

ARM マイコンを用いたシンプルなステッピングモーター用 パルスジェネレータの開発

○豊田朋範^{A)}、千葉寿^{B)}、古舘守通^{C)}、藤崎聡美^{C)}、木村和典^{A)}

A) 分子科学研究所 技術推進部

B) 岩手大学 理工学系技術部

はじめに

我々は、共同開発の一環として ARM マイコンを用いた機器の開発に取り組み、その中で PWM(Pulse Width Modulation)信号を出力する手法を確立した。ARM マイコンの PWM 機能と GPIO(General Purpose Input/Output)で1相のパルス列と正転／逆転信号を実現し、表示や操作系を組み込むことで、ステッピングモーターの制御に必要な十分な機能を集約したパルスジェネレータを開発した。

また、研究者からの要望を受けて、メーカーが提供するドライバと開発したパルスジェネレータを融合し、回転速度・方向・パルス数を設定してステッピングモーターを駆動するステッピングモーターコントローラを開発した。本稿ではこれらを報告する。

1 ステッピングモーターの概要と課題

ステージや回転機構において、精密な位置決めをする場合、ステッピングモーターが使用されることが多い。ステッピングモーターは、駆動回路モジュールであるドライバと組み合わせて使用することを前提としており、(1)位相が90度異なる2相のパルス列 (2)正転／逆転を決定するH/Lレベルの信号と1相のパルス列の何れかをドライバに送信すると、ドライバがステッピングモーターを所定の速度・方向・回転角で駆動する。(1)は位相差入力方式、(2)は1パルス入力方式と称する(図1)。

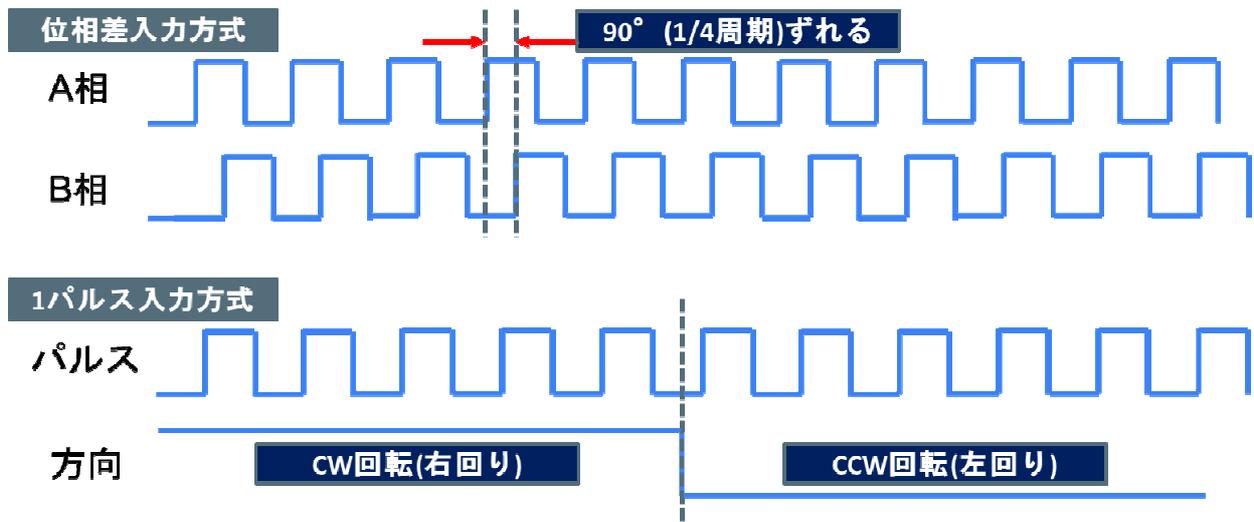


図1：ステッピングモーターのドライバに送信する信号の方式

しかしながら、市販のファンクション・ジェネレータでは、(1)は位相が異なるパルス列の出力が困難、(2)は H/L レベルの信号を別途用意する必要がある—などの課題がある。また、回転角を制御するにはパルス数の計数が必要であるが、市販のファンクション・ジェネレータはパルス数の計数機能を搭載していないため、別途ユニバーサルカウンタを用意して制御システムを構築する必要がある。このため、専用のコントローラを使用することが多いが、制御したいステッピングモーターに対して出力数が多すぎる、通信機能など使用しない機能があるなどの課題がある。

