

情報技術 (IT) シリーズ

組み込みシステムの開発例の概説

Brief Study of Embedded System Development Cases

加納 幸博
Kano Yukihito

組み込みシステムとは、一般的に産業向け機器をはじめ、自動車、携帯電話、家電製品など、我々を取り巻く様々な分野の電子機器に搭載され、その制御を行うコンピュータシステムである。組み込みシステムを開発するためには信号1ビットの特性から留意する必要がある。また規模が拡大した場合は、RTOS (Real Time OS) を採用し構築する。

The embedded system is a computer control system that is installed in various fields around us such as general industrial equipment, an automobile, a mobile phone, and a home appliance. Being aware of characteristics of one signal bit is indispensable to develop the embedded system. Developing a larger system, RTOS (Real Time OS) is employed.

キーワード：組み込みシステム, RTOS, ITRON, 割り込み, 低消費電力化, 画像処理

1 はじめに

組み込みシステムとは、一般的に産業向け機器をはじめ、自動車、携帯電話、家電製品など、我々を取り巻く様々な分野の電子機器に搭載され、その制御を行うコンピュータシステムである。また組み込みソフトウェアは、多機能化・高性能化の中で安心と安全も要求されている。さらに企業の経営戦略においてもITストラテジストとして組み込みシステムの企画及び開発を統括し、新たな価値を実現するための基本戦略を策定・提案・推進する重要な人材育成も必要とされている。

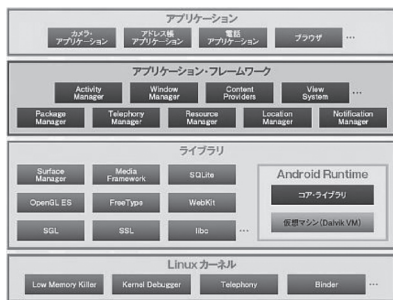


図1 Androidのソフト構成
出展：IT Pro Androidの仕組みを知る (1)

組み込みシステムの身近なものとしておそらく多くの方は、携帯電話を挙げられると思われる。図1はスマートフォンで採用されているプラットフォームのAndroidのソフト構成図である。ご覧のようにLinuxをカーネルとした構成で、概ねパソコンとほとんど変わらない。よって本稿で

は主に制御系の専用組み込みシステムの開発とは、どのようなスキルが必要でどのように構築して行くのかを理解して頂けるよう携帯電話以外の事例を交えながら説明する。

2 組み込みシステムの扉

組み込みシステムは、前述のとおり範囲は広い。しかし、どこからが組み込みかは明確に表せられると考える。これまでも自宅等の家電を分解し実装されている基板を確認された方もおられると思われるがパソコンのマザーボードのようなCPUらしき物が見当たらない場合があったのではなからうか。図2は、8PINのMCU (Micro Control Unit) を示す。形状は、一見ゲートICと変わらないが図3のブロック図に示すように多機能なMCUである。

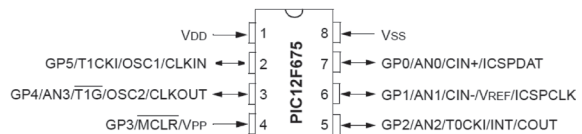


図2 8PINのMCU

このMCU¹⁾は、8ビットのRISC (Reduced Instruction Set Computer) でプログラム格納用フラッシュメモリやRAM、不揮発性メモリが搭載されている。また外部との入出力用信号は、PINが各信号と兼用となりデジタルI/O、アナログ入力、コンパレータも搭載されてい

る。これらの信号はプログラミングによりダイナミックに切り換えることが可能である。またデジタルI/Oとタイマーを組み合わせてモルス信号のようにパソコンのインターフェースにも使用されているRS232C等でシリアル通信も可能である。応用例としては、GPSモジュールのシリアル出力と接続し、パソコンへ受信データを送信する等の機器がある。

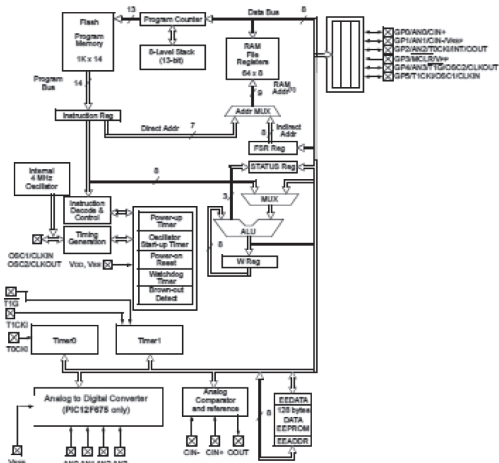


図3 8PINのMCU内部のブロック図

ここで少し組み込み技術者が知っておくべき基本について触れておく。ソフトウェア技術者の入門として2進法の習得がある。その際、スイッチのオンとオフの例での説明が多いが組み込み技術者の場合は、それに加えてそのスイッチの入力の論理が正論理なのか負論理なのか（例えば断線時にオンする等）またオンしている時間はどのくらいなのか？さらには、スイッチ自体の機械的構造による過渡現象にも留意する必要がある。金属接点スイッチの場合は、1回押下したとしても実際には、安定時間までバウンドしオンとオフを繰り返すことがある。これをチャタリングと称する。例えば、スイッチを押下した回数だけカウントするプログラムを組んだ場合、これらに留意しないと押下した回数より多くカウントされる場合がある。したがって組み込み技術者は、まずはビットの1点1点の特性や仕様等から注力していく必要がある。

