

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	定量的性質を記述可能な拡張時間論理とそれを用いた仕様の検証手法に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	富田 堯
Author(English)	Takashi Tomita
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9328号, 授与年月日:2013年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:米崎 直樹,徳田 雄洋,権藤 克彦,渡部 卓雄,西崎 真也
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9328号, Conferred date:2013/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻：	計算工学	専攻	申請学位 (専攻分野)：	博士	(工学)
Department of			Academic Degree Requested	Doctor of	
学籍番号：			指導教員 (主)：		米崎 直樹
Student ID Number			Academic Advisor(main)		
学生氏名：	富田 堯		指導教員 (副)：		
Student's Name			Academic Advisor(sub)		

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は「定量的性質を記述可能な拡張時間論理とそれを用いた仕様の検証手法に関する研究」と題し、4部11章からなる。

第I部は3章からなる序論である。

第1章では、研究の背景、目的、概要を述べている。近年注目されている定量的性質を記述可能な言語は、システムの性能に関する仕様を記述することができるが、その仕様の検証や最適化は一般には困難であること、そして本研究では定量的性質を直観的に記述可能な時間論理とその効果的、効率的な検証手法の開発が目的であることを延べ、本研究で開発された二つの拡張時間論理とその検証手法の概略を述べている。

第2章では、一般的に用いられる定量的性質とその検証手法の概要について述べている。そして本研究で扱う定量的性質である、確率と頻度、そして平均利得について非形式的に説明している。

第3章では、本論の準備として、状態遷移系やMarkov連鎖などのモデル、時間論理、 ω -オートマトンなどを紹介している。また、環境と継続的に入出力のやり取りを行うリアクティブシステムと、そのやり取りをモデル化するゲームについても紹介している。

第II部は2章からなり、確率頻度時間論理とその検証手法について述べている。

第4章では、頻度の概念を導入した拡張確率時間論理PFTLを定義し、ここで新たに導入された頻度演算子を用いることで、確率的システムのランダムな振る舞いの性質を直観的に記述することができると述べている。

第5章では、第4章で定義した時間論理PFTLのモデル検査手法を、CTL型フラグメントPFCTLに関するモデル検査手法と、LTL型フラグメントPFTLのモデル検査手法に分けて述べている。PFCTLモデル検査については、既存の確率時間論理と同様の数値計算ベースの検査手法を与えている。離散時間PFTLモデル検査については、確率的LTLモデル検査に帰着することができることを示している。また、連続時間PFTLモデル検査については、統計的手法を用いた時間有界な近似的モデル検査手法を与えている。そして、この統計的モデル検査手法は、通常のモデル検査では扱うことが困難な確率微分方程式などの連続無限状態モデルも検査対象にすることが可能であると述べている。さらに、このPFTLモデル検査手法により、既存のモデル検査では検証困難であった確率的振動系の性質を記述、検証できることを示している。

第III部は4章からなり、平均利得線形時間論理とその検証手法について述べている。

第6章では、LTLに平均利得の概念を導入した時間論理LTLMpを定義している。そして、この時間論理に新たに導入された平均利得式を用いることで、イベントの生起頻度や実行の平均コスト等の性質を直観的に記述できると述べている。さらに、この時間論理によって規定される言語の表現力について考察している。

第7章では、 ω -正規オートマトンに平均利得の概念を導入した拡張オートマトンの定義と性質、そして空判定手法について述べている。第6章で定義したLTLMpが規定する振る舞いの集合からなる言語は、このオートマトンで認識することができる。そしてこのオートマトンの空判定を線形制約充足問題に帰着する手法を与え、空判定問題がオートマトンの大きさに対して多項式時間で決定できることを証明している。また、このオートマトンとLTLMpの表現力について考察し、この決定性オートマトンの受理言語のクラスとLTLMpが規定できる言語のクラスが比較不能であることなどを証明している。

