
AVR135 : PWMデューティ サイクル測定へのタイマ捕獲使用

応用記述

序説

この応用記述はAtmel® AVR®デバイス内のタイマ/カウンタの捕獲部を使ってPWM波形のパルス幅と測定する過程を実演します。パルス幅変調(PWM)はMCUがPWM信号を生成してそれを目的対象装置(DC電動機)へ送る電動機制御応用で本質的に有利です。けれども、PWM波形が感知器からMCUへ、またはMCUからMCUへ情報を渡すのに使われるいくつかの応用もあります。このような場合ではMCUがPWM信号を復号しなければなりません。

特徴

- 尺度を持つデューティ サイクル出力(範囲はコンパイル時に設定)
- 走行時PWM周期計算経路の自己設定及び自己クロック駆動
- (捕獲入力付きの)1つのタイマ必須: 2つの割り込み、1つの外部ピン
- ATmega64とATmega328PBデバイス用に提供されるファームウェア

目次

序説	1
特徴	1
1. 略語	3
2. 序論	3
2.1. PWM応用	3
2.2. PWM変種	4
3. 実装	4
3.1. 基本実装	4
3.2. アナログ入力対デジタル入力	4
3.3. 応用の制約	5
4. ソフトウェア実装	5
4.1. デバイス選択	6
4.2. 機能的な説明	6
4.3. ソフトウェア単位部	6
4.3.1. ハルス幅捕獲 - icp_rx()	7
4.3.2. デューティサイクル計算 - icp_duty_compute()	7
4.3.3. 試料待ち行列 - icp_enq()	8
4.3.4. 自動校正付き捕獲	8
5. 試験構成設定	9
6. 試験結果	9
7. 参考文献	9
8. 改訂履歴	9

1. 略語

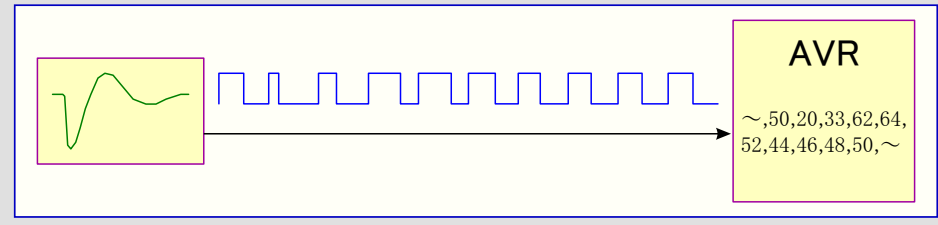
ADC	アナログ⇒デジタル変換器、A/D変換器 (Analog to Digital Converter)
CPU	中央処理部 (Central Processing Unit)
DC	直流 (Direct Current)
Hz	ヘルツ (Hertz)
ICP	捕獲入力部 (Input Capture Unit)
IDE	統合開発環境 (Integrated Development Environment)
ISR	割り込み処理ルーチン (Interrupt Service Routine)
kHz	キロヘルツ (kilo Hertz)
LED	発光ダイオード (Light Emitting Diode)
MCU	マイクロコントローラユニット (Micro Controller Unit)
MHz	メガヘルツ (Mega Hertz)
PWC	パルス幅符号化 (Pulse Width Coding)
PWM	パルス幅変調 (Pulse Width Modulation)
RCサーボ電動機	無線制御サーボ電動機 (Radio Control Servomotor)
RC濾波器	抵抗-コンデンサ濾波器 (Resistor-Capacitor Filter)

2. 序論

パルス幅変調(PWM)はパルスの連続を供給するために循環される(代表的に)単一線で論理信号を符号化する技術です。1つのPWM周期は不活性時間長(パルスOFF時間)が後続した活性時間長(パルスON時間)から成り、それらの合計は完全なクロック周期から成ります。この周期の活性(パルス)時間長は(反転PWMとして知られる)Low(0)レベル、または(非反転PWMとして知られる)High(1)レベルによって示されるかもしれません。情報は通常、'%'の形式と用語'デューティサイクル'で参照される、周期の正確な分数としてパルスの時間幅を使って符号化されます。PWM周期は基礎を成す情報変化としてだけ変化するデューティサイクルでの、継続的に繰り返すパルス列(一定周期)と仮定されます。

繰り返し周期は与えられた応用装置に対して代表的には固定にされますが、とは言え厳密に言えばこれは必要条件ではなく、繰り返し周期のパルス幅の比率で符号化するため、それ自身の基のタイミングに依存しません。実際にデューティサイクルの概念中の信号の周期的な本質はPWMを自己クロック符号化にします。これはPWM周期が実体を知られる必要がなく、(或る制限付きで)一定である必要もなく、温度と電圧による変化やクロックのスキューからの大きな耐性にさせ得ることを意味します。

