

映像配信ネットワークのための運用・統計情報統合化システムの改良

脇山 俊一郎*・高橋 友和**・鶴田 えりか***・相澤 裕千***

Improvement of an Operation and Statistical Information Integration System For a Video Streaming Network

WAKIYAMA Shunichiro*, TAKAHASHI Tomokazu**, TSURUTA Erika*** and AIZAWA Yasuyuki***

We have been developing the operation management system for video stream distribution among multi-points over an IP network. A feature of the system is the integration of statistical information and operation information with the time axis. The video and the voice quality at the reception points have been reported by web chat or e-mail as operation information. To obtain those application level qualities as statistical information both quantitatively and regularly, we developed a technique that evaluates those qualities by measuring the DIF block. The interfaces of the time range specification and the graph selection were modified for the improvement of usability.

Keywords: Video streaming network, DVTS, Application level quality, DIF block

1. はじめに

近年のネットワーク帯域の増大やコンピュータの性能向上を背景に、IP 網上でストリーミング技術が注目されてきている。デジタルビデオ(DV)映像の配信^[1]には広帯域を必要とするため、IP 網上で輻輳が起こりうる。また、パケットロスが発生する場合や遅延の揺らぎであるジッタが大きくなることがあり、これに起因して、ブロックノイズの発生など様々なトラブルが発生する場合がある。そこで映像配信時の運用と障害解析を支援するためのツールとして運用・統計情報統合化システム^[2]を開発した。このツールはオペレータ間で交わされる Web チャットのログ、実験期間中に運用されるメーリングリストのログ、映像配信ネットワークで使用される機器のトラフィックグラフを時間軸に沿って表示する機能を持つ。

トラフィックグラフのデータは、SNMP^[3]を利用して映像配信ネットワーク上の機器のトラフィック量などをレイヤごとに計測している。これまではレイヤ1からレイヤ4までのデータを計測しているが、レイヤ7における受信地の映像・音声品質については、オペレータからのメールやチャットでの報告によってのみしか知ることができていない。

そこで本研究では、受信地点での映像・音声の品質を、定量的かつ定常的に計測すべく、計測手法と計測データに基づいた客観的な品質評価手法を検討し、運用・統計情報統合化システムに実装した。

また、品質評価等による計測地点・項目の増加によって、従来のユーザインタフェースではユーザが必要な情報を適切な形で閲覧することが困難になった。そこで取得した情報の提示方法について改良を行った。

2. 運用・統計情報統合化システムの開発履歴

2.1 運用・統計情報統合化システムの概要

運用・統計情報統合化システムは、映像配信ネットワークの運用時に、各拠点のオペレータ間でチャット・メール等の文字コミュニケーションとして交わされる運用情報と SNMP で計測可能なネットワーク機器等の統計情報の両者を、時間軸に沿って関連付け・提示するシステムである。図1のように各種情報を時間軸で関連付けることにより、「ある現象が起きたときの前後の操作および状況」と「ある操作をしたときの状況の変化」を把握することが容易になるため、映像配信時の状況把握やトラブルシューティングのツールとして有用である。

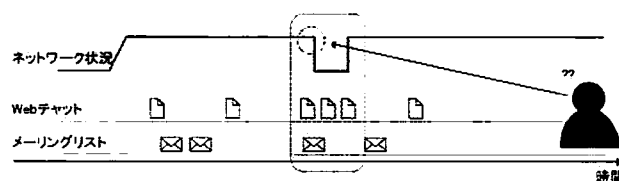


図1 時間軸による運用・統計情報の関連付け

* 独立行政法人 情報通信研究機構 JGN II 東北リサーチセンター (兼任)

** 本校専攻科卒業生 ユニアドックス株式会社

*** 本校専攻科情報システム工学専攻2年

2.2 統計情報の追加

運用・統計情報を時間軸で関連付け、Web ブラウザ上に統合して表示することで検証作業の効率化は進んだが、統計情報としてのトラフィックグラフはトラブルが起こった地点や時間だけしか把握できず、詳しい分析を行う際には情報が不足している。ネットワークは OSI 参照モデルに沿って成り立っているため、各レイヤの状況がわかれば、その原因の切り分けを行うことができるようになる考えた。

