5K-8

組込みシステム学習環境「港」における仮想マシンマネージャの開発

青山誠一[†]　早川栄一[‡]

拓殖大学　工学部　情報工学科[†‡]

r38409@os.cs.takushoku-u.ac.jp[†]　hayakawa@cs.takushoku-u.ac.jp[‡]

1. はじめに

近年，組込みシステムは多様化し，ネットワーク接続や外部ストレージなどの機能は必須となっている．このような機能を教育用途向けのOSにも適用し，拡張性を高めたいという要求があるが，これはOSの複雑化を招き，教育用OSにあるべき単純で理解しやすい設計をとれなくなってしまう．単純な設計を保つためにはOSの基本的な機能を提供する部分とデバイス管理を行う部分とで分ける必要がある．

それを実現する手段として，仮想化技術を用いて複数のOSを同時に動作させる方法がある．従来の構成として，VMware[1]のようなハードウェアの完全な仮想化を提供するものと，Xen[2]などで用いられている準仮想化と呼ばれる方法により，エミュレーションのオーバヘッドを抑えるものがある．前者の場合，実行コストが大きく，後者は対象となる仮想環境に対応させるための修正が必要となる．

組込み用途への適用を考察すると，資源が制限されるため，完全な仮想化を提供する方法は向かない．準仮想化のようなオーバヘッドを最小限に抑えるなど，組込みに適した仮想マシンマネージャ (以下，VMM) が必要となる．

そこで本研究では，組込みシステム学習環境「港」[3]で用いられている教育用ロボットを対象としたVMMを開発し，その教育用OSに単純な設計と柔軟な拡張性をもたらすことを目的とする．

2. ターゲットハードウェア

組込みシステム学習環境「港」の教育用ロボットはCAT709[4]と呼ばれる，特権・ユーザモードの二種類の動作モードを持つSH-3 CPUボードを用いている．

また，このボード向けのLinuxが用意されているという点を生かし，デバイス管理OSとして採用する．

3. 方針

本システムでは VMM が提供する仮想マシン (以下，VM) 上で動作するゲスト OS として教育用ロボット向けの OS (以下，ロボット OS)，デバイス管理を行う OS として Linux を採用する． これによって Linux のドライバがそのまま利用可能となり，様々なデバイスのサポートと開発コストの低下が見込める．

Development of a Virtual Machine Manager for Embedded System Learning Environment
Seiichi Aoyama, Eiichi Hayakawa
Faculty of Engineering, Takushoku University

オーバヘッドをできるだけ抑え，応答性を高めるための設計として次に挙げる特徴を持つ．

(1) Linux は特権モードで動作

Linux を VMM と同じ特権モードで動作させることによって単体の場合と同じ動作速度を実現し，デバイス管理における実行コストを下げることが可能となる．

一般的な VMM の構造では VMM は特権モード，ゲスト OS はユーザモードで動作させている．そのゲスト OS が特権命令を実行しようとしたとき，VMM がそれを捕捉し命令のエミュレーションを行うことによって，ユーザモードでの動作を可能としている．しかし，このエミュレーションは非常に大きな実行コストとなってしまう．特に Linux の場合は特権モードに遷移する割合がロボット OS に比べて非常に多い．そのため実行速度の低下を招き，応答性を高める設計の障害となってしまう．

(2) Linux を介さないデバイスアクセス手段の提供

ロボット本体に搭載されている可視光センサ，モータ，LED などのロボット制御用のデバイスに関しては Linux を介したアクセスを行わない．本来，ロボット OS はこれらのデバイスに単純な I/O 命令でアクセスしている．Linux を介する構造とした場合，Linux 側からアクセスするためのドライバを作成しなければならず，さらに単純な I/O 命令を用いた方法に比べ実行コストが増してしまう．

よって Linux を介さない方法をとることでロボット制御におけるオーバヘッドを軽減させる．

(3) 独立したタイマを利用

CAT709 に搭載している CPU は SH-3 ファミリの SH7709S であり，これには三つの独立したタイマを内蔵している．Linux やロボット OS では一つのタイマしか利用していないことに注目し，三つのタイマをそれぞれ VMM, Linux，ロボット OS に割り当てる．

これにより VMM はタイマのエミュレーションを行う必要がなくなり，そのオーバヘッドもなくなる．

(4) 共有メモリを用いた通信機構

Linux とロボット OS の連携に必要となる通信に共有メモリを用いることで，Linux の特権・ユーザモード間で必要となる各メモリ空間へのコピー回数を減少させる．

4. 全体構成

本システムは大きく分けて VMM，Linux，VM の三つに分けられる．構成図を図 1 に示す．図で示されているとおり VMM と Linux は特権モード，VM 上のゲスト OS はユーザモードで動作している．