図2-1. アナログ センサからのPWM信号の復調



2.1. PWM応用

PWMはHブリッジを使うDC電動機の色度制御に日常的に使われます。この応用ではデューティサイクルが0~100%間で変化され、停止(DC 0V)と全速(例えばDC 12V)間の電圧変化として解釈されるように、電動機自身の物理特性がパルスの値を効果的に平均化します。

この技法は、LEDが点滅できるより速い速度のパルスを使うことで、LEDに対する明るさ制御機構を提供するのにも使われ、有効な電圧(従って明るさ)はPWMデューティサイクルの変化によって変えられます。

これらは装置で使われるMCUによって生成されるPWMの例です。この意図の反対で、現在のアナログ読み取り値をMCUへ伝達するのにPWMを生成するいくつかの感知器があります。この応用に関してPWMを使うことによって、デューティサイクルを測定するためにMCUがA/D変換部を使うことは全く必要ありません。

これらがアナログ情報の符号化例であると同時に、PWMはデジタル情報を符号化するのにも使われます。(車内網で使われる)SAE規約J1850-PWMは、単独ビット0が(通常)33%デューティサイクル、ビット1が66%デューティサイクルで表される符号化を定義します。

Atmel AVRマイクロコントローラ製品の殆どは1つまたはより多くのタイマを使ってPWM信号を生成する能力があります。

2.2. PWM変種

PWMに関連する別の符号化の方法がパルス幅符号化(PWC)です。これは符号化された情報を伝達するためにパルス列も使用しますが、その符号化は異なります。PWCパルスについては、情報がそれ自身のパルスの未加工(時間)幅で符号化され、繰り返し周期は(或る制限内で)無関係です。多分、最も簡単なPWMとPWC間の比較は、PWM周期が2倍にされるならパルス幅も2倍にされ、PWC周期が2倍にされてもパルス幅が影響されないことです。AVRのPWM生成部は有効なPWC信号生成に役立ちます。

PWCはRCサーボ電動機の制御で多分最も目にするように使われます。代表的に、サーボ機構の位置のためにパルス幅(リフレッシュ速度(PWC周回時間))は1~2ms間で変化されますが、部品間で或る程度の変化を持ち50Hz~2kHz間で自由に選べます。

PWCは赤外線を基にしたTVのリモコンで使われるMD5とRECS80規約でのデジタル情報伝達にも使われます。これらの規約が異なる一方で、両方共に0と1のビット識別のために無加工パルス幅、従って校正されたクロックに依存します。ビット間の時間を含むPWC周期時間は定義されず、従って(理論内で)勝手な長さかもしれません。

この応用記述内で使われる技法のいくつかがPWCにも適用できる一方、実装での検討はPWMに制限されるでしょう。

3. 実装

本応用に関するソフトウェアはC言語で書かれ、応用記述と共に付随物としてダウンロード用で入手可能です。試験用に使われるべきハードウェアの詳細は実装での応用制約と共に細目で説明されます。ファームウェアはhex(またはelf)ファイルをデバイスに書き込むことによって、正しい方法で試験するのに使うことができるAtmel Studioプロジェクトです。これは以下のデバイス用に書かれて試験されています。

- ATmega64
- ATmega328PB

以下の項は実装の背後にある理論を説明します。

3.1. 基本実装

PWM復号器はPWMパルス幅と周期を測定するためにAtmel AVRの捕獲入力部(ICP)を使います。ICPは起動の瞬間で各々のタイマ/カウンタレジスタの速写を含む内部レジスタと共に、AVRのICRnピンの状態を基にしたエッジ起動割り込みを提供します。連続する起動時刻印の追跡によってパルス幅と周期を計算することができます。

特に、使われるタイマは認知されるべき反転または非反転のどちらかのPWMに依存して、パルスの先行端を認知するように最初は構成設定されます。先行端割り込みが起動されると、割り込み処理ルーチン(ISR)内のソフトウェアは次のICP割り込みがパルスの後行端で起動されるように感知端ビットの条件を反転します。同様に後行端割り込み間に感知端ビットは次の先行端検知のために反転されます。これらの割り込みの各々の間で、捕獲部によって捕獲されたの値は後の計算用に保存されます。

先行端割り込みは同時にそれが直前周期終了と新しい周期の始まりなので、付加的な計算も実行します。これは従って、パルスに対する開始と停止の時間、(周期に関する)直前と現在の開始時間の各々を追跡することによってパルス幅と周期が計算される位置です。これらの値が知られると、直前の周期に対するデューティサイクルが計算されて格納されます。

