

「実用化を目指した組込みシステム用  
ディペンダブル・オペレーティングシステム」  
平成 21 年度採択研究代表者

加賀美 聡

(独)産業技術総合研究所 デジタルヒューマン研究センター・副センター長

## 実時間並列ディペンダブル OS とその分散ネットワークの研究

### § 1. 研究実施の概要

申請者らはこれまで ART-Linux と名付けた、ユーザー空間から実時間タスクを実行するシステムコールを提供する OS を開発してきた。本研究ではロボットをはじめとする組み込みシステムをターゲットとし、本 OS の実時間機能を利用したディペンダビリティ向上の仕組みを持つ OS を開発することを目的とする。

この目的のために本研究では、以下の a) ～ c) の3つのディペンダブル機能を提供する OS を実現することを目的として研究を行っている。a) カーネルおよびアプリケーションの異常をリアルタイムで検出し、分散ネットワークによりその異常をリアルタイムに伝達する機能、b) システムを安全に停止させる非常機能を保護する機能、c) カーネル、アプリケーション、デバイスドライバの何が悪かったかがロギングにより事後に解析可能な機能。

昨年度は上記の目的を達成するために、1) 実時間プログラミング機能、2) イーサネットを利用した実時間通信機能、について研究を行い、開発した OS を Sourceforge から公開した。本年度は主に、3) AMP (Asymmetric Multi-Processing) 機能による複数コアの利用法について研究開発を行うと共に、開発した OS の実証実験を行った。

これら3つの機能を利用することにより来年度以降で、4) カーネルの監視、非常機能の保護、およびロギング、を AMP 機能を利用して独立に実時間で実行する形で実装する。

### § 2. 研究実施体制

#### (1) 「研究代表者グループ」グループ

① 研究分担グループ長: 加賀美 聡 ((独)産業技術総合研究所、副センター長)

② 研究項目

全研究を行う。

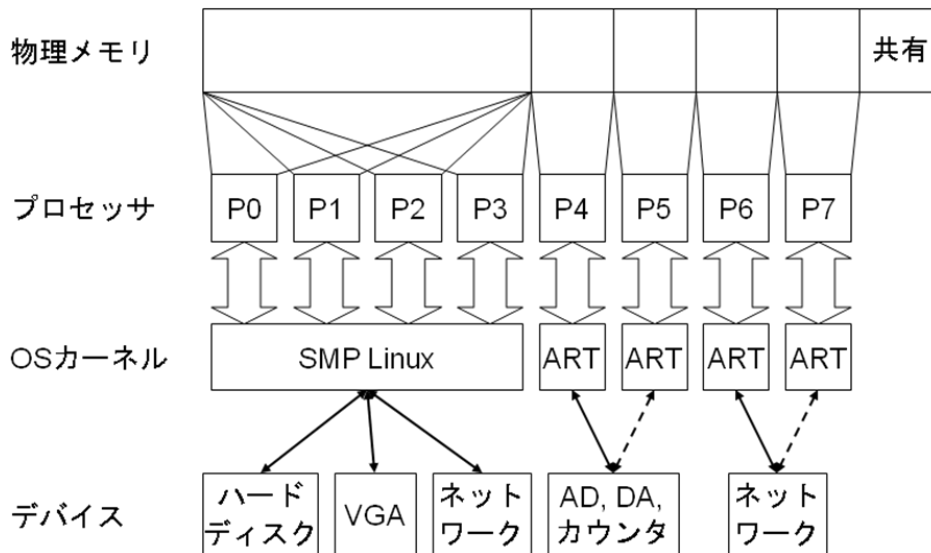
### § 3. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(4-1)に対応する)

