

可変帯域リンクをもつネットワークの経路制御安定性

5D-8

山下 高生, 小野 諭

NTT ソフトウェア研究所

1 はじめに

計算機ネットワークは、これまで専用線などの固定帯域リンクによって構成されてきた。一方で、ATM (Asynchronous Transfer Mode) や ISDN 逆多重化装置 [5] など動的に帯域を変更可能な広帯域通信技術が実現されつつある。計算機ネットワークを動的に帯域を変更可能なリンク (可変帯域リンク) と固定帯域リンクによって構成することで、

1. 経済的なネットワーク設計が可能となる。
2. 輻輳や利用率の変化に短時間で対応できる。

まず1はトラヒックの時間変動の大きいリンクに可変帯域リンクを用いることで経済性を向上できるということである。次に2について説明する。通常、ネットワークの設計時にデータとして用いるトラヒックと実際のトラヒックは時間によって異なり、ネットワークのスループットを向上させるためにトラヒック状態に応じて経路を変更する IGRP [3] などの適応経路制御技術が用いられている。しかし、ネットワークが大規模である場合、短時間で経路を変更することは困難であり、更新されるまでの間、十分なスループットや遅延時間などの通信品質が得られない。この更新期間中、可変帯域リンクで動的に帯域を確保することで、十分な通信品質を得ることができる。

可変帯域リンクを含むネットワークを実現するために

- A 可変帯域リンクの配置方法 (ネットワーク設計)。
- B 可変帯域リンクと固定帯域リンクという経済的要求からくる経路選択上異なった優先性を持つリンクを含むネットワークの経路選択方法。

が必要である。このうち B について考える。現在の最短経路を用いる経路選択技術を用いた場合、可変帯域リンクの距離は最大帯域をもとにしたものとなるために、固定帯域リンクからなる別の経路が存在すると、可変帯域リンクにトラヒックが集まってしまう。

このように、可変帯域リンクの利用は、現在の経路選択アルゴリズムでは、かえって非経済的な経路が選択され、可変帯域リンクの性質を十分に生かす経路選択方法が存在しない。また、適応経路制御では、経路選択の結果がトラヒックを変化させ、このトラヒック変化がリンク距離として経路選択に用いられるというフィードバックが生じ、経路が不安定になる場合があるが [1][2][4]、動的に帯域が変化することでリンク距離の計算に用いられる帯域の情報に変化すると、経路選択、トラヒック、帯域の3者の相互作用で経路の安定度が問題となる。

本報告では、帯域を常時接続されている帯域と動的に確保された帯域に区別した情報をもとにするリンク距離計算方法を提案する。そして、可変帯域リンクを用いたときに問題が発生する最も簡単な場合として可変帯域リンクを含む経路と固定帯域リンクのみの経路の2つの経路が存在するようなリング・ネットワークでの安定性に

ついて検討を行ない、従来技術と比較して、経済性から決まる優先度に応じた経路選択が安定に行なわれることをシミュレーションによって明らかにする。

2 リンク距離の計算方法

まず、すべてのリンクの帯域を常時確保されている帯域と必要時に確保される帯域の和として考え、それぞれ基底帯域および付加帯域と呼ぶ。各リンクに対して次のように優先度をつける。まず第1に基底帯域のみのリンクが優先される。第2に負荷帯域を持つリンクについては、課金制度から決まるコストが低い順に優先されるものとする。

ノード u および v の間の距離 $D(u, v)$ を負荷が軽い場合に支配的になる距離 d_l および、負荷が重い場合に支配的になる距離 d_h の和として以下のように定める。

$$D(u, v) = k_l d_l(u, v) + k_h d_h(u, v) \quad (1)$$

ただし、 k_l および k_h は各距離の重みを表す係数であり、 d_l は経路上の基底帯域による各リンクの伝送遅延時間の和とし、

$$d_l = \sum_{i \in P} b_i^{-1} \quad (2)$$

$$\mu_i = b_i + n_i \cdot \delta x_i \quad (3)$$

とする。ここで、 μ_i および b_i は、それぞれリンク i の帯域および基底帯域を表す。 $n_i \cdot \delta x_i$ は負荷帯域であり、 δx_i は負荷帯域の変化の最小単位を表し、 n_i は0以上の整数である。 P は経路上のリンク集合を表す。

