

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24300008

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開発

研究課題名(英文) Development of fundamental software with adaptability and toughness

研究代表者

谷口 秀夫 (TANIGUCHI, HIDEO)

岡山大学・自然科学研究科・教授

研究者番号：70253507

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,600,000円

研究成果の概要(和文)：適応性と頑健性を有する基本ソフトウェアを開発するために、マイクロカーネルOSの機能について研究を行った。これらの機能は、OSの多くの機能を提供するOSサーバを入れ替える機能、OSサーバ間的高速通信機能、OSサーバの負荷分散機能、異なるOSの共存手法とシステムコール代行処理依頼を行う機構を実現する。これらの研究成果により、OSサーバ入替えの有効性やOSサーバ間的高速通信や負荷分散による処理時間の短縮効果を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In order to develop fundamental software with adaptability and toughness, we studied some functions of microkernel OS. These functions include OS server replacement function, fast communication function between OS servers, load distribution function of OS server, and coexisting function of different OSes and system-call delegation function. Evaluation results of these functions show that effectiveness of OS server replacement and reduction of processing time by fast communication and load distribution of OS servers.

研究分野：オペレーティングシステム

キーワード：基盤ソフトウェア オペレーティングシステム ゼロコピー通信 マイクロカーネル 高速サーバ間連携 ドライバプロセス 入替え

1. 研究開始当初の背景

現在、計算機の基盤ソフトウェア (OS) を「使い方」に合わせて多数の種類を用意することは困難であり、Linux や Windows といった OS を利用している。これらの OS は、モノリシックカーネル構造であるため、一つの計算機が必要とするサービスの種類は限られているにもかかわらず、提供しないサービスが必要とする OS 機能 (不要機能) を OS が保有することが少なくない。このため、以下の欠点がある。

(1) 「使い方」に対し適用性が低い。このため、不要機能が、外部記憶装置やメモリを圧迫し、さらに計算機の起動時間を長大化させる。また、モノリシックカーネル構造の OS は、不具合などによる OS 機能の組み込み取外しの工数が大きい。

(2) 低品質なドライバプログラムも組み込んでしまうと、OS の頑健性が低下。PnP 機能は便利な機能であるが、ドライバプログラムの組み込みは容易であるが取外しできない。

上記の問題を解決する OS 構造として、マイクロカーネル構造がある。この構造の OS は、OS の最小機能をマイクロカーネルとして構築し、多くの OS 機能を OS サーバとして実現する。このため、OS がサービスに必要な機能 (必要 OS サーバ) のみで構成できる高い適応性を有する (欠点 1 を解決) 。

しかし、OS サーバ間の通信が多発し性能が低下する問題がある (問題 1)。また、不具合などによる OS 機能の組み込み取外しを OS サーバの交換でき、OS の頑健性の低下を抑制できる (欠点 2 を解決)。しかし、OS サーバの交換時には OS サーバのサービス停止が必要であり、サービスに大きな影響を与えてしまう問題がある (問題 2)。

一方、既存のソフトウェア資産を有効に活用することは、多大な工数の削減になる。特に、膨大な量の既存ドライバプログラムの利用は効果大きい。しかし、多くのドライバプログラムを利用することは、「開発元の異なるソフトウェアが一つの計算機上で動く、つまり信頼性レベルの異なるプログラムが一つの計算機上で動く」ことを意味する。これを可能にするには、信頼性レベルの異なるプログラムの共存制御が必要である (要求) 。

2. 研究の目的

上記の背景を踏まえ、本研究課題の目的は、3 年の間 (2012 年 ~ 2014 年) に、以下の 3 つの機能の技術を確立し、適応性と頑健性を有する基本ソフトウェアを開発することである。

(1) マイクロカーネル構造の OS について、OS サーバ間的高速通信機能

(2) OS サーバの再構成を自動的に行う適応制御機能

(3) サービス停止を伴わない OS サーバ交換機能

さらに、既存 OS のソフトウェアを有効利用するために、Linux の LKM ドライバを OS サーバとして動作させるドライバプロセス機能の技術を確立する。なお、信頼性レベルの異なるプログラムの共存制御は適応制御機能の一部として実現する。

