

ユーザの視点によるルーティングアルゴリズムの性能評価

2G-6

若林 一磨

種田 和正

(株)ATR 環境適応通信研究所

1. はじめに

近年、インターネット電話などストリーム系の利用要求が増加している。インターネットは、データ転送系での利用を想定しており、ルーティングアルゴリズムの性能も、平均遅延時間やスループットに基づいた指標で評価されてきた。筆者らは、ストリーム系には、ユーザの視点に基づいた評価指標が重要と考える。ユーザの視点から評価を行った結果、シミュレーション解析した結果と、違いがあることが分かったので報告する。

2. インターネット電話

インターネット電話は、図1の機能により構成される。

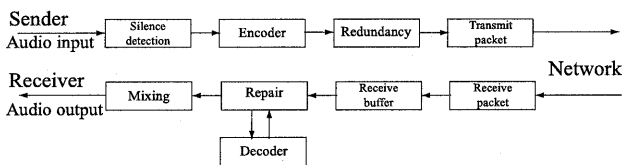


図1. インターネット電話の機能ブロック図。

Silence detection は、入力された音声を有音・無音部分に区別し、無音部分を取り除く。Encoder は、音声信号を符号化し、情報量を圧縮する。この2つの機能により、ネットワークへのパケット流入量を減じることができる。Redundancy で冗長な情報を追加しパケットにする。パケットヘッダーに連続番号と時刻印を記録して、送信する。受信したパケットは、Receive buffer にて番号順に並び替えられる。また到着間隔の揺らぎも吸収される。遅延の大きいパケットや転送中に紛失したパケットは、Repair にて2つの方法で復元される。(1) 冗長な情報より復元する Sender Based, (2) 紛失する直前の音声を繰り返す Receiver Based である。Decoder にてパケットを復号し、音声再生される。本稿では、インターネット電話として RAT[1]を用い、表1の条件で動作させる。

3. ネットワーク模擬装置(NER)

NER は、ユーザの視点でルーティングアルゴリズムの性能を評価するための装置である。これは、遅延発生ルータであり、インターネット電話が送信するパケットの転送を、任意の時間保留することで、評価用ネットワークを介した通信を模擬できる。パケット毎の保留時間は、インターネット電話が送信するトラフィック(以下、

実トラフィックと略す)を測定し、シミュレーション解析することで、模擬前に算出する。NER による転送処理は、保留時間に対し最大2msecの誤差が発生する。装置の構成と性能は文献[2]を参照。

3.1. 評価用ネットワークモデル

NER が模擬する評価用ネットワーク(以下、ネットワークと略す)は、ノードとリンクで構成される。インターネット電話が動作する計算機 E_1, E_2 は、ノード N_1, N_2 に接続される。ノードは、2本以上の双方向全二重1.5Mbpsのリンクで接続され、リンクには、伝搬遅延時間(msec)として4から20の整数が無作為に設定される(図2)。ノードは、入力装置と出力装置により構成される。それぞれ1つのキューを持ち、その容量は、入力キューは無限、出力キューは512KByteである(図3)。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ノードの入力キューに入る。入力装置は、パケットの宛先とルーティングテーブルを照合し、次ノードを決定する。次ノードへの出力キューに入ったパケットは、出力装置により転送される。宛先に到着したパケット及び出力キューから溢れたパケットは、ネットワークから消滅する。ネットワークには、定常的に表1の背景トラフィックが流入する。本稿では、ネットワークの種類を $RG(N, D)$ 、ネットワークの状況を $NW(N, D, \lambda)$ と表記する。ここで N は全ノード数、 D は1ノード当たりの平均リンク数、 λ は背景トラフィックの生起率である。

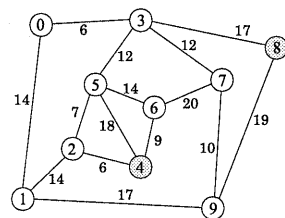


図2. ネットワーク $RG(10, 3)$ 。

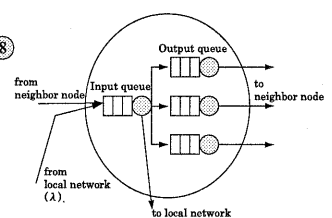


図3. ノード内処理。

ノード N_1, N_2 は、ネットワーク毎に次の条件で選定される。全ノードの集合を N_{all} とし、 $s, d \in N_{all}$ かつ $s < d$ を満たす全ての s, d の組み合わせで、伝搬遅延時間をコストとした最短経路 $R_{s,d}$ を求める。 $R_{s,d}$ のホップ数を $H_{s,d}$ 、コスト合計値を $P_{s,d}$ とする。 $H_{s,d}$ 及び $P_{s,d}$ が大きくなる $R_{s,d}$ の s, d を、それぞれ N_1, N_2 とする(表1)。 N_1, N_2 には、背景トラフィック及び実トラフィックが流入する。

3.2. ルーティングアルゴリズム

NER は、2種類のルーティングアルゴリズム ls-mp, AntNet の振る舞いをシミュレーション解析する。

ls-mp[3]は、リンクステート型ルーティングアルゴリズムで、マルチパスを用いる。AntNet[4]は、蟻に見立てたエージェントをネットワーク内に徘徊させることで、ルーティングテーブルを更新するアルゴリズムである。両方の性能を決める主要なパラメータとなる、情報交換間隔と蟻の送出間隔は、パケット紛失率及び平均遅延時間を小さくするようにチューニングした値とする。

