

機関番号：82626

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21700230

研究課題名（和文） RTミドルウェア技術をベースとしたロボットシステム統合のための
プログラム言語研究課題名（英文） Programming Language for Robot System Integration based on
RT-middleware Technology

研究代表者

Biggs Geoffrey (BIGGS GEOFFREY)

独立行政法人産業技術総合研究所・知能システム研究部門・産総研特別研究員

研究者番号：20534803

研究成果の概要（和文）：ロボット用ソフトウェアのモジュール化を推進する RT ミドルウェア技術をベースに、システム統合手法を研究することを目的として、RT ミドルウェア (OpenRTM-aist) の Erlang 版を研究開発した。システムの複雑化が進むに連れて、顧客の要望を満たすシステムを柔軟に構築するための枠組みや支援ツールが存在しないことが問題となっている。一方、通信分野では、Erlang 言語を使った”supervision tree” というコア技術が分散システム管理に導入され、実績を持っている。既開発の RT ミドルウェアの他言語版 (C++, Java, Python) との相互運用性を持ち、Erlang がもつネイティブの分散実行機能も同時に利用出来るように通信機能を拡張した Erlang 版 (OpenRTM-erlang) を開発して公開した。また、Erlang のスーパービジョンツリー技術を導入することで、エラー処理を備えたコンポーネントマネージャを開発した。国際的なソフトウェア標準化団体である OMG において、システム構成を実行時に変更可能にするための枠組みとなる標準公募 (DDC4RTC RFP) に対して、このスーパービジョンツリーの概念を柔軟なエラー処理を実現する枠組みとして提案できた。

研究成果の概要（英文）：This research project investigated the use of the concurrent Erlang programming language and Erlang-like techniques in the development of robotic systems, with a specific goal of providing tools to support the RT Middleware project. The project's outcomes can be divided into two categories: tools and knowledge. In the tools category, we have developed three tools for assisting in the development of robotic systems: a framework for creating coordinators, using Erlang to provide robustness and distributed system support; an implementation of RT Middleware using Erlang as the underlying technology; and a component manager based on techniques developed by Erlang for providing fault-tolerant management of software resources in the face of system failures. This last tool has led to the technique involved, known as Supervision Trees, becoming a core part of a standard under development at the Object Management Group.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：ソフトウェア開発効率化・安定化、知能ロボティクス、知能機械、分散システム管理、RTミドルウェア、システム統合

1. 研究開始当初の背景

ロボットシステムの複雑化が進む中で、それぞれの機能モジュールを組み合わせて目的とするシステムを構築することが難しくなっている。ロボットシステムのモジュール化を推進している RT ミドルウェアにおいても、顧客の要望を満たすシステムを柔軟に構築するための枠組みや支援ツールが存在しないことが問題となっていた。

そこで、すでに複雑なシステムの運用に実績のある他分野のアプローチをロボット分野にも導入することでこの問題を解決することを考えた。

2. 研究の目的

ロボット用ソフトウェアのモジュール化を推進する RT ミドルウェア技術に、それぞれのモジュールを統合してひとつの機能を実現するための構成手法を研究することを目的とする。RT ミドルウェア技術開発プロジェクトで解決されていない課題として、モジュール化された複数の RT コンポーネントを柔軟に組み合わせて、ユーザのニーズを満たす複雑なシステムを柔軟に構築するための枠組みや支援ツールが存在しないことがある。

そこで、通信分野で複雑なシステムを構築した実績を持っているプログラム言語 Erlang の並列実行記述能力を導入することで、ロボットシステムのための各種アプリケーションプログラムが容易に作成できることを狙って、RT ミドルウェア(OpenRTM-aist)の Erlang 版の研究開発を目指す。

3. 研究の方法

Erlang の分散管理技術をロボット分野にも活用するために、以下の2つの課題の研究を遂行する。

(1) Erlang 言語の調査を行い、どの機能がロボットの構築に有用であるか、また、どのように開発に適用出来るかを検討する。

(2) ロボット分野への Erlang 技術適用の有用性を検証するために、システム開発に Erlang 言語を活用した開発支援ツールのプロトタイプを開発する。

最初に(1)の調査及び検討結果を考慮して、次に(2)の開発支援ツールのプロトタイプを開発する。具体的には、協調動作のフレームワーク、RT ミドルウェアの Erlang 版の実装、コンポーネントスパーバイザ、という3つの Erlang 言語を使った開発支援ツールを開発する。

これらのツール開発の過程で得られた知見を活かして、(1)の調査および検討をさらに深化させることを狙っている。

4. 研究成果

プロジェクト成果はシステム開発支援ツール(1)と、開発に際して得られた知見(2)とに類別される。



図1 開発支援ツールの有効性を検証するために試作した移動ロボット

(1) システム開発支援ツール：

ロボットシステム開発のために Erlang の持つ分散管理機能を活用して、以下の3つの開発支援ツールを研究開発した。① 協調動作のフレームワークとしての協調管理ツール (rtctree-erl)；② モジュール化のフレームワークとなる RT ミドルウェアの Erlang 言語版 (OpenRTM-erlang)；③ スーパービジョンツリーをベースとしたコンポーネント管理マネージャ (supervision tree-based component manager)