これにより、上記の (問題 1) と (問題 2) に対処し、(要求) を満足する技術を確立する。

3. 研究の方法

研究環境の整備とともに、上記の問題と要求を満足するために、いくつかの機能を提案し、その有効性を評価する。

(1) OS サーバ間的高速通信機能については、異なる種類の OS サーバ処理間でファイルキャッシュの一部を共有し連携させることで、高速なファイル転送方式を設計し、設計した方式を評価し、有効性を明らかにする。また、マルチコア計算機を対象として、OS サーバを分散した形態で効率的な負荷分散処理を実現するサーバ間通信機構を検討する。

(2) 比較的低機能な MMU を対象とした OS サーバ間的高速な通信機能については、SH-4 プロセッサにおいて高速通信機構を提案した。この機構は、MMU をソフトウェアで制御できることを活用した方式である。提案機構の有効性を明確にするため、通信処理とファイル転送処理で評価する。

(3) ファイル入出力におけるサーバ間通信のオーバヘッドを低減する手法として、プロセスとファイルキャッシュを共有する新しい機能 (オンメモリファイル機能と命名) を提案し、試作と評価を行う。

(4) マルチコアプロセッサにおける OS サーバの負荷分散機能として、OS サーバをコア間で移動させる機能を設計し、その設計に基づく処理プログラムを作成し、その動作を確認した。また、複数の OS サーバから構成されるファイル操作処理に提案した負荷分散機能を適用し、有効性を評価する。

(5) ドライバプロセス機能については、ドライバプロセスの入替え機能についても検討を進め、入替え機構を試作し評価した。

(6) Linux と *AnT* オペレーティングシステムの混載による連携機能について、マルチコア計算機において、Linux と *AnT* を同時に起動可能な混載方式を設計する。また、*AnT* から Linux のシステムコールを代行実行可能とする OS 間連携機構を設計する。また、実現の工数とシステムコール代行処理の性能を評価し、提案方式の有効性を明確にする。

(7) マイクロカーネル構造でない OS についても関連技術の試作を行い、比較する。

4. 研究成果

本研究課題の成果は、以下の通りである。

- (1) OS サーバ間高速通信機能の成果として、試作を行い、OS サーバ間でファイルキャッシュの一部を共有することにより、処理時間を短縮できる効果を確認した。また、マルチコア計算機を対象として、OS サーバを分散した形態で効率的な負荷分散処理を設計した。
- (2) 比較的低機能な MMU を対象とした OS サーバ間高速通信機能について、マイクロカーネル OS における TLB のソフトウェア制御法を提案した。提案制御法の適用により、OS サーバ間のデータ保護を保ちつつ高速な通信を実現できることを示した。TCP/IP 通信性能を評価し、モノリシックカーネルと同等の出せることを確認した。また、ファイルサーバのファイル転送処理において評価し、転送処理性能を向上できること、および TLB ミスと処理時間の関係を明確にした。
- (3) ファイル入出力におけるサーバ間通信のオーバーヘッドを低減する手法として、プロセスとファイルキャッシュを共有する新しい機能を実現し、その基本評価を行い、有効性を示した。
- (4) マルチコアプロセッサにおける OS サーバ負荷分散機能の成果として、複数のコアに負荷分散することにより通信性能を向上できることを確認した。また、複数 OS サーバにより構成されるファイル操作処理に提案方式を適用し、OS サーバを分散することにより、性能向上できることを示した。
- (5) ドライバプロセス機能については、ドライバプロセスの入れ替え機能について基本方式を明らかにした。また、入れ替え機能を実装し、その入れ替え時間が十分短いことを示した。
- (6) Linux と *AnT* オペレーティングシステムの混載による連携機能について、Linux と *AnT* を同時に起動可能な方式を検討し、実現方式を明らかにした。また、*AnT* から Linux のシステムコールを代行実行する方式を OS 間連携処理機構を実現し、評価により、実現の工数が許容でき、オーバーヘッドはそれほど大きくないことを示した。
- (7) マイクロカーネル構造でない OS について、複数 OS を同時に起動可能とする Mint 方式について、コア管理方式、実メモリの分配と移譲方式について設計し、評価した。また、この Mint 方式を Linux と *AnT* オペレーティングシステムの混載に用いた。さらに、マルチコアを対象としたモノリシックカーネルの性能向上手法について研究し、コア当たりの性能向上を実現した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計8件)

