

AVR1310 : XMEGA ウォッチドッグ タイマの使い方

8ビット AVR XMEGA マイクロコントローラ

序説

ウォッチドッグ タイマはシステムがファームウェアやハードウェアでの予期せぬ失敗から回復し得るのを保証するために使用されます。ウォッチドッグ タイマは正しく使用したなら、プログラム実行での異常を検知してMCUをリセットすることによって応答することができます。これは通常動作が再開できる明確且つ既知の状態にMCUを持ってきます。

XMEGA[®] AVR[®]系列は非常に強力な内部ウォッチドッグを提供します。統合した普通のウォッチドッグ タイマはクロック元としてしばしばCPUクロックを使用し、一方XMEGAのウォッチドッグ タイマのクロック元はCPUクロックから独立しています。これは主クロックの異常がウォッチドッグ タイマ動作に影響を及ぼさないことを意味します。

更に、XMEGAのウォッチドッグ タイマは与えられた区間時間経過前にウォッチドッグ タイマがリセットされなければならない”標準動作”を提供するだけではありません。ウォッチドッグ タイマが制限された区間内でだけリセットされ得る”窓動作”も提供します。窓動作では、ウォッチドッグ タイマが早すぎ(または遅すぎ)でリセットされる場合、システム リセットが起動されます。

ウォッチドッグ タイマ使用についてのより多くの情報はAVR132応用記述で得られます。

要点

- ヒューズを通して設定可能なウォッチドッグ制限時間
- ヒューズを通して固定可能なウォッチドッグ設定
- 標準と窓の動作を持つウォッチドッグ
 - 標準動作
 - 8ms～8s間で設定可能な経過(制限)時間周期
 - 窓動作
 - 8ms～8s間で設定可能な”閉鎖窓”周期
 - 窓動作を使用し、16ms～16s間の総経過(制限)時間周期
- ソースコード例
 - 標準動作と窓動作での動作形態初期化
 - ウォッチドッグの禁止と再設定

1. 動作の理屈

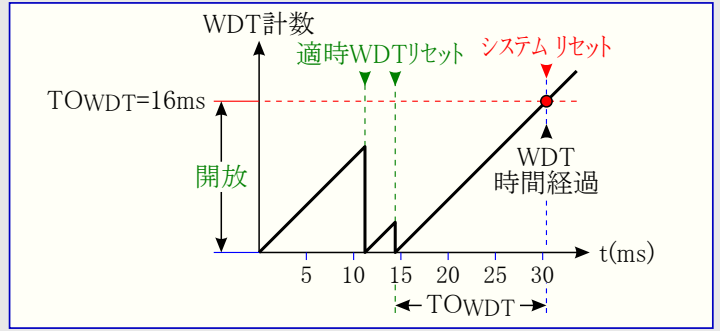
XMEGAのウォッチドッグ タイマが検討され得る前に、いくつかの用語を明らかにすることが重要です。

- ウォッチドッグ タイマ(WDT)はタイマが指定した経過時間区間よりも早すぎまたは遅すぎでリセットされた場合にシステム リセットを生成するように形態設定することができる周辺機能部署です。
- ウォッチドッグ タイマ リセット(WDTリセット)はWDT内のタイマが解除(別名:リセット)される時です。これはタイマに再び0からの計時を開始させ、従って経過時間区間を再始動します。
- “システム リセット”はAVRマイクロ コントローラがリセット、CPUとI/Oレジスタを既定値にリセットし、アドレス \$0000(またはブート領域)からプログラム実行を再始動する時です。

1.1. 標準動作

WDTは標準動作で使用することができ、これはWDTに対して単一経過時間区間が設定される時で、時間経過前にWDTがリセットされなかった場合にWDTはシステム リセットを引き起こします。図1-1.はこれを示します。“WDT計数”軸に沿った“開放”範囲は、ウォッチドッグ窓経過時間(TOWDWT)終了後までWDTをリセットできない窓動作使用時と異なり、WDTはWDT経過時間(TOWDT)終了前にいつでもリセットできることを示します(正確なタイミングの詳細については1.5.項を参照してください。)