3 RTOS (Real Time OS)

システムが複雑になるとソフトウェア開発には、ITRON²⁾ (Industrial The Real-time Operating system Nucleus) 等のRTOSを核に

して構築した方が高効率な場合がある。そのためには割り込み技法の習得が必須である。割り込みとは実行中の処理を一時中断し、新たに発生した事象を優先して、その事象のための処理を行わせるためのメカニズムである。身近な例としては、パソコンでキーの入力待ち状態にバックグラウンドでタイマーが定期的に起動し随時メーラーがメールサーバー内の受信メールを監視し到着を通知する。このケースではタイムアップ（タイムオーバー）が割り込みに相当する。RTOSでは、割り込み内で最低限の処理（これをドライバーと称する）を実行し、予め設定されているアプリケーションの実行優先順位に処理を切り換える。このアプリケーションをタスク（TASK）と称している。タスクは、TCB (TASK CONTROL BLOCK) という管理ブロックでRTOSが管理している。写真1は、実際にITRONを採用した立体駐車場における利用者カードによる制御システムの事例の一部で図4は、ITRONを核とした本システムのソフトウェアのタスク構成図である。

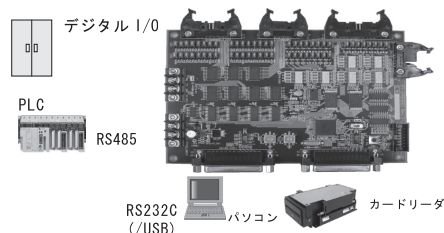


写真1 立体駐車場制御基板

本システムは、RS232Cを介して接続されているカードリーダーで利用者カードのIDを読み込み、予めEEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) に登録されている顧客情報の照合とバッテリーでバックアップしているカレンダーICの日付と使用期限を照合する。照合結果がOKならば立体駐車場制御装置内に搭載されている主に駆動部を制御するPLC (Programmable Logic Controller) のレジスタにシリアル通信のRS422を介して情報を書き込んで車の入庫あるいは出庫の動作を開始する。満空情報は、PLCの不揮発性メモリに登録されており、入庫の場合は空きスペースを、出庫の場合は、当該利用者の車が収納されているスペースを検索し入出庫口に着床させ扉が開く。また外部パ

ソコンにて利用者情報の編集を行い、RS232C (もしくはUSB) を介してダウンロードされる。デジタルI/Oは、アラームを検出した際に必要に応じて外部へ無電圧信号として出力する。入力信号は、シャッター等のリミットスイッチの入力として使用する場合もある。

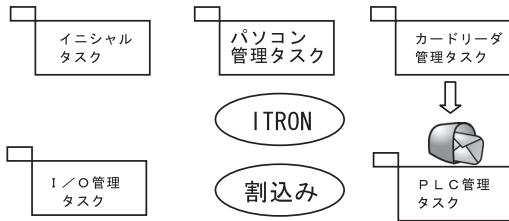


図4 タスク構成図

前述したように図4の各タスクは電源立ち上げ時に下記の状態に図5に則して遷移される。

- ① 立ち上げ時にTCBが生成され、イニシャルタスクが起動しLSI等を初期化する。
- ② 休止状態のその他のタスクは、イニシャルタスクから起動され図5の状態遷移で実行可能状態から実行状態に遷移する。
- ③ 各タスクは、I/O待ちになるとタスクの状態は待ち状態となり、I/Oの処理が完了すると実行可能状態から実行状態に遷移する。

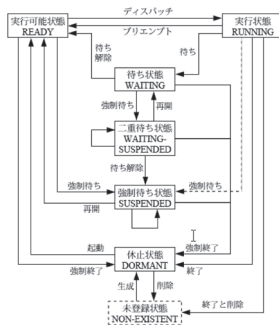


図5 RTOS状態遷移図

RTOSにはタスク間の同期用関数としてイベントフラグやメールボックス、排他処理等がある。メールボックスとは、電子メールのように固定長もしくは可変長の形態で各タスク間でのコミュニケーションを取ることができる。図4では、カードリーダ管理タスクがPLC管理タスクのメールボックスへメッセージを送り、次処理を依頼している。

4 低消費電力化

近年、携帯電話等の急速な普及に伴い、バッテ

リーを搭載した装置が多く出荷されている。その一方で組み込みシステムは低消費電力化が大きな課題となっている。消費電力の影響が大きな要因としてCPU (MCU) が挙げられる。半導体メーカーの何社かにおいても低消費電力対応のCPU (MCU) がリリースされている。しかしながら低消費電力化を実現するための仕組みについては、各社様々である。ここでは、その一例としてTexas instruments社のMSP430シリーズのMCU³⁾の低消費電力化を説明する。

