

テクニカルノート

トラフィックの集中を回避するネットワーク経路制御手法

新井 康平[†] 中村 光希[†]

本論文ではネットワーク負荷 (metric 値) を各節点における処理能力や輻輳状態を考慮して経路を制御するプロトコルを提案している。経路制御プロトコルとして現在多用されている OSPF は、ネットワークが輻輳すると、最適経路を計算し直して各節点のルーティングテーブル (最適経路) を書き換えることにより対処するが、書き換えまでの間対応が遅れる。また、その間 OSPF では送り先のルータがダウンするまでパケットを送り続けることになる。さらに、経路に障害が発生したとき、ネットワーク節点を迂回するが、送り先のルータがダウンしやすいという欠点もある。本論文で提案する経路制御は上述の欠点を改善したものである。

Routing Protocol Avoiding a Traffic Jamming

KOHEI ARAI[†] and MITSUKI NAKAMURA[†]

A new routing protocol is proposed in this paper. One of the existing efficient routing protocols for IGP (Internal Gateway Protocol) is OSPF (Open Shortest Path First). It, however, has disadvantages, (1) when a traffic jamming is occurred at a certain network node, OSPF re-calculate an optimum routing and change the routing table. It may happen a time delay untill the routing table of interest is changed. (2) It may occur that packets are sent to the destination router again and again until the router gets out of work. The proposed routing protocol is to avoid such situations.

1. はじめに

インターネットモデル¹⁾は、自律システム (AS: Autonomous System²⁾) とネットワーク間接続装置であるルータから構成される。AS とは同一の組織によって管理運営されるネットワークであり、ルータとは AS 間でパケット (IP データグラム) を中継する装置のことである。AS 内でのコンピュータ相互間やコンピュータと端末の間で通信を行うときの受送信の方法や電圧レベル等の取り決めをプロトコルと呼ぶ。この代表的なものに TCP/IP プロトコルがある。また、AS 内の任意のコンピュータ、または、端末と他の任意のコンピュータ、または、端末との接続ネットワーク経路の決定をルーティングと呼ぶ。さらに、最適経路の選択方法をルーティングプロトコルと呼ぶ。AS 内のルーティングのためにルート情報を交換するプロトコルを総称して IGP (Interior Gateway Protocol³⁾) と呼んでいる。その代表的なものに後述の RIP (Routing Infor-

mation Protocol³⁾) や OSPF (Open Shortest Path First⁴⁾) などがある。OSPF は RIP に比較して複雑ではあるが、高速で高効率で大規模ネットワークにも対応できる^{5), 6)} ため、多用されている。しかし、ネットワーク節点にパケットが輻輳しているとき、OSPF は最適経路を計算し直して各節点のルーティングテーブル (最適経路) を書き換えることにより対処するが、書き換えまでの間対応が遅れる。また、その間 OSPF では送り先のルータがダウンするまでパケットを送り続けることになる。さらに、経路に障害が発生したとき、ネットワーク節点を迂回するが、送り先のルータがダウンしやすいという欠点もある⁷⁾。本論文で提案する経路制御は上述の欠点を改善したものであり、OSPF の最適経路選択におけるネットワーク負荷 (metric 値⁶⁾) の計算に各節点における処理能力や輻輳状況を考慮したものである。次数の異なる種々のネットワークについて、パケットを乱数によって発生させるシミュレーションによって、各節点の処理能力や輻輳状況を考慮する効果を明らかにしたのでここに報告する。

[†] 佐賀大学理工学部

Faculty of Science and Engineering, Saga University

2. 既存経路制御プロトコル：OSPF

OSPF プロトコルでは各ルータの計算結果が隣接するルータに伝えられて処理が進むのではなく、枝状態アルゴリズムに基づいて各々のルータが独立して最短パスの計算を行う。枝状態のアルゴリズムは次の3つのステップで実行される。

- 各ルータはその隣接ルータの身元を知る。
- ネットワークその情報を流出する。
- 各ルータは他のすべてのルータからの隣接情報を集めた後、Dijkstra⁸⁾のアルゴリズムを使ってルートを計算する。

