

氏名(国籍)	武 德 安 (中 国)
学位の種類	博 士 (数理工学)
学位記番号	博 甲 第 3321 号
学位授与年月日	平成 16 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審査研究科	社会工学研究科
学位論文題目	<b>Queueing Models for Multimedia Communication Networks</b> (マルチメディア通信ネットワークにおける待ち行列モデル)
主 査	筑波大学教授 Ph. D.・理学博士 住 田 潮
副 査	筑波大学教授 Ph. D. 高 木 英 明
副 査	筑波大学教授 工学博士 香 田 正 人
副 査	筑波大学助教授 博士(工学) 張 勇 兵
副 査	筑波大学教授 工学博士 腰 塚 武 志

### 論 文 の 内 容 の 要 旨

マルチメディア通信ネットワークにおいては、音声・画像等のアナログ源から発生するパケット群とデータ等のデジタル源から生起されるパケット群とが混在する形で通信が行われる。しかし、通信プロトコルのネットワーク層以下では、これらのパケット群は全く区別されない。ここで、音声・画像とデータではパケット生成パターンが明らかに異なることが問題となる。前者が通信のたびに爆発的にパケットを発生させるのに比し、後者に対してはパケット生成が均一になるよう制御することが比較的容易である。この異種のパケット発生パターンが混在することによって、ノードをサーバーとしてパケットの到着過程を考える際にポアソン入力や再生過程入力を適用することが不可能となり、待ち行列理論に基づくマルチメディア通信ネットワークのトラフィック解析は、非常に困難なものとなる。

本論文では、この困難性を克服する試みとして、パケットの到着間隔に自己相関性を持つ入力パターンをセミマルコフ到着過程(SMP)としてモデル化し、SMPを入力源とする待ち行列モデルを解析している。また、マルチメディア通信プロトコルの多様性に因るため、以下のような様々な関連モデルを考察している。

- ・複数のパケットが同時に到着する可能性を配慮したバッチ到着
- ・セミマルコフ到着過程とポアソン到着過程の併合
- ・複数サーバー
- ・異なるサービス規則(到着順サービス, 系内パケット数に依存して全てのパケットが均一の割合でサービスを受けるProcessor Sharing, 到着時刻を無視して待ち状態のパケットからランダムに1つを選んでサービスを行うRandom Service)
- ・ポアソン到着・一般サービス時間分布を持つ多重待ち行列に対して単一サーバーが巡回サービスを行うシステムを近似するため2つの異なる稼働率を持つパケーション期間とサービス期間の導入

第二章では、バッチ・セミマルコフ到着過程に対してポアソン到着が干渉トラフィックとして加わった確率過程を入力とし、指数サービス時間・単一サーバー・到着順サービス規則を持つ待ち行列を解析してい

る。区分マルコフ過程理論を基礎に、SMP 到着客とポアソン到着客のそれぞれに付いて、定常状態における待ち客数の母関数を導出している。母関数は分数式として表現され、分子に含まれる未定係数を、複素平面上の単位円の内部にある分母の零点を用いて決定している。分子の未定係数に関する連立方程式の独立性、零点とマルコフ連鎖の再帰性との関連を論じている点は特筆に値する。更に、この結果を用いて、客の待ち時間分布のラプラス-スティルチェス変換を求め、システムの安定性条件に付いても考察している。以上の結果をビデオ伝送用圧縮アルゴリズムである MPEG フレーム列から生成される ATM (Asynchronous Transmission Mode) セルが回線上で伝送されるモデルに適用し、実際のビデオから収集したフレーム数の統計データを用いて、数値計算例を示した。同様の方法論を用いて、第三・四章では複数サーバーの場合を取り扱っている。

第五章では、セミマルコフ過程を入力とし、指数サービス時間・単一サーバーを持つ待ち行列を考え、サービス規則として、系内パケット数に依存して全てのパケットが均一の割合でサービスを受ける Processor Sharing (PS) と、到着時刻を無視して待ち状態のパケットからランダムに 1 つを選んでサービスを行う Random Service (RS) を考察し、PS 客の系内滞在時間分布と RS 客の待ち時間分布のラプラス-スティルチェス変換を求めている。サービス規則の特色を示す興味深い結果として、ある条件の下で、PS 客の系内滞在時間分布と SRS 客の待ち時間分布とが一致することを証明している。

第六章では、ポアソン到着・一般サービス時間分布・到着順サービスを考え、単一サーバーが多重待ち行列に対して巡回サービスを行うシステムを近似するため、2 つの異なる稼働率を持つバケーション期間とサービス期間を導入して解析している。まず、通常の場合の古典的結果である時間  $t$  における系内客数に関する解を用いて当該システムの任意時刻における系内客数の母関数を導出し、分布型 Little の定理に基づいて、任意客の系内滞在時間のラプラス-スティルチェス変換を求め、その 2 次までのモーメントを得ている。更に、システムの安定性条件を論じ、幾つかの特別な場合に付いて数値例を示している。

## 審査の結果の要旨

本研究の貢献は、待ち行列理論に基づくマルチメディア通信ネットワークのトラフィック解析に新たな道を拓くべく、パケットの到着間隔に自己相関を許す待ち行列モデルを解析し数値評価を可能にした点にあり、困難な課題に正面から取り組んだ意欲的な研究である。数理解析の面では、緻密な分析に基づいて多くの興味深い結果を得ており、世界のどの大学に提出しても一級の学位論文として通用する高い水準を達成している。

しかし、応用の面から言うと、未だ端緒を開いたに過ぎないと言わざるを得ない。マルチメディア通信ネットワークを設計する観点から重要となるのは、バッファ・サイズをパラメータとして、アナログ信号をデジタル化した入力源とデータ通信の入力源との間に「優先順位を含むスケジューリング規則」を確立することである。論文が取り扱うモデルでは、到着過程に SMP を導入したため、有限バッファを取り扱うことが解析的に困難になっており、こうした重要な問題に光を当てることはできない。むしろ、SMP の特殊ケースである MMPP (Markov Modulated Poisson Process) に絞って有限バッファを取り扱うことの方が重要であろう。また、単一ノード解析を階層的に繋げ合わせてネットワーク分析へ発展させることも必須である。本研究の更なる発展に期待したい。

よって、著者は博士 (数理工学) の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。