

インターネット経路表の爆発

太田 昌孝

東京工業大学 総合情報処理センター



ネットワークの経路表とその縮約

インターネットではデータはパケットにまとめられ、途中のルータでパケットヘッダに含まれた行き先アドレスを用いて経路表 (Routing Table) が検索され、データをどこに出力すればいいかが分かる。経路表は、すべての可能な行き先について、事前に動的に計算される。この計算のための情報のやりとりや計算自体を行うのがルーティングプロトコルである。

一方、電話網では、通信に先立って呼設定 (Signaling) が行われ、途中の電話交換機で、どこから入力されたデータをどこに出力すればいいかが、呼ごとに記憶される。したがって、データの転送に経路表は必要ないが、呼設定情報をどう転送するかには経路表が必要となる。

インターネットが大規模になるにつれ、経路表の大きさがそれに比例して増えるのでは、その計算の手間やそのための情報交換量が膨大になり、すぐに破綻してしまう。

そこで、経路表の縮約 (Aggregation) が行われる。もともインターネットでは、ホストは 2^8 、 2^{16} あるいは 2^{24} 台ごとの「ネットワーク」にまとめられ、同じ「ネットワーク」に属するホストのアドレスの上位ビットは同じで、経路表を共有していた。「ネットワーク」が結合されるので「インター」「ネットワーク」縮めて「インターネット」となったわけである。このようにしてホストを「ネットワーク」にうまく分散すれば、インターネット全体の経路表と「ネットワーク」内の経路表は、それぞれ全インターネットのホストの数の平方根だけの大きさがあればいい。

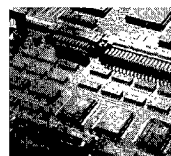
もちろん、この程度の節約ではすぐに破綻が起きたので、「ネットワーク」をさらに細分したのがサブネット

(Subnet) である。単一組織程度では「ネットワーク」は1つしか割り当てず、「ネットワーク」内部ではサブネットごとの細かな経路表を持つ3段構えの方式で、経路表の大きさはホストの数の立方根で済む。自分の近くへの最短経路は詳しく知っておく必要があるが、ある程度遠くについては、最短経路は一致することが多いし、多少の違いがあっても相手との距離に比例する程度の誤差なら構わないからである (図-1)。このとき、「ネットワーク」の外側では「ネットワーク」単位の経路表が使われるため、同じネットワークに属するサブネットは、相互に連結されている必要があり、またアドレスは3つの部分に分割され、サブネットアドレスに対する多少の制約が生じる。

このような階層化は、電話網では当たり前のことで、電話番号は国番号、市外局番、市内局番という形で完全に階層化されている。

縮約を理想的に行えると、経路表の大きさはホストの数の対数程度で済むが、現在のIPv4のインターネットでは、階層化が行われていない頃に割り当てられたアドレスが多数残っていて、全インターネットの経路表は数万エントリの大きさがある。IPv6では、電話に似た完全に階層化されたアドレス割り当てが行われることになっている。

ここまでは、あまり問題はない。



次世代インターネットでの破綻

次世代のインターネットで、マルチキャストやQoS保証を行おうとすると、縮約がうまくいかなくなる。

経路表の縮約がうまくいくのは、

1) 近接した目的地には、似たようなアドレスが割り振ら

れている

2) パケットの送出先は行き先アドレスだけに基づいて決定される

からである。これらの前提が成り立たないと、縮約がうまくいかないのは当然であろう。

まず、マルチキャストでは、目的地は1個のホストではなく、ホストの集合である。ホストの集合には特定の位置はなく、近いも遠いもないので、1) の条件が成り立たない。ホストのべき空間を考えればホストの集合どうしの近さを定義できないことはないが、この空間は膨大な数 (2 (ホストの数)) の点を含むので、理想的な縮約ができて対数的な効果が出て経路表の大きさは小さくならない。縮約を考えずに個別のマルチキャストを別々に扱った方がましである。

