

M/D/1/K 待ち行列モデルを用いた 通信品質保証の要件に関する考察

藤本 義人[†]

藤川 賢治[†]

太田 昌孝[†]

池田 克夫[‡]

[†] 京都大学大学院情報学研究科

[‡] 東京工業大学総合情報処理センター

1 はじめに

インターネット上で、電話やビデオなどのようにリアルタイム性を要求されるアプリケーションを実現するために様々な通信品質を保証する必要がある。インターネット上では、リアルタイム通信など通信品質を保証すべきフローも、そうでないベストエフォート型のフローもネットワーク上の資源を共有しており、相互に影響を受ける。このような状況の下では、通信品質保証型のフローに対して、通信品質を保証する必要がある。絶対保証は、比較的容易に保証の限界を導出できるが、確率的に非常に低い場合も包含するため過大評価になっており、実用上問題が多い [2]。

そこで本稿では、通信品質保証型のフローを対象に、M/D/1/K 待ち行列モデルを用いて、通信品質のうちの帯域及び遅延、パケットロス率を確率的に保証するための要件に関して考察した。(以下、この三つの要素を通信品質と呼ぶ。) このフローは、送信者側であらかじめシェーピングされているものとする。

また、これまでの研究 [6] では、通信品質保証型のフローによるリンクの帯域の利用率を上げることが考えられていた。しかし、それらによって利用されない帯域はベストエフォート型のフローで利用すればよいので、通信品質保証型のフローによってリンクの帯域を使い切ることは考えなくてよい。

2 ルータの動作

ルータに対して複数のフローのパケットが複数の入力インターフェースから到着し、処理後フローごとにある決められた出力インターフェースに送られる。本稿では、ベストエフォート型のフローのパケットは出力インターフェースのベストエフォート型の待ち行列に、通信品質保証型のフローのパケットはポリシングされ、通信品質保証型の待ち行列にたまるようなルータを考える。このとき、違反したフローのパケットは、ベストエフォート型の待ち行列にまわされる。また、通信品質保証型の待ち行列から優先的に処理するものとする。

このとき、ある出力インターフェースにおける通信品質保証型の待ち行列長は、そのルータに到着して、そのインターフェースに送られるすべての通信品質保証型のフローのパケットによる影響を受ける。それらのフローは送信者側でシェーピングされているので、パケットの到着は複数のフローが合流することで、全体としてはランダムになり、その到着間隔は指数分布になるとみなしてよいと思われる。

パケット毎の処理時間は最も長いパケットの処理時

間を考えてほぼ一定とみなせば、ルータにおける待ち行列は M/D/1/K とみなすことができる。

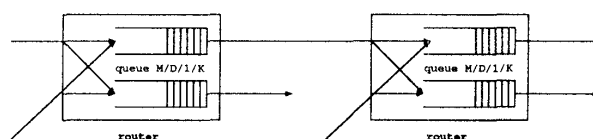


図 1: 計算のための待ち行列のモデル

ルータを通過した後、各フローは複数の経路に分かれるが、次のルータで、再び他のフローと合流して、待ち行列を形成する。したがって、互いに独立な M/D/1/K の待ち行列が縦続接続するようなモデルを考え、計算を行う (図 1)。

3 計算結果

ルータの処理能力を μ pps (packets per second)、複数のフローを合わせたパケットの到着レートを λ pps、バッファの大きさを K として、M/D/1/K 待ち行列モデルを考える。パケットが処理を終えた時に待ち行列長が q になる確率を $P(q)$ とする。また、 $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ とする。

3.1 待ち行列長

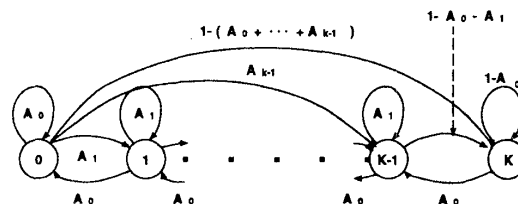


図 2: 待ち行列長の状態遷移図

待ち行列長 q は図 2 のように遷移し、 $P(q)$ は次のような漸化式で与えられる。但し、 A_k はパケットが一つ処理される時間 $\frac{1}{\mu}$ にポアソン過程にしたがって k 個のパケットが到着する確率で、 $A_k = \frac{\rho^k}{k!} \exp^{-\rho}$ で与えられる。

Quality-of-Service Guarantee Based on M/D/1/K Queueing Model.

FUJIMOTO Yoshito[†], FUJIKAWA Kenji[†], OHTA Masataka[†], IKEDA Katsuo[†].

[†] Graduate School of Informatics, Kyoto University.