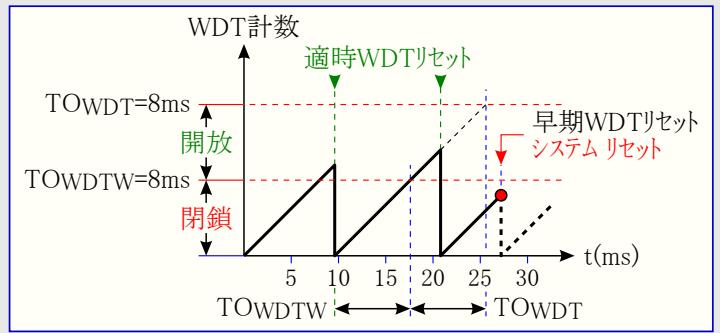
図1-1. 標準動作での適時と遅れ(欠落)のウォッチドッグ タイマ リセット



1.2. 窓動作

WDTが窓動作で使用される時は“閉鎖”窓経過時間(TOWDWT)と標準WDT経過時間区間(TOWDT)の2つの異なる経過時間区間を使用します。前者はWDTをリセットできない8ms~8sの区間を定義し、この区間でWDTがリセットされると、WDTはシステム リセットを引き起こします。標準WDT経過時間区間も8ms~8sで、WDTをリセットできる(そしてすべき)“開放”区間の幅を定義します。開放区間は常に閉鎖区間の後に続き、従ってWDT経過時間の総合幅は窓と標準の経過時間の合計になります。窓動作で使用される開放と閉鎖の区間は図1-2.で図解されます。

図1-2. 窓動作での適時と早期のウォッチドッグ タイマ リセット



1.3. タイマ クロック

WDTは内部32kHz超低電力(ULP)RC発振器からの1kHz出力からクロック駆動されます。この発振器はRTC計時器と採取動作で使用される場合の低電圧検出(BOD)回路でも使用され得ます。それらの部署のどれかがULP発振器を使用するように形態設定された場合に、この発振器が走行(動作)します。ULP RC発振器を使用する付加部署を許可することによる追加の消費電流は非常に僅かです。消費電力についてのより多くの情報についてはデータシートを参照してください。

WDT用のクロックが凄く正確ではないのに注意することが重要です。これは長寿命電池給電応用でもWDTを使用できるように、非常に小さな電力を得る(消費する)ように設計されている事実のためです。低電力発振器の悪傾向は低い精度です。WDT用クロックの代表的な制度は±30%です(クロック精度の正確な情報についてはデータシートを参照してください)。これはクロック周波数が或るデバイスと別のデバイスで変わり得ることに注意しなければならないことを意味します。WDTを使用するソフトウェアの設計時、デバイス間の変化は、使用された経過時間区間が開発中に実験室で使用されただけの値でなく、全てのデバイスで有効なことを保証することに留意しなければなりません。

更に、クロック源が温度と供給電圧の全体で変化するかもしれないことを考慮しなければなりません。けれどもこの変化は±30%のデバイス間変化よりも重要性としては低い値です。この項目のより多くの情報についてはデータシートを参照してください。

1.4. 経過時間区間

WDTは8ms~8sの広範囲の経過時間区間を提供します(詳細についてはデータシートを参照してください)。WDT区間とWDT窓区間用の経過時間区間は各々、ウォッチドッグ タイマ制御(CTRL)レジスタとウォッチドッグ タイマ窓動作制御(WINCTRL)レジスタに配置されたウォッチドッグ 時間経過周期(PER)とウォッチドッグ窓動作時間経過周期(WPER)ビット領域によって制御されます。

WDTはCTRLまたはWINCTRLへの有効な書き込みアクセスが実行される時にリセットされます(1.6.2.項で得られる制御レジスタ書き込みに必要とされる時間制限手順を参照してください)。

