波形観測システムを用いた筋電位計測計の開発

３年Ｂ組　武田　優生
指導教諭　米田　隆恒

１．要約

コンピューターやセンサーの発達により、より高速な処理が行われるようになったため、その信号を LED などにより視覚的に捉えることが難しくなった。そこで、高速な信号をマイコンを用いて観測し、その機能を応用させることで、筋電位計測計を開発した。

キーワード　　A/D 変換、オシロスコープ、データロガー、筋電位

２．研究背景と目的

さまざまな電子機器が高度化している今、センサーなどの値を目でみたり、音で聞いたりすることができなくなってきている。そこで今回、dsPIC マイクロコンピューター(以下、マイコン)を用いて波形観測システムを構築し、センサーなどから出力されるデータを可視化することにした。

図１　今回使用した Microchip 社製
dsPIC30F3012
最高処理速度 120MHz

具体的には、センサーから出力されたアナログデータを A/D 変換でデジタルに変換し、マイコンに取り込む。そこから RS－232C シリアル通信を用いて PC にデータを送信し、VisualBasic2008(以下 VB)で自作アプリケーションを作成し、波形を観測した。

この自作アプリケーションには、DFT 機能を自分でプログラミングし入力データのスペクトルを表示することができるようにした。この DFT 機能によって筋電位を観測することができた。また、データロガー機能もつけたので長期間データをとり続けることもできる。

また、筋電位計測計の作成において、物理班西田による「筋電位計測システムの作成とその応用」(2008 年度 SSH サイエンス研究会研究論文集 p.23～35)を参考にして、私は独自に筋電位計測計を作成した。

３．研究内容

〈目標〉

センサーからどのようなデータが出ているのかを可視化する。さらに、筋電位を用いてアプリケーションを操作する。

（1）研究事項

〈研究１〉　シリアル通信をマイコンに実装し、データが確実に送信されるかどうかを確認する。

〈研究２〉　A/D 変換機能を用いてセンサーなどの値を数値としてみる。

〈研究３〉　VB でアプリケーションを作成し、送られてきたデータでグラフを作り、どう変化するかを確認する。

〈研究４〉　この波形観測システムを用いて表面筋電位計測計を作成する。

（2）研究方法

〈研究１〉　dsPIC マイコンから出力される 0－5V の信号ではシリアル通信で通信できないので、PC と通信するために、±13V の電圧に変換する IC を用いて PC と接続した。そのときの様子が図２である。

図２　シリアル通信のテスト

このとき、通信速度は 115.2kbps まで上げることが可能であった。また、これ以上の通信速度(230.4kbps)を超えるあたりではエラーが目立った。

〈研究２〉　センサーから出力されたアナログデータを dsPIC マイコンの A/D 変換機能を使用し、デジタルデータに変換して PC に送信する。図３のようにアナログデータを 10 進数に変換して PC に送れていることが確認できた。

図３　シリアル通信でアナログ変換されたデータを受信できた。0 から 255 の範囲が 0V から 5V に対応している

〈研究３〉 PC 側アプリケーションには、Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition を用いて作成した。このアプリケーションには、オシロスコープ機能、スペクトル解析、データロガー機能、スクリーンショット撮影機能などをプログラミングした。

■オシロスコープ機能

1 kHz のパルスを入力した様子。図４

が自作ハードウェア+自作アプリケーションで表示した画面、図５が Agilent Technologies InfiniVision DSO5014A で表示させた画面である。

このように、自作ハードウェア+自作アプリケーションでも低周波では、オシロスコープ並みの性能もたせることができる。だが、100kHz を超える高周波になると、A/D 変換の速度が追いつかないため、図６のように波形がいびつになってしまう。