- [1] 蓮岡 宜明, 鶴谷 昌弘, 山内 利宏, 谷口 秀夫, *AnT* オペレーティングシステムにおけるドライバプロセス入れ替え機能, マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, vol.2012, no.4, pp.202-209 (2012.10). 査読有
- [2] 柘田 圭祐, 谷口 秀夫, プロセスとファイルキャッシュを共有するオンメモリファイル機能の提案, コンピュータシステム・シンポジウム論文集, vol.2012, pp.25-32 (2012.12). 査読有
- [3] Yuuki Furukawa, Toshihiro Yamauchi, Hideo Taniguchi, Novel Control Method for Preventing Missed Deadlines in Periodic Scheduling, Proceedings of the 2012 15th International Conference on Network-Based Information Systems, pp.459-464 (2012.09). 査読有
- [4] 佐古田 健志, 山内 利宏, 谷口 秀夫, 高スループットを実現する OS 処理分散法の実現, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM02013) シンポジウム論文集, vol.2013, no.2, pp.1663-1670 (2013.07). 査読有
- [5] Takeshi Sakoda, Toshihiro Yamauchi, Hideo Taniguchi, Evaluation of Load Balancing in Multicore Processor for *AnT*, Proceedings of the 2013 16th International Conference on Network-Based Information Systems, pp.360-365 (2013.09). 査読有
- [6] 山本 貴大, 山内 利宏, 谷口 秀夫, 排他制御を局所化するマルチコア向け *Tender* の実現, 情報処理学会 コンピュータシステム・シンポジウム (ComSys2013) 論文集, vol.2013, pp.14-23 (2013.12). 査読有
- [7] 鶴谷昌弘, 山内利宏, 谷口秀夫, マイクロカーネル OS における TLB のソフトウェア制御法の実現と評価, 電子情報通信学会論文誌 D, vol.J97-D, no.1, pp.216-225 (2014.01). 査読有
- [8] 山本貴大, 山内利宏, 谷口秀夫, 資源の独立化機構により排他制御を局所化するマルチコア向け *Tender* の実現, 情報処理学会論文誌 コンピューティングシステム(ACS), vol.7, no.3, pp.25-36 (2014.08). 査読有

[学会発表](計24件)

- [1] 佐古田 健志, 柘田 圭祐, 井上 喜弘, 谷口 秀夫, マルチコア *AnT* における処理分散機能, 2012 年並列/分散/協調処理に関する『鳥取』サマー・ワークショップ(SWoPP 鳥取 2012), 2012 年 8

