

### 3A-3 経路法に基づくネットワークの遅延ジッタ解析方法

丸山 純人<sup>1</sup>      今井 博英<sup>2</sup>      角山 正博<sup>3</sup>      牧野 秀夫<sup>2</sup>

新潟大学大学院自然科学研究科<sup>1</sup>      新潟大学自然科学系<sup>2</sup>      新潟工科大学<sup>3</sup>

#### 1 背景・目的

インターネットをはじめとするネットワークが複雑化、大規模化しており、ネットワークを用いた種々の通信サービスの発展に伴ってサービスの種類も多様化している。例えば医療情報のリアルタイム通信などネットワークに高い品質と高い信頼度を要求するサービスも実現されつつある。このようなシステムを実現するためには、予めシステムの性能を評価しておくことが重要になる。

性能評価方法としては実測やシミュレーション、モデルに基づく解析などがあるがそれぞれ問題がある。実測では多くの費用が必要となり、シミュレーションでは作成や実行に長い時間が必要となる。またモデルに基づく方法では状態爆発などの問題がある。例えば複数台のホストからなるシステムを解析する場合、ホストを1台ずつモデル化すると、その台数に対して指数関数的に状態数が増加し状態爆発が発生する。

本研究ではGSPNを用いてモデル化されたシステムの状態遷移に着目し、状態遷移の系列即ち経路に基づいて平均伝送遅延時間及びジッタを導出する方法を提案する。最後にモデルから得られた結果をシミュレーションによる結果と比較して本手法の妥当性を示す。

#### 2 対象とするシステム

本研究では図1のようなイーサネットによって接続されているシステムを対象とする。この時、ネットワークの代表的なホストに着目してモデル化を行ない、このホストをタグ付きホスト (Tagged Host) と呼ぶ。また、それ以外のホストをまとめてOtherHostとしてモデル化を行う [1]。

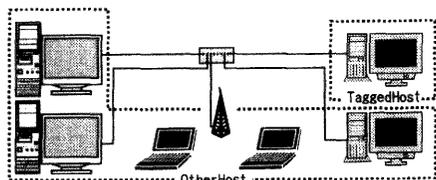


図1 対象とするシステム

#### 3 GSPN(一般化確率ペトリネット)

ペトリネットはプレース、トランジション、トークン及びアークからなる。各プレースにトークンを割り当てることをマーキングといい、発火条件を満たすトランジションが発火しマーキングが変化することによってシステムの動作が表現される。解析は、初期マーキングから遷移可能な全てのマーキングを要素に持つ可達グラフを集約することによって得られるマルコフ連鎖の状態遷移図を用いて行なわれる。

#### 4 システムのモデル化

作成したモデルを図2に示す。システム中の代表的なホストをモデル化した部分を TaggedHost 部分、他のホストをまとめてモデル化した部分を OtherHost 部分で表している。モデルの解析にはペトリネット解析ツール TimeNET[1]を使用している。

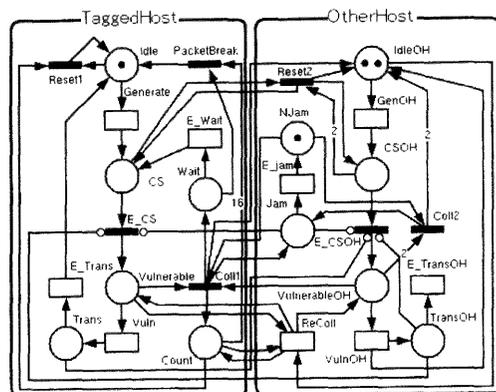


図2 GSPNを用いたネットワークのモデル

#### 4.1 経路法

マルコフ連鎖における、ある状態から他の状態への遷移の過程を経路という。マルコフ連鎖に基づいてフレームの送信に成功した経路を求めることにより、平均伝送時間やジッタを求める方法を経路法と呼び、このモデルに適用した場合を次に説明する。

図中の Idle にトークンが存在する状態の集合を  $M(Idle)$ 、Trans にトークンが存在し Count のトークン数が  $x(\geq 0)$  である状態の集合を  $M(T_x)$ 、Wait にトークンが存在し Count のトークン数が  $y(> 0)$  である状態の集合を  $M(W_y)$  とする。始点と終点の両方が  $M(Idle)$  中の状態であり  $M(T_x)$  中の状態を最低一度は通る経路がフレームの送信に成功した経路である。経路  $n$  中の各状態の滞在時間の和を  $D_n$ 、その2乗和を  $Dd_n$ 、経路  $n$  を通る確率を  $P_n$ 、経路の集合を  $R$  とすると平均伝送遅延時間  $D$  及びジッタ  $J$  は以下の式から求められる。

$$D = \frac{\sum_{n \in R} D_n \cdot P_n}{\sum_{n \in R} P_n} \quad (1)$$

$$J = \sqrt{\frac{\sum_{n \in R} (Dd_n + D_n^2) \cdot P_n}{\sum_{n \in R} P_n} - D^2} \quad (2)$$

