

経路選択アルゴリズムに対する通信量の影響の一考察

小栗 利之 (沼田一道助教授, 松垣正浩助手)

1. はじめに

現在, 情報化社会と言われ様々なメディアを通じて情報を得ることができる. そしてその情報により様々な活動が行われており, ますます情報通信の重要性が増している. 情報を送る側, 受け取る側どちらにとっても, 必要な多種多様な情報をより早く, より正確に受け渡しされることが重要である. そのためには, 情報を伝達する通信網の整備や通信技術の性能が向上されなければならない. そこで, 本研究では通信網を転送されている情報の流れ (通信トラフィック) と通信制御方法に着目する.

2. 研究目的

右の図1は, 東京理科大学神楽坂地区の3号館の経営工学科のコンピュータを接続しているイーサネットのある数分間のパケット (本研究では, デジタル通信網を転送されているデータの最小単位を指す) 数である. 本研究では, 通信トラフィックを平均的にとらえるのではなく, 実際の起伏に富んだ通信トラフィック, 特に, バースト

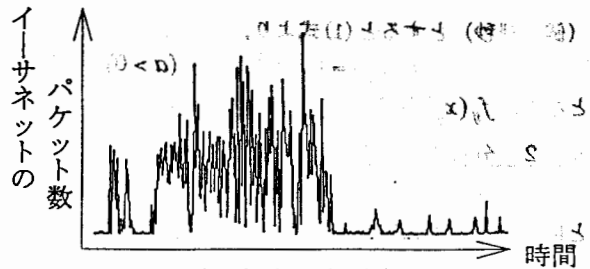


図1. 3号館の経営工学科におけるイーサネットのパケット数

ト転送が多くみられる図1のような通信網に着目し, 通信経路と通信時間が受ける影響を考える. 多くの研究では, 通信を制御しているノード (頂点) とノード間をつなぐリンク (辺) とからなるネットワークにおいて, 各ノードへのパケットの到着時間間隔は指数分布に従ったものである. このような単純なモデルでは解析しやすいが, 現実には整合していない. 現実の通信網では, 前後のパケットが関連していることが多いためパケットの到着時間間隔は指数分布に従わない.

また, 一般に, 通信網の状態は刻々と変化するため, 通信網の全体の状態を集中管理するには限界があり, 分散してトラフィックの管理がなされる. そこで, バースト転送がこの分散管理のアルゴリズムにどのように影響するかをシミュレーションにより考察する.

3. スループットと遅延の関係

経路選択アルゴリズムによってなされる2つの重要な機能は, 様々な起点-終点ペア (ODペア) の間の経路を選択することと, 種々の通信制御手順やデータ構造を用いて実現することである.

通信路のパケット通信許容数に対して転送されているパケット数の割合をスループットといい, スループットが大きくなるほどパケットが転送される速度が遅くなり通信時間に遅延が生じる. 遅延は, 経路選択アルゴリズムがどの経路を選択したかに依存する.

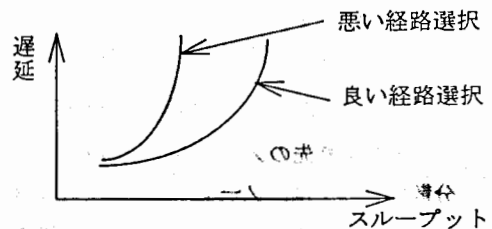


図2. 遅延・スループット曲線

図2は, スループットと遅延の関係を表したものであり, 次式のような関数で近似できる.

$$f(x) = k \cdot e^{ax} \quad (a > 0, k > 0) \dots (1)$$

ここで x はパケット数 (個) であり, $f(x)$ は, 転送されているパケット数に応じた通信時間の遅延を表している [1][2].

4. 集中型管理と分散型管理

4.1 集中型管理での遅延の求め方

集中型管理は、ネットワーク上のすべての通信経路やパケットの転送状況を把握しているため経路選択をする際に、その時点では最適な経路を求めることができる。しかし、ネットワークが大きくなるにつれ、ネットワーク全体を管理するために膨大な情報を受け渡しするため、その情報が混雑を引き起こしたり、新たな通信路が必要になるといった欠点がある。

各ノード間の通信時間はネットワークの混雑具合、つまりパケットの数に影響される。パケットがノード i に到着したときの各ノード間の通信時間が、次のような関数となるネットワークを仮定する。

