B_029

ヘテロジニアスマルチコアCPUの特性を考慮したOS
An Operating System Design for Heterogeneous Multi-core CPU

東 賢一朗† 小林 良岳† 中山 健‡ 前川 守†
Kenichiro Higashi Yoshitake Kobayashi Ken Nakayama Mamoru Maekawa

1 はじめに

近年，CPUの処理能力を向上すると共に，各コアで動作するタスク毎に異なる管理方針を設定可能という特徴を生かすことで，システムやアプリケーションの多様な要求に応えるため，1つのCPUに異なるアーキテクチャコアを複数搭載した，ヘテロジニアスマルチコアCPUが普及の兆しを見せている．多様な要求に応えることが可能なヘテロジニアスマルチコアCPUは，ハイパフォーマンスコンピューティングの分野だけでなく，一般的なコンピュータや，組み込み分野への応用も期待できる．

しかし現状では，ひとつのOSの管理方針で複数のコアを同じ管理方針で制御しているため，各コアで性質の異なるアプリケーションを実行する場合，アプリケーションの特徴を生かしたコアの管理を行っていない．そのため，多様なアプリケーションの要求に応えることができる，ヘテロジニアスマルチコアCPUの特性を十分に生かせていない．さらに，アプリケーションが主体となり，各コアの制御を細かく設定することも困難である．

そこで本論文では，アプリケーションが主体となり，各コアごとに個別の管理方針を設定可能なOSを提案する．具体的には，

- SPEごとに異なる実行環境を提供する機構
- SPE管理方針を定義する機構

という2つの機能を有するOSを提案する．この2点の機能を利用することにより，ソフトウェア開発者・一般利用者がアプリケーションの特性を生かしたSPE管理を容易に行い，ヘテロジニアスマルチコアCPUの特性を最大限に発揮できる環境を提供する．

2 ヘテロジニアスマルチコアCPUの構成

本研究の目的は，各コアごとに異なる管理方針を持つ事によって，ヘテロジニアスマルチコアCPUの特徴を生かすOSを提供することである．いくつかのヘテロジニアスマルチコアCPUがあるが，本研究ではCBEA[1](Cell Broadband Engine Architecture)を対象に研究を進めている．

CBEAの構成を図1に示す．CBEAは，64ビットPower Architectureを基にした汎用処理用コアであるPowerPC Processor Element(PPE)1基と，CBEA専用に設計した，SIMD(Single Instruction/Multiple Data)型RISCコアであるSynergistic Processor Element(SPE)を8基搭載してある．PPEの役割は，システム全体の制御と，SPEにタスクを割り当てることである．また，SPEは，汎用プロセッサと特殊用途向けハードウェアの中間的なコアである．そのため，SIMD演算に特化した処理を行うが，システム管理機能は実装していない．

CBEA上に搭載してある各コアは，EIB(Element Interconnect Bus)を介してデータ転送を行う．また，各

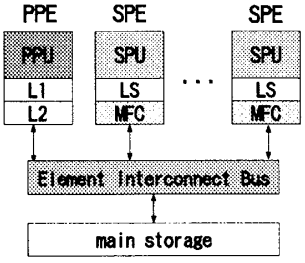

図1: Cell Broadband Engine Architechtureの概要

SPEにはそれぞれ，LS(Local Storage)というメモリがあり，SPEで処理を実行する時は，LSにデータを転送する必要がある．そのため，各SPEには，LSとMain Storage間のデータ転送をサポートする，MFC(Memory Flow Controller)が実装されている．

3 提案システムの設計

SPEアプリケーションの特性を最大限に発揮した処理を行うため，SPEアプリケーションを実行する各コアごとに，最適なSPE管理を施す必要がある．この目的を達成するために，SPEの管理そのものに関わる共通機構と，ソフトウェア開発者・一般ユーザが管理方針を追加・削除可能な機構とを分けて提供することにした．今回提案するシステムでは，

- SPEタスク管理機構
- SPE制御機構群

という機能を実装する．提案システムの概要を，図2に示す．SPEの実行環境提供とSPEタスク管理とを行う「SPEタスク管理機構」と，SPEの実行環境提供やSPEタスク管理以外のOS機能を定義する「SPE制御機構群」という層を提供する．SPEタスク管理機構は，各SPEごとに異なる実行環境を提供する機能を備えており，主にSPEタスクの管理や，各SPE制御機構群との関連性把握などを行う．SPE制御機構群は，各コアごとの利用状況を考慮した，電力管理やLS管理などの各機能を，あらかじめ定義しているものである．

ソフトウェア開発者や一般利用者は，あらかじめ準備してあるSPE制御機構群を，SPEタスク管理機構と関連づけすることによって，各SPEで独自の管理方針を持ったOSを構成することが可能となる．また，必要に応じて，新しいSPE制御機構群を追加することもできる．