今回の目標である筋電位の取得の場合、筋電位の周波数は数 Hz からせいぜい数 kHz なので、この速度で問題ないことがわかった。

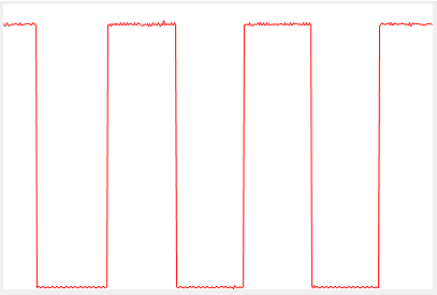

図4　自作ハードウェア+アプリケーションで 1Hz パルスを入力した様子

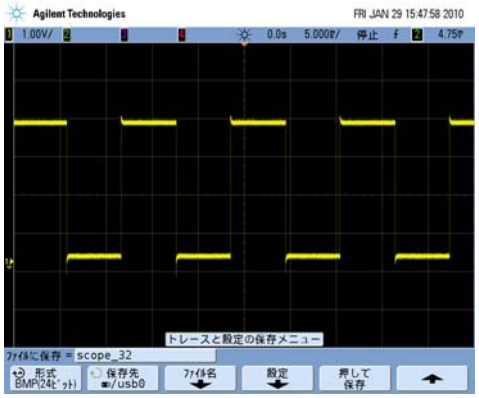

図５　Agilent Technologies InfiniVision DSO5014A で表示させた画面

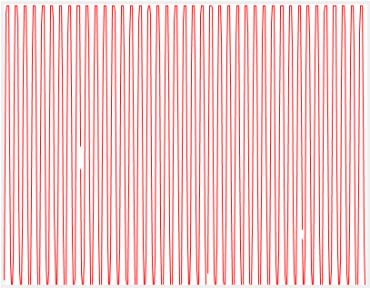

図６　100kHz の Sin 波を自作ハードウェア+アプリケーションに入力した様子

■データロガー機能

5V1F の電気二重層コンデンサを満充電し、青色 3φ の LED(30mA)で放電させたとき、そのデータを１秒ごとに取得し、その後グラフにすることができた。

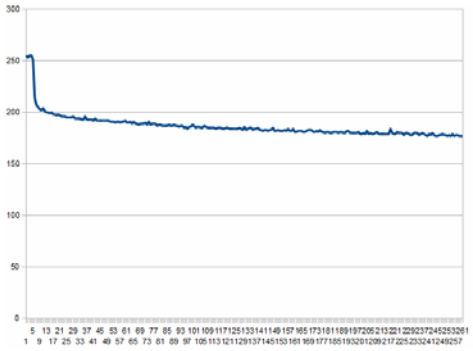

図７　電気二重層コンデンサを LED で放電させたときのグラフ

充電後５秒後に LED に接続したため、このグラフ図７から、５秒あたりで１V 程度の大幅な電圧降下が発生していることがわかる。

■Google フライトのコントロール

Google Earth のフライトシュミュレータはもともとマウスやキーボードで操作するものだが、この方法だと操作し辛い。そこで、SHARP 製　距離センサー

GP2D12 を用いて手を移動させるだけでフライトシュミュレータを操作することができた。このセンサーは 10cm～90cm ぐらいの距離なら、かなり高精度に測ることができる。そこでこれをセンサー部が横になるように設置すると、機体の向きの制御、センサー部を上になるように設置すると、機体の高度を制御することができる。

図８　SHARP 製　距離センサー GP2D12

現在はまだ多チャンネルシリアル通信に成功していないため、機体の向きを制御するか、高度の上下を選択するかのどちらかしかできない。

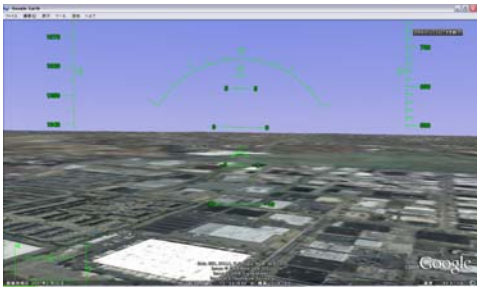

図９　Google フライトシュミュレータを制御している様子

■筋電位計測計の開発

〈ハードウェア〉

（１）電極の作成

筋電位を取得するために必要な電極を開発した。銀のパッドが一番いいが、入手が困難である。そのため、まずは生基板とよばれる銅の板を薄くはった基板 40mm×30mm に切り出してみた。しかし翌日にはさびて使い物にならなくなってしまった。

そこで次に、生基板を切り出した後、ヤスリで表面を磨き、半田こてで表面を SnPb からなる半田でコーティングした。だが、生基板が熱に弱いため、途中で曲がってしまうか、銅板が熱にやられて穴が開いてしまった。

その後試行錯誤した結果、サンハヤト社が製造している、磁気ガード用銅箔テープ T－30C（図 10）に半田メッキし、裏の粘着テープでマジックテープに直接固定した。最終的には、銅箔テープの半田メッキを、１%銀入り半田を用いることにより、皮膚表面との表面電位差を小さくすることができた。