パケットがなかった場合の隣接ノード i, j 間の通信時間を t_{ij} (ミリ秒) とし、 x_{ij} を平均パケット数 (個/ミリ秒) とすると (1) 式より、

$$f_{ij}(x_{ij}) = t_{ij} \cdot e^{ax_{ij}} \quad (a > 0) \quad \dots (2)$$

となり、 $f_{ij}(x_{ij})$ がノード i, j 間の通信時間となる。

4.2 分散型管理での遅延の求め方

分散型管理は、各ノードが隣接しているノードと経路などの情報の受け渡しを行い、その情報をもとに便宜上の最短経路を選択する。ノード間でやりとりする情報は少ないが、ネットワークの部分的な情報しかないため有利な経路選択ができないことがある。

① ノード i から隣接したノード j までの通信時間

隣接ノード間の情報は持っているため、 i, j 間の通信時間の求め方は、(2) 式と同じである。

② ノード i の隣接ノード j からもう 1 つ先のノード k までの通信時間

ノード i 上でのノード j, k 間の通信時間は、ノード j でのパケットの到着 (送信) 時間間隔から求める。ノード j からノード k へむかうパケット P のノード j に到着した時刻を t_p 、パケット P の 1 つ前に到着したパケット $P-1$ の到着時刻を t_{p-1} としたとき、移動平均法により、平均パケット数 x_{jk} は、

$$x_{jk} = \frac{x_{jk} + \frac{1}{t_p - t_{p-1}}}{2} \quad \dots (3)$$

としてパケットが到着する毎に求め直す。この x_{jk} を (2) 式に代入してノード j, k 間の通信時間を求める。

③ ノード k より先のノード間の通信時間

分散型管理では、ノード i 上ではノード k より先のノード間などについてのトラフィック情報が得られておらず、通信時間はすべて一定の値として計算する。

5. 数値例

右の図 4 のようなノード番号 1 ~ 6 のネットワークを考える。ここで、リンク (辺) に付けてある数字は、両ノード間のパケットが転送されていない場合での通信時間 (ミリ秒) である。

始点 1 から終点 6 まで断続的に転送要求された場合を考える。5 個のパケットを等間隔で 0.4 ミリ秒ごとに送信

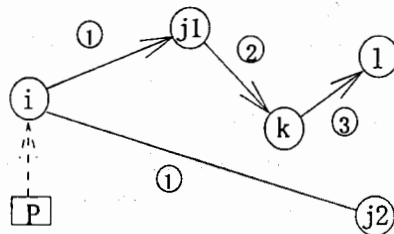


図 3. 分散型アルゴリズムの遅延の求め方

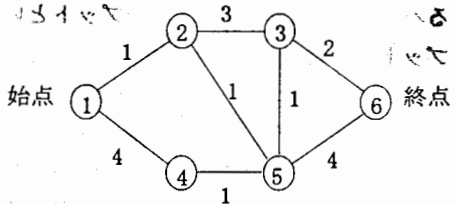


図 4. ネットワークモデル

させる。(2)式で、 $a=1/3$ として遅延を集中型アルゴリズムと分散型アルゴリズムを用いて経路選択した場合のパケットの通信経路と通信時間をみる。

パケットが送信されていない状態での最短経路と通信時間は次のようになる。

始点 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow$ 終点 6 5.00 ミ秒

表1. 数値例の結果

	集中型アルゴリズム		分散型アルゴリズム	
	通信経路	通信時間(ミ秒)	通信経路	通信時間(ミ秒)
パケット1	$1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 6$	5.00	$1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 6$	5.00
パケット2	$1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 6$	6.60	$1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 6$	6.60
パケット3	$1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 6$	7.35	$1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 6$	7.55
パケット4	$1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 6$	7.70	$1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 6$	8.80
パケット5	$1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 6$	8.32	$1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 6$	9.62

表1に示すように、各ノードで最適な経路を選択できる集中型アルゴリズムと隣接ノードまでの情報しか得られていない分散型アルゴリズムとで通信時間が異なった。パケットが送信されるにつれて通信時間と通信経路が異なってきているので、パケットの個数を増やすとさらに差が出ることが予想される。

6. 経路選択アルゴリズム

6.1 集中型べき乗法 (Bellman Ford) のアルゴリズム

べき乗法のアルゴリズムの考え方は、たかだか1つの辺を含むような最短経路を求め、次にたかだか2つの辺を含む最短経路と、順に求めていく。辺の数が h の条件で求めた最短経路は、辺の数 h 以下の条件での最短経路と考えることができる。

$D_i^{(h)}$ を頂点1から頂点 i までの辺の数 h 以下の最短経路とする。ここではすべての h に対して $D_i^{(0)} = 0$ とする。すると、べき乗法のアルゴリズムは以下ようになる。

初期値として、

$$D_i^{(0)} = \infty \quad (\text{すべての } i \neq 1 \text{ について})$$

引き続き $h \geq 0$ のそれぞれについて、

$$D_i^{(h+1)} = \min_{j \in N(i)} [D_j^{(h)} + d_{ji}] \quad (\text{すべての } i \neq 1 \text{ について})$$