2 ARM マイコンを用いたステッピングモーター用パルスジェネレータ

2.1 マイコンと PWM

多くのマイコンはレジスタと呼ばれる内部メモリの設定によって、入出力ピンの機能を切り替えることができる。機能の1つに PWM(Pulse Width Modulation)がある。PWM は、三角波と閾値を用意し、三角波の振幅が閾値を上回ったら'H'レベル、下回ったら'L'レベルを出力することで、パルス幅を調整できる機能である(図2)。マイコンでは、三角波の代わりに内蔵カウンタを使用する。

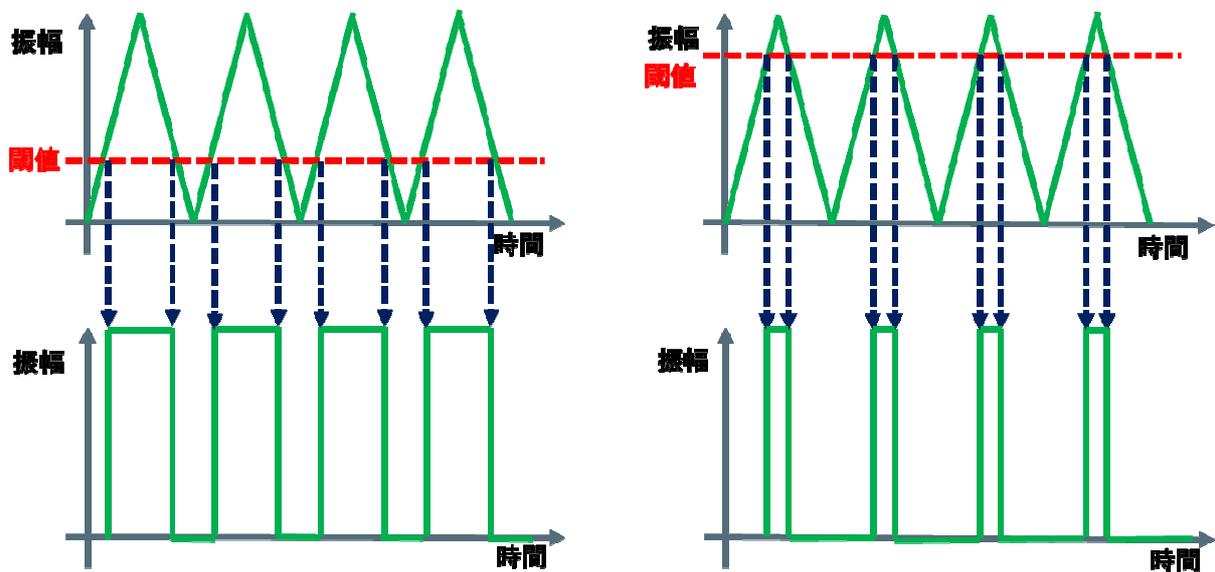


図2：PWM の概要

PWM は DC モーターの速度調整や LED の調光、D 級アンプに使用されている。本開発に用いた ARM マイコンの1つ LPC1114FBD48/302,1 は、PWM を最大4系統使用可能である^[1]。

2.2 ステッピングモーター用パルスジェネレータ

開発したステッピングモーター用パルスジェネレータのプリント基板を図3に示す。

本回路は1パルス入力方式を想定して開発したが、1系統の PWM で閾値が異なる2出力を使用している。そのため、プログラム次第で位相差入力方式も使用できる。また、PWM を使用せずにシンプルな 5V ロジック出力としても使用できる。

マイコンは LPC1114FBD48/302,1(NXP 社)を使用している。表示は 100x16 ドットのグラフィック有機 EL ディスプレイ SEL10016G(Strawberry Linux 社取り扱い)に対応している。SEL10016G の制御方式は 4bit データバスを用いたキャラクタ液晶ディスプレイと同一であるため、一般的なキャラクタ液晶ディスプレイも使用できる。操作系はボタン x4 個とロータリーエンコーダ x1 個を想定している。ボタン x6 個としたり、ロータ

