

ルーティングアルゴリズムの性能に関する一考察

1 T-4

若林 一磨

種田 和正

(株)ATR 環境適応通信研究所

1. はじめに

筆者らは、ルーティングアルゴリズムの適応性を評価している。既に Link State 方式でマルチパス機能を持つアルゴリズムと AntNet[1]の応答性を改良したロックフリー AntNet[2]の性能評価を行った。その結果、トラフィック負荷が高い状態でリンクダウンが発生しても、ロックフリー AntNet は、新しいネットワーク環境の平衡点に収束できることが分かった[3]。そこで、本稿ではマルチパス機能を強化した最短パス方式 SPF-EE[4]をロックフリー AntNet の比較対象とし、コンピュータシミュレーションにより性能を評価したので報告する。

2. ネットワークモデル

シミュレーションで用いるネットワークモデルを説明する。ネットワークはノードとリンクで構成され、そのトポロジ構造は図1である。全てのノードは、1.5Mbps の双方向全二重リンクで接続され、リンクには伝播遅延時間(msec)が割り当てられる。ノードは入力、出力装置で構成され、各々1つの無限長のキューを持つ(図2)。パケットは生起率 λ (packets/単位時間)で、ローカルネットワークから各ノードの入力キューに入り、次ノードへのキューを決定後、出力キューに入れられ、転送される。宛先へ到着したパケットはネットワークから消滅する。

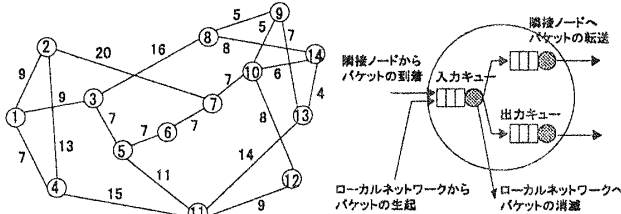


図1. ネットワークトポロジ.

図2. ノード内処理.

3. アルゴリズム

ルーティングアルゴリズムは、最短パス方式として、LS-SP, LS-MP, SPF-EEを、AntNetとしてNFBを用いる。各方式について本節で述べる。

3.1. Link State - Single Path (LS-SP)

Link State は、TCP/IP ネットワークのルーティングプロトコル OSPF が用いる方式であり、その処理概要を以下に述べる。

- (1) 各ノードは定期的(t_2 毎)に自ノードの入出力キュー状態を取得する。
- (2) 各ノードは定期的(t_1 毎: $t_1 > t_2$)にキュー状態からリンクコストを作成し、リンクコストを含む制御パケット LSA を、Flooding アルゴリズムで全ノードに通知する。LSA は、キューでパケットより高い優先度にて扱われる。リンクコスト(lc)は式1で定義する。

$$lc = Wc + Wp + Dp. \quad (1)$$

Wc : (入力キューの平均待ち LSA 数) $\times$ (入力処理時間),

Wp : ((出力キューの平均待ちパケット長) + (出力キューの平均待ち LSA 長)) $\div$ (出力処理能力),

Dp : リンクの伝播遅延時間.

- (3) LSA を受信したノードは、自ノードのリンク状態データベースを更新する。
- (4) リンク状態データベースが更新されたノードは、宛先への最短パスを Dijkstra 法により算出し、自ノードのルーティングテーブルを更新する。

3.2. Link State - Multi Path (LS-MP)

マルチパス機能によりトラフィック負荷を分散させることで、バーストラフィック発生時の輻輳を軽減できる。マルチパス機能は以下のとおり定義する。宛先への最短パス(SP)と次候補パスのリンクコストの差が閾値(Dt)より小さい場合に限り、次候補パスを代替パス(AP)として採用する。パケット転送時に、SP への出力キュー長が閾値(Qs)を超過し、かつ AP が設定されていれば、AP をそれ以外は SP を用いる。

3.3. Shortest Path First with Emergency Exits (SPF-EE)

リンクコストの差だけで AP を選出する LS-MP は、パケットのループ現象が発生する。これを抑制する方式として、SPF-EE[4]が提案された。その処理概要を以下に述べる。

