

第8回 IPアワード発表会  
2006年5月18日

# 機能分散マルチプロセッサ用リアルタイムOS TOPPERS/FDMPカーネル

本田 晋也

名古屋大学 情報科学研究科

[honda@ertl.jp](mailto:honda@ertl.jp)

# 組み込みシステムにおけるマルチプロセッサの利用

## マルチプロセッサシステムの広がり

- 従来から複数のプロセッサを使用したシステムは存在
    - 性能が必要な一部のシステムで使用
  - 規模や消費電力の関係で一般の組み込みシステムでは用いられてることはなかった
- ➡ オンチップマルチプロセッサの出現により利用が広がる

## オンチップマルチプロセッサ(マルチコア型プロセッサ)

- 複数のプロセッサコアを1チップに集積
  - MeP, MPCore, UniPhier, FR1000, MP211, Cell
- 低消費電力化で高性能を実現するためには、高速なシングルプロセッサ構成より、低速なマルチプロセッサ構成が有利

## 専用回路から柔軟性をもったプロセッサによる実現

- CODEC等の複雑な処理を専用回路で実現するのは困難
- 仕様が定まる前から開発を開始するため、完成時には仕様が変更される可能性があるが、ソフトウェアだと対応可能

## ソフトウェアから見たマルチプロセッサのタイプ

### 密結合マルチプロセッサ(共有メモリ)

#### 対称型マルチプロセッサ(SMP,SMT)

- 負荷分散(スループット)を目的とし, プロセッサに機能を固定しない
- 予測可能性が低いためリアルタイム性の保障は困難  
→ 汎用システムに近いシステムで用いられる可能性

#### 機能分散マルチプロセッサ

- プロセッサ毎に機能を固定
- 組込みシステムは機能が固定されている場合が多いため, ニーズが高い
- 組込みシステムで重要となるリアルタイム性の保障が容易  
→ ターゲットとする

### 疎結合マルチプロセッサ(分散システム)

- 組込みコンポーネント仕様の枠組みで扱う

## 機能分散マルチプロセッサの例：MeP

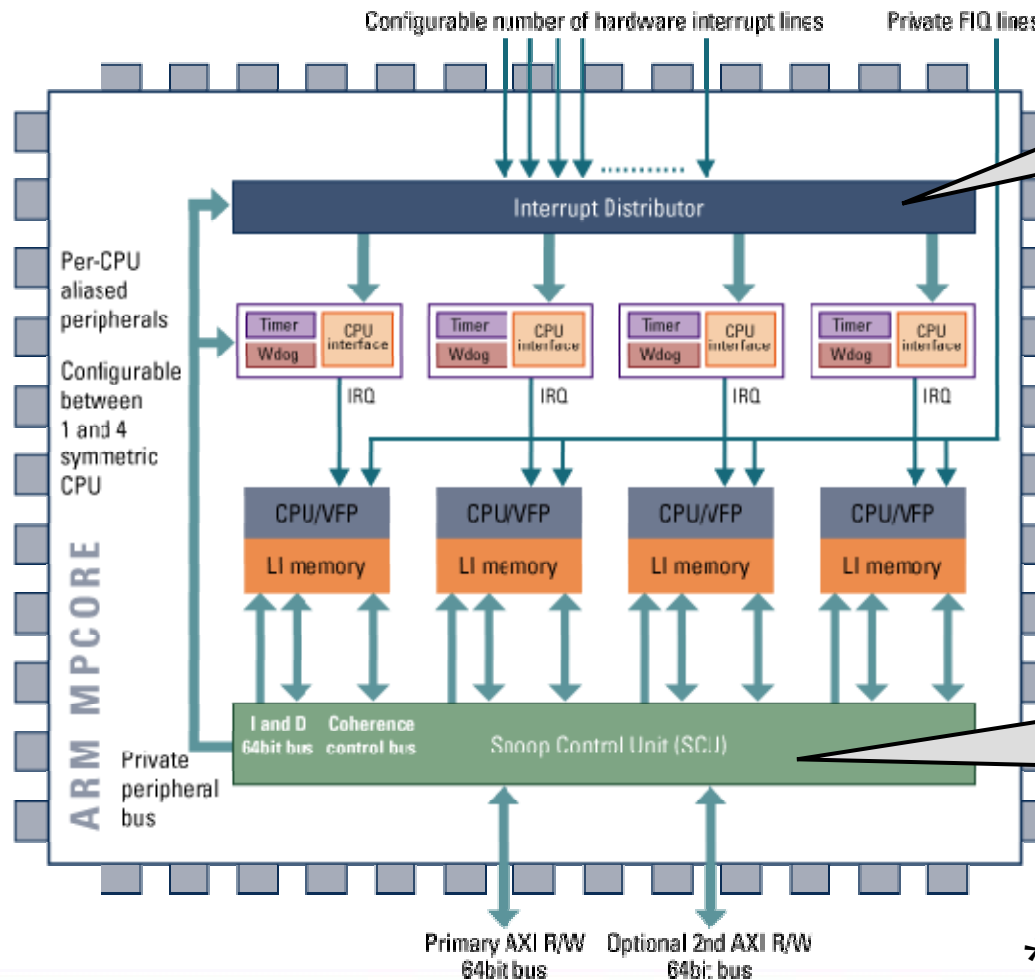
- 東芝MeP(Media embedded Processor)プロセッサコアを用いたMPEG2コーデックLSIの構成例



