

## デスクトップ会議におけるTCP/IPプロトコル品質の分析結果

岡田 康義 佐久間 博 山本 豊

NTTマルチメディアネットワーク研究所

### アブストラクト

マルチメディア通信のプロトコルとして、インターネットのデファクト標準通信プロトコルTCP/IPを用いた場合が考えられる。本稿では、お客さまに良好なマルチメディアネットワークサービスを提供出来る通信システム構成条件を明らかにするために、ワークステーション上でのデスクトップ会議システムの通信中のパケット損失率、遅延をエンドーエンドで品質測定・分析した結果を報告する。測定・分析には階層的エンドーエンド品質測定法の考え方を實現したTCP/IPインサービス測定ソフトを用いて、ワークステーションに負荷がかかっている場合には、システムコール層で品質劣化が大きく生じていることを明らかにした。

### QoS analysis result for TCP/IP protocol in desktop conference

Yasuyoshi Okada, Hiroshi Sakuma, Yutaka Yamamoto

NTT Multimedia Networks Laboratories

### Abstract

TCP/IP has been a defacto standard protocol of the Internet and will have been one of protocols for multimedia communication. In order to clarify system construction conditions for multimedia networks which can provide comfortable services for customers, this paper shows QoS measurement and analysis results of packet loss and delay for end-end communication in desktop conference systems on a workstation. In case of overloaded workstation, it was clarified that big QoS degradation happens in system call layers with TCP/IP in-service measurement software which have been implemented based on an idea of a hierarchical measurement method.

### 1. はじめに

マルチメディア通信のプロトコルが幾つか提案されている。しかし、お客さまに良好なマルチメディアネットワークサービスを提供出来る通信システム構成条件を明らかにするためのプロトコルの品質測定・分析法は、未だ十分に確立されてはいない。本稿では、階層的エンドーエンド品質測定法の考え方を實現したツールを用いて、インターネットのデファクト通信プロトコルとして使用されているTCP(UDP)/IPプロトコル(以下TCP/IPと略す)で通信を行っているデスクトップ会議をインサービス状態で測定・分析を行った結果を述べる。本測定で、TCP/IPの品質を端末のプロトコル階層の4つの測定点でインサービス状態で測定できるソフト(MASQAT)を用いて、端末に負荷がかかっている状態でエンドーエンド間の測定を行った。端末に負荷がかかっている場合には、システムコール層で品質劣化が生じていることが分析によって明らかになった。

### 2. 階層的エンドーエンド品質測定法の考え方

#### 2.1 従来のTCP/IPプロトコル品質測定の問題点

インターネットを中心に盛んになってきたUNIXワークステーション(以下WSと省略する)を用いたマルチメディア通信において、お客様に良好な電気通信サービスを提供できる通信網構成条件を明らかにするため、プロトコルの通信品質特性を測定・分析する方法を確立する必要があるが、現状では以下の問題点がある。

・TCP/IPを用いたマルチメディアアプリケーションでは、アプリケーションのスループットの低下、遅延等が生じたとき、品質劣化の原因がWSか網なのか、通信のボトルネックがよく分からないために、品質向上施策が立てられない。

・スループット、パケット損失、遅延等の通信品質を測定するツールがあるが、TCP/IPのプロ

トコルスタックのどの層、どのSAPでスループットの低下、パケット損失、遅延が生じたかの情報はないため、品質劣化場所が特定化できない。

## 2.2 階層的エンドーエンド品質測定法

図1のように、OSI階層モデルでは、各々独立した通信機能を提供する層間のインターフェースとして、SAPを定義して、 $\langle N \rangle$ SAPを介して、 $\langle N \rangle$ 層が $\langle N+1 \rangle$ 層に提供する通信機能を「 $\langle N \rangle$ サービス」と定義している。そこで、本稿の階層的エンドーエンド品質測定法(1)では、OSI階層モデルに準拠して、各SAPに品質規定点をおくこととし、WS A内の $\langle N \rangle$ SAP点である(a)点とWS B内の $\langle N \rangle$ SAP点である(b)点を $\langle N \rangle$ 層通信品質測定点として、通信品質測定を行う。

階層的エンドーエンド品質測定法では、TCP/IPプロトコル品質測定について以下の特長を持つ。

- ・送受信WSでのシステムコール層、TCP(UDP)層、IP層、データリンク層の4つの階層の同一層SAP間でパケット損失と片道遅延が測定できる。
- ・送受信WSでのシステムコール層、TCP(UDP)層、IP層、データリンク層の4つの階層のSAP、計8個のSAPでスループットが測定できる

