

ITRONをLSI化する

～リアルタイムOSをより高速化するために～

仲野 巧

組み込みシステムでは、リアルタイムOSが使われることが多い。これを使えば、システムのリアルタイム応答性がある値で保証されることになる。しかし、その保証値より、高速な応答が求められる場合は、どうすればよいだろうか。もし、リアルタイムOSの機能をハードウェア化できれば、ハードウェア的に同時実行(コンカレント)処理が行われるので、より高速な応答性が期待できる。ここでは、ITRONの基本機能をハードウェア(LSI)化し、SHプロセッサ上で評価した例を示しながら、リアルタイムOSのハードウェア化の手法とその効果を検証する。

(編集部)

はじめに

筆者はかつて、リアルタイムOSをいろいろな端末のハードウェアに移植し、製品に組み込みながらC言語でアプリケーションを開発する、という仕事に携わっていました。その後、企業の製品に直結した開発だけを行うよりも、もう少し自由に研究したいという思いから、会社を退社して教職に移りました。ここで紹介する、リアルタイムOSのLSI化に関する研究は、産業(企業)における経験と学校でのLSI設計技術(産学)がむすび付いて実現できました。

リアルタイムOSのLSI化が「どう新しいのか?」ということですが、これは、従来とは逆の発想から始まっています。つまり、マイクロプロセッサ(CPU)を前提として、マルチタスクのためにOSを実装するのではなく、CPUとは関係なくOSをLSI(ハードウェア)で実現したのです(図1)。

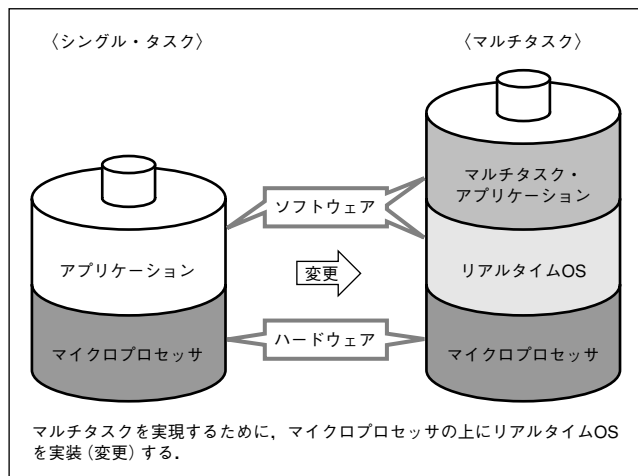
従来の概念を延長したハードウェア化であれば、プログラムをROM化してCPUで実行するのが関の山です。これでは、数百、数千の命令をシーケンシャルに処理することになり、いくらCPUが高速(高価)になっても、根本的なオーバーヘッドの問題は解決しません。

一方、CPUとは独立に、OSの機能をゲートとフリップフロップのLSIで実現すれば、数クロック(ソフトウェアの1命令相当の時間)で処理が完了することになります。また、CPUの命令に依存したOSではないため、アプリケーションに最適なCPUを選択して、OSのLSIを接続することでリアルタイムOSを利用できるのです(図2)。

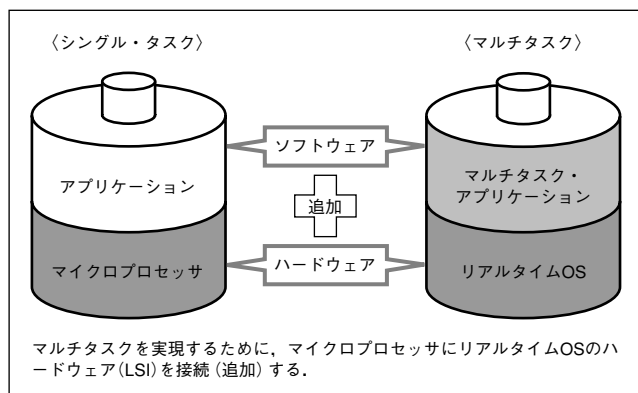
では、組み込みシステムとリアルタイムOSの基本からおさらいしておきます。

1. 組み込みシステムとリアルタイム処理

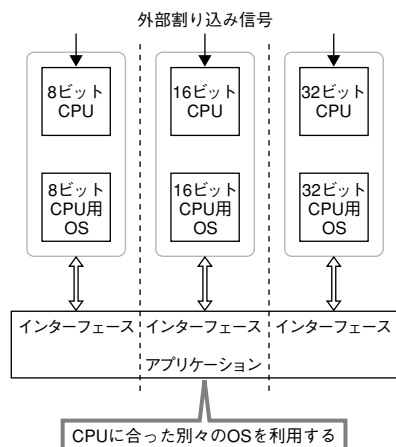
マイクロプロセッサを用いた制御があらゆる製品に応用されていますが、近年、制約時間を満たしながら複数の処理を実行するリアルタイム/マルチタスク処理が重要になってきています。その役割を担うのがリアルタイムOSと呼ばれる基本ソフトウェアです。



