

パスベースなロスパターンによるパケットロスの実験的分析

中嶋 卓雄*, 小島 俊輔†

E-mail: *taku@ktmail.ktokai-u.ac.jp, †oshima@as.yatsushiro-nct.ap.jp

本研究では、パスベースなアクティブ計測によりトラフィックデータを収集し、そのロスのパターンを実験的に分析することによりノードの特徴を抽出するネットワーク評価手法を提案する。ロスのパターンとして、あるノードの前後のノードを含む3点間のノードにおけるロスの状態を表す8パターンに基づいて分析する。実験では、まず、End ノードに対する妥当なパスを決め、そのパスに含まれるすべてのノードへ ICMP TIMESTAMP メッセージを送信することによりパケットロスを測定した。収集したデータを連続するノードにおけるパケットロスのパターンに分類し分析することにより、ロスに対して回復力を持つノード、パスの中でロスが連続して発生しやすいノードなどを抽出することができた。

Path Based Experimental Analysis of Packet Loss based on Loss Patterns

*Takuo Nakashima, †Syunsuke Oshima

In this paper, we propose a path based IP performance evaluation method and packet loss analysis using packet loss patterns to extract node characters. This method is active measurement method and sends ICMP TIMESTAMP message to remote nodes through the path. Our analysis uses eight loss patterns between three sequential nodes on the same path. We can extract some characteristic nodes which can recover the packet loss sequence and which tend to loss caused by the previous loss.

1 はじめに

インターネットのトラフィックを理論的に解析する時、IP ネットワークにおけるパケットの到着をポアソン過程に基づきモデル化したり [1]、LAN トラフィックに限定して自己相似 (self-similar) な特徴を抽出するなどの研究 [2] が行われてきた。しかし、インターネットが大規模・複雑になるにつれて、従来の統計モデルで挙動を表すことが困難になってきている。

このような IP ネットワークの挙動を計測・評価する手法として、パッシブ計測 (Passive Measurement) とアクティブ計測 (Active Measurement) が

ある。パッシブ計測では、あるノードを通過するパケットフローを解析する手法であり、IETF の IP-FIX (IP Flow Information Export) WG の活動で IP フロー情報の抽出と解析が検討されている。また、IPPM (IP Performance Metrics) WG においては、アクティブ計測に基づきパケットを送出しその挙動を評価する手法およびその指標などが議論されている [3]。本研究では、IP ネットワークの挙動および複数のノード間の関係性などに基づく特徴抽出に注目しており、アクティブ計測による評価手法を採用している。

トラフィック解析とネットワークの特徴抽出の手法を検討する場合に、ACM SIGCOMM によって公

*九州東海大学 (Kyushu Tokai University)

†八代工業高等専門学校 (Yatsushiro National College of Technology)

開されているデータ [4] により手法を比較することも有効であるが、公開されているデータは現状でトラフィックのパスに基づいた詳細データはなく、本研究では独自にデータを収集した。また、IPPM ではパケットの行きおよび帰りの経路変動を含む挙動を分離するため、一方向のパフォーマンス評価が議論されているが [5][6]、本研究では、広範囲な経路のデータを収集可能な双方向のアクティブ計測とする。

アクティブ計測として、End-End間の挙動やTCPとアプリケーションとの関係などを考察する場合には、TCPヘッダの情報を解析する必要があるためTCPパケットが適当である。しかし、本研究ではインターネットを構成するノード間でのパケットの流れに基づくノードの特徴を解析したいのでICMPパケットを利用する。また、今回はロスを考察の対象としているが、遅延も解析対象として考慮するためICMP TIMESTAMPメッセージにより実験的な評価を行う。2章では、提案する評価手法について述べ、3章では、具体的に実験を行った環境およびデータの解析結果について述べ、評価手法の妥当性について考察する。

2 提案する評価手法と評価指標

アクティブ計測にも特定のEndホストを対象したり、ネットワーク上のノードを対象とする場合があるが、本研究では、単にネットワークの隣接するノードではなく、パケットが流れる一連のパス上のノードを計測対象とする。以下では、それらのノードへのパケット送信パターンと、その結果得られたロスの分析手法について述べ、そのロスのパターンに基づく評価指標を提案する。

