

「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 20 年度採択研究代表者

H23 年度 実績報告

加賀美 聡

(独)産業技術総合研究所 デジタルヒューマン工学研究センター
副研究センター長

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. 研究実施体制

(1)「研究代表者」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 デジタルヒューマン工学研
究センター, 副研究センター長) (研究代表者)

② 研究項目

・全研究を行う

§2. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(3-1)に対応する)

本研究では、JST CREST の「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」領域において、ディペンダブルなシステムを構築するための枠組みとして提案している DEOS プロセスにおいて、ディペンダブルなランタイム側のシステムの構成要素のうちのオペレーティングシステムの実装例として、申請者らが x86 のマルチコアプロセッサシステムを対象として開発中の ART-Linux について研究開発を行った。

この ART-Linux は D-RE の他の構成要素である D-Box、D-System モニタの働きを助け、システムのモニタリング機能をアプリケーションに提供すると共に、上位側の構成要素である D-Case エディタ・ビューワーと連携してさまざまな「想定外」「仕様変更」「環境変更」「ステークスホルダの変更」に D-Script により対応していくことを目指している。

ART-Linux は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 であり、複数のコアを非実時間 SMP-Linux と実時間 ART-Linux の組み合わせにより用いることで、ディペンダブルなシステムが構成可能な設計となっている。H23 年度は、これまで 3 年間かけて開発してきた上記の OS が、β テスト可能な段階まで開発が終了した。具体的には、物理メモリ割り当て、タイマ割り込み管理、コア間通信（共有メモリ、仮想シリアル、仮想ネットワーク）、AP カーネルの設定したメモリへのリロケーション、AP のルートファイルシステムとブート、デバイスのコア間での振り替えについて設計と開発を終了した。今後なるべく早い時期に一般への公開を目指している。

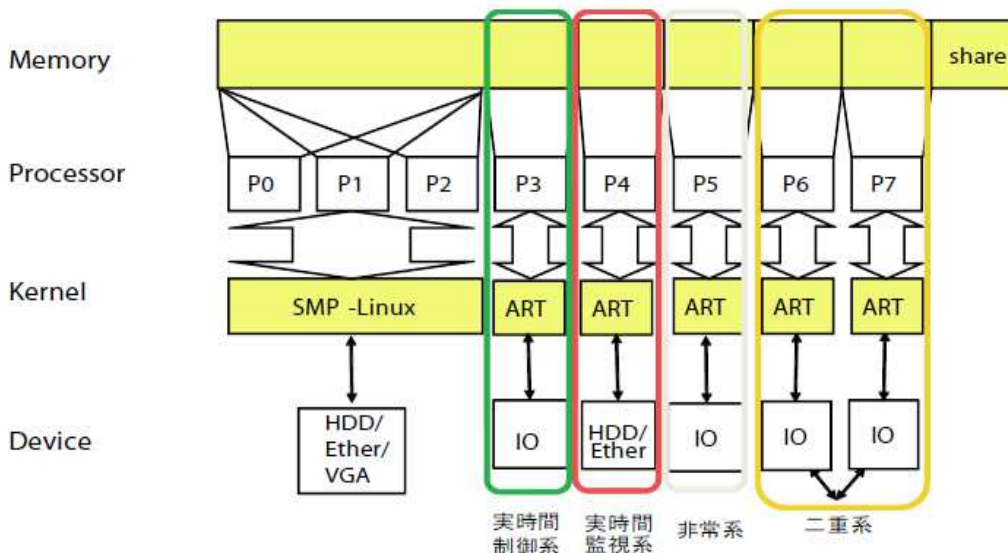


図1 提案する非実時間 SMP と実時間 AMP の混在するシステム構成例

以下に、開発した ART-Linux により可能となるシステムの構成例を示す。図1では現在利用可能な CPU の例として 8 個のコアがあるものを挙げ、そのうちの 3 個で通常の非実時間な Linux

が動作し、また残りの5つのコアに対してそれぞれ独立に実時間OSであるART-Linuxが動作している例を示している。

非実時間 SMP-Linux: 図1では、P0~P2のプロセッサにアサインされた非実時間のSMPシステムとして示している。図中に示すように、SMPのLinuxにはデバイスとして通常のディスクやグラフィックス、ネットワークなどをアサインしている。このシステムの役割としては下記のようなものが考えられる。

- ・ ユーザーインターフェース等。
- ・ グラフィックハードウェア、イーサネットを始めとしてロボットの直接制御に用いないIOを行うハードウェアの処理。これらは多数の割り込みを発生させることから実時間システムにとっての障害となりやすい。
- ・ 長期のプランニング、地図作成、モデルマッチングによる認識処理などの、ロボットの知能処理のうちでも非実時間の処理を行う。これらの結果は、仮想ネットワークあるいは共有メモリを通じて、実時間制御系などに伝える。
- ・ 実時間用途に開発されていない多くのオープンソースライブラリの利用。

本システムはメモリアサインメント部を除けば、ほぼ通常のSMP-Linuxであるために、通常のLinuxのために開発されたものが、改変なしにそのまま動作するという特徴がある。

実時間制御 AMP-Linux: 図1では、P3のプロセッサにアサインされたAMP実時間システムとして示している。制御のために必要なIOボードをアサインしている。本システムは他のオーバーヘッドがなく、制御のみに専念することが出来るために、低いジッターによる高い実時間制御性能や、リソース配分の単純化によるシステム設計の容易さと障害の起きにくさが期待できる。

