

マルチパスルーティングによる性能改善効果に関する研究

2001MT052 岸山 千智 2001MT054 小池 広幸 2001MT072 長島 丈恭

指導教員 石崎 文雄

1. はじめに

近年インターネットの普及にともなって、高速ネットワークにおける様々なアプリケーションが開発されてきた。その結果、ネットワーク帯域幅が不足し、トラヒックのあふれを引き起こすようになってきている。トラヒックのあふれを引き起こすようなアプリケーションをネットワークで効率良く支援するため、トラヒックを分散させる技術が研究されてきている[1][2][3][4]。そのような負荷分散技術の一つとしてマルチパスルーティングがある。マルチパスルーティングを使用することで、QoS(Quality-of-Service)保証を与えながら、帯域幅を有効に利用出来ることが期待できる。本研究においては、マルチパスルーティングの性能改善効果を、NS(Network Simulator2)を用いたシミュレーションにより研究する。シミュレーションにおいては、TCP/IP ネットワークにおいて、マルチパスルーティングが適用されたことを想定し、トランスポート層の影響も考慮する。特にマルチパスルーティングのTCPソース、UDPソースに対する性能改善効果を調べる[5][6]。シミュレーションは1つのものに対し20回行い、平均値および95%の信頼区間を求め、十分に信頼できるデータを取得する。

2. NS の特徴

本節ではNS についての説明をする。

2.1 NS について

Network Simulator[7]の略で、カリフォルニア大学バークレイ校で開発されたネットワーク研究のための離散イベント型シミュレータのことである。これを用いてローカル・広域ネットワークのシミュレーションプログラムを実行し、パケットネットワークにおけるトラヒックの流れを観測することができる。具体的には、仮想的なネットワークのキャンパスのようなもので、そのキャンパス上に、各種プロトコルを実装したノードを配置し、仮想的なリンクを張ることで、トラヒックを流すシミュレーションが可能である。

2.2 NS の構成

ここで大まかな NS の構成について記述する。

図 2.1 に示されるように、NS 本体によりシナリオファイルを読み込み実行する。シミュレーション結果のファイルが作成され、nam により視覚化される。

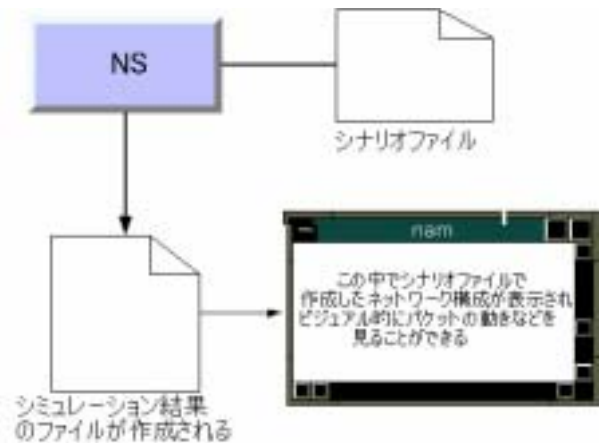


図 2.1 NS の構成

以下、それぞれの項目毎により詳しく説明する。

2.2.1 NS 本体

NS 本体は実行ファイルとして存在している。この NS を実行することでシミュレータを使うことができる。その前にシナリオファイルを作成しなければならない。

NS は C++ で記述されており、自前のアルゴリズムなど実装させることで拡張することができる。

2.2.2 シナリオファイル

NS でシミュレーションをするにはネットワーク構成などを記述しているシナリオファイルが必須となる。NS を実行するときに引数として与える。

シナリオファイルは TCL スクリプトで記述する。NS で使われる関数や変数は元より、スクリプトとしての TCL の機能も使えるので自由度の高いものが作れる。

2.2.3 シミュレーション結果

NS を実行するとその結果をファイルとして出力することができる。それにはあらかじめシナリオファイルにその旨を記述する必要がある。

2.2.4 nam

ネットワークアニメータのことである。nam は実行ファイルで nam の引数に nam 用のデータファイルを与えることで実行できる。nam 用のデータファイルを取得するには、シナリ

