

(続紙 1)

京都大学	博士 (情報 学)	氏名	Phung Duc Tuan
論文題目	Retrial Queues and their Applications in Communication Systems		
(論文内容の要旨)			
本論文は、複数サーバ再試行型待ち行列を考察し、サーバ数が小さい場合に対しては解析解を導出し、一般の場合には高精度な数値解析法を提案している。さらにモデルを拡張し、通信ネットワークなどの性能評価へ応用し、数理モデルの汎用性を示している。 従来の待ち行列モデルの多くでは客が到着したときにすべてのサーバと待合室が他の客に占有されている場合、その客は棄却されると仮定してきた。しかし、コール・センターや移動体通信網などの通信システムに現れる待ち行列システムでは一度ブロッキングされた客がある時間経過後再び到着する挙動がよく見られる。この再試行挙動を考慮した再試行型待ち行列が近年注目され、活発に研究が行われている。しかし、複数サーバ再試行型待ち行列モデルを記述する2次元マルコフ連鎖の状態遷移率が状態に依存するため、従来の待ち行列モデルと比べ、解析が困難であり、サーバ数が2以下の場合を除き厳密解が得られていない。本論文では複数サーバ再試行型待ち行列を考察し、サーバ数が小さい場合に対しては解析解を導出し、一般の場合には高精度な数値解析法を示した。 本論文は七つの章から構成され、1章は序論である。2章では最も基本的なモデルである待合室の無い再試行型複数サーバ待ち行列に関して、サーバ数が3と4の場合の解析解を導出している。まず稼働中サーバ数及び再試行中客数を状態にとり、2次元のマルコフ連鎖を構成し、その定常分布をサーバが空である結合確率の数列で表現し、これらがある3項間漸化式を満たすことを示し、定常分布を計算するアルゴリズムを提案した。 3章では、待合室がありかつ一部の客が棄却される「到着率及びサービス率が系内客数に依存した複数サーバ再試行型待ち行列」に関し、次の2通りの場合を考えている。1) 再試行客が再びブロッキングされたとき、その客がある確率で直ちにシステムを退去する場合で、システム容量が3以下、2) 再試行客はサービスを受けるか待合室に加わるまで繰り返し再試行する場合で、システム容量が4以下。これら二つの場合につき、解析を行い、解析解に現れる連分数を任意の精度で計算できるアルゴリズムを示している。 4章では一般の複数サーバ再試行型待ち行列に対して数値的アルゴリズムを提案している。複数サーバ再試行型待ち行列はある特別なレベル依存準出生死滅過程によって定式化することができる。まず一般的なレベル依存準出生死滅過程の定常分布の計算に際して現れる状態遷移率行列を行列連分数として計算するバックワードアルゴリズムを提案し、従来手法と比べ計算量を同程度に抑えながら、記憶領域を大きく削減できることを示している。続いて複数サーバ再試行型待ち行列を記述するレベル依存準出生死滅過程のブロック行列の疎構造を用いて、本章で提案するアルゴリズムを適用する際にさらに記憶領域及び計算量を削減できることを示している。本アルゴリズムは計算量がサーバ数に比例していること及び計算途上で出現する量が正であるため数値的に安定していることを示し、再試行を考慮した本解析結果と再試行を考慮していない呼損モデルにつき、ブロッキング確率を比較し、再試行頻度が増すにつれて両モデルの差異が大きくなることを示している。このことからトラフィック強度が高いとき、精密な性能解析のためには複数サーバ再試行型待ち行列を使う必要があることを指摘している。			

5章では再試行と棄却がある2サーバ直列型待ち行列モデルを考えている。本モデルは多段処理のあるコール・センターや受付を有するサービスシステムに応用可能であり、再試行型待ち行列ネットワークの基本モデルの一つである。本モデルに対してサーバが空である結合確率の母関数が満たす微分方程式を導き、それが解析的に解けることを示し、これにより再試行中客数及びサーバの状態の定常結合分布が超幾何関数などを用いて表現できることを明らかにしている。

6章では複数サーバ再試行型待ち行列を発展させ、波長変換器を有する光バースト交換網の性能評価への応用を図っている。従来の解析法では全波長の状態を把握する必要があり、システムを表現する状態数が爆発する問題があったが、確率的サーバ選択再試行型待ち行列モデルを新たに提案・解析し、従来の再試行型待ち行列モデルと同程度の状態数で光バースト交換網をモデル化できることを示している。

最後に7章では論文全体の纏めをするとともに今後の研究の方向性を述べている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、複数サーバ再試行型待ち行列を考察し、サーバ数が小さい場合に対しては解析解を導出し、一般の場合には高精度な数値解析法を開発した結果を纏めたものであり、以下の成果を得ている。

1. 待合室の無い再試行型複数サーバ待ち行列に関して、サーバ数が3と4の場合の解析解を導出している。稼働中サーバ数及び再試行中客数を状態とする2次元のマルコフ連鎖で記述し、その定常分布をサーバが空である結合確率の数列で表現した後、この数列がある3項間漸化式を満たしていることを示した。さらに全サーバが空である確率列が3項間漸化式の最小解であるとともに連続した任意の2項の比が連分数で与えられることを示し、数値的に安定したアルゴリズムを提案している。

2. 待合室がありかつ一部の客が棄却される、到着率及びサービス率が系内客数に依存した複数サーバ再試行型待ち行列に関し、次の2通りの場合を考え解析を行った。1)再試行客が再びブロッキングされたとき、その客がある確率で直ちにシステムを退去する場合で、システム容量が3以下、2)再試行客はサービスを受けるか待合室に加わるまで繰り返し再試行する場合で、システム容量が4以下。さらに解析解に現れる連分数を任意の精度で計算できるアルゴリズムを示している。

3. 一般の複数サーバ再試行型待ち行列に対して数値的アルゴリズムを提案している。複数サーバ再試行型待ち行列はある特別なレベル依存準出生死滅過程によって定式化することができることから、まず一般的なレベル依存準出生死滅過程の定常分布に対して状態遷移率行列を行列連分数として計算するバックワードアルゴリズムを提案している。これは、従来手法と比べ計算量を同程度に抑えながら、記憶領域を大きく削減できるものである。加えて再試行モデルを表現するレベル依存準出生死滅過程に伴うブロック行列の疎構造に着目し、提案アルゴリズムを適用する際にさらに記憶領域及び計算量を削減できることを示している。

4. 再試行と棄却がある2サーバ直列型待ち行列モデルを考え、サーバが空である結合確率の母関数が満たす微分方程式を導き、それが解析的に解けることを示し、再試行中客数及びサーバの状態の定常結合分布が超幾何関数などを用いて表現できることを明らかにしている。

5. 基本的な複数サーバ再試行型待ち行列を発展させ、バーストセグメンテーション及び波長変換器を有する光バースト交換網の性能評価への応用を図っている。従来の解析法では全波長の状態を把握する必要があり、システムを表現する状態数が爆発する問題があったが、これを解決すべく確率的サーバ選択再試行型待ち行列モデルを新たに提案・解析している。

以上要するに、本論文では複数サーバ再試行型待ち行列を考察し、性能評価のための解析解を導出し、高精度な数値解析法を提案している。さらに通信ネットワークなどへの応用にも言及し、数理モデルの汎用性を示したものであり、学術上、実際に寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成23年1月26日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果、合格と認めた。