

論文内容の要旨

博士論文題目 カーネルモデルを用いた学習法とその応用に関する研究

氏 名 吉岡 琢

ニューラルネットワークの分野では、与えられたデータから学習を行うための様々な手法が提案されており、工学的問題に応用されている。学習を行うための手法は、データを表現するための（数理）モデルと、モデルに対する学習アルゴリズムである。モデルの一つとしてカーネルモデルがある。これは、カーネルの重み付き線形和として表現されるモデルである。カーネルとは2引数の関数であり、その一方を固定することによって、入力ベクトルに対する特徴抽出を行うことができる。カーネルモデルは、カーネルによる柔軟な特徴抽出を行うことができる一方、パラメータに関する線形性を利用した簡素な学習アルゴリズムを適用できるという利点がある。

カーネルモデルに対する学習は、教師付き学習、教師無し学習、強化学習に分類することができる。教師付き学習では、ある入出力関係を持つ何らかの関数の存在を仮定し、その入出力関係を与えられた学習データから推定する。教師付き学習は、さらに回帰問題とパターン分類問題に分けることができる。前者では出力が連続値を取るのに対して、後者では出力は離散的である。教師無し学習は、入力のみが学習データとして与えられる状況における学習であり、データが持つ特徴抽出をその目的とする。教師無し学習は自己組織化学習と呼ばれることもある。強化学習は試行錯誤を繰り返すことによって、ある目的を達成するための戦略を自動的に獲得する学習である。

本論文では、以上で述べた四種類の学習法をカーネルモデルに対して適用し、工学的問題に応用した例を示す。まず最初に、教師付き学習法の一つとして、著者らが提案した代表点を用いたガウス過程回帰法について説明する。この手法では、確率的解釈に基づいて、線形パラメータとカーネルパラメータの学習が一般化EMアルゴリズムによって行われる。次に、パターン分類問題を解くための手法の一つであるサポートベクトルマシンを、タンパク質の細胞内局在部位の予測に応用した例を示す。サポートベクトルマシンでは、カーネルを高次元の特徴空間上における内積として扱い、特徴空間上で線形分離問題を解くことによって、非線形の分離関数を実現している。カーネルモデルに対して教師無し学習を適用した例として、高次元空間上のベクトルとして表される文書集合の視覚化に関する手法について述べる。この手法では、混合主成分分析による特徴抽出に基づくカーネルが用いられ、距離構造を保存するように線形パラメータの学習が行われる。最後に、強化学習のオセロへの応用について述べる。強化学習は、オセロの戦略を自動的に獲得するために用いられる。オセロの戦略は盤面に対する評価関数によって決まるが、その評価関数は正規化ガウス関数カーネルを用いたネットワークによって表現される。強化学習において評価関数は時間と共に変動する。線形パラメータとカーネルパラメータは、評価関数の変動に追従するように学習される。以上の研究を通じて、工学的応用におけるカーネルモデルの有効性について論じ、その適用範囲の広さを示す。

(論文審査結果の要旨)

本論文は、与えられたデータを表現するモデルの一つであるカーネルモデルについて、その工学的応用における有効性について論じ、適用範囲の広さを示すことを目的としているものである。

近年、WWW上の文書ベクトル集合や遺伝子発現データなどの出現に伴い、高次元空間上の大量データを扱うための情報学的手法の重要性が高まっている。それらの手法はまた、データが含むノイズに対してもロバストである必要がある。さらに進んだ情報処理の手法として、静的なデータだけではなく、動的なデータに対応できるような情報学的手法は、例えば世間がロボット研究に期待するような、コンピュータ上の知性を実現するために必須の技術である。以上の要求を実現するための要素技術として、ニューラルネットワークの分野では、与えられたデータが持つ特徴を自動的に抽出するための様々な手法が提案されている。このプロセスはしばしば「学習」と呼ばれる。データが持つ特徴の抽出において、データのモデル化、すなわちデータを表現するための数理モデルが、特徴抽出の性能、解析の容易さ、実行速度などの面から重要である。本論文では、数理モデルの一つであるカーネルモデルを取り上げる。カーネルモデルとはカーネルの重み付き線形和として表現されるモデルであり、学習の容易さや用いるカーネルによる特徴抽出の柔軟さといった特徴を持つ。カーネルモデルに対する学習は、教師付き学習、教師無し学習、強化学習に分類することができる。平たく言えば、教師付き学習はデータの入出力の関係を推定する問題、教師無し学習は入力データの特徴を抽出する問題、強化学習は報酬に基づいて最適な戦略を獲得する問題である。

本論文では、いくつかの工学的問題に対してカーネルモデルを適用した。2章と3章では、教師付き学習の問題として、ロボットアームの状態を推定する問題、及びタンパク質の細胞内局在部位を予測する問題を考えた。特に前者の問題では、確率的な解釈を持つカーネルを用いることによって、ノイズに対してロバストな予測を、カーネルモデルによって実現している。4章では、教師無し学習の問題として、高次元ベクトル集合として表される、WWW上の文書集合の視覚化を扱った。この研究では、カーネルに対してより高度な特徴抽出の手法を適用することによって、性能が向上することを示した。また、カーネルパラメータと重みパラメータを独立に学習する手法を適用することによって、カーネルモデルが実行速度の面においても良い性能を持つことを示した。そして5章では強化学習の問題として、ゲームの戦略を自動的に獲得するという問題を取り上げた。この問題では、動的に変化する関数をカーネルモデルによって表現する必要がある。このような状況では、一つの学習データが与えられる毎にモデルパラメータを更新するオンライン学習を用いるのが適当であるが、この章ではオンライン学習における局所性を持つカーネルの有効性について論じた。

以上の通り、本論文は、様々な問題設定において、カーネルモデルの有効性、およびその適用範囲の広さを、工学的問題を通じて示したものであり、博士(工学)論文として価値あるものと認める。