

会 議 報 告

ALT '96 報告

1. はじめに

第7回計算論的学習理論国際ワークショップ(The 7th International Workshop on Algorithmic Learning Theory, ALT'96)が、1996年10月23日から10月25日にかけて、オーストラリア・シドニーのクージー・ホリデーインにおいて開催された。ALTは、1990年の東京以来、人工知能学会の主催で毎年開催されており、今回で7回目を数える。海外での開催は、1994年のドイツ・ライナズブルンに引き続き、2度目である。

今回は、人工知能学会およびニューサウスウェールズ大学計算機理工学部の共同主催であり、13か国から58名の参加があった。その内訳は、オーストラリア(27)、日本(12)、ドイツ(6)、アメリカ(4)、クロアチア(1)、フランス(1)、インド(1)、ラトビア(1)、オランダ(1)、ノルウェー(1)、ポルトガル(1)、シンガポール(1)、スロヴェニア(1)であった。同じ会場では、並行してPKAW'96も開かれ、参加者はどちらの会議の聴講も可能だった。

会議では、23日の朝から25日の午前中までに10のセッションがあり、4件の招待講演と24件の発表(うち8件はshort paper)が行われた。発表内容は、確率的学習モデル、質問学習、関数と言語の帰納推論、機械発見、帰納的論理プログラミング、統計的学習などさまざまであった。以下、会議の概況を報告する。各論文の著者名とタイトルについては、本報告末尾の参考文献(発表順に掲載)を参照いただきたい。

2. 会 議 内 容

〔1〕 セッション 1

ALT '96 大会委員長と PKAW '96 大会委員長による開会の挨拶の後、セッション1では、「Managing complexity in neuroidal circuits」というタイトルで、Leslie Valiant氏(Harverd Univ.)による招待講演[Valiant 96]が行われた。氏は、現在の計算論的学習理論の創始者の一人であり、計算量理論の分野で著名な業績を残している理論計算機科学者である。講演では、人工知能の問題を研究するには、矛盾の解消

や、複合戦略の実現、頑健さといった、脳の機能の複雑さに起因する難しい問題を避けて通れないことを指摘し、この複雑さを制御するための道具として、優先度つき神経回路網(PTC)を提案した。さらに、複雑さに起因する問題を、PTCによってうまく扱えることを示した。講演の冒頭、座長のArun Sharma氏から、Valiant氏が有名なPAC学習モデルの定式化に至ったのは、数学的興味よりもむしろ人工知能の問題を通じてであったという話が、本人から聞いたエピソードとして紹介された。講演も具体的で、ALTとPKAW両方の参加者の興味を集めていた。

〔2〕 セッション 2

セッション2では、質問学習と予測学習に関する発表が5件あった。計算論的学習理論における長年の未解決問題の一つとして、選言標準形論理関数の質問学習可能性がある。この問題に対して、最近、論理関数を単調関数の組合せに分解する手法が提案されている。最初の発表[Takimoto 96]では、論理関数を単調関数の排他的論理和として分解する新しい分解形を提案し、任意の論理関数が、排他的論理和分解による一意な標準形を持つことを示した。さらに、未知論理関数を排他的論理和分解形から同定するさまざまな質問学習アルゴリズムを与えた。

2件目の発表[Long 96]では、オンライン学習モデルを拡張し、計測値データのような実数関数の予測学習可能性について論じた。発表では、予測の評価値として予測誤差の絶対値の総和を採用し、ノルムが定数で限定されるようななめらかな関数に対して、この評価値の理論的上下限を与えた。この結果は、この種の実数関数の予測学習可能性を厳密に特徴づけている。

3件目の発表[Nakamura 96]は、幅限定OBDD(ordered binary decision diagrams)の質問学習に関する発表であった。発表では、従来の研究と異なり、変数の順序が与えられない場合でも、ある種の決定リストを仮説として用いる等価性質問から、幅2のOBDDが効率良く学習可能であることを示した。さらに、仮説空間を幅2のOBDDに制御した場合も、等価性質問と所属性質問から効率良く学習可能であることがわかった。

〔3〕 セッション 3

本セッションでは、はじめに、「A discipline of evolu-

tionary programming and learning」というタイトルで、Paul Vitányi氏(CWI and Univ. Amsterdam)の招待講演[Vitányi 96]が行われた。遺伝的アルゴリズムに代表される進化的プログラミングは、近年注目されている新しい計算パラダイムである。長い間、理論的な解析が遅れていたが、最近、マルコフ過程として確率的に捉えた理論的解析が成功を収めている。講演では、最近の成果を踏まえたうえで、これらの理論が、個体数が無限大であるとした近似的な解析に終わっていることを指摘し、個体数が有限であることを考慮に入れた新しい理論的解析法を提案した。さらに、その応用として、この枠組みを用いて、多項式個程度の遺伝子が「急速に混合」し、短時間で最適なプログラムが計算されるような遺伝的プログラミング系の例を構成してみせた。このように講演は、人工知能における実際的な問題に、理論的な立場からみごとな解を与えており、たいへん興味深かった。