2.1 評価手法

2.1.1 計測パケット送信パターン

図1に計測パケットを送信する時の時間的パターンを示す。縦軸方向に経緯する時間を、横軸方向にパスとパス上にあるノードを示す。ほぼ同時(1msec以内)に特定のパス上にあるすべてのノードに対してパケットを送信する。一定間隔を空けた後、同様にパケット群(以下ではグループと呼ぶ)を送信し、それを繰り返す。

本研究では、この一連のパケット群をほぼ同時に送信していることから、パケット群が一つのパケットの挙動を表していると仮定し、特定のパス上のどのノードでパケットがロスしたか否かを評価をする。

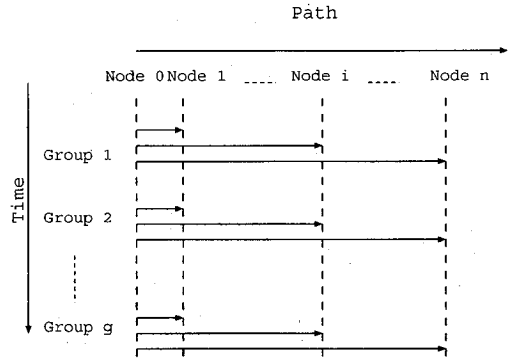


図1. 計測パケット送信パターン

2.1.2 パケットロスパターン

今までの研究で、ロスの評価についてはノード特徴ベクトルにより定式化し、2つのベクトル演算による2ノード間の関係性について検討してきた [7]. ロスの分散とパス上の遅延との関係、特定のノードと同じパス上の他のノードとのロスの関係性などについて検討してきたが、ロスについては、特に前後のノードとの関連が強いことから、今回は同じパス上の連続する3ノード間のパターンについて考察した。

	node		
	i-1	i	i+1
pattern 1	○	○	○
pattern 2	○	○	×
pattern 3	○	×	○
pattern 4	○	×	×
pattern 5	×	○	○
pattern 6	×	○	×
pattern 7	×	×	○
pattern 8	×	×	×

× : packet loss

図2 3点間のパケットロスパターン

ロスの評価については、図2に示すようにパス上の3つの連続するノードについてロスのパターンを分類し、ノード*i*を中心にして次のように解釈する。

pattern 1 安定な状況を表している。

pattern 2 ノード $i+1$ から不安定になるが、ノード i では安定している。

pattern 3 ノード i における一時的なロスを表し、ノード $i+1$ から安定さを取り戻していることから、ボトルネックとなる可能性がある。

pattern 4 ノード i から始まる連続するロスを表し、ノード i による影響または、ノード i および $i+1$ において、連続してロスが発生している状況を表している。

pattern 5 ロスが $i-1$ において発生しても、ノード i 、およびそれ以降において回復しているため、ノード i がロスに対する回復力を持つと考える。

pattern 6 pattern 5 と同様に、ノード i におけるロスの回復を表し、 $i+1$ においてロスが発生していることから、より強固な回復力を持つと考える。

pattern 7 連続するロスの最後のノードを表し、このノードまでボトルネックが継続している可能性がある。

pattern 8 前方からロスが継続し、ボトルネックの途中である可能性がある。

2.2 評価指標

前述した3点間のロスのパターンに基づき、以下のような指標を考える。ただし、(pattern i)により、そのパターンが発生した個数を表す。

2.2.1 パス依存性

(pattern 4) + (pattern 8) を、ノード i からロスが連続する可能性を表す場合の数と考えることができ、(pattern 7) + (pattern 8) を、ノード i までロスが連続した可能性を表す場合の数と考えることができるので、この2つの関係により、パスの方向性に対する依存関係と見なすことができる。

2.2.2 ノード回復力

(pattern 5) + (pattern 6) を、ノード $i-1$ までロスが発生したが、ノード i においてロスがなくなり、回復した可能性を表す場合の数と考えることができ、逆に、(pattern 3) + (pattern 4) を、ノード $i-1$ までロスがなく、ノード i に来てロスが発生した可能性を表す場合の数と考えることができるので、この2つの関係により、ノード i においてロスに対する回復する強さ、および脆弱さを表すと見なすことができる。