以上2つのWS間でプロトコル層毎の通信品質の時間変動特性を測定し、TCP/IP通信品質劣化がどの層及びどのSAP点で起きたかを測定によって明らかにすることができる。これによって通信プロトコルの通信品質ボトルネックを明らかにすることができる。

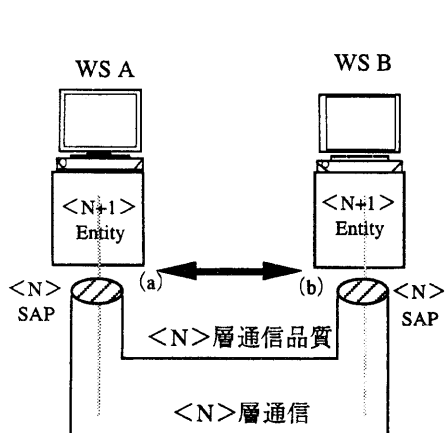


図1  $\langle N \rangle$ 層通信品質測定点

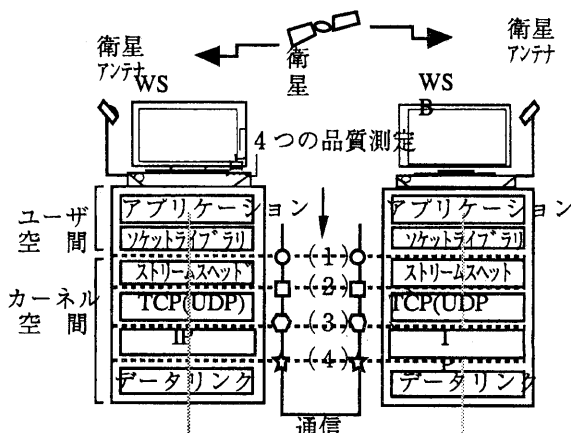


図2 TCP/IPプロトコルスタック品質測定点

## 3. TCP/IP プロトコル品質測定ソフトウェア (MASQAT) の概要

### 3.1 通信品質測定点と測定法

図2は、TCP/IPプロトコル測定ソフトウェアMASQATの品質測定点を示す。IPアドレスと通信プロセス毎時に割りあてられるポート番号を組合わせたソケットを指定して、アプリケーション（以下APと略す）が、システムコールを発行した時にポート番号間で転送されるパケット情報を測定することができる。2台のWS間で、各々4つの品質測定点(1)～(4)（システムコールSAP(1)、TCP(UDP)SAP(2)、IPSAP(3)、データリンクSAP(4)）で、各層間におけるパケット通過数からパケット損失率、通過時間から転送遅延時間を、通過パケットサイズからスループットを計算する。ここで、測定時、衛星による時刻同期で、国際標準時刻を得ている。エンドーエンドの2つのWS間をMASQAT監視サーバとして立ち上げた後、（この場合は、デスクトップ会議）を動作させる。第3者WSでMASQATを立ち上げ、2つのWS間で測定を行う。

### 3.2 MASQATでのデータ処理手順

MASQATで、オンラインデータ測定処理では、図2に示す4つの通信測定点において、パケッ

ト通過時刻、パケットサイズの種類の情報、識別のための照合番号値を記録する(図3)。ただし照合番号値にはトランスポート層のプロトコルTCPの場合には、「TCPシーケンス番号」を、他方UDPの場合には、「IP識別番号」を用いる。MASQATサーバでこの処理を行っている。オフライン処理(図3)では、上記の照合番号値をもとに2台のWS間に確立される論理コネクションに含まれる合計8種類=(送信、受信)×(4つの測定点)の記録情報を収集する。これらの収集情報を基に、送・受信WS間の各通信品質測定点をパケットが通過した時刻から片道遅延時間を、パケットサイズとパケット数からスループットを、通過パケット数からパケット損失率を演算により通信品質パラメータ値を得ている。片道遅延の測定には、全地球測位システム(GPS)を用い絶対時刻同期システムを用いて実現している。この処理は、MASQATモニターで行っている。