SP, AP は LS-MP 同様に、定期的(t_2 毎)に更新され用いられる。それぞれ、下記条件を満たす。

$$L_{Df_1}^S \leq L_{Df_2}^S, \quad (2)$$

$$(L_{Df_1}^S \leq L_{Df_2}^S \leq L_{Df_2}^S) \wedge (L_{Df_2}^S < L_{Df_2}^S). \quad (3)$$

L_{Df}^S : 自ノード S から宛先ノード D へ隣接ノード f を中継する経路のリンクコスト総和,

N_S : ノード S の隣接ノード集合。但し f_1, f_2 を除く。

式2を満たす f_1 が SP の次ノード、式3を満たす f_2 が AP の次ノードとなる。パケット転送時に AP を用いる局面で、条件を満たす隣接ノードが存在しないため未設定であれば、Reverse Alternate Path (RAP) を用いる。RAP は、宛先に対し中間ノードと Exit ノードを特定し、パケットを中間ノードから Exit まで、ソースルーティングする。RAP も未設定であれば、RAP の探索を開始する。また、パケット転送時に AP もしくは RAP への出力キュー長が閾値(Qa)を超過すると、新たな AP もしくは RAP を探索する。RAP の探索は下記手順で行う。

- (1) 宛先ノード D への RAP を作成するノード S は、自ノードと宛先のアドレスを含む制御パケット QUERY を作成し、隣接ノード集合 N_S に転送する。
- (2) QUERY を受信したノード f (但し、 $f \in N_S$) は、f から D への最短パスを検索する。検索したパス上に S を含まなければ、最短パスの次ノード (Exit となる) と自ノード (中間ノードとなる) のアドレスが入った制御パケット REPLY を作成し、S に返信する。

(3) Sは最初に到着したREPLYの情報から、RAPテーブルを更新する。

尚、QUERY、REPLYは、キューでパケットより高い優先度にて扱われる。

3.4. ロックフリーAntNet (Negative FeedBack)

AntNetは、ネットワーク内を蟻に見立てたエージェントを徘徊させ、パケットが次ノードを決定する時に、隣接ノード集合から次ノードを選択する確率(ルーティング確率と呼ぶ)を更新するアルゴリズムである。その処理概要を以下に述べる。

- (1) 全ノードは、定期的(t_3 毎)にランダムに選ばれた宛先へ蟻を送信する。この蟻を前進蟻と呼ぶ。
- (2) 宛先への通過ノードで前進蟻は、次ノードを、ルーティング確率に基づき選択、隣接ノード集合からランダムに選択、の何れかにより決定する。後者が実行される確率を探索確率(P_e)と呼ぶ。前進蟻は、キューでパケットと同じ優先度で扱われ、通過経路で経験するノード間のトリップ時間を記憶する。
- (3) 宛先に到着した前進蟻は、後退蟻となり前進蟻の時に通過した経路を引き返す。後退時に、通過ノードが持つルーティング確率を加算更新し、送信元に到着すると消滅する。後退蟻は、キューでパケットより高い優先度にて扱われる。

AntNetは、ルーティングを固定化(ルーティングロック)する欠点をもつ。NFBは、長いトリップ時間を経験した前進蟻が、上記(3)でルーティング確率を減算更新することでロック状態を素早く回避し、応答性を高めている。

4. シミュレーション結果と考察

シミュレーションで用いるパラメータを表1に記す。ネットワークへの入力パケットは、乱数による影響を避けるため、 λ が等しければ全アルゴリズムで同一の入力パケットを用いている。またリンクダウンとは、30,000シミュレーション時間経過後に、ノード2-7間の双方向リンクが切断される現象を指す。リンクの両端のノードは、切断を直ちに検出し、経路切り替え処理を開始する。

λ を増加させた時のシミュレーション結果を図3に示す。横軸が λ であり、縦軸がネットワーク内パケット数(N_p)の平均値である。左グラフが通常時、右グラフがリンクダウン時(以下図4, 5, 6も同様)である。前述の3つの最短パス方式は、予想通りトラフィック負荷への耐性が向上している。またNFBは、 λ の上昇に応じて緩やかに、ネットワークが飽和する。

図4は、 λ が0.65における N_p の振る舞いを示している。横軸がシミュレーション経過時間であり、縦軸が N_p である。通常時に、LS-MPはトラフィック負荷に耐えられず、ルーティング振動を起こし発散する。NFBはリンクダウン直後、一時的に経路が不安定になり N_p が増大するが、平衡点に収束する。

