間隔を 5m 以上離して通信を試みた結果、正常な動作が確認できた。また有線通信時と比較して知覚可能なレベルの通信の遅れは確認されず、無線通信による通信のラグも確認されなかった。もう 1 つの目標であった筋電位測定部とノートパソコン間の通信の無線化については時間が足りず取り組むことが出来なかった。

(※文責: 平井航太)

3.6.10 今後の展望

今回の活動の結果、昨年度からの目標であったノートパソコンと筋電義手本体間の通信の無線化には成功できた。通信可能距離や通信精度にも問題は無く実用可能なレベルであると考えている。今後の活動目標としては、今回達成できなかった筋電位測定部とノートパソコン間の通信の無線化を目指していきたい。筋電位測定部とノートパソコン間の通信の無線化が実現されると、装着に必要なケーブルがより一層減少することになり使用者への負担を更に軽減することに繋がると考えられる。

(※文責: 平井航太)

3.7 計測機器

3.7.1 アクティブ電極

アクティブ電極は電極端子ごとにパッファアンプを内蔵し、皮膚表面での高インピーダンスや電極リード線の揺れに起因する問題を解決する役割をもつ。これによりモーションアーティファクトが発生しにくい計測が可能になる。皮膚表面の接着面が大きいとその分計測したい筋肉の周りにある別の筋肉の筋電位をも計測してしまい正確な筋電位計測ができなくなるため、接着面を小さくするように構築した。

筋電位計測を行うためには2点間の電位の差をとらなければいけないので、2本1組とし、各指それぞれで筋電位を計測するためにそれぞれの指で2本ずつの計10本と親指の内転・外転運動の識別を行うための2本の計12本を作成した。また故障したときのために予備として4本作成した。

また計測場所によってノイズの大きさが異なり計測に大きな影響を与えてしまうため、ペーストと導電布を用いてノイズの影響を少なくした。

(※文責: 佐藤勇太)

3.7.2 電解質ペースト

人間の体から出る汗は電解液であり、汗と電極の金属との間で分極電位が生じるため電極の金属の部分に電解質ペーストを塗ることで解決する。

分極電位は筋電位計測をするだけの場合影響はさほど無いが、本プロジェクトの場合、サポートベクターマシンを使用し、高次元での判別を行わなければならないため、少しの変化が誤作動を招く場合があった。

(※文責: 佐藤勇太)

3.7.3 導電布

有機繊維の表面に極めて薄い金属をめっきした織物で、その導電布をグラウンドにつなぐことによって人体アースだけでは取り除けないノイズを取り除く。

人体アースのみでは、筋電位計測を行うことが困難であるほど、ノイズが入ってしまうため、導電布をつけて計測を行った。

(※文責: 佐藤勇太)

3.7.4 オシロスコープ

オシロスコープとは目では見えない電気信号の変化している様子をリアルタイムで観測できるようにした波形計測器である。

オシロスコープでは計測したい回路の場所につなぐことによってそこまでの回路内で変換された波形を観測することができる。例として今回作成した回路ではインストゥルメンテーションアンプでは2点間で計測された筋電位が計測できているか、積分回路では波形が積分されて観測されているかなどを確認することができる。そのため回路の故障や電極の故障で筋電位が計測できないとき、どこが故障しているのか、またどこまでは正常に動作しているのかどうかを確認することができる。また回路作成時も作成した回路ごとに確認できるため、設計ミスによる工数の削減に成功した。回路作成時の確認には通電テスターも使用し、作成したところまでの回路に電気が流れるかどうかを調べた。

本プロジェクトにおいてそれぞれの指を正確に計測することはサポートベクターマシンを使用し、筋電義手のそれぞれの指を正確に動かすために必要不可欠だったため、他の指が干渉しないところを見つけるためにオシロスコープを用いた。

(※文責: 佐藤勇太)

第 4 章 グループ内のインターワーキング

4.1 制作物

4.1.1 スライド

計測班の発表スライドを作成した。なお、無線化については新機能の実装に向けた研究という目的にあてはまらないため、スライドには掲載せず、ポスターのみに掲載することにした。