この割り込み処理ルーチン(ISR)の擬似コードは以下のようになります。

```
Icp_isr()
  ICP割り込み端の感知反転
  If (ICP割り込みが上昇端だった)
    直前周期 = ICR - 開始時間
    直前パルス幅 = 停止時間 - 開始時間
    開始時間 = ICR
    直前デューティサイクル = 尺度係数 * (直前パルス幅/直前周期)
  Else
    停止時間 = ICR;
```

反転されたデューティサイクルは単にICP_SCALE-icp_rx()として計算できるため、反転PWMに対する特別な準備はありません。

3.2. アナログ入力対デジタル入力

復調器はアナログまたはデジタルのどちらかのデータを表すPWMの流れで使われるかもしれません。PWMパルスそれ自身はデジタルまたはアナログのデータを表現する概念を持たない一方で、採取と処理の方法で微妙な違いがあります。本応用記述に於いて、これはCプリプロセッサシンボル(ICP_ANALOG)を使って制御されます。

アナログ採取は雑音の多い読み取りの可能性があります、比較的順調に再現すると予測され、最も重要となる取得された最後の値が継続的に到着すると予測されます。従って復調器がアナログデータに対して設定される時、以下ようになります。

1. 採取値は継続的に待ち行列へ登録され、待ち行列溢れは無視されます。
2. 移動平均が待ち行列要素一面(最終採取N)に継続され、この値はicp_rx()によって返されます。
3. icp_rx()は待ち行列要素を消費せず、故に待ち行列は決して空にならず、単一PWM周期内で呼び出す2つが同じ値を返します。

デジタル採取は他のものとの関連無しで定められた個別項目として取り扱われます。従って復調器がデジタルデータに対して設定される時、次のようになります。

1. 採取値は循環形式で待ち行列へ登録され、待ち行列溢れは許されません(新しい要素は破棄されます)。
 2. 平滑化(移動平均)は実行されません。
 3. `icp_rx()`は常に最も古く待ち行列に登録された項目を返します。
 4. 各`icp_rx()`呼び出しに待ち行列要素を消費します。待ち行列が空の場合はアイドル指示子(100%デューティサイクル)が返されます。
- これらは2つの仕組み間の違いだけです。アナログ データに対してPWMを使ういくつかの応用は、データがデジタル データに対する規則に従って扱われることを未だ好むかもしれません(けれども逆は可能ではないかもしれません)。

3.3. 応用の制約

この実装案が一般的に合理的な結果を生む一方で、いくつかの限界状況が考慮されなければなりません。

最初は0%または100%のPWMデューティサイクルを持つ可能性です。これら両方は意味を持ちますが、前者の周期は非活性信号だけから成り(一定)、後者は活性信号だけから成るため異例です。どちらでもない場合、起動するためのICPに対する何かのエッジがあります。これらの場合での処置のため、復調器は殆どの応用に関して周期が実際に(代表的にゆっくり起こる最小クロック偏移を持つ)一定であることを注意して発見的手法を用います。この解決策はタイマの比較出力部を使う時間超過機構です。各周期の始めて、比較器は、最後に測定されたPWM周期をエッジの時間印に加えた予測される周期の終りに設定されます。比較一致が起動される場合、その周期は完了と推測され、充当として0%または100%の読み取り採取(値)が格納されます。

2つ目の問題はソフトウェアで行われるICP条件遷移からの結果となる競合状態です。これはパルス端がICPによって認知される時とICPが後続端を認知するために“再武装(設定)”される時の間に最小遅れが存在することを意味します。この結果として、パルスが非常に短い(0%デューティサイクル近く)または非常に長い(100%デューティサイクル近く)場合、後続端が失われるかもしれません。この遅れは以下を含みます。

1. 現在の命令の完了、または何れかの活動中の割り込み処理ルーチンの完了
2. データシートによって定義された内部MCU割り込み処理の4周期
3. ICP割り込み処理ルーチンに関する(最初の実行可能行に先行する)入口コード

3番目の項目は削減できますが無くせず、1番目と2番目の項目はその全てで制御できず、従って範囲の外側はパルスが単に測定できない、或る最低(と最大)パルス幅が存在します。これらの最小と最大の測定可能パルスを知ることは、システム設計全体の重要な部分です。復調器の目的に関して、主な関係は信号での同期損失のために未定義にされた結果の生成を避けるために条件を認知することです。

従って、捕獲割り込み処理ルーチン(ISR)は以下の条件に対して検査します。

1. 関連するPINレジスタが現在のエッジ後に予測されるレベルを反映しない。
2. ICP割り込み要求フラグが設定(1)されない。

これらの場合については、後続端に対する処理を直ちに実行し、充当として0%または100%のどちらかになる採取(値)を実際に通告します。

最後に、パルス列を復号が或る処理時間の量かかるとの事実があり、これは応用によって捕獲することができる最小PWM周期を定義します。これはISRとデューティサイクルを計算することで費やされるクロック周期数に依存する重要なシステム設計での考慮です。

