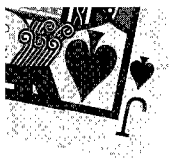


ほんとうのQoS保証

太田 昌孝

東京工業大学 総合情報処理センター



にせもののQoS保証

前回、トークンバケットモデルに従った通信の遅延はフェアキューイングにより100%保証されると述べた。つまり、目的地に到着したパケットの遅延は、100%確実に、約束された遅延より小さい。

しかしこれは、100%のパケットが約束された遅延で確実に目的地に到着することを意味しない。伝送エラー等によってパケットが失われる可能性は常に残るからである。目的地のアプリケーションにとっては、必要な時刻より遅れて到着したパケットは、エラーで落ちたパケットと同様にあきらめればいいので、遅延の100%保証というのはにせもののQoS保証である。落ちや遅延の確率が十分小さければそれでいい。

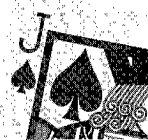
プログラムなどのデータ通信では多少の遅延は問題にならず、一方1ビットの誤りも抜けも許容できないが、人間相手のマルチメディア通信では多少の落ちや誤りは雑音として許容できる一方、再送による遅延は許容できないことが多い。

問題はどの程度の誤り率が許容できるかである。ISDN電話の場合、0.1%のビット誤りが生じても、それによる雑音は量子化雑音と同程度である。電話網では 10^{-12} といった常軌を逸して低いビット誤り率が当然とされることがあり、電話機器をいたずらに高価にするが、これまたにせもののQoS保証である。電話が4KHz以下の音声しか伝送しないことによる音質の低下を雑音に換算すれば、1%程度の落ちや誤りは問題にならない。

誤り率が1%程度に小さいと、単純なエラー訂正コードにより誤り率を劇的に下げることができる。強力なエラー訂正コードは多数のパケットにまたがる訂正を行うのでそれらのパケットを貯めるための遅延が発生するが、1.5Mbpsの通

信で1500バイトのパケットを12個まとめてエラー訂正しても、遅延は0.1秒以下である。きわめて低速の通信でパケット落ちの確率をどうしても減らしたければ、同じパケットを2~3回送っても、もともと大した帯域ではない。

本稿では、余裕をみて、目的地でのパケット落ちの確率が0.1%程度なら許容範囲内とし、目的地までルータを100段経由するとする。ルータ1台あたり許容できる落ちの確率は 10^{-5} ということになる。



100%なんて
かたひこといわないで

フェアキューイングとトークンバケットには各所に100%という数値が現れる。100%という数値はある種の性格の持ち主には気持ちのいいものらしいが、無意味な完璧さを追求するとほかにしわ寄せがくる。100%というのは現実にはあり得ない虚構であるので、システム全体をみわたして妥当な数値に置き換える必要がある。

まず、100%の遅延の保証という虚構については、前節で述べたとおりである。

次に、フェアキューイングは100%の帯域を帯域保証に使いきれるという性質を持つ。これは待ち行列理論を少しだけかじったことのある筆者には異様な性質であるが、帯域を100%使いきれるということは、ある通信が他の通信ときちんと棲み分けてお互いの領分(帯域)を侵さないということである。すると各通信の遅延も、各通信に割り当てられた帯域に反比例した量になるのも当然であり、そして、この遅延が前回、前々回で述べたように大きな値となる。

しかし、インターネットではすべての通信がQoS保証されるわけではなく、ベストエフォート通信もかなりの部分(現状では約100%)を占める。帯域があるからといって100%予約してしまっただけとはいかない。75%も使えば御の字で、あと

