

# FEC方式に基づくオーディオアプリケーションにおける ネットワーク QoS の LW を用いた品質測定

宮田 輝子 福田 晴元 小野 諭  
NTTソフトウェア研究所

あらまし インターネット電話のような対話型音声アプリケーションをインターネット上で利用する場合のエラー制御方式としては、再送要求を行う ARQ 方式では、再送による遅延が発生し、実時間処理要求を満足することが困難である。このため、実時間応答確保可能な範囲内における冗長なデータを附加し、データの損失に対する耐久性の向上を行う FEC 方式が適している。この FEC 方式が用いられている実時間音声アプリケーションにおける品質評価について、一定数連続するパケットに、同一のデータを重複させて送信する場合、データの損失は、連続パケット損失パターンに依存しており、このパターンを考慮した品質表現が必要である。本稿では、連続パケット損失パターンを考慮した品質の表現手法 "LossWindowSize (LW)" を用いて、インターネット QoS ビジュアライザを用いた実験網上で LW に基づく損失と Playout 遅延について測定を行った結果について示す。

## LW measurement of network QoS for FEC-based audio application

Teruko MIYATA Harumoto FUKUDA Satoshi ONO  
NTT Software Laboratories

**Abstract** In this paper, we describe a network QoS, such as loss, delay, and playout-delay using "Loss Window Size (LW)" which is an expression considering the pattern of successive packet-loss. To avoid data-loss and delay in using interactive and real-time audio application such as Internet phone, FEC method which uses adding redundant data on packets is better than ARQ method which automatically send request of packets. We assume that an audio data is copied on  $N$  successive packets. About data-loss under such condition, patterns of successive packet loss is important. Thus we monitor packets using Internet QoS Visualizer, and we present network QoS, such as loss and delay, with using LW.

### 1 はじめに

インターネット上で、音声や動画のように、連続的なストリームを必要とするアプリケーションの利用が盛んである。特に、実時間性の高い音声ストリームを扱う場合は、データ損失が少なく、プレイアウト遅延が短いことが要求される。特に、音声の場合、音声情報を持ったパケットの損失は、「音の途切れ」といった品質の劣化になるため、このようなデータ損失に対する品質制御が必要である。

このデータ損失に対する耐久性を上げるといった視点からは、冗長なデータを付加し、データ品質を確保する Forward Error Correction (FEC) 方式 [1],[2] によるエラー制御が提案されている。

FEC 方式は、冗長なデータを付加しているため、伝送時間が長くなる。最適な冗長さを決定するためには、実時間応答の確保、遅延の最小化、さらに、ネットワーク品質に依存する。FEC 方式においては、連続パケット損失のパターンが重要である。

しかしながら、損失や遅延といったネットワーク品質の現在の表現方法は、1パケットのみを基本としており、

損失パターンを考慮した表現方法ではない。それゆえ、現在では、例えば、FEC に基づいたアプリケーションの QoS であるにも関わらず、連続パケット損失発生パターンに基づいた QoS を監視することが出来ていなかった。

そこで、われわれは、高い実時間処理が必要な、インターネット電話のような対話型音声アプリケーションに対して、FEC 方式によるエラー制御方式を利用した場合に着目している。そして、音声データを、一定数連続するパケットに重複して送信する手法をとった場合、オーディオデータに直接影響のある連続パケット損失パターンを考慮した品質評価方式である "LossWindowSize (LW)" を導入した [3],[4]。

本稿では、実際のインターネット上で計測されたパケットを、インターネット QoS ビジュアライザ [5] を用いて監視し、連続パケット損失パターンや LW に基づく損失、プレイアウト遅延について述べる。

### 2 LW におけるネットワーク品質表現の概要

本節では、FEC 方式を利用したネットワークとアプリケーション QoS を表現する測度「LW」についての概

要を述べる。

新たに到着したデータ（または、高圧縮されたデータ） $d_i$ を図1のように、連続したN個のバケット上にコピーすると仮定する。このN個のバケットを一つの「バケット群」として扱い、このバケット群における損失や遅延といったネットワーク品質を、従来の1バケットに基づいたこれらの定義を拡張して与える。

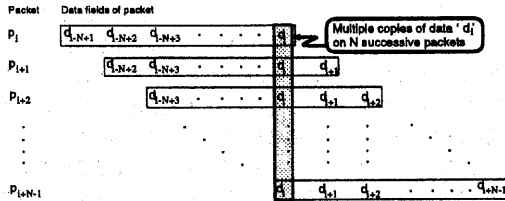


図1 Data fields of each packet.

