

# 論文誌掲載論文概要

J O R S J

Vol. 41, No. 1

特集号「情報通信ネットワークの性能評価」

## GCRA に適合するセル到着過程入力のもとの ATM 多重化装置の最悪品質

塩田 茂雄 (NTT 東京支社)

GCRA (generic cell rate algorithm) に適合するコネクション (以下, GCRA 適合コネクションと呼ぶ) を収容する ATM 多重化装置の品質について考察した. 特に, 多数の GCRA 適合コネクションが多重される際に, ATM 多重化装置のバッファ部でのセル廃棄率の最悪値および最悪値を与えるようなセル到着パターン (最悪セル到着過程) を大偏差原理を利用して解析した. いくつかの興味深い結果が得られた. まず, バッファサイズがバッファからのセル読みだし速度とコネクションのピーク速度の比よりも小さい場合には, バッファレスモデルでのセル廃棄率評価が必ずしも最悪品質評価を与えないことを示した. 逆にバッファサイズが十分に大きいときは, CDVT を考慮しないバッファレスモデルでのセル廃棄率評価が最悪セル廃棄率となり, したがって CDVT の値は最悪セル廃棄率に影響しないことを示した. さらに, 2 段 GCRA (ピーク速度監視用, 平均速度監視用) に適合するコネクションの最悪到着過程についての山中の予想 (最悪到着過程は必ずしも greedy on-off パターンで与えられない) が正しいことを示した.

## 正規化された複数の入力源を持つ多重化システムにおける呼損確率の近似解析

笠原 正治 (奈良先端科学技術大学院大学)

長谷川 利治 (京都大学)

本論文では, 大容量バッファとオン・オフの 2 状態からなる複数の入力源を持つ多重化装置の呼損確率を考察する. ここでは多重化装置を正規化された入力を持つ流体待ち行列システムとして定式化する. それぞれの入力源で生成されたトラフィックはリーキーバケット方式に従って正規化され, その正規化されたトラフィックが多重化されてシステム内バッファに流入さ

れる. このモデルに対し, バッファを持たないシステムの呼損確率および大容量バッファを持つシステムの呼損確率を同時に考慮する CDE 近似法により, 多重化装置のバッファにおける呼損確率の上限に関する近似式を導出する. この近似式はトークンバッファとトークン生成率の 2 つの主要パラメータを含んでいるため, 本論文の結果はリーキーバケット方式に従うレギュレータに対して設計指標を与えることができると考えられる.

## ATM ネットワークにおける ABT/IT, DT の性能比較

阿多 信吾, 滝根 哲哉, 村田 正幸, 宮原 秀夫  
(大阪大学)

ABT (ATM Block Transfer) は, ATM ネットワークにおいてバースト性の高いデータ転送に有効なプロトコルとして提案されている. 本稿では, まず ABT の 2 種類の帯域予約方式 (ABT/IT, DT) について, その基本性能に関する近似解析手法を示し, 両方式の性能比較を行っている. 数値結果より, ABT/DT は性能に関して特に伝播遅延時間の影響が大きい一方, ABT/IT は遅延の影響を受けにくいことを示している. また, ABT/DT では帯域予約確認後にデータを転送するため, スイッチとの帯域交渉が実現できる. 本稿では, リンクの空き帯域を考慮した帯域予約方式も評価の対象とし, 性能向上の度合を明らかにしている. さらに, 帯域予約がブロックされた後, 再び帯域要求を行う (バックオフ) 場合についても性能比較を行い, 特にバックオフ後の要求帯域を動的に変化させる方式が有効であることを示している.

## ブロック更新過程とそのモデリングへの応用

豊泉 洋 (NTT)

J. George Shanthikumar, Ronald W. Wolff

(カリフォルニア大学)

自己相関のある確率過程をモデル化するために, プ

ロック更新過程 ( $G(m)$  process) と呼ばれる新しい確率過程を提案した。  $G(m)$  process では、  $m$  個の確率変数の組毎に renewal が生じる。 待ち行列システムへの入力トラヒックをモデル化する場合、 到着間隔の周辺分布と大域的自己相関係数といった観測の容易な特性量を用いてモデル化することができる。 非常にシンプルな確率過程なので、 シミュレーションや数値計算も容易である。 さらに、 本論文では  $G(2)/M/1$  待ち行列システムの系内容数の定常分布を解析的に求める方法についても述べた。