第8章では、LTLMpのモデル検査と充足可能性判定、さらに最適化手法に関して述べている。第7章の結果を用い、これらの問題がLTLMpで規定される言語を認識するオートマトンの空判定問題に帰着することができ、指数時間で決定可能であることを証明している。また、第5章で与えた離散時間PFTLモデル検査と同様の手法で、確率的LTLMpモデル検査を確率的LTLモデル検査に帰着できることを示している。さらに、充足可能性判定が最終的に線形制約充足問題に帰着できることを利用して、LTLMp仕様に従う平均利得目的関数の最適化問題を線形計画法により指数時間で計算する手法を与えている。

第9章では、決定性オートマトンで認識可能であることが保証されているLTLMpフラグメントLTLMp-を定義し、与えられた環境のもとでLTLMp-仕様が実現可能かを判定し、設定された平均利得目的関数に関して最適リアクティブシステムを合成する手法を与えている。この判定 (合成) 手法は、第8章で与えたLTLMpの充足可能性判定 (最適化) 手法を拡張した手法であり、有限メモリ実現可能性判定 (最適合成) を三重指数時間で決定 (計算) できることを証明している。そして、この最適合成アプローチでは、多目的線形計画法などの応用技術が適用できると述べている。

第IV部は2章からなる結論である。

第10章では、既存の定量的言語、定量的性質を記述可能な時間論理、定量的ゲームに関する研究と本研究の関連について述べている。

第11章では、本論文の内容をまとめている。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 2 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 2 copies of 800 Words (English).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	計算工学	専攻	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学籍番号 : Student ID Number			指導教員 (主) : Academic Advisor(main)		米崎 直樹
学生氏名 : Student's Name	富田 堯		指導教員 (副) : Academic Advisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

The thesis titled “Several Quantitative Extensions of Temporal Logics and Their Verification Methods” consists of 11 chapters.

In Chapter 1, I state the background and purposes of the research and the outline of the thesis. The background is the fact that some languages are used for describing specifications about performance of systems, however, it is difficult in many cases to analyze and verify quantitative properties of the specifications. The purposes are to extend temporal logics to represent intuitively quantitative properties and to develop effective verification methods for them.

Chapter 2 gives general overview of quantitative properties and verification methods, and presents informally the concepts of probability, frequency and mean-payoff.

Chapter 3 introduces notions of transition systems, temporal logics, omega-automata and reactive systems that interact continuously with external environments as a basis.

Chapter 4 defines an extended probabilistic temporal logic, PFTL, with a frequency operator, and states that properties of randomized behaviors of probabilistic systems can be intuitively represented with the new operator.

In Chapter 5, I introduce PFTL model-checking methods by using numerical and statistical techniques. Additionally, it is stated that statistical techniques can be applied to PFTL model-checking against continuous-state models, e.g., stochastic differential equations.

Chapter 6 defines an LTL extension, LTLmp, with mean-payoff formulae, and shows that mean-payoff formulae can intuitively represent properties about occurrence frequency of events and average costs on long-run executions of systems.

Chapter 7 defines extended omega-regular automata to recognize languages specified by LTLmp formulae, and proves that its emptiness problem can be solved in polynomial-time by reducing it to several linear constraint satisfaction problems.

Chapter 8 shows that the model- and satisfiability- checking problems of LTLmp can be solved in exponential-time by reducing them to the emptiness problems in Chapter 7. Moreover, I give an optimization method of a mean-payoff objective, subject to an LTLmp specification, with linear programming.

Chapter 9 defines an LTLmp fragment, LTLmp-, for realizability checking, and gives methods to check realizability of an LTLmp- specification and to synthesize an optimal program realizing the specification against a given probabilistic environment. This section also shows that linear programming techniques, e.g., multi-objective optimization, can be applied to the synthesis method.

Chapter 10 is about related research to the thesis.

Chapter 11 summarizes results of the thesis.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 2 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 2 copies of 800 Words (English).