リーエンコーダ x2 個とボタン2 個としたりするなど、プログラム次第でユーザーの目的に合った操作系を構築できる。各種パラメータを保存/読み出しできるように、64kbit の EEPROM である 24LC64(Microchip 社)を搭載している。EEPROM は I²C でマイコンと通信する。電源は DC5V で、基板上のヘッダか USB シリアル変換モジュール(秋月電子通商社)から供給し、基板上のジャンパで選択する。

2.3 マイコンを用いたパルス計数

本回路におけるパルス計数は、マイコン自身が行う。回路図の該当箇所を図4に示す。

PWM 出力は「R/PIO1_1/AD2/CT32B1_MAT0」から機能を選択できる pin34 から取り出す。PWM は 3.3V → 5V のレベル変換を行う SN74LVC1G17(Texas Instruments 社)を介して出力されるが、同時にマイコンの「R/PIO1_0/AD1/CT32B1_CAP0」から機能を選択できる pin33 に入力する。pin33 は GPIO である「PIO1_1」を選択し、図5に示すピン入力を用いた割り込みハンドラ(関数)を記述する。

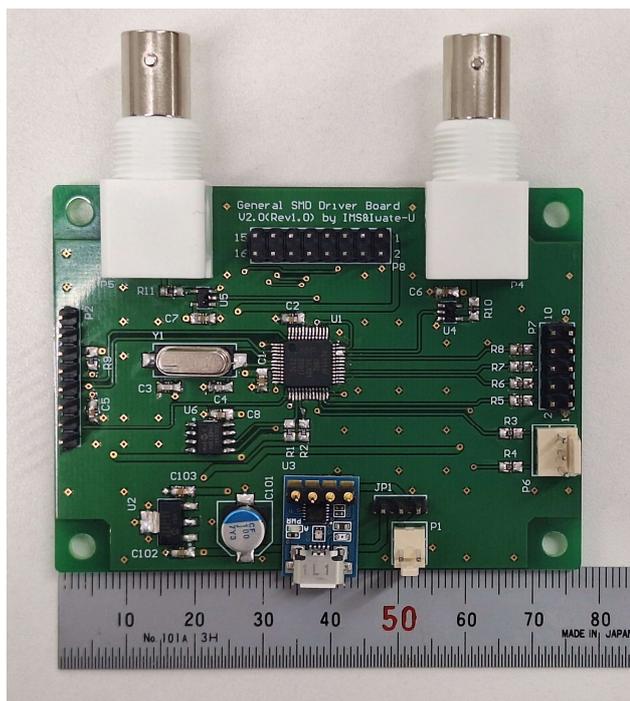


図3：開発したステッピングモーター用パルスジェネレータのプリント基板

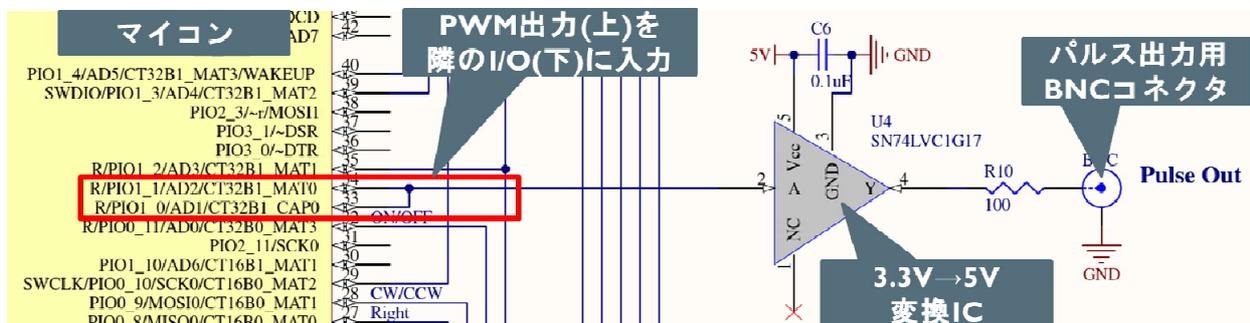


図4：図3のプリント基板の回路図における PWM 出力とパルス計数を行なう箇所

まず、割り込み発生時に”1”になるレジスタ IC をクリアする(208 行)。その後、PIO1_1 が”1”、すなわちパルス入力が入っていたら、変数 flag_signal を”1”にして、それ以外は”0”とする(209~214 行)。次に main 関数内で計数処理を記述する。main 関数におけるパルス計数処理のソースコードを図6に示す。

```

207 // P1_x interrupt Handler↓
208 void PIOINT1_IRQHandler(void){↓
209     LPC_GPIO1->IC |= (1<<0);> // Clear IC of P1_D (Clear Interrupt)↓
210     if ((LPC_GPIO1->MASKED_ACCESS[(1<<0)]>>0) == 1){> // Check P1_D interrupt↓
211         flag_signal = 1;> // Detect signal↓
212     }else{↓
213         flag_signal = 0;↓
214     }↓
215 }↓
    
```

図5：PIO1_1を用いたピン割り込みのソースコード

変数 flag_signal が”1”であれば、回転方向を示す変数 flag_cwccw の値に応じて、パルス計数用変数