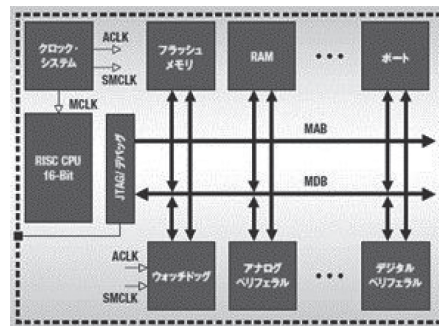


図6 MSP430ブロック図

図6は、MSP430のブロック図である。ご覧のようにクロックには、MCLK (メイン)、ACLK (サブ) とSMCLK (サブメイン) がある。MCLKはメインクロックで8 MHz等の高速クロックを使用しACLKは32 KHzの低速クロックを接続する。SMCLKは、どちらかをソフトウェアの設定により切り換えて使用することが可能である。このCPU (MCU) には、低消費電力用のモードとして各クロックの有効/無効の指定により0~4までサポートしている。モード4が最も消費電力が少なく数μAでRAMの内容を保持している。他のメーカーのCPUには同等の仕様とするとRAMの内容が破壊されてしまうがこのCPU (MCU) は、データを保持した状態で割り込み要因が発生し起床されるモード3にて休止 (SLEEP) 状態に移行できる。そのため、比較的容易にITRON等へのポーティング (移植) が可能である。一方ソフトウェアからの視点では低消費電力化はいかに休止状態を長くするかがポイントである。休止状態からの復帰は、何らかの割り込み要因によりCPUが起床する。この時、CPUは低速クロック (ACLK) で休止しているためこのタイミングにおいていかに高速クロック

(MCLK) へと素早く切り換えるかも重要なポイントでもある。

5 組み込みシステムの画像処理

コンピュータにおける画像処理には、十分なCPUパワーが要求される。ここでは組み込みシステムにおける画像処理の実例として写真2の組み込みシステムに特化したOSのWindows Embeddedを核としたピックアップカートで画像処理を説明する。



写真2 ピッキングカート

写真2の左上にある端末に表示する画像データには、オペレーション指示用のメニューやピックアップ指示数の他、商品毎の画像も表示する。表示方式にはいくつかの選択肢があるが、端末側で単独に演算し描画すると処理が重たく実用に耐えられない。よってシンクライアント方式を採用した。シンクライアント方式とは端末側からタッチパネルやマウス等のHMI (Human Machine Interface) の情報をサーバー側へ無線LAN経由で送信し、情報を受信したサーバー側では、アプリケーションを実行し画像処理後、画像データを端末に返送する方式である。端末側では送られて来た画像データのみを表示するため例えばJANコードをスキャンし対応する商品の画像情報をサーバーから受信し表示するまで約1秒強で対応できる。また当該ピックアップカートにはさらに図7の構成図のように周辺機器としてジャーナルプ

* SOCKET: コンピュータ間やプロセス間においてTCPやUDPなどで通信を行う際の終端である。特定のポート番号で関連づけられる識別にて通信が行える。

リント、デジタルピックアップ用表示器コントローラが接続されている。各々はバックグラウンドとして、ハイブリット的な方式で独立したアプリケーションがインストールされている。それらはサーバーとは無線LANを介してTCP/IPのSOCKET*通信で実現している。電源は、比較的軽量のニッケル水素電池を搭載しDC24Vからインバータを介してAC100Vに変換し、フル充電では約6時間連続稼働が可能である。

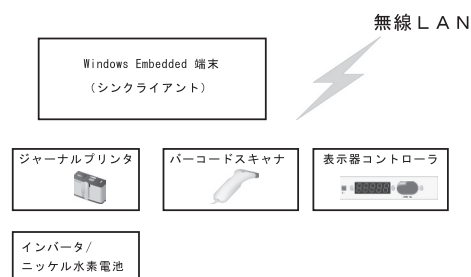


図7 ピッキングカート構成図

6 おわりに

制御系の組み込みシステムは、20年程前まではマルチバス (Multibus) やVMEバス (VERSA module Eurocard bus), STDバス (STDBus) 等のいわゆるラック形式の組み込みシステムが主流だったが近年は、PLCにその位置を奪われていた。しかしながら最近では、そのPLCの周辺装置を流用したVxWorks (Wind River社のRTOS) ベースのC言語コントローラも発表されこれまでPLCでは困難であった情報処理系の複雑な制御も可能となり今後は、徐々にPLCから切り替わっていくのではと期待している。

<参考文献>

- 1) Micro Chip社 PIC12F629/675 Data Sheet
- 2) (社) トロン協会 μ Itron4.0仕様
- 3) Texas Instruments社 MSP430x5xx Family User's Guide

加納 幸博 (かのう ゆきひろ)
技術士 (情報工学部門)

(株) インフォメーションプロセッシングリサーチ
ITストラテジスト
マイコン応用システムエンジニア
e-mail: y-kano@ipr-tokyo.co.jp

