

## 研究テーマ F E S 歩行における姿勢制御システムの研究開発

研究者 江村超 東北大学大学院工学研究科

委託研究員

### 1 フェーズ

#### (1) 研究の概要

これまで歩行ロボットの制御は行ってきたが、F E Sについては全く新規分野であり、基本的な知見の収集と、歩行制御に不可欠な可変出力の刺激パルス生成装置の開発、姿勢制御則の提案を目標として設定した。姿勢制御の検討には至らなかったが、市販の刺激パルス発生装置による刺激テストをもとに、パーソナルコンピュータ(PC)を用いてプログラム制御を可能とするためのデジタル多チャンネル刺激装置の開発を行った。本装置は人間の脚を刺激するのに十分と思われるチャンネル数を低コストに達成した装置である。

#### (2) 研究目標

F E Sに関する基礎的な情報を得る

任意の刺激パターンを生成可能なハードウェアの開発を行う

#### (3) 実施内容

F E Sに関しては、どのようなパルスが適当であるかも未知であったため、各種試験を行う目的で市販の刺激装置を選定し、電極類とともに導入した。これはパルス出力を手動設定する装置であり、定性的な試験には使用可能であるが、センサ情報に基づいて筋肉をコンピュータ制御するという本課題の目的には不十分である。そこで得た情報・経験をもとにコンピュータ制御可能なシステムの試作を行った。

まず、市販装置で筋肉を刺激しつつパルス波形を観測し、筋肉の収縮と必要なパルスの定性的な関係を把握した。皮膚の状態にもよるが、300us, 100Hz, 80V 振幅程度のパルスを発生させることでかなり筋肉が収縮することが確認されたため、これを暫定的な設計基準とすることとした。

刺激システムの設計に当たっては、安全性の確保を最重点課題とし、多重の保護を設けることとした。また、パルス生成は精度を確保するため完全にデジタル式として、最後にデジタルアナログ変換器(D/A)を用いてアナログパルスとし、増幅出力した。パルス生成ハードウェアの構成を図1に示す。トリガ生成部は指定周波数のタイミングトリガを生成する。これをワンショット回路にて、指定幅のパルスにする。この信号(PWM, パルス幅変調信号)により、0と指定振幅値を取る振幅可変のPWM信号とし、D/Aコンバータによりアナログ信号とする。これをパワーオペアンプで増幅し、小信号トランスにて昇圧(約7倍)、絶縁し、刺激パルスとした。これは刺激チャンネル数分用意する。また、これとは別にウォッチドッグタイマを設け、外部からの出力許可信号(具体的には被験

者の準備スイッチ)、制御ソフトウェアからの定期的な動作確認信号を確認し、異常があれば全出力を禁止し、初期化されるまで再出力されないよう設計した。本システムのデジタル部分はすでに関連品として報告したユニバーサルインターフェイスボード上に構築した(最大 16 チャンネル搭載可能)。

以下に本システムの諸元を示す。

- ・出力パルス電圧 0-70V(256 分割)
- ・出力パルス幅 0-510us(分解能 2us)
- ・出力パルス周波数 0-127.5Hz(分解能 0.5Hz)
- ・パワーアンプ部電源電圧  $\pm 12V$
- ・コスト 2 万円/16CH(UnivIF) + 1 万円/8CH(D/A) + 2500 円/1CH(出力アンプ)

パルス幅の設定可能範囲は、現時点での設計範囲をカバーするように決定したが、回路そのものがプログラマブルであるため、容易に変更可能である。また、パワーアンプとして最大出力で  $\pm 30V$ , 3A という素子を使用しており、必要ならばより大出力を得られる(感電しないように十分な注意は必要である)。使用したユニバーサルインターフェイスを図 2 に、パワーアンプユニット(1 チャンネル分, 基板部 25mm 四方)を図 3 に示す。前者は PC の PCI バスに装着し、D/A 変換器を通して、放熱板に取り付けたアンプ回路に接続した。