本システムでトラフィック状況の取得に利用している SNMP の標準 MIB (Management Information Base, 管理情報ベース) では、これ以外にも多岐にわたるネットワークの情報を扱っている。その中で、検証においてどのような情報が必要であるかを検討した。こういった種類のデータがどれだけ流れているか、またエラーがあった場合にはこういったエラーがどれだけあるかを知ること、状況をこれまで以上に把握できると考え、計測項目の設計を行った。

まずレイヤ 1・2 に関しては標準 MIB の Interface グループを、次にレイヤ 3 に関しては IP グループを、最後にレイヤ 4 に関しては UDP に関する情報を計測項目として追加することで情報の不足を解消した。さらにパケットロス、ジッタの計測も行えるようにした。

2.3 研究開発の状況

2.2 節の改良については、参考文献[2]にて報告した。本論文では、その後の改良点である、映像・音声の品質評価およびユーザビリティの向上について、3 章および 4 章にて報告する。

3. 映像・音声の品質評価機能の改良

3.1 従来の品質評価手法の分析

従来の品質評価は、運用・統計情報統合化システムによって提示される SNMP 標準 MIB の計測項目をグラフ化した統計情報からの類推と、オペレータから報告される運用情報によって行ってきた。

IP レベルでは正常に受信したパケット数とエラーのあるパケット数を計測する項目がある。この 2 つの項目を参照することでパケットレベルの問題が発生しているかがわかる。また UDP レベルでは受信ポートにアプリケーションが無かった受信データグラム数の計測をしており、アプリケーションが正常にポートをバインドできているかがわかる。このように複数の統計情報を参照することにより、映像・音声にノイズが発生した場合の原因究明や障害解析を行っている。しかし、ノイズの発生原因は特定できるが、受信地の映像・音声自体の品質はわからない。

受信地の品質は各オペレータからチャットやメールによるブロックノイズ発生の有無や、パケットロス値のレポートで把握している。このように映像・音声の品質評価は受

信地のオペレータの判断に任されており、報告の形式化もなされていない。

3.2 アプリケーションの解析

受信地での映像・音声の品質を定量的・定常的に把握するために、アプリケーションレベルでの計測・評価手法について検討する。

映像配信に用いているアプリケーション DVTS は、受信側においては図 2 のように UDP パケット受信プロセスと IEEE1394 パケット送信プロセスから構成されている。1 つ目のプロセスでは映像パケットから DIF (Digital Interface Format) ブロックを取り出し、その種類を判断して共有メモリのフレームバッファに格納する。2 つ目のプロセスではフレームバッファから DIF ブロックを取り出し、IEEE1394 パケットにカプセル化する。

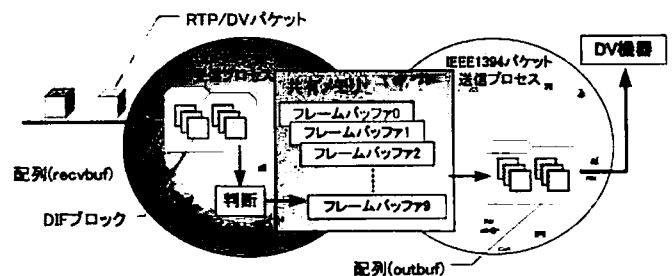


図2 受信側 DVTS の構造

フレームバッファには 150 個の DIF ブロックがあり、図 3 に示すようにデータの種別ごとに適切な位置に格納される。このフレームバッファへの DIF ブロック格納時に映像・音声の DIF ブロック損失率を計測することで、アプリケーションレベルでの映像・音声品質評価の基礎データが得られる。

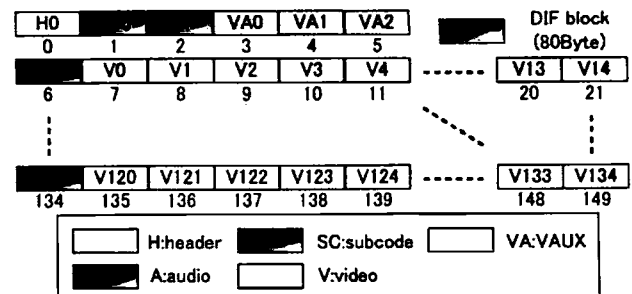


図3 フレームバッファの構造

3.3 品質評価のためのデータ計測

3.3.1 破損フレームの計測による品質評価

まず、フレーム毎に DIF ブロックの損失状況を計測した。1 フレームは 1500 個の DIF ブロックで構成されるが、DIF ブロックが 1 つでも損失したフレームを破損フレームとし、その割合を計測した。図 4 に従来計測していたパケットロスのグラフと今回計測した破損フレーム率のグラフを示す。

