

学 位 論 文 題 名

都市内街路における交通制御システムの高度化に関する基礎的研究

学位論文内容の要旨

本研究は、都市内街路における交通制御システムの高度化をはかるために、ニューラルネットワークモデルの優れた特性を交通制御システムに導入することを目的とし、信号制御パラメータの最適化問題、あるいは交通配分問題等の交通制御システムに関わるいくつかの問題に対して、該当モデルの適用性を検討したものである。すなわち、ニューラルネットワークの構造と学習能力、効率的な学習方法、あるいは局所最小値への収束を避けるための最適化アルゴリズムに関して2、3の提案を行ったものである。

1章は序論であり、本研究の目的と構成について述べている。2章においては、都市内街路における交通制御システムの高度化の必要性和将来の交通制御システムである「自己組織化交通制御システム」におけるニューラルネットワークモデルの役割について説明している。3章においては、ニューラルネットワークモデルの基礎的理論と本論で用いる代表的なアルゴリズムについて紹介している。

4章においては、ニューラルネットワークモデルの導入に先立ち、車両感知器を通して計測される交通変量に関し、その誤差特性を分析するとともに、誤差特性を考慮した予測手法の提案を行っている。すなわち、交通制御システムにおいては、車両感知器を通して得られるデータの精度がシステム全体の信頼性に大きな影響を与えることを考慮し、その誤差特性と交通状況の予測手法に関する分析を行っている。まず、目視による実測値との比較を通して、車両感知器データには、駐車車両や路側の堆雪の影響によって少なからぬ計測誤差が含まれていることを定量的に明らかにしている。

次に、交通変量の予測手法として、状態、観測の両方程式に定数項を有するカルマンフィルターの導入を行うとともに、交通変動に応じて時間帯別にパラメータの同定を行うことを提案している。また、これまで根拠が不明確であった指数平滑指数に関して、カルマンゲインとの関係を明らかにするとともにその値が日交通量や昼夜率などの交差点特性に依存せず、各時間帯別に一定値近くなることを明らかにしている。さらに、計測誤差の分散値をパラメータとした平滑指数値

を求めることによって、計測誤差の影響を定量化した予測式を作成している。

5章においては、交通制御パラメータの中のスプリットを最適化する階層型のニューラルネットワークモデルの提案を行っている。すなわち、スプリットを入力変量とし、行列長あるいはPI（遅れ時間と停止回数の加重和：Performance Index）を出力変量とする階層型のニューラルネットワークを導入するとともに、シナプス荷重の調整を行う学習過程とスプリットの調整を行う最適過程に分けてシステムを構築することを提案している。

まず単独交差点への適用を行い、その学習過程においては、逆伝搬演算が有効であること、学習を終了したニューラルネットワークが、未学習パターンに対しても十分な精度で出力変量の推定を行うことが出来ることを明らかにしている。また、最適過程においては、ローカルミニマムへの収束を避けるために、確率論的なコーシーマシンと確定論的な最急勾配法を順次組み合わせたステップワイズ法の提案を行っている。次に、3交差点から成る実交差点に対しての適用を行い、解析解と十分近似した解が得られることを確認している。

6章においては、まず単独交差点のスプリットの最適化を例として、中間層に含まれているニューロンの個数や中間層の数がニューラルネットワークの学習能力にどのように影響を与えるかを分析している。その結果、中間層に含まれるニューロン数や中間層の層数は、未学習データに対する推定精度の向上にあまり寄与しないことを明らかにしている。しかしながら、学習に要する演算時間に関しては、特定の層構造において演算効率が良いことを見い出している。また、学習パターン数に関して、学習パターン数がシナプス荷重数以上ある時には安定した学習精度が得られること、逆にシナプス荷重数と比べ少ない時にも十分な推定精度が得られること、あるいは学習パターン数がシナプス荷重数に比べてかなり多い時にも、推定精度は必ずしも低下しないことなどを確認している。

さらに学習パターン数と演算時間に関して、パターン数が増えても演算時間は必ずしも増加してもないこと、逆にパターン数が多い方が演算時間が短くなる場合も多いこと、あるいはある数の学習パターンを用いて学習を行う場合には、それより多くのパターン数を用いた方が効率的であることなどを明らかにしている。

次に、複数交差点に適用した場合におけるシナプス荷重数の増大対処するために各交差点に関係したニューロンだけを結合するようにモデルの改良を行っている。その結果、改良モデル（多重スプリットモデル）は、対応する従来モデル（単一スプリットモデル）よりシナプス荷重の結合数が少ないので、より少ない学習パターン数でシステムの学習を完了することが出来ることを明らかにしている。逆に、同じ学習パターン数で学習を行う時の演算時間は大幅に減少し、ここ

の例では、単一モデルに比べ30～40%も減少することを確認している。このように、多重スプリットモデルの導入によって学習精度に影響を及ぼすことなく、演算時間や計算機メモリの改善をはかることができることを明らかにしている。

7章においては、これまでのスプリットの最適化に加えてオフセットの最適化を行うとともに、交通状況の変動に対しても事前に学習できるようにモデルの拡張を行っている。すなわち、前章の多重スプリットモデルを基本形態とし、それにオフセットと流入交通量に関する入力経路を付加した「マルチ入力型」のニューラルネットワークシステムの提案を行っている。それぞれの入力信号の結合方法によって4つのタイプを想定し、未学習データに対する推定精度、および演算時間の面から学習能力の比較検討を行っている。その結果、各交差点ごとにオフセットと流入交通量のネットワークをもち、それらが中間層で合流するモデルが最も望ましいことを確認している。

