

ルータネットワークにおけるホップ数制限を利用した経路計算法

1 T-9

辻野雅之

NTTコミュニケーションズ株式会社

メディア技術開発センタ

1.はじめに 近年のネットワーク規模の急激な拡大に伴い、OSPF[1]で用いる最短経路計算にかかる処理負荷が転送制御性能の劣化を引き起こす可能性が生じてきた。そこで、本稿では大規模なネットワークに対しても高速に処理可能にするため、宛先までのホップ数における制限を満足する最短経路を計算する経路計算法を提案する。

2.提案方法 経路計算処理を軽減するには、効率的なアルゴリズムを使えるよう、巧みに探索する経路を制限することが有効である。ここでは、その目的のためホップ数に対する制限を導入し、それを満足する最短経路（「ホップ制限付最短経路」と呼ぶ）を計算する経路計算法を提案する。このホップ制限付最短経路は、以下に示す動的計画法を用いたアルゴリズムで効率的に計算できる。

[ホップ制限付最短経路導出アルゴリズム]

表記

n: ルータ数, m: リンク数, $d(u, v)$: リンク(u, v)の距離,

s: 経路計算を実施するルータ, k: ホップ数制限値

$f_i(v)$: (ルータsからホップ数がi以内のルータvへの最短経路の長さ)を表す関数

アルゴリズム

ステップ1: $f_0(s)=0$, $f_i(v)=\infty$, $v \neq s$

ステップ2: $i = 1, 2, \dots, k$ とし、以下の計算をk回繰り返す。

各枝 (u, v) に対し、

$$f_i(v) := \min\{ f_{i-1}(v), f_{i-1}(u) + d(u, v) \}$$

ここで、提案方式では、各ルータにホップ数制限を導入することにより、宛先に関する情報だけ

では各ルータで持つ宛先への経路に一貫性が保てない。そのため、図1に例示するようにルータで計算する経路と実際にパケットが転送される経路（「パケット転送経路」と呼ぶ）が必ずしも同じにはならない。また、ルータベースのネットワークでは定常時のパケット転送経路にループを発生させないことが重要であるが、経路の一貫性を保たれないことにより提案方式はパケット転送経路にループを発生させる可能性がある。しかしながら、下記の定理でパケット転送経路にループを発生させないための条件を与えることができる。

[定理] ネットワークの全ルータのホップ数制限値が同一である場合には、パケット転送経路ではループが発生しない。

[証明] ルータ v_0 から送出したパケットが、 $v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_h$ という経路を経て v_0 に達したとする。各経由ルータでの経路計算に最適性原理を適用することで、以下の式を得ることができる。

$$f_k(v_{i-1}) = f_{k-1}(v_i) + d(i-1, i), \quad \text{for } i=1, \dots, h \quad (1)$$

$$f_k(v_h) = f_{k-1}(v_0) + d(h, 0) \quad (2)$$

また、fの定義より以下の式が成立する。

$$f_k(v_0) \leq f_{k-1}(v_0) \quad (3)$$

$$f_k(v_i) \leq f_{k-1}(v_i), \quad \text{for } i=1, \dots, h \quad (4)$$

(1),(2),(4)より、 $f_k(v_0) > f_{k-1}(v_0)$ が示せる。これは、(3)に矛盾するため、ループが発生しないことが証明された。■

3. 提案方法に関する考察 提案方法の適用性については、(1) 計算時間に関して得る利得、(2) パケット転送経路の距離に関して失う損失の両面のトレードオフとして検討する必要がある。そこ