計測班の目標

配線の無線化による着脱の簡略化, 新機能の提示

親指の回転軸

計測班の目的を示した。

現在の課題

現在の筋電義手では「掴む」動作ができないことを説明した。

測定する筋

内転・外転運動の筋電位を計測した場所を示した。

SVM での学習方法

筋電位をパターン化し、分類し学習するプログラムである SVM (サポートベクターマシン) のプログラムの説明をした。

筋電義手の動画

実演で筋電義手が動かなかった場合を考慮し、実際に筋電義手で指を動かしている動画を撮り、スライドに貼った。

新たに設計した回転軸

屈曲運動と親指の内転・外転運動を行うことのできる筋電義手を示した。

親指の稼動域

屈曲運動と親指の内転・外転運動を識別した動画を映した。

(※文責: 細井亮佑)

4.1.2 中間発表までの成果

中間発表までの成果は、筋電位計測回路 3 チャンネル分の作成、アクティブ電極 10 本の作成である。また、掴む動作とそれぞれの指を動かす動作のパターン分類である。

(※文責: 細井亮佑)

4.1.3 最終発表での成果

中間発表までの成果は、筋電位計測回路 6 チャンネル分の作成、アクティブ電極 12 本の作成、筋電義手の制御部と筋電義手本体との無線化である。また、5 本の指の屈曲運動、親指の内転・外転運動の動作のパターン分類である。

(※文責: 細井亮佑)

第 5 章 結果

5.1 計測班の成果

計測班では、プログラムを専門に学習する人と回路や電極について学習する人に分かれることによって効率よく作業することができた。親指、人差し指、中指、薬指、小指の屈曲筋の筋電位と長拇指外転筋の筋電位の信号をサポートベクターマシンによって動作識別した。そのために必要な 6ch 分の計測回路と 12 個のアクティブ電極を作成した。また制御部と義手本体とを無線通信を行った。

(※文責: 長谷川慎哉)

5.2 解決手順と評価

計測班では、筋電位についての学習を行い、筋電位を計測するために必要となる回路について学習した。回路についてはそれぞれがどのような役割を果たしている等の基本知識の学習を行った。また、新機能の研究二向け人間の指の運動を司る筋についての調査を行った、制御プログラムに関しては、昨年まで使用していた識別プログラムのサポートベクターマシンの理解を行った。親指、人差し指、中指、薬指、小指の屈曲運動に加え拇指が移転運動がそれぞれが正確動作識別を可能にするため、6ch 分の回路と 12 本のアクティブ電極の作成をし、プログラムの拡張を行った。また、制御部と義手本体の無線通信のためにプログラムの見直し、arduino についての学習を行った。

(※文責: 長谷川慎哉)

5.3 今後の課題と展望

計測班の今後の課題, 展望として以下の点を挙げる.

アクティブ電極

電極の作成は滞りなく行うことができた. しかし, 筋電位計測の際に各指の筋電位パターンを完全に独立したものとして計測することができなかった. そのため今後の展望としては, より小さいアクティブ電極が必要である.

無線化

筋電義手の制御部と筋電義手本体との無線化との無線化には成功したが, まだまだ配線が少ないとは言えない. そのため今後の展望としては, 電源と回路の無線化や, 回路と電極の無線化などを行っていく必要がある.

親指の内転・外転運動

親指の内転・外転運動の筋電位パターンを計測することに成功したが, 内転・外転運動と屈曲運動を両立させることはできなかった. そのため今後の展望としては, 拇指対立運動を筋電義手に実装可能にすることを課題とする.

(※文責: 細井亮佑)

第 6 章 まとめ

6.1 プロジェクトの成果

プロジェクト学習の成果として,6 チャンネル分の回路の作成, 予備を含めた 16 本以上のアクティブ電極を作成し, 実際に義手の五本の指を動かし, 親指の内転・外転運動を行うため,SVM で 6 パターンを分類することに成功した. そして, 実際に SVM にパターンを学習させ筋電位を計測し筋電義手の指を動かすことに成功した.

(※文責: 花田渉)

参考文献

- [1] 星宮望. 生体工学. 小林共文堂, 1990.
- [2] 橋本成広. 生体計測工学入門, コロナ社, 2000.
- [3] PasS, uaubn, 最終更新日.2010/6/21,
URL:<http://www.geocities.jp/uaubn/pass/>.