図5, 6は、 λ が0.5, 0.65における、ノード1-7間の伝播遅延時間の度数分布である。 λ が0.5で通常時は、最短パス方式間での分布曲線は違いが殆ど無い。一方NFBは最短パス方式と比較し、遅延時間が増加方向に分布する。ただし、 λ が0.65に増加しても分布曲線に

変化は少ない。SPF-EEは、トラフィック負荷が高まると遅延性能が劣化する。 λ が0.65におけるリンクダウン時では、SPF-EE、NFBともに遅延時間が大きくばらつく。

以上より、最短パス方式は、トラフィック負荷が低く遅延要求の厳しいネットワークに適し、SPF-EEを用いることで、トラフィック負荷への耐性を高めることができる。NFBは、トラフィック負荷がより高いネットワークでも安定的に使用できることが確認できた。

表1. シミュレーションパラメータ.

シミュレーション単位時間	2.73msec
パケット長の分布	負の指数分布(平均 512Byte)
パケットの生起分布	ポアソン分布(平均 λ)
発信元と宛先の分布	一様分布
t_1, t_2	8sec, 0.1sec
D_t, Q_s, Q_a	40%, 2560Byte, 2560Byte
t_3, P_e	136.5msec, 0.3

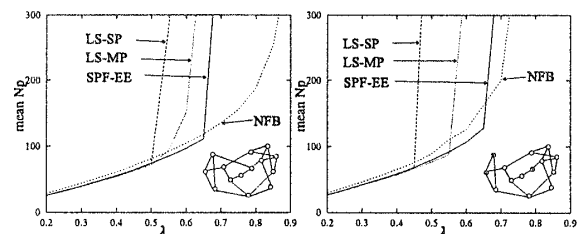


図3. λ とアルゴリズム.

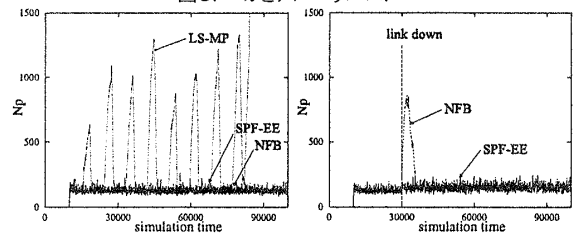


図4. N_p の振る舞い($\lambda:0.65$).

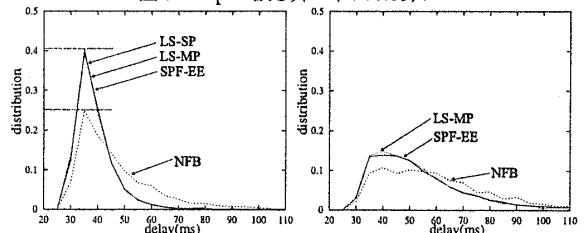


図5. 伝搬遅延時間の度数分布特性($\lambda:0.5$).

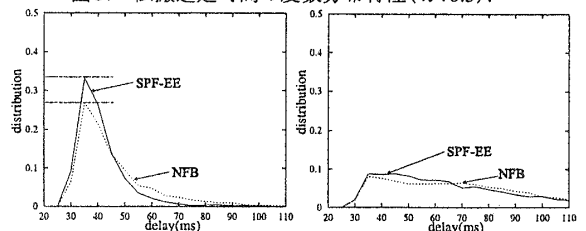


図6. 伝搬遅延時間の度数分布特性($\lambda:0.65$).

[参考文献]

- [1] G. D. Caro and M. Dorigo, "Mobile Agents for Adaptive Routing," International Conference of Systems Sciences, Hawaii, 1998.
- [2] 種田 他, "ロックフリーAntNetの適応性の評価," pp.49-54, 信学技報 IN98-40, 電子情報通信学会, 1998.
- [3] 若林, 種田, "リンク故障後のルーティングアルゴリズムの振る舞いについて," B7-158, 電子情報通信学会総大会, 1999
- [4] Z. Wang and J. Crowcroft, "Shortest Path First with Emergency Exits," Proceedings of ACM SIGCOMM90, Philadelphia, 1990.