N個の連続したバケット上にある、重複したデータを扱うために「Loss Window Size」を定義する。直感的なイメージとしては、バケットは、サイズNの「Loss Window」によって分析され、このWindowは、移動平均モデルのように、1バケットずつずらされてゆく。

以下、「Loss Window Size」は「LW」、 $「LW = N」$ は「LW(N)」、と各々表記し、LWにおける、損失、遅延、そしてPlayout errorについて述べる。

### 2.1 LW(N)に基づく損失：LW(N)-L

Loss based on LW(N) (以下、「LW(N)-L」)は、「N個の連続する全てのバケットが損失が発生した時」を意味する。LW(1)-Lは、従来のバケット損失と一致する。

例えば、LW(1)-LとLW(3)-Lを比較する(図2)。図2-(a)におけるバケット損失発生パターンによると、LW(1)-Lは、一度しか発生していない。しかしながら、LW(3)における損失は発生しているとみなさない。一方、図2-(b)におけるバケット損失発生パターンでは、LW(1)-Lは、3回発生しているが、LW(3)-Lは、一度しか発生していない。

### 2.2 LW(N)に基づく遅延：LW(N)-D

バケット群の発信時刻と到着時刻を以下のように、定義する。

- LW(N)-time(S) : N個の連続するバケットのうち、最初に送信されたバケットの発信時刻
- LW(N)-time(R) : N個の連続するバケットのうち、最初に受信されたバケットの到着時刻

ここで、われわれは、次のように、「Delay based on LW(N) (以下、「LW(N)-D」)を定義する。

$$LW(N)-D = \text{time}(R) - \text{time}(S)$$

この定義によって、LW(1)-Dは、従来の遅延時間と一致する。

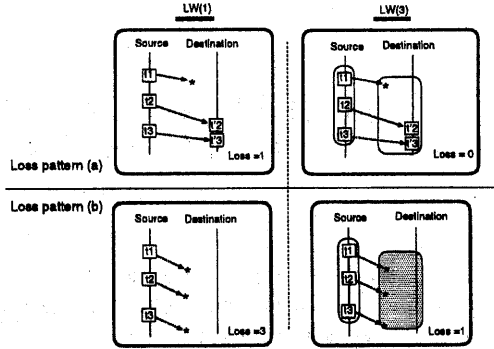


図2 Comparison of LW(1)-L and LW(3)-L.

例えば、LW(1)-DとLW(3)-Dを比較する(図3)。LW(1)とLW(3)に基づく遅延の違いを見つけることが出来る。LW(N)の元では、同一データを持つバケット群のうち、幾つかのバケットが損失したとしても、そのバケット群の1つのバケットの到着を待つことが可能である。

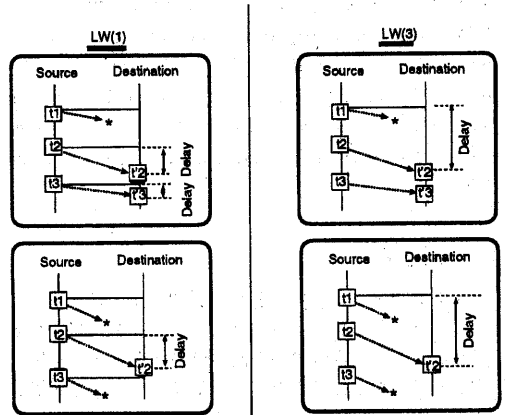


図3 Comparison of LW(1)-D and LW(3)-D.