\* 東芝半導体 製品カタログ「MeP(Media embedded Processor)概説」より

# 機能分散マルチプロセッサの例：MPCore

●ARM MPCore：1～4個のマルチプロセッサ構成



割り込み  
分配回路

キャッシュ・  
コヒーレンシ  
制御

\* ARM ウェブサイトより

## マルチプロセッサ向けOSの必要性

### これまでマルチプロセッサ向けソフトウェア開発

- 各プロセッサに独立にシングルプロセッサ用のリアルタイムOSを載せる(プロセッサによってはOSレスも)
- プロセッサ間の同期・通信は, (OSではなく)アプリケーションソフトウェアで実現

### OSによるサポートの必要性

- アプリケーション毎にプロセッサ間の同期・通信を実現する必要があるため, 開発工数が増える
- ある処理を別のプロセッサに移そうとすると, 同期・通信部分のプログラムの作り直しが必要
  - ➡ 静的な移し替えのみを考えている

OSによる, タスク間同期・通信と互換の  
プロセッサ間同期・通信機能のサポートが望まれる

# TOPPERS/FDMPカーネル

機能分散マルチプロセッサ用のリアルタイムOS

## 機能分散マルチプロセッサ上でのアプリケーション開発を効率化

- $\mu$ ITRON仕様のAPIで各プロセッサ上のオブジェクトにアクセス可能
- $\mu$ ITRON仕様OS向けのソフトウェア資産が活用可能

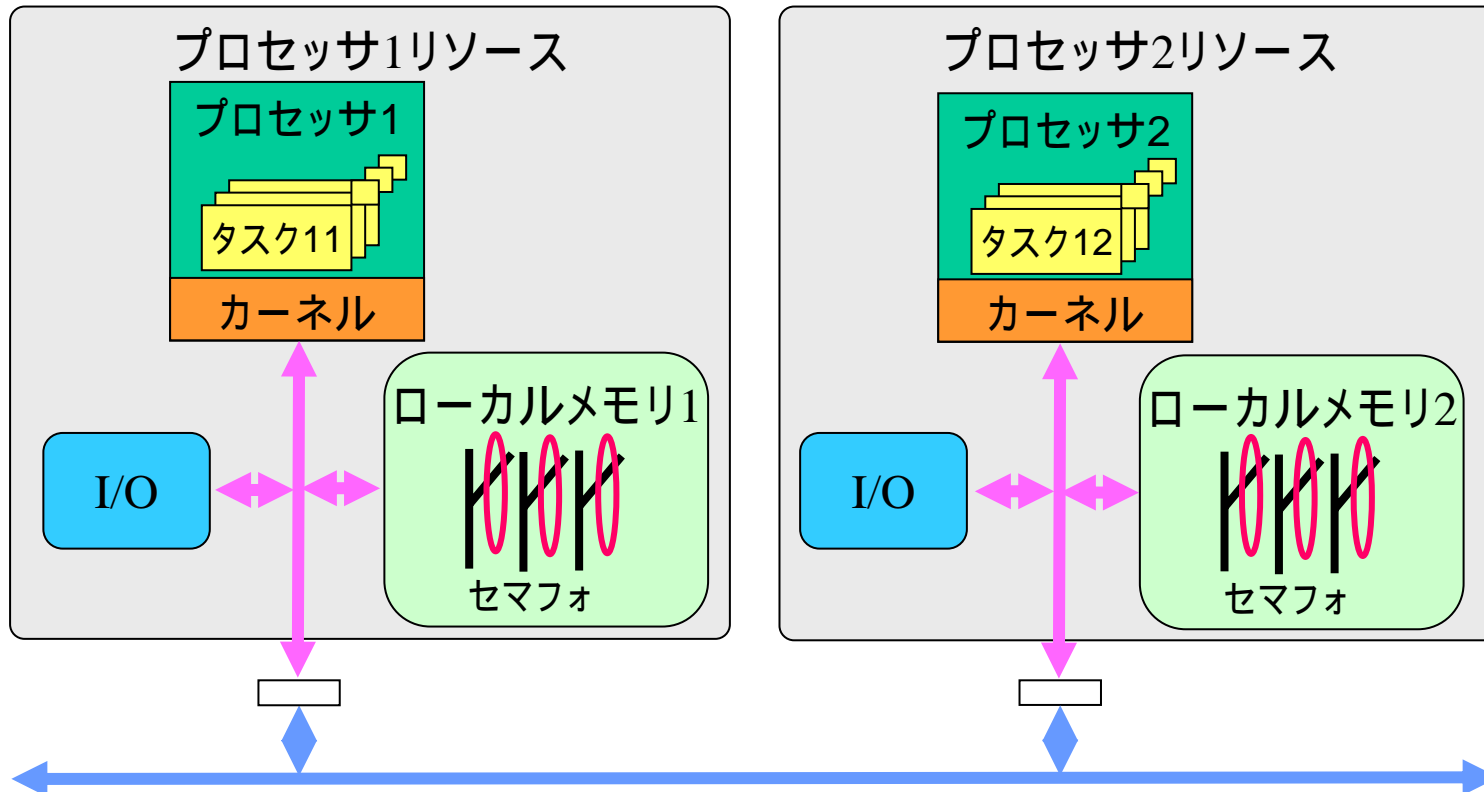
## 性能を重視した実装

- プロセッサ数に対するスケーラビリティ(ロック単位)
- リアルタイム性(特に割込みに対する応答性)を損なわないための工夫(ロック取得ルーチンの工夫)

## 新たなターゲットプロセッサへのポーティングが容易

- JSPカーネルがサポートしていると特に容易