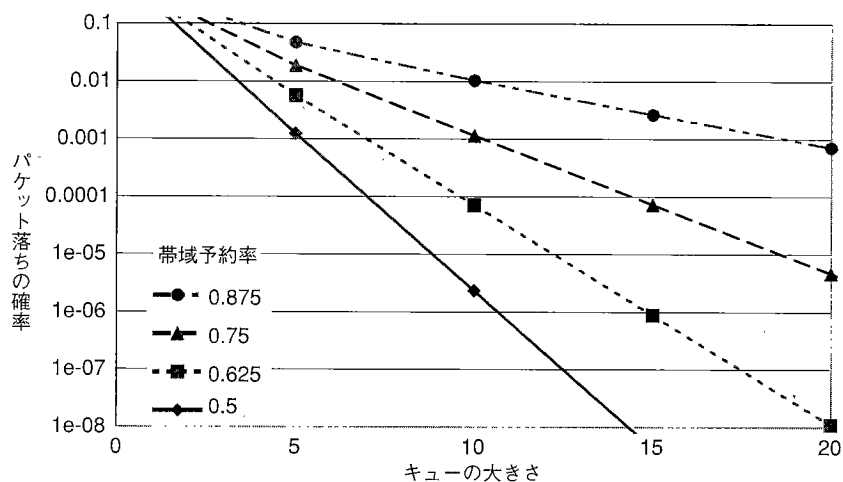


図-1 キューの大きさとパケット落ちの確率

はベストエフォート通信のために残さなければいけない。

次に問題になる100%は、トークンバケットという通信モデルの中にある。ある通信がトークンバケットモデルに従っているかどうかは100%確実に判断できる。これは問題である。統計的な処理をやるためには通信モデルにも統計性が必要だからだ。QoS保証を伴う通信では、予約の時点でモデルのパラメータを各ルータに通知し、QoS保証に必要な資源を確保する。そして、実際の通信がモデルに適合しない場合はパケットを落とす（ポリシング, policing）。統計性のある通信モデルでは、ある通信がモデルに従っているかないかの判断には常に統計的不確実性がつきまとい、モデルに適合しているつもり通信のパケットが落とされることもあるが、その不確実性が伝送エラー程度に十分小さければ何も問題はない。



インターネット 無責任時代

ということで、QoS保証のコツは、しゃちほこばらずに肩の力を抜いて、スーダラでC調にやる（専門用語では「統計的処理」という）ことである。

まず、キューの数だが、1個ではベストエフォート通信とQoS保証通信の区別すらつかないので論外である。しかし、K個のキューを持つと、どのキューから取り出すかの判定でソートが必要になりlog(K)程度の手間となる。KがQoS保証通信の数に比例して増えるようではフェアキューイング同様とても処理が大変であるので、それほどは増やさないとすると、無限にたくさんのQoS保証通信を1つのキューで扱うことになる。それなら、すべてのQoS保証通信を1つのキューで扱えるはずである。つまり、K=2でよい。なお、QoS保証通信のキューは、ベストエフォート通信のキューに対して絶対的な優先度を持たせよう。

次に通信のモデルだが、キューイング理論をかじった程度の人間としては、ややこしいことは考えずにポワソンもしくはポワソンよりバースト性が少ないと仮定しよう。「バースト性が少ない」の厳密な定義は大変だが、とりあえず、完全に周期的ならバースト性は少ないとしていいたい。

パケットサイズとしてはいろいろあるだろうが、面倒なので1280バイトに固定する（IPv6 マルチキャストを考えると、これ以上のパケットサイズには意味がない）と、出力側（サービス時間）は、出力インタフェースの速度に応じた一定時間である。

だいたいこのくらいの目算で筆者よりは真面目な人間に計算させたところ、図-1のような結果となった¹⁾。QoS保証通信のキューの最大長さが20もあれば帯域の75%を予約してもキューがあふれる確率は 10^{-5} 以下となり、本稿での目標はあっさり達成できる。

このときの最大遅延は、個々の通信の速度とは無関係で、出力インタフェースの速度に反比例する。100Mbpsの場合は2m秒で100段中継の遅延は0.2秒になるが、10Gbpsだとなんと20μ秒でしかない。インターネットの末端のアクセス網で10Mbps程度のADSL等しか使えないと20m秒遅れるが、これはたかだか両末端で1回ずつなので問題にはならない。

あとは、個別通信のパケットが、予約された帯域のポワソンモデルよりバースト性が低いかどうか 10^{-5} 程度の確度で検定（policing）し、合格したものだけをQoS保証通信のキューに入れればよい。

まあ、なんとかなるものである。

なお、すべての通信が独立でないとか話が破綻するので、TDMとは逆に、各機器の大域クロックへの同期は有害無益となるのが面白い。

参考文献

1) 藤本義人, 藤川賢治, 太田昌孝, 池田克夫: 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, 第58回情報処理学会全国大会, pp.405-406 (Mar. 1999).

(平成12年2月9日受付)