

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 4日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2012

課題番号：22650027

研究課題名（和文） 主観信頼性とグラフィカル・モデルの組合せによる研究支援システムの構築

研究課題名（英文） Integrating Intuitionistic Confidence and Graphical Models for a Research Support System

研究代表者

山本 章博 (YAMAMOTO AKIHIRO)

京都大学・大学院情報学研究科・教授

研究者番号：30230535

研究成果の概要（和文）：

不確実性を表すための新たな着想に基づく数値と論理的推論のグラフによる表現を組合せた新たな理論の開発に挑戦した。その目標は、統計理論を適用できない研究に対して利用することである。また、この理論を応用するために、論理的推論の高速化、代数的手法によるテキストデータからの論理的関係の抽出、文書画像検索の新たな手法の提案を行った。

研究成果の概要（英文）：

We challenged to develop a theory by combining numerical values with which representing uncertainty of propositions and graphical representation of inference in mathematical logic. Our goal is to use it in research areas where we cannot use statistical theories. Also in order to our theory more practical, we developed some methods for efficient logical inference, extraction of logical relations from texts in natural languages, and information retrieval from document images.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
22年度	1,000,000	0	1,000,000
23年度	900,000	270,000	1,170,000
24年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	540,000	3,340,000

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：不確実推論，主観信頼性，グラフィカル・モデル，数理論理

1. 研究開始当初の背景

人工知能研究は、計算メカニズムの研究とともにコンテンツの扱いの研究、大規模データを扱う手法の研究が急速に発展している。その中でも統計手法を基礎にした機械学習が進展している。一方で、学術研究資料のデジ

タル化も急速に進み、統計手法の適用で多くの学術成果が得られている。統計的な情報処理は、均質なデータが大量に取得可能であり、そのデータの中で結論を導くような領域、例えば、自然言語処理、ヒトゲノム計画などでは威力を発揮する。しかし、例えば人文系研

究では、必要な資料がすぐにデジタル化されて手に入るわけではなく、実験を繰り返せば統計的確率による推定に十分な量が均質に得られるというものでもないため、統計手法が直接利用できないことが多い。つまり機械学習を中心とする統計的な情報処理手法をこのような研究に直接利用することができない。また、研究の結論は、対象としている資料だけでなく、それをとりまく膨大な関連研究や資料、ときには社会情勢までを含めて導くものである。実は、実験科学の生命科学においてすら、試料や実験が高コストなため、十分な量のデータが採取できないことがある。そこで、統計的機械学習を適用できない領域やコンテンツにおいても機械学習を中心とする人工知能手法を適用することを挑戦するために本研究を計画した。

2. 研究の目的

統計的機械学習手法の一つであるグラフィカル・モデルについて、それを適用できない分野でも利用可能なようにするために、統計的確率に代わる新たな基礎原理とメカニズムを確立することにある。統計的確率に代わる不確実性測度の基礎として主観信頼性の基礎理論を構築した上で、グラフィカル・モデルを構成する。さらに、不確実性を含む論理式からの推論を高速に行う技術を開発する。

3. 研究の方法

(1) 主観信頼性について、人文科学研究における貴重資料画像解読への応用の立場からの定式化を行う。従来の数理論理学やセマンティック Web の分野で研究されてきた型付きの一階述語 Horn 節論理に対して主観信頼性を導入した上で、主観信頼性が論理演算に対して満たすべき公準を与える。また、主観信頼性に基づくグラフィカル・モデルを研究者が利用する立場から、その管理技術を構築する。

(2) 主観信頼性の着想は、直観主義論理にある。つまり、確率が古典論理をベースにしているのに対して、直観主義論理をベースにした不確実性を表す数値を目指すものである。そこで、命題論理における Horn 節に対して、主観信頼性のもつべき推論方法を、数理論理学でいうところの証明論を基盤にして定式化する。証明論を基盤にするのは、証明が研究者の推論を自然に表現しており、それゆえ研究支援システムにおいて利用可能だからである。

(3) 主観信頼性に基づくグラフィカル・モデルを従来のものと比較するには、従来のモデルに対応した証明論を構築しなければなら

ない。従来研究で提案されたグラフィカル・モデルは、モデル論を基盤にしたものばかりであった。そこで、確率を利用した従来理論に対する証明論を構築する。確率を利用するのであるから、対象を古典命題論理とし、節集合（連言標準形）論理式に対する証明論を構成する。

(4) 研究支援システムに証明論に基づく推論システムを組み込むためには、証明を高速に構成しなければならない。命題論理においてモデル論に基づく推論の高速化は、近年劇的に改善されている。そこで、高速なモデル論推論を利用した証明論システムを構成する。

(5) 近年の自然言語処理技術を利用すれば、文や節の間に係受け関係、因果関係などの論理的な関係を不確実ながら抽出することができる。このような関係も不確実関係として扱う方法を開発する。自然言語処理研究における論理的な関係の抽出には、テキスト・データを統計的に処理することが一般的である。これに対して、本研究は統計的手法が適用できないことを前提としているため、論理的な関係の抽出には形式概念解析とよばれる代数的手法を用いる。

(6) 人文科学研究において、文書画像検索は貴重資料画像解読の基本である。機械学習技術を適用する。文書画像検索は、画像やデータの解析と符号化に基づくものがほとんどであった。しかし、本来、情報検索とは、検索システムとユーザとのインタラクションである。そこで、それを機械学習と捉えることで、機械学習技術を文書画像検索に導入する。