オフファイルに記述する必要がある。

3. 実験内容

本節では、NS を用いた実験の過程と結果、および考察を記す。

3.1 実験方法・リンクの設定

NS をシミュレータとして用いて、マルチパスルーティングの性能改善効果を調べる。この節のシミュレーションにおける結果について、図 3.1 に示されている TCP/IP ネットワークを考慮する。

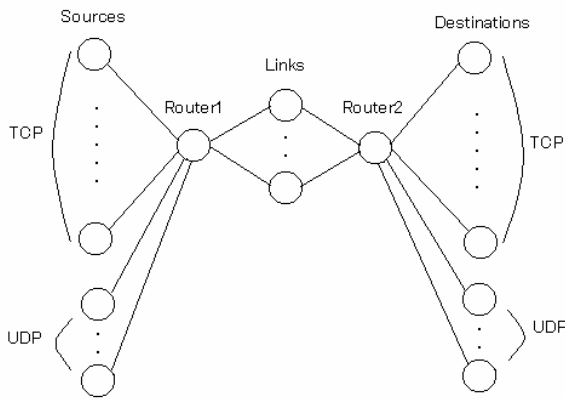


図 3.1 シミュレーションにおけるネットワークポロジ(一般形)

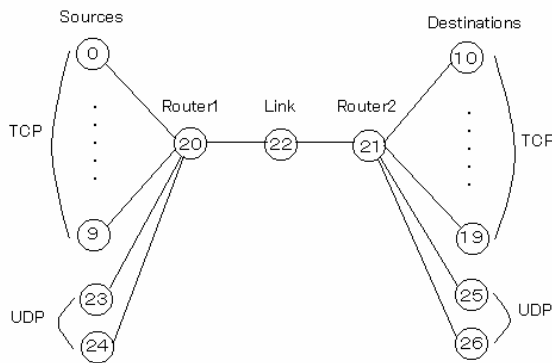


図 3.2 シミュレーションにおけるネットワークポロジ($d=1$ のとき)

シミュレーションにおいて次の 2 通りの場合のシナリオをプログラミングにより設定した。

3.1.1 実験その 1(リンクの帯域幅が均質な場合)

- 変数 d の値により Link, UDP, TCP のノード数が決まり、図 3.1 のような接続形態を取る。ただし、Link : UDP : TCP = 1 : 2 : 10 とする。(図 3.2 の場合 $d=1$) すなわち、 d はマルチパスルーティングにおいて使用されるパスの数を表す。
- ネットワークの中には Sources と Destinations があり、それぞれノード毎に対応している。(例えば、0 と 10、1 と 11 が対応する)
- 出発点である Sources ノードから Router1 までの帯域幅、また遅延時間は TCP も UDP もそれぞれ 100Mbps, 2.0msec で等しくする。
- Router2 から到着点である Destinations ノードまでの帯域幅、遅延時間は TCP も UDP もそれぞれ 100Mbps, 2.0msec で等しくする。
- Router1 と Router2 の間には Link があり、複数ある場合でも全て同種のものであり、リンクの帯域幅は 10Mbps, 遅延時間は 5.0msec で等しくする。
- シミュレーションの実行時間は、再生した 6 秒後から始まり、そこから 180 秒間とする。
- それぞれの UDP ソースは on-と off-の時間が指数分布に従う on-off ソースと考える。
- on-ピリオドと off-ピリオドの長さの平均をそれぞれ 0.02sec, 0.12sec に設定した。
- on-off ソースは on-ピリオドの間は 1.5Mbps でパケットを発生する。一方で off-ピリオドの時にはパケットを発生しない。

3.1.2 実験その 2(リンクの帯域幅が非均質な場合)

- リンクの帯域幅の合計は均質な場合と同じ値とする。ただし、リンクの遅延時間はすべて均質な場合と同じとする。
- それ以外の設定は、均質な場合と同じとする。

3.2 実験結果

シミュレーションを行い、次の項目の結果を出力した。

- パケットロス率
- スループット・グッドプット

パケットロス率とは、Sources から送信されたパケットが Destinations に届けられるまでに失われた率を示すものであり、

パケットロス率 = $\frac{\text{失ったパケット数}}{\text{送信されたパケット数}} \times 100$ 式で求められる。

スループットとは、単位時間内にノード間を通過したパケットのうち受信側まで正常に届いたパケット(によって運ばれたデータ)の総量である。

グッドプットとは、パケットロスによって引き起こされる再送を除いた TCP 層での実質的な転送速度のことである。

3.2.1 リンクの帯域幅が均質な場合の実験結果を示す。

d の値が 1, 2, 3, 4 のときのスループット・グッドプット・パケットロス率の 95%の信頼区間をそれぞれ表に示す。

95%の信頼区間とは、「何回も標本をとって信頼区間をいくつも求めると、それらの区間のうち95%は、確かにその中に母数が収まっている『的中した』区間である」というものである。