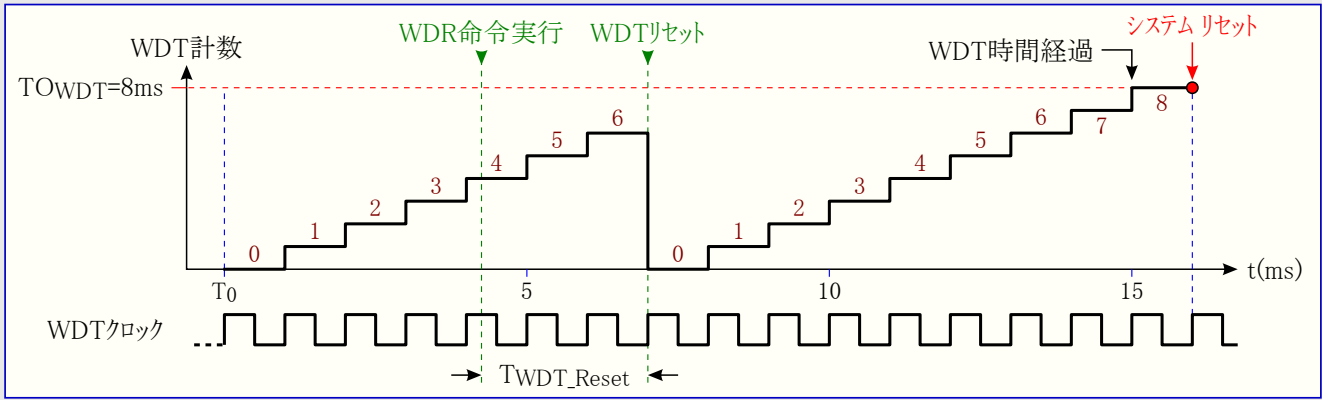
1.5. ウォッチドッグ タイマのデジタル タイミング

WDTはCPUと異なるクロック領域で動作し、WDT使用時に2つの領域間の同期が考慮されるべきです。

WDTを形態設定するのに最大2または3WDTクロック周期かかります。形態設定(値)がWDT制御レジスタ(CTRLとWINCTRL)に書かれると、新形態は次のクロック端(図1-3.でのWDTクロック上昇端)から、換言すると形態設定書き込み後の2~3ms間で有効になります。これは初期経過時間が指定経過時間よりも最大3ms長いことを意味します。指定経過時間が8msの場合、実際の経過時間は10~11msでしょう。これは主に窓動作と短い経過時間区間を使用する時に関連します。この特性はWDT特有ではなく、クロック領域間の同期のためにこの方法で動作する全ての非同期タイマ共通です。

また、WDTは制御レジスタへの有効な書き込みアクセスが実行される時にリセットされます(更なる詳細については1.6.2.項を参照してください)。

図1-3. XMEGAウォッチドッグ タイマのデジタル タイミング



注意しなければならない別のタイミング特性はウォッチドッグ タイマリセット(WDR)命令の実行と実際にWDTをリセットする間の間隔で、これもクロック領域間の同期の問題です。WDTはWDR命令実行後の第3WDTクロック端でリセットされ(図1-3.のT_{WDT_Reset}をご覧ください)、そしてこれはWDTがWDR命令実行後の2~3ms間にリセットされることを意味します。8msの経過時間区間の使用を考察してください。それによってウォッチドッグ許可後の5ms以内に最初のWDR命令が実行されるべきであることに気付かなければなりません。ULP発振器の±30%精度にも注意してください。WDR命令は3.5ms以内に実行されなければなりません。後続するWDR命令間の間隔は4.9ms(8ms-1ms(同期不定要素)-30%(精度誤差要素))以下であるべきです。この同期化の影響は経過時間区間が増加する時に減少されます。とは言え、これは厳密なタイミングを必要とする、短い経過時間区間との組み合わせの窓動作の使用に強力な助言を提供することでしょう。

WDTがシステムリセットを引き起こす場合、換言すると時間経過によって、システムリセットは後続する最初のWDTクロック端で起きます(図1-3.をご覧ください)。これはWDT経過時間区間終了の1ms後にシステムリセットが起きることを意味します。通常、これはどんな問題も引き起こさないでしょうが、ピンの論理値を監視することによってウォッチドッグ経過時間区間測定を試みる場合に知って置くことは有用です。実際のWDTクロック周波数を判定するより良い方法は、ULP発振器によってもクロック駆動され得るXMEGA実時間計数器(RTC)を使用することです。

上で言及された条件の全てはWDT標準動作経過時間とWDT窓動作経過時間の両方に適用します。

1.6. ウォッチドッグ許可と形態設定タイミング

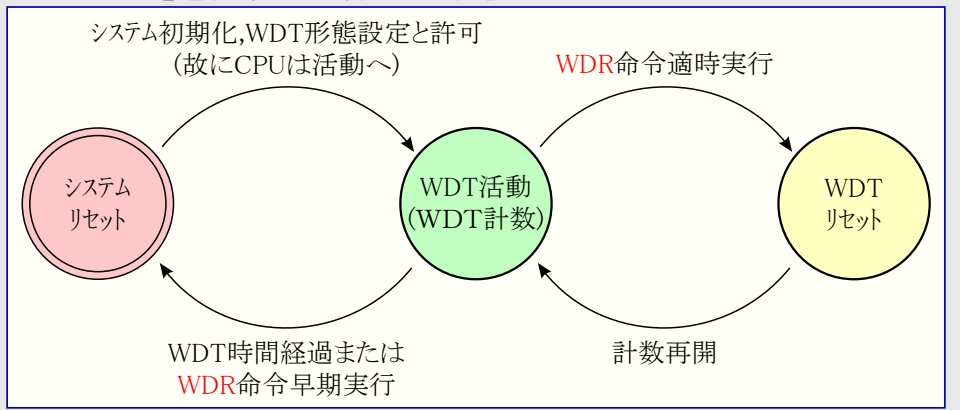
WDTはシステムリセットを抜け出す前に指定設定をAVRに格納させるヒューズを通して、または次のどちらかの2つの方法で形態設定と許可ができます。代替として、WDTは実行時にファームウェアが望む設定をWDT制御レジスタに書くことを意味する、実行時での許可ができます。

