

# 遅延時間特性による通信ネットワークの待ち行列モデル化

富山県立大学 \*吉川 英人 Yoshikawa Hideto  
 富山県立大学 小林 香 Kobayashi Kaori  
 01104363 富山県立大学 片山 勁 Katayama Tsuyoshi

## 1. はじめに

本研究では端末間の伝送遅延時間測定時に得られる遅延時間特性から通信ネットワークの待ち行列モデル化を行なう。通信ネットワーク内での端末から発せられた呼は様々な中継ノードを通り終端に伝送される。この過程をモデル化するにあたり、多段待ち行列モデルも考えられるが、本研究では、測定項目が少なくすみ、扱いやすい一段の待ち行列でモデル化している。これにより、もとのネットワークのトラヒック負荷が高くなった場合や、処理規律としてある種の呼に優先権を持たせた場合などに、待ち行列化したモデルを拡張して取り扱うことができる。したがって、音声、動画など遅延に厳しい呼を優先的に処理するなどの優先処理をもとのネットワークに導入した場合の遅延時間特性を把握することができる。待ち行列モデルとしては、到着間隔、保留時間ともに一般分布に従う  $GI/G/1$  モデルを扱い、伝送遅延時間特性よりこの一般的に考えたモデルを特定する。

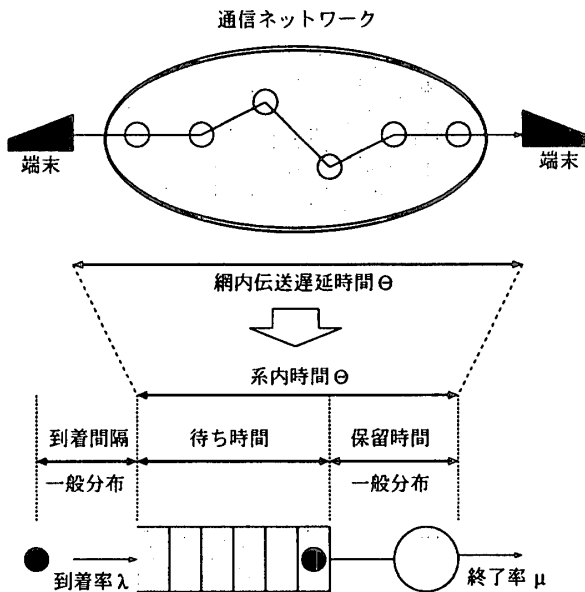


図 1: 通信ネットワークの待ち行列モデル化

## 2. 網内伝送遅延時間の変動係数

一般的に考えたモデルを区別する指標として網内伝送遅延時間の変動係数を用いる。変動係数  $C$  は、確率分布の平均を  $m$ 、分散を  $\sigma^2$  とすれば  $C \equiv \sigma/m$  で定義される。図 2 に系内時間の変動係数  $C_\theta$  と待ち行列モデルの関係を示す。図 2 より保留時間分布が  $k$ -Erlang 分布となる  $GI/E_k/1$  モデルでは  $C_\theta$  は 1 以下となり、超

指数分布となる  $GI/H_2/1$  モデルでは 1 以上となる。保留時間分布が指数分布となる  $GI/M/1$  モデルでは  $C_\theta$  は常に 1 となる。また、保留時間が一般分布であれば到着間隔分布によらず  $C_\theta$  を任意にとることができる。したがって、保留時間の変動係数のとる範囲が網内伝送遅延時間の変動係数に影響を与えていることが分かる。

