

Title	ゲシュタルト原理に基づく状態機械の見える化とその応用
Author(s)	BUI, DUY DANG
Citation	
Issue Date	2022-12
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	http://hdl.handle.net/10119/18189
Rights	
Description	Supervisor: 緒方 和博, 先端科学技術研究科, 博士

氏名	BUI, Duy Dang		
学位の種類	博士 (情報科学)		
学位記番号	博情第 489 号		
学位授与年月日	令和 4 年 12 月 23 日		
論文題目	State Machine Visualization Based on Gestalt Principles and Its Applications		
論文審査委員	主査	緒方和博	北陸先端科学技術大学院大学 教授
		平石邦彦	同 教授
		青木利晃	同 教授
		石川冬樹	国立情報学研究所 教授
		中村正樹	富山県立大学 准教授

論文の内容の要旨

This dissertation proposes an approach to visualizing/graphically animating state machines based on Gestalt principles for humans to find invariants of the state machines. This approach mainly addresses the question “Can Gestalt Principles help humans to understand state machines well?,” where to understand state machines is defined as knowing invariant properties of the state machines. The more humans know invariant properties of the state machines, the better humans understand the state machines.

State machine visualization is one possible way to make humans gain insights into state machines because humans are good at visual perception. Graphically animating state machines is one approach to state machine visualization. To graphically animate state machines, it is necessary to design what are called state picture templates such that a series of state picture template instances (or state pictures) can be regarded as a movie film. Any state picture templates of a state machine do not work well for our purpose, and we need to carefully design a state picture template of a state machine so that graphical animations based on it help humans to find likely invariants of the state machine. We use Gestalt principles, a set of principles/laws that describes how humans group similar elements, recognize patterns, and simplify complex images when humans perceive visual objects, to design state picture templates of state machines. Because likely invariants of a state machine may not be true invariants of the state machine, we first use model checking to check if likely invariants have counterexamples and then use interactive theorem proving to judge if likely invariants left are true invariants of the state machine. We basically use a tool called State Machine Graphical Animation (SMGA) that takes a state machine template and a state sequence of a state machine, and generates a graphical animation of the state machine. However, SMGA is not mature enough.

This dissertation addresses how likely invariants of protocols/systems can be found by humans who use the graphical animation approach. In particular, this research shows the importance of the state picture template and gives practical tips for users to design complex protocols/systems. Those tips are inspired and evaluated by Gestalt principles. We also propose guidelines of how to use the tips for finding likely invariants. To make the guidelines more effective, SMGA is revised by integrating it with Maude, a specification/programming language and processor that is equipped with many useful facilities, such as a

reachability analyzer (the search command), a parser for context-free grammars plus associative-commutative (AC) binary operators and a pattern matcher for the grammars plus AC binary operators. The revised version of SMGA is called r-SMGA in which such powerful features of Maude can be used. The search command can be used as an invariant model checker.

Case studies are conducted to demonstrate the usefulness of the proposed approach and r-SMGA. Based on experiments with new features of r-SMGA and the guidelines proposed, several likely invariants are found, and most of them survive with the search command feature of r-SMGA and are proven true invariants with interactive theorem proving. When conducting interactive theorem proving for a likely invariant that has survived with the search command, we can use some of other such likely invariants as lemmas, provided that we have found an enough number of likely invariants of a state machine.

Keywords: state machine graphical animations; r-SMGA; likely invariant discovery; Gestalt principles; interactive theorem proving.

論文審査の結果の要旨

多くのコンピュータシステムは状態機械で形式化することができ、そのようなシステムが期待される要求を満たすことは状態機械が所望の性質を満たすことで科学的に確認することが可能である。科学的に確認する方法には、モデル検査、定理証明などいくつかあり、もっとも堅牢なのは定理証明による方法である。ただし、定理証明による方法は、要求に対応する主要な性質に加え、補題とよばれる副次的な性質を必要とする。補題ははじめから分かっているわけではなく、定理証明をすすめながら発見していく必要がある。補題も性質であるため、補題を発見することは対象とするコンピュータシステムをよりよく理解していく作業をすることになる。本論文では、視覚情報をひとがどのように認識しているのかを説明するゲシュタルト法則を用い、状態機械を視覚化するための（状態図テンプレートを作成するための）基本的な方法を提案し、提案方法を有効に利用するために状態機械のグラフィカルアニメーション作成支援ツールである SMGA (State Machine Graphical Animation) と形式仕様言語・システム Maude を統合したツール r-SMGA を開発し、r-SMGA を用いた likely invariants をみつけるための基本的な方法を提案している。Suzuki-Kasami 分散相互排除プロトコルと Java の仮想機械などで用いられている MCS 共有メモリ相互排除プロトコルを事例として用い、これらのプロトコルを状態機械として形式化し、Maude で状態機械の形式仕様を作成し、形式仕様に基づき状態図テンプレートを作成し、r-SMGA でグラフィカルアニメーションを作成し、likely invariants を発見するという事例研究を実施している。加えて、発見した likely invariants をまずはモデル検査で確認し、反例の見つからなかった likely invariants に対し定理証明で真の invariants であることを確認するため、プロトコルを形式化した状態機械を形式仕様言語・システム CafeOBJ で仕様を作成し、CafeOBJ で証明スコアを記述・実行することで定理証明を実施している。反例の見つからなかったすべての likely invariants は真の invariants であることを確認している。定理証明で必要となる補題は、likely invariants そのものか、あるいは likely invariants を基に作成されるものであった。以上から、ゲシュタルト法則はひとが状態機械を理解する助けになり得ると結論付けている。

以上、本論文は、ゲシュタルト法則はひとが状態機械を理解する助けになり得ること、ひいては定理証明の助けになることを、ゲシュタルト法則に基づく状態機械の視覚化の基本方法の提案、支援ツールの

開発、状態機械の視覚化情報から **likely invariants** を見つける基本方法の提案、事例研究の実施により明らかにし、学術的に貢献するところが大きい。よって博士（情報科学）の学位論文として十分価値あるものと認めた。