

感じる筋電義手の開発

Development of myoelectric prosthetic hand with haptic sense

1. 背景

筋電義手とは筋肉を動かす際に生じる電圧を利用して操作を可能とする義手である。人間は手を使って熱さ、冷たさ、圧力などの情報を得て、物を扱う際の判断材料としている。しかし義手で触覚情報を得ることは困難である。そこで本プロジェクトでは筋電義手に感じるという機能を追加した感じる筋電義手の製作を目指し活動を行った。

2. 課題の設定と到達目標

ヒトの手は物体を握ったり、触れたりといった動作をするだけでなくそれらの動作から物体の熱さや冷たさ・圧力といった情報を得るツールであると考え、筋電義手にもそれらの情報を得る機能を実装し、装着者が知覚することを目指す。

また、去年までの本プロジェクトの義手は制御に必要な部品が外付けされていた。部品が外付けされているのは義手の装着が困難になるので、今年のプロジェクトでは部品の内蔵を目指した。

3. 課題解決のプロセスとその結果

本プロジェクトでは筋電義手に知覚する機能を追加するため、前期では、触れた物体の温度を知覚し、提示する装置をサーミスタとペルチェ素子を用いて作成し触れた物体の温度を判別することを可能とした。作成した温度を情報提示する装置の精度を確認するため、次の実験を行った。

実験方法

対象は本学の3~4年生7名に行ってもらった。方法は、まず被験者に目隠しをしてもらい、回路を装着した。そしてサーミスタ部分に約50℃の熱湯を入れたアルミ缶、4℃の氷、または何も当てないという試行を経て、その際の温度変化を装着者に冷たい・熱い・変わらないの3

択で答えてもらう手法を取った。この試行を連続して5回行った。

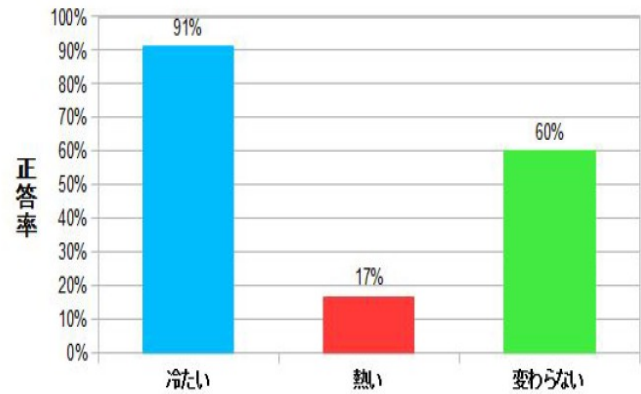


図1. 温度判別実験結果

結果

これより冷たいの正答率が9割を超え、熱いの正答率が2割を下回っていることが分かった。よって、設計したシステムは熱いものに対する判別精度が低いことが判明した。

考察

温度情報提示装置の実験の結果から被験者が冷たいものを感知することはできたが、温かいものは感知できていないということが分かった。この装置の問題点は熱いものに対する判別精度が低いことであると考えられる。また判別実験とは別に、物体が義手（つまり温度センサであるサーミスタ）に触れてから、装着者が変化に気づくまでの時間を何度か測定したところ、平均約5秒ほどのズレが生じていることがわかった。前者の課題に関しては、温度を温度してフィードバックするのではなく、振動または圧力といった別のフィードバック方法にすることで改善を図れるのではないかと考えた。後者についてはサーミスタを予測式体温計のような計算方法に変えること、つまり結果を出力するまでの過程を短くするような処理が必要と考えた。

後期では温度に関する実験の結果を受けて、温度情報を素早く使用者に返すことと熱電素子の温度の調整が難しいとわかり、義手が物を掴んだ時の圧力情報に注目し硬さの判別に取り組んだ。実装は義手が物を掴んだ際に一定の圧力があると振動して使用者に知らせるところまで製作が進み、いくつかの硬さの違うものを義手で掴む実験を行い使用者が気付くかを確認した。

後期ではまず2段階の目標を定めた。1段階目では、義手で物体を把握した際に装着者が視覚を用いずとも気づけるような情報提示装置の作成。そして2段階目では、掴んだ物体を大まかに3種類の硬さで判別できるような情報提示装置の開発を目標とした。大まかな硬さの指標は、まず柔らかい物として綿・羽毛などのほとんど圧力を返さない物。硬い物として硬式野球ボールやボールペンなどの人力でも握り潰せないもの。そしてその中間となる硬度としてスポンジやゴムボールを想定した。開発の始めとして、義手で物体を掴んだ時の圧力情報を得る方法とそれをどのようにして義手装着者に知覚させるかを思案した。その結果、物体の接触を検知するためのセンサとして圧力センサを選択した。情報提示方法には、振動モーターを用いて、その振動で知覚させる方法を選択した。これは前期の反省から、センサによる検知から情報提示までにタイムラグがほとんど発生しないような方法を模索した結果である。これらをRaspberry Pi +Bで制御し、目標の完遂を図った。回路は義手筐体に組み込むことを想定し、大きさが縦72mm横47mm厚さ1.6mmとなる1枚のユニバーサル基板で開発を進めた。完成した装置で以下の実験を行った。

