

研究種目：基盤研究 (B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18300010
 研究課題名 (和文) 適応性と頑健性を有する基盤ソフトウェアのカーネル開発
 研究課題名 (英文) Development of kernel for basic software with adaptability and toughness

研究代表者
 谷口 秀夫 (TANIGUCHI HIDEO)
 岡山大学・大学院自然科学研究科・教授
 研究者番号：70253507

研究成果の概要：

将来の計算機の利用を支える事ができる適応性と頑健性を有する基盤ソフトウェアについて、中核ソフトウェア (カーネル) を研究開発した。具体的には、利用する計算機の環境に合わせ必要なプログラムを自動的に適応動作させる機構を示した。また、低品質ソフトウェアが高品質ソフトウェアに悪影響を与えない頑健なプログラム機構を示した。いずれの機構も試作し、その有効性を確認した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
2007年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2008年度	2,400,000	720,000	3,120,000
年度			
年度			
総計	10,100,000	3,030,000	13,130,000

研究分野：計算機ソフトウェア

科研費の分科・細目：情報学・ソフトウェア

キーワード：オペレーティングシステム

1. 研究開始当初の背景

マイクロプロセッサや入出力ハードウェアの進歩には目覚ましいものがある。また、通信路の伝送速度の向上も著しい。また、様々な場面で計算機が必要となり、提供するサービス種別も飛躍的に増大している。このような背景から、これらハードウェアの機能や性能を有効に利用でき、さらに多様なサービスの提供を支える基盤ソフトウェアが必要になっている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、今後20年間 (目標) に渡って計算機の利用を支える事ができる適応性と頑健性を有する基盤ソフトウェアを開発することである。そこで、本研究課題の目的は、3年の間 (2006年～2008年) に、当該基盤ソフトウェアのカーネルを開発することである。交付を希望する期間内に実現するカーネルは、動作を支える基本的機能に加え、主な機能として、走行モード変更、ゼロコピー通信、

および適応制御の機能である。走行モード変更機能は、プロセスの走行モードを動的かつ自由に変更できる機能である。この機能により、入出力を制御するプログラムをプロセスとして動作させることが可能になり、信頼性レベルの異なるプログラムの共存制御を行うことで、頑健性が高いシステムを構築できる。ゼロコピー通信機能は、プログラム間のデータ授受をゼロコピーで高速に行える機能である。適応制御機能は、システムの変化に合わせてソフトウェアの機能や構成を自動的に適応させる機能である。

3. 研究の方法

研究は、大きく二段階に分けて行う。これにより、計画途中での機能や構造の修正に対応できる。各開発ステップの概要を以下に示す。

(ステップ1) カーネルの基本動作、および走行モード変更機能とゼロコピー通信機能を実現する。

(ステップ2) カーネルの拡張動作、および適応制御機能を実現する。

平成18年度は(ステップ1)、平成19年度以降は(ステップ2)を遂行する。

4. 研究成果

本研究課題は、動作を支える基本的機能に加え、主な成果として、走行モード変更、ゼロコピー通信、および適応制御の機能がある。これらについて、以降に説明する。

(1) 基本的機能

動作を支える基本的機能を実現した。そのプログラムは、OSとサービスからなる。OSは、内コアとプロセスとして動作する外コアからなる。サービスは、プロセスからなる。内コアは、最小のシステムの動作を保証するプログラム部分である。外コアは、適応したシステムに必須なプログラム部分であり、動的に再構成可能な構造を有する。サービスは、サービスを提供するプログラム部分である。

プログラム動作の信頼性を確保するため、

記憶空間の分離と後作成プログラム(後述)の外コア実行を実現した。具体的には、内コアはカーネル空間で実行し、サービスと外コアはプロセス空間で実行する。これにより、内コアを保護する。さらに、サービスと外コアの間および外コア間を保護するため、プロセス空間は多重仮想記憶とした。また、ドライバなどのようなプログラムは、新たな入力ハードウェアの登場と共に順次開発される。このため、OSの開発当初ではなく、後から開発されたプログラムを後作成プログラムとして区別する。多くの場合、ソフトウェアの開発においては、開発初期に開発されたプログラムに比べ、後作成プログラムは低品質な場合が多い。また、開発者によりソフトウェアの品質が大きく異なることは言うまでもない。したがって、開発時期の違いやドライバ開発元の違いにより、その信頼性(ソフトウェア品質)には大きな差が生じてしまう。そこで、ドライバなどのようなプログラムは外コアとして実行し、多重仮想記憶による相互保護を行うこととした。これにより、異なる信頼性を有するプログラムの共存制御が可能になった。