4. ソフトウェア実装

提供されるファームウェアはAtmel Studioでデバイスを変更することによってATmega64とATmega328PBで確認されています。このプロジェクトは下表で説明されるようなファイルを含みます。

表4-1. プロジェクト ファイル情報

ファイル名	説明
<code>main.c</code>	このファイルは応用コードを持つ主ルーチンを含みます。これは自由走行計時器として使われる計時器1用の初期化とISRを含みます。
<code>device.h</code>	このファイルは2つのデバイスに関する定義を持つ包括物として働きます。このコードは変更なし、または有るとすれば最小変更で他のデバイス用に使うことができます。
<code>icp.c</code>	このファイルはICP部用に必要なドライバから成ります。 <code>icp_init</code> と <code>icp_rx</code> の関数は各々、初期化と復調用の試料取得を行うために呼ばれます。
<code>icp.h</code>	このファイルは <code>icp.c</code> 内の関数を使うためにインクルードされるべきです。このヘッダ ファイルは <code>icp.c</code> 内で定義された関数と必要とされる <code>icp_sample_t</code> データ型を宣言します。この型はデューティ サイクルを計算するのに使われる型を反映し、故に[0:ICP_S CALE]値を保持するのに十分な幅です。アナログ動作のために1、デジタルに対して0に設定されなければならない、ICP_ANALOGプリプロセッサ シンボルも定義します。

ファームウェアとその機能についてのより多くの詳細は以降の項で検討されます。

4.1. デバイス選択

このプロジェクトは(ATmega64とATmega328PBの)2つの異なるデバイスに対して動くように開発されています。コードはデバイス選択に基づいて適切なコードを使うために条件コンパイル マクロを持ちます。各々のデバイス用のファームウェアはAtmel Studio IDEで適切なデバイスを単に選択することによってコンパイルされます。これは`device.h`ヘッダ ファイルで行われます。このファイルは応用とデバイスレジスタ アクセス間の包括物として働きます。

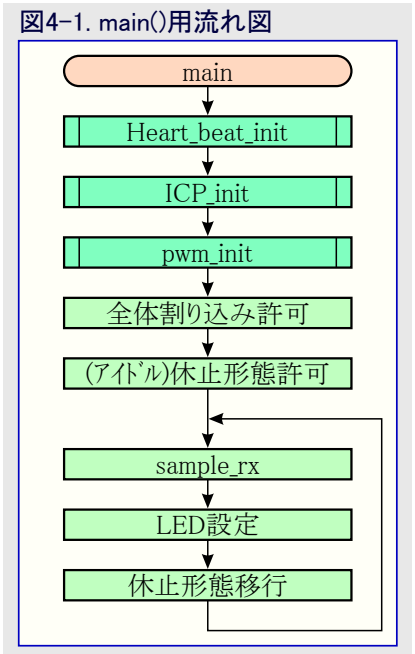
2つのデバイス間のレジスタ名でいくつかの些細な違いがあり、故に分離が必要です。選択したデバイスに依存し、`DEVICE_ATMEGA64`または`DEVICE_ATMEGA328PB`のマクロが定義されます。定義されたマクロに基づき、更なる定義が誤りなしのコンパイルを保証します。このマクロは2つのデバイスのどちらかを選ぶことを使用者にも制限し、さもなければ、コンパイル異常メッセージが表示されて失敗します。応用は変更なし、または有るとすれば最小変更でより多くのAVRデバイスを支援するように作ることができます。これは`device.h`ファイルを変更することによって処理することができます。

4.2. 機能的な説明

`main.c`は復調動作を実演するための簡単なプログラムを含みます。この応用はPWM生成、自由走行計時器、パルス幅捕獲のためにAVR内で利用可能な3つのタイマ/カウンタを使います。この実装は「**応用の制約**」で言及された考慮を処理します。応用の流れは次のとおりです。

1. 自由走行計時器、タイマ/カウンタ0を拍動計時器として初期化してください。これは生成されるPWM波形のデューティ サイクルを変更するために概ね1秒毎に割り込みを生成するのに使われます。パルス幅捕獲だけが必要とされる実時間応用に於いて、これは必要でないかもしれません。比較レジスタは全範囲(0~255)を通してPWMデューティ サイクルが歩むように増加されます。
2. タイマ/カウンタ1のICP部をパルス幅捕獲に初期化してください。これは予期されるパルス周期よりも長い期間で検出されたエッジが全くない時に比較割り込みを生成するようにも構成設定されます。
3. タイマ/カウンタ2のPWM部を一定周期と変化するデューティ サイクルを持つパルス列を生成するように初期化してください。パルス幅捕獲だけが必要とされる実時間応用に於いて、これは必要でないかもしれません。
4. 全体割り込みを許可して休止動作形態へ移行してください。
5. 周期的に採取された値を得てデューティ サイクルを計算してください。
6. 採取値に依存してLEDを設定してください。