2.2.3 ボトルネック End ノード

ロスの連続性がボトルネックの途中を表すと解釈すると、(pattern 7) + (pattern 8) と、(pattern 5) + (pattern 6) の関係により、ノードが回復力を持つのか、それともボトルネックに近い状況を継続しているのか、についての関係を表すと見なすことができる。

2.2.4 ボトルネック Start ノード

同様に、ロスの連続性を解釈すると、(pattern 7) + (pattern 8) と、(pattern 3) + (pattern 4) の関係により、ノード i から始まっているのか、それともボトルネックの中間に近い状況を継続しているのかについての関係を表すと見なすことができる。

3 実装と評価

3.1 実装プログラム

プラットフォームとしてFreeBSD-4.X上に、ICMP TIMESTAMPを送信するアプリケーションを実装した。図3にICMP TIMESTAMP[8]のケットシーケンスを示す。まず、計測ノードからICMP TIMESTAMP フィールドの送信元タイムスタンプ (Originate Timestamp) フィールドに現時刻を打刻し、計測されるリモートノードへメッセージを送信する。リモートノードでは、TIMESTAMP メッセージを受信した段階でその時刻を受信タイムスタンプ (Receive Timestamp) フィールドに打刻し、ICMP TIMESTAMP REPLY メッセージとして構成しなおし、送信する直前に伝送タイムスタンプ (Transmit Timestamp) を刻印し、計測ノードへメッセージを返信する。計測ノードではICMP TIMESTAMP REPLY

メッセージを受信した段階でローカル時刻を求めれば4箇所の時刻情報を得ることができる。

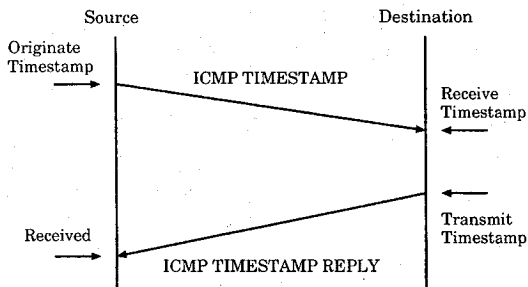


図3 ICMP TIMESTAMP パケットシーケンス

3.2 計測実験

計測実験は次のような手順により行った。まず、送信元は熊本大学内のノードに限定し、End ノードに関しては国内および国際回線、および異なる回線を利用するノードを複数抽出した。送信元ノードについてはNTPをstratum 1として動作させ、絶対時刻との誤差を極力取り除いた。次に、End ノードに対して数度に渡ってtraceroetによって経路を調べ、ほとんど変化しないと思われる経路を計測パスとして抽出した。その後、その計測パスを構成する各ノードに対して、前述した計測パケットと送信パターンによりパケットを送信しデータを収集した。

計測パケットのサイズはネットワークへの負荷を最小にするため、サイズを40[byte]とし、送信パターンは、まずパス上のすべてのノードへ1[msec]以内にパケットを送信し、グループ間の先頭パケットの間隔を200[msec]とし、2000回のグループ送信を行った。その計測実験を異なる時間、異なる曜日について、数度に渡って計測した。対象エリアを変えて2度実験を行い、実験Iでは、全13パス(その内、海外を含むパスは2パス)、および全ノード数は170ノード(内訳は国内が150ノード、海外が20ノード)、実験IIでは、全体で21パス、242ノードについて実験を行った。

3.3 方向性と経路変動に関する仮定

経路の動的な変動に関して、TTL(Time To Live)を変化させながら、ある特定の経路について変動を検出し安定性を評価する試みも行われているが[9]、

TTLを決め対象となるノードへアクティブパケットを送出した場合においても、同じTTLで同じノードであっても、途中の経路は異なる可能性があることを考えると、全体として経路の動的な変動は誤差として考察することにした。

ロスに関しては、例えば、単一のICMPパケットであれば、ネットワーク上のどのノードで、さらには行きまたは帰りのどちらの方向で、ロスが発生したのかを判定することはできない。しかし、本研究では、ほぼ同時に送信させたパケットのグループを構成し、それらを1つのパケットと見なすことにより、行き方向の経路でロスが発生したと仮定する。行き方向に限定した視点を取るのには、帰り方向の経路では、パケットの間隔も分散化し、健全なネットワークであればロスの発生は少なく、相対的にロスが発生しにくい状況になっていると考えたからである。