次に述べる実時間監視系のために、内部状態を共有メモリに書き出すことによりシステムの監視をオンラインで行うことができる。

実時間監視 AMP-Linux: 図1では、P4のプロセッサにアサインされたAMP実時間システムとして示している。この実時間監視系はログを保存するためのディスクや外部のシステムに警告するための別のネットワークデバイスをアサインしている。

本システムは他のSMP&システムの内部状態を共有メモリを通じて監視し(他のシステムは自分で共有メモリに状態を書き出す必要がある)、ログを残すとともに、他のシステムの異常をリアルタイムで検知し、後に述べる非常系に知らせるなどの機能を果たす。

この機能を利用する例として、倉光チームと協力して、LTTngを利用し、システムに優先度逆転が発生していないかどうかをTimeSeries Theoryによりオンラインで監視する手法を実現した。来年度に、D-Caseと今回開発したモニタリング機能との連携を、実際のロボットへの応用を通じて実証実験を行う予定である。

非常用 AMP-Linux: 図1では、P5 のプロセッサにアサインされた AMP 実時間システムとして示している。非常系も独自の IO システムをアサインしている。前述の実時間監視系を通じて、あるいは共有メモリや仮想ネットワークを通じた他システムからの通知や他システムの監視、あるいは IO を介して得られるセンサの値などから、システムの異常を検知し、モーター電源断を始めとする緊急停止などの安全策を行う。

このシステムを他のシステムから独立にすることにより、非常システムが他の実時間システムに阻害されて動作しないなどの影響を避けることができる。また一方で、例えばヒューマノイドロボットの歩行、また高速で走行している車、アームで人の上に重量物を持ちあげている、などのいきなり電源断すると被害が大きくなるような状況では、その状況を回避するための計算機能と能力を有している必要がある。そのような状況に備えて、実時間計算能力を他のシステムから独立に温存することが、本システムの目的である。来年度に、開発した機能を実際のロボットにおいて実証実験を行うことを計画している。

二重系用 AMP-Linux: 複雑なソフトウェアの論理検証等は未だに部分的に(あるいはサンプリングベースにしか)行えないためにシステムの信頼性を確保する方法として二重系による方法が良く用いられている。ここでは本システムによる二重系の構成法について述べる。図1では、P6～P7 のプロセッサにアサインされた AMP 実時間システムとして示している。2つのシステムは、それぞれ独立に IO ボードをアサインすることも、IO ボードへのアクセスを排他的に制御することも可能であり、柔軟な二重系を構成することが可能である。(ただし排他的アクセスには IO ボードの制限も存在する)

システムが複雑になり、実世界において安全に行動するためには、二重系や多重系による信頼性の確保が重要になると考えている。

§3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

・ 論文詳細情報

1. Wataru Yoshizaki, Yuta Sugiura, Albert C Chiou, Sunao Hashimoto, Masahito Inami, Takeo Igarashi, Yoshiaki Akazawa, Katsuaki Kawachi, Satoshi Kagami, Masaaki Mochimaru, An Actuated Physical Puppet as an Input Device for Controlling a Digital Manikin, Proceedings of The 29th Annual CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.637-646, Vancouver, Canada, May 9, 2011
2. Koichi Nishiwaki, Satoshi Kagami, Online Design of Torso Height Trajectories for Walking Patterns that takes Future Kinematic Limits into Consideration,

- Proceedings of 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2029-2034, Shanghai, China, May 10, 2011
3. Midori Sugaya, Ken Igarashi, Masaaki Goshima, Shinpei Nakata, Kimio Kuramitsu, Yoichi Ishiwata, Satoshi Kagami, Extensible Online Log Analysis System for Improving Adaptation Cycles, Proceedings of 13th European Workshop on Dependable Computing, Pisa, Italy, May 12, 2011
 4. W. Yoshizaki, Y. Sugiura, A.C. Chiou, S. Hashimono, M. Inami, T. Igarashi, Y. Akazawa, K. Kawachi, S. Kagami, M. Mochimaru, Actuated Physical Puppet as Input Device for Controlling Digital Human Model, Proceedings of the First International Symposium on Digital Human Modeling, Lyon, France, June 14, 2011
 5. Yoko Sasaki, Tomoaki Fujihara, Satoshi Kagami, Hiroshi Mizoguchi, Kyoichi Oro, 32-Channel Omni-directional Microphone Array Design and Implementation, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.23, No.3, pp.378-385, June 20, 2011
 6. Simon Thompson, Satoshi Kagami, Masafumi Okajima, Selection of Polygon Sets for 6DOF Localisation of Autonomous Vehicles, Proceedings of 2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp.2369-2374, Anchorage, Alaska, October 12, 2011
 7. Hideshi Tsubota, Satoshi Kagami, Hiroshi Mizoguchi, SIFT-Cloud-Model Generation Method for 6D Pose Estimation and its Evaluation, Proceedings of 2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp.3323-3328, Anchorage, Alaska, October 12, 2011
 8. 西脇 光一, 加賀美 聡, 将来にわたるZMP許容領域を考慮したオンライン2足歩行軌道生成法, 日本ロボット学会誌(採録決定)
 9. Koichi Nishiwaki, Joel Chestnutt, Satoshi Kagami, Autonomous Navigation of a Humanoid Robot over Unknown Rough Terrain using a Laser Range Sensor, International Journal of Robotics Research(accepted)
 10. Koichi Nishiwaki, Satoshi Kagami, Trajectory Design and Control of Edge-landing Walking of a Humanoid for Higher Adaptability to Rough Terrains, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (accepted)
 11. Junichi Urata, Koichi Nishiwaki, Yuto Nakanishi, Kei Okada, Satoshi Kagami, Masayuki Inaba, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (accepted)