## バケーション/セットアップ/クローズダウン時間のある複合型待ち行列システムについて

酒井 裕 (京都大学)

高橋 敬隆 (NTT)

高橋 豊 (奈良先端科学技術大学院大学)

長谷川 利治 (京都大学)

本論文では「バケーション/セットアップ/クローズダウン時間のある単一サーバ待ち行列システム」を解析している。 客の到着過程はポアソンに従うとし、 サービス時間、 バケーション時間、 セットアップ時間、 クローズダウン時間は各々独立で一般分布に従うと仮定している。 本待ち行列システムは最近の非同期転送網上にインターネットプロトコルを採用する際の網インタフェースにおける SVCC (switched virtual channel connection) 機構性能解析を目的に提案されたものである。 この種の待ち行列モデルは無容量の際には、 いわゆる統計的分解則が成立し見通しのよい解析結果が得られるが、 実用上有効な有限容量の際には統計的分解則が成立しない。

ここでは、 補助変数法を用いてこの問題を克服している。 すなわち、 システムの状態を 1) 系内容数、 2) サーバ状態 (サービス、 バケーション、 セットアップ、 アイドル、 クローズダウン中)、 ならびに、 3) 残余サービス (バケーション/セットアップ) 時間の 3 次元結合分布によりマルコフモデル化して記述し、 定常状態確率を漸化的に求めるアルゴリズムを見出した。 これをもとに実用上有用な性能評価尺度を導出している。 さらに、 待ち行列容量を無限大にした極限モデルに対する結果より、 統計的分解則が成立することを示している。

## ダイナミック迂回方式におけるあふれ呼のトラヒック特性に関する解析

呂 延傑 (北京郵電大学)

岳 五一 (甲南大学)

長谷川 利治 (京都大学)

RTNR (Real Time Network Routing) をはじめとするダイナミック迂回方式は転送路や回線輻輳発生時に、 設備を有効利用し、 最大限のトラヒックを運ぶための手段として注目されてきた。 ダイナミック迂回方式におけるあふれ呼のトラヒック特性を解明するためには、 これまでに待ち行列理論や確率論を用いる性能解析が多く行われてきた。 しかし、 迂回ルートを用いて呼を接続する際には 1 個以上のリングを同時に占有するシステムでは、 迂回リングの状態システムの状態空間を定義するにあたり、 状態確率の積形式が得られないことや、 発着交換ノード間のトラヒックが独立してないため、 ほとんどが近似解析かコンピュータシミュレーションによるシステムの確率挙動の解析となっているのが現状である。

本研究では、 RTNR 網を対象としてこれまで得られなかった厳密な解析を行い、 ダイナミック迂回方式における即時式あふれ呼のトラヒック特性を解明するための新しいアルゴリズムを提案する。 本システムはそれぞれ呼の保留時間が平均  $1/\mu$  の指数分布に従う複数のサーバを持つ 3 つのサービス施設から成り立つ。 各施設にそれぞれ独立なトラヒックは到着率  $\lambda_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) でポアソン分布に従って到着する。 その施設のサーバがすべて使われているときに到着した呼は他の 2 つの施設にあふれる。 その時、 他の 2 つの施設からそれぞれ 1 つのサーバが同時に与えられなければならない。 もしこの条件が満たされなければ、 この呼は呼損となり、 システムから去っていく。

本解析では、 まず平衡状態における 3 つの施設の状態を同時に考え、 厳密に状態同時確率を求め、 システムにおける平衡状態確率を与える。 そして、 これによりシステムの性能を評価するための呼損率や施設の利用率などを求める算出式を与える。 最後に、 本解析の応用として、 数値計算例を示す。

## マルコフ参照ページ列をもつ LRU スタックのランパビリティ

田中 淳裕, 紀 一誠 (NEC)