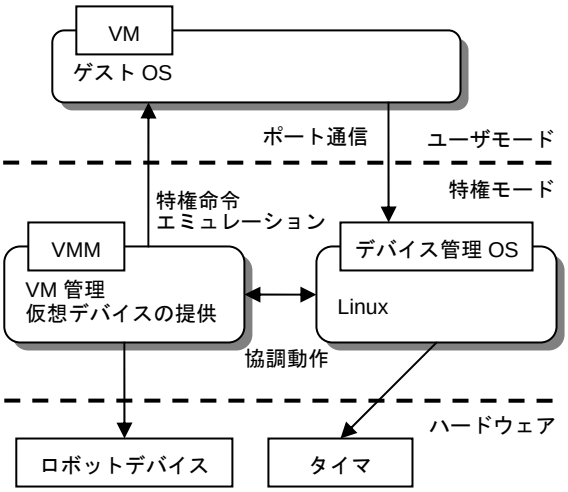

図 1　システムの全体構成

5. 設計

5.1 VMM

VMM は次に挙げる機能を提供する．

(1)　特権命令エミュレーション

ユーザモードで動作しているゲスト OS が特権命令を実行した場合, 例外が発生し VMM の例外ハンドラに処理が移る．ここでは実行に失敗した特権命令を調べ，CPU に代わって VMM がその処理を行い，再び制御をロボット OS に戻す．

(2)　ハイパバイザコール

ハイパバイザコール (以下，HVC) とはロボット OS から VMM に対するシステムコールである．表 1 に HVC の一覧を示す．

表 1　HVC 一覧

名前	内容
vm_exit	VMM に制御を移す.
port_open, port_close port_read, port_write	デバイス管理 OS と VM 間の連携に用いられるポート通信に関わる命令.
vd_inb, vd_outb vd_inw, vd_outw vd_inl, vd_outl	仮想デバイスにアクセスするための入出力命令.

(3)　仮想デバイス

ロボット制御用のデバイスを仮想デバイスとして定義する．すなわち可視光センサ，モータ，LED などのデバイスを VMM が仮想的に用意し，ロボット OS からはそれに対してアクセスを行う．こうする理由として，ユーザモードからのアクセスは例外によって阻まれてしまい, 特権命令エミュレーションと同様の処理が必要になり大きなオーバヘッドとなってしまうからである．

ロボット OS から仮想デバイスへのアクセスは HVC による仮想デバイス I/O 命令で行われ，それが呼び出されると VMM が代わりに対応する実デバイスにアクセスを行う．仮想デバイスアクセスの流れを図 2 に示す．

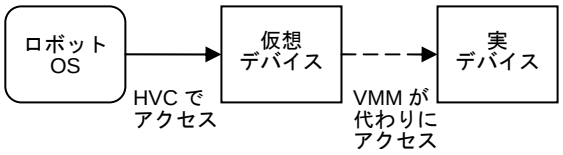

図 2　仮想デバイスアクセスの流れ

5.2 デバイス管理 OS

デバイス管理を行う OS として Linux を用いる．この Linux はロボット OS と異なり VMM と協調して動作する．そのため，次の部分を変更する必要がある．

(1) スタートアップ

Linux が起動される前は CPU に VMM の例外ハンドラが登録されている．Linux から VMM に制御を移せるようにこれを Linux のものに書き換える前に保存しておく．

(2) 例外ハンドラ

ユーザモードからの特権命令の実行, タイマの割込みや HVC の呼出しが起こった場合，例外が発生する．CPU に登録されている例外ハンドラは Linux のものであるため，ロボット OS が特権命令を実行した場合などは VMM の例外ハンドラに処理を移す必要がある．

(3) 使用メモリサイズ

Linux はメインメモリ全体を利用するように設定されている．VMM とロボット OS が利用するメモリを確保するため，Linux が使用するメモリサイズを変更する．

5.3 VM

VM 上ではゲスト OS として教育用 OS であるロボット OS が動作する．このロボット OS についても VMM 上で動作させるため次の修正が必要となる．

(1)　デバイスアクセス

ロボット制御用のデバイスにアクセスしている部分は HVC を用いたアクセスに書き換える必要がある．

(2)　割込み

VMM に割り当てられたタイマを扱うように修正する．

6. おわりに

本研究では，組込みシステム学習環境「港」の教育用ロボットを対象とした VMM を開発し，Linux とロボット OS を同時に動作させることによって教育用 OS に柔軟な拡張性と単純な設計の両立を達成することが可能となった．

今後の課題は, 保守性を高めた設計と応答性の改善である．

参考文献

[1]　VMware
http:// www.vmware.com/

[2]　Xen
http://www.cl.cam.ac.uk/research/srg/netos/xen/

[3]　「港」プロジェクト
http://edo.cs.takushoku-u.ac.jp/~minato/

[4]　CAT709
http://www.si-linux.co.jp/product/cat709/