表 3.1 リンクの帯域幅が均質な場合のスループット・グッドプットの信頼区間

d	スループット (TCP)	グッドプット(TCP)	スループット (UDP)
1	[909.846,911.07]	[888.890,890.292]	[198.716,203.208]
2	[920.156,920.750]	[887.117,887.891]	[202.553,205.579]
3	[920.689,921.263]	[887.643,879.627]	[205.876,208.820]
4	[920.542,920.934]	[858.909,859.647]	[208.895,210.973]

表 3.2 リンクの帯域幅が均質な場合のパケットロス率の信頼区間

d	パケットロス率(TCP)	パケットロス率(UDP)
1	[3.432,3.462]	[7.032,7.224]
2	[2.301,2.323]	[5.493,5.699]
3	[1.902,1.920]	[3.995,4.155]
4	[1.511,1.533]	[2.786,2.884]

3.2.2 リンクの帯域幅が均質な場合の実験の考察

表 3.1 と表 3.2 を参照すると、マルチパスルーティングに使用されるパスの数が大きくなるほど TCP も UDP もパケットロス率が小さくなるのが分かった。UDP のスループットに関しても、マルチパスルーティングに使用されるパスの数が大きくなると、性能が改善されている。UDP のスループットとパケットロス率に関しては、TCP とは異なり、パケットを失っても再送されることはないの、同じものを別角度から見ていることとなる。つまり、スループットの性能が改善されれば、パケットロス率も改善される。逆にスループットの性能が悪化すれば、パケットロス率も悪化する。

また、TCP のスループットに関しては、マルチパスルーティングに使用されるパスの数が増え、この結果からすると性能改善はされていない。グッドプットに関しては、マルチパスルーティングに使用されるパスの数が大きくな

るほど、悪化している。信頼区間から、本実験で得たデータは十分信頼できる。

3.2.3 リンクの帯域幅が非均質な場合の実験結果を示す。

d の値が 2, 3, 4 のときのスループット・グッドプット・パケットロス率の 95%の信頼区間をそれぞれ表に示す。

表 3.3 リンクの帯域幅が非均質な場合の TCP のスループット・グッドプットの信頼区間

d	帯域幅	スループット (TCP)	グッドプット(TCP)
2	12,8	[742.424,742.924]	[577.851,579.963]
2	15,5	[458.928,459.470]	[366.812,367.364]
3	15,10,5	[456.286,456.756]	[357.398,357.940]
3	20,7,3	[275.33,275.838]	[221.112,221.532]
4	15,10,10,5	[490.940,491.388]	[411.28,411.732]
4	20,10,7,3	[319.384,319.810]	[274.664,275.100]

表 3.4 リンクの帯域幅が非均質な場合の UDP のスループットの信頼区間

d	帯域幅	スループット(UDP)
2	12,8	[207.093,210.133]
2	15,5	[200.508,203.706]
3	15,10,5	[208.464,211.352]
3	20,7,3	[203.158,205.886]
4	15,10,10,5	[205.560,207.586]
4	20,10,7,3	[198.989,200.905]

表 3.5 リンクの帯域幅が非均質な場合のパケットロス率の信頼区間

d	帯域幅	パケットロス率 (TCP)	パケットロス率 (UDP)
2	12,8	[1.596,1.620]	[3.475,3.563]
2	15,5	[3.050,3.156]	[6.486,6.732]
3	15,10,5	[1.466,1.498]	[2.798,2.928]
3	20,7,3	[3.821,3.853]	[5.117,5.423]
4	15,10,10,5	[2.932,2.954]	[4.368,4.436]
4	20,10,7,3	[5.902,5.932]	[7.379,7.479]