また、プログラム実行におけるオーバーヘッドを削減し、プログラムの処理性能を向上させるため、走行モードの変更とゼロコピーによるプログラム間通信を実現した。

信頼性が高くかつ頻繁利用される外コアのプログラムは、スーパーバイザモードで実行する。スーパーバイザモードで実行することにより、外コアのプロセスの内コア呼び出しを直接行える。つまり、例外を発生させることなく、関数呼び出しでジャンプ命令のように呼び出すことができる。これにより、外コアと内コアの連携を高速化でき、ドライバ処理の高性能化を実現した。また、サービス提供を適切に行うためには、サービスを提供するプロセスとドライバプロセスの高速な連携が必要である。具体的には、両プロセス間での高速なデータ授受(高速IPC)が必要である。さらに、プロセスと内コア間の高速なデータ授受も必要である。そこで、プログラム

間のデータ授受をメモリマッピングで提供した。これにより、データ授受できるデータの基本単位は、MMU ハードウェアのページに制限されるものの、高速な通信を可能にした。

(2) 走行モード変更機能

プロセスの高速な実行を可能にするため、走行モード変更機能を実現した。本機能は、他プロセス空間プログラムの走行モードを、ユーザモードからスーパーバイザモードへ変更、あるいはスーパーバイザモードをユーザモードへ変更する機能である。つまり、変更の指示により、プロセス空間プログラムの走行モードを変更し、変更されたプログラムと内コアの連携方式を変更する。

プロセス空間プログラムがユーザモード走行の場合、内コア呼び出しは例外を利用し、内コアからの呼び出しはプロセス割込みを利用する。これに対し、プロセス空間プログラムがスーパーバイザモード走行の場合、内コア呼び出しは関数呼び出しであり、内コアからの呼び出しも同様である。したがって、プロセス空間プログラムをスーパーバイザモード走行させることにより、プロセス空間プログラムと内コア間の連携オーバーヘッドを大きく削減できた。

(3) ゼロコピー通信機能

プロセスと内コア間あるいはプロセス間の通信を高速化するため、ゼロコピーでのデータ授受機能を実現した。これには、大きく2つの機能（ページ単位による領域の確保と解放、および2仮想空間の間での領域の貼り替え）がある。

具体的には、プロセスと内コア間あるいはプロセス間で授受を行うデータについては、ページ単位で管理される領域にデータを格納して、通信を行う。この領域をコア間通信データ域（IC 域：Inter-core Communication Area）と名付ける。IC 域は、内コアにより管理する。

また、プロセスと内コア間あるいはプロセス間でのデータ授受において、データの複写を避けるため、IC 域に格納されたデータは、仮想空間のマッピング表を書き換えること

によりデータを授受する。これを IC 域の貼り替えと名付ける。IC 域はページ単位であるため、このような貼り替えが可能である。

したがって、プロセスが内コアの機能を呼び出す際に渡すデータは、プロセスの仮想空間にある IC 域を内コアの仮想空間に貼り替える。一方、内コアがプロセスに実行結果を返却する際に渡すデータは、内コアの仮想空間にある IC 域をプロセスの仮想空間に貼り替える。また、プロセス間通信を行う場合、送信プロセスの仮想空間にある IC 域を受信プロセスの仮想空間に貼り替える。

つまり、通信する2つのプログラム間でのデータ授受を2仮想空間の間での IC 域の貼り替えにより実現し、ゼロコピー通信を実現した。

(4) 適応制御機能

適応制御機能として、過去のプログラム利用履歴の管理機能を実現し、ドライバプログラムへの適用効果を明らかにした。

具体的には、ドライバプログラムの利用履歴として、次の4つの情報を収集管理する。履歴収集期間は、動作履歴を収集している期間である。利用開始時間は、デバイス検出されたからの最初の利用開始要求が来るまでの時間である。利用度は、一定時間内の利用開始の回数である。非利用時間は、最後に利用されてから現時刻までの時間である。