### 2.3 LW(N)に基づくPlayout error：LW(N)-PE(d)

一般に、「playout delay」とは、送信側のオーディオ入力から、受信側での出力までに要する総合時間である(図4)。本稿では、図4における、符合化に要する遅延は一定であると仮定し、「playout connection delay」に着目する。本稿では、この符合化に要する遅延は、0と仮定する。われわれは、「Playout error with LW(N)-D=d(ms): LW(N)-PE(d)を以下のように定義する。

ある閾値d(ms)がLW(N)-Dに対して与えられ、LW(N)-LまたはLW(N)-Dが、以下の(1)または(2)のいずれ

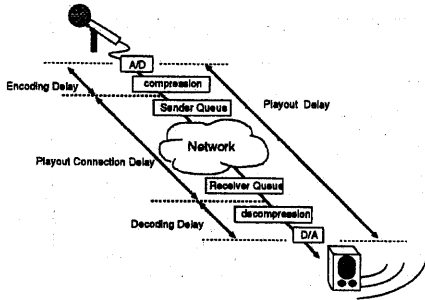


図4 Playout delay.

か一方の条件を満たすとき、“LW(N)-PE(d)”という：

$$LW(N) - PE(d) = \begin{cases} (1)LW(N) - L \text{ occurs} , \\ (2)LW(N) - D > d. \end{cases}$$

### 3 実験監視網の構成

提案した計測手法の有効性を確認するため、われわれは、実際のネットワーク上において、図5のような構成をもつ、インターネット QoS ビジューライザ [5] を用いたパケット監視システムを構成した。

われわれは、Network2 におけるストリーム生成装置 HOST3 から、Network1 における HOST1 にむけて送信されるパケットを監視した。パケットは、HOST1 を利用して、Network1 上で観測され、同様に、HOST2 を利用し、Network2 上で観測される。HOST1、HOST2 は、ともに、QoS ビジューライザ [5] を装備している。このため、各々の HOST で観測されたパケットには、0.5ms 以内の UTC(Universal Coordinated Time) に同期した正確な timestamp が与えられている [6]、[7]。HOST2 は、NTP サーバとしても動作しており、HOST3 は、そのクライアントである。生成されたパケットは、

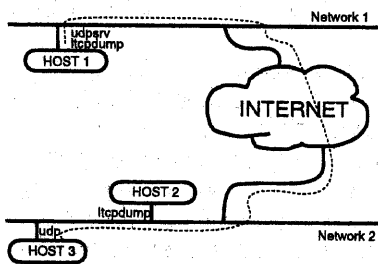


図5 Experimental monitoring network.

図6のような構成をもつ UDP にもとづいて配送される。この sequence number は、0 から開始され、パケットが1つ生成されるごとに、sequence number は、増加する。パケット長は 320 octets であり、パケットは、

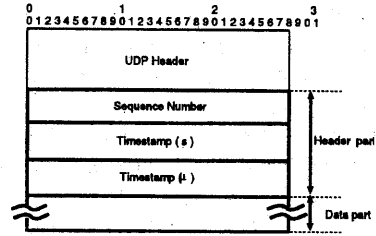


図6 Construction of UDP data segment

40-ms 毎に生成される。HOST1・HOST2 間の timestamps を比較することで、遅延やジッターのようなネットワーク品質情報を収集することが出来る。また、HOST2 にも観測されたパケットを調べることにより、パケットの損失が分かる。

### 4 測定結果

本節では、前節の監視網上で収集したパケット情報について、LW(N) に基づくネットワーク品質を用いた結果について述べる。

#### 4.1 LW(N)-L

計測時間は、12:30 から 13:30 までの1時間であった。ネットワークの(平均)損失率は、1.27%、最長 loss run-length K は、27 であった。パケット損失の run-length 分布は、図7である。さらに、パケット損失の連続性についてみると、損失したパケット (9万パケットのうち損失率1.27%より、1143パケットが損失) のうち、単独パケット損失の発生率は、60%、連続 N パケット損失発生率 ( $2 \leq N \leq K$ 、ただし、 $K=27$ ) は、すべて5%以下であった。(表1)。したがって、2以上連続してパケットが損失する発生率は、全損失パケットのうち、40%に相当し、パケット損失パターンを考慮した品質評価が有効である。