パケットロスが比較的少ない状態でも破損フレームが多いことがわかる。

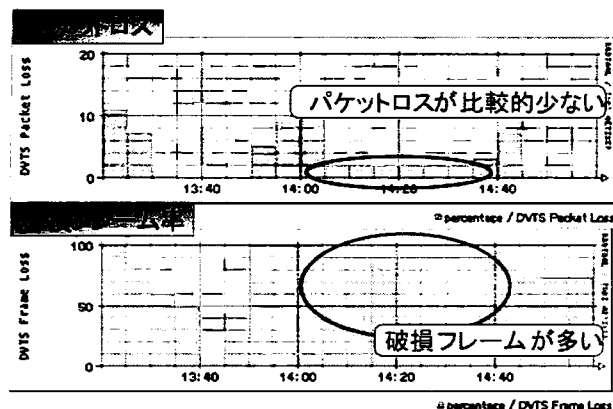


図4 パケットロスと破損フレーム

3.3.2 DIF ブロック損失率の計測

前項の破損フレームの計測では、フレーム中に1つでもDIF ブロックの欠損があると破損フレームとしてカウントしている。しかし、破損フレームの発生率だけでは、品質の判断は難しい。映像・音声の品質は、フレーム内の欠損DIFブロックの割合（損失率）が低い場合は品質低下が少ないが、損失率が高くなると品質低下の度合いが著しくなると考えられる。そこで、映像・音声の品質を評価するための指標としてDIFブロック損失率を計測することにした。

DIFブロック損失率の計測方法を以下に示す。フレームの損失率はDIFブロックID部の1バイト目Type(DIFブロックの種類)、2バイト目DIFseq(シーケンス番号)および3バイト目DIFblockNo(DIFブロック番号)を利用する。Type=Header, DIFseq=0, DIFblockNo=0 から、Type=Video, DIFseq=9, DIFblockNo=134 までが1つのDVフレームに相当する。1DVフレーム分のDIFブロックを受信する間に損失したDIFブロック数をカウントすることでフレーム内のDIFブロック損失率を決定する。この値の5分間平均を可視化したものが図5のグラフである。

図5の①の区間では平均してフレーム内の75%程度のDIFブロックが、②の区間では平均してフレーム内の30%程度のDIFブロックが失われる状態がコンスタントに続いていることがわかる。

図5のグラフでは、損失率が5分間の平均値として表されているため、どの程度の損失率のフレームが、どの程度

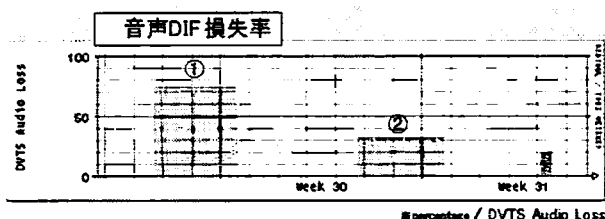


図5 音声DIFブロック損失率

の割合で発生しているのかが把握できない。そこで、各フレームの損失率を20%間隔で区切り、それぞれの損失率区間のフレーム数を積算し、その総受信フレーム数に占める割合を求め、損失率ヒストグラムとして可視化した(図6)。

DIFブロック損失率だけでは品質が悪いという判断しかできなかったが、損失率ヒストグラムにより、どれくらいDIFブロックを損失したフレームが何割あったのか、という詳細な検証が行えるようになった。たとえば、図6の①の区間では、損失率が40%から59%のフレームが5割、60%から79%のフレームが4割と、合わせて9割のフレームで40%から79%のDIFブロックを損失していることが分かる。