図 10　サンハヤトの銅箔テープ T－30C

(２)増幅回路の作成

今回私は、作動増幅という回路を利用した。この作動増幅は、２極間の差をとって増幅するので、外から入るノイズに強い。蛍光灯や家庭のコンセントは 60Hz のノイズを発生してしまうが、そ

のノイズをある程度は、打ち消すことができた。

また、今回は簡易的に筋電位を取得することを目標としているため、LM324N という 4 回路入り汎用オペアンプを使用した。図 11 は作動増幅の回路図である。

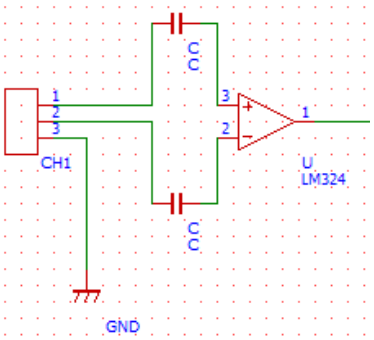

図 11　作動増幅回路の回路図

このようにオペアンプを使用して簡単な作動増幅回路を組んだ。増幅率は 10 万倍に設定してある。

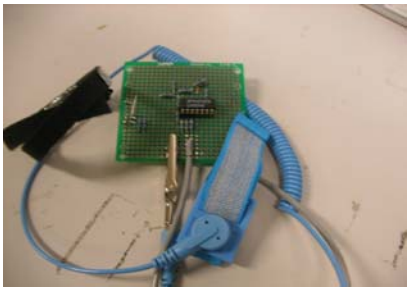

図 12　今回作成した筋電位計測計

図 13 の本体の上に接続して PC と通信することができる

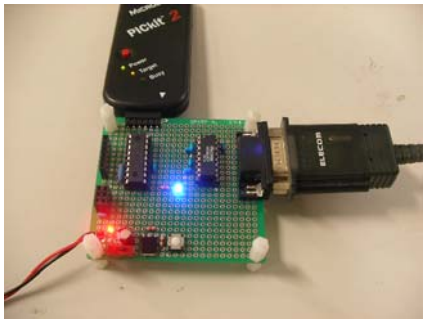

図 13　波形観測システム本体

〈ソフトウェア〉

ソフトウェアは波形観測システムに離散フーリエ変換機能をプログラミングし、スペクトルを求めることで、筋電位を見ることができた。

また、筋電位を用いたインターフェイスを作成できるよう、閾値でアプリケーションをコントロールできる機能を組み込んでいるが、誤反応が多く改善の余地がある。

<フーリエ変換>

フーリエ変換には、簡単だが動作速度が遅い離散フーリエ変換(DFT)を用いてスペクトルを表示している(図 14)。

この離散フーリエ変換は、複雑な波形でも単純な Sin 波を掛け合わしたものがその波形のスペクトルになるというものである。

今回は VisulaBasic2008 でプログラムを組んでいるのでそのソースコードの一部を紹介する。

```
Private Sub
DiscreteFourierTransform(ByVal input() As
Integer, ByRef output() As Double)
        For i = 1 To 200
            For j = 0 To 399
                output(i) += input(j) *
Math.Sin(j / (n / i) * 2 * π)
            Next
        Next
    End Sub
```

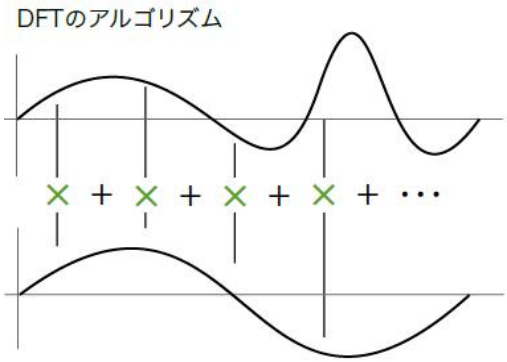

図 14　離散フーリエ変換のアルゴリズム

図 15　今回作成した
筋電位計測用ソフトウェア

<実際に出力される筋電位>

図 16 のように接続し、通常時と腕に力を入れたときに分けて測定した。

図 17 の上のグラフが実際の筋電位で、下のグラフが DFT に通した結果であり、DFT 処理したグラフの大きさが全体的に大きくなっている。それに対して、図 18 の方が下の DFT 処理した筋電位の大きさが全体的に小さくなっているので、通常時と異なった周波数の筋電位が出ていると思われる。

