

仮想計算機技術を利用した映像配信システムの構築

羽田 友和^{†1} 水越 一貴^{†2} 八代 一浩^{†3}

インターネットを利用した映像中継が行われるようになってきている。しかし、インターネット中継を行うたびに配信環境を準備するのは、サーバなどの物的資源だけでなく、人的資源の面でも負担が大きい。人的リソースを削減する手法として、配信環境を定期的に用意しておく方法もあるが、専用のリソースが必要になるという問題がある。これらの問題を解決する方法として、仮想計算機技術を用いた映像配信システムの提案を行う。本システムにより、性能の劣化はあるものの、通常時は別用途に使用している環境を利用して短時間のうちに配信環境を構築できる仕組みを実現し、人的資源を節約する。また、提案システムを実際に構築し、本提案システムの有効性を示す。

Construction of Video Streaming System Using Virtual Machine Technology

TOMOKAZU HADA,^{†1} KAZUTAKA MIZUKOSHI^{†2}
and KAZUHIRO YATSUSHIRO^{†3}

Video streaming activities on the Internet have become popular. However, there are problems in not only server and network resources but also human resources if the streaming system which consists of networks and servers is newly constructed for each activity. There is a method of regularly preparing the delivery environment as a technique for reducing a human resource. However, there is a problem of needing a special resource.

In this paper, we propose a delivery system that uses a computer system constructed with virtual machine technology as a method of solving these problems. This system achieves the delivery environment in a short amount of time by using the environment used for another usage. It saves human resources though the performance is deteriorated. Its effectiveness was confirmed by an experiment on an actual system based on the proposed method.

1. はじめに

xDSL, CATV, FTTH といった高速回線が一般家庭に普及したことで、インターネット上で映像をコンテンツとしたサービスを利用する機会が増えている。我々はこれまでに地域で行われるイベントや LIVE! ECLIPSE¹⁾ などのインターネット中継を行ってきた。その際、日常的にインターネット中継を行う環境を持たないため、インターネット中継を行うたびに中継環境を構築し、終了する際に元の環境に戻すという作業を繰り返していた。このような作業は人手を介して行うため、大規模な中継を行う際には中継に用

いるサーバの設定に多くの人員が必要となる。また、サーバを分散させた場合には、それぞれの設定情報を共有する仕組みなどが必要となり、運用管理にも人的コストがかかる。

そこで本論文では、配信に使用するサーバの設定・管理を容易に行え、構築に必要な人員を削減可能な映像配信システムを提案する。具体的には、通常別用途に使われている計算機に仮想計算機を導入する。そしてインターネット中継を行う際に仮想計算機上に配信環境を一時的に構築する。提案システムによって、サーバ設定を容易にし、本来別用途のためにある環境を一時的に配信環境として利用することを可能にする。これによりサーバ設定・管理に必要な人員を削減し、人的コストを削減することができる。

本提案手法を評価するため、シミュレーションを行うとともに、提案システムを実際に構築しインターネット中継を行った。本論文では、中継を行ったシステムの運用データをもとに評価を行い、システムの有効性を示す。

†1 株式会社 YSK e-com
YSK e-com Corporation

†2 山梨大学医学工学総合教育部
Interdisciplinary Graduate School of Medical and Engineering, University of Yamanashi

†3 山梨県立大学国際政策学部
Faculty of Global Policy Management and Communications, Yamanashi Prefectural University

以下 2 章では、映像配信環境を構築するうえでの従来までの問題点について触れ、3 章で映像配信システムに求められる要件を述べる。4 章で提案システムである仮想計算機を用いた映像配信システムについて述べ、5 章でシミュレーションによる評価を行う。6 章では、提案システムを実システムに適用した結果を述べ、評価を行う。7 章は結論である。

2. 従来の中継での問題点

大規模なインターネット中継を行う場合には、サーバやネットワークに対する負荷を分散する目的でサーバを複数台用意し、それらを複数箇所に分けて設置する場合が多い^{2),3)}。このような環境で中継を行う際に下記のような課題があげられる。