  - シングルプロセッサ用のITRON仕様のリアルタイムOS

# オブジェクト管理の概念図



- タスク, セマフォ, ハンドラ等のカーネルオブジェクトは特定のプロセッサに固定
- タスクやハンドラは, プロセッサを跨いで全てのオブジェクトにアクセスが可能



## コンフィギュレーションファイル(静的APIの拡張)

- プロセッサ毎に囲みを作りその中にそのプロセッサに属するオブジェクトの静的APIを記述する
- コンフィギュレータはプロセッサ毎のディレクトリを作成して、kernel\_cfg.cとkernel\_id.h及び、クラスIDを付加したオブジェクトIDが記述されているclass\_id.hを生成
- クラスIDの割付はコンフィギュレータにより行う

```

local_class PE1{
  INCLUDE("¥"sample1-dual1.h");
  CRE_TSK(TASK1, { TA_HLNG, (VP_INT) 1, ..});
  CRE_TSK(TASK2, { TA_HLNG, (VP_INT) 2, ..});
  ...

  CRE_CYC(CYCHDR1, { TA_HLNG, 0, ..});
  #include "../systask/timer.cfg"
  ....
}

local class PE2{
  INCLUDE("¥"sample1-dual2.h");
  CRE_TSK(TASK1, { TA_HLNG, (VP_INT) 1, ..});
  CRE_TSK(TASK2, { TA_HLNG, (VP_INT) 2, ..});
  ...

  CRE_CYC(CYCHDR1, { TA_HLNG, 0, ..});
  #include "../systask/timer.cfg"
  ....
}