① 協調管理ツール(rtctree-erl)：RT ミドルウェアのアーキテクチャを利用して、Erlang 言語を使って、コンポーネントの協調接続管理の枠組みを開発した。この枠組みのもとでは、OpenRTM-aist の持つ内部状態の遷移通知を実装し、協調動作を行う機能を提供している。接続が固定されているシステムでは無く、必要に応じて動的に柔軟に接続を変更することが可能となっている。rtctree-erl の特別機能として、OpenRTM-aist ではコンポーネントの内部からしか呼び出せなかった、協調動作のためのコールバックを外部から呼び出すことが可能となっている。これらのコールバックは、OpenRTM-aist ベースシステムの柔軟性を高めるのに貢献する。

rtctree-erl は、Erlang 言語の持つ分散処理機能を活用することが出来る。複数のコンピュータ上に分散したコンポーネントでシステムを構成し、これらのコンピュータの一部

の障害に対するシステムのロバスト性を高めることが出来る。

この `rtctree-erl` の開発成果から、Erlang 言語はロボット分野のソフトウェア記述にも有力な言語であり、特に研究分野への適用が有効であることが確認された。

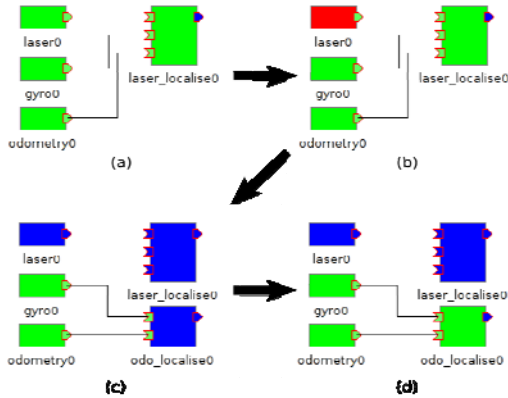


図2 動作不良のコンポーネントが発生した際の協調管理ツール `rtctree-erl` を使ったコンポーネント接続変更の例

②Erlang 言語版 RT ミドルウェアの開発:分散オブジェクトミドルウェアである CORBA を活用して、OpenRTM-aist の Erlang 言語版を開発した。この移植作業の過程において、エラー発生時の復帰処理などで Erlang 言語の持つ記述能力の高さを理解することが出来た。

RT ミドルウェアユーザにとって、この Erlang 言語版への移植自体も、情報処理システムに適した言語なので歓迎されるものである。膨大な情報処理を必要とする RT ミドルウェアユーザは、RT ミドルウェアをサポートする他の言語では得られない、高い情報処理能力を Erlang 言語の導入により得られるであろう。

③スーパービジョンツリーベースのコンポーネント管理ツールの開発:Erlang 言語のコンポーネントと RT システムの中の RT コンポーネントを対応づけることにより、柔軟なコンポーネント管理ツールを開発した。基本概念は、スーパービジョンツリーと呼ばれる技術であり、この 20 年間ちかく産業界に実際に導入されて開発されてきた技術であり、Erlang 言語で開発されるシステムのコンポーネント管理に使われてきた。分散システム上において、容易にコンポーネントを配置し、障害発生の際には、実行時であっても状況に応じてコンポーネント間の接続関係を柔軟に管理するものである。

スーパービジョンツリーは、ソフトウェア構成要素を階層的に記述するものである。ここでソフトウェア構成要素は `worker` と `supervisor` との2つである。`worker` はアプリケーションに求められる機能を提供するソフトウェアであり、`supervisor` は `worker` のエラー状態の監視とともにそのライフタイムを管理する。スーパービジョンツリーのツリー構造の末端ノードは `worker` であり、全ての中間ノードは `supervisor` である。概念的に、全ての内部ノードはひとつのサブシステムとして考えることが出来る。その内部ノードの子ノードはサブシステムのひとつの機能を実現するものである。移動ロボットを例としたスーパービジョンツリーの構成例を図3に示し、実行中の RT システムのコンポーネントとスーパービジョンツリーの対応関係を図4に示す。

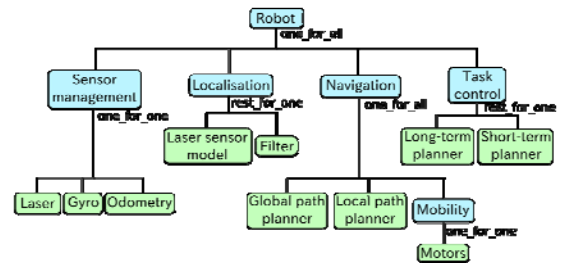


図3 ロボットシステムを構成するソフトウェアコンポーネントを管理するスーパービジョンツリーの例

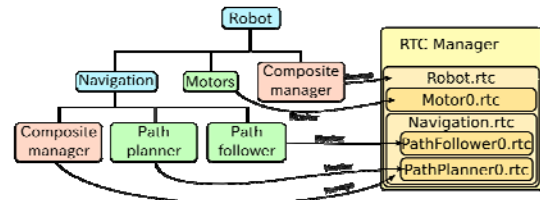


図4 Erlang による RT コンポーネントの管理 (左側がスーパービジョンツリー、右側が対応する RT コンポーネント)