- (1) リソースの確保
- (2) リソースの最適化
- (3) システム構築の簡素化
- (4) 運用の省力化

(1) については、中継に必要なサーバなどの物的リソースとシステムの構築や運用に必要な人的リソースをどのようにして確保するかということが課題となる。この課題を解決する手法として、中継に参加する組織からリソースを持ち寄ることなどが考えられる。しかしながら、これは技術的な課題ではないため、本論文では議論しない。(2) については、確保した仕様の違うサーバや上位回線が複数箇所に分散している状況において、それらの効率的な利用を目指すという課題である。この課題を解決する手法として、我々が提案した手法がある^{3),4)}。(3) は、映像信環境の構築に必要なシステム構築の簡素化についての課題である。中継に使用するサーバが複数箇所に分かれて存在し、かつサーバ台数が複数になるような場合、1 台ずつ設定を行うのは煩雑であり、時間がかかる。作業を複数人で分担することも考えられるが、設定のための人員が必要になるのに加え、設定情報の共有に時間がかかる。また、設定内容に差異が生じるなどの運用リスクの問題も発生する。それらを解決する方法として豊島ら⁵⁾の方法がある。この方法は、定常的にインターネット中継の環境を構築し、上述の課題を解決する手法である。この方法は中継のたびに環境を構築する手間がないという点で優れているものの、中継幹線を対象としていること、また、専用リソースを常時確保しておく必要があるという問題がある。本論文ではこの問題について解決する手法の提案を行う。(4) も重要な課題であるが、本論文では議論せず、今後の課題とする。

上述したシステム構築の簡素化についてまとめると下記ようになる。

- 人員不足などにより、映像配信環境の構築に時間がかかる。
- サーバを統一的に設定・管理することが困難。
- 専用サーバを常時用意することが困難。

次章では、これらの問題を解決する映像配信システムを実現するための要件について述べる。

3. 映像配信システムの要件

前章で示した問題点を解決するために、映像配信システムは以下の要件を満たすものとする。

- 短時間でサーバの構築・復旧が可能であること。
- 分散したサーバの環境を 1 カ所で集中管理できること。
- 通常時は別用途に使用している機器を利用できること。

上記の要件を満たすためには、遠隔から何らかの手法によって短時間でサーバの設定を変更できる仕組みが必要である。以下では要件を満たす従来の仕組みについて検討する。

3.1 リモートアクセスによる環境構築

サーバの設定作業をリモート端末から行うには、1) リモート端末のシェルを利用できる環境を実現する telnet や rsh, rlogin, SSH などのツールを利用する、2) リモート端末を GUI ベースで操作可能な環境を構築可能な Windows XP などに付属のリモートデスクトップ機能や Symantec 社⁶⁾の pcAnywhere⁷⁾を利用する、といった方法がある。

しかしながら、サーバの一元管理は可能となるものの、サーバ設定は 1 台ずつ行わなければならないため、環境構築に時間がかかってしまうため要件を満たさない。

3.2 データ配布による環境構築

サーバ設定を行ったハードディスク (HDD) もしくは設定に必要なデータを記録した CD や DVD をサーバ分用意し、各拠点に配布することでサーバを管理する手法がある。

この場合、雛形となる 1 台分の設定データを用意し、残りの台数分は HDD や CD, DVD をコピーすることで作業量は短縮できるが、コピーのための時間と郵送や手渡しでの配布が必要となり、データの作成と配布に時間がかかってしまう。

3.3 商用の管理ツールを利用した環境構築

分散配置された端末の HDD に、ネットワーク経由でソフトウェアを配布する仕組みを実現する商用の管理ツールを利用して管理する。主な管理ツールとし

て、Symantec 社の Symantec Ghost⁸⁾ や IBM 社⁹⁾ の IBM RDM (Remote Deployment Manager)¹⁰⁾ がある。

しかしながら、前者の場合、GhostCast という仕組みで、サーバクライアント間でイメージの取得や配布を行うことができるが、クライアントはあらかじめ用意した Ghost の起動ディスクを使って起動する必要がある。クライアントの環境を完全に自動で入れ替える仕組みは実現されていない。後者は、IBM Director¹¹⁾ というシステム管理製品をベースとした配布ツールであり、配布対象システムごとに有償ライセンスが必要となる。適用されるライセンスは、配布対象システムの種類（サーバ、ワークステーション）や IBM 社製製品か否かによって異なってくるため、仕様の異なるサーバを利用し、それらをネットワークを介して管理するような場合には、利用態勢を整えること自体に手間がかかってしまい、現実的でない。