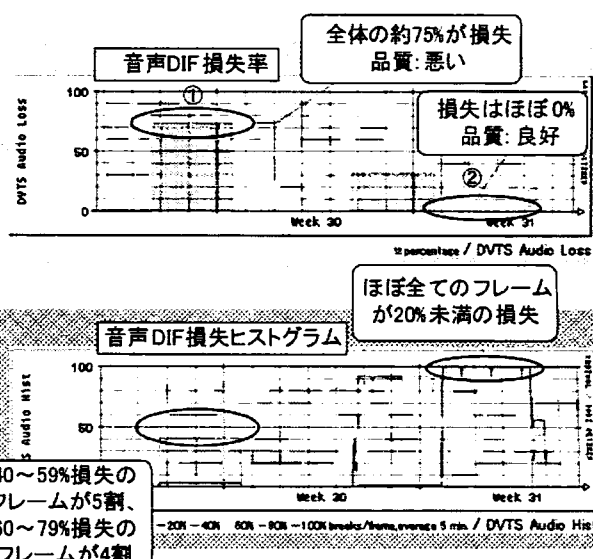


図6 音声DIFブロック損失率とヒストグラム

図6の例は、各区間ともコンスタントな損失が発生している状況を示している。もし、区間内ではほぼ損失なしで受信できているものの、頻度は低いが一時的なロスが発生している場合は、5分間平均のDIFブロック損失率のグラフでは図6の②の区間のように損失はほぼ0%と描画されるが、損失率ヒストグラムのグラフでは高い損失率のラインが百分率の低位置に描画されることになる。

3.4 音声品質の評価

DUMMYNETを利用したネットワークを構築し、音声DIFブロック損失率と実際の音声品質の対応関係を調査した(表1)。

表1 損失率と音声品質の対応

DIFブロック損失率	音声品質
0% - 1%	ほぼ良好
1% - 10%	小さな雑音がある
10% - 40%	やや大きな雑音がある
40% - 70%	音声と雑音が同程度
70% - 100%	雑音にしか聞こえない

この結果を利用することにより、計測した音声 DIF ブロック損失率から実際の音声品質を推定することが可能となった(図7)。

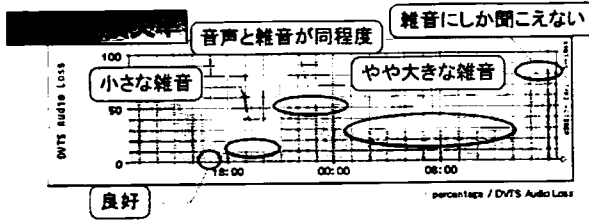
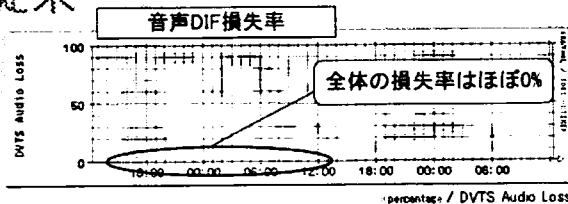


図7 損失率からの音声品質推定

3.5 データ提示方法の見直し

計測項目の有効性を映像配信実験で検証したところ、ヒストグラムのデータ提示方法に問題があることが判明した。ネットワークの状態が良好で、数パーセントのロスが時折発生する程度である場合、区間設定が均等なヒストグラム表示では粒度が荒く、有用なデータが取得できなかった。そこで、損失が少ない状態も詳細に計測できるよう、表1の結果を基に区間設定を見直した。この結果、DIFブロック損失率が0%程度の状態でも、フレーム毎の損失率の違いを把握することができた(図8)。

従来



今回

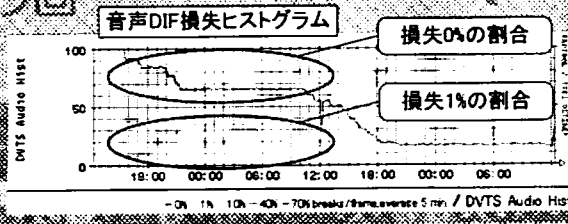


図8 低損失時のDIFブロック損失率とヒストグラム

3.6 多様な受信環境への対応

3.6.1 計測環境構築の問題点

計測項目はFreeBSD版DVTSに実装している。そのため、映像受信地がFreeBSD環境でなければ計測できない。最近の映像配信ではWindows版DVTS利用者が増加し、計測が困難になっている。また、FreeBSDで受信している地点でも計測用DVTSの導入や、設定が必要になるため、オペレータの負担になる。そこで、受信環境によらず、手軽に計測環境を構築する手法を検討した。