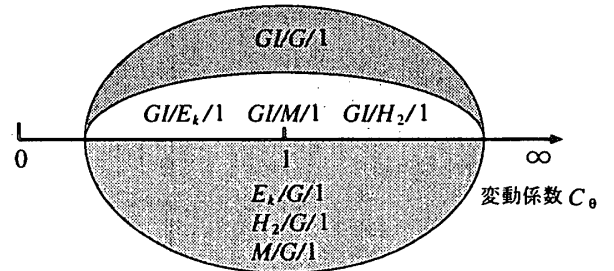


図 2: 伝送遅延時間の変動係数と待ち行列モデルの関係

次に、 $M/G/1$  モデルを例にとり利用率  $\rho$  に対する網内伝送遅延時間の変動係数  $C_\theta$  を考える。 $M/G/1$  モデルにおいて  $C_\theta$  は次式で与えられる。ここで、 $\rho = \lambda h$ 、 $h = 1/\mu$ 、 $h^{(n)}$  は保留時間分布の  $n$  次積率とする。

$$C_\theta^2 = \frac{4h^{(3)}(1-\rho) + 3\lambda(h^{(2)})^2}{3\lambda(h^{(2)})^2} \quad (1)$$

このとき、利用率に対する系内時間の変動係数の関係は図 3 のようになる。 $C_h$  は保留時間の変動係数を表す。

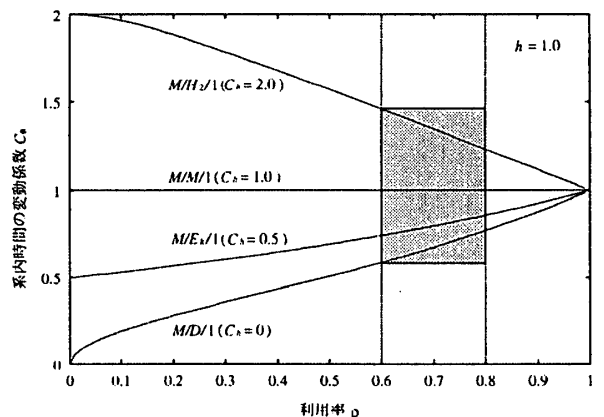


図 3:  $M/G/1$  モデルの系内時間の変動係数

図 3 より  $\rho$  が 0 から 1 に変化するとき、 $C_\theta$  は、 $C_h$  の値から 1 に収束していることが分かる。通常の通信システムでは  $\rho = 0.6 \sim 0.8$  で運用されることを想定しているため、保留時間分布が一般分布であるモデルであ

れば、 $\rho$ に対して $C_\theta$ は図3のハッチ部分のように1の周りを中心に任意にとることができる。よって、 $\rho$ と $C_\theta$ が分かれば一般分布で考えた保留時間分布を特定できることが言える。

### 3. 遅延時間特性の待ち行列モデル化

実際の端末間の伝送遅延時間の測定データから遅延時間特性として得られる平均伝送遅延時間 $E_\theta$ 、伝送遅延時間の変動係数 $C_\theta$ より待ち行列モデルを推定する。

図4に伝送遅延時間分布のサンプルを示す。図4より実際の伝送遅延時間には頻度として現れない部分があることが分かる。これは、通信ネットワークにおいてデータをどれだけ速く送っても固定的な遅延が存在することを意味する。待ち行列モデルで考えれば、待ち室で待つことがない場合でも必ずサーバにおいて保留される時間が存在する。また、図4において頻度として現れる変動分は送信待ち時間である。このように伝送遅延時間は固定分と変動分に分けて考えることができる。実際は、固定分、変動分ともいくつかのノードを中継して生じたものであるが、固定分を保留時間とし、変動分を待ち時間として考え一つの待ち行列でモデル化する。

