

非同期通信環境における連続データの QoS 保証に関する考察

5Bb-2

小倉 毅

三栄 武

丸山 充

高橋 直久

NTT ソフトウェア研究所

1 はじめに

分散環境で音声、画像などの連続データをリアルタイムに伝送する際の QoS 保証の一つとして、データの時間間隔を受信側で等しく再現すること（等時性の保証）が重要である [1]。しかし、一般の非同期な通信環境には遅延時間のゆらぎ（ジッタ）が存在し、このためにメディアの時間軸が乱れてしまうという問題がある。本稿では、等時性保証通信の観点から、実際の非同期通信環境において発生するジッタの測定実験をおこなった結果と、それによって得られた知見を述べる。

2 ジッタの発生にともなう問題

ジッタとは、遅延時間の期待値からのずれ、すなわち遅延時間のゆらぎをいい、ネットワークの伝送特性を評価するのに重要な指標の一つである [2]。ジッタの発生要因としては、

- 回線容量不足による遅延のばらつき
- 計算機上の負荷プロセスによる処理時間のばらつき
- ルータにおける負荷トラヒック、キャッシュミス、ロードバランス機能によるフォワード処理時間のばらつき

などがある。ジッタを許容するネットワークでは連続メディアの時間軸が乱れてしまうので、受信側でデータをバッファリングしてから再生することにより時間軸を補正しなければならない。しかし、ジッタが大きくなればなるほど多くのバッファ容量が必要となり、バッファリングのための時間も増大するためリアルタイム性を確保することが難しくなる。

3 ジッタの測定実験

3.1 概要

ジッタの値をその発生要因ごとに具体的に測定し、等時性保証通信の観点からみた QoS 保証の可能性を調べるため、以下のような測定実験を行なった。

ネットワークアナライザ から MPEG2 に相当する 6Mbps の一定スループットで UDP パケットを送出する。このパケットは測定対象とするジッタの発生要因ごとに設定した環境を通過し、受信側の計算機にとりこまれる。受信側の計算機では、アプリケーションレベルの受信プロセスにより各パケットの到着時刻を記録する。この到着時刻のログから送受信側計算機間でのジッタを算出する。

ジッタは以下のように算出した。先頭パケットの到着時刻を起点とし、この時刻から UDP パケットの送出間隔に相当する時間 (5.55msec) を加えていったものを各パケットの標準到着時刻とする。各パケットについて実際の到着時刻と標準到着時刻との差を求め、この値の最大値と最小値の差をジッタとした。本実験では、ジッタの発生要因として実験 1 から 3 に示す項目をとりあげ、ネットワークの媒体には FDDI を用いた。

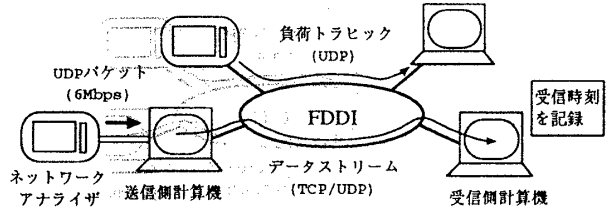


図1: 実験1: 負荷トラヒック発生環境

3.2 実験1: 回線容量不足によるジッタの測定

図1のように FDDI リングで 2 台の計算機を接続し、ネットワークアナライザから受けとったデータを送信側計算機から受信側計算機にフォワードする。このとき同時に負荷トラヒックを加え、このときのジッタを測定した。送/受信側の計算機間の通信には TCP, UDP を用い、1000 パケットの到着時刻のログからジッタを算出した。負荷トラヒックのスループットを様々に変化させたときの測定結果を図2に示す。