1.6.1. ヒューズでのウォッチドッグ許可

WDTは標準動作と窓動作に対応するヒューズを書くことによってシステムリセット間で自動的に初期化することができます。これらのヒューズはウォッチドッグ タイマ経過時間区間とWDT閉鎖窓の幅の両方を決め、始動でのWDT許可に使用することもできます。WDTを制御するヒューズについてのより多くの情報に関してはデータシートを参照してください。

注: 窓動作使用時の正しいタイミングを保証するように実行時で許可できる利点のため、窓動作はヒューズを通して許可できません。

図1-4. ヒューズを通すウォッチドッグ許可用の状態図



最大の保護を提供するため、意識的または偶然のどちらでも実行時にWDTを禁止できないことを保証する、ウォッチドッグ施錠(WDLOCK)ヒューズをプログラム(0)することが可能です。

実行時(ファームウェア)のウォッチドッグ許可を損なう或る理由に丁度の期間のシステム障害があるかもしれないことを考慮する場合に、これは望ましいことになり得ます。

1.6.2. 実行時ウォッチドッグ許可

或る応用では絶対的な最小化のために休止形態での電力消費を低減するのにWDTを禁止することが必要とされ得ます。これは長寿命電池給電応用の場合であり得ます。CPU活動期間でWDTを使用し、休止形態で使用しないことが望ましい場合、例えそれがウォッチドッグによって提供される保護を減じるかもしれなくても、WDTの許可と禁止をできることが便利です。

注: 休止形態で他の部署(BODとRTC)がULP発振器を使用している場合、WDTをONのままにして置くことによって費やされる追加の消費電流は極僅かです。

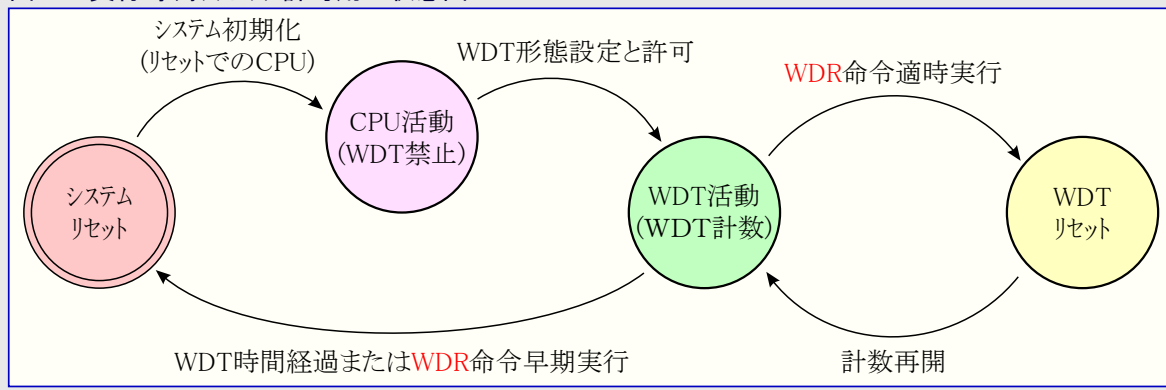
実行時のWDT許可または経過時間区間変更には時間制限手順が使用されなければなりません。時間制限手順は或るレジスタへのアクセスを制御する形態設定変更保護(CCP)レジスタを伴います。CCPへの識票(\$D8)書き込み後、次の4命令周期内にWDTを再設定することができます。割り込みによって時間制限手順が無効にならないことを保証するため、これらの4命令周期間、全体割り込みが自動的に禁止されます。

注: この経過時間がクロック周期ではなく、命令周期で与えられ、従ってDMA転送はこのタイミングに影響を及ぼしません。DMA転送は命令周期として数えられず、CPUによって実行される命令だけが数えられます。