```

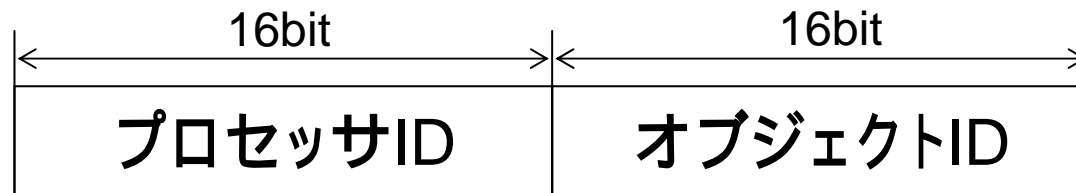
PE1に属するオブジェクトの生成情報

PE2に属するオブジェクトの生成情報

## システムコール

プロセッサを跨いで  $\mu$ ITRONのシステムコールを実行可能

- ID番号で識別されるオブジェクトはID番号で所属するプロセッサを示す
  - 上位16ビットをクラスID, 下位16bitをオブジェクトID



- これらのオブジェクトを操作するサービスコールは, シングルプロセッサ用のものがそのまま使用可能になる
  - セマフォの取得 : `wai_sem(ID semid)`

## 対象(動作)アーキテクチャー

現状のFDMPカーネルは以下の  
アーキテクチャーで動作する

- 各プロセッサのデータ (rodataも含む) を置くメモリが全てのプロセッサから同一のアドレスでアクセス可能であること
- 任意のプロセッサに割り込み (プロセッサ間割り込み) を発生可能であること
- プロセッサ間での排他制御のための機構を持つこと.
  - 例 : test & set 命令 , Mutex回路
- プロセッサ間の排他制御機構を用いてロックをプロセッサ数 $\times 2$ 個作成可能であること.
  - ただし2個でも動作は可能.

## 性能評価：コードサイズ

- シングルプロセッサ用リアルタイムOSであるJSPカーネルとコードサイズ, システムコール実行時間を比較
- 評価環境(T5V)
  - MePコア × 4, 動作周波数 150Mhz
  - 共有メモリ上でプログラムを配置
- コードサイズ
  - コードサイズ(text) 55% 増加
  - ➡ プロセッサ間の排他制御のためのコード
  - データ(data), 初期値無しデータ(bss)はほぼ同じ

カーネル	text	data	bss	計
JSPカーネル	17718	40	18748	36506
FDMPカーネル	27554	41	19056	46779

単位  
byte

## 性能評価：実行時間

- セマフォの解放を行うシステムコール(sig\_sem)の実行時間を比較
- FDMPカーネルでは、タスクと同じプロセッサにセマフォが属する場合(プロセッサ内)と属さない場合(プロセッサ間)を比較
- 同時にOSの持つ1msec周期のタイマ割込みの処理時間を測定
  - sig\_semの処理時間は86%増(ロックの取得+マルチプロセッサ拡張)
  - 割込み処理時間は14%増
  - プロセッサ内とプロセッサ間での処理時間は同じ

	sig_sem 処理時間	割込み 処理時間
JSPカーネル	14.6	21.9
FDMPカーネル(プロセッサ内)	27.3	24.9
FDMPカーネル(プロセッサ間)	27.3	24.9

単位  
μ sec

## まとめ

### TOPPERS/FDMPカーネル

- 機能分散マルチプロセッサ用リアルタイムOS
- 機能分散マルチプロセッサ上でのアプリケーション開発を効率
- 性能を重視した実装

### リリース状況

- オープンソースソフトウェアとしてTOPPERSプロジェクトからソースコードを公開
- Altera Nios2, Xilinx Microblaze, 東芝 MePをサポート

### 今後の予定

- 実システムへの適用評価
- ヘテロジニアスマルチプロセッサへの対応