3.4 仮想計算機技術を利用した環境構築

仮想計算機技術を利用して複数台のサーバを管理する手法として、仮想計算機技術を利用したシステムがある^{12),13)}。仮想計算機技術を用いることにより、1つのイメージを複数のサーバにコピーするだけで環境構築および復旧が行える。また、分散環境でもネットワークを利用して設定が行えるため、集中管理が行える。たとえばこのシステムを大学や小中学校などの教育機関に分散配置させる。教育システムは平日の昼間は教育用に利用されているが、夜間や休日には研究目的に利用することができるような場合に、システム要件を満たすシステムを構築することができる。

4. 仮想計算機システムを利用した映像配信システム

提案する映像配信システムの構成を図1に示す。各拠点に分散している計算機上で仮想計算機を動作させ、仮想計算機上で配信サーバを稼動する。配信サーバとなる計算機の OS (ホスト OS) には、あらかじめ仮想計算機を実現するソフトウェアがインストールしてあるものとする。管理サーバは配信サーバを統一管理するためのサーバであり、仮想計算機上で起動する OS (ゲスト OS) のイメージとゲスト OS に配布するネットワーク情報を一元管理する。管理サーバはネットワークを介して各配信サーバからアクセスできる位置に設置される。

管理サーバから配信サーバを起動する計算機に対してゲスト OS のイメージが配布され、次にネットワーク情報 (IP アドレス、ネットマスク、デフォルトゲ

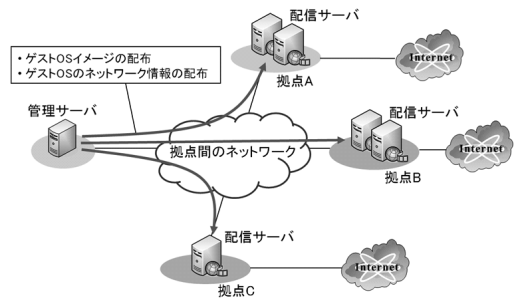


図1 映像配信システムの構成

Fig.1 Configuration of proposed system.

トウェイ)も配布され、計算機の仮想計算機上で起動する。これにより、ゲスト OS を仮想計算機上で起動した時点で配信環境が整っているため、個々のサーバで設定を行う必要がなく、同一設定のサーバを即座に作り出すことが可能となる。

また、設定変更が生じた場合にも、管理サーバから設定変更を行ったゲスト OS イメージを配布することで、すべてのサーバの環境を変更することができるため、一元管理が可能となる。さらに、映像配信終了後は、管理サーバ上のゲスト OS イメージを通常使用する別の OS イメージと入れ替え、各計算機を再起動することで、仮想計算機側の OS が通常使用する OS に入れ替わる。これにより、環境構築や元の環境への復旧が容易に行える映像配信システムを実現することができる。なお、管理サーバからゲスト OS イメージを配布する方法およびネットワーク情報を配布する方法については手動、自動どちらでも実現可能であるため、ここでは限定しない。なお、自動化の実現方法についてはスクリプトの利用などがあげられる。

運用時に注意すべき点として、ゲスト OS が商用 OS の場合のライセンスに関する問題がある。本提案システムにより他の組織のサーバに対してイメージを配布するような場合は特に注意が必要である。OS によっては、サイトライセンスを保有していたとしても組織内でのみ有効であり、第三者のサーバにインストールすることはライセンス違反となってしまう。

本手法を用いることにより、映像配信システムに必要とされる要件を満たすシステムが構築できる。そのため、システムの構築・復旧の時間短縮が期待できる。しかしながら、仮想計算機上で稼動するため、実システムと比較して性能の劣化が生じるという技術的課題がある。そこで以下の章では、(1)サーバの性能劣化の課題については、シミュレーションと実運用から、(2)構築・復旧の時間短縮に関しては実運用から評価を行う。

表 1 サーバと測定端末のハードウェア仕様

Table 1 Hardware specifications of a server and mesarment PC.