招待講演に引き続き2件の発表が行われた。1件目の発表[Baxter 96]は、連続区間の最適分割問題に関する発表であった。連続値データからの機械学習や画像処理では、与えられた連続区間をいくつかの部分区間にうまく分割することが重要になる。発表では、最小通報長基準(MML)を適用して、最適区間分割を統計的に推定する手法を提案し、AICやBICなど、他の統計的基準と実験的に比較した。

2件目の発表[Pearson 96]は、決定木の学習問題において、条件判定として二つの変数の論理結合を許すよう拡張した際に、より単純な決定木を得るためのいくつかの発見法を提案した。実験では、発見法の組合せによっては、単純な木を得るための従来の手法と同等な効果が得られることが確かめられた。

〔4〕 セッション 4

セッション4では、質問学習に関する2件の発表と機械学習に関する2件の発表が行われた。1件目の発表[Arvind 96]では、学習者と教師に加えて、所属性質問を用いる学習補助者(Teaching Assistants)という概念を導入し、学習補助者が用いるオラクルの複雑さを変化させることで、等価性質問によって学習可能な言語族をさらに詳細に分類する方法を与えた。この手法を用いて、いくつかの代数的な概念族の学習の複雑さを、オラクルの複雑さで詳細に分類した。

2件目の発表[Fahmy 96]では、Angluinの正則言語学習アルゴリズムを、オートマトンの分解技法を用いて拡張することで、決定性実時間2カウンタオートマトン(R2CA)を、等価性質問と所属性質問から効率良く学習するアルゴリズムを与えた。この結果は、昨

年のALTで彼らが発表した結果の一般化になっており、正則言語を真に超える言語族の質問学習の研究に一般的な指針を与えるものである。

3件目と4件目の発表は、機械学習における属性選択問題に関するものであった。機械学習においては、目標概念に関連しない不要属性が例に含まれるのが普通であり、これらの検出・除去が重要な問題となる。3件目の発表[Lavrač 96]では、学習の前処理として、与えられた例と背景知識から不要属性を検出・除去する方法を提案し、その効果を遺伝的学習アルゴリズムにおいて実験的に検証した。4件目の発表[Pirramuthu 96]では、関連属性のエントロピーを用いて定義される「かすみ具合」測度を用いて、新しい属性選択法を提案し、実験的な評価を行った。

〔5〕 セッション

セッション5では、はじめに「Boosting first-order learning」というタイトルで、Ross Quinlan氏(Univ. Sydney)による招待講演[Quinlan 96]が行われた。ブースティングは、もともとは学習可能性の理論的研究から生まれた技法であるが、最近、既存の機械学習システムへのブースティングの応用が試みられ、その有効性が報告されている。本講演では、述語論理式の学習システムFFOILに、ブースティング技法を適用し、命題論理式レベルの学習システムであるC4.5と比較した。実験では、C4.5における性能向上ほど顕著ではないものの、FFOILにおいてもブースティングによる性能向上が観察できたと報告された。

招待講演に引き続いて、関数の合成アルゴリズムに関する1件の発表と、帰納的論理プログラミングに関する2件の発表があった。

1件目の発表[Bārzdīņš 96]は、関数の合成において、入出力例だけからでなく、構文構造や関数値の評価過程についての背景知識も用いて、関数を帰納的に合成する問題について報告した。各種の背景知識を属性文法によって統一的に記述する方法が提案され、ある条件のもとで、すべての入出力例と制約を満足する仮説を、重複なしに高速に枚挙可能であることが示された。

2件目の発表[Martin 96]は、関数記号を含んだ論理プログラムの帰納的学習についての発表だった。従来の帰納的論理プログラミングシステムでは、関数記号を有効に利用できない。そこで、関数記号を意味領域上で直接解釈することで、関数記号を含んだプログラムを学習する方法を提案した。この方法を制約論理プログラム学習システムICCとして実現した。

3件目の発表[Sugimoto 96]では、辞書に基づいた

翻訳学習について発表が行われた。文字列上の論理プログラムである基本形式体系(EFS)の枠組みを採用し、文字列上の二項関係を定義するEFSを正負例と背景知識から学習する問題として、辞書に基づく翻訳規則の学習を定式化した。さらに、与えられた例から構成的に仮説を生成する学習アルゴリズムを提案した。

