

## マルチコア並列処理・分散処理統合機能を有するリアルタイム OS

A Real-Time Operating System  
for Multicore Parallel Processing and Distributed Computing横山幸太郎<sup>†</sup>  
Kotaro Yokoyama齊藤政典<sup>†‡</sup>  
Masanori Saito兪明連<sup>†</sup>  
Myungryun Yoo横山孝典<sup>†</sup>  
Takanori Yokoyama

## 1. はじめに

近年、マルチコアプロセッサが注目され、特に組込みシステムでは複数の CPU コア上で独立に OS を動作させる非対称型あるいは機能分散型と呼ばれるマルチコア並列処理が有用視されている。また組込み制御分野で複数のコンピュータをネットワーク接続した分散制御システムが広く用いられている。そのためマルチコア並列処理と分散処理の両者に対応可能なリアルタイム OS(RTOS) が求められている。

機能分散マルチプロセッサ向けの RTOS として、 $\mu$ ITRON4.0 仕様 [1] を拡張した TOPPERS/FDMP カーネル [2] がある。この RTOS ではプロセッサ間でシステムコールを実行可能としている。また、分散システム向けの RTOS として、我々が開発した分散 RTOS[3] がある。この分散 RTOS は OSEK OS 仕様 [4] に基づく TOPPERS/OSEK カーネル [5] に分散処理機能を追加し、ノード間での遠隔システムコールを実現している。

ところが、マルチコア並列処理と分散処理が混在する環境を統合的に管理できる RTOS は提案されていない。そこで本論文では、それらが混在する環境において統一的にタスクを管理できる統合 RTOS を提案する。

## 2. 統合 RTOS の仕様

本研究では OSEK OS 仕様をベースに、自 CPU 上のタスクのみでなく、マルチコアプロセッサにおける他の CPU コア上のタスクや、分散システムにおける他ノード上のタスクについて、同一のシステムコールを用いて管理できる統合 RTOS を実現する。これにより、対象タスクがどの CPU コア上あるいはノード上にあるかを意識せずにアプリケーションを記述できるようになる。

OSEK OS が備えるシステムコールには、タスク管理、イベント管理、アラーム管理、リソース管理、割込み制御、OS の実行管理がある。このうち、タスクを直接対象とするシステムコールはタスク管理とイベント管理に関するもののみで、それらの一覧を表 1 に示す。タスク指定という欄は、システムコールの引数で対象タスクを指定する必要があるかどうかを示しており、その必要がある 5 つのシステムコール、ActivateTask(), ChainTask(), GetTaskState(), SetEvent(), GetEvent() を拡張し、他 CPU コア上及び他ノード上のタスクも指定可能とする。以下本論文では、他 CPU コア上のタスクに対するシステムコールをコア間遠隔システムコール、他ノード上のタスクに対するシステムコールをノード

表 1: タスク管理とイベント管理のシステムコール

分類	システムコール名	タスク指定
タスク管理	ActivateTask()	○
	TerminateTask()	×
	ChainTask()	○
	Schedule()	×
	GetTaskID()	×
	GetTaskState()	○
イベント管理	SetEvent()	○
	ClearEvent()	×
	GetEvent()	○
	WaitEvent()	×

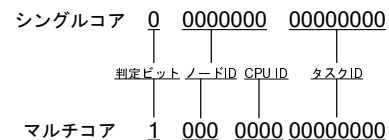


図 1: グローバルタスク ID の割り当て

間遠隔システムコールと呼ぶ。

また、システム全体でタスクを一意に指定可能とするため、全 CPU コア・全ノードで共通のグローバルタスク ID を定義する。グローバルタスク ID は分散 RTOS[3] との互換性を持たせるため図 1 に示すような 2Byte の値とする。上位 1Byte のうち最上位ビットでシングルコアかマルチコアを表す判定ビットを、残り 7bit でノード ID、CPU ID を表す。ここでシングルコアの場合は 7bit 全てでノード ID を、マルチコアの場合は上位 3bit でノード ID、下位 4bit で CPU ID を表す。そして、下位 1Byte でタスク ID を表す。

## 3. 統合 RTOS の実装

## 3.1. 方針

OSEK OS に基づく TOPPERS/ATK1[5] にマルチコア並列処理と分散処理のための機能を追加することで統合 RTOS を実現する。実装に用いるハードウェアはルネサスのデュアルコアマイクロプロセッサ SH7205 を搭載した評価ボード M3A-HS50G50 である。

## 3.2. 構成

統合 RTOS の構成を図 2 に示す。統合 RTOS は、タスク位置判定機能、コア間遠隔システムコール機能、ノード間システムコール機能を備える。またグローバルタスク ID などの情報は統合 RTOS 構成データとして保持される。

コア間遠隔システムコール機能は、メモリ経由要求送信処理、メモリ経由要求受信処理、メモリ経由返戻

<sup>†</sup>東京都市大学<sup>‡</sup>現在、株式会社日立情報通信エンジニアリング

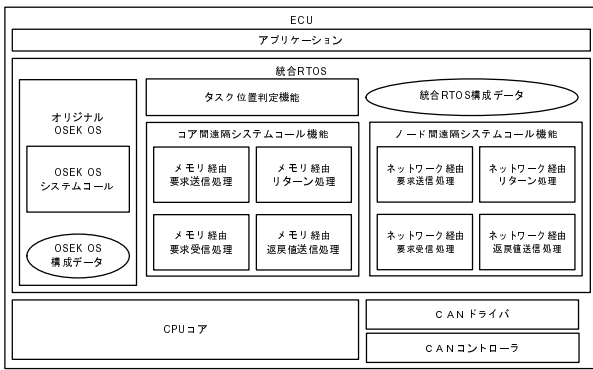


図 2: 統合 RTOS の構成

値送信処理, メモリ経由リターン処理から成る. ノード間遠隔システムコール機能はネットワーク経由要求送信処理, ネットワーク経由要求受信処理, ネットワーク経由戻り値送信処理, ネットワーク経由リターン処理から成る.