1) 安全性、ログ、カーネルモニタリングなどのディペンダブル機能を実現するための

AMP(Asymmetric Multi-Processing) 機能の開発

本研究では複数の CPU コアを非対称に利用することにより多重系、監視系、非常系といったディペンダビリティ機能を実現することを目指している。そのために AMP (Asymmetric Multi-Processing) 機能の実現方法を検討してきており、昨年度は基本的な設計を行い実装を開始した。本年度は Intel Xeon 4 コアデュアルのシステムにおいて、リロケータブルなカーネルを実現することにより共有メモリを持つ 8 個の独立した ART-Linux カーネルのブートに成功した。また IO-APIC によるタイマの実装、仮想ネットワークドライバの実装を行った。現状では BSP カーネルとして通常の SMP な Linux カーネルの組み込み、周辺デバイスの AP からの制御について研究開発を行っている。また合わせてディペンダビリティを支援するミドルウェアとして、他のコアのログを取る機能を開発した。



(図1) 複数コアの非対称利用によるディペンダビリティ機能

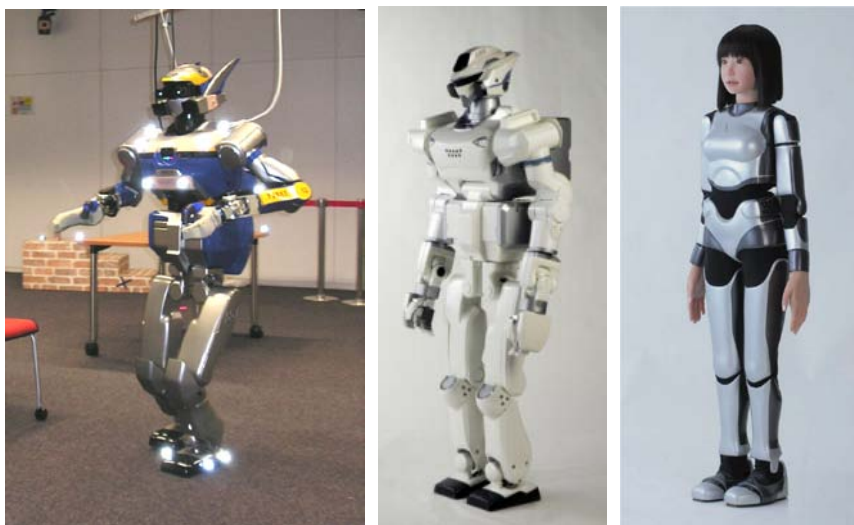
2) 実時間割り込み機能の検討

これまで ART-Linux では、実時間周期タスクを優先するために、割り込みは周期ハンドラとして与えられた周期(通常は 1ms)で割り込みを処理してきたが、この方式の欠点として最大割り込み応答時間が 1ms になってしまうという問題があった。この問題に関して、領域の推進委員から、トップハーフのアプリケーションの実時間周期実行だけでなく、同じ低レイテンシでボトムハーフからの実時間割り込みに対応できれば、ロボット以外の組み込み用途への応用が広がるという意見を頂いた。そこで実現の可能性を検討した結果、専用のシステムコールとそのための専用アプリケーションにより、特定の割り込みを数~数十 us で応答を保証するシステムが構築できるという見込みを

