

Improvements of Traffic Flow Modeling on Freeways

(高速道路交通流モデルの改善に関する研究)

学位論文内容の要旨

交通渋滞問題は、莫大な時間的損失という経済的側面だけでなく、地域や地球の環境を保全するという観点から、早急かつ有効な対策の確立が求められている課題である。現状では新たな道路を建設するなどのハード的な対策の限界から、TSM (Transportation System Management) , TDM (Transportation Demand Management) などのソフト的な対策が検討されている。さらにはITS (Intelligent Transport System) も21世紀に向けた対策として研究が行われている。このような諸施策の計画、あるいは既存施設の診断において、交通の円滑性や環境に及ぼす影響を解析的に評価することはほとんど不可能であることから、交通流シミュレーションが重要な役割を果たしている。

分析の目的や用途に応じて多種多様な交通流モデルがこれまでも提案されてきているが、Payne型マクロモデルは、交通流の表現能力の高さ、および大規模な道路網への適用可能性から、欧米諸国の高速道路の交通運用システムにおいて実際に採用されているだけでなく、今なお数多くの改良や拡張が行われてきている。Cremerは、直接的な計測が困難である交通密度や空間平均速度を状態変量としたPayne型マクロ交通流モデルをカルマンフィルターと結びつけることによって、交通量や地点平均速度などの一般的に計測される交通変量を状態変量と関係づけシミュレーション精度の向上を図る手法の提案を行っている。

本研究は、モデルパラメータにおける交通状態依存性の表現、適用可能な道路区間の拡大、さらにはニューラルネットワークモデルを用いた状態変量と計測変量の表現を行うことによってCremerモデルを拡張することを目的としている。最初に、従来定数として扱われてきたマクロ交通流モデルに含まれるモデルパラメータに関して、交通状態に極めて鋭敏に反応するものがあることを明らかにした上で、そのパラメータを交通密度の関数としたモデル (Variant Weighting Factor Model : 可変重み係数モデル) の提案を行った。次に、Cremerモデルにおいては、道路区間の両端にのみにおいて交通変量データが計測されていることを想定しており、多くの感知器が設置されている道路網に適用するときには、計測地点ごとに分断してモデル化を行っていた。ここでは、任意の地点に感知器があることを仮定しモデルの再構築を行い、多くの道路区間の相互作用を統合的に取り扱うことを可能とした (Multiple Section Model : 多重区間モデル) 。さらには、モデルパラメータの交通変量依存性によって、カルマンフィルターにおける線形化演算が極めて複雑になったこと、

あるいはより広範囲な上流・下流両方向の交通状態も影響を有する地点の計測交通変量に反映させるために、状態方程式および計測方程式を多層階層型のニューラルネットワークモデルで表現するとともに、カルマンフィルターに関連つけるための定式化を行った (Neural-Kalman Filtering Model : ニューラル・カルマンフィルターモデル)。

第1章においては、TSMやTDMなどの交通渋滞対策とそれらにおける交通流シミュレーションモデルの役割、さらにはPayne型マクロモデルやCremerモデルを中心とした交通流モデルの沿革について簡単に述べる。

第2章においては、本論文を理解するために、Payne型マクロ交通流モデル、カルマンフィルター、およびパラメータ推定を行うための非線形最適化手法BoxのComplex法などの紹介を行っている。

第3章においては、本論文で解析対象とした首都高速道路の道路区間に関して、区間の幾何形状、用いた交通量データ、および計測地点や検証地点の設定について述べる。

第4章においては、最初にPayne型マクロモデルやCremerモデル中のいくつかのパラメータに関して感度分析を行い、特に計測方程式中の重み係数が交通状態に極めて鋭敏であることを明らかにする。次に、その重み係数を交通密度の関数として表現を行い、それに伴うモデルの修正、カルマンフィルターにおける線形化演算の定式化を行う。さらに、元のCremerモデルとの比較を通して有効性の検証を行うとともに、本モデルが他のモデルパラメータ値が不良である場合に対しても頑強性あることを示す。

第5章においては、両端にのみに計測データがあるとする単一区間モデルの問題点、および上下両方向ともに広範囲な交通状態の影響を考慮する必要性に関する指摘を行う。次に、任意の地点に感知器があることを仮定しモデルの再構築を行うとともに、それに伴うカルマンフィルター演算結果を示している。ここでも、可変重み係数モデルを内在化させた多重区間モデルと元のCremerモデルとの比較を行い有効性の検証を行っている。

第6章においては、可変重み係数モデル化、および多重区間モデル化によって、モデルの構造そのものが複雑になっただけでなく、カルマンフィルターにおける線形化演算が極めて困難になったことを最初に述べる。次に、状態方程式および観測方程式を多層階層型のニューラルネットワークモデルを用いて表現することによって、これらの問題に対処出来るだけでなく、勾配やカーブなどの道路形状、あるいは規制速度などの局所的な要因も計測方程式に取り込むことができるなど今後の発展性も期待できることについても言及を行う。多層階層型のニューラルネットワークモデルの基礎の紹介に続いて、状態方程式および観測方程式のモデル化とそれぞれの入力変量と出力変量の説明を行う。さらに、カルマンフィルターにおける線形化演算が簡潔に表現できることを示す。最後に、元のCremerモデル、可変重み係数モデル、および多重区間モデルとの比較を行い有効性の検証を行っている。

第7章においては、本研究の成果を総括するとともに、今後の課題に対する展望を行っている。

学位論文審査の要旨

主査	教授	森吉昭博
副査	教授	佐藤義治
副査	教授	藤田陸博
副査	教授	佐藤馨一
副査	助教授	中辻隆

学位論文題名

Improvements of Traffic Flow Modeling on Freeways

(高速道路交通流モデルの改善に関する研究)

交通渋滞問題は、莫大な時間的損失という経済的側面だけでなく、地域や地球の環境を保全するという観点から、早急かつ有効な対策の確立が求められている課題である。交通問題に関する諸施策の計画、あるいは既存施設の診断において、交通の円滑性や環境に及ぼす影響を解析的に評価することはほとんど不可能であることから、交通流シミュレーションが重要な役割を果たしている。

本研究は、マクロ型交通流シミュレーションにおけるモデルパラメータにおける交通状態依存性の表現、適用可能な道路区間の拡大、さらにはニューラルネットワークモデルを用いた状態変量と計測変量の表現を行うことによって既存モデルを拡張することを目的としている。最初に、従来定数として扱われてきたマクロ交通流モデルに含まれるモデルパラメータに関して、交通状態に極めて鋭敏に反応するものがあることを明らかにした上で、そのパラメータを交通密度の関数としたモデル (Variant Weighting Factor Model : 可変重み係数モデル) の提案を行っている。次に、Cremer モデルにおいては、道路区間の両端にのみにおいて交通変量データが計測されていることを想定しており、多くの感知器が設置されている道路網に適用するときには、計測地点ごとに分断してモデル化を行っている。ここでは、任意の地点に感知器があることを仮定しモデルの再構築を行い、多くの道路区間の相互作用を統合的に取り扱うことを可能とした (Multiple Section Model : 多重区間モデル)。さらには、モデルパラメータの交通変量依存性によって、カルマンフィルターにおける線形化演算が極めて複雑になったこと、あるいはより広範囲な上流・下流両方向の交通状態も影響のある地点の計測交通変量に反映させるために、状態方程式および計測方程式を多層階層型のニューラルネットワークモデルで表現するとともに、カルマンフィルターに関連つけるための定式化を行っている (Neural-Kalman Filtering Model : ニューラル・カルマンフィルターモデル)。

本研究における主要な成果は以下のように要約される。

- 1) Payne 型マクロモデルや Cremer モデル中のいくつかのパラメータに関して感度分析を行い、特に計測方程式中の重み係数が交通状態に極めて鋭敏であることを明らかにした。
- 2) 観測方程式における重み係数を交通密度の関数として表現を行い、それに伴うモデルの修正、カルマンフィルターにおける線形化演算の定式化を行った。
- 3) 可変重み係数モデルと従来のモデルとの比較を通して有効性の検証を行うとともに、本モデルが他のモデルパラメータ値が不良である場合に対しても頑強性あることを示した。
- 4) 任意の地点に感知器があることを仮定しモデルの再構築を行うとともに、それに伴うカルマンフィルター演算結果を示した。
- 5) 可変重み係数モデルを内在化させた多重区間モデルと従来モデルとの比較を行い多重区間モデルの有効性の検証を行った。
- 6) 状態方程式および観測方程式を多層階層型のニューラルネットワークモデルを用いて表現することによって、カルマンフィルターにおける線形化演算に対処出来ることを明らかにした。
- 7) 従来のモデル、可変重み係数モデル、および多重区間モデルとニューラル・カルマンフィルターモデルの比較を行い有効性の検証を行った。

これを要するに、著者は、マクロ交通流モデルの表現能力の向上を図るとともに、そのモデルをカルマンフィルターと組み合わせて高速道路の交通状態を推定する新たな手法の開発とその検証を通して有益な新知見を得ており、土木工学、特に交通工学の発展に寄与するところ大である。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。