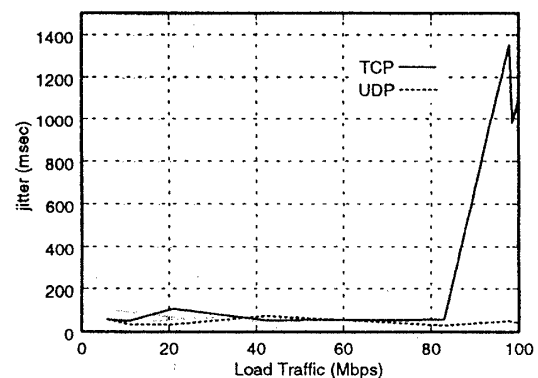


図2: 実験1: 負荷トラヒックとジッタ

UDP の場合、負荷トラヒックのスループットを変化させてもジッタの値がほとんど変化しないのに対し、TCP の場合は負荷トラヒックとデータストリームが FDDI の帯域幅 (100Mbps) を使い切るところから急激に大きくなってしまふ (回線容量に余裕がある場合の約 20 倍) ことがわかる。すなわち、TCP による通信では回線容量不足の影響を受けやすいことがわかる。この原因としては、TCP の場合は輻輳制御機能が働くためと考えられる。

3.3 実験2: ルータへの負荷トラヒックによるジッタの測定

ルータを介した通信時のジッタをみるため、以下のような測定をおこなった。図3のように、汎用ルータを介したデータの送信を行ないながら同時にルータの Ethernet インタフェースを介して負荷トラヒックを加える。ルーティングテーブルのキャッシュ機構を FDDI, Ethernet の各インタフェースごとに ON/OFF させた 4 つの場合について、負荷トラヒックのスループットを様々に変化させたときのジッタを測定した。各測定点では、実験1と同様に 1000 パケットの到着時刻のログからジッタを算出した。本実験では、UDP の場合にパケッ

Consideration concerning QoS guarantee of continuous data in asynchronous communication environment.

Tsuyoshi OGURA, Takeshi MIEI, Mitsuru MARUYAMA, Naohisa TAKAHASHI

NTT Software Laboratories

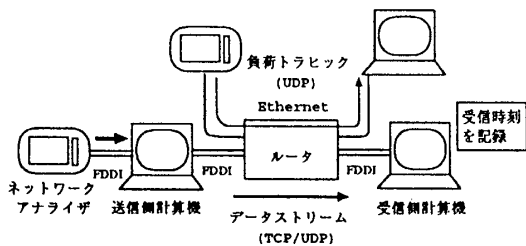


図3: 実験2: ルータへの負荷トラヒックの挿入

トロスが発生し測定不能となる部分があったため、TCP の場合のみの結果を図4に示す。なお、図中の略号について、例えば Ether-off-FDDI-off は、Ethernet, FDDI のキャッシュ機構が OFF であることを意味する。

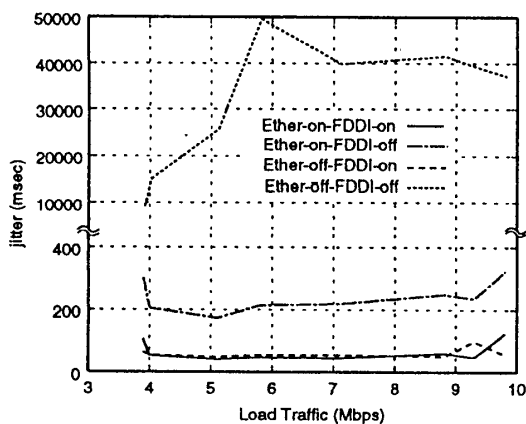


図4: 実験2: ルータへの負荷トラヒックとジッタ

データストリームが流れる FDDI インタフェースのキャッシュ機構について、ON の場合に比べて OFF の場合にジッタがより大きくなっている。特に、Ethernet, FDDI インタフェースのキャッシュ機構を共に OFF にした場合には、ジッタが40秒以上にもなっており、等時性保証のためのバッファリングを行なうと、もはやリアルタイム性を確保することができない状態になっている。このように、ルーティングテーブルのキャッシュ機構を OFF にした場合、テーブルの検索、および、パケットフォワードに要求される処理能力がルータの CPU の処理能力を超えてしまい、ジッタが非常に大きくなってしまう場合があることがわかる。