このため、各ルータは、隣接するルータへ接続されている枝のコストを示すLSA (Link-State Advertisement) を交換する。LSA は隣接するルータを経て、自律システム内のすべてのルータに通知される。各ルータではLSA から最短パスツリーを生成し、ルーティングテーブルに反映する。OSPF はネットワークの階層を構成する。一番上のレベルはASである。AS境界はOSPFの影響の制限範囲を定義する。OSPF はASの中でネットワークをネットワークをエリア外の情報については要約される。枝状態アルゴリズムでは、原理的に各ルータにおいてネットワーク全体の経路情報を計算するので、大規模なネットワークではその情報を交換するためのトラフィックや計算量が多くなる。しかし、OSPF では変更のあった情報だけを通知することにより、トラフィックの増加をおさえている。また、多くの場合OSPF ルータは代表ルータを選んでネットワーク上のトラフィック量を削減している。さらに、OSPF は種々のリンク上で動作するという柔軟性を持っている。

3. 提案経路制御手法

3.1 提案手法

ネットワークはいくつかの節点の集合 V と、それらを結ぶ枝 E によって定義されるグラフであり、一般に、

$$G = (V, E) \quad (1)$$

と表される。グラフ G の各枝 $(i, j) \in E$ が長さ a_{ij} を持つとき、ある節点 $s \in V$ から別の節点 $t \in V$ へのルートのなかで最も長さの短いものを見つける問題を最短経路問題という。ただし、節点 s から節点 t へのルートとは、節点の列、

$$P = (s, i, j, \dots, k, t) \quad (2)$$

で、

$$(s, i) \in E, (i, j) \in E, \dots, (k, t) \in E \quad (3)$$

を満たすものをいい、それらの枝の長さの和、

$$a_{si} + a_{ij} + \dots + a_{kt} \quad (4)$$

をこのルート P の長さとして定義する。小規模なネットワークでは可能な経路をすべて数え上げることにより見つけ出すことができるが、大規模で複雑なネットワークに対してはこのような列挙法は実用的ではないので効率的なアルゴリズムが必要となる。提案方式ではこのアルゴリズムとしてOSPFのものと同様にDijkstra法を用いた。ここで回線容量とは単位時間に送ることができるパケットの最大数のことであり、回線容量 C の回線に単位時間に C 個のパケットを送る時間は1である。すなわち、単位時間としている。パケットを T 個送るのに T/C 時間かかる。また、スループットとは「計算機が単位時間あたりに処理する仕事量」と定義する。遅延はパケットを節点において処理するのにかかる時間と定義する。節点で処理しなければならないパケットが大量にあればそれだけ処理に時間がかかる。逆に処理しなければならないパケットが少量ならば処理に時間はあまりかからない。この遅延を測る尺度としてルータのパッファに入っているパケットの数に着目する。このパッファはルータの処理能力以上の数のパケットが入ってきたときのために一時的にパケットを待たせておくものである。平均到着時間とは、ある節点から別の節点へパケットを送るときにかかる時間の平均である。

C ある節点から別の節点へと直接リンクしている回線の回線容量

T_L ある節点から別の節点へと直接リンクしている回線のスループット。これはトラフィックの量と同じになる。

R 目的節点が単位時間あたりに受け取ったパケットの数+待ち行列の数

A 目的節点が単位時間あたりに処理できるパケットの数

とすると、式 (5) により求められる。

$$\frac{T_N}{C} + \frac{R}{A} \quad (5)$$

3.2 metric 値の計算式

負荷 (metric 値) とは枝または節点を通過するのにかかるコストであり、経路制御をするときの距離に相当する。

提案手法の metric 値の計算式

T_N 目的節点のスループット

D 目的節点の待ち行列の数

A 目的節点が単位時間あたりに処理できるパケットの数

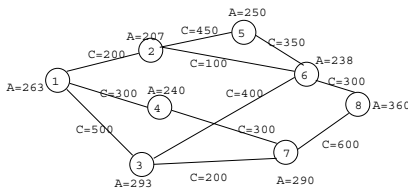


図 1 次数 8 のネットワークコンフィギュレーションの例
Fig. 1 An example of the network configuration of the number of nodes is 8.

