

# 自律ロボット向けオンラインログ解析と障害要因解析システムの提案

菅谷 みどり<sup>†</sup> 中田 晋平<sup>†</sup> 五嶋 壮晃<sup>†</sup>  
加藤 雅一<sup>†</sup> 倉光 君郎<sup>†</sup>

近年、ヒューマノイドロボットに見られる高度なシステムでの障害が問題となっている。ロボットシステムは人間とのインタラクション実現のため障害の未然回避や迅速対応が必須であるが、この実現にはオンラインで障害を監視する基盤システムが必要となる。本研究の目的は、オンライン監視のための基盤として動作時の詳細なログを大量に取得し、そのログを元に障害 (error) とその要因 (fault) 解析を行うための支援を行うシステムを提供する。本発表では、オンライン監視への要求を満たすシステムを提供するか現状と課題について述べる。

## 1. はじめに

近年のヒューマノイドロボットや自動車を代表とする高性能な組み込みシステムでは、環境とのインタラクションしつつ動作することや、人間の判断に対して臨機応変に対応することなど、高度な自律サービスを提供する事が要求される。これらのシステムは人間と接するため、安全上の理由から障害の未然回避や、迅速対応が求められている。障害の未然回避や迅速対応には、オンラインでのシステム監視機能が必要となる。

高性能な組み込み機器、特にリアルタイムシステムの複雑な障害を解析するために、デバッガや可視化などの統合環境<sup>1)2)</sup> や、トレースプロファイラ<sup>3)4)</sup> などの取り組みが数多くなされている。しかしこれらのツールは基本的に事後に人間が障害解析を行う事を支援する仕組みであり、オンライン監視のように動作時の障害検知ではない。

プラントや汎用機など信頼性が必要とされる分野では、オンライン監視は既に研究や商用化が行われてきた。ここでは本体や周辺機器の入出力システムとその劣化など、ハードウェアの物理的な動作の監視<sup>5)</sup>、サーバ管理システムでは、侵入検知やシステムの過負荷状態や通信状態の監視などが主である<sup>6)7)</sup>。これらと比較し、ロボットは多様なハードウェアや多様なソフトウェアを統合的に動作させたり、新しいコンポーネントの追加を随時行う要求がある。そのため、複雑な障害を検知したり、障害時の要因解析をできるだけ早く行い知識化して行く機能がオンライン監視機能に求められる。

本研究では、将来的な高性能なシステムにおける動作時のオンライン監視と継続的な改善に取り組む。障

害の知識化に取り組む。本稿ではこれらの内容について、2節にて提案、3節にて現状の課題と結論を述べる。

## 2. Online Logging and Analysis

### 2.1 オンライン監視への要求

我々は高性能な組み込みシステム向けのオンライン監視への要求を次のようにまとめた。

- (1) リアルタイム処理とその障害監視
- (2) 要因解析と知識化への取り組み
- (3) 空間、時間コストの削減

(1) ロボットシステムでは、監視対象とするシステム上では制御を行うリアルタイムタスクと、外界の情報を取得するセンサーなど複数のリアルタイムタスクを動作させる必要がある。また同時に、ロボットの歩行設計や三次元画像処理など高負荷な処理など、様々なシステム要求を並列化処理する必要がある。これらの環境で発生する障害検知手法と要因解析手法が必要である。(2)の障害の知識化への要求では、障害検知時の情報(例、優先度継承、ロックによる応答性の低下)について実例をもとにした要因解析とその知識を長期的に再利用するための仕組みが必要である。(3)組み込みシステムには汎用機と比べ、CPU性能やメモリ容量に制限がある。そのため、これらの制限に配慮した仕組みが必要である。

### 2.2 提案システム

本研究では、これらの課題に対してオンラインでログ解析を行う基盤およびツールを提供することで障害監視を行う手法を提案する。アーキテクチャの全体構成を図1に示した。

- リアルタイム OS とアプリケーションの障害検知：リアルタイムシステムでは、タイミング問題や予測不可能な計算タスクの実行を監視するのは重要な課題である。本研究では、ART-Linux を例に