3.2.4 リンクの帯域幅が非均質な場合の実験の考察

表 3.3, 表 3.4, 表 3.5 を参照すると, 均質な場合と比べ, スループット・グッドプットの性能が低下している. パケットロス率に関しては, 帯域幅によって性能が向上する場合もあれば, 低下する場合もある. 帯域幅の比が大きいものほど, スループット・グッドプット・パケットロス率の性能の低下が顕著に見られる. 非均質な場合も, 均質な場合と同様, UDP のスループットとパケットロス率の値は, 同じものを別角度から見ているということが分かる.

$d=2$ で帯域幅が 12Mbps と 8Mbps のときのグッドプットと, UDP のスループットの信頼区間が広がっているが, 十分信頼できる.

4. 実験の考察のまとめ

本節では, 帯域幅が均質な場合と, 非均質な場合とをまとめた実験の考察をする.

均質な場合は, 総じてマルチパスルーティングに使われるパスの数が増えると性能が改善される.

均質な場合と非均質な場合を比べると, UDP のスループット・パケットロス率に関しては, リンクの帯域幅の比を小さくした際に性能が改善されたように見えるが, これは TCP の性能が劣化した分, UDP の値が向上しただけではないかと思われる. UDP のリンクの帯域幅の比を大きくすると明らかに性能が悪化するといえる.

TCP のスループットとグッドプットを比べると, スループットの方が, グッドプットより大きな値をとる. これは, スループットは受信側に到着した後, ロスしたパケットを値に含めるが, グッドプットは含めないからである. さらに, 均質な場合はスループットとグッドプットの値に 20 ~ 35kbps の差しか見られないが, 非均質な場合は 150kbps 以上の差が見られるところもある. このことから, 帯域幅が非均質であると, 到着後にパケットをロスするケースが多くなると考えられる. これは, 非均質であると, 帯域幅が小さい側の区間でトラフィックの渋滞が起こり, 送信されたパケットの到着する順番が入れ替わってしまうからである. さらに, トラフィックの渋滞によって受信側から送られてくる ACK の受信が遅れるため, 非均質の場合, 送信する予定であったパケットが送れず, 再送する回数も増えるため, TCP のスループット・グッドプットの性能の悪化が顕著に見られる.

5. まとめ

本節では, 本研究でのまとめを記す.

本研究では, NS を用いたシミュレーションにより, マルチパスルーティングによる性能改善効果について研究した. マルチパスルーティングに使用されるパスの数を多くすると, パケットロス率は改善されるが, グッドプットの性能が劣化する場合がある.

本研究の結果より, 信頼性・即時性を重視する場合, いずれにせよパスの数を増やし, リンクの帯域幅の比を均質なものにするとよいということが分かる.

マルチパスルーティングにより, ネットワークのパフォーマンス, および信頼性は大幅に向上させることが可能であ

る. さらに, マルチパスルーティングは複数のリンクをアクティブにできるため, ネットワーク障害からの迅速な復旧と UDP の性能を保证する. こうした特性を活かし, マルチパスルーティングをうまく利用することによってネットワーク技術は更なる飛躍を考えると考えられる.

参考文献

- [1] S. K. Biswas, R. Izmailov and B. Sengupta, "Connection splitting: an efficient way of reducing call blocking in ATM," *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol.8, pp.655-666, 2000.
- [2] E. Gustafsson and G. Karlsson, "A literature survey on traffic dispersion," *IEEE Network*, vol.11, no.2, p28-36, 1997.
- [3] H. Zlatokrilov and H. Levy, "Packet dispersion and the quality of voice over IP applications in IP networks," *Proc. of INFOCOM 2004*, 2004.
- [4] Ishizaki, "Performance improvement with traffic dispersion in packet networks" Technical Report of IEICE, 2004
- [5] 村山公保, 西田佳史, 尾家祐二: 岩波講座インターネット トランスポートプロトコル, 岩波書店(2001)
- [6] W.リチャード・スティーヴンス, 橘康雄, 井上尚司: 詳細 TCP/IP Vol.1 プロトコルピアソン・エデュケーション (2000)
- [7] The Network Simulator ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>