さらに、その最良なモデルを4交差点問題に適用し、未学習な交通状況に対してもシナプス荷重の再学習なしに十分な精度で目的変量の推定ができること、あるいはスプリットとオフセットの最適解に関し安定した収束解をもつことができることなどを確認している。

8章においては、将来における経路誘導システムへの応用を想定して、静的な交通配分問題の1つである最小費用流問題に対して相互結合型のニューラルネットワークモデルの適用をはかっている。すなわち、最小費用流問題は、巡回セールスマン問題や Hitchcock 問題同様に目的関数が状態変数の2次形式で表現される組合せ最適化問題であるので相互結合型のニューラルネットワークモデルによる定式化が可能であることを明らかにしている。ここでは、交通容量比（交通量／交通容量）をニューロンの状態量とし Group-and-Weight 法を用いてその値を表現することが有効であることを明らかにしている。また、実際の交通現象をより正しく表現するために、任意のノードで交通の発生・消滅が可能となるようにするとともに、リンク走行時間がリンク交通量に依存するようモデルの改良を行っている。さらに、ホップフィールドモデル等いくつかのニューラルネットワークモデルを用いて数値解析を行い、ほぼ妥当な近似解が得られることを確認している。

9章は本研究の結論であり、各章で得られた成果を整理して要約している。また将来の展望と課題についても論じている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 加 来 照 俊
副 査 教 授 五十嵐 日出夫
副 査 教 授 藤 田 睦 博
副 査 教 授 新 保 勝

本研究は、都市内街路における交通制御システムの高度化を図るために、信号制御パラメータの最適化問題、あるいは交通配分問題等の問題に対して、ニューラルネットワークモデルの適用性を検討したものである。すなわち、ニューラルネットワークの構造と学習能力、効率的な学習方法、あるいは局所最小値への収束を避けるための最適化アルゴリズムに関していくつかの提案を行ったものである。

1章は序論であり、本研究の目的と構成について述べている。2章においては、都市内街路における交通制御システムの高度化の必要性和将来の交通制御システムにおけるニューラルネットワークモデルの役割について説明している。3章においては、ニューラルネットワークモデルの基礎的理論と本論で用いる代表的なアルゴリズムについて紹介している。

4章においては、ニューラルネットワークモデルの導入に先立ち、車両感知器データの誤差特性を分析するとともに、誤差特性を考慮した予測手法の提案を行っている。まず、目視による実測値との比較を通して、計画誤差の程度を定量的に明らかにしている。次に、交通変量の予測手法として、カルマンフィルターの導入を行うとともに、交通変動に応じて時間帯別にパラメータの同定を行うことを提案している。また、これまで根拠が不明確であった指数平滑指数に関して、カルマンゲインとの関係を明らかにしている。さらに、計測誤差の分散値をパラメータとした平滑指数値を求めることにより、計測誤差の影響を定量化した予測式を作成している。

5章においては、交通制御パラメータの中のスプリットを最適化する階層型のニューラルネットワークモデルの提案を行っている。すなわち、スプリットを入力変量とし、行列長あるいはPI（遅れ時間と停止回数の加重和：Performance Index）を出力変量とする階層型のニューラルネットワークを導入するとともに、シナプス荷重の調整を行う学習過程とスプリットの調整を行う最適過程に分けてシステムを構築することを提案している。最適過程においては、局所最小値への収束を避けるために、確率論的な手法と確定論的な手法を組み合わせた手法の提案を行っている。

6章においては、まず単独交差点のスプリットの最適化を例として、中間層に含まれているニューロンの個数や中間層の数などのネットワーク構造がその学習能力に与える影響を分析し、学習精度、学習時間の面から優れたモデル構造を明らかにしている。次に、複数交差点への適用に当たり、各交差点に関係したニューロンだけを結合するようモデルの改良を行い、従来モデルより効率的に学習を行うことが出来ることを明らかにしている。

7章においては、これまでのスプリットの最適化に加えてオフセットの最適化を行うとともに、交通状況の変動に対しても事前に学習出来るようモデルの拡張を行っている。すなわち、従来のスプリットモデルを基本形態とし、それにオフセットと流入交通量に関する入力経路を付加した「マルチ入力型」のニューラルネットワークシステムの提案を行っている。それぞれの入力信号の結合方法によって4つのタイプを想定し、未学習データに対する推定精度、および演算時間の面から学習能力の比較検討を行っている。さらに、最良とされたモデルを4交差点問題に適用し未学習な交通状況に対してもシナプス荷重の再学習なしに十分な精度で目的変量の推定ができること、あるいはスプリットとオフセットの最適解に関し安定した収束解をもつことができることなどを確認している。

8章においては、将来における経路誘導システムへの応用を想定して、静的な交通配分問題の1つである最小費用流問題に対して相互結合型のニューラルネットワークモデルの適用をはかっている。ここでは、任意のノードで交通の発生・消滅が可能となるようにするとともに、リンク走行時間がリンク交通量に依存するようモデルの改良を行っている。

9章は本研究の結論であり、各章で得られた成果を整理して要約している。また将来の展望と課題についても論じている。

以上のように本論文は、ニューラルネットワークモデルの持つ優れた特性を交通制御システムに導入することが可能であることを明らかにしたものである。これを要するに、著者は、交通工学における交通制御システムの高度化に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。