

Title	Execution of Distributed Systems described in LOTOS and its Visualization
Author(s)	安本, 慶一
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3110262">https://doi.org/10.11501/3110262</a>
DOI	10.11501/3110262
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/>

氏名	安本 慶一
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 12590 号
学位授与年月日	平成 8 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文名	Execution of Distributed Systems described in LOTOS and its Visualization (LOTOS で記述された分散システムの実行とその可視化)
論文審査委員	(主査) 教授 谷口 健一 (副査) 教授 藤井 護      教授 萩原 兼一      助教授 東野 輝夫

#### 論文内容の要旨

本論文は、並行動作を扱う形式言語を用いて高信頼分散システムを効率良く設計、開発することを目的として、システムの仕様の実行およびその動作状況の可視化についての研究をまとめたものである。本論文は、形式言語の例として ISO で標準化されている LOTOS を採用した。LOTOS は、イベントの実行順序を指定するための選択、並列、割込などのオペレータや複数並行プロセス間の同期通信機構などの高度なプリミティブ群を有し、分散システムの仕様記述に広く利用されている。本研究では、LOTOS を対象に、(i)分散システムのサービス仕様から各ノードの動作仕様の導出、(ii)全ノードの動作仕様群のシミュレータの作成、(iii)各ノードの動作仕様のコンパイラの作成について、以下の研究を行った。

第一に、データおよび割込指定等を含む LOTOS のサービス仕様、および各入出力ゲートのノードへの配置指定を入力とし、協調してサービス仕様通りに動作する全ノードの動作仕様群を出力するアルゴリズムを与える。ノード間のイベントの選択、同期実行は対象としない。ノード間のイベントの実行順序、データの分配は、サーバを介した集中制御ではなく、ノード間の非同期直接通信を用いて実現する。この際、ノード間におけるイベントの実行依存関係やデータ依存関係などから、必要な時だけノード間で通信を行うようにする。実行依存関係やデータ依存関係を調べるため、サービス仕様の任意の部分動作式に対して、最初あるいは最後に実行可能なイベントの属するノードの集合、およびデータ名とそれを使用するノードの組を要素とする集合等を求める。これらの集合の計算および導出アルゴリズムを簡便に実現するため、与えられたサービス仕様の動作式の構文木に対する属性文法を与え、属性評価器を作成した。考案したアルゴリズムを、あるソフトウェアプロセスの公開問題の一つである「ケルナーの例題仕様」に適用し、実用的な時間で全技術者(ノード)の動作仕様群を導出できることを確認した。

第二に、分散システムの動作解析を目的として、各ノードの動作仕様を実行しその動作状況を図的に表示するシミュレータを作成する。全ノードでのシミュレータの分散実行により、分散システム全体の動作を実現する。各ノードの動作仕様に記述されている通信イベントを実行し、実際に他ノードと通信を行う機能をシミュレータに実装した。また、各ノードの動作仕様の実行状況をわかりやすく表示するため、各時点での動作式の構造および実行可能イベントを構文木の形で図的に表示し、イベントの実行に応じて高速に書き換える機能を実現した。全てのノードの動作仕様群が実行された時に、対応するサービス仕様のどの部分を実行しているのかを追跡し表示する機能も実現した。

第三に、各ノードの動作仕様をマルチスレッド機構(一つのユーザプロセス内に複数の並列処理単位を生成し高速

に実行する仕組み)を用いて高速に実行するための方式を提案し、仕様から目的コードを生成するコンパイラを作成する。また、目的コードの実行状況を実時間で表示する可視化法を与える。提案する実行方式では、仕様内の逐次処理可能な部分動作式を、マルチスレッド機構のスレッドに割り当て、目的コード中で並行に生成・実行する。複数スレッド間で、仕様に指定されている順番にイベントが実行されるように、各スレッドは制御領域(大域変数領域)を参照し、自スレッドのイベントが実行可能かどうかを判定し、可能なら、そのイベントを実行することを制御領域に書き込み、イベントを実行する。複数スレッド間に複数オペレータが階層的に指定されている場合のイベントの実行順序を保証するため、制御領域を各オペレータごとに用意された作業領域を節とする木として構成する。各スレッドは、制御領域内の関連する作業領域群を葉から根に向かって階層的に参照し、イベントの実行可能性を判定する。プロセスの生成、消滅による制御領域の動的変化に対し、領域の増大、複雑化を抑えている。一方、提案する可視化法では、システムの仕様(元仕様)のあるイベントが実行された時に、それを視覚化するアニメーションを表示する。可視化用シナリオには、元仕様中の可視化したいイベントと対応するアニメーションをLOTOSで記述する。元仕様とその可視化用シナリオをLOTOSの同期並列オペレータで連結することで、元仕様を変更することなく可視化されたLOTOS仕様を得る。可視化されたLOTOS仕様は、コンパイラによりマルチスレッド化目的コードに変換され、実行される。いくつかの例を用いて、選択、並列実行に関して他のコンパイラより実行効率の良い目的コードを生成できることを確認した。同期並列実行に関しては、同期するプロセスの数を一定に制限しているコンパイラと比べても遜色無い実行効率の目的コードを生成できた。また考案した可視化法を「哲学者の食事問題」のLOTOS仕様に適用し、十分高速にアニメーション表示可能なことを確認した。

#### 論文審査の結果の要旨

本論文は、並行動作を記述できる形式言語 LOTOS を用いた高信頼分散システムの設計開発技術の向上を目指して行った研究をまとめたものである。

本論文では、まず、従来扱えなかった、データを含み、かつ割込等のオペレータを含む分散システムの全体仕様と各入出力ゲートの各ノード(計算機)への配置指定から、ノード間での非同期通信によるメッセージ交換動作を含む個々のノードの動作仕様を自動導出する方法を考案している。本導出法では、全体仕様からイベント間の実行順序およびデータ依存関係を抽出し、ノード間で必要な時だけメッセージ交換を行うことによって、不必要なメッセージ交換を省いている。複数技術者の協調動作からなるソフトウェアプロセスの公開問題である「ケルナーの例題」を並行分散システムの典型例と見なして記述した全体仕様から、実行時間で全技術者の動作仕様群を導出できることを実験により示し、本導出法の実用上の有用性を確認している。

つぎに、導出された各ノードの動作仕様を実行し、各時点での動作式の構造と実行可能なイベントを図的に表示するシミュレータを作成している。各動作仕様が他のノードの動作仕様群とどのように協調し全体仕様どおりに動作するのかを効果的に解析するため、各動作仕様および全体仕様の両方の動作状況を同時に図的表示する機能を実現している。

さらに、各ノードの動作仕様を、マルチスレッド機構を用いて効率良く実行する方法を考案しコンパイラを作成している。本実行方式では、プロセス間のメッセージ交換機構として、動的に変化する共有領域を用いることによって、従来より広いクラスの LOTOS 仕様を扱えるようにしている。共有領域のデータ構造などを工夫することで、クラスを制限している他の実行方式と比べても、遜色ない実行効率を得られることを実証している。また、仕様のイベント実行時に表示したいアニメーション内容を記述したシナリオを元の仕様に追加するだけで、その動的実行状況を視覚表示できる方法を考案している。作成したコンパイラを用いて、元の仕様の実行効率をあまり下げることなく、動作状況を視覚表示できることを実験により示している。

以上の研究成果は、LOTOS などの並行言語を用いた高信頼分散システムの設計開発技術の進展に貢献しており、本論文は博士(工学)論文として価値あるものと認める。