次に付加帯域を持つリンクの優先性を考慮して d_h を経路上のリンクの空き帯域による伝送遅延時間を基本として、各リンクに割り当てられた優先度を考慮して次のように定める。

$$d_h = \begin{cases} \max_{i \in P} (b_i - f_i)^{-1} & (\{i | n_i \neq 0\} = \phi) \\ \left(\sum_{i \in K, i \neq l} p_i \right) \max_{j \in K} ((\mu_j - f_j)^{-1}) & (\{i | n_i \neq 0\} \neq \phi) \end{cases} \quad (4)$$

ただし p_i および f_i は、リンク i の優先度とトラヒックを表し、 $K = \{i | n_i \neq 0, i \in P\}$ とし、 $(\mu_i - f_i)^{-1} = \max_{j \in K} ((\mu_j - f_j)^{-1})$ とする。

d_l および d_h は関数の性質から、負荷の軽いときは、 d_l が支配的となり、負荷が重いときは d_h が支配的となる。

3 リングネットワークでのシミュレーション

リングネットワーク・モデル 文献 [2] および文献 [4] で用いられている図1のような連続ノード・モデルを利用して解析を行う。

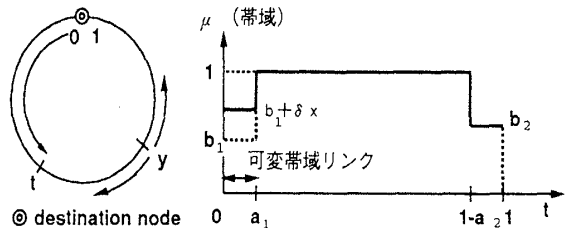


図1: リングネットワークの連続ノードモデル

連続ノード・モデルではリングの任意の点がノードとなり、リング・ネットワーク上の点は終点ノードからの

反時計回りの距離 t で表される。 $t=0$ かつ $t=1$ が終点ノードであり、 $t \in (0, 1)$ は起点ノードである。トラフィックは起点ノードから終点ノードへながれるものとする。 t における帯域を $\mu(t)$ と表す。帯域 $\mu(t)$ は基底帯域と付加帯域の和として表される。解析に用いる $\mu(t)$ は次式のように定義し、図1にそのグラフに示す。

$$\mu(t) = \begin{cases} b_1 + n \cdot \delta x & (0 \leq t \leq a_1) \\ 1 & (a_1 < t < 1 - a_2) \\ b_2 & (1 - a_2 \leq t \leq 1) \end{cases} \quad (5)$$

ここで $t \in [0, a_1]$ が可変帯域リンクであり、 b_1 および b_2 が基底帯域、 $n \cdot \delta x$ が付加帯域である。

起点ノードが終点ノードへトラフィックを流す場合、時計回りの経路および半時計回りの経路が存在する。各ノードは、その時点のルーティング y を参照し、 $t < y$ のトラフィックについては時計回り、 $t > y$ のトラフィックについては反時計回りを選択するものとする。

可変帯域リンクの帯域制御方法 可変帯域リンクにおける帯域 ($b + n \cdot \delta x$) の制御方法を説明する。可変帯域リンクの帯域は、リンクを流れるトラフィック情報のみを用いて制御するものとする。一般的には、各 n について帯域 Bu_n および $Bd_n (Bu_n < Bd_n)$ および時間 Tu_n および Td_n を定め、

- Tu_n の間の平均トラフィックが Bu_n を越えた場合
 $n \leftarrow \min(n+1, n_{max})$
- Td_n の間の平均トラフィックが Bu_n を下まわった場合
 $n \leftarrow \max(n-1, 0)$

とする。ただし、 n_{max} はその可変帯域リンクが最大帯域となるときの n の値である。

シミュレーションによる評価 連続ノードモデルを用いて、本報告で提案したリンク距離を用いた場合の経路選択についてシミュレーションによる評価を行なう。評価方法は、各起点ノードからリング・ネットワークに入力されたトラフィック量 (全トラフィック量) の可変帯域リンクを含む経路と含まない経路へのトラフィック割り当てを評価する。経済的に理想的な状態を考えると、可変帯域リンクを含まない経路によって全トラフィック量を終点ノードに送ることができるときは、可変帯域リンクを含まない経路の使用率が100%となるのが理想的であると考えられ、全トラフィック量を可変帯域リンクを含まない経路によって送れるときには遅延時間の公平性を考えて可変帯域リンクを含む経路と含まない経路の最大使用率が同一になるべきであると考ええる。