しかし、家庭用電源などからでてしまう 60Hz のノイズをピンポイントで除くフィルタ回路を搭載していないため、60Hz のノイズが混入し、DFT 処理後にもきれいに筋電位を観測することができなかった。さらに今回は、鉛フリー半田を用いて皮膚との表面電位差を小さくはしているが、AC 結合で接続していないため、皮膚との接触状態が悪いと正確なデータがとれずグラフが大きくずれてしまうこともあった。

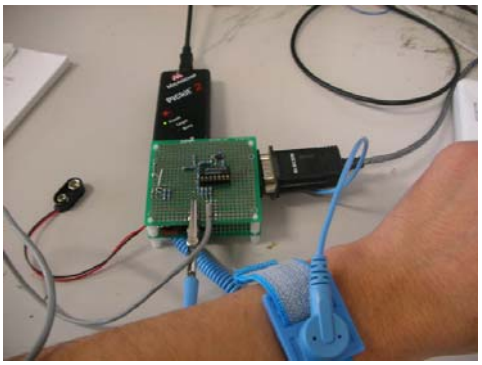

図 16　実際に動作させている様子

図 17　通常時の筋電位

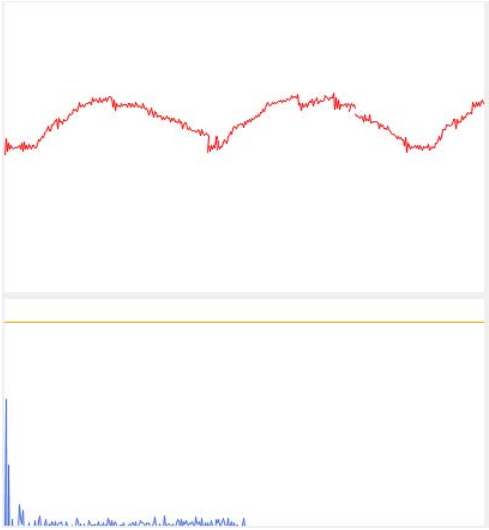

図 18　力を入れたとき

４．今後の課題

多チャンネルの A/D 変換はすることができるが、シリアル通信で多チャンネル A/D 変換のデータを送信することができないので今後改善する必要がある。

また、今回フーリエ変換には、離散フーリエ変換(DFT)を用いた。だが、離散フーリエ変換はデータ数を N とすると、N^2 ほど計算を繰り返す必要がある。そこで、高速フーリエ変換(FFT)を用いると、$N \log N$ ほどの回数ですむ。

さらに、追実験をしていくとともに、現在開発中の筋電位観測用ハードウェアを用いて一つの電極で複数の動きを認識できるようにする。

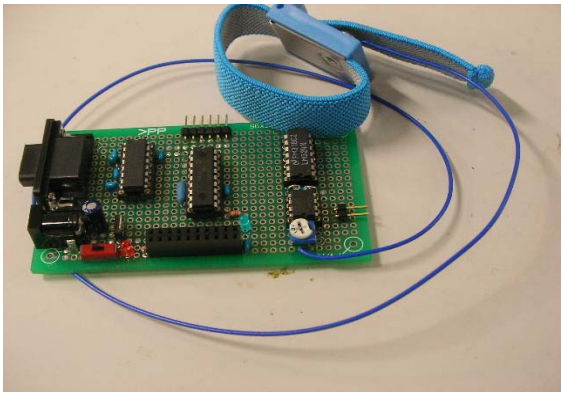

図 19　現在開発を進めている
筋電位計測専用ハードウェア

５．参考文献

[1]「電子制御、信号処理のための dsPIC 活用ガイドブック」，後関哲也著，技術評論社

[2]Microsoft 社，Visual Basic デベロッパーセンター
http://msdn.microsoft.com/ja-jp/vbasic/default.aspx

[3]Microchip 社，dsPIC30F3012 データシート
http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en010342

[4]EXAR 社，SP3232ECP データシート
http://www.exar.com/

[5]SHARP 社，GP2D12
http://www.mech.tohoku-gakuin.ac.jp/rde/contents/tech/h8train/gp2d12_.pdf

[6]ナショナルセミコンダクター社，TA7805F
http://www.semicon.toshiba.co.jp/openb2b/websearch/productDetails.jsp?partKey=TA7805F

[7]秋月電子通商，dsPIC30F3012
http://akizukidenshi.com/catalog/g/gI-01945/

６．謝辞

今回の研究にあたり技術指導してくださった顧問の米田先生、アドバイスをくださったサイエンス研究会物理班の先輩方にこの場を借りて深くお礼申し上げます。