経路の動的な変動により、実験段階において当初選択した計測パスと異なる経路を通ったり、あるEndノードへの経路としては、計測パス上の中間ノードを通らない可能性や、計測パスの隣接関係が実際には成立していない可能性もあるが、選択した計測パスはEndノードまでの妥当な経路と仮定し、提案した計測手法は経路パス上の一連のノード間の特性などを評価できると考える。

3.4 評価

以下では、提案する評価指標の座標軸について、パターンの部分和に相当する総数が10以下のノードのについては、どちらも0に近い値を示すのみなので、表示を省略した。

3.4.1 パス依存性

図4に(pattern4)+(pattern8)と(pattern7)+(pattern8)の関係を示す。ほとんどのノードはほぼ同数の値を取り、データが流れるパスの方向に従ってロスも前方からの影響と後方への影響が同程度と考えられる。また、(pattern4)+(pattern8)の値が比較的大きなノードは、そのノードから後方へロスが伝わる傾向が多いと見なすことができる。

そのノードは、具体的には計測パスの中で一時的に遅延がかなり大きな値をとるノードであり、実際はそのノードでロスをしているか、またはそのノードからロスが後方に伝わっていると思われる。

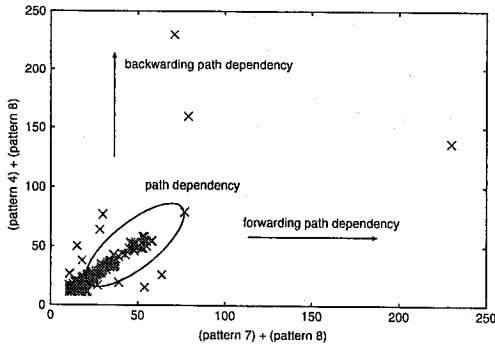


図4 ロスのパス依存性

3.4.2 ノード回復力

図5に (pattern 5) + (pattern 6) と (pattern 3) + (pattern 4) の関係を示す。大部分はロスの発生が終り、そのノードから回復する場合の数と、そのノードからロスが発生する場合の数が同等であるが、一部のノードでは、大きな差が発生している。(pattern 5) + (pattern 6) が大きなノードは、そのノードから前方で発生したロスが止まっていることから、ロスに対する回復力があると見なすことができ、逆に (pattern 3) + (pattern 4) が大きなノードは、ロスの回復には脆弱で、新たにロスが発生させる傾向が多いノードと見なすことができる。

具体的には、回復力を持つノードは2つのプロバイダ間の中で相互に交換するノードであり、プロバイダの出口で細くなった回線が別のプロバイダに入る前に一旦バッファとして回復している。また、新たにロスが発生させるノードは新たなプロバイダに入った直後の比較的狭い回線の部分で発生していると見なすことができた。

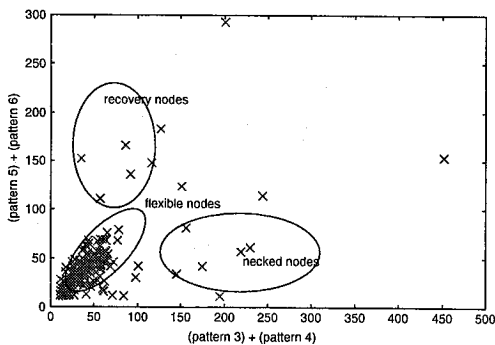


図5 ノード回復力

3.4.3 ボトルネック

図6に (pattern 7) + (pattern 8) と (pattern 5) + (pattern 6) の関係を示す。これは対象とするノードの前方においてロスが発生した場合の対象ノードでの振舞を示す。大部分のノードはロスが発生するかどうかはランダムに分散しているが、一部のノードはロスの発生が押えられ回復する傾向があると見なすことができる。