- 4つの通信品質測定点で照合番号値をつけて記録する。(1) 照合番号値をもとに記録情報を収集する。  
 ・パケット通過時刻 (2) 通信品質パラメータ値を演算処理で算出する。  
 ・パケットサイズ  
 ・片道遅延時間  
 (注) 照合番号値には以下の番号を用いる。  
 ・スループット  
 TCPプロトコル: TCPシーケンス番号  
 ・パケット損失率  
 UDPプロトコル: IP識別番号

図3 TCP/IPプロトコル品質測定の流れ

#### 4 測定結果と考察

##### 4.1 品質実験用テストベッド

図4は構築した品質実験用テストベッドである。バックボーンはFDDI-LAN及びATMで構成した。ワークステーションWS1、WS2をATMで(帯域156Mbps)接続した。WS1とWS2間は、デジタルビデオ信号をお互いに送りあった。各WSのデスクトップTV会議での通信をTCP/IPプロトコル品質分析ソフト(MASQAT[1])で測定した。FDDIには、MASQAT測定データ収集用のWSを接続した。

##### 4.2 実験環境の設定

デスクトップ会議の設定パラメータ、実験条件等の各種設定について述べる。WS等の環境設定で、WSは、Sparc station 20、AP通信プロトコルは、unicast、測定時間は、12秒で、測定ツールはMASQATを用いた。デスクトップ会議に関して、符号化方式は、Cell Bである。ビデオ種別はSusie (ITU-R標準画像)で動きのなめらかな映像である。ビデオ設定は、中の解像度(320×240pixel)、フレーム速度10を用いた。端末の品質劣化を生み出すために、spray関数をネットワークインターフェースに長時間かけ、CPU負荷を常に100%にすることで実現した。

##### 4.3 測定結果と考察

WSが品質劣化状態の通信品質測定結果を評価するために、他の負荷が入ってCPU負荷100%の場合の通信と通常時(他からの負荷はない状態)の通信での品質(パケット損失率、遅延)と比較を行った。測定時間の平均値と、時系列データとして、毎秒でのパケット損失率、遅延での変化の2種類のデータを用いた。

##### パケット損失率:

表1は、WS1 CPU100%時の送受信側での各層の平均パケット損失率(%)を表す。具体的には、システムコール層、UDP層、IP層、データリンク層の部分の平均パケット損失率を示す。なおシステムコール層での損失率は、システムコールSAP間の損失率トランスポートSAP間での損失率で計算し、他の層も同様に計算した。デスクトップ会議中、両WSで他の負荷がかかっているときは、送受信に関わる全ての層で0%パケット損失であった。一方、WS1で通信中に他の

負荷が発生してCPU 100%になったときには、このとき相当な映像での劣化があった。WS 1からWS 2への送信時及びWS2からWS 1への送信時に、パケット損失がシステムコール層で20%以上と多く発生している。図5. (a) 左は同一実験でのパケット損失率時系列データを示す。横軸は経過時間(秒)で縦軸は、送受信WSの同一SAP間の損失率(%/秒)を示す。このとき、データリンクSAP間では、パケット損失が生じていない。

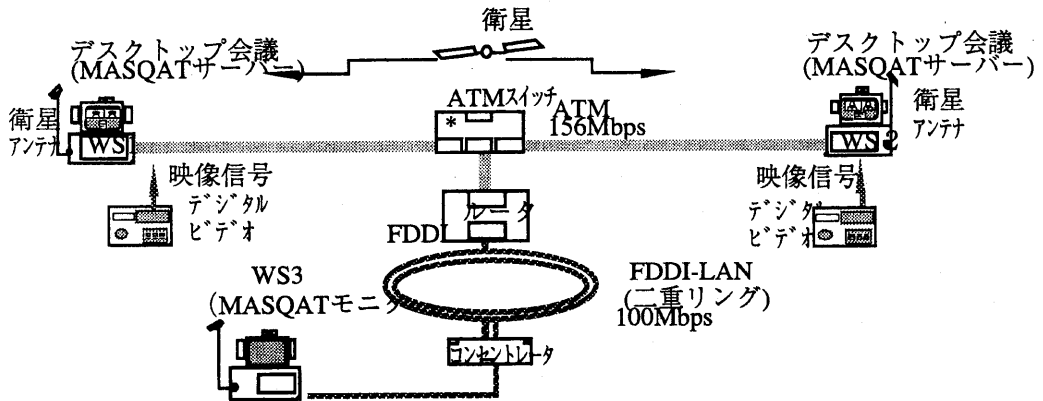


図4 品質実験網テストベッド

表1 平均パケット損失率(%) (WS1のCPU負荷100%の時)