3.6.2 DVTSブロープの開発

DVTSブロープとは受信地で映像パケットの複製を行い、

そのパケットを利用して計測を行うシステムである(図9)。このシステムを導入することにより、受信環境のプラットフォームに依存しない計測環境が構築できる。

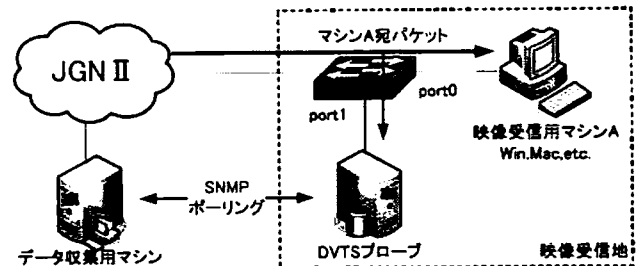


図9 DVTSブロープ概念図

DVTSブロープは映像受信用マシン宛パケットをスイッチのミラーリングで複製し、プロミスキャスモードで受信を行う。このパケットからBPF(Berkley Packet Filter)で映像データだけを取り出し、DVTS本体のプログラムから移植した計測コードによって計測を行う。

4. ユーザビリティの向上

4.1 グラフ情報選択

4.1.1 問題点

図10に示すように各計測拠点での計測項目の増加により、従来の単純なユーザインタフェースではデータの一覧可読性が得られなくなった。

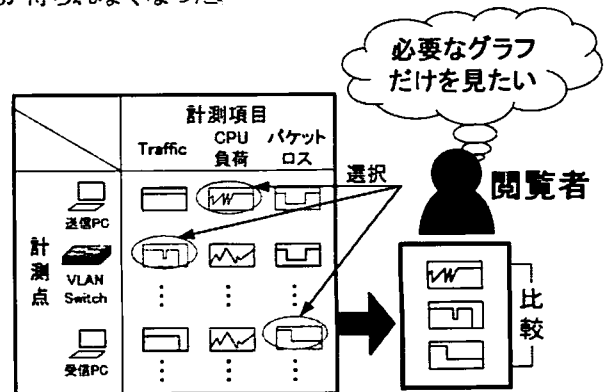


図10 情報選択機能の必要性

また、ユーザが必要な情報は配信実験の進行状況やユーザの立場によって異なる。従って、大量のグラフ項目から閲覧者が必要なもののみを選択し、比較できるシステムが必要になる。

4.1.2 要求分析

従来は1つのウィンドウに全ての情報を統合していたが、グラフの比較は様々なパターンで行われることが考えられるため、統計情報グラフ表示部をグラフ選択とグラフ比較の2つに分けた(図11)。このとき、グラフ比較ウィンドウ

は複数作成することができる。また、グラフ選択の方法として、どの機器の何の計測項目なのかを選択するツリー表示と、実際のグラフから選択するプレビュー表示を設けた。

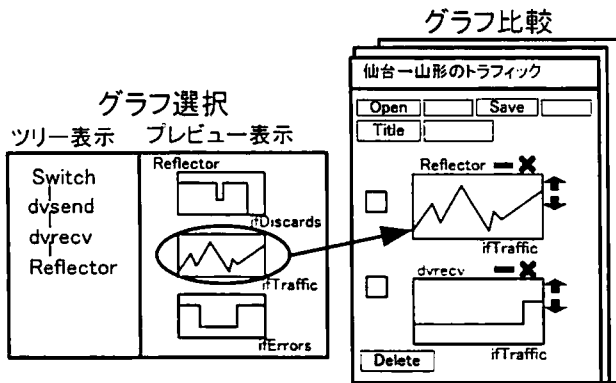


図 11 情報選択機能の概要

4.1.3 設計・実装

設計したシステムの概要を図 12 に示す。従来のシステムはグラフの表示を一つのモジュールで行っていたため、新たにツリー表示・グラフ比較モジュールを作成し、各モジュール間で時間範囲・機器情報を CGI の GET メソッドを用いて受け渡すことで実現している。また、モジュールの増加に伴いグラフ項目の表示を行うためのリストを作成した。

グラフ選択ウィンドウのツリー表示ないしはプレビュー表示から選択された項目のグラフが、グラフ表示ウィンドウに描画される。このとき、選択されたグラフの時間範囲も取得し、グラフの左下に表示する。