単独パケット損失発生率	60.3 %
連続 N パケット損失発生率	5.0 % 以下

表1 パケット損失の連続性について

一方、LW(N) における LossRate[N] ( $1 \leq N \leq 27$ ) は図8の通りである。これより、LW(N) における損失率は、Loss Window Size “N” が増加するにつれて、単調に減少する。同じ2地点間で、日時の変化による LW-L を測定した (図9)。これによれば、LW(N) と LW(N) ( $2 \leq N \leq 8$ ) における損失率との関係は、部分的に対数関係として線形であることが分かる。ただし、計測日時が変わると、この線形関係の係数は、大幅に変化することがわかる。

以上の測定結果より、従来のパケット損失率では差のあまりない場合でも、LW に基づいた損失率の計測によ

り、両者に著しい特徴があることがわかった。上記の例では、Case A と Case B のバケット損失率は、各々、1.27% と 0.81% であった。一方、それぞれの  $LW(N)-L$  は、図 9 により異なる曲率をもち、最大連続バケット損失数も異なることが分る。さらに、図 9 によれば、例えば、損失率を 0.1% 以下にするための Loss Window Size “N” は、Case A においては  $N=9$  以上であり、Case B では、 $N=4$  以上となり、各々の異なる特徴を把握することが出来る。

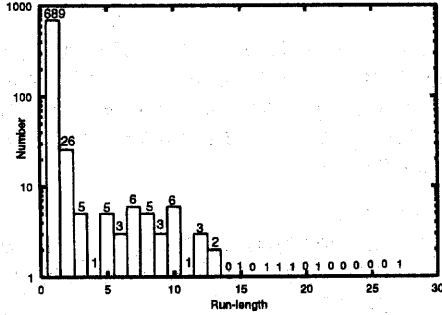


図 7 Run-length distribution of successive packet losses in Case A.

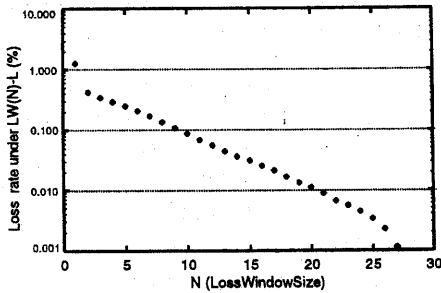


図 8  $LW(N)-L$  rate of Case A.

#### 4.2 $LW(N)-PE$

本稿における実験システムでは、生成された 1 バケットは、40-*ms* の一定間隔毎に発信される。それゆえ、 $LW(8)$  の場合、最大 playout 遅延は、280-*ms* であり、さらに、圧縮・解凍に要する時間も必要である。このような注意すべき条件を考慮し、以下では、Playout 閾値  $d$  を 25, 50, 100, 200, and 400-*ms* に設定することとする。

Case A において、測定時間 30s 毎に  $LW(1)-PE(d)$  ( $d=25, 50, 100, 200, \text{and } 400 \text{ ms}$ ) の発生率分布を調べた (図 10)。

これによると、バケットの到着を 200*ms* から 400*ms* まで待ち続けても、 $LW(1)-PE(d)$  は、ほとんど改善さ

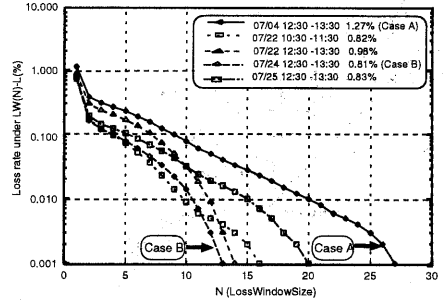


図 9  $LW(N)-L$  rate (for all five days).

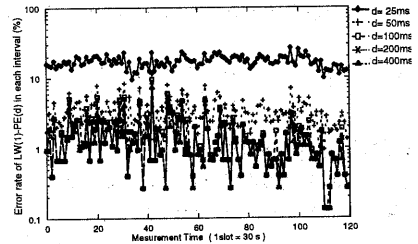


図 10 Fluctuation of  $LW(1)-PE(d)$  ( $d=25, 50, 100, 200, \text{ and } 400 \text{ ms}$ ) for each 30-s interval on Case A.

