

MKng: 次世代マイクロカーネル研究プロジェクトの概要†

1 Z-2 徳田 英幸* 追川 修一** 西尾 信彦* 萩野 達也* 斎藤 信男*

*慶應義塾大学環境情報学部 **カーネギーメロン大学計算機科学部

1 はじめに

慶應義塾大学環境情報学部における次世代マイクロカーネル研究プロジェクト (MKng プロジェクト) は、1996年から参加企業10社、3大学とともにスタートした。本プロジェクトは、慶應義塾大学が中心となって開発している分散実時間マイクロカーネル技術、および、IPA 開放型基盤ソフトウェア研究開発評価事業「マルチメディア統合環境基盤ソフトウェア」プロジェクト [11] で開発したマルチメディア拡張機能を踏まえ、分散/並列システム、マルチコンピュータシステム、組み込みシステム、リアルタイムシステム、高速ネットワークシステムやモバイルシステムに応用するための基盤ソフトウェアとしての次世代マイクロカーネル技術の研究開発、評価、普及拡大を目的としている。

本論文では、MKng プロジェクトの概要およびプロジェクトで開発されている諸技術について解説する。

2 MKng プロジェクトの概要

本プロジェクトでは、新しいマイクロカーネル技術を中心に、次世代のオペレーティングシステムの動的構成法/再構成法や新しいシステムソフトウェアの動的適応可能型アーキテクチャに関する研究開発を行なっている。これからのモバイル、リアルタイム、超分散/超並列アプリケーションシステムを構築していく上で、最適化されたコンピューティング環境を実現するためのマイクロカーネル技術を構築している。

本プロジェクトは、次の3つのタスクから構成される。

- Task A: 次世代マイクロカーネルアーキテクチャの研究開発
- Task B: マイクロカーネルの評価実験
- Task C: エンジニアリング

Task A では、マイクロカーネルを幅広いアプリケーションに適用させるため、カーネルの構造を再構成し、ダイナミックオブジェクト¹を扱える様に、新しいパラダイムとしてマイクロカーネルトレイと LKM (Loadable/Unloadable Kernel Module) を採用し、動的再構成を可能としている。

Task B は、次世代マイクロカーネルアーキテクチャをモバイルシステム、マルチコンピュータシステム、マルチメディアアプリケーション、リアルタイムシステム、Keio Media Space Board/Navigator, Keio Information Super-Highway などのシステムやアプリケーション領域で実証/評価実験を行なっている。

Task C では、SPARC, PowerPC, MIPS といった RISC プロセッサ上に、次世代マイクロカーネルを移植し、アプリケーションに最適なハードウェアプラットフォームで実行可能とすることをめざしている。

Overview of the MKng (Micro Kernel next generation) project
Hideyuki TOKUDA*, Shuichi OIKAWA**, Nobuhiko NISHIO*,
Tatsuya HAGINO*, Nobuo SAITO*

*Faculty of Environmental Information, Keio University

5322 Endoh Fujisawa Kanagawa 252, Japan

E-Mail: {hxt, vino, hagin, ns}@sfc.keio.ac.jp

**School of Computer Science, Carnegie Mellon University

E-Mail: shui+@cs.cmu.edu

†この研究は、情報処理振興事業協会 (IPA) が実施している創造的ソフトウェア育成事業「次世代マイクロカーネル研究プロジェクト」のもとに行われた。

¹カーネル内と外でオブジェクトの動的な交換、動作中にシステムの一部の切り出しや再接続を可能とする

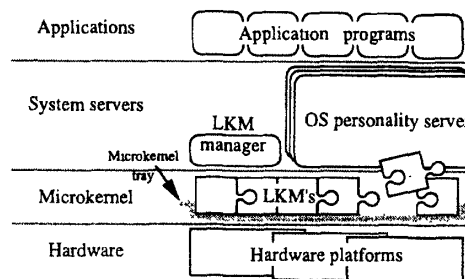


図 1: MKng におけるマイクロカーネルトレイと LKM

2.1 研究課題および成果

マイクロカーネルアーキテクチャ

Real-Time Mach マイクロカーネル RMK95 をベースに、マイクロカーネルの動的構成法、再構成法、動的適応可能型アーキテクチャに関して研究開発を行なっている [9]。マイクロカーネルの動的適応を支援するためのマイクロカーネルレイアーキテクチャ [7] の設計が完了し、現在、様々なレベルでの実装を行なっている。動的にマイクロカーネル内にロード/アンロードできるモジュールを LKM (ロードブルカーネルモジュール) と呼び、LKM マネージャにより管理されている (図 1)。LKM マネージャは、インメモリオブジェクトサーバ、名前管理サーバ、オブジェクトローダから構成されている。