<sup>†</sup> 横浜国立大学  
Yokohama National University

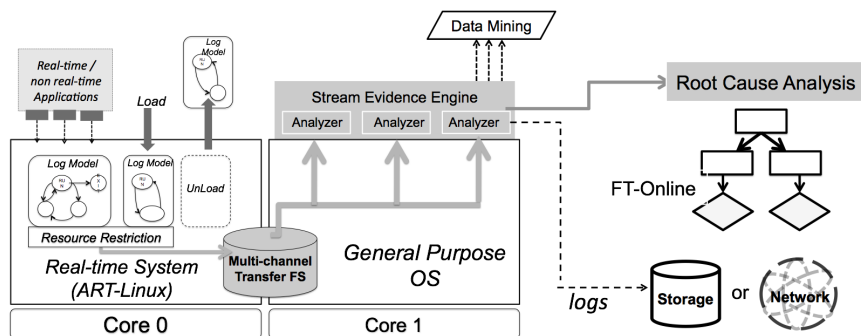


図 1 Integrated Logging and Analysis System (ILAS)

取り、優先度継承がミスを生じさせる障害、アプリケーションの実装や設計ミスによりアルタイムタスクの遅延が発生している事をログから検知するための検知システムを提案する。実現のために OS とアプリの双方のログを容易に取得可能とする。

- 資源予約と解析専用コアの分離によるオーバーヘッドの削減：システムの監視は、対象からのイベント情報の取得を行うロギングと、ロギングしたデータを解析するアナライザーの二つにより実現する。本研究では、(1) CPU 予約技術によるロギングのオーバーヘッドの固定化、(2) 解析オーバーヘッド削減のため、OS を複数起動するマルチ OS アーキテクチャを提案する。本構成のもとでは監視対象のリアルタイム OS から、専用ファイルシステムを経由してログを解析専用コアに転送する。
- ストリームマイニングによるメモリ量の削減：ログをオンラインで解析するストリーム処理エンジン (Stream Evidence Engine) を提案する。これは外部ネットワークと連携し、ログを一元的に管理し、解析アナライザー記述のための API を提供する。ログの生成速度と解析速度が非対称な場合、負荷を分散し障害検知に必要な詳細で膨大なログに対処する。
- 障害の知識化と変化への対応：オンライン監視と障害木 (Fault Tree) の更新を連携させた FT-online を提案する。これは障害発生時の情報のもとに障害 (error) とその要因 (fault) とをツリー構造で保持し、障害が起こった場合には、ログから障害と要因に関する時系列情報を抽出し、解析結果に従って障害ツリーの更新をできるだけ自動で行い人間の判断を支援する。障害が発生するごとに、ツリーを更新することで、最新の知識に基づ

いた障害モデルを構築し保存、再利用する事ができる。継続的な利用により、現場の障害の知識化を行う。

### 3. 課題と結論

本研究は JST CREST ディペンダブルな組込みシステムオペレーティングシステムのプロジェクトの一つである。本研究は現在、各種要素技術の実装およびロボットシステムの上での実例を利用し検証を進めている。また、データマイニング手法 (アプリアリ) により障害の相関を計算する事で、複雑な障害に対するヒントを与える機能を検証している。未検討課題として、ログの完全性、診断、障害回避や迅速対応やなどの連携などがある。

### 参考文献

- 1) GOTO Junji, HONDA Shinya, NAGAO Takuya, and TAKADA Hiroaki. Development of visualization tool for trace log. 情報処理学会研究報告 *SLDM*, システム LSI 設計技術, 2009(22):73-78, 2009-02-26.
- 2) Qnx momentics tool suite. <http://www.qnx.com/products/tools/qnx-momentics.html>.
- 3) Dtrace (dynamic tracing) community.
- 4) M.Desnoyers and M.R. Dagenais. The lttng tracer: a low impact performance and behavior monitor for gnu/linux. In *Proceedings of the Linux Symposium*, volume1, pages 209-224, 2006.
- 5) J. Wesley Hines and Eddie Davis. Lessons learned from the u.s. nuclear power plant online monitoring programs, " progress in nuclear energy. In *Department of Defense, Washington*, pages 176-189. Elsevier, 2004.
- 6) Ganglia monitoring system. <http://ganglia.sourceforge.net/>.
- 7) Nagios. <http://www.nagios.org/>.