(a) 従来の方法

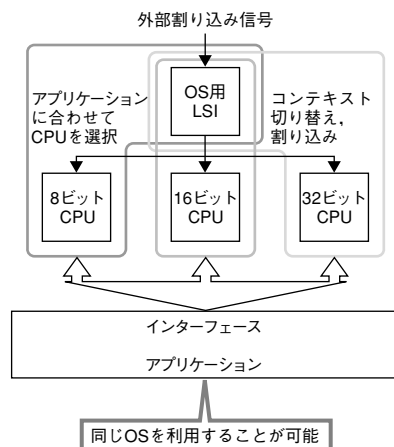


[図1] 発想の転換の概念



- CPUに合わせて別々のOSを選択
- OSはCPUで逐次処理されるため低速
- 外部割り込み信号はCPUに入力
- コンテキスト切り替えはOS内部で処理
- 従来の構成ではCPUの命令をROM化して処理

(a) 従来の構成



- OSはCPUとは独立しており、共通に使える
- OSとCPUを並列処理できるので高速
- 外部割り込み信号はOS用LSIに入力
- コンテキスト切り替えはCPUへの割り込みで処理
- 新しい構成ではOS機能をLSI化して処理

(b) 新しい構成

〔図2〕新しい発想の構成

リアルタイム性への要求は、アプリケーションによりさまざまに変わります。自動車、航空機、宇宙産業などの高度なシステムから、自動制御システム、自律制御ロボットなどの組み込みシステムまで、広い範囲でリアルタイムOSが必要とされます。また、リアルタイム処理の高速化と精度に対する要求はmsから μ sのオーダーまでと広範囲です。とくに、数 μ sという高速応答性が要求されることも増えつつあるようです¹⁾。そして、このリアルタイム処理の実現のために、これまでさまざまなアプローチが試みられてきました²⁾。

◆リアルタイムとは？

リアルタイムとは、ある制約時間内に必ず応答(制御)が必要なことを意味します。たとえば、自動車のエンジン制御などがわかりやすいと思います。エンジンが1回転するまでに数十、数百 μ sの精度で燃料や空気、点火の制御を行う必要があります。この例は、もっとも厳しい(ハード)組み込みシステムの場合で、応答(制御)が間に合わないと装置に障害などが発生する可能性があります。

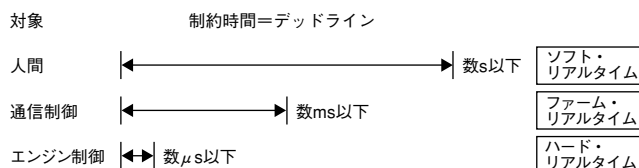
ただし、すべての組み込みシステムがこのようなハード・リアルタイムの処理を要求されるわけではなく、多少遅れてもシステムにあまり影響しないソフト・リアルタイムのもの(人間相手のアプリケーションなど)もあります。また、通信制御装置などは、データの再送受信などで完全に復旧できるため、ファーム・リアルタイムと呼ばれることもあります。

リアルタイムの種類を図3に示します。

◆リアルタイムOS

リアルタイムOSは、組み込みシステムの製品によって決まっている制約時間(数 μ s～数ms、人間が待つのであれば数秒)内でアプリケーション(タスク)を制御します。言い換えると、複数のアプリケーションを実行させるためには、マルチタスクOS(Windowsは疑似的にマルチタスクで動作している)が必要で、さらに時間的な制約を満足させるものがリアルタイム(マルチタスク)OSです(図4)。

リアルタイムOSは、複数のアプリケーション(携帯電話では、液晶表示やキー入力、着信音の編集、登録などのタスク)を制約時間内で制御しています。したがって、リアルタイムOSは、身近なところに多く使われています。ただし、Windowsを搭載したパソコンのように起動するとロゴ・マークが表示されるわけではないため、ユーザはあまり認識していません。携帯電話やデジタル・カメラ、カー・ナビゲーション



対象によって制約時間が違っている

- ソフト・リアルタイム : 制約時間以上でも待つことができる
- ファーム・リアルタイム : 制約時間以上では再送受信などで復旧できる
- ハード・リアルタイム : 制約時間内に制御しなければ復旧できなくなる

〔図3〕リアルタイムの種類