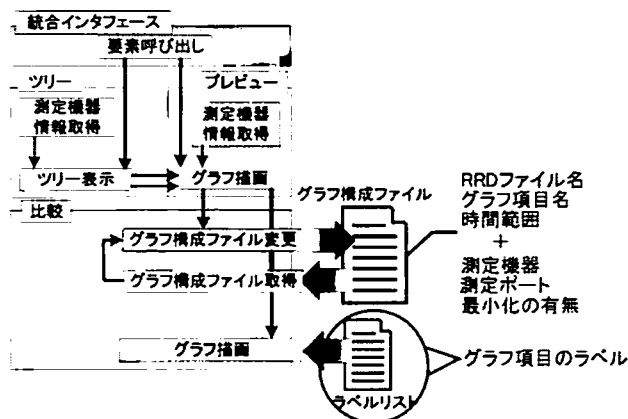


図 12 グラフ選択機能内部設計

これにより、一つの機器の複数の時間範囲を閲覧することも可能である。選択されたグラフの表示順は矢印アイコンを操作することで変更できる。一度に複数の任意のグラフを削除することや、特定のグラフを一時的に非表示にすることも可能である。また、グラフの構成を保存し、誰からでも呼び出すことができるようにすることで、複数の閲覧者が同じ構成のグラフを閲覧しながら検証作業を進めることが可能である。

図 13 に情報選択機能を実装したシステムのユーザインタフェース画面を示す。

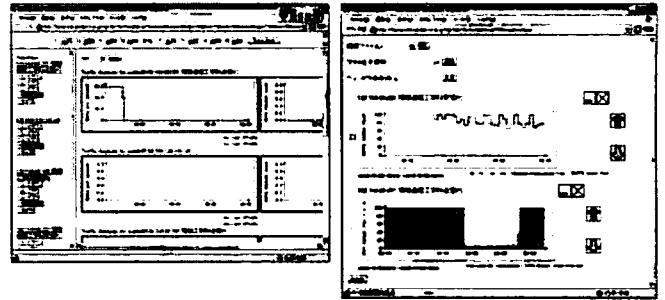


図 13 情報選択機能を実装したインタフェース

4.2 時間範囲指定

運用・統計情報統合化システムの特徴は、各種情報を時間軸に関連付けて表示するところにある。時間範囲の指定を視覚的かつ直感的な操作で行えるようにすれば、システムの操作性向上が期待できる。

4.2.1 要求分析

時間範囲を絞りこむには、直感的かつ簡単に操作できることが必要である。そのために必要な機能として、グラフ上で選択した範囲のみを表示する、という機能が挙げられる。これによって、問題の箇所注目することが可能となる。また、現在のインタフェースには無い視覚的に時間帯を認識することができる機能が必要になる。それには、時間範囲は絞りこまないまま時間帯のみをスライドすることができる、という機能が上げられる。これにより現在表示している時間範囲の前後のグラフを見ることができる。

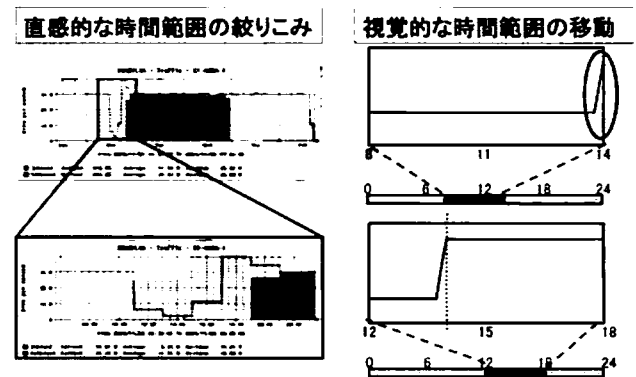


図 14 視覚的かつ直感的な操作による時間範囲指定

そこで、現在表示されているグラフを基準にし、時間範囲を絞り込んでグラフを詳細に見たい場合はその時間範囲をドラッグする操作で、また時間範囲を前後に移動したい場合はスライドバーの操作で、時間範囲の指定ができるように改良した。

