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

Title	多値論理に基づくマルチエージェントシステム
Author(s)	SONG, YANG
Citation	
Issue Date	2022-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	http://hdl.handle.net/10119/17793
Rights	
Description	Supervisor:東条　敏, 先端科学技術研究科, 博士

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

氏名	SONG, Yang		
学位の種類	博士（情報科学）		
学位記番号	博情第 470 号		
学位授与年月日	令和 4 年 3 月 24 日		
論文題目	Many-Valued Logic for Multi-agent System		
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
	Nguyen Minh Le	同	教授
	佐野 勝彦	北海道大学	准教授
	大森 仁	Ruhr-Universität Bochum	Junior Professor

論文の内容の要旨

In this thesis, our aim is to employ the many-valued logic to the multi-agent system. First, we extend the semantics of epistemic logic to a many-valued one. Second, we introduce many-valued semantics to express the epistemic states instead of Kripke semantics. To obtain such bases, we focus on the following issues in this thesis.

The first issue is to employ a 4-valued epistemic logic to distinguish the public/private information passing in the multi-agent system. Thus far, the agent communication has often been modeled in dynamic epistemic logic, where each agent changes his/her belief, restricting the accessibility to possible worlds in Kripke semantics. On some occasions, the recipient changes he/she belief since he/ she may not have enough background knowledge to understand it or the information may be encrypted and he/ she may not know how to decipher it. Here, we generalize those messages as private information. For this purpose, we employ 4-valued logic where each proposition is given 2 (true and false) times 2 (private or public) truth values.

The second issue is to build a n-topic semantics for the infectious logic. Beall advanced a new and interesting interpretation of Weak Kleene logic, in terms of on-topic/off-topic. In brief, Beall suggests to read the third value as off-topic, whereas the two classical values are read as true and on-topic and false and on-topic. Building on Beall's new interpretation, we offer an alternative semantic framework that reflects our motivations, then we provide a new interpretation of the logic of Castuskoti. Finally, we offer a general result that will allow us to make sense of a family of infectious logics in terms of Beall's on-topic/off-topic reading.

The third issue is to provide many-valued semantics instead of Kripke semantics to show the epistemic states of agents.

Employing epistemic logic to express the epistemic states is often too complicated to build because we should consider all possibilities of the knowledge between agents. Here, we employ a many-valued logic to express the epistemic states of agents. We consider that there exist three kinds of epistemic states of known, truth-value unknown, and content unknown. And furthermore, we introduce two kinds of agent

communication in our semantics, i.e., teaching and asking, and show how the epistemic states of agents will change.

Keywords: Epistemic logic; Many-valued logic; Multi-agent system; Infectious logic; On-topic/off-topic; Agent communication

論文審査の結果の要旨

マルチエージェント・システムは複数の擬人間からなるコミュニティで，人工知能の社会のモデルとなる．各エージェントは個別に知識・信念を持つが，それらがどのように形式的に表現され，どのように変更されていくかは，人工知能のみならず，数理論理学にとっても重要な課題である．これまで知識の論理表現としては動的認識論理(Dynamic Epistemic Logic; DEL)が中心的に扱われてきており，信念更新やエージェント間のコミュニケーションなどが，様相論理の可能世界意味論を通信のたびに書き換えるという方法でモデル化されてきた．この方法は確かに万能であり，相互知識や分散知識・集合知識などさまざまな知識の形態を表現できる一方で，可能世界間のアクセス関係において複雑なネットワークを構成し，視認性や書き換えの正当性の検証など実用上の問題を含んでいた．

学位申請者はこの動的認識論理のある側面を捉え，知識の有無を命題の真偽と併せて多値論理で表現する手法を構築した．まず，各命題に対しては真偽を割り当てる付値関数を二種類用意し，一方を真偽・他方を公知か否かを表現することにし，エージェントの知識表現を簡素化した．これにより，エージェント間の情報伝達も表現がシンプルになり，動的オペレータによる通信の結果が視認性よく表現されることとなった．この論理においてはヒルベルト式の公理系において完全性の証明も行った．第二に，この複数の付値関数が，値の組み合わせによっては強・弱 Kleene 三値論理を構成することができることを示し，一般の古典論理と三値論理を複数の付値関数から定義できることを示した．この成果は，真偽値の指定値が論理演算の中でどのように波及するか(infectious であるか)を議論する一般的なプラットフォームとなる．第三に，一人のエージェントの二値の付値関数だけでなく，これを任意数のエージェントに拡張する方法を提案し，長いベクトル状の真偽値を受け渡すだけでエージェント間の情報通信を模倣できることを示した．この最後の多数エージェントの通信では，情報へのアクセス間に優劣を加え，裁判の場面を例にとるなど，実社会への貢献も示された．

以上より，学位申請者の行った研究は人工知能の基礎問題・数理論理学とともに，実社会への貢献をも含むものであり，今後とも有用な応用分野が期待できるテーマである．さらには，各エージェントの推論プロセスを論理式という形で明示的に提示できることから，現在広まっている機械学習を中心とした人工知能の手法において，学習結果の不透明性を解決する重要なテーマであると考えられる．以上を要するに，学位申請者は博士(情報科学)の学位に値すると判断される．