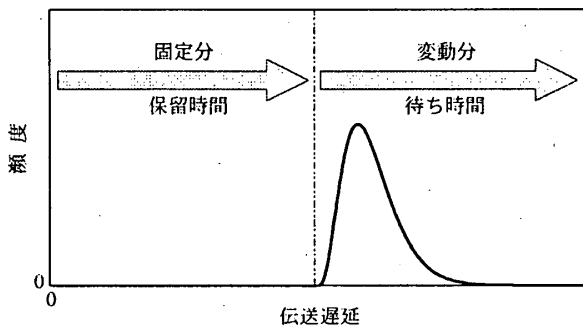


図4: 伝送遅延時間のサンプル

ここで、この図4のサンプルに対して待ち行列モデル化を考えてみる。以下に手順を示す。

1. 伝送遅延時間を変動分、固定分に分ける考え、変動分を平均保留時間とする。また、伝送遅延時間の平均 $E_\theta$ 、変動係数 $C_\theta$ は与えられているとする。
2. サンプルでは、伝送遅延時間の変動係数が $C_\theta < 1$ であるので図2から $GI/E_k/1$ モデルを適用する。
3. 次に、 $M/G/1$ モデルでは保留時間の変動係数 $C_h$ に関して式(2)を得る。 $GI/G/1$ モデルは $M/G/1$ モデルを拡張したモデルであるので、この式から得られる $C_h$ を採用する。

$$C_h^2 = \frac{2E_\theta(1-\rho) - h(2-\rho)}{\rho} \quad (2)$$

利用率は、通常の通信システムの場合を考えて、 $\rho = 0.6 \sim 0.8$ 部分で任意に決める。得られた $C_h$

より $k$ -Erlang分布のパラメータは、 $k = 1/C_h^2$ で決定できる。

4. 次に到着間隔分布を決定する。 $GI/E_k/1$ モデルにおいて系内時間の変動係数は次式となる。

$$C_\theta^2 = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{2c_i\sigma_i - c_i^2\sigma_i^2}{k^2(1-\sigma_i)^2}}{\sum_{i=1}^k \frac{c_i\sigma_i}{k(1-\sigma_i)}} \quad (3)$$

$\sigma_i, c_i$ は次式で与えられる。ただし、 $A^*(s)$ を到着間隔分布のLSTとする。また、 $\tau_i = 1/\sigma_i$ である。

$$\sigma_i = A^*[\mu(1-\sigma_i)] \quad (4)$$

$$c_i = \frac{\prod_{j \neq i} (1-\tau_j)}{\prod_{j \neq i} (\tau_i - \tau_j)} \quad (j = 1, \dots, k) \quad (5)$$

5.  $GI/E_k/1$ モデルにおいて $C_h = 0.1, h = 1.0$ とした場合、 $C_\theta$ は $\rho$ と $C_a$ に対して図5のようになる。

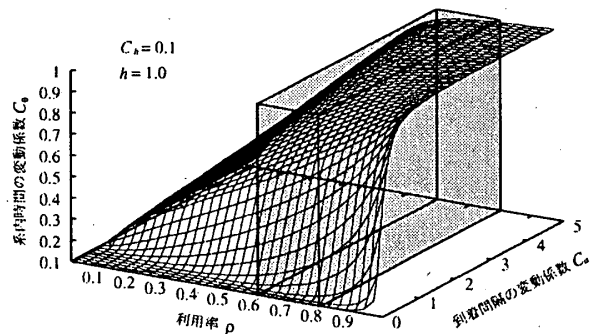


図5:  $GI/E_k/1$ モデルの系内時間の変動係数

6.  $\rho = 0.6 \sim 0.8$ で考えているため図5のハッチ部分の範囲で、与えられた伝送遅延時間の変動係数 $C_\theta$ から $C_a$ の値を決定する。

### 4. まとめ

今回は、伝送遅延時間特性から通信ネットワークを待ち行列でモデル化する方法を提案した。これにより既存の通信ネットワークにおいて、トラヒック負荷が2倍になった場合や優先処理などの新たな処理機能を付加した場合でも、伝送遅延時間特性を把握できる。

### 5. 参考文献

- [1] 吉川英人, 小林香, 片山勤: 到着間隔分布変動係数による待ち行列システムの平均待ち時間の評価: 平成10年電気関係学会北陸支部連合大会, C-1.
- [2] 中澤透, 小林香, 片山勤: インターネットの遅延解析モデルの提案と2クラス優先処理特性の評価: 平成10年電気関係学会北陸支部連合大会, C-5.
- [3] 吉川英人, 小林香, 片山勤: 一般的な到着呼に対する待ち行列システムの平均待ち時間の評価法: 平成11年第9回「ORとファジイ」研究会予稿集.