機器	CPU	Memory	HDD	NIC
サーバ	Pentium4 3.4 GHz	1.0 GB	120 GB	1000BASE-T
計測端末	Intel Core Duo T2400 1.83 GHz	1.5 GB	60 GB	1000BASE-T

表 2 サーバの OS 仕様

Table 2 OS specifications of servers.

名称	ホスト OS	ゲスト OS
Normal-WMS	Windows Server 2003	-
VM-WMS	Linux (FedoraCore4)	Windows Server 2003

5. シミュレーションによるサーバの性能評価

本章では、仮想計算機上に構築したサーバと通常のサーバとの性能比較を行い、どの程度の機能劣化があるかの評価を行う。

これまで行ってきたインターネット中継では、Microsoft 社の Windows Media Technology¹⁴⁾ を利用してきたことから、Windows Media Technology を利用することを想定し、評価を行うこととした。

配信サーバの OS には、Windows Server 2003 Enterprise Edition¹⁵⁾ を採用し、Windows Media Server (WMS) を構築する。シミュレーションツールとしては、WMS に対して負荷を発生することができる Windows Media Load Simulator 9.0¹⁶⁾ を利用する。また、仮想計算機を実現するソフトウェアとしては VMware Workstation 5.5¹⁷⁾ を採用した。使用したサーバの仕様は表 1 のとおりであり、実計算機上に WMS を構築するサーバ (Normal-WMS) と仮想計算機上に WMS を構築するサーバ (VM-WMS) とともに同スペックの計算機を使用する。また、VM-WMS と Normal-WMS の OS の構成は表 2 のとおりであり、VMWare を動作させる VM-WMS のホスト OS には Linux ディストリビューションの一つである Fedora Core4 を採用している。なお、VM-WMS においては物理メモリ 1GB のうちゲスト OS に 512MB を割り当てている。

上記環境において、Windows Media Load Simulator をインストールした計測用の計算機 (計測計算機) (仕様は表 1 を参照) とサーバを UTP クロスケーブルで直接接続し、映像配信に影響を与える要因となる CPU 負荷、メモリ使用量、ネットワークのスループットについて計測を行った。

5.1 CPU 負荷に関する評価

図 2 は、接続数に対する VM-WMS と Normal-WMS それぞれにおける最大 CPU 負荷と平均 CPU 負荷を示している。また、図 3 は、VM-WMS にお

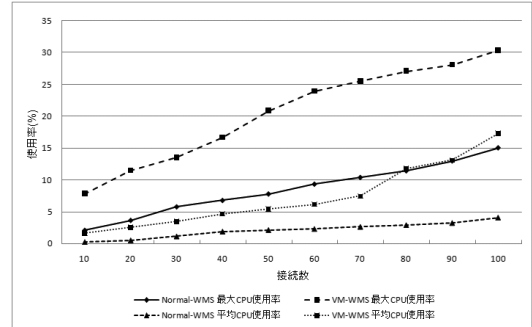


図 2 CPU 負荷

Fig.2 CPU load.

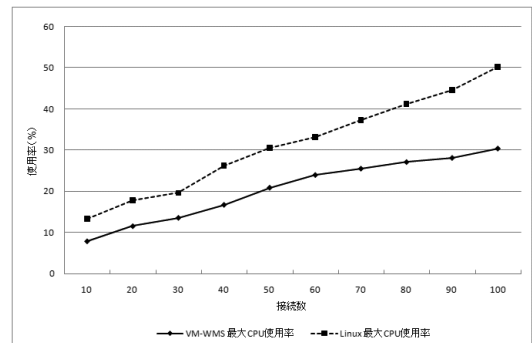


図 3 Linux と VM-WMS の最大 CPU 負荷

Fig.3 Max CPU load of Linux and VM-WMS.