れていないことが分かる。一方、 $LW(N)-PE(d)$  の定義より、待ち時間を無限大と見なすことにより、 $LW(N)-L$  の発生も  $LW(N)-PE(d)$  としていた。したがって、200*ms* を越える、Playout error は、主に、 $LW(N)-L$  の発生に基づくものであることを示していると言える。

一方、Case A, B の品質の相違点について、先に  $LW-L$  の視点から述べたが、ここでは、Playout 遅延閾値  $d=400\text{ms}$  に設定し、 $LW(N)-PE(400)$  における相違点を比較するため、Loss Window Size “N” を  $N=1, 2, 4, 8$  として比較した。

- (1)  $LW(N)-PE(400 \text{ ms})$  of Case A ( $N=1, 2, 4, 8$ ) (図 11, 図 12, 図 13, 図 14)
- (2)  $LW(N)-PE(400 \text{ ms})$  of Case B ( $N=1, 2, 4, 8$ ) (図 15, 図 16, 図 17, 図 18)

Case A, B ともに、 $N$  を大きくすると、30 秒間における  $LW(N)-PE(400)$  が改良されることがわかる。しかし、 $LW(4)$  から  $LW(8)$  にかけては改善傾向が緩やかになり、 $N=8$  で、 $LW(N)-PE(400)$  の 30 秒区間における発生率は、ほぼ飽和しているといえる。Case A では、30 秒間における  $LW(8)-PE(400)$  発生率は、5% 以下である。一方、Case B における  $LW(8)-PE(400)$  (図 18) では、30 秒区間における  $LW(8)-PE(400)$  発生率が、計測時間全体を通して、1% 以下に保たれている。このように、 $LW$  を用いた品質表現は、プレイアウト遅延の視

点からも、Case A, Bが、各々、異なる特徴を表すことが可能であることが分る。

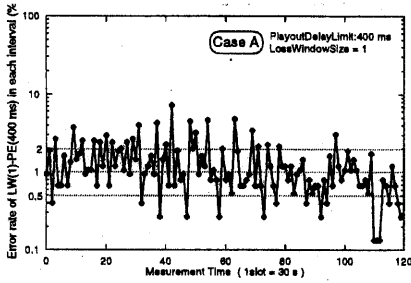


図 11 Fluctuation of LW(1)-PE(400 ms) for each 30-s interval on Case A.

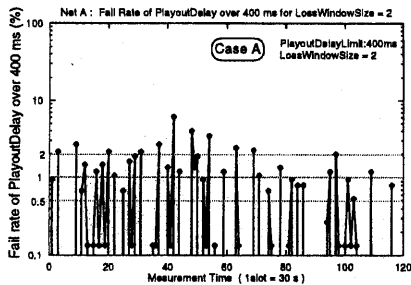


図 12 Fluctuation of LW(2)-PE(400 ms) for each 30-s interval on Case A.

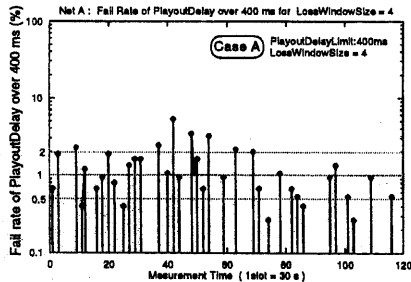


図 13 Fluctuation of LW(4)-PE(400 ms) for each 30-s interval on Case A.

## 5 おわりに

われわれは、FEC方式に基づくアプリケーションのQoS評価を表現する目的に対して、LW(N)を用いて、パケット損失パターンに基づく新しい品質評価表現手法”Loss Window Size”を用い、実網上でインターネットQoSビジュアライザによるパケット監視システム上で、

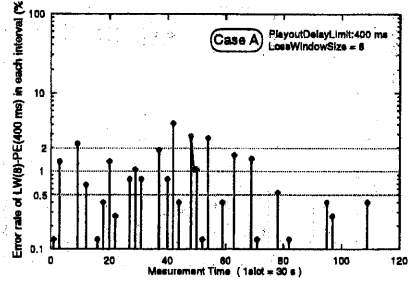


図 14 Fluctuation of LW(8)-PE(400 ms) for each 30-s interval on Case A.

