

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21700026

研究課題名(和文) 組込みシステム向け対称型マルチプロセッサ用リアルタイムOSの基盤技術

研究課題名(英文) Real Time Operating System for embedded Symmetric Multiprocessor System.

研究代表者：本田 晋也 (HONDA SHINYA)

名古屋大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：20402406

研究成果の概要(和文)：

近年、組込みシステムの分野においてもマルチプロセッサシステムの利用が進んでいる。組込みシステムはシステム毎に求められる性質が異なり、リアルタイム性が要求されるシステムや、スループットが求められるシステム、両方の要件を同時に要求されるシステムも存在する。既存の組込みシステム向けマルチプロセッサ用 RTOS は、いずれか一方の要求を満たす実装がされている。そこで、TOPPERS/FMP カーネルは、両方の要求を満たすよう Linux を参考にして設計実装を行った。リアルタイム性の確保のため、RTOS が自動的にロードバランスを行うことはしないが、スループット向上と、システムに最適なロードバランス機構をサポートできるように、アプリケーションからの要求(APIによる要求)によりタスクを実行するプロセッサを変更するマイグレーション機能を提供する。

研究成果の概要(英文)：

Multiprocessor systems are recently making advancements into the embedded systems field. The requirements of embedded systems differ from system to system. Some systems require real-timeliness, others emphasize throughput, and some require both properties at the same time. There are also a great variety of hardware architectures in multiprocessor systems. We have defined the RTOS specification for multiprocessors which is applicable to various multiprocessor systems, and implemented it as the TOPPERS/FMP kernel. The TOPPERS/FMP kernel allows a processor to issue a system call, which conforms to the ITRON specification, to another processor in the same multiprocessor system. In order to support a load balancing algorithm fitted for each system without losing real-time property, the TOPPERS/FMP kernel provides the capability to make a task migrate from the current processor to another on-demand by the application using a system call rather than by automatic load balancing of the RTOS kernel. We have confirmed that the task migration functionality enables programs at the application level to realize several kinds of load balancing algorithms.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：ソフトウェア

キーワード：オペレーティングシステム

1. 研究開始当初の背景

近年、LSIの微細化技術の限界からプロセッサ単体の性能向上が困難となっており、汎用コンピュータと同様に、組み込みシステムの分野においても、マルチプロセッサの利用が進んでいる。組み込みシステムのソフトウェア開発においては、リアルタイムOSが用いられることが一般的であるため、マルチプロセッサに対応したリアルタイムOSが必要となる。マルチプロセッサ用のリアルタイムOSはその機能から、タスク（プロセス）をOSが自動的にプロセッサに割り当てる対称型マルチプロセッサOSと、タスク（プロセス）をプロセッサに固定する非対称形マルチプロセッサOSに分類することができる。申請者はこれまで、非対称形マルチプロセッサOSに関して研究・開発を行い、その成果をオープンソースのOSとして公開している。組み込みシステムにおいては、対称型より非対称型の方が有効な場面が多いが、産業界からはタスクを動的に移動させることが可能な対称型マルチプロセッサOSの要望も強い。しかしながら、タスクの移動は、組み込みシステムで重要となるリアルタイム性との両立に関して以下の問題がある。

(1) OSによる自動的な割り当ての限界

対称型マルチプロセッサOSでは、OSがタスクを動的にプロセッサに割り付けるため、タスクの優先度を厳密に守ろうとすると、タスクのプロセッサ間移動が頻発し、キャッシュの使用効率が悪くなりスループットが向上しない。一方、タスクの移動を防ぐようにスケジューリングを行うと、タスク間の優先度逆転が発生し、リアルタイム性の確保が困難となる。

(2) プロセッサ数に対するスケーラビリティが確保できない

プロセッサ間で共有するOSの内部リソース（データ）をアクセスする場合には、プロセッサ間の排他制御が必要となる。典型的な対称型マルチプロセッサOSは、多くの内部リソースをプロセッサ間で共有するため、そのアクセス毎に排他制御が必要となる。そのため、プロセッサ数が増加すると、プロセッサ間の排他制御が頻発し、OSの実行時間（システムコールの実行時間）の最悪値が保証できなくなる。

(3) 標準的な仕様やオープンな実装がない

上記1、2を解決する手法の研究や、その他、対称型マルチプロセッサに関する研究を実施するためのベースとなる仕様やオープンな実装が存在しない。提案者はこれまで、国内の産業界で最も広く使われるITRON仕様のリアルタイムOSのオープンな実装（TOPPERS/JSPカーネル）や、ITRON仕様を非対称型マルチプロセッサに拡張したOS（TOPPERS/FDMPカーネル）も開発し、オープンソースソフトウェアとして公開している。これらのOSは、実際の製品やプロトタイプ開発で広く用いられている。対称型マルチプロセッサに関する研究を活性化するためにも、オープンな実装は必要である。

2. 研究の目的

本研究の目標は、組み込みシステムを対象とした、リアルタイム性の高い対称型マルチプロセッサ用リアルタイムOSを実現するための基盤技術の開発と、その技術を用いたリアルタイムOS仕様を策定してオープンな実装を開発することである。