次に、各情報に閾値を設定し、制御内容を選択する。制御内容として、次の5つがある。事前読込は、デバイス検出前にドライバを読み込み、デバイス検出時にドライバを初期化する。即時起動は、デバイス検出時にドライバを読み込み、初期化する。遅延起動は、デバイス検出時にドライバを読み込まず、その後の空き時間に読み込みと初期化を行う。利用要求時起動は、AP から利用開始要求が来た時にドライバを読み込み、初期化する。自動削除は、利用終了要求後にドライバを終了させる。

閾値を算術平均とした評価により、初期状態からの適応は早いことを明らかにした。つまり、計算機の立ち上がり時間短縮に大きく貢献する。また、自動削除は、利用回数を記録しておく期間を一回の計算機の動作時間より短くした時に起こり得ることを示した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 6 件)

[1] 藤原康行, 岡本幸大, 田端利宏, 乃村能成, 谷口秀夫, “AnT における OS サーバ入れ替え機能,” マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, 査読あり, vol. 2008, no. 14, pp. 201-206 (2008. 12).

[2] 横山和俊, 乃村能成, 谷口秀夫, 丸山勝巳, “応用プログラムの走行モード変更を可能にするプロセス制御機構,” 電子情報通信学会論文誌(D), 査読あり, vol. J91-D, no. 3, pp. 696-708 (2008. 03).

[3] 田端利宏, 小峠みゆき, 乃村能成, 谷口秀夫, “ファイルの格納ディレクトリを考慮したバッファキャッシュ制御法の実現と評価,” 電子情報通信学会論文誌(D), 査読あり, vol. J91-D, no. 2, pp. 435-448 (2008. 02).

[4] 野村裕佑, 岡本幸大, 乃村能成, 谷口秀夫, 横山和俊, 丸山勝巳, “デバイスドライバのプロセス化の実現と評価,” コンピュータシステム・シンポジウム論文集, 査読あり, vol. 2006, no. 14, pp. 45-52 (2006. 11).

[学会発表] (計 35 件)

[1] 滝口真一, 谷口秀夫, “出入力機器の動作履歴を考慮したドライバプログラム起動制御法の評価,” 電子情報通信学会 信学技報 組込技術とネットワークに関するワークショップ ETNET2009 (2009. 03. 06) 佐渡島開発総合センター

[2] 岡本幸大, 谷口秀夫, “AnT におけるサーバプログラム間通信機構の評価,” 情報処理学会研究報告 2008-EVA-27, vol. 2008,

no. 119, pp. 19-24 (2008. 12. 01). 長崎大学

[3] 野村裕佑, 谷口秀夫, “AnT におけるファイル管理サーバの設計,” 情報処理学会研究報告 2008-OS-109, vol. 2008, no. 77, pp. 53-60 (2008. 08. 07). 佐賀

[4] 仁科匡人, 梅本昌典, 谷口秀夫, 横山和俊, “AnT における走行モード変更機構でのカーネル保護法,” 電子情報通信学会技術研究報告 CPSY2007-34, pp. 57-62 (2007. 10. 26). 熊本大学

[5] 梅本昌典, 田端利宏, 乃村能成, 谷口秀夫, “AnT オペレーティングシステムにおけるメモリ領域管理の設計と実現,” 情報処理学会研究報告 2007-OS-104, pp. 33-40 (2007. 01. 30). 立命館大学

[6] 谷口秀夫, 乃村能成, 田端利宏, 安達俊光, 野村裕佑, 梅本昌典, 仁科匡人, “適応性と堅牢性をあわせもつ AnT オペレーティングシステム,” 情報処理学会研究会報告, vol. 2006-OS-103, pp. 71-78 (2006. 07. 31) 高知商工会館

[その他]

以下のホームページで本研究課題に関連する研究の内容を公表している。

<http://www.swlab.cs.okayama-u.ac.jp/lab/tani/research/AnT/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷口 秀夫 (TANIGUCHI HIDEO)

岡山大学・大学院自然科学研究科・教授
研究者番号：70253507

(2) 研究分担者

田端 利宏 (TABATA TOSHIHIRO)

岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授
研究者番号：80359942

乃村 能成 (NOMURA YOSHINARI)

岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授
研究者番号：70274496