

セルよさらば (2)

太田 昌孝

東京工業大学 総合情報処理センター



セルでなければ
QoS保証ができない
(上級者編)

前回に引き続いて、QoS保証に伴う遅延とパケット長（セル長）の関係について述べる。

結論を先にいうと、QoSを厳密に保証しようとする、ルータやスイッチの「各段」のキューで、（パケット（セル）長）／（各通信速度）だけの遅延が発生する。64Kbpsの音声で480バイトのIPパケットで伝送し厳密なQoSを保証すると、各ルータやブリッジで60msの遅延が生じる。インターネットの遠距離通信ではルータやブリッジを50個経由することは珍しくないが、その場合、遅延は3秒となる。とてもではないが、電話等の対話的通信に利用できる遅延ではない。48バイトのセルを利用する場合は各段の遅延は6ms、50段合計の遅延は0.3秒ですみ、なんとか忍耐の限界だろうか。

なぜこのような遅延が発生するかというと、ルータやブリッジのようなデータが合流したり、あるいは上流と下流で通信速度の変化する地点では、到着したデータを一度バッファして出力先の空きに応じて送出しなければならないからである。

このとき、QoS保証が必要な通信に属するデータが一時に大量に到着し、その出力先が同じだとすると、どれかのデータは他のデータをすべて送出するまでの間バッファされ、送出までに大きな遅延が生じる。

たとえば、101ポートのルータで100個の入力からそれぞれ64Kbpsの帯域で480バイトのパケットが入力され、それを6.4Mbpsの1個の出力に中継する場合、パケット1個の出力には0.6msかかり、最後に出力されるパケットの遅延は60msとなる（図-1）。

この遅延が避けられないものだとなると、パケット網は対話的マルチメディア通信には向かず、今後もパケット網と並存する形で、低遅延のQoS保証通信のための網が必要ということになる。ただし、このQoS保証通信のための網はATM網

とは限らない。たとえば、現状の電話網のTDM（Time Division Multiplex, 時分割多重）によるQoS保証では、問題になるような遅延は発生しない。



TDMによるQoS保証

現状の電話網では、QoS保証の帯域を64Kbpsの整数倍に限定し、各ネットワーク機器を8KHzの大域クロックに同期して動作させ、データを1/8000秒ごとに完全に周期的に受け取り、送出する。送出されるデータは64Kbpsの場合1/8000秒につき8ビット（1バイト）、一般にはその整数倍になる。この1バイトごとのデータを区別するためにいちいちヘッダを付加していたのでは、きわめて効率が悪いことになる。そこで、個別のバイトの区別は、そのバイトが各周期の何番目かによって行う。データリンク層のヘッダ内にラベルを入れる代わりに、物理層のタイミングデータを利用してデータにラベルを付加するわけである。

電話交換機などデータが合流したり通信速度が変わる地点では、あるタイミングで入ってきたバイトをどのタイミングでどこに送出するかを、QoS保証のシグナリングの際に決めておく。そこで、各電話交換機ではたかだか1/8000秒の間データをバッファしておけばよいし、各段での遅延も1/8000秒に抑えられる。これはATMに比較しても1/48の遅延であるが、データの伝送の単位がセルの1/48の1バイトであるので、遅延が少ないのも当然である。電話交換機を100段経由しても遅延は0.125秒ですむ。

中継の際は、データの経路が1バイト単位で変わる。経路は1/8000秒ごとに同じものを使い回せばいいので、経路表を引く手間は問題ではないが、データの乗せ換えを8ビット単位でしかできないので、たとえば2.4Gbpsでは300MHzでの動作が必要になり、最新の技術でも限界ぎりぎりの速度だろう。電話

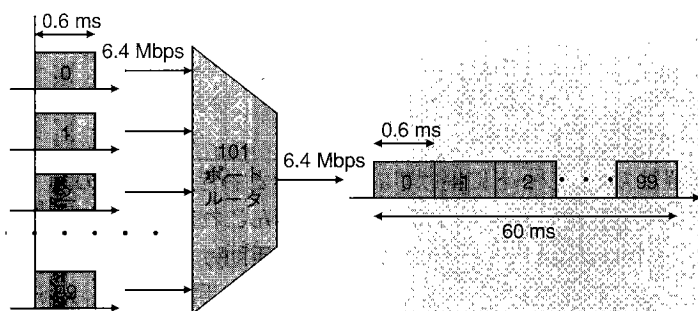


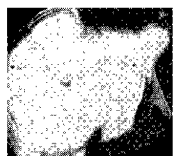
図-1 合流によるパケットの遅延

網ではTDMを真面目に行うのは数Mbps程度の帯域までである。あとは、これらの帯域をまとめて扱うので、帯域保証の単位はもっと粗くなる。SONET/SDHの体系では、帯域保証の単位は156Mbpsの上は622Mbps、その上は2.4Gbpsと、4倍単位でしか増えず、きわめて粗い。



