

実時間性の確保を重要視したハイブリッド OS の実装

湯山 圭一[†] 佐藤 喬[†] 多田 好克[†]
電気通信大学 大学院情報システム学研究科[†]

概要

ハイブリッドオペレーティングシステム(以下:ハイブリッド OS)の一形態に, Unix をリアルタイムオペレーティングシステム(以下:RTOS)の一タスクとして動作させるものがある[1]. このようなハイブリッド OS では, RTOS の実時間性と Unix の多機能性を, 単一のシステムで両立できる. しかし, Unix が RTOS への遷移を長時間阻害すると, 実時間性が損なわれる. 本研究では実時間性を確保したハイブリッド OS を実装することを目的とする.

1. 背景

近年, ディスプレイを搭載した家電製品や, カメラを搭載したロボットなどが開発されている. これらのシステムには, 制御のために, 実時間性が必要になる. また, Unix がもつ各種デバイスドライバ, Unix のようなシステムコール, 各種ライブラリ等のソフトウェア資産が豊富にあると, 実装面で有利である.

Unix にはソフトウェア資産が豊富にある. ソフトウェア資産を使うことで, Unix 上では容易にアプリケーションを実装できる. しかし, Unix 上のプロセスには実時間性がない. また, RTOS のタスクとして実装すると, 実時間性は確保できる. しかし, RTOS にはソフトウェア資産が少ないので, 実装に手間がかかる.

2. ハイブリッド OS

実時間性と多機能性を両立する手段として, Unix を RTOS の一タスクとして動作させるハイブリッド OS がある. このハイブリッド OS の構成と各 OS の上で動くアプリケーションの特徴を図 1 に示す. RTOS 上のタスクとして実装することで, 実時間性を確保した処理の実装ができる. また, Unix 上のプロセスとして, 既にあるソフトウェア資産を利用して実装することで, 実装

が容易になる.

しかし, このハイブリッド OS には問題がある. Unix が割込み禁止を長時間行くと, RTOS の実時間性が損なわれるという問題である.

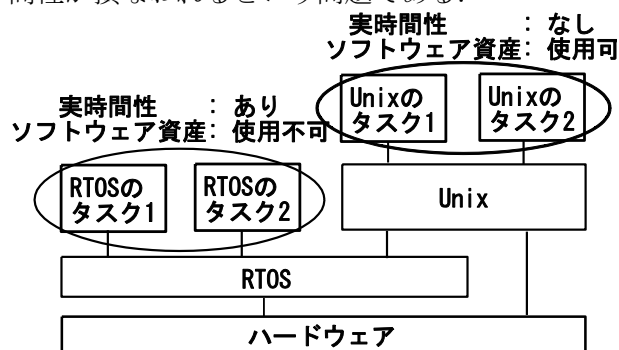


図 1 ハイブリッド OS の構成と各 OS の上で動くアプリケーションの特徴

3. 実装

本研究では, Unix として NetBSD1.6.2[2], RTOS として TOPPERS/JSP1.4.1[3]を使用した. また, CPU として PowerPC アーキテクチャを採用した MPC5200B[4]を使用した.

NetBSD は TOPPERS の一タスクとして動作させる. このタスクを本研究では, NetBSD タスクと呼ぶ. TOPPERS のタスクとして動作させるので, NetBSD タスクは, TOPPERS の他のタスクと同様にタイマ割込みにより切り替わる.

一般に割込み禁止には二種類ある. 全割込み禁止と, 割込みのマスクである. このうち, 全割込み禁止とタイマ割込みのマスクは, タイマ割込みを禁止するので, ハイブリッド OS の実時間性を損なう要因となる. 特に, 実時間性を考慮していない Unix がこれらを行うことが問題となる. よって本研究では, 全割込み禁止とタイマ割込みのマスクを, Unix が実行しないようにする.

3.1 既存の実装

本研究では, ある程度ハイブリッド OS として動作する既存の実装を元に, 改良を行った. まず, この既存の実装の, 割込み処理について述べる.