右の流れ図は`main.c`の論理的な流れを説明します。



4.3. ソフトウェア単位部

CPUは内部RC発振器を使って8MHzで実行されます。割り込み生成に使われる拍動計時器は最大値での溢れに構成設定されません。前置分周器値は1024に設定され、最高溢れ値の255(8ビット)は1秒の遅延を持つのに未だ充分ではありません。デューティ サイクルが実際に変更される前にISRの入り口で計数するために変数が使われます。

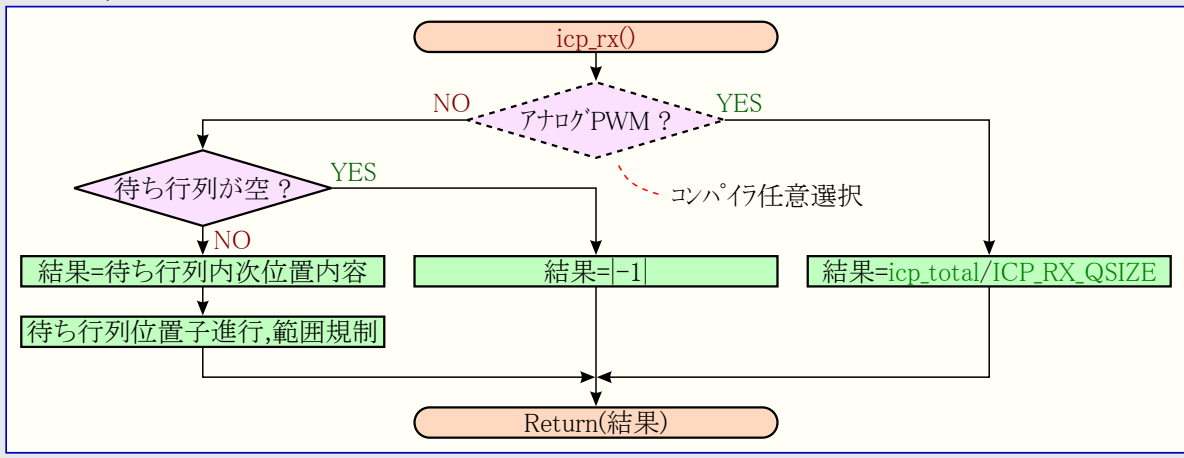
ファームウェアは以下のように実行される作業に基づいて4つの主な単位部に分類することができます。

1. パルス幅捕獲 - `icp_rx()`
2. デューティ サイクル計算 - `icp_duty_compute()`
3. 試料待ち行列 - `icp_enq()`
4. 自動校正付き捕獲 - 捕獲ISR

4.3.1. パルス幅捕獲 - icp_rx()

icp_rx()ルーチンは周期的に採取値を得るために主ルーチンから呼ばれます。アナログ入力またはデジタル入力の選択はコンパイル前に行われます。(ICP_ANALOGマクロの許可によって行われる)アナログ入力信号の場合、最後の移動平均nが返されます。この選択がICP_DIGITALとして行われた場合は最も古い読み取りを取得するために待ち行列で保持されます。ソフトウェアの流れは下図で示されます。

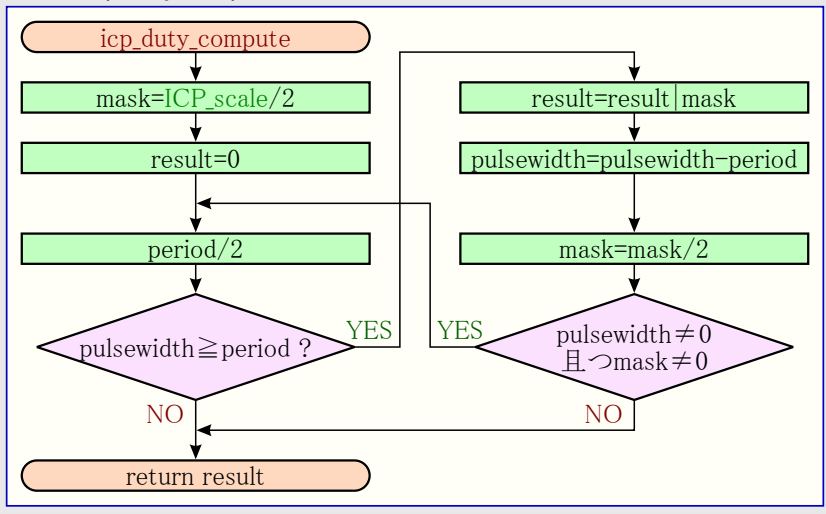
図4-2. icp_rx流れ図



4.3.2. デューティサイクル計算 - icp_duty_compute()