- 月1日, とりぎん文化会館
- [2] 山本 貴大, 長井 健悟, 山内 利宏, 谷口 秀夫, マルチコア *Tender* の開発, 2012年並列/分散/協調処理に関する『鳥取』サマー・ワークショップ(SWoPP鳥取2012), 2012年8月1日, とりぎん文化会館
- [3] 池田 騰, 乃村 能成, 谷口 秀夫, Mintオペレーティングシステムにおけるコア管理機能の実現, 2012年並列/分散/協調処理に関する『鳥取』サマー・ワークショップ(SWoPP鳥取2012), 2012年8月1日, とりぎん文化会館
- [4] 宮崎 清人, 乃村 能成, 谷口 秀夫, Mintオペレーティングシステムにおける実メモリ分配法, 2012年並列/分散/協調処理に関する『鳥取』サマー・ワークショップ(SWoPP鳥取2012), 2012年8月2日, とりぎん文化会館
- [5] 佐古田 健志, 枘田 圭祐, 蓮岡 宣明, 山内 利宏, 谷口 秀夫, *AnT* オペレーティングシステムにおけるマルチコア環境での負荷分散評価, 第152回マルチメディア通信と分散処理研究会, 2012年9月14日, 尾道市民公会堂別館
- [6] 鶴谷 昌弘, 山内 利宏, 谷口 秀夫, *AnT* オペレーティングシステムにおける低機能MMUの制御法, 情報処理学会第124回システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会, 2013年3月1日, 岡山コンベンションセンター
- [7] 宮崎 清人, 乃村 能成, 谷口 秀夫, Mintオペレーティングシステムにおける実メモリの分配と移譲, 情報処理学会第124回システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会, 2013年3月1日, 岡山コンベンションセンター
- [8] 仲尾和祥, 乃村能成, 谷口秀夫, Mintオペレーティングシステム上のKVMの評価, 情報処理学会第125回システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会, 2013年4月26日, 那覇市IT創造館
- [9] 松井 宏亮, 山内 利宏, 谷口 秀夫, *AnT* オペレーティングシステムにおける高速ファイル転送処理機構, 情報処理学会第125回システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会, 2013年4月26日, 那覇市IT創造館
- [10] 山本 貴大, 山内 利宏, 谷口 秀夫, マルチコア *Tender* における排他制御の細粒度化による並列性向上手法, 2013年並列/分散/協調処理に関する『北九州』サマー・ワークショップ(SWoPP北九州2013), 2013年8月1日, 北九州国際会議場
- [11] 北川 初音, 乃村 能成, 谷口 秀夫, Mint: Linuxをベースとした複数OS混載方式の提案, 2013年並列/分散/協調処理に関する『北九州』サマー・ワークショップ(SWoPP北九州2013), 2013年8月1日, 北九州国際会議場
- [12] 佐古田 健志, 山内 利宏, 谷口 秀夫, OS処理の分散を可能にするマルチコア向けマイクロカーネル構造 OSの評価, 組込み技術とネットワークに関するワークショップ ETNET2014, 2014年3月16日, ICT文化ホール
- [13] 山本 貴大, 山内 利宏, 谷口 秀夫, マルチコア *Tender* における性能向上率の評価, 組込み技術とネットワークに関するワークショップ ETNET2014, 2014年3月16日, ICT文化ホール
- [14] 福島有輝, 山内利宏, 谷口秀夫, Linuxと*AnT*オペレーティングシステムの混載システム, 情報処理学会第129回システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会, 2014年5月15日, 沖縄船員会館
- [15] 福島 有輝, 山内 利宏, 谷口 秀夫, Linuxと*AnT*オペレーティングシステムの混載と連携, 第161回マルチメディア通信と分散処理研究会(DPS)・第65回電子化知財財産・社会基盤研究会(EIP)合同研究発表会, 2014年9月19日, 東海大学 熊本キャンパス
- [16] 堀井 基史, 山内 利宏, 谷口 秀夫, *Tender* におけるコアごとに資源を用意し個別に管理するOS構造の設計, 情報処理学会第131回システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会, 2014年11月18日, 芝浦工業大学
- [17] 江原 寛人, 河上 裕太, 山内 利宏, 谷口 秀夫, ファイル操作に着目したOS処理分散法, 第132回システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会, 2015年2月27日, 長崎大学
- [18] 河上 裕太, 山内 利宏, 谷口 秀夫, *AnT* オペレーティングシステムにおける効率的なサーバ間通信機構, 第132回システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会, 2015年2月27日, 長崎大学
- [19] 福島 有輝, 山内 利宏, 乃村 能成, 谷口 秀夫, Linuxと*AnT*オペレーティングシステムの連携機構の評価, 第132回システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会, 2015年2月27日, 長崎大学
- 〔図書〕(計0件)
- 〔産業財産権〕
出願状況(計0件)
- 取得状況(計0件)
- 〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷口 秀夫 (TANIGUCHI HIDEO)

岡山大学・理事・副学長

研究者番号：70253507

(2) 研究分担者

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

山内 利宏 (YAMAUCHI TOSHIHIRO)

岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授

研究者番号：80359942

(3) 連携研究者

該当者なし