組み込み型システム技術

マルチメディアシステムや携帯端末への適用が可能な組み込み型リアルタイムカーネルアーキテクチャを構築している。マイクロカーネルをさらに縮小し、メモリの少ない環境での実行を可能とした小型 IPC [12] やリアルタイム Java [6] などを開発している。また、携帯端末用にメモリの枯渇を可能な限り遅延とするメカニズム、メモリ資源の圧縮技術、UNIX サーバを必要としない TCP/IP ネットワークサーバの開発も行なわれ、カーネルのスリム化が進んでいる。

リアルタイム技術

リアルタイムサーバ、リアルタイム IPC、リアルタイムスレッドなどの機能の実装がされ、実際のアプリケーションの開発に利用されている。ネットワークプロトコル処理の予約・保証機能や、マルチメディアアプリケーションの実行に必要な資源を安定供給するための機能としてプロセッサ予約・保証機能が実現されている。リアルタイム通信に関しては、次世代インターネットプロトコルを実験するための IPv6 サーバや、連続メディア用マルチキャスト通信プロトコル [10] がマイクロカーネル上に実装された。

マルチコンピュータアーキテクチャ

高速な ATM スイッチを中心に高性能なワークステーションを複数台 LAN 結合したマルチコンピュータアーキテクチャに適したマイクロカーネルアーキテクチャを開発している。特に、高速なインタースイッチ間でのメッセージ通信機構や分散共有メモリ機構を構築している。マルチコンピュータの実験プラットフォームの一つとして、SPARCstation20 を ATM スイッチで結合した構成で実験が進んでいる。

また、マルチコンピュータ上のアプリケーションの一つとして、VODサーバを実験的に実装している [8]。このシステムでは、各ノード間のコミュニケーションに用いられる Myrinet ドライバの開発、および PCI バス経由の SCSI デバイスドライバの開発はほぼ完了し、現在それらを利用し複数チャネルの同時サポートを効率良くマルチ化する VOD サーバアーキテクチャの実装評価中である。

モバイル環境

従来のマイクロカーネルでは取り扱われていなかった PCMCIA カードのようなハードウェア機器構成を動的に変更できるハードウェア環境に対応できるようなメカニズムとして FreeBSD 上で開発された PCMCIA カードの管理機能を持つ PAO が移植された。これまでに、LAN、モデム、フラッシュメモリ、SCSI、GPS、ビデオキャプチャなどの PC カードをサポートできるようになっている。

また、性能評価をもとに、無線 LAN 用のデバイスドライバを最新のマイクロカーネル上に開発した。モバイル環境において使用される、無線 LAN 特有の通信特性に適した ECS (Error Characteristics Sensitive) [4] と呼ぶ、新しい TCP の Congestion 制御方法を開発し、この実装評価を行なった。

さらに無線 LAN、有線 LAN などの複数のネットワークインタフェースの切替を透過的にサポートし、連続性のある操作環境を実現するメカニズムの実装もしている。

高速ネットワーク技術

ATM などの高速ネットワークに関しては RT-Mach 上に ATM ドライバが開発され、ATM-WAN、ATM-WAN と無線 LAN の接続環境における評価が行なっている。また ATM ベースの高速ネットワークを有効に利用する連続メディア QOS 制御を行なう機能も設計し、実装中である。

ATM ドライバ内にも QOS 制御されたバッファ管理メカニズムを実験的に導入し、その有効性を検証している。

更に、ネットワークプロトコル実装として IPv6 をサーバとして実装した。ここでは、実際のデータ転送をライブラリ経由で行なえるようにして、サーバアーキテクチャのオーバヘッドを軽減している。現在、QOS 制御のためのフロッソベックなどの実装を行なっている。

知的協調作業環境

ネットワーク接続された複数のコンピュータ上で設定した利用状況、利用形態におけるマイクロカーネルアーキテクチャの実証評価を行なうため知的協調作業環境 (Media Space) の構築を行ない、マイクロカーネル上に Keio Media Space Board (KMSB) と Keio Media Space Navigator (KMSN) という 2 種類のアプリケーションが実装された [13]。KMSB は共用利用を目的とした仮想大型ディスプレイ端末上で従来のホワイトボードや掲示板の働きをする。KMSN は個人利用を目的としたモバイル端末上で動作し、Media Space 内を移動するときの知的ヘルパの役割をする。

移植作業

SPARC プラットフォームの開発環境として SuperSPARC アーキテクチャを採用する SPARCstation20 を使用した。現在は、RT-Mach の実装が完了しており、4.4BSD Lite サーバの移植を行なっている。MIPS アーキテクチャの開発環境は R4400 を採用する NEWS 5000X と、マルチプロセッサアーキテクチャである MIPS R10000 を採用する NEWS 7000 を使用し、NEWS 5000X にて現在 Mach3 0 マイクロカーネルと UNIX サーバが動作している。Pentium プラットフォームでは FreeBSD 共存化機能により FreeBSD と RT-Mach + 4.4 BSD Lite サーバのファイルシステムを共有することが可能になった。また Lite サーバの高速化も図られソフトウェア開発環境としても現在使用している。