A アプリケーションレベルのタスク割り当て

(1)で示した問題は、リアルタイムOS側で自動的にタスクをプロセッサに割り当てるため、発生する。(1)で述べた2種類の方針のどちらが有効かアプリケーション毎に異なる。そのため、リアルタイムOSはタスクを移動させる機能(APIのみ)を提供し、タスクを何時何処に移動させるかは、アプリケーションに任せる方式とする。また、アプリケーションでタスク移動をするべきか判断するための指標として、リアルタイムOSが提供可能な情報（ロード等）について検討し、実際のアプリケーションを例題に評価する。

B) プロセッサ毎のリソース分割とキューイングロックの導入

Aの方針により、OSによるタスクの自動的な割り付けはサポートしないため、多くのデータ構造をプロセッサ毎に独立に持つことが可能となり、排他制御の区間が短くなる。また、排他制御が必要となる部分については、最悪実行時間を抑えられるキューイングロック等の排他制御機能を導入してOS実行の最悪値を保証する。

C) 仕様の策定とオープンな実装の開発

AとBの検討結果を踏まえて、国内の産業界で最も広く使われるITRON仕様の対称型マ

ルチプロセッサに拡張仕様を策定する。そして、策定した仕様を実装してオープンソースとして公開する。

3. 研究の方法

「研究目的」のページで説明したように、本研究は、以下の3つのサブテーマから構成される。

- ・アプリケーションレベルのタスク割り当て
- ・プロセッサ毎のリソース分割とキューイングロックの導入
- ・仕様の策定とオープンな実装の開発

平成21年度と22年度の2年間で、機構の開発、実装、ならびに、評価を行った。

(平成21年度)

平成21年度前期では、対称型マルチプロセッサOSの一次実装のため、対称型マルチプロセッサであるARMのMPCoreプロセッサを用いた評価ボード(NavieEngineボード)及びシミュレータ(SoC Desinger)と、その開発環境(RealView)を購入する。そして、申請者が開発している非対称型マルチプロセッサOS(TOPPERS/FDMPカーネル)をベースに対称型マルチプロセッサOSを実装した。

OSの実装と同時にアプリケーションレベルのタスク割り当て方式とリソース分割とロックアルゴリズムの機構を研究した。アプリケーションレベルのタスク割り当て方式に関しては、タスク移動APIをアプリケーションに提供した場合の、アプリケーション側での効率的な使用方法に重点を置いて研究を行った。リソース分割と、ロックアルゴリズムについては、ハードウェアアーキテクチャに応じて最適な方式は異なると考えられるため、複数の方式を検討した。

(平成22年度)

平成22年度は、平成21年度後期の評価をフィードバックして、アプリケーションレベルのタスク割り当て方式、リソース分割方式、ロックアルゴリズムについて再検討を行い、対称型マルチプロセッサOSの二次実装を行った。

また、事例を用いた評価を実施する。評価においては、主にタスク移動のためのAPIの効果に重点を置いて評価を行った。

4. 研究成果

研究成果としては、次の3つが挙げられる。

(1) 組込み向けマルチプロセッサ対応 RTOS

におけるタスク間の実行公平性を実現するロードバランス機構

(2) 中断可能な優先度継承キューイングスピニングロックとそのハードウェア実装”

(3) マルチプロセッサ向けRTOS(TOPPERS/FMPカーネル)

(3)についてはオープンソースとして後述するWebサイトから配布しているため、広く利用可能としている。また、本成果を応用した携帯電話も発売されている。

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1件)

(1) 一場利幸, 松原豊, 本田晋也, 高田広章, “中断可能な優先度継承キューイングスピニングロックとそのハードウェア実装”, 情報処理学会論文誌: コンピューティングシステム(ACS34), 査読有, vol.4, No.3, pp.133-146, 2011.

[学会発表] (計4件)

(1) 一場利幸, 松原豊, 本田晋也, 高田広章, “中断可能な優先度継承キューイングスピニングロックのハードウェア実装と評価”, 組込みシステムシンポジウム2010(ESS2010), 東京, 2010/10/29.

(2) 石田利永子, 本田晋也, 高田広章, 福井昭也, 小川敏行, 田原康宏, “組込み向けマルチプロセッサ対応RTOSにおけるタスク間の実行公平性を実現するロードバランス機構”, 組込みシステムシンポジウム2010(ESS2010), 東京, 2010/10/29.

(3) 一場利幸, 松原豊, 本田晋也, 高田広章, “中断可能なキューイングスピニングロックのハードウェア実装と評価”, 組込み技術とネットワークに関するワークショップ(ETNET2010), 八丈島, 2010/3/29.

(4) 石田利永子, 本田晋也, 高田広章, “マルチプロセッサ用RTOS”, 電気関連学会東海支部連合大会, 愛知, 2009/9/11

[その他]

研究成果である組込みシステム向け対称型マルチプロセッサ用リアルタイムOSの公開ページ

<http://www.toppers.jp/fmp-kernel.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

本田 晋也 (HONDA SHINYA)
名古屋大学・情報科学研究科・准教授
研究者番号：20402406

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号