この研究で開発したコンポーネント管理マネージャはこのスーパービジョンツリーを使って RT コンポーネントを管理する。システムのエラー状態に応じてコンピュータに必要とされるコンポーネントを動的に配置し (図5参照)、システム終了時には複数のコンピュータに分散配置されたコンポーネントを終了させる機能を持っている。アプリケーションユーザが細かく指示することなく、エラー処理を行う能力は、この開発したコンポーネント管理マネージャが持つ大きな特長となっている。

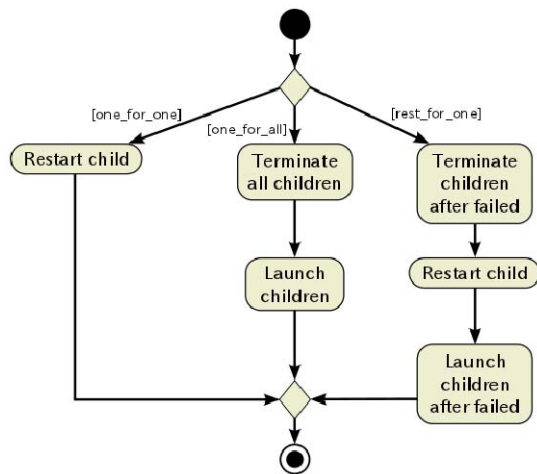


図 5 Erlang を使ったエラー回復処理の例
(研究開発成果として、OMG の標準仕様の
一部として提案中)

また、このツリー構造は、サブシステムの抽象化に貢献するとともにカプセル化を実現している。RT ミドルウェア技術の鍵となるソフトウェアコンポーネントの再利用性を高めるためにも重要な機能となる。過酷な産業アプリケーションに耐えてきた手法が、研究成果に繋がっている。

(2) 開発に際して得られた知見：

上記のツール開発の過程で、Erlang 言語が歴史的に獲得してきたロバスト性を高める技術の知見をロボットシステムに取り込むことが出来た。これらの技術は、実社会の産業界のロバスト性や耐故障性が求められる分散度の高いシステムに使われて磨かれてきたものである。

Erlang 言語は、強力な実績のある技術を持っているにもかかわらず、ロボット分野のアプリケーションに導入されて普及していなかった。調査したところ、ロボット分野で他に 2 件の利用例が見つかったが、残念ながら今回の研究成果の鍵となっている高度な管理機能を利用していないものであった。

RT ミドルウェアプロジェクト (2002-2004) が終了した後も、RT ミドルウェアのサポートが続けられている。同様に、Erlang から学んだスーパービジョンツリーの概念は、国際的なソフトウェアの標準化団体である OMG (Object Management Group)において、新しい標準仕様の一部に取り込みつつあるところである。

ロボット用コンポーネントのための動的な

構成と設定のための標準仕様 (Dynamic Deployment and Configuration for Robot Technology Components (DDC4RTC)) の標準化が進められている。RT ミドルウェアシステムにおいて、実行システムの中の RT コンポーネントの配置や接続関係をシステム状態に応じて動的に変更するための、インタフェースや振る舞いを規定するものである。

スーパービジョンツリーの概念はこの標準仕様の中心となるものである。RT ミドルウェアの複合コンポーネントで使っているようなコンポーネントベースのツリー構造は、直接、Erlang のスーパービジョンツリーにマッピングすることが出来ている。

Erlang のスーパービジョンツリーとそのコンポーネント管理プロセスが動的な再構成を実現する手段として提案され、ロボットの内部状態は外部環境の変化に応じて、動的にシステム構成を変化させて、新しい機能を発現することが出来る。

この DDC4RTC 標準仕様は、まだ、OMG の中で、標準化プロセスを進めている途中段階であり、一年後の標準仕様の発行を目指して、2011 年度末にはその前段階の文書化作業部会が設置される予定である。この OMG の DDC4RTC 標準仕様を通して、この研究プロジェクトの成果は、将来的には広く国際的な影響を与えることになるであろう。

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)

[学会発表] (計 2 件)

- ① Geoffrey Biggs, 安藤 慶昭, 神徳 徹雄, Erlang に基づいた RT ミドルウェア用コンポーネントマネージャ, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011 年 5 月 28 日, 岡山.
- ② Geoffrey Biggs, Noriaki Ando and Tetsuo Kotoku, "Coordinating software components in a component-based architecture for robotics." 2nd International Conference on SIMULATION, MODELING and PROGRAMMING for AUTONOMOUS ROBOTS (SIMPAR 2010), 2010 年 11 月 18 日, Darmstadt, Germany.

[その他]

ホームページ等

<http://staff.aist.go.jp/geoffrey.biggs/erlang.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

Biggs Geoffrey (BIGGS GEOFFREY)
独立行政法人産業技術総合研究所・知能システム研究部門・産総研特別研究員
研究者番号：20534803