実験方法

堅さの違う試験対象を義手でつかみ使用者が振動に気づくかどうかを確認すると共に、センサが検知した圧力の度合いを示す値を記録した。ここでいう度合は0から3950を取り、圧力に比例する。この値が150を超えると振動モーターが振動するよう設定した。

試験対象

ペン、スポンジ、綿、ドライヤーによる風圧の計4種

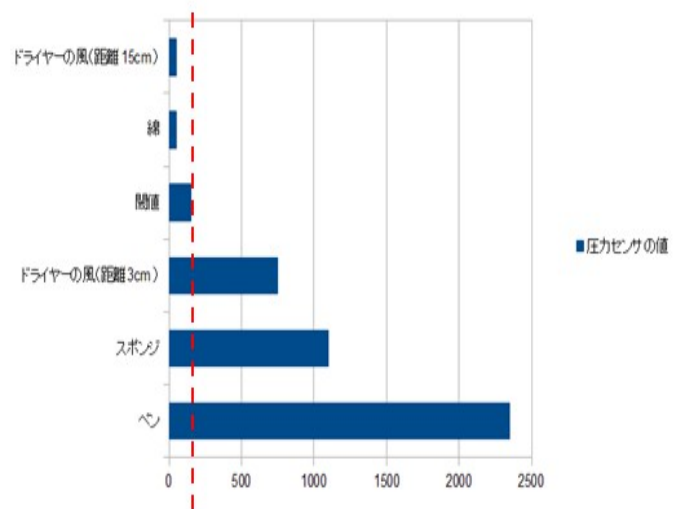


図2. 圧力検知実験結果

結果

図2で示した赤線は閾値でありこの値を超えたのがドライヤーの風、スポンジ、ペンの3つであった。このことからスポンジ程度の堅さがあれば振動モーターが作動することがわかった。

考察

結論として目標の第1段階まで達成という形となった。つまり義手で物体を把握した際、その接触を装着者は振動モーターのON/OFFで知覚することは可能だが、HIGH/LOWで硬度を知ることはできない。また圧力センサの仕様上、「0.2N-20N」までの力を返す物体しか感圧できないため、圧力をほとんど返さないものも認識することはできない。また回路の設計後、掴めない程小さい物体、例えばつまむ動作で取り扱うような物体に対しても回路が適切に機能しないという課題が見つかった。後者の問題に関しては、本プロジェクトで開発した義手で可能な動作が掴むことのみであるため、センサによる感知の対象外とした。

次に本プロジェクトでは部品の内蔵を目指して内蔵パーツの小型化、部品の内蔵に適した形の義手筐体の製作も行った。まず内蔵する筋電位計測回路について記述する。

回路について

電気信号の中でも筋電位は微弱であり、計測するためには筋電位の増幅が必要である。筋電位を計測するためには筋電位計測回路が必要である。私達は筋電位計測回路を製作するためにこれを構成する各回路について学習した。

差動増幅回路

2つの信号の同相ノイズを除去し、差分を増幅する回路である。今回は2つの商用電源ノイズを除去するために用いた。

ハイパスフィルター

身体が動いた時に生じるモーションアーチファクトと呼ばれるノイズを減らすため、ハイパスフィルターを用いた。ハイパスフィルターは、特定の周波数以上の信号を通過させ、それ以下の周波数の信号をカットする働きを持つ。正確にフィルタリングするためには高次のフィルターが必要となるが、フィルターの次数を上げるためにはその次数分オペアンプが必要となる。今回は小型の回路製作のため、使用するオペアンプの数は抑えたかったため、1次にとどめ、80Hz以下の信号をカットした。

非反転増幅回路

入力された電圧を増幅する回路で、微弱な筋電位の信号を増幅するために用いた。この回路から出力される電圧は入力された電圧と同位相となる。

積分回路

入力電圧を時間で積分して出力する回路で、得られる積分波形は筋電位の大きさと筋活動量にほぼ比例している。ここで構成した積分回路は入力した電圧の符号を反転させる。負電圧のみの信号は、今回使用するRaspberry Pi 2 model Bには入力不可能である。

