

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 27 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23500045

研究課題名(和文)分散システムの振る舞いモデル自動合成のためのネット理論展開

研究課題名(英文)Petri Nets Theory for Automatic Synthesis of Behavioral Model in Distributed Systems

研究代表者

宮本 俊幸 (MIYAMOTO, Toshiyuki)

大阪大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：00294041

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：高信頼ソフトウェアの開発は、安心・安全な社会を実現する上で必要不可欠である。本研究では、抽象的な要求仕様から分散システムを構成するモジュールの振る舞いモデルを自動合成する問題に取り組んだ。要求仕様から振る舞いモデルを自動合成するためのペトリネットを用いた手法を提案した。また、提案手法をUMLモデリングツールのプラグインとしてソフトウェア実装した。提案手法はモデルの理解しやすさの点で既存手法より優れていた。

研究成果の概要(英文)：Development of high reliability software is indispensable to achieve safe and secure society. This research program addressed the problem of automatically synthesizing the behavioral model of each module that composes a distributed system from an abstract specification. The method using Petri nets to automatically synthesize behavioral model from a specification has been proposed; the method has been implemented as a plug-in of a UML modeling tool. The proposed method is superior to the existing method in terms of intelligibility of model.

研究分野：分散システム

キーワード：ソフトウェア開発効率化・安定化 ソフトウェア工学 アルゴリズム 情報システム

1. 研究開始当初の背景

組み込みシステムやインターネットなど今日の我々の便利な生活を支えるあらゆるものにおいて、ソフトウェアが重要な役割を果たしている。しかしながら、ソフトウェアの不具合(バグ)が様々な物理的事故や経済的損失を引き起こしており、高信頼性ソフトウェア構築技術が求められている。

また、最近のソフトウェアは単体で動作するのではなく、自動車における車載ネットワークを使った制御ソフトウェアや情報通信システムにおけるサービス指向アーキテクチャ(SOA)のように、ネットワークで繋がった複数のプロセスが連携しながらタスクを実行する。いわゆる、分散システムである。制御分野では、物理システムとネットワーク化された情報システムが密接に結合したシステムをサイバーフィジカルシステムと名付けて、欧米を中心に新たな研究分野として展開されている。このように、今後ますます重要となる分散システムにおける高信頼性ソフトウェア開発は安心安全な社会を実現する上で重要な課題となる。

ソフトウェアの信頼性を高める一つの方法として、プログラムの自動合成がある。良い仕様から仕様を満足するプログラムを自動合成することができれば、信頼性の高いソフトウェアが開発される。

研究代表者らはシナリオを UML 2.X のコミュニケーション図によって与え、コミュニケーション図から階層型状態機械を合成する手法を提案している。この手法は中間言語としてペトリネットを用いており、既存研究に対して複数のシナリオから単一の状態機械を導出可能であるなどの優位性があるが、階層化手法について改善の余地があり、さらなる検討が必要であった。

2. 研究の目的

本研究では以下の(1)~(5)を明らかにすることを目的とする。

(1) シナリオからペトリネットへの変換規則の確立

シナリオで定義されているメッセージの送受信関係を抽出し、ペトリネットを用いて表現する。既存手法では、同期通信と非同期通信の区別が明確でなかった。明確になるよう変換規則を再検討する。

(2) ペトリネットから状態機械図へ直接合成可能であるための条件の導出

既存手法では、ペトリネットから状態空間を生成してから状態機械図を合成している。本研究では、状態機械図を直接合成する手法の確立を目指す。しかし、ペトリネットから状態機械図を直接合成することは一般には困難である。そこで、新たな高位ペトリネットを導入し、高位ペトリネットから階層型状態機械図が直接合成可能となるための条件

を導出する。

(3) ペトリネット-高位ペトリネット変換が可能であるための条件の導出

(1)で得られるシナリオから導出されたペトリネットと(2)で示される階層型状態機械図を直接合成可能な高位ペトリネットとの関係を明らかにし、ペトリネット-高位ペトリネット変換が可能となるための条件を導出する。

(4) シナリオ-状態機械図変換アルゴリズムの導出

(1), (2), (3)の成果を元にシナリオからペトリネットの状態空間を生成せずに状態機械図を自動合成するアルゴリズムを開発する。

(5) 提案手法の評価

(4)の成果を UML モデリングツールのプラグインとして実装し、評価実験によって提案手法の有効性を明らかにする。

3. 研究の方法

まず、シナリオから状態機械を自動合成するために、ペトリネットから UML の階層型状態機械への変換方法を開発するための理論的考察を行う。この時、ペトリネットの表現能力と状態機械の表現能力の差により、任意のペトリネットを状態機械に変換することは困難であると考えられる。ペトリネットと状態機械の関係を明らかにすることにより、状態機械に変換可能なペトリネットのクラスを導出する。

次に、シナリオを状態機械へ変換するアルゴリズムを開発する。この時、ペトリネットから状態機械に直接合成可能であるための条件を導出する。しかし、ペトリネットから状態機械を直接合成することは一般に困難であるため、新たな高位ペトリネットを導入し、高位ペトリネットから状態機械を自動合成するための条件も導出する。