[‡] Computer Center, Tokyo Institute of Technology.

$$P(q) = A_q P(0) + \sum_{j=1}^{q+1} A_{q+1-j} P(j) \quad (\text{ここで, } 0 \leq q \leq K-1)$$

$$P(K) = \sum_{i=K}^{\infty} A_i P(0) + \sum_{i=K}^{\infty} A_i P(1) + \dots$$

$$+ \sum_{i=K-j+1}^{\infty} A_i P(j) + \dots + \sum_{i=1}^{\infty} A_i P(K)$$

$K = 1, 5, 10, 15, 20$ のそれぞれの値に対して、 $\rho = 0.5, 0.625, 0.75, 0.875, 1.0$ の場合について計算を行った。図3に $K = 15$ の場合の $P(q)$ の値を示す。

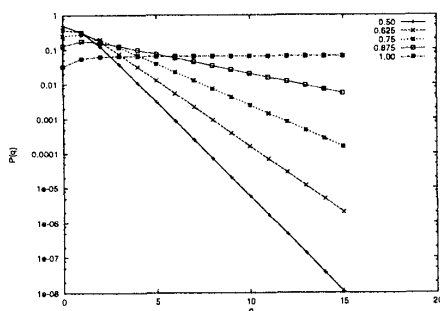


図3: $K = 15$ の場合

ルータにおける待ち行列遅延はおよそ $\frac{1}{\mu}$ なので、図3から、遅延のおよその分布も求められる。

3.2 パケットロス率

$P(q)$ の値からパケットロス率 L は次式のように求まる。

$$L = \frac{1}{\rho} \left[\sum_{i=K+1}^{\infty} (i-K) A_i P(0) + \sum_{i=K+1}^{\infty} (i-K) A_i P(1) \right.$$

$$+ \dots + \sum_{i=K-j+2}^{\infty} \{i - (K-j+1)\} A_i P(j)$$

$$\left. + \dots + \sum_{i=2}^{\infty} (i-1) A_i P(K) \right]$$

実際に計算を行った結果、バッファの大きさとパケットロス率の関係は図4のようになった。

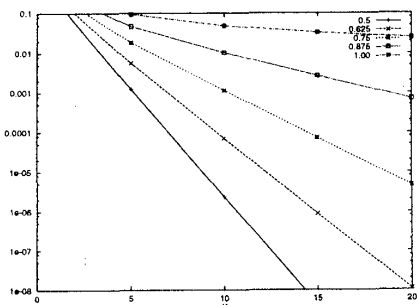


図4: バッファの大きさとパケットロス率の関係

4 考察

まず、処理されたパケットの待ち行列遅延はバッファの大きさに相当する値以下に制限される。そして、バッファを小さくしておけば、高速ネットワークにおける待ち行列遅延は無視できるくらい小さい(表1)。

一方、バッファを小さくすれば、ロス率が大きくなるという問題がある(図4)。

表1: ルータにおける待ち行列遅延の最大値

| バッファの 大きさ (packets) | ルータの処理速度 (μ) | | |
|---------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| | 10 kpps (100Mbps) | 100 kpps (1 Gbps) | 1 Mpps (10 Gbps) |
| 5 | 500 μ sec | 50 μ sec | 5 μ sec |
| 10 | 1000 μ sec | 100 μ sec | 10 μ sec |
| 15 | 1500 μ sec | 150 μ sec | 15 μ sec |
| 20 | 2000 μ sec | 200 μ sec | 20 μ sec |

しかしながら、図4及び表1から、例えば、 $K = 15$ の場合、 $\rho = 0.5$ まで通信品質保証型のフローを許せば、ロス率は 10^{-8} 程度になり、 $1 - 10^{-8}$ の確率で必要な帯域を確保し、遅延 15μ sec を保証できることが分かる。これは、実際のアプリケーションにおいて十分な保証である。

次に帯域について考察する。許容される ρ の値が大きい方が帯域の利用効率の点では望ましいが、ロス率が大きくなり保証は困難になる。

しかし、通信品質保証型のフローで利用されない帯域はベストエフォート型のフローによって利用すればよいので、 ρ の値を必要以上に大きくしなくても帯域の利用効率は落ちないと考えてよい。

5 おわりに

以上述べたように、ルータのバッファの大きさ及び処理能力、そして通信品質保証型のフロー全体が利用する帯域が分かれば、出力インターフェースにおける待ち行列長とパケットロス率が計算できることが分かった。

したがって、本稿で得られた結果をもとに帯域及び遅延、パケットロス率の確率的な保証が可能になると思われる。

今後は、現実に即したネットワークのモデルを考え、本稿における手法の正当性をシミュレーションによって評価するつもりである。

参考文献

- [1] Craig Partridge 著, 西田武志 監訳: ギガビット ネットワーク、ソフトバンク株式会社, 1995.
- [2] S.Shenker, C.Partridge, R.Guerin : Guaranteed Quality of Service, RFC2212, September 1997.
- [3] Alan Demers, Srinivasan Keshav, Scott Shenker : Analysis and Simulation of a Fair Queueing Algorithm, Proc. ACM SIGCOMM 1989, pp1-12, September 1989.
- [4] Leonard Kleinrock : Queueing Systems Volume 1 Theory, John Wiley, 1975.
- [5] Leonard Kleinrock : Queueing Systems Volume 2 Computer Applications, John Wiley, 1976.
- [6] Ramesh Nagarajan, James F. Kurose : On Defining, Computing and Guaranteeing Quality-of-Service in High-Speed Networks, Proceedings of INFOCOM'92, pp.2016-2025, May 1992.