シミュレーションを行なうためのパラメータについて説明する。可変帯域リンクの帯域制御を行なうためのパラメータ Bu_n および Bd_n は、

$$Bu_n = \begin{cases} 0.9b_1 & (n=0) \\ b_1 + 0.9n \cdot \delta x & (n \geq 1) \end{cases} \quad (6)$$

$$Bd_n = \begin{cases} 0.5b_1 & (n=1) \\ b_1 + 0.9(n-1) \cdot \delta x & (n \geq 2) \end{cases} \quad (7)$$

とし、可変帯域リンクの帯域更新時間間隔は経路更新時間間隔の1/50とした。また、帯域については次式のように定めた。

$$\mu = \begin{cases} 1 + 0.1 \cdot n & (0 \leq t \leq 0.05) \\ 3 & (0.05 < t < 0.95) \\ 1 & (0.95 \leq t \leq 1) \end{cases} \quad (8)$$

まず、全トラフィック量が3.2、BoD帯域幅の初期値が1.2、ルーティング y の初期値を0.9としたときのルーティング y の時間変化を図2に示す。ここに示すように、ルーティングは一定時間後に一定の値に収束する。以後、このような収束した時の状態についてのシミュレーション結果を示す。

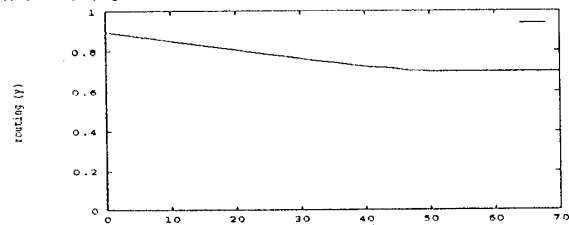


図2: ルーティングの時間変化

図3にリング・ネットワークの2つの経路のうち固定帯域リンクの使用率の最大値 (縦軸) ($t=1$ での利用率) と全トラフィック量 (横軸) の関係を示す。ここで、MAXで示されるグラフは従来技術による結果であり、IDEALが上述の理想的な特性である。NEWが本報告で提案したリンク距離を用いた場合のグラフである。比較に用いた従来技術は、可変帯域リンクを、そのリンクで利用可能な最大帯域を持つ固定帯域リンクであるとして経路制御を行なう方法である。この図から従来技術と比較して本発表で提案した方法を用いた場合、理想的な利用率に近くなることがわかる。

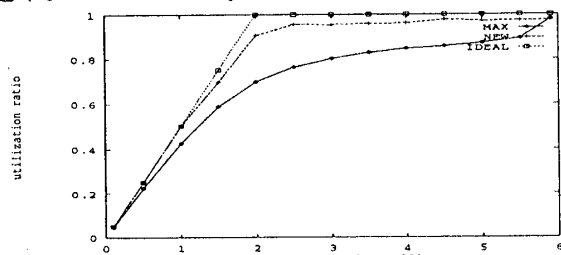


図3: 固定帯域リンクの利用率

4 今後の課題

- ネットワーク・シミュレータなどを用いた一般的なネットワークでの動作のシミュレーション。
- 一般的ネットワークでの、本報告で提案したリンク距離の計算方法の妥当性の評価基準の検討。

参考文献

- [1] D.Bertsekas and R.Gallager, Data Networks, Prentice-Hall Inc., 1987
- [2] D.P.Bertsekas, Dynamic behavior of shortest path routing algorithms for communication networks, IEEE Trans. on Auto. Control, pp.60-74, Feb., 1982.
- [3] An introduction to IGRP. preprint, Laboratory for Computer Science Research, Rutgers University, New Jersey, August, 1991.
- [4] S.Low and P.Varaiya, Stability of a Class of Dynamic Routing Protocols (IGRP), Infocom, pp.610-616, Vol.2, 1993.
- [5] 山下、小野 「ISDN 逆多重化装置の特性評価と効率的利用法」 情報処理学会研究報告 (93-DPS-61), Vol.93, No.58.