で、この2つの側面についての考察を加える。

(1) 計算時間： 提案方法で用いるアルゴリズムでは、ステップ2で m 本の枝に対する計算を k 回 (k はホップ数制限値) 繰り返すため、計算時間は $O(mk)$ となる。 k を $\log n$ と比べ低いオーダーを見なせるケースでは、最短経路計算を行う従来方法 [ダイクストラ法を用いると、比較的単純なアルゴリズムで計算時間は $O(m \log n)$ になる] と比較して提案方法の方が計算理論上のぞましいと言える。このケースは、ルータ数に比べネットワークの直径が小さいときに、到達性を重視する経路制御ポリシーを採用した場合に起こりうる。例えば、多くのルータをメッシュで接続したときに、必ずしも最短経路である必要がなく、到達性が確保できればよい (ホップ数制限値を1に設定)、または、それに加え障害時の迂回経路が最低1つ設定できればよい (ホップ数制限値を2に設定) という経路制御ポリシーを探る場合には、ホップ数制限値を定数値に設定できる。このようなケースでは、提案方法を適用することで、理論上は経路計算処理に伴う負荷を大幅に削減することが可能である。

(2) パケット転送経路の距離： ランダムに接続構成・リンク間の距離を決定したネットワークに対してシミュレーションを行なうことで、提案方法によるパケット転送経路と従来方法によるパケット転送経路との距離の間に応用上どの程度の違いがあるのかを検討した。

図2は、ネットワークの構成が疎な場合 (リンク数がノード数の5倍)、密な場合 (リンク数がノード数の10倍)、メッシュの場合について、ホップ数制限値をメッシュの場合は2 (直径 [=1]+1) に、それ以外の場合はネットワークの直径に設定して、従来方法・提案方法のそれぞれを適用した場合のパケット転送経路の距離を示している。どの場合についても、ノード数が少ない (ノード数=25) ときは、従来方法と提案方法のパ

ケット転送経路との距離には大きな違いがあるが、ノード数が多い (ノード数=100) ときにはその差が小さくなることが分かる。このシミュレーション結果より、ノード数が多くなるにつれ提案方式の適用領域が広がると予想できる。

4. あとがき ルータ数に比べ直径が小さい大規模なネットワークに適した、経路計算処理に関する負荷軽減を目指した経路計算法を提案した。今後は、計算時間を中心に提案方法の応用面での評価を進め、その適用領域を定量的に明確にする。

謝辞 貴重なコメントを頂いた京都大学 情報学研究科の柳浦睦憲助手に深く感謝致します。

[参考文献]

- [1] "OSPF version 2", J. Moy, RFC 1583, March 1994.

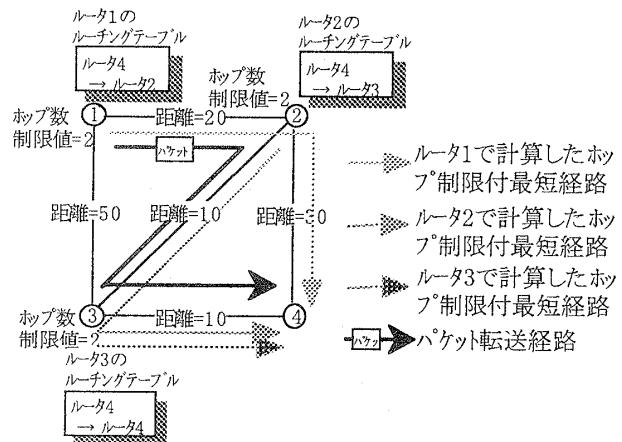


図1. ルータで計算する経路とパケット転送経路が異なる場合

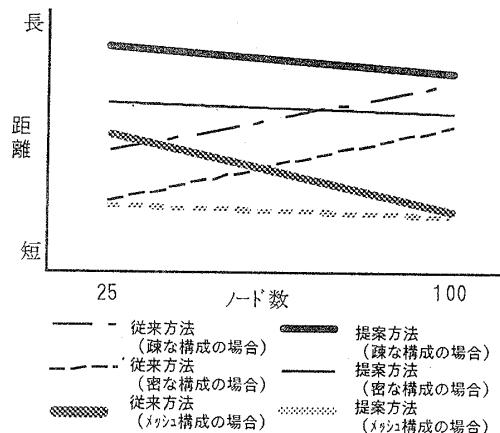


図2. 従来方法と提案方法の経路長比較