CCPへの識票(\$D8)書き込み後の4命令周期内で、WDT制御(CTRLとWINCTRL)レジスタは変更することができます。そのように行うための手順はデータシートで指定され、それをどう行うかの例はこの応用記述のコード例で得られます。

注: ウォッチドッグ施錠(WDLOCK)ヒューズが設定されている間はWDTまたはWDT窓動作の形態設定変更が不可能ですが、WDT窓動作の許可/禁止は可能です。

図1-5. 実行時ウォッチドッグ許可用の状態図



1.7. 意図するウォッチドッグの使い方

WDTはハードウェアまたはファームウェアで扱われない不測の障害をシステムが持つ場合、または外部的な妨害がシステムに失敗を引き起こす場合にその日の出来事の救済をもくろんでいます。良く使われるWDTは最終使用者が全くまたは殆ど気付かないシステムリセットを生成することができます。時々動作状態に戻るために毎回電源のOFF/ONを必要とする製品と対比してこれを見ると、その違い、最終使用者がその製品で満足かどうかは明らかであるべきです。

一般にファームウェアの主繰り返し内の何処かでWDTリセット(WDR命令)を発行することが推奨されます。割り込み処理ルーチンがファームウェアの多くの部分の正しい実行を確認する一連のフラグを調べるのでなければ、割り込み処理ルーチン内でWDTをリセットしてはなりません。これらの単純な規則に従うなら、WDTの誤使用は困難です。

WDT窓動作はWDTリセットタイミングのもっと厳密な制御を伴うので、標準動作よりも僅かに大きい挑戦的な使い方です。窓動作でのWDTは主繰り返し内の何処かでリセットされるべきで、割り込み処理ルーチン内でのリセットはそれが閉鎖窓保護を損なうので決して行ってはなりません。閉鎖窓は主繰り返し(または主繰り返しの補助部分)の最小予定時間を定義するので、主繰り返しの部分が実行されない場合、または関数呼び出しからの早い抜け出しが起きた場合を見つけるのに使用することができます。この例は或る手法または他のソフトウェア障害が早すぎる操作終了を引き起こすことであり得ます。例えば、EEPROMへの値書き込みの予定時間は4msですが、それが数μsで完了(フラグ検査失敗)した場合、後続するWDTリセットは早すぎて起きます。別の例は異常なプログラム実行を引き起こす、スタック戻りまたはスタックポインタそれ自身の不正であり得ます。

良好な保護を提供する窓動作の他の状況は、WDR命令が繰り返して実行される繰り返してコード実行が停止された場合です。WDTリセットが予想よりもっと頻繁に起きた場合、WDTは障害が起きたと見做して、動作状態に戻すためにシステムをリセットします。

2. 例

本応用記述はCで実装された基本的なウォッチドッグ タイムドライバの一括ソースコードを含みます。

このウォッチドッグ タイムドライバが高性能コードでの使用に対して意図されていないことに注意してください。それはXMEGAウォッチドッグ タイマでの始めを得るためのライブラリとして設計されています。タイミングとコード量が重要な応用開発については、ウォッチドッグ タイムレジスタに直接アクセスすべきです。より多くの詳細についてはドライバのソースコードとデバイスのデータシートを参照してください。

2.1. ファイル

一括ソースコードは次のファイルから成ります。

- `wdt_driver.c` : ウォッチドッグ タイムドライバ ソース ファイル
- `wdt_driver.h` : ウォッチドッグ タイムドライバ ヘッダ ファイル
- `wdt_example.c` : ドライバを使用するコード例

利用可能なドライバ インターフェース関数とそれらの使用の完全な概要についてはソースコードの資料を参照してください。

2.2. Doxygen資料化

全てのソースファイルはDoxygenを使用する自動資料生成用に準備されています。Doxygenは特別なキーワードを使用してソースコードを分析することによって、ソースコードから資料を作成するツールです。Doxygenについてのより多くの詳細に関しては<http://www.doxygen.org>を訪ねてください。予めコンパイルされたDoxygen資料は本応用記述に伴うソースコードと共に供給され、ソースコードフォルダの[readme.html](#)ファイルから利用可能です。

3. 改訂履歴

資料改訂	日付	注釈
8234A	2007年3月	初版資料公開
8234B	2009年4月	情報なし
8234B	2015年2月	1.3.項でのバグ修正。雛形更新

Atmel®, Atmelロゴとそれらの組み合わせ、AVR®, Enabling Unlimited Possibilities®, XMEGA®とその他は米国と他の国に於ける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 2015.

本応用記述はAtmelのAVR1310応用記述(Rev.8034C-02/2015)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識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。