最後に、シナリオから状態機械を自動合成するアルゴリズムを開発し、ソフトウェア実装する。そして、いくつかのサンプルシステムを使って開発したアルゴリズムの評価を行う。

4. 研究成果

研究目的に対する成果は以下のようになる。

(1) シナリオからペトリネットへの変換規則の確立

シナリオで定義されているメッセージの送受信関係について、同期通信と非同期通信で生起する事象を区別することによって、同期通信と非同期通信が混在するシナリオに対応した変換規則を確立することに成功した。

(2) ペトリネットから状態機械図へ直接合成可能であるための条件の導出

ペトリネットの構造的性質と状態機械との関係について検討した。その結果、ペトリネットから状態空間を生成せずに、状態機械を直接合成するためには、ペトリネットに T-Tブリッジと呼ばれる構造が無いことが必要であることを示した。

(3) ペトリネット-高位ペトリネット変換が可能であるための条件の導出

T-Tブリッジが存在する場合に、T-Tブリッジが存在しない高位ペトリネットへ変換するためのアルゴリズムを提案した。また、ペトリネットと変換によって得られた高位ペトリネットが同じ振る舞いをすることを示した。

(4) シナリオ-状態機械図変換アルゴリズムの導出

(3)で得られた高位ペトリネットから、ペトリネットの状態空間を生成せずに状態機械を合成するアルゴリズムを開発した。状態空間を生成する場合指数オーダの計算が必要であるが、提案した直接変換アルゴリズムは多項式オーダであるため、計算量の削減が達成された。

(5) 提案手法の評価

(4)の成果を UML モデリングツール(IBM Rational Software Architect)のプラグインとして実装した。

図 1 に開発したソフトウェアの実行画面を示す。左上にコミュニケーション図があり、右上および下が開発したソフトウェアによって自動的に合成された状態機械である。なお、このソフトウェアは研究代表者のホームページで一般公開している。

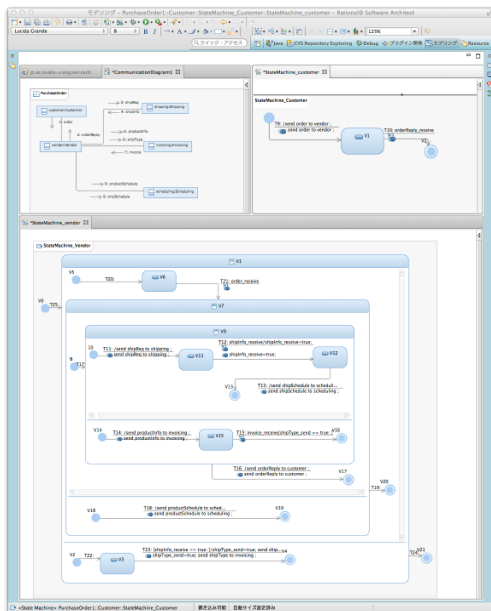


図 1 : 開発ソフトウェアの実行画面

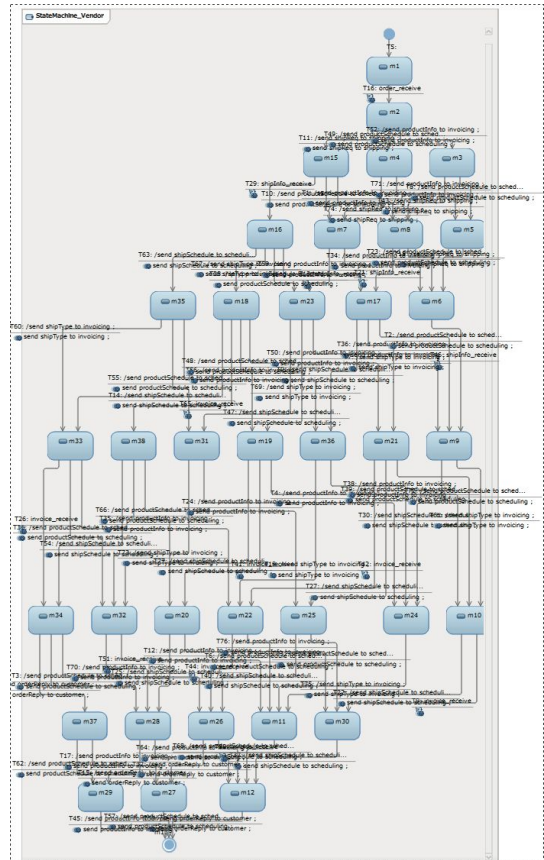


図 2 : 既存手法で合成された状態機械

図 2 に既存手法で合成された状態機械の例を、図 3 に提案手法で合成された同じ例に対する状態機械を示す。既存手法では遷移が複雑に絡み合っており、動作を理解するのは困難であるが、提案手法では階層構造を使うことによって、理解しやすい状態機械を合成している。