#### 4.1.1 経路の分割

経路を導出する時間を削減するために経路を分割する。例えば図3の場合状態  $M_a$  から  $M_c$  への経路は  $X \cdot Y$  通り存在する。そこで  $M_b$  で経路を分割する。最初に  $M_a$  から  $M_b$  への経路を導出し、 $M_b$  へ遷移する確率及び時間を導出する。次に  $M_b$  から  $M_c$  への経路を導出する。この方法により導出に必要な経路は  $X + Y$  通りとなり、高速に解析を行うことが可能になる。

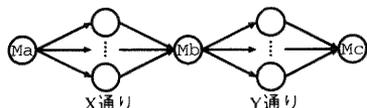


図3 状態遷移図1

#### 4.1.2 ループ処理

経路中には図4に示すように、同一の状態に再び遷移する部分経路が存在する場合があります、これをループと呼ぶ。図4の経路において、状態  $M_b$  から他の状態に遷移し再び  $M_b$  に戻るとき、経路の通り方は無限に存在する。このような場合には級数を用いて経路を通る確率及び滞在時間を求める。

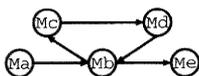


図4 状態遷移図2

### 5 実行結果

#### 5.1 解析条件

ここでは伝送速度10Mbps、平均フレーム長407byte、ホスト数が200台である場合について解析を行った。

#### 5.2 スループット

本手法とシミュレーションによって得られたスループットを図5に示す。総トラフィック量が増加すると共にスループットも上昇するが、衝突確率が高くなるためスループットの増加が抑えられている。本手法における値はシミュレーションによるものよりも最大約10%高い値となっている。

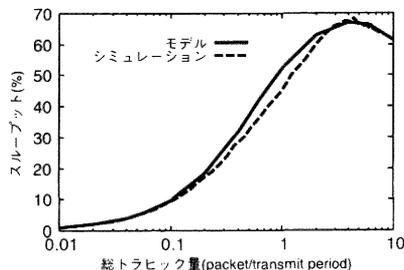


図5 スループット

#### 5.3 平均伝送遅延時間

本手法とシミュレーションの平均伝送遅延時間について比較した結果を図6に示す。総トラフィック量の増加と共に再送待ちやCS待ち時間が増えるため、平均伝送遅延時間も増加している。高トラフィック時にはシ

ミュレーションの方が大きな値が得られている。これはモデルではOtherHost側での再送待ち状態を近似しているため、再送回数毎の送信成功確率が実際とは異なっていることによるものと考えている。

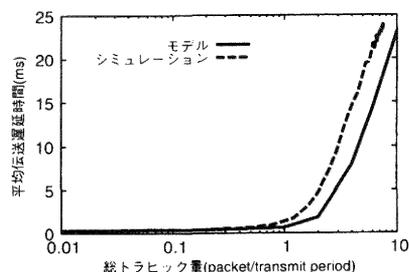


図6 平均伝送遅延時間

#### 5.4 ジッタ

本手法とシミュレーションのジッタについて比較した結果を図7に示す。平均伝送遅延時間と同じような傾向を示しており、これも再送回数毎の送信成功確率の違いによるものと考えている。

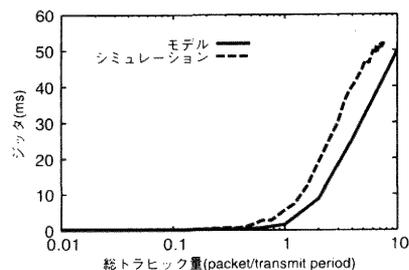


図7 ジッタ

### 6 まとめ

コンピュータシステムの一部を構成しているイーサネット部分をGSPNでモデル化し、経路法に基づいてスループット、平均伝送遅延時間及びジッタを導出する方法を示した。また経路を分割しループ処理を行うことによって、解析を容易にする方法を示した。今後は送信成功確率の近似の精度を上げると共に、ネットワークを構成している他の部分のモデル化を行い、より複雑なシステムの解析を行う予定である。

#### 参考文献

- [1] Koutarou Kumagai, Masahiro Tsunoyama, Hiroei Imai, Ikuo Ishii, "An Evaluation Method for Network Systems Based on Delay Jitter Analysis," Proc. of The EC-VIP-MC 2003, pp.569-574, July, 2003.
- [2] 丸山 純人, 角山 正博, 今井博英, 石井 郁夫, "GSPNを用いたネットワークの遅延ジッタ解析方法," 第51回FTC研究会, 2004.