[6] セッション 6

セッション6では、帰納的論理プログラミングに関する2件の発表と、統計的モデルの推定に関する1件の発表があった。1件目の発表[Lu 96]は、汎化順序として従来用いられてきた θ 包摂関係と論理的含意関係に対して、その問題点を指摘し、論理プログラムの成功集合間の包含関係に基づく汎化順序を新しく提案した。さらに、この順序に基づいた展開・畳み込み変換規則を与え、有効な変換戦略について議論した。

機械学習において、例が雑音や誤差を含んでいるときは、雑音に過剰適応しないよう特別に設計された学習アルゴリズムを用いるのが普通である。この問題に対して、2件目の発表[Gamberger 96]では、前処理として、圧縮度を用いて例からの雑音除去を行い、その後、学習アルゴリズムを適用して仮説生成を行うという提案をした。応用として、リウマチの早期診断問題における実験を報告した。

3件目の発表[Dowe 96]は、統計的データ解析において重要な確率分布である球面フィッシャー分布の統計的推定に、最小通報長基準(MML)を応用した。球面フィッシャー分布のMML推定量を、適当な制限のもとで厳密に導出し、計算機シミュレーションによって、従来の推定法に対する本手法の優位を確認した。

[7] セッション 7, セッション 8

セッション7では、William Clancey氏(Inst. Research on Learning)によるPKAWの招待講演が行われた。セッション8では、8件のshort paperの発表者によるポスター発表が行われた。

[8] セッション 9

セッション9では、帰納推論の分野で最近注目を集めている補学習(co-learning)に関する2件の発表があった。補学習とは、学習者が正しい仮説を同定する代わりに、間違っている仮説を消去していき、最後に残った仮説を答えとみなす、いわば、消去法による学習のことである。

1件目の発表[Lange 96]では、この補学習の概念を言語の帰納推論に適用し、例の与え方や学習戦略に関するさまざまな制限のもとで、補学習可能性を特徴

づけ、他の学習モデルとの関係を明らかにした。一般に学習機械はときどき正しい仮説を誤って消去してしまうが、それを許さない場合には、学習機械はその能力を十分に発揮することができないという観察がおもしろかった。

2件目の発表[Jain 96]では、最小プログラムの帰納推論においては、補学習の能力は通常の学習に比べて著しく低いという結果が示された。また、さまざまなプログラム体系における最小プログラムの補学習可能性について報告した。

[9] セッション 10

セッション10では、招待講演と2件の発表があった。まず、「Inductive inference of unbounded unions of pattern languages from positive data」というタイトルでTakeshi Shinohara氏(Kyushu Inst. Tech.)による招待講演[Shinohara 96]があった。講演では、1979年のAngluinによるパターン言語の研究に始まり、限定された数のパターン言語の和の推論へと展開していった、正例からの帰納推論の研究を概観した。次いで、実際の応用では、和を構成するパターン言語の最大数を事前に求めるのが困難なことを指摘し、任意有限個のパターン言語の和言語族の推論可能性について議論した。また、長年の未解決問題である空代入を許したパターン言語の正例からの推論可能性との関連についても述べた。

続いて、1件目の発表[Rao 96]では、論理プログラミングにおける入出力モード解析の手法を導入することで、従来の手法では扱えなかった、局所変数を含む論理プログラミングの部分族が、正例から帰納推論可能であることを示した。

2件目の発表[Case 96]は、例が雑音を含む場合の言語の帰納推論可能性についての発表だった。通常の帰納推論モデルよりも強力な学習モデルとして、仮説の変動を許した(vacillatory)学習モデルと、仮説を意味的に同定する(behaviorally correct)学習モデルがあり、雑音がない場合に、これらは同じ能力を持つことが知られている。発表では、雑音がある場合には、二つの学習モデルの能力に違いが生じることをさまざまな角度から示した。

[10] セッション 11

最後のセッションでは、帰納推論に関する3件の発表があった。1件目の発表[Ambainis 96]では、幾何学における対称性の研究にヒントを得て、帰納推論可能性を保存する帰納関数の変換演算子を考え、このような演算子を用いてさまざまな帰納推論モデルの分類が可能であることを示した。

2件目の発表[Vīksna 96]は、誤差を許した近代的帰納推論に関する発表だった。近似的帰納推論では、学習機械は、ほとんどの入力に対して未知の帰納関数と同一の計算をする近似した帰納関数を学習する。発表では、例空間に測度を導入し、誤差の測度が0になるとき二つの関数が近似していると考えられる学習モデルを提案し、これを確率的帰納推論と関連づけた。

3件目の発表[Grieser 96]は、自分自身の能力の限界について判断する能力を持つ帰納推論機械について考察した。通常の極限同定モデルでは、このような判断が可能なのは、実際には判断が不要な場合に限定されることが知られていたが、発表では、これが有限同定モデルで成立しないことが示された。