一方、QoS 保証された通信を行う場合は、2) の条件が危くなる。QoS 保証にかかわらず、すべての通信を同じ経路で行えば問題はない。しかし、最短経路が必ずしも要求された QoS を満たせるわけではない。そこで、QoS 要求量によって経路を変える QoS ルーティングが必要となってくる。図-2 のように、QoS 要求が異なる通信がある場合、同じ目的地への通信でも QoS 要求量が多いと B のように遠回りの経路を選択する必要がある。また、QoS 要求量が同じでも、既存の通信 A で最短経路の資源が使い尽くされている場合、あとから予約する通信 C は迂回路を通る必要がある。

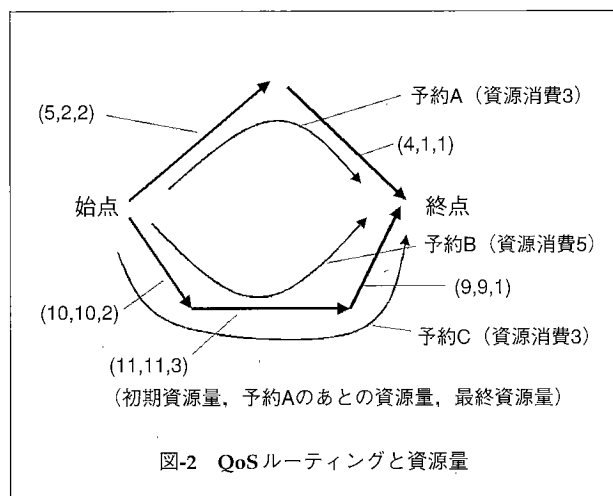
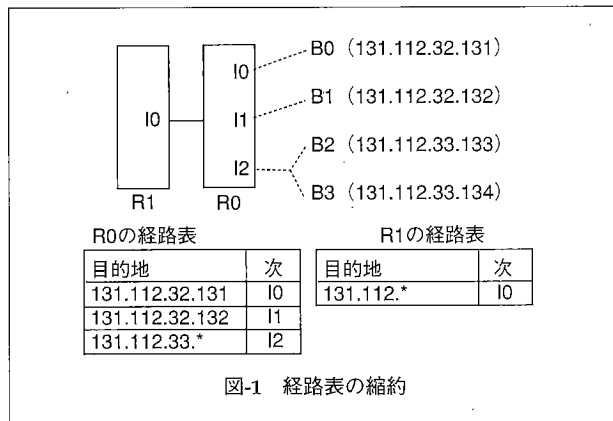
つまり、QoS ルーティングを行うと、パケットの送出先は行き先アドレスだけで決まらない。



電話網はなぜ動作しているのか?

電話網では、マルチキャストはないが、QoS 保証は行う。そこで経路表の縮約はできないはずであるにもかかわらず電話網は膨大な数の電話機を含みつつ動作している。なぜだろう?

理由は、1つには電話網の QoS 要求が均質であるからである。デジタル電話交換網では、帯域は 64kbps と均一である。もう1つの理由は、電話が大した QoS を必要とせず、伝送路の能力には大きな余裕があるからである。64kbps の通話が多めに見積もって日本全体で百万個あったとしても 64Gbps あれば足りてしまう。そこで、今どきの技術を使えば電話網で伝送路の容量が足りなくなることはない。障害時の迂回路も兼ねて経路を 2~3 種類用意しておけば十分であり、電話の経路表としては各地域内までの 2~3 種類の経路が単一の QoS についてのつていれば十分である。



これからのインターネットと経路表

これからのインターネットで放送と通信を融合しようというとき、もちろんマルチキャストは必須である。また、今後はさまざまな品質の音声や画像が使われ、QoS 要求は多種多様であり、経路の種類はきわめて多くなる。いくら半導体技術が進歩して回線容量が増えても、同時にホストの能力も増大し要求する QoS 自体も増えるであろうから、回線容量が足りなくなり迂回路を探す必要性は大きくなる。

グループごと、QoS 保証をした通信ごとに個別に経路表が必要となる。「そんな多数の経路表を扱えるはずがない」ということで、最近ではインターネットの資源予約プロトコルである RSVP の旗色が悪い。何とか多数の通信で経路表を共有しようという試みが多数なされており、その1つが Diffserve である。これらの試みはもちろんうまくいくはずがないが、今回は、具体的に何がどううまくいくのか、どうすればいいのかについて論じる。

(平成 11 年 5 月 14 日受付)