JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	マルチエージェント・コミュニケーションのための様相論理に関する線形代数的意味論
Author(s)	秦野, 亮
Citation	
Issue Date	2017-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	http://hdl.handle.net/10119/14247
Rights	
Description	Supervisor東条　敏, 情報科学研究科, 博士

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

氏名	秦野 亮		
学位の種類	博士(情報科学)		
学位記番号	博情第 361 号		
学位授与年月日	平成 29 年 3 月 24 日		
論文題目	Linear Algebraic Semantics for Modal Logic of Multi-agent Communication		
論文審査委員	主査 東条 敏	北陸先端科学技術大学院大学	教授
	石原 哉	同	教授
	緒方 和博	同	教授
	村上 祐子	東北大学	准教授
	佐野 勝彦	北海道大学	准教授

論文の内容の要旨

In this thesis, we provide new computational bases for modal logic of multi-agent communication. One of the most important aspects of multi-agent communication is changes of agent's knowledge or belief [11]. Nowadays, such changes are well-discussed in terms of modal logic, as dynamic epistemic logic (DEL) [40]. Since DEL provides strong bases to handle agent's knowledge (or belief), development of such bases is an important subject for further studies. In order to obtain such bases, we focus on the following issues in this thesis.

The first issue is about the ordinary model-theoretic approach to Kripke semantics of modal logic. For some situation, we should be careful for e.g., calculation of the truth of $\Box p$ at a 'dead-end' world where we cannot access any world. Since some conditions or necessary operations might be implicit in the proof of semantic properties, we sometimes might overlook them under the model-theoretic approach. To cover such a point, we propose to use a linear algebraic reformulation of Kripke semantics based on Fitting's approach [8]. His approach allows us to capture behaviors of this semantics in terms of Boolean matrix calculation explicitly. We show a matrix representation of Kripke semantics and its relevant properties, and also connect our argument to capture restricted form of quantifications in first-order logic.

The second issue is a deficiency of studies of proof theory for dynamic logic of relation changers (DLRC). DLRC is a recent approach to DEL and provides a general framework to capture many dynamic operators of DEL in terms of relation changing operation written by programs in propositional dynamic logic (PDL). However, the proof theory for DLRC is not well-studied except the sound and complete Hilbert-style axiomatization [39, 25]. Therefore, we propose the cut-free labelled sequent calculus for DLRC. We show that our sequent calculus is equipollent with the above Hilbert-style

axiomatization.

The third issue is about the integration of the notion of structures among agents into DEL. When we study multi-agent communication system, we can naturally assume the existence of communication channels between agents such as phone numbers and email address. However, when we try to integrate such a notion of structures into DEL, we cannot avoid facing some problems, e.g., the decidability of resultant logic(s) and management of many indices, such as agent IDs and names of the possible worlds in our syntax and its semantics. Therefore, we propose to implement the above notion as a constant symbol, then we can define decidable and semantically complete doxastic logic with communication channels and dynamic operators. Moreover, we also propose a linear algebraic reformulation of these. Based on the framework of DLRC, we reformulate our proposed semantics in terms of Boolean matrices. In order to reformulate our semantics, we also provide matrix representation of programs in PDL.

Key Words: Modal logic; Dynamic logic of relation changers; Linear algebraic reformulation of Kripke semantics; Labelled sequent calculus; Channel based agent communication

論文審査の結果の要旨

様相論理のフレーム・プロパティとは，そのクリプケ意味論において可能世界間のアクセス関係にどのような制約が働いているかを述べたもので，通常，T（反射性），D（継続性），B（対称性），4（推移性），5（ユークリッド性）の 5 つの性質から選択することでそのプロパティが決定される．ところが，与えられたフレームがどの性質を充たすかを判別するのは大変難しく，大きな表を書いてみるか，あるいは有向グラフを書いて視認により判別するなどしかない．これらのアクセス関係を行列に書くことは Fitting らの先行研究があるが，本論文ではこの行列の間に容易な足し算・掛け算による判別法を与えて，有限であれば任意の数の可能世界群に対してもそのプロパティを特定できるようにしたものである．

本論文はさらに，アクセス関係を任意に変更する動的信念論理(Dynamic Epistemic Logic; DEL)において応用され，DEL をさらに一般化した Relation Changer において行列の演算によってそのセマンティクスを与えることに成功した．DEL のセマンティクスではダイナミック・オペレータを外した様相論理の世界に翻訳することでその論理的性質が証明されるが，本論文においてはこのダイナミック・オペレータを外す過程が再帰的に行列演算で定義される．さらには，この Relation Changer のラベル付きシーケント計算を構築し，ヒルベルトスタイルで書かれた公理系がすべてシーケント計算で表されることを示した上でカット規則を除去できることを示し，結果として健全性を証明した．

最後に，本論文はマルチ・エージェントにおける情報交換のモデルに発展させ，エージェント間に通信チャネルがあるときに限り，通信に関わるエージェントの信念を更新するモデルを構築

し，私的な交信と公的なアナウンスの区別及び各エージェントの内省による信念の変化を DEL として完成させた．上記，行列の計算システムは視認性の高いグラフィック表示を含むコンピュータ・システムとして公開され，その教育効果も本研究に関わる業績評価になっている．

以上，本論文は，人間の知識と信念のモデルを様相論理に表現する際に行列を用いて平易にその性質を明示し，通常の行列演算によって信念変化を表現するシステムを完成されたもので，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．