具体的には、前述した図5において新たにロスを発生させる要因と考えたノードが図6における回復ノードとなっていた。これは、図6が前方においてロスが発生する場合を特に注目してデータを抽出したためであり、全体としてロスが発生するノードにおいても、前方がロスした場合には、ロスを回復する場合もあることを示している。

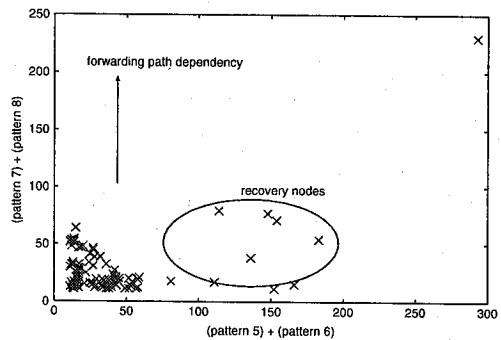


図6 ボトルネック End ノード

図7に (pattern 7) + (pattern 8) と (pattern 3) + (pattern 4) の関係を示す。これは対象とするノードにおいてロスが発生した場合における、対象ノードの前方のノードの振舞を示す。大部分の前方ノードはロスが発生するかどうかはランダムに分散しているが、一部の対象ノードからロスが発生する傾向があると見なすことができる。

具体的には、図5において新たにロスを発生させると見なしたノードが図7におけるボトルネックの開始ノードとなっていた。また、図5において、回復力のあるノードは計測タイミングによりロスが発生する場合もあり、そのノードもこのボトルネックの開始ノードとして含まれる場合もあることがわかった。

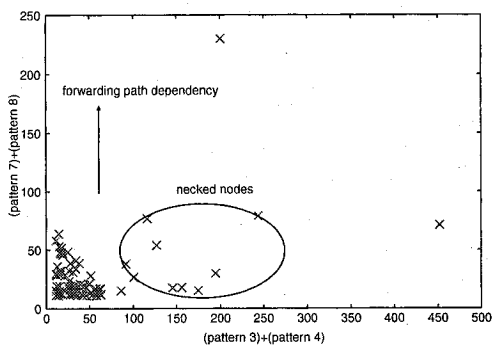


図7 ボトルネック Start ノード

4 おわりに

本研究では、1msec 以下という短い間隔のパケットをパス上に送信するアクティブ計測によって、パス上のノードにおけるロスの振舞いを分類し、ノードの特徴を抽出することができた。同じパス上の以前のロスから回復する傾向を持つノードや、以前のロスをそのまま継続する傾向が強いノードなど、実際のパス上のノードとして抽出することができた。今後は、広範囲なデータ収集を行い、遅延データとの関連性も考察し、ノードを特徴付けることによるネットワークのモデル化について考察していきたい。

参考文献

- [1] V.Frost and B.Melamed: Traffic Modeling for Telecommunications Networks, *IEEE Communications Magazine*, 32(3), pp.70-80, March(1994).
- [2] W.Leland, M.Taqq, W.Willinger and D.Wilson: On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic (Extended Version), *IEEE/ACM Trans.Networking*, Vol.2, No.1, pp.1-15, February(1994).
- [3] V. Paxson, G.Almes, J.Mahdavi and M.Mathis: Framework for IP Performance Metrics, *RFC2330*, May(1998).
- [4] The Internet Traffic Archive: <http://www.acm.org/sigs/sigcomm/ITA>(2002).
- [5] G. Almes, S. Kalidindi, M. Zekauskas: A One-way Delay Metric for IPPM, *RFC2679*, September(1999).
- [6] G. Almes, S. Kalidindi, M. Zekauskas: A One-way Packet Loss Metric for IPPM, *RFC2680*, September(1999).
- [7] 井原修一, 中嶋卓雄: パスベースな IP パフォーマンス評価手法の提案, 情報処理学会, マルチメディア通信と分散処理ワークショップ, pp.121-126(2000).
- [8] J.Postel: Internet Control Message Protocol, *RFC792*, September(1981).
- [9] V.Paxon: Measurements and Analysis of End-to-End Internet Dynamics, *Ph.D.dissertation*, U.C.Berkeley, <ftp://ftp.ee.lbl.gov/papers/vs-thesis/dis.ps.gz>(1997).