氏　名（本籍）	高橋　力矢（　東京都　）
学 位 の 種 類	博　士（工学）
学 位 記 番 号	博　甲　第　7139　号
学位授与年月日	平成２６年　９月２５日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当
審 査 研 究 科	システム情報工学研究科
学位論文題目	Stable Fitting of Nonparametric Models to Predict Complex Human Behaviors （複雑な人間行動を予測するためのノンパラメトリック・モデルの安定した適合）
主　　査	筑波大学　准教授　博士（ｼｽﾃﾑｽﾞ･ﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄ）　倉橋　節也
副　　査	筑波大学　教授　工学博士　宮本　定明
副　　査	筑波大学　教授　博士（工学）　吉田　健一
副　　査	筑波大学　教授　博士（工学）　津田　和彦
副　　査	東京大学　准教授　博士（学術）　和泉　潔

論　文　の　要　旨

人がどのような行動を取るかを予測することは、マーケティング分野に限らず、交通行動や災害時の行動予測など、幅広い分野で応用が見込まれる。本論文は、行動予測のためのモデル推定を目的として、ノンパラメトリック統計学に基づく新たな機械学習アルゴリズムを提案している。

本論文では、イントロダクションと関連研究サーベイに続き、3 章において裾野の重たい分布に対応するために、高速かつ大域最適なノンパラメトリック密度推定アルゴリズムを導出する。交通政策に用いられる道路走行時間分布の確率密度推定では、たまに発生する極めて大きな渋滞のために走行時間が裾野の重たい分布を持ちやすい。従って、正規分布に代表される簡便な方法よりも、ノンパラメトリック法を用いた精密な推定が有効である。しかし既存の推定法は収束が遅く実用的でないため、新たに高速凸クラスタリング・アルゴリズムを導出している。提案されたアルゴリズムは、逐次最小問題最適化法を用いて、係数が 0 となる基底関数を高速に枝狩りすることで、大規模時系列データに対する高精度なノンパラメトリック密度推定解を現実的な計算時間で提供することに成功している。

4 章では、この提案手法を交通予測問題に応用し、自動車運転者の経路選択を道路ネットワーク上における確率的最適経路選択問題として定式化している。運転者同士の相互作用によって生成されるトラフィック予測と、1 人の運転者が最適選択する経路推定問題をモデル化し、走行時間分布の統計的推定を行っている。サンプルが十分にあるリンクに対しては混合ガンマ分布などによるノンパラメトリック密度推定を行い、サンプルの不足しているリンクに対してはノンパラメトリックな基底分布を拡散カーネルで補間し、全てのリンクに対する密度推定を高速かつ高精度に行っている。結果として、首都圏で営業するタクシーに設置した GPS で計測された走行時間データに対して、高い予測精度を示している。

5 章では、時系列予測課題として、マーケティング戦略策定に用いられる消費者の動学的反応確率推定を行っている。各日時において、ある消費者が特定のブランドまたは製品を選択する確率は、過去の購買体

験や広告接触、クチコミを含む他の消費者との相互作用によって決定される。予測においては、人間の記憶におけるべき乗減衰を精度よく近似する必要があり、この減衰は短期・中期・長期記憶の間の相互作用結果である。提案法はこの相互作用を矩形窓関数の線形結合（階段関数）で定式化し、ノンパラメトリック法により階段関数を層別適合することで、消費者の反応時系列を高精度に予測している。

6章は､制約つきマルコフ決定過程を用いたマーケティングミックス最適化アルゴリズムを導入している。消費者への販促効率が最大化されるようなターゲティングルールを導くため、キャンペーンの反応確率と消費者の心理状態の変化、および予算制約を考慮した最適化を行う必要がある。このため、決定木を用いて層別された消費者セグメントに対する各チャネルのターゲット人口最適化と、利潤を予測する離散イベント・シミュレーターを導入している。これらは線形計画問題として定式化でき、高速線形計画ソルバーを使うことで多数の消費者セグメント･チャネルを伴うターゲティングルールを最適化している。そして、欧州のオンライン小売商店において計測された販売・販促データを用いた分析において、各パラメータや予算制約に対する詳細な What-If 分析が可能となることを示している。

審　査　の　要　旨

【批評】

人間が実際に取る行動を精度高く予測するモデル(Descriptive Model)は、実在する意思決定問題の解決において極めて有用である。しかし、個々人の意思決定および他者との相互作用の結果としての集団行動の予測は、難度の高い課題である。一方、最適な意思決定を行うためにどう振る舞うべきかを与える数理モデル（Normative Model）も有用である。他者の行動を精密に予測し、自分自身の行動を最適化することで、より良い意思決定が可能となる。この課題に対して著者は、それぞれのモデルの予測式を線形基底関数の線形結合で表現し、結合係数を観測データに対して当てはまりが良いように最適化することを提案した。意思決定バイアスなどへの対応では課題が残るものの、この提案法によりパラメータ推定アルゴリズムは凸最適化問題の解を計算することになり、大域最適解が得られる。提案されたノンパラメトリック推定モデルは、実問題での検証においても局所解の問題に悩まされることなく、安定した予測精度を示し特筆に値する。以上、社会人研究者としての広範な知識に基づく高度なデータマイニング技術と、実務上の課題解決が融合された本学位論文および研究内容は、博士(工学)を授与するに充分なものと判断する。

【最終試験の結果】

平成２６年８月１日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。この結果とリスク工学専攻における達成度評価による結果に基づき、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。