反転増幅回路

入力された電圧の符号を反転し、増幅する回路。積分回路で負の値になった電圧を正の値にし、増幅するため用いた。

以上の回路を組み合わせて今回使用する筋電位計測回路を作成した。

前期ではユニバーサル基板上の回路素子の配置を可能な限り密にすることで前年度のプロジェクトで使用していた回路よりも小型化することができた。しかし、義手に組み込むには至らなかった。義手に回路を組み込むことができなかった理由としては、外装班との連携が上手くいかなかった事と他の部品が占めるスペースが大きすぎて、回路の組み込むスペースがなかったことである。そこで後期では、他の班と連携しながら、さらに回路の小型化を目指すこととした。

後期の活動では、同回路をプリント回路として制作し筐体への内蔵を図った。前期に使用した部品と同等の性能を有するより小型な表面実装部品で筋電位検出回路を構成する事で同回路の大幅な小型化を実現できると考えた為である。以下に製作したプリント基板と前期に製作したユニバーサル基板の回路の比較写真を示す。

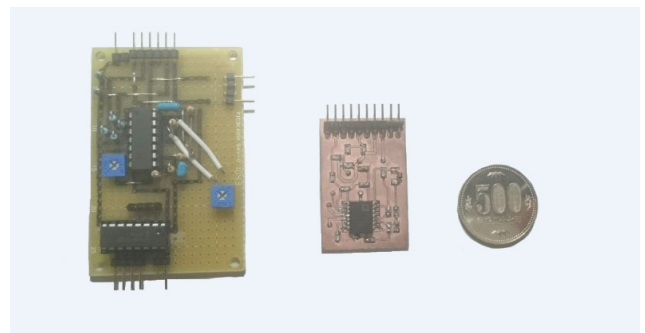


図3. 前期の基板(画像左)と後期の基板(画像中央)の比較

結果として後期に製作したプリント基板は前期に製作したユニバーサル基板よりも小型化することに成功し義手への内蔵に成功した。

義手筐体について

CAD でモデルを設計する前に、3D のモデルを見て義手モデルの内部構造を調べた。具体的に、3D プリンタでロボットを制作するオープンソースプロジェクト “InMoov” の Web サイトから義手本体のオープンソースモデルをダウンロードし、CAD(コンピュータ設計支援) ソフトのビューワーで閲覧した。また、3D データを見ただけでは義手筐体のどのパーツなのかが分からないので、昨年までに製作された義手を見ながら確認した。そして、義手のパーツの 3D モデルが全て揃ってからは、内蔵する部品がどの位置に固定が可能かどうかを、製作された義手に部品を入れてみて確認した。その結果、全ての部品をそのまま内蔵する事は出来ない事が分かった。そして、部品を小さい物と交換し、筐体の一部の 3D モデルを CAD で設計し印刷したものを利用する必要があると判断した。

前期ではデバック用の義手を作成したが、目的である部品の内蔵ができる義手としては機能せず、5本の指を駆動するために、モーターを5つ実装しているためにスペースの大部分はこれが占めているという問題が浮上した。それに加えて、人間の腕のサイズに比べて大きいことから、装着者を考慮することが出来なかった。

後期では浮上した問題点を解決するために、二つの打開策を決定した。まず一つ目として、今回は親指のみ独立した動きをすることで掴む動作を十分にできると考え、これよりモーターの数を例年の5つから2つに減らす。これより、内蔵するスペースを確保した。そして内蔵に関しては、それぞれの部品のサイズより設計をするので、ほかの2つのグループに部品の決定とサイズの詳細を送るよう促すことである。2つ目として、部品の内蔵により義手に求められるスペースが増加することに反して、義手筐体のサイズは装着者向けに小型化しなければいけないこと。これについては、それぞれの部品のサイズが分かると同時に、収納する場所を正確に決定した。仮に、義手筐体の前腕部分に収納されない場合を想定し、掌に収納することも考慮した。その結果デバック用の義手とは異なり、すべての部品が内蔵できる義手を設計することができた。以下に実際に部品を内蔵した状態の義手の画像を示す。



図3. 製作した義手

結果として製作した義手では部品を内蔵することには成功したが、重量が重く、サイズがまだ大きい等装着するには問題点が残った。

4. 今後の課題

今回製作した義手では、圧力センサの仕様上「0.2N-20N」までの力を反作用する物体しか感圧できないため、圧力をほとんど反作用しないものを認識することはできない。これを認識できる仕組みの考察が必要である。

また、部品の内蔵には成功したが、装着するには重量が重く、サイズも大きいという課題が残った。内蔵部品のさらなる小型化、軽量化を行い義手筐体のサイズを抑えることでより装着に適した義手の製作を目指すべきである。