プログラムを構成するページの集合を  $I_M = \{1, 2, \dots,$

$M$ )とし、ページ参照が行われるたびに参照されたページを、その他のページの並びは変えずに、スタックの先頭に移動するLRU (Least-Recently-Used) アルゴリズムを考察する。ページの参照がマルコフ連鎖に従い行われる場合にはスタックの状態もマルコフ連鎖に従い変化する。本論では、スタック長が $M$ である場合 (full length) のマルコフ連鎖の推移を記述する推移行列 ( $M! \times M!$ ) がスタック長 $m(m \leq M)$ のマルコフ連鎖の推移行列 ( $m! \times m!$ ) に lumpableであることを示す。さらに、この性質を利用して、full length スタックの定常状態確率を求める際に状態推移を記述する $M! \times M!$ の推移行列を係数とする連立方程式をあつかうのではなく、 $M \times M$ の小規模な推移行列をあつかうことにより求める計算アルゴリズムを示す。本アルゴリズム (lumping 法) を導く際に、partial-lump 法, block-diagonal 分解法, recursive-reduction 法の3種類の部分的アルゴリズムを開発した。スタックの定常状態確率を求める際には、これらの部分アルゴリズムを逐次的に実行する。また、本アルゴリズムを利用して求めたスタック距離 (参照されたページのスタック内での位置) の分布を数値計算例として示した。本数値計算例によると、従来仮定されていた独立なページ参照に比較して、ページ参照がマルコフ連鎖に従い行われる場合には、スタック距離の分布は大きく異なることが示された。さらに、乗算回数を評価指標にとり、lumping 法と Chu and Knott による方法 (regular-expression 法) との演算量の比較を行った。その結果、 $2 \leq M \leq 16$ については、 $M$ の増加にともない lumping 法の効率が上昇し、その値は、 $M=2$ の場合、regular-expression 法の約2.6倍、 $M=16$ の場合は約109倍の効率をもつことが示された。

## 2 段直列型待ち行列における定常分布の漸近的性質

藤本 衡, 高橋 幸雄, 牧本 直樹  
(東京工業大学)

この論文では、2 段直列型待ち行列  $PH/PH/c_1 \rightarrow PH/c_2$  における待ち行列長分布  $p(n_1, n_2)$  の裾が幾何的に減少するという性質について扱う。すなわち、ある種の条件下において  $n_1 \rightarrow \infty$  という極限を考えた場合、 $p(n_1, n_2) \sim C(n_2)\eta^{n_1}$  という性質が成り立ち、また  $n_2 \rightarrow \infty$  という極限に対しては  $p(n_1, n_2) \sim \bar{C}(n_1)\bar{\eta}^{n_2}$  が成り立

つことを証明する。さらに、 $n_1$  または  $n_2$  が十分に大きいときの条件付き状態確率についてその漸近形を示す。これらの結果は、筆者らによって示された漸近的性質の予想を、ある条件が成り立つ場合に関して理論的に証明したものである。上記の直列型待ち行列は、各レベルごとに可算無限個の状態があるような擬出生死滅過程であると考えられ、本論文における証明でもこのような擬出生死滅過程に関する定理が活用されている。

## M/G/1 および M/G/1/K 待ち行列における退去時間間隔の相関

高木 英明, 西 剛志 (筑波大学)

待ち行列システムにおいては、退去時間間隔の自己相関が退去過程の特徴を表す尺度になる。本論文では、M/G/1 および M/G/1/K 待ち行列について、任意の数の連続する退去時間間隔の結合分布を計算する手順を提案する。その結果を用いて、離れた退去時間間隔の共分散の式を導き、サービス時間が Erlang 分布に従う場合について相関係数の値をグラフに描く。それを見ると、一般に、退去時間間隔の相関は、離れた退去時間についてもあまり小さくないことがわかる。

## 離散時間型定常待ち行列への平滑化摂動解析法の適用

堀部 大司 (住友銀行)  
三好 直人 (京都大学)

本論文では、離散時間型待ち行列システムに対する摂動解析法 (perturbation analysis; PA) を用いた感度分析について考えている。すなわち、客のサービス時間の分布があるパラメータをもつときに、任意のシステム内仕事量の関数の期待値について、パラメータの変動に関する変化率を効率よく推定する手法を提案している。離散時間型モデルでは、確率分布関数の連続的な変化に対して、その標本値が段階的に変化するため、標本関数の連続性を要求する従来の無限小摂動解析法 (infinitesimal PA; IPA) を適用することはできない。こうした問題に対して、平滑化摂動解析法 (smoothed PA; SPA) または稀少摂動解析法 (rare PA; RPA) と呼ばれる手法の考え方を適用することにより、入力の変動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量を導出している。またシミュレーションにより、得られた推定量の妥当性・有効性を示している。