

|             |                                                                                                       |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名         | み よ し な お と<br>三 好 直 人                                                                                |
| 学位(専攻分野)    | 博 士 (工 学)                                                                                             |
| 学 位 記 番 号   | 工 博 第 1590 号                                                                                          |
| 学位授与の日付     | 平 成 9 年 3 月 24 日                                                                                      |
| 学位授与の要件     | 学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当                                                                               |
| 研 究 科 ・ 専 攻 | 工 学 研 究 科 応 用 シ ス テ ム 科 学 専 攻                                                                         |
| 学 位 論 文 題 目 | Studies on Gradient Estimation for Stationary Single-Server<br>Queues<br>(定常な単一サーバ待ち行列に対する勾配推定に関する研究) |
| 論文調査委員      | (主 査)<br>教 授 長谷川利治    教 授 沖野教郎    教 授 茨木俊秀                                                            |

### 論 文 内 容 の 要 旨

待ち行列システムに代表される確率離散事象システムの最適化や感度分析を考えると、システム評価尺度のあるパラメータに関する勾配が必要となることがある。しかしながら、与えられたシステムの評価尺度を解析的に陽な形で表せる場合は限られているため、多くの場合はシミュレーションを行ったり、実際に稼働しているシステムを観測して勾配を推定することになる。本論文は、割り込み後着順サービス規律や優先クラスのあるモデルなどの様々な単一サーバ待ち行列システムに対して、極めて一般的な仮定のもとで、あるシステム・パラメータに関するいくつかの代表的な評価尺度の勾配を効率よく推定するための統一的な手法についての研究成果をまとめたものであり、以下の6章からなっている。

第1章は序論であり、確率離散事象システムに対する勾配推定問題の意義やその応用について述べた後、従来の勾配推定手法の問題点を指摘し、それに対して最近提案されているいくつかの勾配推定手法を紹介している。また、得られた推定式が強一致性とと呼ばれる性質、すなわち観測期間の長さを無限大としたときに推定値が定常状態における評価尺度の勾配に確率1で収束するという性質を満足するための条件についての過去の結果を概観し、それに対する本研究の位置づけを明らかにしている。章末で、本論文の構成について述べている。

第2章では、まず、本論文で主に扱う単一サーバ待ち行列についての詳しい説明を行っている。すなわち、複数の客のクラスがあり、客のサービス時間分布が実数値パラメータを持つような  $G/G/1/\infty$  待ち行列への入力を定常マーク付き点過程として表し、その定常点過程に対するパルム確率分布を定義している。また、本論文で扱うサービス規律のクラスを定義している。さらに、観測されるサービス時間の勾配を求める手法、および本論文の基礎となるパルム確率分布を用いた無限小摂動解析法について解説した後、他の一般的な評価尺度に対して勾配推定を考えたときの問題点を指摘している。

第3章では、時間的に定常な評価尺度として、任意時点におけるシステム内容数に関する量を評価尺度とした勾配推定問題を扱っている。まず、ここで考えている評価尺度に対しては、パラメータの微小変化

によって到着と退去の順序が替わるようなときに標本関数が不連続的に変化することがあり、そのために無限小摂動解析法が適用できないことを説明し、そうした事象の順序変化によって標本空間を分割したうえでの平滑化摂動解析法の適用について述べている。さらに、ある時刻におけるシステムの状態に対する、過去の全ての事象の順序変化の影響を調べることが、あるただ1回の事象の順序変化による、それ以降のシステムのおふるまいへの影響を調べることと同値であることを示し、その結果、ただ1つの事象の順序変化を考えることにより、エルゴード性の仮定のもとで強一致性を満足する勾配の推定式が導かれることを示している。また、システムの特長上、勾配の推定式が観測しているひとつの標本路から求められることを示している。

第4章では、各クラスの客に関して定常な評価尺度として、あるクラスの客のシステム内滞在時間に関する量を評価尺度とした勾配推定問題を扱っている。ここでも第3章と同様に、ある一人の客の滞在時間に対する、すべての事象の生起順序の変化の影響を調べることが、ある1度の事象の生起順序の変化による標本路上の全ての同じクラスの客の滞在時間に及ぼす影響を調べることと同値であることを示すことにより、強一致性を満足する推定式を導いている。なお、第3章で得られた関係式が定常分布とパルム分布の間の関係式であるのに対して、ここで得られたのは2つの異なる点過程に対するパルム分布間の関係式となっている。また、従来の  $GI/GI/1/\infty$  待ち行列に対して一般的に用いられている、稼働サイクルを基にしたアプローチについても触れ、従来の結果に対応した表現が得られることを示している。さらに、いくつかのモデルに対してシミュレーション実験を行い、得られた推定式の妥当性を実証している。

第5章では、離散時間型の待ち行列モデルに対する勾配推定法を考えている。離散時間型のモデルでは、連続時間型モデルと異なり、パラメータの連続的な変化によってサービス時間が段階的に変化するために、従来の摂動解析法をそのまま適用することが困難であることを指摘し、パラメータの微少変化によるサービス時間の変化の条件付き確率を考えることにより、離散時間型モデルに対する新たな摂動解析法を提案している。そして、エルゴード性の仮定のもとで、強一致性を満足する勾配の推定式を導いている。また、シミュレーション実験によって得られた推定式の妥当性を実証している。

第6章は結論であり、本研究で得られた結果を総括するとともに、今後の研究の方向の可能性について述べている。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、様々な単一サーバ待ち行列システムに対して、極めて一般的な仮定のもとで、いくつかの代表的な評価尺度の、あるシステム・パラメータに関する勾配を推定する手法についての研究成果をまとめたものであり、主な成果は以下の通りである。

1. パルム確率分布を用いることにより、定常性およびエルゴード性の仮定のもとで、時間定常な評価尺度に対して強一致性を満足する勾配の推定式を導出した。その際、ある時刻におけるシステムの状態に対する、過去の全ての事象の順序変化の影響を調べることが、ただ1回の事象の順序変化によるそれ以降のシステムのおふるまいへの影響を調べることと同値であることを示した。また、勾配の推定値が1回の標本路の観測から求められることを示した。

2. 各客に関して定常な評価尺度に関しても、定常かつエルゴード性の仮定のもとで、強一致性を満足する勾配の推定式を導出した。また、従来の方法に対応した考え方によっても、同様の推定式が得られることを示した。さらに、シミュレーションにより得られた推定式の妥当性を確認した。

3. 離散時間型の待ち行列システムに対して、新しい勾配推定手法を提案し、定常性およびエルゴード性の仮定のもとで強一致性を満足する推定式を導出した。また、シミュレーションにより得られた推定式の妥当性を確認した。

以上、本論文は、連続時間型ならびに離散時間型の様々な単一サーバ待ち行列システムの、いくつかの代表的な評価尺度の勾配に対して、定常性とエルゴード性の仮定のもとで、強一致性を満足し、かつ効率の良い推定手法を確立し、その妥当性を実証したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成9年1月27日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。