ュールは Micro-B コネクタの USB-シリアル変換モジュールとピン互換であるため、直接図3のモジュールを置き換えるだけで適用できる。

開発したコントローラは2025年3月末時点で研究者が使用中であり、接続や制御のストレスがなく快適に使用できる、と好評である。



図7：図3のプリント基板を用いて構成したステッピングモーターコントローラ

4 おわりにー現場が求める技術や装置ー

本回路は1パルス入力方式もしくは位相差入力方式のいずれかにも対応でき、表示や操作系は自由に構築できる。USB-シリアル変換モジュールを搭載することで、PCとの通信も可能である。一方、複数台のステッピングモーターを駆動することは考慮していない、LAN接続は出来ないなど、多くの実験現場で不要な機能は省略し、シンプルな構成とした。

本回路は最高周波数 100kHz 程度の TTL レベルパルスジェネレータとしても使用できる。また、PWM 出力固定ではなくシンプルなロジック出力としても使用できるので、たとえばピエゾバルブの同時制御装置としての採用実績もある。

市販装置は確かに高機能であるが、不要な機能が多く、実際に使用するまでにマニュアルを読んだり機器の操作を覚えたりする必要がある。すなわち、必要な機能と価格のバランスが必ずしも実験現場にとって適正ではない場合がある。実験装置を大学や研究機関で内製するメリットは、単に安価にできるだけでなく、現場に必要／不必要な機能を取舍選択し、研究や実験の進捗や変化に応じて機能の拡張や更新が可能であることである。実験現場と緊密に連携することで、現場にとって実は必要な、あるいは不要な機能を提案し、実現することも可能である。

専門技術で現場の課題を解決することは、研究者や学生が本来の業務、すなわち研究や実験、学習に専念できる環境を構築することであり、研究者の共同や競走を強力に支援することに繋がる。実験現場に積極的に足を運び、膝を突き合わせて議論し、実験現場が求める技術を掴み、研鑽することが、研究機関の技術職員に求められる。これからも「現場の声は宝」「現場と共に歩む技術(者)」を常に意識し、技術の研鑽と向上に努める所存である。

謝辞

本回路の適用事例として開発したコントローラは、分子科学研究所 山本グループの佐藤拓朗助教に協力いただいた。また、本回路並びに USB Type-C—シリアル変換モジュールの開発は、2023 年度～2024 年度所長奨励研究費の助成を受けた。関係各位に深く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] UM10398, LPC111x/LPC11Cxx User manual Rev.12.3 – 10 June 2014, p362, NXP
- [2] 豊田朋範、千葉寿、古舘守通、藤崎聡美、木村和典「USB Type-C 搭載 USB シリアル変換モジュールの開発」、第3回東海国立大学機構技術発表会