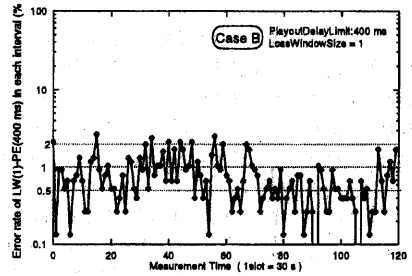


図 15 Fluctuation of LW(1)-PE(400 ms) for each 30-s interval on Case B.

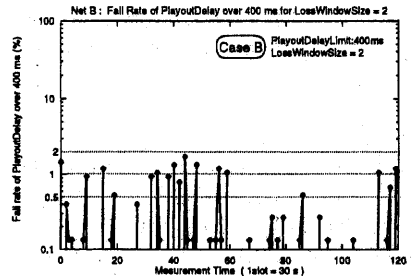


図 16 Fluctuation of LW(2)-PE(400 ms) for each 30-s interval on Case B.

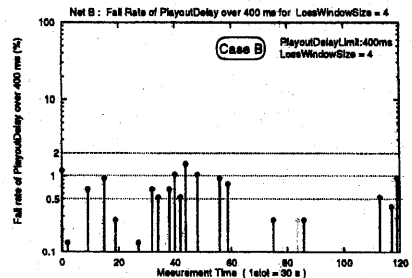


図 17 Fluctuation of LW(4)-PE(400 ms) for each 30-s interval on Case B.

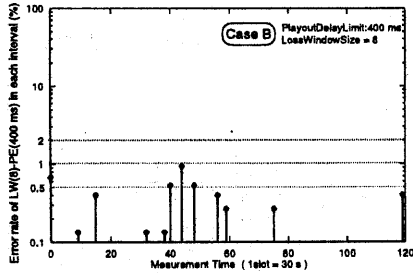


図 18 Fluctuation of LW(8)-PE(400 ms) for each 30-s interval on Case B.

パケット損失パターンと LW(N) に基づく損失、プレイアウト遅延について測定した。この測定結果から、LW(N) を用いたネットワーク品質表現手法は、従来の QoS 評価表現手法より、詳細なネットワーク品質状態を、表現することが出来ることを確認した。今後は、実際にインターネット電話を用いた測定を行い、適切なネットワーク品質制御について検討して行く予定である。

最後に本研究の機会を与えて頂いたソフトウェア研究所広域コンピューティング研究部 市川晴久 部長、さらに、日頃よりアドバイス頂いている光ネットワークシステム研究所分散ネットワークシステム研究部並列分散アーキテクチャ研究グループグループリーダー 高橋直久氏、ならびに、ソフトウェア研究所広域コンピューティング研究部超並列プログラミング グループの皆様に感謝いたします。

#### 参考文献

- [1] J.C.Bolot, A.Vega-Garcia, "Control Mechanisms for Packet Audio in the Internet", IEEE Infocom '96, pp.232-239, April, 1996
- [2] J.C.Bolot, A.Vega-Garcia, "The Case for FEC-Based Error Control for Packet Audio in the Internet", ACM Multimedia System
- [3] 宮田輝子, 福田晴元, 小野諭, "オーディオパケット品質の適応型再構築手法に関する考察", 情処全国大会, 講演論文集 (3), 4V-2, pp. 834-835, Sep. 1997.
- [4] 宮田輝子, 福田晴元, 小野諭, "FEC 方式に基づくオーディオアプリケーションにおけるネットワーク QoS 新測定手法について", 信学会インターネット研究会, 第 1 回ワークショップ, Oct. 1997.
- [5] 福田晴元, 小野諭, 高橋直久, "インターネット QoS ビジュアライザの設計と実現", 信学会論文誌 B-I, Vol. J80-B-I, No.6, pp.438-446, Jun 1997.
- [6] 山下高生, 小野諭, "ISDN 網を用いた分散高精度時刻/周波数同期", 情処研報 Vol.95, No.61, pp.37-42, Jul. 1995.

- [7] 山下高生, 小野諭, "高速デジタル網を用いたクロック周波数同期", 信学会論文誌, Vol.J79-D-I, No.8, pp.522-529, Aug. 1996.