3.4 実験3: ルート情報のキャッシュミスに伴うジッタの測定

ルーティングテーブルのキャッシュ機構を働かせていても、キャッシュのオーバーフローなどによってキャッシュ機構が機能しなくなることも考えられる。多種類の宛先のパケットを通すバックボーンのルータでは、このような現象が生じる可能性がある。そこで、そのような現象が起こった場合の影響を調べるため、以下のような実験をおこなった。

実験2と同一の系において、Ethernet インタフェースからランダムな宛先のパケットを送出することによりキャッシュに書き込まれるルート情報を増やしていく。キャッシュエントリの全てにルート情報が書き込まれるまで待ってから FDDI 側のパケットの送出を開始する。このようにして人工的にキャッシュオーバーフローを発生させ、そのときのジッタを測定した。キャッシュの総エントリ数は 8548 である。また、本実験に用いたルータでは、一定時間間隔ごとにキャッシュエントリ

を一斉にクリアし、それまではエントリの変更をおこなわない。したがって、FDDI インタフェース経由で流したパケットのルーティングについては常時キャッシュミスの状態になっていた。なお、本実験では、ランダムな宛先のパケットの発生にネットワークアナライザではなく計算機を用いたため、制御の難しさから実験1, 2のように負荷トラヒックのスループットを変化させることはしなかった。

本実験においても、データストリームの送信に UDP を用いた場合にパケットロスがみられたので、TCP の場合のみの結果を示すと、40.356(sec) という非常に大きなジッタが生じた。このことから、ルートキャッシュ機構をオンにしたときでも、ランダムな送出先を持つパケットからなるトラヒックが加わった場合、キャッシュ機構がないと同様の状況に陥る可能性があることがわかる。

4 おわりに

本稿では、分散環境で連続データをリアルタイムに伝送する場合の QoS の一つとして等時性の保証に着目し、その阻害要因となる非同期通信環境上のジッタについて、その発生要因をいくつか列挙し、主なものについてジッタの測定をおこなった結果を示した。本測定実験から、以下のことがわかった。

- TCP プロトコルを用いた通信では、回線容量の不足が発生すると、フロー制御機構により急激にジッタが大きくなる（回線容量に余裕がある場合の約 20 倍）。
- ルータを介した通信では、ルーティングテーブルのキャッシュ機構がジッタを小さく抑えるうえで有効である。キャッシュ機構を OFF にした場合、テーブルの検索、および、パケットフォワードに要求される処理能力がルータの CPU の処理能力を超えてしまい、ジッタが非常に大きくなってしまう（40 秒以上）場合がある。
- ルーティングテーブルのキャッシュ機構を機能させても、キャッシュあふれによってジッタが非常に大きくなってしまう（40 秒以上）場合がある。多種類の宛先のパケットを扱うようなバックボーンのルータでは、このような現象を考慮する必要がある。

今後は、今回の測定実験で得られた知見を、筆者らが計画している実時間並列ルータ [3] の開発に反映させていく予定である。

謝辞

本研究をご支援下さる後藤滋樹広域コンピューティング研究部長をはじめ、同部の皆様に感謝いたします。

参考文献

- [1] 小倉, 小野, 高橋, "非同期な並列分散環境における実時間連続メディア処理", 信学技報, Vol.94, No.573, pp.33-40.
- [2] 小野 諭, "TCP/IP プロトコルによるフレームリレーネットワークの特性評価", 情処研報, Vol94, No39, pp.25-30.
- [3] 高橋, 丸山, 三栄, 小倉, "柔軟でスケラブルな高性能並列ルータ CORErouter の基本構想", 情報処理学会第 52 年全国大会, 1996.