3 関連プロジェクト

カーネギーメロン大学の Mach プロジェクト [2]、RT-Mach プロジェクト [5] は、本プロジェクトで開発しているマイクロカーネルの開発ベースを提供している。しかし、本プロジェクトで行なっているマイクロカーネル自身を動的適応可能に変更することは、研究されていなかった。また、フランスの Chorus 社の Chorus カーネルは、単一の OS パーソナリティモジュールのみをサポートしているが、MKng では、複数の OS パーソナリティモジュールを同時にサポートすることが可能である。

再構成や拡張可能なマイクロカーネルアーキテクチャに関しては、University of Washington の SPIN プロジェクト [1]、MIT の Exokernel プロジェクト [3]、Open Software Foundation/Research Institute など研究開発が進められてきている。しかし、多くの場合、従来カーネル内に存在していた機能をカーネル外のユーザレベル・サーバとして実現する方式やサーバをカーネル内に移動する方式なども提案されているが、任意のカーネルモジュールを動的に再構成する方式に関しては、アイデア段階に留まっている。MKng では、カーネル内のモジュールをポリシーとメカニズムを分離する観点から従来モノリシックに構成されていたカーネル内モジュールをさらに再構成可能な部品とすることを実現する。

4 おわりに

本稿では、MKng プロジェクトの研究概要について報告した。本プロジェクトでは、アプリケーション、ハードウェア、ネットワーク構成など個々のシステム特性に対し、動的に適応可能なカーネルアーキテクチャを開発し、モバイルシステムからスケラブルな並列/分散システムまでを統合したコンピューティング環境を容易に実現することをめざしている。特に、様々なアプリケーションの要求やプラットフォームに対応できるようにマイクロカーネルレイと LKM を用いて動的再構成可能なマイクロカーネルアーキテクチャを採用し、実装をすすめている。また、実際の適応性を検証するために、次世代マイクロカーネルを SPARC、PowerPC、MIPS などの RISC アーキテクチャマシンへ移植し、機能の評価を行なっている。

本プロジェクトの詳細に関しては、<http://www.mkg.sfc.keio.ac.jp/> を参照して頂けると幸いである。

謝辞

本プロジェクトを遂行するにあたり、日頃から協力して頂いている MKng プロジェクトのメンバーの皆様へ感謝致します。

参考文献

- [1] B. Bershad, et al.: "Extensibility, Safety and Performance in the SPIN Operating System," In Proc. of the 15th ACM SOSP, Copper Mountain, CO pp. 267-284, December 1995
- [2] D. L. Black, et al.: "Microkernel Operating System Architecture and Mach," In Proceedings of the Workshop on Micro-kernels and Other Kernel Architectures, April 1992.
- [3] D.R. Engler, et al.: "Exokernel: An Operating System Architecture for Application-Level Resource Management," In Proc. of the 15th ACM SOSP, Copper Mountain, CO, pp. 251-266, December 1995
- [4] Y. Tamura et al. ECS: A Congestion Control Scheme for TCP in a 2.4GHz Wireless Link. Technical report, MKng Project, September 1997.
- [5] H. Tokuda, T. Nakajima and P. Rao: "Real-Time Mach: Towards a Predictable Real-Time System," In Proc. of the USENIX Mach Workshop, pp.73-82, 1990.
- [6] A. Miyoshi and H. Tokuda. Real-Time Java Server for Real-Time Mach. In Fifth International Workshop on Parallel and Distributed Real-Time Systems, April 1997.
- [7] S. Moriai and H. Tokuda. Dynamic Loadable Object Support for Real-Time Mach Kernels. In Proceedings of International Conference on Worldwide Computing & Its Applications '97, March 1997.
- [8] J. Nishikawa et al., Design and Implementation of Video Server for Mixed-rate Streams. In Proc of 7th International Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video, May 1997.
- [9] S. Oikawa, K. Sugiura, and H. Tokuda. Adaptive Object Management for a Reconfigurable Microkernel. In Proceedings of International Workshop on Object Orientation in Operating Systems, 1996.
- [10] 尾上, 他: "実時間通信のための次世代インターネットプロトコルサーバ," 情報処理学会 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ, 1996
- [11] 徳田, 他: "分散マルチメディア統合環境 Keio-MMP プロジェクトにおける連続メディア処理のためのソフトウェアアーキテクチャ," 第 49 回情報学大会論文集 (7R-04), 1994.
- [12] 黒岩, 石井, 高野, 横田 携帯端末向け小型 IPC の RT-Mach への実装と評価, 第 54 回情報処理学会論文集, 1997
- [13] 須月, 徳田 Keio Media Space Family における目標分散オブジェクトモデル 情報処理学会 コンピュータシステムシンポジウム, 1996