層	WS1からWS2方向の損失率	WS2->WS1方向の損失率
システムコール層	28.4	20.2
UDP層	0.0	0.0
IP層	1.6	5.6
データリンク層	0.0	0.0

パケット損失原因

CPU100%時にWS1からWS2送信でシステム層でのパケット損失率が大きい原因は、AP層でエンコーディングされたパケットをIP層および、データリンク層(ATM層)に送り込もうとするときに、CPU負荷が高いために、十分にフレームの処理に必要なCPU能力を割り当てることができないためパケット損失が生ずると推察される。一方WS2からWS1送信では、受信側WSでデータリンク層から取り入れたデータをデコーディングするときに、CPU負荷がかかっているために、CPU能力をデコーディングするのに十分にさくことができないためシステムコール層でパケットが落ちていると推察される。

遅延(ゆらぎ)

図5.(b)は、横軸がA,B,C,Dはそれぞれシステムコール層、トランスポート層、ネットワーク層、データリンク層である。縦軸が各層での平均遅延(msec)を表す。システムコール層では、平均40msecの遅延が双方向で生じた。なおシステムコール層での遅延は、システムコールSAP間の遅延トランスポートSAP間での遅延で計算し、他の層も同様に計算した。

図5.(c)は、横軸がパケットのID系列の番号で、縦軸がシステムコールSAP間道遅延(msec)を表す。WS1からWS2では、2つのWSのシステムコール間で最高が200msecのパケット遅延が生じた。送信側システムコール層で全体のほとんどの遅延を占めた。WS2からWS1では、システ

ムコールSAP間で遅延は390msecに近い数値となり最高値となった。他の層では、遅延は1msec前後で殆ど無視できるほど小さかった（参考図5.(d)データリンクSAP間）。