4.2.2 設計・実装

以上の分析をもとに、設計・実装を行った（図 15）。

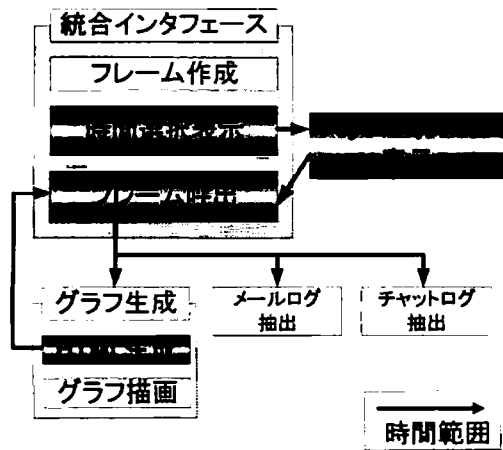


図 15 内部設計

時間範囲の絞りこみでは、HTML 生成部に JavaScript^[4]を記述し、JavaScript を用いてマウスの動作を監視、選択された範囲の座標の取り込みを行っている。そして、座標を時間軸に変換しなおし、要素呼び出しに値を渡している。値を渡す際には、統合インタフェースへの値の受け渡しは全て GET メソッドを利用しているため、必要な値を付加して統合インタフェースの URL を開くことによって、値の受け渡しを行っている。

時間範囲の移動では、新たに JavaApplet^[5]でスクロールバーを Web ページに埋め込むプログラムを記述し、選択フォームを表示するモジュールから呼び出している。選択フォーム表示から、初期配置の値を受け取り、表示する。その後、スクロールバーが停止した位置を取得、時間に変換してから要素呼び出しに値を渡している。

5. 評価

5.1 計測項目の増加

アプリケーション内での DIF ブロックの損失状況を計測することで、受信地での映像・音声の状態を定常的に把握することが可能となった。拠点オペレータからのメール・チャットでの報告によらず受信状況が推測できるようになったことは、イベント中継等での映像配信ネットワークの運用コスト低減につながる。しかしながら、映像・音声の定量的な計測には至っておらず、その手法確立が今後の課題となる。

また、これまで計測してきたネットワークレベル、アプリケーションレベルの計測データには異常が見られないにも関わらず、実際の映像・音声にノイズが発生することがあった。現在のアプリケーションレベルの計測は DVTS 受信プロセスのうち、UDP パケット受信プロセスでしか行っておらず、IEEE1394 パケット送信プロセスは解明していない。

よって IEEE1394 送信プロセス以降で問題が発生していると考えられる。そこで、このプロセスの解析と IEEE1394 ア

ナライザを用いて送信間隔などが規格に沿っているかなどを検討する必要がある。

映像配信において、受信地での映像・音声の品質評価が不十分であることから、アプリケーションレベルでの計測と評価を目指した。DVTS の解析を行い、プロセスの概要とデータ構造を明らかにしたことで DIF ブロックの利用による計測手法を考案した。これによって受信状況やデータ損失状況などの定量的、定常的な計測が可能となり、計測データから客観的な品質評価を行うことが可能となった。

しかし、ロスのない状態で音声品質にノイズが混じるという現象は原因が究明できていない。そのため、この現象の原因が IEEE1394 送信プロセス以降にあることが考えられ、検証の必要性がある。

5.2 ユーザビリティの向上

固定化されたネットワーク構成のもとでのシステム利用においては、必要とされる情報選択および時間範囲指定の機能が実装されたといえる。これによって、映像配信ネットワークが複雑になった場合でも、検証に必要な情報の閲覧が容易になった。

今後はネットワーク構成管理データベースとの連携において、ユーザインタフェースやデータ可視化の方法について検討する必要がある。

6. おわりに

運用・統計情報統合化システムの各種機能拡張がなされたが、全般的に実際のイベント中継等でのフィールドテストが十分ではない。今後、イベント中継等の機会があるごとにフィールドテストを重ね、実装した機能の検証を行う予定である。また、これまでは統計情報に重点をおいて改良を行ったが、今後は運用情報の面でも改良を進めて行く。

参考文献

- [1] 行方, 脇山, 菅野, 菅沼, 曾根: 「ギガビットシンポジウム in 東北」映像配信実験の実施, 平成 15 年度電気関係学会東北支部連合大会(2003.8)
- [2] 奈良岡, 脇山: 映像配信ネットワークのための運用・統計情報統合化システムの開発, 仙台電波工業高等専門学校研究紀要, 第 34 号, pp.99-104(2004).
- [3] Net-SNMP Project, "Net-SNMP", <http://www.net-snmp.org/>.
- [4] 宮坂雅輝: JavaScript Handbook, ソフトバンクパブリッシング (2001.11) .
- [5] Joseph O'Neil: 独習 Java 第 2 版, 翔泳社(2002.07).