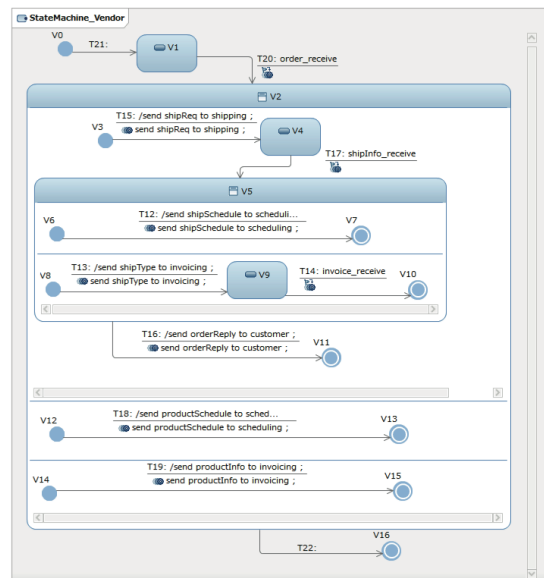


図 3 : 提案手法で合成された状態機械

表 1 : 評価実験の結果

ex	既存手法			提案手法		
	NSS	NT	NG	NSS	NT	NG
1	32	52	0	11	32	4
2	7	10	0	7	10	0
3	15	23	0	8	15	0
4	17	25	0	7	20	0
5	15	22	0	10	18	0
6	48	88	0	14	36	2
7	23	32	0	16	27	4

表 1 に評価実験の結果を示す。この実験では既存手法と提案手法を Cruz-Lemus らによって提案されている状態機械の理解しやすさに関する指標を使って比較した。指標 NSS は単純状態の数, NT は遷移の数, NG はガードの数であり, いずれも値の小さい方が理解しやすいと言われている。提案手法では既存手法より NSS において 55%, NT において 37% の削減に成功しており, この結果は提案手法の有効性を示している。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Toshiyuki Miyamoto, Yasuwo Hasegawa, and Hiroyuki Oimura, An Approach for Synthesizing Intelligible State Machine Models from Choreography Using Petri Nets, IEICE Transactions on Information and Systems, 査読有り, vol.E97.D, 2014, 1171-1180
DOI: 10.1587/transinf.E97.D.1171

Toshiyuki Miyamoto and Kyota Horiguchi, Modular Reachability Analysis of Petri Nets for Multiagent Systems, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 査読有り, vol.43, 2013, 1411-1423
DOI: 10.1109/TSMC.2013.2250278

〔学会発表〕(計 9 件)

老邑博行, 宮本俊幸, コレオグラフィ実現問題に対するペトリネットを用いた手法の実装, 電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ大会, 2013 年 9 月 20 日, 福岡工業大学 (福岡県・福岡市)

Toshiyuki Miyamoto and Hiroyuki Oimura, A Tool to Synthesize Intelligible State Machine Models from Choreography using Petri Nets, International Workshop on

Petri Nets and Software Engineering 2013, 2013 年 6 月 25 日, ミラノ (イタリア)

Toshiyuki Miyamoto, Yasuwo Hasegawa, A Petri Net Approach to Synthesize Intelligible State Machine Models from Choreography, International Workshop on Petri Nets and Software Engineering 2012, 2012 年 6 月 26 日, ハンブルグ (ドイツ)

長谷川康央, 宮本俊幸, cbUML のコミュニケーション図から状態機械への変換およびそれらの形式的意味について, 電子情報通信学会システム数理と応用研究会, 2012 年 1 月 26 日, 高知市文化プラザかるぽーと (高知県・高知市)

新村勇人, 宮本俊幸, SMT ソルバーを用いた UML 状態機械の有界モデル検査に関する一考察, 電子情報通信学会システム数理と応用研究会, 2012 年 1 月 26 日, 高知市文化プラザかるぽーと (高知県・高知市)

長谷川康央, 新村勇人, 宮本俊幸, SOA に基づくシステムの設計検証のための UML サブセット, 電子情報通信学会システム数理と応用研究会, 2011 年 11 月 18 日, 山口大学 山口県・山口市)

Toshiyuki Miyamoto and Kyota Horiguchi, Modular Reachability Analysis in Fundamental Class of Multi-agent Nets, IEEE IECON 2011, 2011 年 11 月 9 日, メルボルン (オーストラリア)

宮本俊幸, ペトリネットを用いたサービス振る舞いモデルの自動合成, 電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ大会, 2011 年 9 月 16 日, 北海道大学 (北海道・札幌市)

長谷川康央, 宮本俊幸, ブリッジ除去による UML コミュニケーション図から UML 状態機械図への変換手法の正当性について, 第 55 回システム制御情報学会研究発表講演会, 2011 年 5 月 18 日, 大阪大学 (大阪府・吹田市)

〔その他〕

ホームページ等

<http://is.eei.eng.osaka-u.ac.jp/miyamoto/index.php?CSCB>

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

宮本 俊幸 (MIYAMOTO, Toshiyuki)
大阪大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 00294041