4. シミュレーション結果

図4は、ネットワークに背景トラフィックを約100秒間流入させた時の、全パケットの平均遅延時間とパケット紛失率を縦軸に、トラフィック負荷を横軸としたグラフである。NW(10, 3, 0.8)では、AntNetはls-mpと比較し、平均遅延時間が1/8以下となる。また、ノード数が30に増加しても、AntNetはls-mpより平均遅延時間が小さい。ただしNW(30, 3, 0.8), NW(30, 3, 1.1)では、いずれのアルゴリズムを用いても、パケットの30%程度は出力キューから溢れて廃棄される。

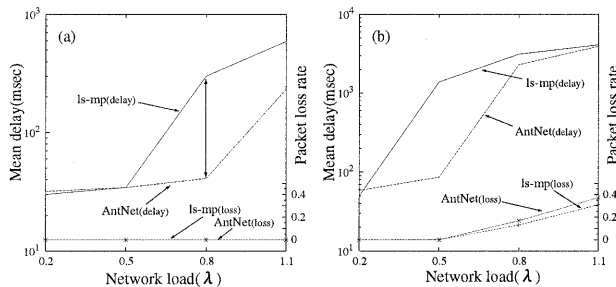


図4. 平均遅延時間とパケット紛失率。(a) RG(10, 3), (b) RG(30, 3).

図5は、NW(10, 3, 0.8)及びNW(10, 3, 1.1)に、実トラフィックを流入させ、N₁からN₂へ向かう音声パケットの遅延時間を縦軸に、パケット番号を横軸としたグラフである。音声パケットの遅延時間の平均と分散は、表2である。なおこの条件では、パケット紛失は発生していない。

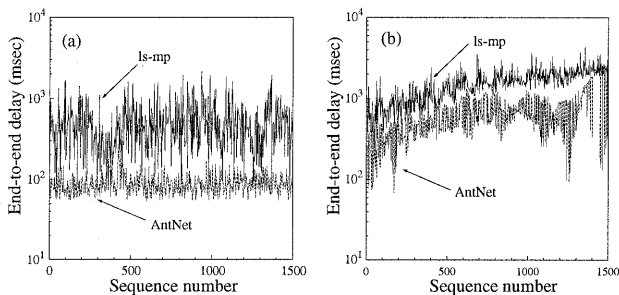


図5. 2ノード間の遅延変動。(a) NW(10, 3, 0.8), (b) NW(10, 3, 1.1).

5. 通話品質の評価指標

インターネット電話の通話品質は、了解度で評価する。了解度は、E₁から試験音声を送話したときに、E₂で被験者が正しく受聴できた割合である。試験音声として、10から99の整数で重複しない乱数35個を、1分間に発話

し録音する。試験音声は、被験者が記憶しないよう、10種類用意しランダムに再生する。被験者は5名であり、各NWで試験を3回実施し、NW毎の割合の平均値を用いる。

6. ユーザによる評価結果と考察

了解度試験を行った結果が図6である。横軸が背景トラフィック負荷で、縦軸が正答率である。NW(10, 3, 0.8)では、ls-mpとAntNetの了解度比率は、0.998:1であり、ユーザはその違いが認識できない。また、NW(10, 3, 1.1), NW(30, 3, 0.8), NW(30, 3, 1.1)では、ls-mpはAntNetより了解度が高い。従って、遅延時間の平均や分散を指標とした評価が、インターネット電話の了解度と一致しないことになる。これらの結果を踏まえて、今後は、パケット紛失に着目し分析を行う。また実時間性が要求される双方向通話にて、通話品質の評価を行い、ユーザの視点に基づいた性能評価指標の提案を目指す。

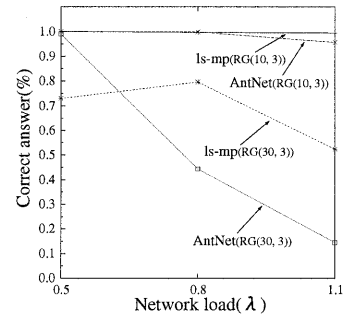


図6. 了解度試験結果。

表1. 模擬パラメータ。

RAT	無音部分の除去	OFF
	パケット化間隔	40msec
	符号化方式	PCM+DVI
	パケットの修復	Sender/Receiver Based
トラフィック	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
ネットワーク	RG(10, 3)	(N ₁ , N ₂ , H ₃ , P ₄) = (4, 8, 4, 42)
	RG(30, 3)	(N ₁ , N ₂ , H ₃ , P ₄) = (0, 22, 7, 72)

表2. 音声パケットの遅延時間。

アルゴリズム	Nw(10, 3, 0.8)		Nw(10, 3, 1.1)	
	平均	分散	平均	分散
ls-mp	510.9	106335.6	1554.9	377431.6
AntNet	89.5	650.9	693.7	221673.5

【参考文献】

- [1] V. Hardman, et al, "Successful multi-party audio communication over the internet," Communication of the ACM, 1998.
- [2] 若林, 種田, "ルーティングアルゴリズムの振る舞いを模擬するシステムの性能評価," 電子情報通信学会総合大会, 2000.
- [3] 若林, 種田, "ルーティングアルゴリズムの性能に関する一考察," 情報処理学会第59回全国大会, 1999.
- [4] G. D. Caro, et al, "Mobile Agents for Adaptive Routing," International Conference of Systems Sciences, 1998.