4. 研究成果

(1) 型付きの一階述語論理に対して導入した主観信頼性が満たすべき公準を明らかにした。また、研究者がグラフィカル・モデルを作成、更新、削除、修正することを支援するための手続きについて、関係データベースにおける実体-関連モデルに基づいて実装しグラフィカル・モデルの構成支援システムの基盤部分を作成した。本研究の成果は「第 5 回 知識と情報、創造性の支援システムに関する国際会議 (KICSS 2010)」に採択され、発表後に Best Student Running-up Award を授賞した。

(2) 命題論理における Horn 節のみに主観信頼性が与えられたとき、証明によって得られる帰結が持つべき信頼性を計算する方法を与えた。Horn 節そのものは直観論理であるが、特定の Horn 節が出現しているかどうかにつ

いては古典論理に従う、という前提のもとで、各 Horn 節が主観信頼性に基ついで出現するときに、帰結に至る証明が構成できる確率を計算する、というものである。

(3) 命題論理における節集合（連言標準形）論理式の構造をグラフで表現することにより新たなグラフィカル・モデルを提案した。このモデルでは証明はグラフの変形となる。そして、導出の対象となる 2 つの節が真である確率が与えられたとき、ある条件のもとで、2 つの節からの推論の帰結である節（導出形）が真である確率が計算できることを示した。従来研究で提案されているグラフィカル・モデルでは節集合とグラフの関係が 1 対 1 になっていないという欠陥があるが、本研究で提案するグラフィカル・モデルでは 1 対 1 となる。

(4) 高速な証明論システムを構成する基盤として、まず SAT ソルバーを選択した。モデル論による推論システムである SAT ソルバーを利用するために、「論理式 F から論理式 G への証明が存在する」というメタ論理の命題変数を導入し、証明の構成プロセスをメタ論理の命題変数によって表現する、という方針を採用した。また、整数計画ソルバーを利用することも試みた。整数計画ソルバーでは、メタ論理を用いるのではなく、Horn 論理が、帰結を階層的に積み上げることで証明を完成させる、という点に着目して証明を構成している。

(5) 自然言語処理における論理的な関係の抽出に形式概念を用いる研究の始点として、形式概念がなす束によって定義される近傍を用いたクラスタリング手法を定式化した。現在のところ、既存シソーラスを教師データとしたときの、未知語の意味付け問題に応用して、従来のクラスタリングよりも高精度に意味づけできることを示している。この研究成果を発展させることにより、文間の未知の因果関係の推定問題に展開するという新たな課題を得た。

(6) 文字列画像検索について、「検索システムとユーザとのインタラクション」という視点から、「質問学習」と「メタアルゴリズム」の 2 種類の機械学習手法を導入した、新たな検索手法を構成した。具体的には、質問学習を利用して検索システムがユーザから新たなクエリを導き出し、そのクエリにメタアルゴリズムを適用する、というものである。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 1 件）

M. Ikeda, M. Nishino, K. Doi, A. Yamamoto and S. Hayashi: Semantics of a Graphical Model for Representing Hypotheses and a System Supporting the Management of Hypotheses, Lecture Notes in Computer Science 6746, 32-43, 2011.

DOI: 10.1007/978-3-642-24788-0_4

〔学会発表〕（計 9 件）

①Ikeda, M., Yamamoto, A.: Classification by Selecting Plausible Formal Concepts in a Concept Lattice, Workshop on Formal Concept Analysis meets Information Retrieval (FCAIR2013), 2013, Moscow.

②近藤 誠一, 山本章博: 整数計画ソルバーを用いた帰納論理プログラミング, 第 89 回人工知能基本問題研究会, 2013, 滝沢.

③橋谷 祐司, 山本章博: 節論理における導出原理に基づく確率推論, 2012, 下呂.

④近藤 誠一, 山本章博: SATソルバーを用いた帰納論理プログラミング, 第 85 回人工知能基本問題研究会, 2012, 下呂.

⑤池田真土里, 山本章博: 言明を表す論理式間への順序関係付与における形式概念解析の利用, 第 84 回人工知能基本問題研究会, 2011, 横浜.

⑥橋谷 祐司, 山本章博: 節論理における推論の明示を目指したグラフィカルモデル, 2011 年度人工知能学会全国大会（第 25 回）, 2011, 盛岡.

⑦秦亮一, 池田真土里, 杉山磨人, 山本章博: 質問学習とメタアルゴリズムの組合せによる文字列画像検索, 第 6 回情報論的学習理論と機械学習研究会, 2011, 大阪.

⑧Masaaki Nishino, Madori Ikeda, Akihiro Yamamoto: Integrating Probabilistic Reasoning and Logic for Expressing Human Inference with Uncertainty, 1st International Workshop on Advanced Methodologies for Bayesian Networks (AMBN 2010), 2010, Tokyo.

⑨ Ikeda, M., Nishino, M., Doi, K., Yamamoto, A., Hayashi, S.: Semantics of a graphical model for representing hypotheses and a system supporting management of hypotheses, The Fifth International Conference on Knowledge,

Information and Creativity Support
Systems, KICSS2010, 2010, Chiang Mai,
Thai. Best Student Running-up Award受賞.

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

[http://www.iip.ist.i.kyoto-u.ac.jp/
research.html](http://www.iip.ist.i.kyoto-u.ac.jp/research.html)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 章博 (YAMAMOTO AKIHIRO)
京都大学・大学院情報学研究科・教授
研究者番号：30230535

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし