

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	確率的セルオートマトンの変分ベイズ学習と交通流解析への応用
Title(English)	
著者(和文)	中村 文士
Author(English)	Fumito Nakamura
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10544号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:渡邊 澄夫,新田 克己,樺島 祥介,小野 功,青西 亨
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10544号, Conferred date:2017/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	中村 文士	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	渡邊 澄夫	教授	青西 亨	准教授
	審査員	新田 克己	教授		
		樺島 祥介	教授		
		小野 功	准教授		

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「確率的セルオートマトンの変分ベイズ学習と交通流解析への応用」と題し、全6章よりなっている。

第1章「序論」では、交通流の解析を行うために考案されたモデルとして交通流を生成する順モデルと観測から交通流を統計的に推測する逆モデルがあると述べ、確率的セルオートマトンを用いた順モデルと逆モデルの例および渋滞現象の解析への応用例を説明している。確率的セルオートマトンを用いて交通流を表現する場合には、各セルに車両が存在するときセルの値を1で、存在しないとき0で表し、各セルの値に基づいて次の時刻の各セルの値を確率的に定めると述べている。また本研究では確率的セルオートマトンを用いたモデルである全非対称単純排除過程(Totally Asymmetric Simple Exclusion Process, 以下 TASEP と略称)と零間隔過程 (Zero Range Process, 以下 ZRP と略称) の逆問題を考察すると述べている。続いて本研究の目的は TASEP および ZRP が複数の更新規則を潜在変数として持つ場合の逆問題において、少ない演算量で高精度に統計的推測を行う方法を提案し、その交通流解析への応用における有効性を明らかにすることであると述べている。

第2章「確率的セルオートマトン」では、TASEP と ZRP の数学的な定義を説明している。TASEP と ZRP は、それぞれ隣のセルの値あるいは隣の車両までの距離の関数として定まる更新規則を条件つき確率として定めた確率的セルオートマトンであると述べている。また複数の更新規則を持つ TASEP と ZRP を、それぞれ多種粒子 TASEP および多種粒子 ZRP と呼び、観測データから直接に推定することが困難である多種類の更新規則を推測することは交通流解析の基礎として重要であると述べている。

第3章「TASEP の変分ベイズ学習」では、多種粒子 TASEP の統計的推測を行う方法として変分ベイズ法を用いることを提案している。各車両がどの更新規則に従うかを潜在変数とすることでデータが与えられたときのパラメータと潜在変数のベイズ事後分布を定義し、パラメータと潜在変数が独立な試験分布とベイズ事後分布とのカルバックライブラ情報量を最小にする近似を再帰的に行うことで多種粒子 TASEP の変分ベイズ学習のアルゴリズムを導出している。さらに変分事後分布を基礎として定義される変分自由エネルギーを比較することで複数の候補のモデルの中からデータを説明するために最も適切なモデルの選択を行うことができると述べている。また提案アルゴリズムを人工データと実測データに適用し、人工データにおいては真の構造と真のパラメータが推測できたことを実験的に示し、また実測データにおいては通常時と渋滞時における更新規則の変化が抽出できたと述べている。

第4章「ZRP の変分ベイズ学習」では、多種粒子 ZRP の統計的学習を行う方法として変分ベイズ法を用いることを提案している。各車両の車間距離に依存する更新規則を潜在変数とすることで定義された潜在変数とパラメータのベイズ事後分布を近似対象の分布として ZRP の変分ベイズ学習のアルゴリズムを導出している。また人工データと実測データに適用することで、多種粒子 ZRP では多種粒子 TASEP よりも詳細に各車両の更新規則が取り出せたと述べている。

第5章「他の学習法との比較」では、潜在変数を持つ統計モデルの推測に利用される学習方法の候補として平均最大法 (Expectation Maximization 法, 以下 EM 法と略記) とベイズ法があると述べ、多種粒子 TASEP と多種粒子 ZRP の学習において統計的推測の精度と演算量の観点から提案方法との比較を行なっている。EM 法は演算量が少なくベイズ法は推定精度が良好であると述べ、提案方法は演算量においては EM 法と同等であり、また推定精度ではベイズ法と同等であることを実験的に示し、多種粒子 TASEP と多種粒子 ZRP の交通流への応用において提案方法は少ない演算量で高精度な推測が実現できたと述べている。

第6章「結論」では本論文で得られた成果と今後の展望をまとめている。

以上を要するに、本論文は複数の更新規則を潜在変数に持つ確率的セルオートマトンモデルである多

種粒子 TASEP と多種粒子 ZRP の統計的学習において変分ベイズ法に基づく学習アルゴリズムを導出し、その有効性を人工データと実測データを用いて実験的に明らかにしたものであり、工学上貢献するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があると認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。