既存の実装では, TOPPERS が NetBSD を一タス

The implementation of hybrid OS which focuses on the real-time property

[†]Keiichi YUYAMA [†]Takashi SATOU [†]Yoshikatsu TADA
[†]Graduate School of Information Systems, The University of Electro-Communications

クとして起動することで、ハイブリッド OS として動作する。NetBSD 起動時に割り込みベクタ領域を上書きしないように、NetBSD の割り込みベクタ領域を移動してある。なので、全ての割り込みはまず TOPPERS が受け取る。

NetBSD の使用しているデバイスの割り込みを TOPPERS が受け取ったら、プログラムカウンタの書き換えなどの、NetBSD がハードウェアからの割り込みを受けたときと同じ変更を、NetBSD タスクに対し行う。この処理は、TOPPERS の一タスクとして実装している。このタスクを本研究では、NetBSD 割り込みタスクと呼ぶ。

MPC5200B では、各種デバイスの割り込みマスクは、とあるメモリ番地への書き込みで制御される。このマスクが TOPPERS と NetBSD で競合しないように、NetBSD が使用するマスク領域を移動してある。そして、必要な割り込みマスクのみ、本来のメモリ番地へ書き込むようにしている。

3.2 本研究の実装

既存の実装を元に、本研究では、全割り込み禁止の仮想化と、割り込みマスクの仮想化を行った。

3.2.1 全割り込み禁止の仮想化

NetBSD が全割り込みを禁止している間も TOPPERS が動作できるように、NetBSD の全割り込み禁止を仮想化した。まず、NetBSD の全割り込み禁止を TOPPERS のセマフォ獲得に、NetBSD の全割り込み許可を TOPPERS のセマフォ解放に置き換えた。この置き換えは、NetBSD のソースコードの該当箇所を直接書き換えることにより実現した。また NetBSD 割り込みタスクは、このセマフォを獲得してから割り込みを行うように変更した。これにより、実際に全割り込み禁止をせずに、NetBSD の全割り込み禁止と同等の機能を提供できる。

3.2.2 割り込みマスクの仮想化

NetBSD がタイマ割り込みをマスクしている間も TOPPERS が動作できるように、NetBSD の割り込みマスクを仮想化した。まず、NetBSD が割り込みマスクをしないように変更した。これは、ソースコード中の該当箇所を削除することで実現した。これにより、割り込みマスクの制御を行う時、NetBSD は移動した割り込みマスク領域にのみ書き込みを行う。

また NetBSD 割り込みタスクは、移動した割り込みマスク領域で割り込みマスクされているかどうかを確認し、マスクされていなかったら割り込みを行うようにした。これにより、実際に割り込みマスクをせずに、NetBSD の割り込みマスクと同等の機能を提供できる。

4. 評価

まず、NetBSD の全割り込み禁止の仮想化により、NetBSD が全割り込み禁止を行っても TOPPERS 上の他のタスクが動作し続けることを確認した。仮想化していない場合は NetBSD が全割り込み禁止をしている間他のタスクが停止した。また仮想化した場合は、NetBSD が全割り込み禁止を行っても他のタスクは動作し続けた。

次に、割り込みマスクの仮想化により、NetBSD が割り込みマスクを行っても TOPPERS の他のタスクが動作し続けることを確認した。割り込みマスクを仮想化していない場合は、NetBSD が割り込みをマスクしている間他のタスクが停止した。また割り込みマスクを仮想化した場合、NetBSD が割り込みをマスクしても他のタスクは動作し続けた。

5. 関連研究

Linux と ITRON によるハイブリッド OS の設計と実装[1]では、ITRON の 1 タスクとして Linux を動作させるハイブリッド OS を実装している。この研究では、Linux による全割り込み禁止を仮想化し、Linux による全割り込み禁止により実時間性が損なわれることを防いでいる。しかし、割り込みマスクにより実時間性が損なわれることは考慮していない。

6. 結論

ハイブリッド OS において実時間性が損なわれる原因として、Unix が行う全割り込み禁止とタイマ割り込みのマスクが挙げられる。本研究では、全割り込み禁止と割り込みマスク双方の仮想化を行った。仮想化後は、Unix が全割り込み禁止や割り込みマスクを行っても RTOS は動作が可能であることを確認した。

参考文献

- [1] 保田信長, 飯山真一, 富山宏之, 高田広章, 中島浩: “Linux と ITRON によるハイブリッド OS の設計と実装”, 情報処理学会研究報告, システム LSI 設計技術, No. 114, pp. 45-50 (2004).
- [2] “The NetBSD Project” : <http://www.netbsd.org/> .
- [3] “TOPPERS プロジェクト/INDEX” : <http://www.toppers.jp/> .
- [4] Freescale Semiconductor, Inc: “MPC5200 Users Guide”, Rev. 3(2005).