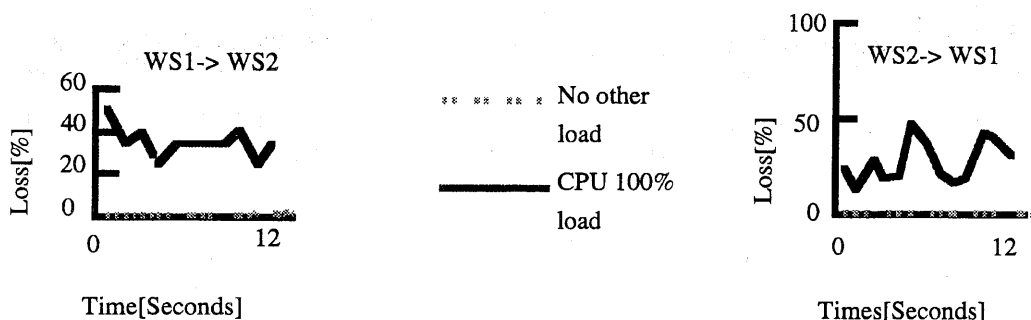


図5.(a) システムコールSAP間でのパケット損失率の時間変動

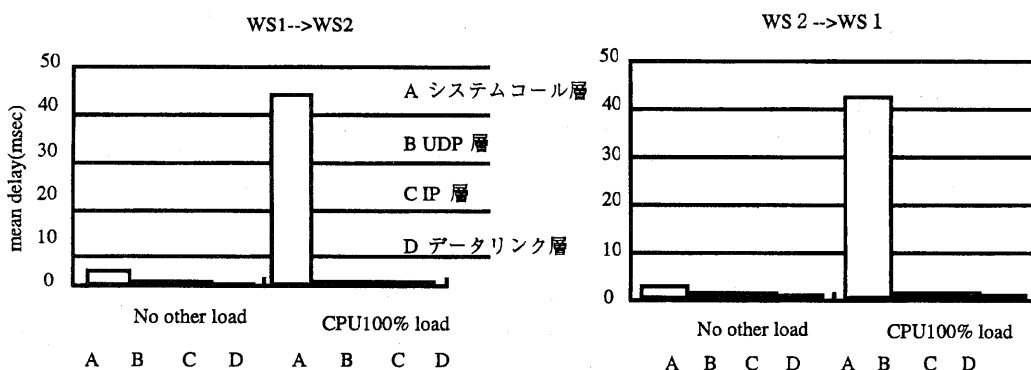


図5.(b) 各層での平均遅延

### 遅延（ゆらぎ）原因

2つのWSのシステムコール間での遅延の原因は、送信側がCPU 負荷が高いときはシステムコールから下位層へ送り込むときに、APで送られたフレームのエンコーディング処理遅くなって、遅延が生じているためと推察される。また受信側がCPU 負荷が高い場合は、デコーディング処理が遅いため、システムコール層で遅延が生ずるものと推察される。システムコール間の遅延は、他の層と比べて極端に大きく、システムコールでの遅延がほとんどの遅延を占めている。またシステムコールSAP間の遅延揺らぎはWS1でのCPU 負荷のために、WS1では、パケット送信のとき十分にエンコーディング、デコーディング処理にCPUを割り当てることのできない事が原因で、UNIXシステムのスケジューリング処理が遅れが生じて遅延揺らぎが生ずると考えられる。ほとんどの遅延揺らぎは、システムコール層で起こっている。これが不規則におこって、遅延揺らぎが非常におおくなる事が引き起こされると推察される。

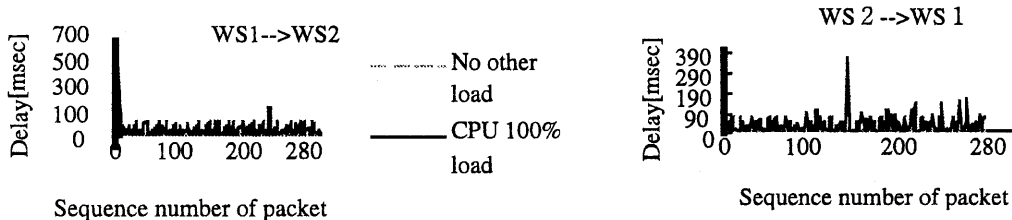


図5.(c) システムコールSAP間の遅延

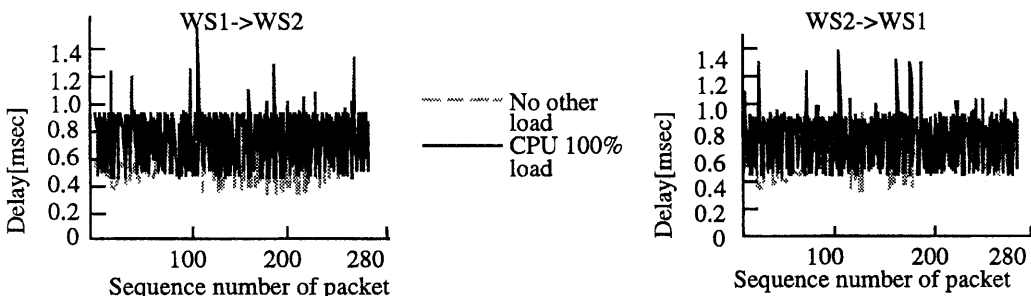


図5(d). データリンクSAP間の遅延

#### 4.4. 結論

WSがCPU負荷が大きいとき、送受WSでは、システムコール層でパケット損失、遅延(ゆらぎ)が大きく、品質が劣化している。遅延(ゆらぎ)に関しては、送受信端末に関わらず、大きな遅延(ゆらぎ)が生じた。CPU負荷が高い場合、システムコール層での劣化がパケット損失、遅延(ゆらぎ)において顕著である事が分かった。

#### 5. まとめ

本稿では、階層的エンドーエンド品質測定法の考え方を実現したツールMASQATを用いて、デスクトップ会議でのTCP/IPプロトコルの品質測定・分析結果を報告した。プロトコル階層での品質劣化状況特性を明らかにした。特に、システムコール層でパケット損失、遅延(ゆらぎ)が大きく生ずる事が本測定・分析で明らかになった。今後は他のAPを用いた場合の品質劣化状況の比較、他の通信品質劣化要因での測定・分析を行う。

#### 6. 参考文献

- [1] 岡田 康義、山本 豊：“ネットワークコンピューティング品質測定法の考察” 1996年信学会総合大会 B-816
- [2] 岡田 康義、佐久間 博、山本 豊：“マルチメディア通信におけるTCP/IPプロトコルの品質分析” 1996年信学会ソサエティー大会 SB-8-6
- [3] 林 孝典、山本 豊：“マルチメディアCSCW映像主観品質の分析” 1996年信学会ソサエティー大会B-883