3. おわりに

今年のALT '97は、1997年10月6～8日の3日間、仙台で開催されることが、次回大会委員長の丸岡章氏からアナウンスされた。ALT '97に関する情報は、<http://www.maruoka.ecei.tohoku.ac.jp/~alt97/>から得られる。

ALT '96の会議録は、LNAI 1160[Arikawa 96]として出版されている。また、Algorithmic Learning Theory 特集号として、一部の論文が“Theoretical Computer Science”誌に掲載される予定である。

謝 辞

会議に関する資料を提供いただいた Arun Sharma 氏に、深く感謝いたします。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Arikawa 96] Arikawa, S. and Sharma, A. K. (eds.): Algorithmic Learning Theory, 7th Int. Workshop, ALT '96, LNAI 1160, Springer-Verlag (1996).
- [Valiant 96] Valiant, L. G.: Managing complexity in neuroidal circuits, pp. 1-11.
- [Takimoto 96] Takimoto, E., Sakai, Y. and Maruoka, A.: Learnability of exclusive-or expansion based on monotone DNF formulas, pp. 12-25.
- [Long 96] Long, P. M.: Improved bounds about on-line learning of smooth functions of a single variable, pp. 26-36.
- [Nakamura 96] Nakamura, A.: Query learning of bounded-width OBDDs, pp. 37-50.
- [Büning 96] Büning, H. K. and Lettmann, T.: Learning a representation for optimizable formulas, pp. 51-58.

- [Oliveira 96] Oliveira, A. L. and Edwards, S.: Limits of exact algorithms for inference of minimum size finite state machines, pp. 59-66.
- [Vitányi 96] Vitányi, P.: Genetic fitness optimization using rapidly mixing Markov chains, pp. 67-82.
- [Baxter 96] Baxter, R. A. and Oliver, J. J.: The kindest cut: minimum message length segmentation, pp. 83-90.
- [Pearson 96] Pearson, R. A. and Smith, E. K. T.: Reducing complexity of decision trees with two variable tests, pp. 91-99.
- [Arvind 96] Arvind, V. and Vinodchandran, N. V.: The complexity of exactly learning algebraic concepts, pp. 100-112.
- [Fahmy 96] Fahmy, A. F. and Roos, R. S.: Efficient learning of real time two-counter automata, pp. 113-126.
- [Lavrač 96] Lavrač, N., Gamberger, D. and Turney, P.: Cost-sensitive feature reduction applied to a hybrid genetic algorithm, pp. 127-134.
- [Piramuthu 96] Piramuthu, S.: Effects of feature selection with 'Blurring' on NeuroFuzzy systems, pp. 135-142.
- [Quinlan 96] Quinlan, J. R.: Boosting first-order learning, pp. 143-155.
- [Bärzdīņš 96] Bärzdīņš, J. and Sarkans, U.: Incorporating hypothetical knowledge into the process of inductive synthesis, pp. 156-168.
- [Martin 96] Martin, L. and Vrain, C.: Induction of constraint logic programs, pp. 169-176.
- [Sugimoto 96] Sugimoto, N., Hirata, K. and Ishizaka, H.: Constructive learning of translations based on dictionaries, pp. 177-184.
- [Lu 96] Lu, J. and Arima, J.: Inductive logic programming beyond logical implication, pp. 185-198.
- [Gamberger 96] Gamberger, D., Lavrač, N. and Džeroski, S.: Noise elimination in inductive concept learning: A case study in medical diagnosis, pp. 199-212.
- [Dowe 96] Dowe, D. L., Oliver, J. J. and Wallace, C. S.: MML estimation of the parameters of the spherical Fisher distribution, pp. 213-227.
- [Lange 96] Lange, S., Wiehagen, R. and Zeugmann, T.: Learning by erasing, pp. 228-241.
- [Jain 96] Jain, S., Kinber, E. and Wiehagen, R.: On learning and co-learning of minimal programs, pp. 242-255.
- [Shinohara 96] Shinohara, T. and Arimura, H.: Inductive inference of unbounded unions of pattern languages from positive data, pp. 256-271.
- [Rao 96] Rao, M. R. K. K.: A class of Prolog programs inferable from positive data, pp. 272-284.
- [Case 96] Case, J., Jain, S. and Stephan, F.: Vacillatory and BC learning on noisy data, pp. 285-298.
- [Ambainis 96] Ambainis, A. and Freivalds, R.: Transformations that preserve learnability, pp. 299-311.
- [Vīksna 96] Vīksna, J.: Probabilistic limit identification up to "small" sets, pp. 312-324.
- [Grieser 96] Grieser, G.: Reflecting inductive inference machines and its improvement by therapy, pp. 325-336.

(杉本 典子(九州工業大学)
平田 耕一(九州工業大学)
有村 博紀(九州大学))