icp_rxを通して受け取った採取値はICP_SCALEの値の分数の形式です。概念は百分率に対するアナログですが、ここで使われる尺度は100と異なります。ICP_SCALEは2のべき乗に設定されるべきです。この設定は(採取した)試料を計算して格納する記憶域とCPUの負担に影響を及ぼします。ICP_SCALEが256よりも大きい場合、試料は16ビット量として、さもなければ8ビット量として格納されます。これは単に各々のポートにデューティサイクル値を送ることによって出力LEDを通すデューティサイクルの容易な表示も助けます。次図はデューティサイクルが計算される方法を示します。

図4-3. icp_duty_compute用流れ図

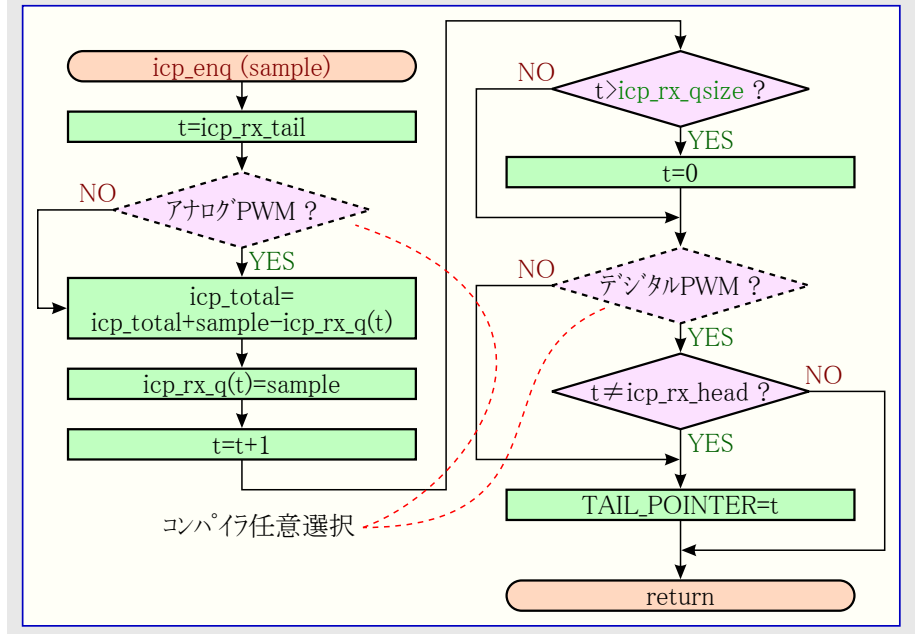


4.3.3. 試料待ち行列 – icp_enq()

復調部は採取した項目の待ち行列を保持します。この待ち行列は`icp.h`で定義される`ICP_RX_QSIZE`の大きさです。待ち行列にされた項目の扱いはコンパイル中の選択制に基づきます。

右図は`icp_enq()`関数の流れを示します。

図4-4. `icp_enq`用流れ図



4.3.4. 自動校正付き捕獲

PWM復調部は毎回の周期でPWM周期を動的に再計算します。殆どの応用ではPWM周期が一定と考えられ、各周期の最後で周期を再計算するよりむしろ、この良く知られた定数を使うことの、或る程度の誘惑に陥ります。この概念の対比は以下です。周期の周期毎の計算が冗長かもしれませんが、他の目的のために収集されなければならない2つの値の減算だけの損失で、また費用も掛かりません。また、実行時間よりむしろコンパイル時間を使い、デューティサイクル計算に対する周期値はCPUで少し得をします。周期の動的計算は強靭さを提供します。

1. 復調部は自己構成設定です。それ故、前もって周期を知る必要はありません。
2. 使う定数の精度については関係ありません。
3. 復調部は温度や電圧によるクロック偏移を物ともしない自己修正です。
4. 定周期を使わない装置が設計されるとしても、復調部は当たり前これを支援します。

実際には周期再計算のために校正検査が継続的に実行される点(秒/分)で、第3の任意選択が可能です。けれども、この構造は必然的にタイミングを要する中心コードに影響を及ぼし、独立した校正構造からのどんな付加的な複雑さと比べても有利なように、繰り返し周期毎の計算は故に安価です。