### 3.3. 動作

本統合 RTOS におけるコア間及びノード間遠隔システムコールの処理の流れを図 3 に示す. アプリケーションタスクがシステムコールを発行すると, タスク位置判定機能が, システムコールの対象タスクがどのノードのどの CPU コア上にあるか判定する.

対象タスクが同一ノード上の他 CPU コア上にある場合, コア間遠隔システムコール機能のメモリ経由要求送信処理が, コア間要求メッセージを生成し, 共有メモリ上のメッセージバッファに格納する. コア間要求メッセージは, 要求元 CPU ID, 要求先 CPU ID, システムコール発行元タスク ID, 対象タスク ID, システムコールの種類, システムコールの引数で構成する. そして, 対象タスクのある CPU に対して割り込みを発行した後, システムコール発行元タスクを待ち状態に遷移させる. 割り込みを受けた CPU では, メモリ経由要求受信処理が共有メモリ上のコア間要求メッセージを読み出して解析し, 指定されたシステムコールを実行する.

図では省略しているが, システムコール実行後, メモリ経由戻り値送信処理が戻り値を含むコア間返答メッセージを共有メモリに格納し, 求側 CPU に対して割り込みを発行する. 割り込みを受けた要求側 CPU では, メモリ経由リターン処理が返答メッセージを解析し, 戻り値をバッファに書き込み, システムコール発行元タスクの待ち状態を解除する. 待ち状態を解除されたタスクは, バッファから戻り値を読み出し処理を再開する.

対象タスクが他ノード上にある場合, ノード間遠隔システムコール機能のネットワーク経由要求送信処理がノード間要求メッセージを生成し, CAN ドライバにメッセージの送信要求を出し, システムコール発行元タスクを待ち状態に遷移させる. ノード間要求メッセージは要求元ノード ID, 要求先ノード ID, システムコール発行元タスク ID, 対象タスク ID, システムコールの種類, システムコールの引数で構成する. 対

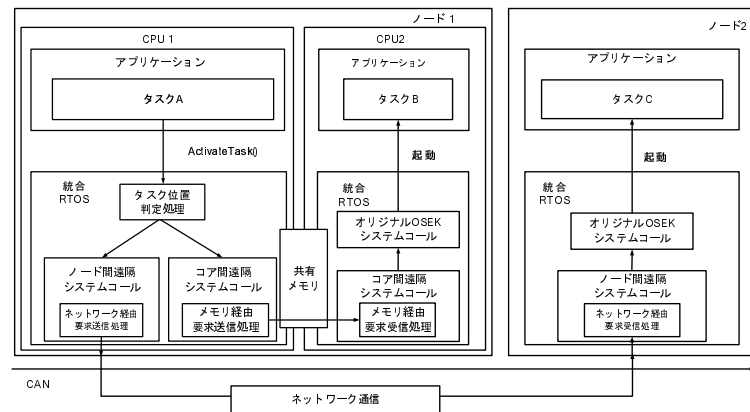


図 3: 遠隔システムコールの動作

象タスクのある要求先ノードがメッセージを受信すると, ネットワーク経由要求受信処理によりノード間要求メッセージを解析し, 指定されたシステムコールを実行する. その後, ネットワーク経由戻り値送信処理が要求元ノードにノード間返答メッセージを送信する. メッセージを受信した要求元ノードでは, ネットワーク経由リターン処理が返答メッセージを解析し, 戻り値をバッファに書き込み, システムコール発行元タスクの待ち状態を解除する.

## 4. 終わりに

本論文では, マルチコア並列処理と分散処理が混在する環境においてタスクを統一的に管理できる統合 RTOS を提案した. 本 RTOS は, TOPPERS/ATK1 を拡張し, 自ノード上のタスクに対してと同様に, 他 CPU コア上や他ノード上のタスクに対しても同一システムコールの発行を可能にする. これまでにコア間遠隔システムコール機能の実装を完了し, 分散 RTOS[3] で実装したノード間遠隔システムコール機能の移植と, OIL 及びシステムジェネレータの拡張を行っている.

## 謝辞

本研究で使用した TOPPERS/ATK1 の開発者に感謝する. 本研究の一部は JSPS 科研費 24500046 の助成を受けたものである.

## 参考文献

- [1] 坂村健監修, 高田広章編:  $\mu$ ITRON4.0 仕様 Ver.4.02.00 トロン協会 (2004).
- [2] 本田晋也, 高田広章: ITRON 仕様 OS の機能分散マルチプロセッサ拡張, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J91-D, No.4, pp.934-944(2008).
- [3] 知場 貴洋, 齊藤 政典, 伊丹 悠一, 兪 明連, 横山 孝典位置透過性のあるシステムコールを有する組み込み制御システム向け分散リアルタイム OS, 情報処理学会論文誌, Vol53, NO.12, 2702-2714(2012).
- [4] OSEK/VDX: OSEK/VDX Operating System Version 2.2.3(2005).
- [5] TOPPERS/OSEK カーネル, TOPPERS/ATK1: <http://www.toppers.jp/atk1.html>.