

称号及び氏名 博士(理学) 細谷 優

学位授与の日付 平成**28**年**3**月**31**日

論文名 動的構成機能を持つファジィ学習システムに関する研究

論文審査委員 主査 馬野 元秀
副査 瀬田 和久
副査 藤本 典幸

動的構成機能を持つファジィ学習システムに関する研究

細谷 優

現在、知的なシステムに関する研究が様々な方面から進められている。そのなかでも、コンピュータによりデータから知識を取り出す研究分野は機械学習と呼ばれ、研究がさかんに行なわれている。これら機械学習においては、特定の知識表現の初期知識を準備した後に、正解を含む学習データを用いて、その知識に含まれているパラメータを調整することにより学習を行なうのが普通である。このとき、どのような属性(変数)を用いるか、どれくらい複雑な知識をどれくらい準備すればよいか、学習用のパラメータをどう決めるかなど、様々なことを決定する必要がある。これには分野に関する十分な知識が必要である。そのために、知識の複雑さや数を変化させながら、すなわち、用いる属性や知識を動的に追加し、削除しながら学習を行なう方法が提案されている。我々はこの機能を動的構成機能と呼び、この機能に焦点を当てて研究を進めている。本論文ではファジィ・ニューラルネットワークとファジィ **Q-learning** に動的構成機能を持たせた学習システムを提案する。

ニューラルネットワークは、人間の脳の神経細胞をモデル化しており、学習能力が優れているため、パターン認識や推論などで成果をあげている。しかし、学習状態や結果が人間にとって分かりにくいという問題点がある。それに対して、人間のあいまいな推論を扱うことができるファジィルールは人間にとって分かりやすい形で知識が抽出できるが、学習能力に欠けているために、学習が行なえるファジィ・ニューラルネットワークが提案されている。ファジィ・ニューラルネットワークは、その融合性の観点から分類され研究が進められている。そのなかでも、我々はネットワーク形式でファジィルールを表現する方法を扱う。

ファジィルールを表現するファジィ・ニューラルネットワークの通常の学習では、予めネットワークの形を決めておき、その後、学習データによりネットワークのパラメータを誤差逆伝播法(**back-propagation: BP**)などを用いて更新することにより学習を行なう。このとき、動的にネットワークの形が変化することはない。すなわち、ファジィルールを追加したり削除したりすることはない。福中らは、ファジィ・ニューラルネットワークにおいて、かなり多めのルールを表現するネットワークを設定し、その後ネットワーク上のパラメータの更新を行ないながら、忘却学習により不要なネットワークを削除することにより簡潔なファジィルールを得る方法を提案している。この方法によりネットワークの決定は容易になったが、データが追加されると、始めから学習をし直さなければならない。これに対して、我々が提案する動的構成機能を持つファジィ・ニューラルネットワークはデータを一つずつ読みながら、ファジィルールを必要に応じて追加し、ネットワークのパラメータの更新を行ないながら忘却型学習を用いることにより不要なネットワークを削除する方法である。本論文では、この動的構成機能を持つファジィ・ニューラルネットワークを

分類問題に適用し、その結果について考察する。

ニューラルネットワークは学習データにより学習を行なうが、強化学習は一連の行動が良かったか悪かったかという報酬に基づいて、ある状態に対してどのような行動をとるのが良いかを学習する。ニューラルネットワークなどの学習法とは異なり、入力に対して、どのような行動をとるべきかを教える必要がない。強化学習の代表的な手法の一つである **Q-learning** では、ある状態において各行動を選択するための価値(**Q** 値)を **Q** 表として保持している。しかし、通常の **Q** 表は離散値しか扱えないので、連続値を扱うような拡張がいくつか行なわれている。そして、連続状態を扱えるようにしたファジィ **Q-learning** が **Glorennec** らにより提案されている。この方法では **Q** 表は状態(ファジィ集合から成る)と離散行動を持ち、**Q** 値全体の更新量を行動選択に用いられた **Q** 値に対して一致度に応じて分配している。本論文では、**Glorennec** らの方法を改善した方法を提案し、新たな方法を実数値空間における追跡問題に適用し、**Glorennec** らの方法と比較する。

一般に、**Q-learning** の **Q** 表の設定には状態にどのような属性を用いるかと各属性をどのような値に分けるかという 2 つが考えられ、どちらも問題に対する十分な把握が必要であり、適切に決定するのは難しい。状態の設定を容易にするために、**Er** らは **Q** 表に状態と行動の組(ファジィルールと呼んでいる)を動的に追加できる **Dynamic Fuzzy Q-Learning (DFQL)** を提案している。この方法では、入力空間を考慮して初期の **Q** 表を与えておき、新しいファジィルールを動的に追加していく方法を提案している。しかし、ファジィルールを追加したときに、今までの状態のファジィ集合と新しい状態のファジィ集合をバランスさせるのが難しく、全体的にファジィ集合を調整している。また、追加したファジィルールは学習中に調整されないので、入力データ(環境)が変化したときにそれに適応するのが困難になる。

そこで、我々は初期の **Q** 表を必要とせず、ユーザが使用する属性と行動の集合を与えるだけでファジィ **Q-learning** を利用できるように、より動的で柔軟なファジィ **Q-learning** を提案する。本論文における方法でも動的に **Q** 表に状態と行動の組を追加していくが、状態の評価値として **V** 値を用い、この **V** 値に対して忘却学習を適用することで不要な状態と行動の組を削除する。また、**TD** 誤差を用いてファジィ集合の中心値と幅の調整を行い、ファジィ集合に忘却学習を適用することで、不要なファジィ集合を削除する方法を提案する。これらの方法を実数値空間における追跡問題に適用し、その有用性を調べる。

本論文は 6 章から構成されており、第 1 章では本研究の概要を述べる。第 2 章では我々が扱うファジィ的ニューロに分類されるモデルであるファジィ・ニューラルネットワークについて述べ、福中らの忘却型学習によるルールやメンバーシップ関数の調整方法について述べる。第 3 章では動的構成機能を持つ忘却型ファジィ・ニューラルネットワークについて述べる。これは福中らの方法にルール追加機能を与え、逐次的に処理できるように拡張したものである。この方法をアヤマの分類問題などに適用し、有用性を示す。第 4 章では **Watkins** らによる **Q-learning** と連続値環境における **Q-learning** について述べる。そして、

Glorennec らによるファジィ **Q-learning** について述べ、我々が提案するファジィ **Q-learning** の更新方法を改善する方法について述べる。そして、実数値空間における追跡問題を用いて比較実験を行なう。第 5 章では **Q** 表に状態と行動の組を動的に追加でき、**V** 値を用いて状態やファジィ集合の調整、さらに、それらを削除する方法を提案する。そして、実数値空間における追跡問題に適用し、その有用性を示す。第 6 章では本論文のまとめと課題について述べる。