とすれば,

$$metric = w \cdot \frac{C}{T_L} + (1 - w) \cdot \frac{T_N + D}{A} \quad (6)$$

によって定義する。ここで w は重み係数である。右辺第 1 項は節点間の遅延を表している。回線容量: C を節点間の距離(回線上に並ぶパケットの最大数), スループット: T_L をパケットの伝送速度と見なして, ある節点から出たパケットが次の節点へ到着する時間は,

$$\frac{C}{T_L} \quad (7)$$

と表すことができる。また, これは枝における遅延の逆数ともとらえることができる。第 2 項は節点での遅延を表している。単位時間に処理しなければならないパケットの数はスループット: T_N と前の単位時間に生じた待ち行列の数: D の和である。 $T_N + D$ 個のパケットを処理するのにかかる時間は,

$$\frac{T_N + D}{A} \quad (8)$$

である。

OSPF における metric 値の計算式 OSPF では節点での遅延を考慮してないので, metric 値の計算式は式 (9) のようになる。

$$metric = \frac{C}{T_L} \quad (9)$$

また, 項が 1 つしかないので重みを最適化する必要もない。

4. シミュレーション実験

4.1 シミュレーション方法

ここではネットワーク全体の平均到着時間を最小にするルーティングテーブルを生成するためのシミュレーションを以下の条件下で行った。

- (1) ネットワーク次数(節点数)は 8, 10, 16, 20 例としてネットワーク次数が 8 および 20 の場合のコンフィギュレーションを図 1, 2 に示す。

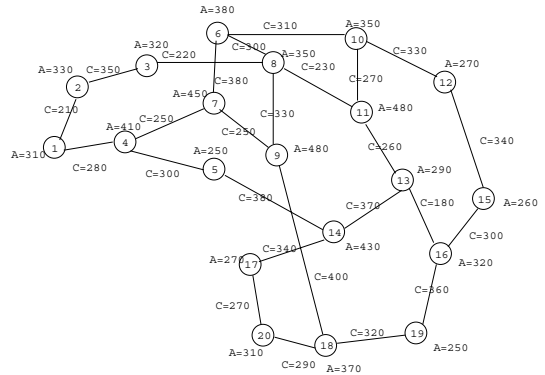


図 2 次数 20 のネットワークコンフィギュレーションの例
Fig. 2 An example of the network configuration of the number of nodes is 20.

- (2) パケット発生確率は, どの枝も 2~12%, 2% の刻みで可変とする。一般のネットワークにおけるパケット発生確率はたかだか数%程度である。ここでは OSPF との相違を際立たせるために 12% まで変化させた。ただし, 重みが大い場合の結果は OSPF に近いのでシミュレーションを省略する。
 - (3) 十分に定常状態に移行するまでの時間として, シミュレーションの試行錯誤の結果から, 2000 単位時間シミュレーションを行う。
 - (4) 平均到着時間とルーティングテーブルのログからネットワーク上のすべての節点への経路の平均到着時間を計算する。
 - (5) 提案手法の重みの最適化を行う。
- また, 各枝には基本流量と呼ぶ回線容量に比例した数のパケットがつねに流れているものとした。これに加えすべての節点からポアソン生起のパケットを発生させた。ここでは回線容量の平均の 10% を期待値とするポアソン分布を用いた。

4.2 シミュレーション結果

提案手法における metric 値の定義式における重みを最適化するため, 上述の 4 種類の次数のネットワークについてそれぞれ平均到着時間と重みの関係を調べた。図 3 に示すグラフは, 横軸が metric 値の定義式の重み w , 縦軸はすべての経路の平均到着時間の平均の OSPF と比を表している。すなわち, この値が 1 を下回っている場合は OSPF よりも提案手法の方が優れている。これから最適な重みは 0.01 から 0.2 の範囲であることが分かる。また, 最適な重みにおける提案手法の平均到着時間は OSPF のそれに比較して約 2 から 7% 程度短縮に成功していることも分かる。提案手法は, ネットワーク内のあるルータの処理能力が

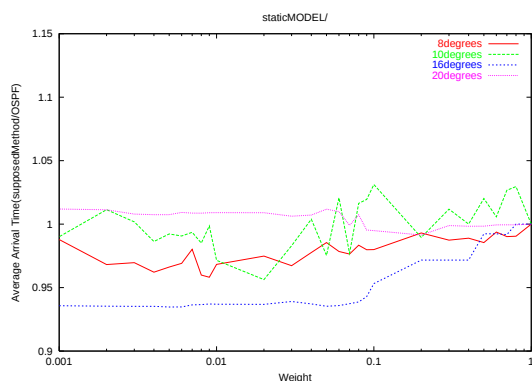


図3 重みと平均到着時間の関係

Fig. 3 Optimization of weight for delay in the nodes in concern for minimizing the averaged arrival time.