セルよこんにちば

これでは使いにくいということで、ATMのセル多重による帯域の細分化が導入されたわけである。つまり、64Kbpsで低遅延が要求される場合はTDMを利用し、通信速度が1.5Mbps程度になってくるとATMの遅延も十分小さくなってくるのでセル網を利用すればよく、それ以上に高速、あるいは遅延が問題にならないような場合にのみパケット網を使うという、ある意味美しい棲み分けの構図である。時分割多重、セル多重、パケット多重に対応したハードウェアとソフトウェアそして保守要員が個別に必要となり、通信網の建設や維持には多額の費用がかかることになるが、必要であるならばしょうがない。



トークンバケットとフェアキューイング

でも、本当にこれでQoS保証ができるのだろうか？ 厳密なQoS保証を施す場合64Kbpsの通信のキュー遅延は480バイトのパケットで1段あたり少なくとも60msであるが、一般には各種のパケット長と通信速度を持つ通信が混在するので、場合によってはこれ以上の遅延が生じるかもしれない。そうならないように、多種多様な複数の通信から次に出力するパケットをうまく選択しなければならない。

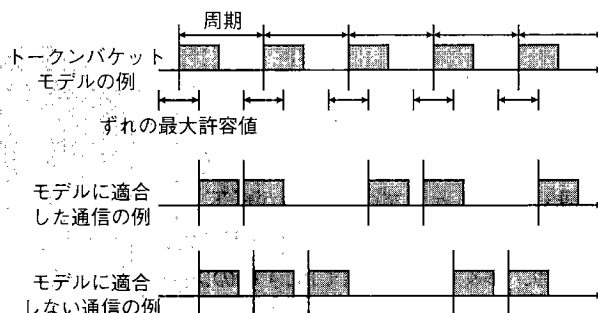


図-2 トークンバケットモデル

この問題に解答を与えるのが、フェアキューイングというスケジューリングアルゴリズムである。フェアキューイングとしてはいくつかの方式が知られているが、与える結果はどれも似たようなものである。その基本的な方式は、まずそれぞれの通信に属するパケットを出力し終わらなければならないぎりぎりの時刻を求め、その時刻によってパケットをソートし、その順に出力するというものである。

「パケットを出力し終わらなければならないぎりぎりの時刻」は通信ごとに異なり、それを求めるためには、各通信の特性が分かっている必要はないが、多種多様な通信の特性を少数のパラメータでどうモデル化して表すかが問題となる。

フェアキューイングでは、通信のモデルとしてトークンバケットというものを用いる。これは、有限のバッファで完全に周期的な通信（抜けがあってもいい）に変換ができる通信で、パケットの間隔は完全に周期的なものからある有限の時間だけしかずれてはいけない。通信は周期とずれの最大許容値の2つの数値でモデル化でき、その通信がモデルに従うかどうか100%確実に判断できるので、安心である（図-2）。

フェアキューイングにより、トークンバケットモデルに従う複数の通信が合流しても、それらの速度の和が出力インタフェースの速度を超えない限り100%確実に遅延を保証することができる。この時の各通信の通信路全体のキュー遅延は、（ずれの最大許容値）+（ルータ段数）×（パケット長）／（各通信速度）となり、各段で本稿1節の最悪値が達成できる。しかしながら、通信がN個あると各パケットの出力に $O(\log(N))$ のソートの手間がかかり、多数の通信が集中する幹線では致命的な問題となる。まして、手間が10倍かかるセルの利用は論外である。

かといって、フェアキューイング以外の方式で厳密なQoS保証は提供できるとも思えない。QoS保証通信の場合も、めでたく「セルよさらば」である。ただ、このままでは勢い余って「QoS保証よさらば」になりかねないが、これについては次回解説する。

（平成12年1月13日受付）