以降の節では，特に指定しない限り，SPEタスク管理機構，SPE制御機構群は，単にタスク管理機構，制御機構群として述べることにする．

3.1 タスク管理機構

タスク管理機構は，各SPEごとにそれぞれひとつづつ準備する．各SPEに対応したタスク管理機構を準備する

† 電気通信大学大学院情報システム学研究科情報システム設計学専攻
‡ 電気通信大学eラーニング推進センター

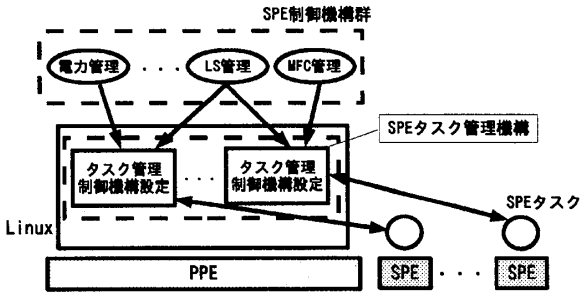

図 2: 提案システムの概要

ことにより，SPEで独立した管理方針を維持することが容易になる．また，8つあるSPEにそれぞれ1つのタスク管理機構で対応する設計にすると，SPEが同時にタスク管理機構にアクセスする可能性があり，排他制御が必要となる．これでは，SPEを効率的に管理できなくなるため，各SPEに対応するタスク管理機構をそれぞれ実装することにした．

SPE管理の基幹部分を担う，タスク管理機構が提供する機能としては，

- SPEタスクの管理
- 制御機構群の構成管理

がある．

タスク管理機構の機能のひとつである，SPEタスク管理では，各SPEのタスク生成・消滅の処理やタスクのスケジューリングを行い，SPE上で実行するSPEタスクの管理を行う．SPEは演算に特化したコアのため，SPE上でのコンテキストスイッチは推奨されていない．そのため，今回提案するシステムのタスクスケジューリングは，FIFOのスケジューリングのみに対応するが，タスク管理機構を各SPEで分離したため，将来的にSPEでのコンテキストスイッチが問題にならなくなった場合，各SPEで異なるタスクスケジューリングを持つことも可能となる．

タスク管理機構の持つ機能の2点目として，制御機構群の構成管理がある．SPEのタスク管理以外のOSの機能は，制御機構群によって提供するため，どの制御機構群が，どのSPEに対応しているか把握しておく必要がある．そのため，タスク管理機構内で，必要となる制御機構群との関連を3.3節で述べる，SPE制御機構構成記述子から把握し，条件に適した場合，必要な制御機構群をタスク管理機構から呼び出すという構造になっている．

3.2 制御機構群

制御機構群は，ソフトウェア開発者や一般利用者が，SPEのLS管理や電力管理などの制御機構を，自由に構成できる層である．各機能ごとに分割された制御機構群は，SPE上で動作するアプリケーションプログラムの要求に応じて，制御機構群利用の指針を，3.3節で述べる，制御機構記述子に定義する．この定義から，該当する制御機構群との関連付けを行う．このことにより，各SPE上で別々の制御機構群を構成することが可能となり，SPEごとに異なる実行環境を構築することができる．

また，この制御機構群では，制御機構の追加や修正が可能であり，容易にSPEプログラムに適したSPE管理方針に変更することができる．

3.3 制御機構記述子

制御機構記述子は，ソフトウェア開発者や一般利用者が，SPEアプリケーションを実行する際，必要となる制御機構群をあらかじめ定義しておく記述子である．3.1節で紹介したタスク管理機構は，制御機構記述子を読み込み，必要となる制御機構群を把握する．次に，タスク管理機構は，該当するSPEタスクを生成する前に，制御機構群を利用して，SPEの環境を整えておく．

一度定義した制御機構記述子は，制御機構群の構成要素を記述しているため，同じ特性を持つアプリケーションで共通に使う事ができる．そのため，ソフトウェア開発者や一般利用者は，制御機構記述子を用いる事によって，どのSPEでも同じ管理方針を容易に構成する事ができる．

4 関連研究

複数の異なるアーキテクチャを有するCBEAで，有効にCBEAを利用するプログラミングモデルが幾つか提案されている[2]．しかし，既存のプログラミングモデルとは異なり，ソフトウェア開発を行う際にプログラミングモデルを考慮した開発を行わないという問題点もある．

SPEを扱うインターフェースとして，SPEを仮想的なファイルシステムとして表現するspufs[3, 4]がある．しかし，SPEの管理はLinuxKernelが行っており，利用者がOSレベルでの管理方針を変更することはできない．

Exokernel[5]は，アプリケーション間のハードウェアの排他制御を行い，アプリケーションの処理に依存するOSの機能を，ライブラリという形でアプリケーションに提供している．本研究は，コアごとに異なる管理方針を提供するために，SPE管理機構群を提供している．

5 まとめ

本稿では，ヘテロジニアスマルチコアCPUの特性を最大限発揮するために，各コアごとに異なる管理方針を提供可能なOSを提案した．

SPEのタスク管理や実行環境を提供するSPEタスク管理機構と，LS，コアごとの電力管理などのSPE管理方針を定義するSPE制御機構群とを利用することにより，ソフトウェア開発者や一般利用者でも，コアごとの管理方針を容易に変更できる機構を提供した．

これら機能により，より柔軟に管理方針を変更でき，ヘテロジニアスマルチコアCPUの多様な利用用途に適した管理が可能となる．

参考文献

[1] Toshiba IBM, SCEI. *Cell Broadband Engine Architecture*, Aug 2005. http://cell.scei.co.jp.

[2] Toshiba IBM, SCEI. *Cell Broadband Engine Programming Tutorial*, Oct 2005.

[3] Arnd Bergmann. Spufs: The cell synergistic processing unit as a virtual file system. Technical report, The IBM Linux Technology Center, 2005.

[4] 佐貫俊幸. Cell broadband engineを用いたブレード・サーバーの設計と実装, 2005.

[5] Dawson R. Engler, M. Frans Kaashoek, and James O'Toole Jr. Exokernel: An operating system architecture for application-level resource management. In *Proceedings of the fifteenth ACM symposium on Operating systems principles*, pp. 251–266, 1995.