以下の図は捕獲発生と比較一致の割り込みルーチンでのソフトウェアの流れを説明します。

図4-5. タイマ/カウンタ1捕獲ISR用流れ図

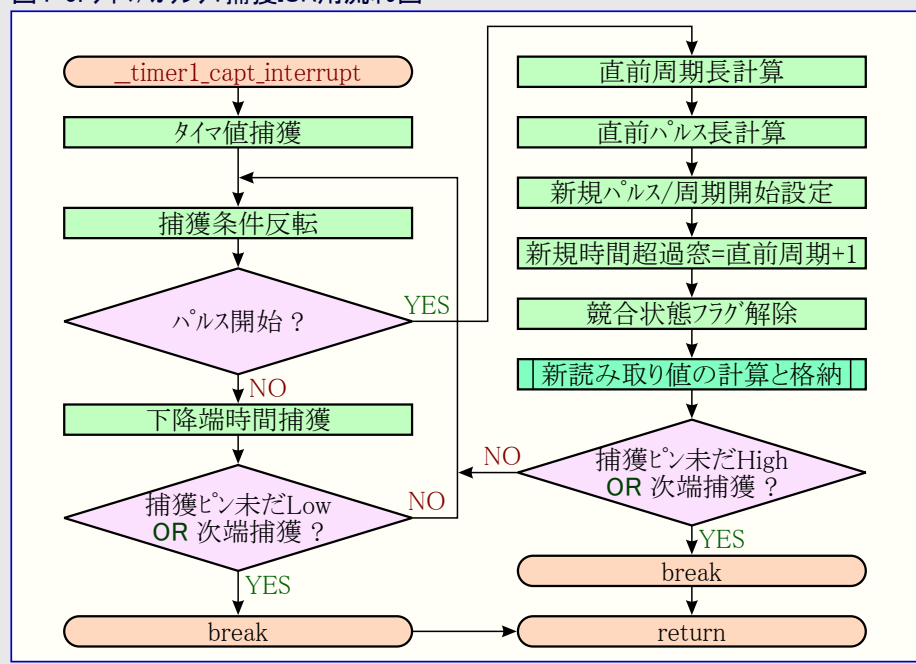
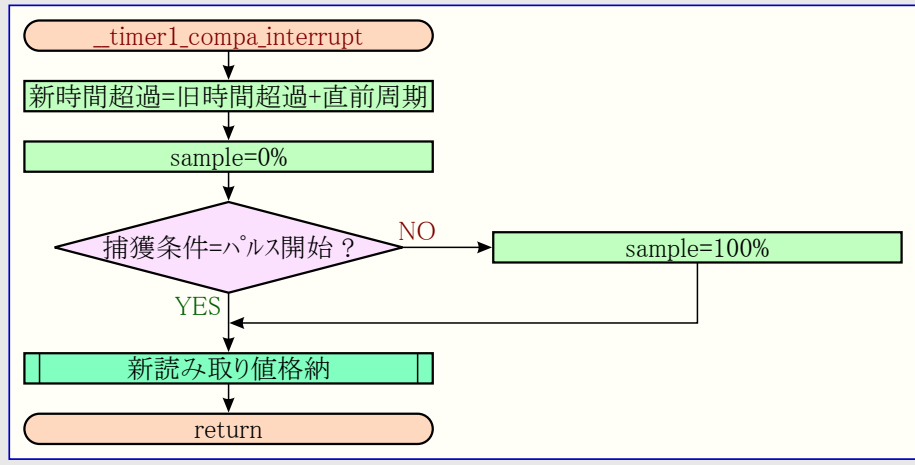


図4-6. タイマ/カウンタ1比較一致ISR用流れ図



5. 試験構成設定

この応用記述と共に提供されるファームウェアはAtmel Studio 7を使って開発され、STK600で検査されています。両デバイス間でいくつかのピン機能が違うため、構成設定は`device.h`ファイルを通して管理されます。

ATmega64用試験構成設定:

1. PB7ピンでPWMを生成するのにタイマ/カウンタ2の比較出力(OC2)が使われます。
2. PD4ピンを通してパルス幅を測定するのにタイマ/カウンタ1の捕獲入力(ICP1)が使われます。PB7とPD4を接続するのに単線ジャンパを使ってください。
3. 測定されたデューティ サイクルはSTK600で利用可能なLEDに接続されたポートCピンを通して表示されます。

ATmega328PB用試験構成設定:

1. PB3ピンでPWMを生成するのにタイマ/カウンタ2の比較A出力(OC2A)が使われます。
2. PB0ピンを通してパルス幅を測定するのにタイマ/カウンタ1の捕獲入力(ICP1)が使われます。PB3とPB0を接続するのに単線ジャンパを使ってください。
3. 測定されたデューティ サイクルはSTK600で利用可能なLEDに接続されたポートDピンを通して表示されます。**PORTD**ヘッダを**LEDS**ヘッダと接続するのに10芯ジャンパを使ってください。