$N(i)$ は、ノード i の隣接ノードの集合である。経路は最大 $N-1$ 個 (N はノードの数) であり、アルゴリズムは最大 $N-1$ 回まで繰り返される。

6.2 分散型べき乗法のアルゴリズム

分散型べき乗法は、集中型べき乗法と遅延を求める点で異なっているが、経路を求める手順は同じである。アルゴリズムは、次式で与えられる。

$$D_i = \min_{j \in N(i)} [D_j + d_{ji}]$$

ここで、 $j \in N(i)$ である隣接ノード j から受け取った最新の見積値 D_j とノード j からの出力経路の最新の状態を用いる。また、それぞれのノード i が最新の見積値 D_i をすべての隣接ノードに随時おくる必要がある。

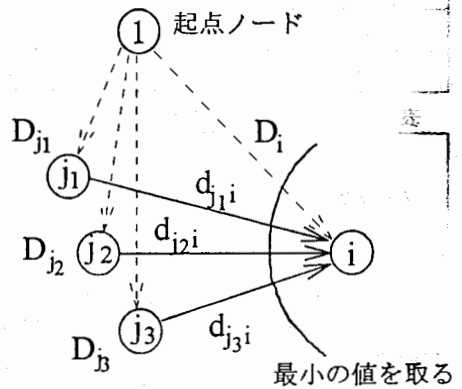


図5. べき乗法

7. シミュレーション

平均的な通信とバースト転送のある通信の場合に対し、経路選択アルゴリズムに対する影響を見るために、シミュレーションを行った。

実際の通信では、パケットどうしが関連していることが多いため、バースト転送を引き起こす。そこで、バースト転送を実現させるため、右の図6のようにパケット1は3個の群、パケット2は2個の群というようにパケットを何個かの群からなっていると考え、發送時間間隔を指数分布に従わせ同じ始点から終点まで同時に發送する。このようにしてバースト転送を実現し、通信量に対するアルゴリズムへの影響を考察する。

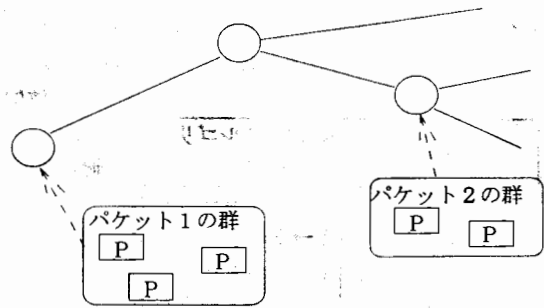


図6. バースト転送を起こすパケットの発生方法

ノード数 20, 40, $a = 1/10$ とし、パケットは1000個転送し、全パケットの始点から終点までの通信時間と通信経路数（始点と終点を含む）の平均をとり、表2, 3に示した。

表2. バースト転送のない通信網でのパケット1個あたりの平均通信経路数と平均通信時間

ノード数	集中型アルゴリズム		分散型アルゴリズム	
	平均通信時間(μ秒)	平均通信経路数(個)	平均通信時間(μ秒)	平均通信経路数(個)
20	166.41	2.70	328.85	4.51
40	154.17	2.62	253.18	6.36

表3. バースト転送のある通信網でのパケット1個あたりの平均通信経路数と平均通信時間

ノード数	集中型アルゴリズム		分散型アルゴリズム	
	平均通信時間(μ秒)	平均通信経路数(個)	平均通信時間(μ秒)	平均通信経路数(個)
20	191.91	3.27	397.65	5.99
40	168.57	3.27	364.41	9.15

以上より、集中型アルゴリズムの方が分散型アルゴリズムよりも平均通信経路数が少なく、平均通信時間もバースト転送のない通信網では分散型の1/2程度、バースト転送のある通信網では1/2以下という結果が得られた。これは経路選択アルゴリズムがバースト転送を考慮して作られていないため、大きな影響を受けたと考えられる。

8. 終わりに

本研究では、バースト転送による集中型アルゴリズムと分散型アルゴリズムへの影響を調べた結果、集中型の方が分散型より良い結果が得られた。しかし、現実では、大規模なネットワークを集中管理する事は不可能であり、分散して管理しなければならない。バースト転送時に効率的に動作する分散型アルゴリズムの開発が望まれる。今後の課題としては、スループットと遅延の関係やネットワークの構造などを、より実際のネットワークに合うように近づけてゆくことである。

参考文献

- [1] Dimitori Bertsekas, Robert Gallager,
八星 禮剛 監訳：“データネットワーク”，オーム社，1990.
- [2] 西田 竹志：“TCP/IP”，ソフトリサーチ・センター，1989.