さらに、このハードウェアと組み合わせ、操作する基本的なソフトウェアを開発した。ソフトウェアを動作させる OS は 2 脚歩行ロボット制御系等でも採用している Linux とした。さらに、2 脚ロボット用に開発し実績を上げている、マルチプロセス手法(同時に複数のプログラムを協調動作させ、役割分担を行う)を導入することとした。これにより、システム構築の効率向上が期待できる。今回は、ハードウェアの操作ソフトウェアを構築したのみであるが、これまでの資源を用いることで GUI(図 4)による操作も可能である。また、おそらく不要であるが、ネットワーク経由で他のコンピュータからパルス出力を指令することも可能である。

オシロスコープ等で波形を観測して、市販装置と同一の波形が生成できることを確認した上で、実際に左腕に電極を貼付し、刺激試験を行った。定量評価は行っていないが、定性的には、手首関節の屈曲を確認した。なお、出力制御は GUI を用いて、被験者自ら行った。

#### (4) 結果

刺激パターンを生成可能なハードウェアの開発を行った。開発したハードウェアはコンピュータ制御に用いるための柔軟性を有し、他チャンネル出力を得られる。また、若干の設定変更で出力パルスの特性を変更するなどが容易に可能である。

## 2 フェーズ以降

以上のように刺激システムの開発を行うことに成功した。しかしながら、これはロボットで言えば、モータが回り始めたことに相当し、制御研究のスタートに過ぎない。

今後の研究計画としては、2 脚ロボットで実証した、センサを用いたフィードバック歩行

制御則の適用を試みていく。第一段階の目標として、足首のみを駆動し、これにより姿勢制御が可能であるかを検証する。ロボットで実証した手法は足首で発生させるトルクによりロボットの姿勢を補償し、歩容についてはそれほど注意を払わないというものであった。そのため、この姿勢制御を人間の足首でも達成することで、今後の研究に糸口がつけられるものと期待する。この目標のためには、まず、足首の出力する力の定量評価が必要となる。そのため、フォースプレートによる計測を行い、有効性を確認した後に、足裏に力センサを装備して姿勢制御の目標を達成する。