注: 1. AVRマイクロ コントローラのプログラミングについてのより多くの情報は「[参考文献](#)」で入手可能です。

2. ATmega64とATmega328PBがSTK600と共に使われる時に異なる配線とソケットのカードが必要です。より多くの情報については「[参考文献](#)」で提供されるリンクを参照してください。

6. 試験結果

応用を試験するために生成されるPWMのデューティ サイクルは0~255の範囲に渡って変わります。デューティ サイクルの範囲は応用に基づいて変更することができます。これはSTK600で利用可能なLEDを通してデューティ サイクルの変化の容易な可視化で助けます。コードがコンパイルされて試験される時に、STK600のLEDは2進計数器のように\$00~\$FFの繰り返し周回を表示するでしょう。

注: 実演される応用では、入力するパルス幅が捕獲ISRでCPUによって費やされる時間よりも少なくなります。「[応用の制約](#)」で説明されたように、LEDポートは\$00の時にPWMのデューティ サイクルの下位側段階(0と1)を示します。

7. 参考文献

1. [平易なAVRウェブ ページ](#)
2. [AVR136 : 低細動\(ジッタ\)多チャンネル ソフトウェアPWM](#)
3. [AVR1617 : Atmel AVR XMEGA系デバイスでの周波数測定](#)
4. [配線カードとソケット カード関連情報](#)
5. [Atmel Studio - プログラミング ダイアログ](#)

8. 改訂履歴

文書改訂	日付	注釈
8014A	2005年10月	初版文書公開
8014B	2016年4月	Atmel Studio 7用に更新とATmega328PBデバイス支援を追加

Atmel®、Atmelロゴとそれらの組み合わせ、Enabling Unlimited Possibilities®、AVR®とその他は米国及び他の国に於けるAtmel Corporationの登録商標または商標です。他の用語と製品名は一般的に他の商標です。

お断り: 本資料内の情報はAtmel製品と関連して提供されています。本資料またはAtmel製品の販売と関連して承諾される何れの知的所有権も禁反言あるいはその逆によって明示的または暗示的に承諾されるものではありません。Atmelのウェブサイトに表示する販売の条件とAtmelの定義での詳しい説明を除いて、商品性、特定目的に関する適合性、または適法性の暗黙保証に制限せず、Atmelはそれらを含むその製品に関連する暗示的、明示的または法令による如何なる保証も否認し、何ら責任がないと認識します。たとえAtmelがそのような損害賠償の可能性を進言されたとしても、本資料を使用できない、または使用以外で発生する(情報の損失、事業中断、または利益と損失に関する制限なしの損害賠償を含み)直接、間接、必然、偶然、特別、または付随して起こる如何なる損害賠償に対しても決してAtmelに責任がないでしょう。Atmelは本資料の内容の正確さまたは完全性に関して断言または保証を行わず、予告なしでいつでも製品内容と仕様の変更を行う権利を保留します。Atmelはここに含まれた情報を更新することに対してどんな公約も行いません。特に別の方法で提供されなければ、Atmel製品は車載応用に対して適当ではなく、使用されるべきではありません。Atmel製品は延命または生命維持を意図した応用での部品としての使用に対して意図、認定、または保証されません。

安全重視、軍用、車載応用のお断り: Atmel製品はAtmelが提供する特別に書かれた承諾を除き、そのような製品の機能不全が著しく人に危害を加えたり死に至らしめることがかなり予期されるどんな応用(“安全重視応用”)に対しても設計されず、またそれらとの接続にも使用されません。安全重視応用は限定なしで、生命維持装置とシステム、核施設と武器システムの操作の装置やシステムを含みます。Atmelによって軍用等級として特に明確に示される以外、Atmel製品は軍用や航空宇宙の応用や環境のために設計も意図もされていません。Atmelによって車載等級として特に明確に示される以外、Atmel製品は車載応用での使用のために設計も意図もされていません。

© HERO 2021.

本応用記述はAtmelのAVR135応用記述(Rev.8014B-04/2016)の翻訳日本語版です。日本語では不自然となる重複する形容表現は省略されている場合があります。日本語では難解となる表現は大幅に意訳されている部分もあります。必要に応じて一部加筆されています。頁割の変更により、原本より頁数が少なくなっています。

必要と思われる部分には()内に英語表記や略称などを残す形で表記しています。

青字の部分はリンクとなっています。一般的に赤字の0,1は論理0,1を表します。その他の赤字は重要な部分を表します。