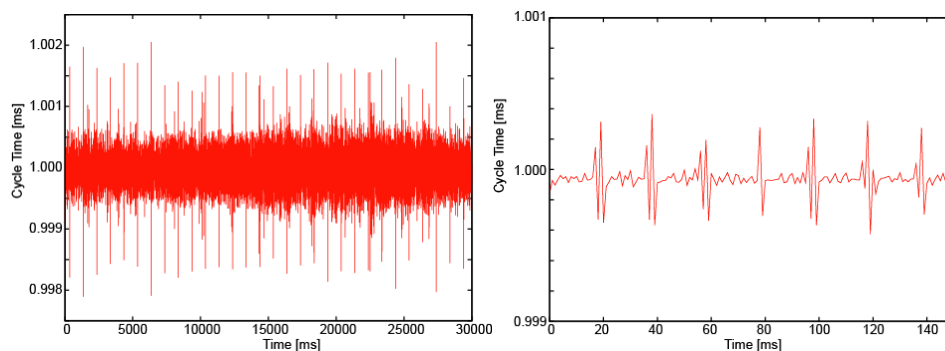
得た。そこで本年度末に設計を行い、開発を開始した。

### 3) 実証グループ

シングル CPU 用の ART-Linux 2.6 を女性型ヒューマノイドロボット HRP-4c にインストールし、多種類の I/O にアクセスする 1[ms]周期程度の実時間タスクを実行し、OS の安定性・実時間性能評価を行った。ヒューマノイドロボット HRP-2 では AMP 実証環境を準備し、世界最高レベルの不整地歩行システムを構築し実証実験を行った。ヒューマノイドロボット HRP3 では全身の物体把持計画システムを実装し、SH4 および Intel x86 アーキテクチャを実時間通信により統合したシステムの実証実験を行った(文献1)。



(図2) 実証実験を行ったヒューマノイドロボット HRP2, HRP3, HRP4c



(図3) HRP2 の最高優先度 1ms 周期ループのジッタ(右は拡大図)

移動ロボット Pen2 を ART-Linux により合計約 15km 走行させ、長期安定性を確認した。またマイクアレイの成果とあわせて、発話による指令を行った人間発見の手法を提案し、実証実験を行った(文献2)。

### 4) 複数バージョン・複数ディストリビューションのサポートとログ作成

Linux やディストリビューションのバージョンアップに応じて、2.6.18~32 までの各バージョンおよび、Debian, Ubuntu, Fedora の各ディストリビューションへの対応を整備してきた。バージョンアップにより発見し対応したバグはこれらの全バージョンへバックポートする体制を取り、既知のバグをサ

ポートしている全てのシステムにおいて解消するシステムとした。

また 2.6.30 以降は、Linux の新規バージョンアップに追従しながら、各バージョンアップへのログの充実を行った。開発した各バージョンは sourceforge から公開中である。

## § 4. 成果発表等

### 原著論文発表

#### ● 論文詳細情報

##### 学会誌論文

1. K.Nishiwaki, S.Kagami, Online Walking Control System for Humanoids with Short Cycle Pattern Generation, The International Journal of Robotics Research, Vol.28, No.6, pp.729--742, DOI:10.1177/0278364908097883, May, 2009,
2. Philipp Michel, Joel Chestnutt, Satoshi Kagami, Koichi Nishiwaki, James J. Kuffner, Takeo Kanade, Motion Planning using Predicted Perceptive Capability, International Journal of Humanoid Robotics, Vol.6, No.3, pp.435--457, DOI:10.1142/S0219843609001826, Sep., 2009

##### 査読付き論文

1. S.Kagami, S.Thompson, Y.Sasaki, H.Mizoguchi, T.Enomoto, 2D Sound Source Mapping from Mobile Robot Using Beamforming and Particle Filtering, Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, pp.3689--3692, Apr., 2009
2. Joel Chestnutt, Koichi Nishiwaki, James Kuffner, Satoshi Kagami, Interactive Control of Humanoid Navigation, Proceedings of The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.3519--3524, Oct., 2009
3. Joel Chestnutt, Yutaka Takaoka, Keisuke Suga, Koichi Nishiwaki, James Kuffner, Satoshi Kagami, Biped Navigation in Rough Environments using On-board Sensing, Proceedings of The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.3543--3548, Oct., 2009
4. Dmitry Berenson, Joel Chestnutt, Siddhartha S. Srinivasa, James J. Kuffner, Satoshi Kagami, Pose-Constrained Whole-Body Planning using Task Space Region Chains, Proceedings of 9th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, pp.181--187, Dec., 2009  
Koichi Nishiwaki, Satoshi Kagami, Frequent Walking Pattern Generation that Uses Estimated Actual Posture for Robust Walking Control, Proceedings of 9th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, pp.535--541, Dec., 2009