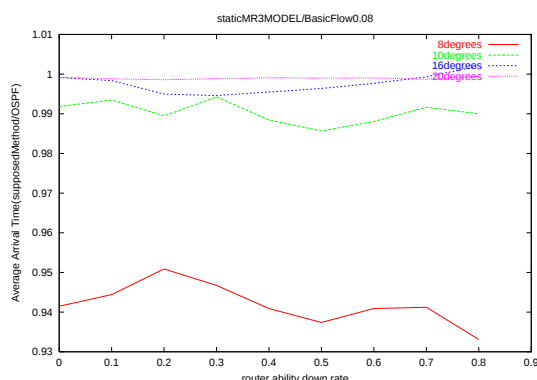


図4 ルータの処理能力が低下率と平均到着時間の関係

Fig. 4 A relationship between the degradation rate of the router ability and the averaged arrival time.

低下した場合においても平均到着時間の増大を回避するように metric 値の定義を新たに考案したものである。処理能力を低下させた場合のパケットの平均到着時間を調べた。その結果、図4に示すように、処理能力が低下するに従って提案手法が OSPF よりも平均到着時間が短縮していることを確認できた。

5. おわりに

提案手法の平均到着時間は重みを小さくすると OSPF と比べても短くなることが分かった。この効果は節点数にも依存している。この数が増えることは経由する節点数が増えることを意味し、節点での遅延が無視できない大きさになる。節点での遅延を考慮していない OSPF は枝でのスループットが回線容量に対して大きい節点のみを経由する。もし、経路上スループットの大きい枝があり、その枝につながっている最

初の節点が混んでいたら OSPF では最悪の状況になる。枝のスループットだけで情報を処理しているので混んでいる節点を経由する経路を選択してしまうこともある。それに比べて提案手法は節点での遅延を考慮しているのでこの問題を回避できる。

参考文献

- 1) Thomas, S.A.(著), 塚本昌彦, 春本 要(訳): 時世代 TCP/IP 技術解説 (1997).
- 2) Comer, D.(著), 村井 純, 楠本博之(訳): 第2版 TCP/IP によるネットワーク構築, Vols.1, 2 (1993).
- 3) <http://www.se.hiroshima-u.ac.jp/~yuki/AAdmin.html>
- 4) <http://w3.lab.kdd.co.jp/technotes/cisco/routing.html>
- 5) <http://aohakobe.ipc.chiba-u.ac.jp/staff/yozo/notes/kisarazu-nct/kisarazu97/0630.html>
- 6) <http://orlab.iecs.kansai-u.ac.jp/introduction/method.html>
- 7) Wright, R. ほか(著), 阿瀬はる美(訳), 日本シスコシステムズ(監修): IP ルーティング入門 (ルータを中心とするネットワークの理解)(1998).
- 8) 茨木, 福島: 最適化の手法, 共立出版 (1993).

(平成 12 年 1 月 5 日受付)

(平成 12 年 5 月 11 日採録)



新井 康平(正会員)

昭和 24 年生。昭和 49 年日本大学大学院理工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年東京大学生産技術研究所、昭和 54 年宇宙開発事業団、平成 2 年より佐賀大学理工学部教授、昭和 60 年から 62 年カナダ政府給費留学(ポスドク)、平成 8 年よりアリゾナ大学客員教授。リアルワールドコンピューティング(パターンの再構成: 不適切問題、非線形逆問題)の研究に従事。工学博士、平成 2 年度および 11 年度(社)日本リモートセンシング学会論文賞受賞。



中村 光希

昭和 51 年生。平成 11 年佐賀大学工学系研究科情報科学専攻修士課程入学。