この後、膝関節などの制御を組み合わせ、足踏みを行い、最終的に歩行に結びつけていきたいと考えている。

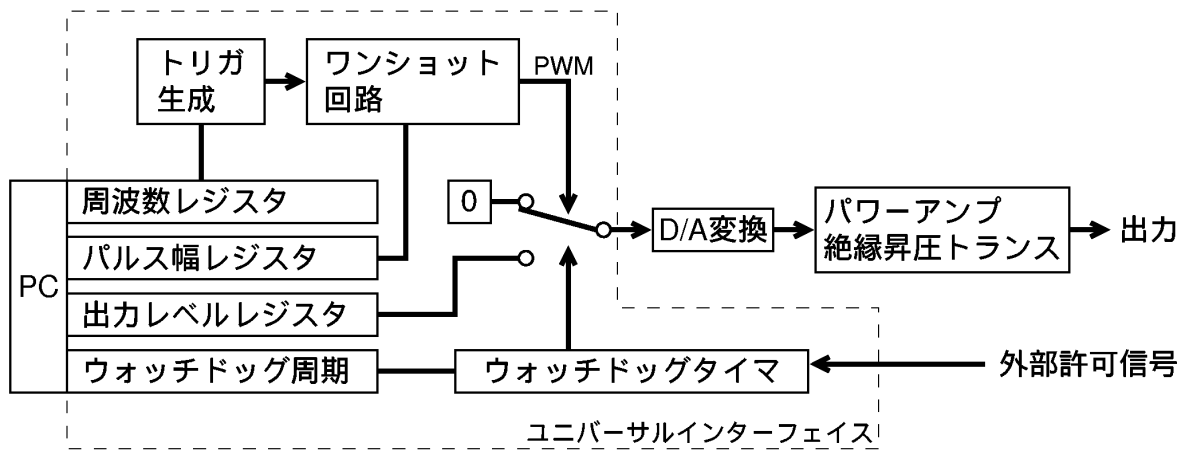


図1 刺激パルス発生回路

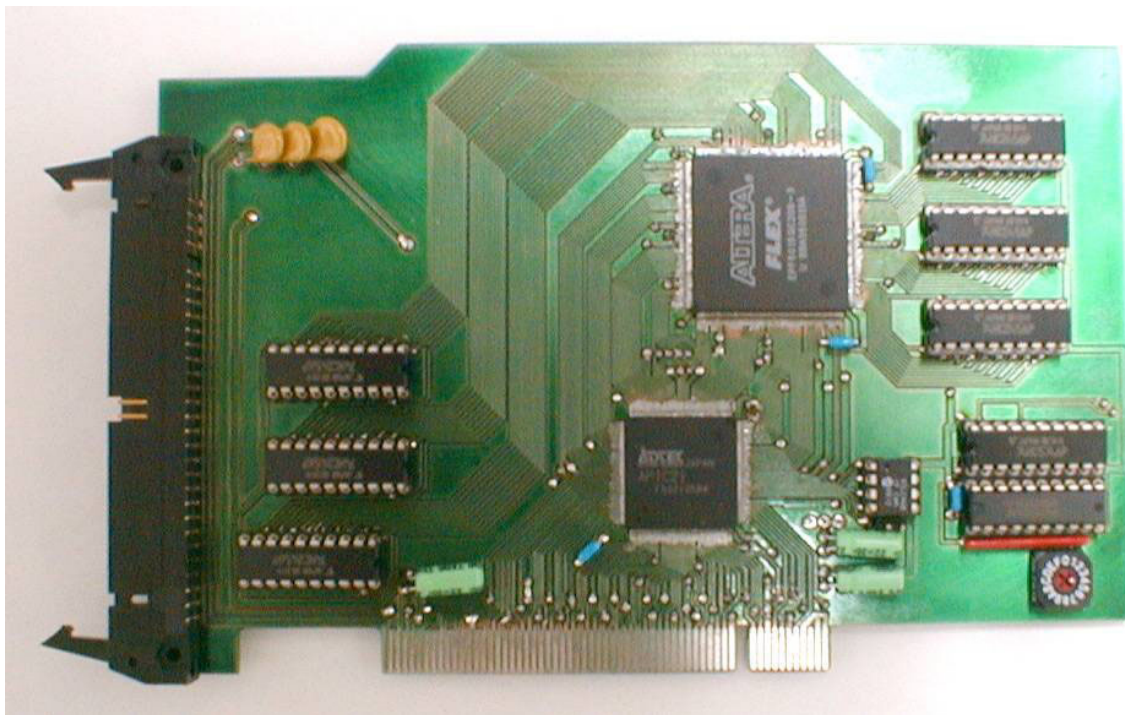


図2 ユニバーサルインターフェイスボード

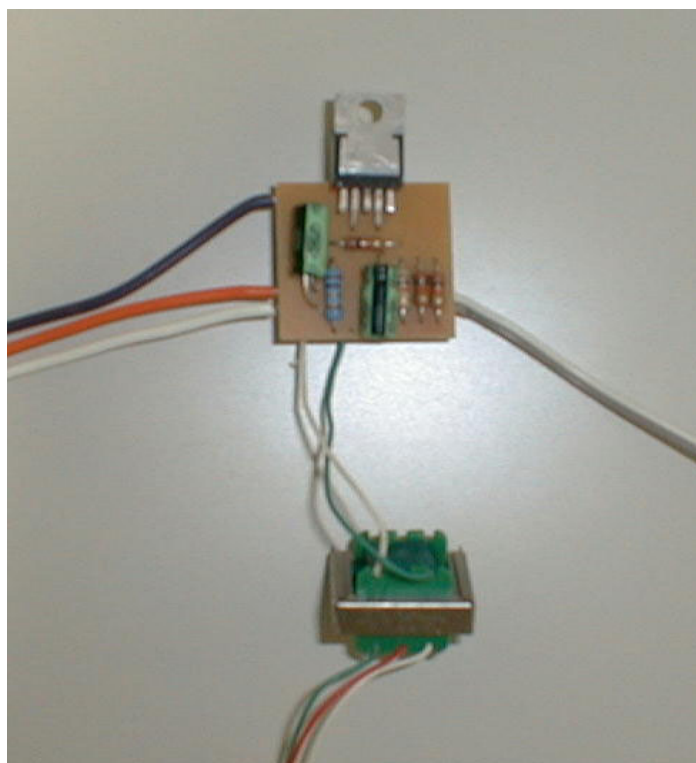


図3 パワーアンプ部



図4 GUI による刺激パルスの出力コントロール