ける、ホスト OS である Linux とゲスト OS である Windows の接続数に対する最大 CPU 負荷を示している。

Microsoft 社が提供する Windows Media についてのサポートサイトである Microsoft Windows Media Developer Center¹⁸⁾ に公開されている資料によると、Windows Media Load Simulator を使用した場合、Windows Media Server に付属の Windows Media パフォーマンスモニタに表示される CPU 負荷の値が連続的に 50%より大きい場合、CPU のパワー不足を意味することになる。したがって、ここでは CPU

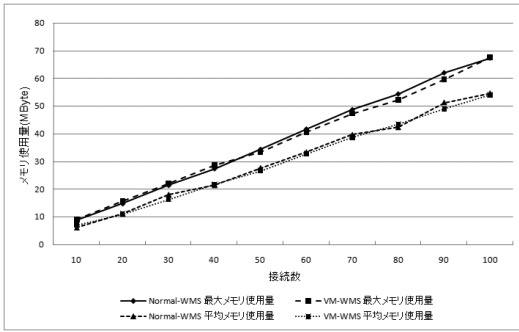


図 4 メモリ使用量
Fig. 4 Memory usage.

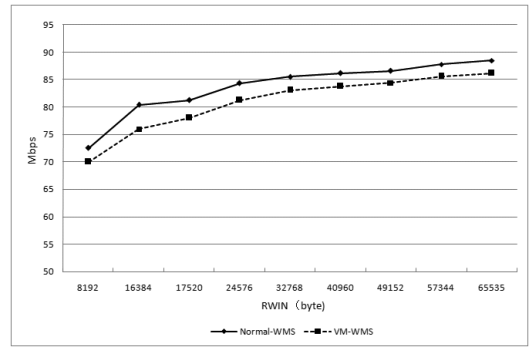


図 5 スループット
Fig. 5 Throughput.

負荷 50%を閾値として評価を行うこととする。

図 2 より, Normal-WMS と VM-WMS とともに接続数が増えるに従い CPU 使用率は増加しており, 100 接続で最大値をとる. 最大 CPU 負荷の最大値は, Normal-WMS では約 15%であり, VM-WMS では約 30%となっている. 閾値は 50%としているため, 両者ともに十分余裕のある値であるが, VM-WMS の CPU 使用率は仮想計算機から見た CPU 負荷であり, 端末全体を考慮した CPU 負荷ではない. そのため, ホスト OS である Linux 側で CPU 負荷を計測し, 端末全体の CPU 使用率に対して評価を行う必要がある. 図 3 より, VM-WMS で最大 CPU 負荷が 30%を超えると Linux 側で 50%に到達することが分かる. したがって, VM-WMS 側で 30%以下であれば, 端末全体の CPU 負荷が閾値を超えないものとして以降の評価の指標とする.

また, 図 2 より, 接続数が 70 を超えると, 接続数が増えるに従い, VM-WMS における平均 CPU 負荷の増加する割合が増していく現象が見られた. CPU 負荷自体には問題はないが, 安定性の面で問題があると判断し, 接続数 70 を安定運用のための指標とする.

5.2 メモリ使用量に関する評価

図 4 は, 接続数に対する VM-WMS と Normal-WMS それぞれにおける最大メモリ使用量と平均メモリ使用量を示している. 図 4 から, 接続数が増えるに従ってメモリ使用量も増加していることが分かるが, VM-WMS と Normal-WMS に差がほとんどないことが確認された.

5.3 スループットに関する評価

VM-WMS と Normal-WMS のスループットを比較するため, netperf¹⁹⁾ を用いて計測を行った. なお, 配信サーバでは配信プロトコルに HTTP を利用することを想定し, TCP におけるスループットを計測する. スループットは TCP ウィンドウサイズ

と RTT に依存するため, 複数のウィンドウサイズに対して計測を行う. 視聴者の OS としては Microsoft 社の Windows OS が最も多く使われると推測されるため, 様々な TCP ウィンドウサイズを設定することとした. 具体的には, 8,192 byte, 16,384 byte, 17,520 byte, 24,576 byte, 32,768 byte, 40,960 byte, 49,152 byte, 57,344 byte, 65,535 byte それぞれについて計測を行っている.

計測は, 計測端末とサーバを UTP クロスケーブルで 100 Mbps の速度で直接接続し, 計測端末で netperf のサーバプログラムを起動し, サーバで netperf のクライアントプログラムを動作させ, netperf における信頼レベルとして 99%が得られるまで 2 回 ~ 15 回行った. 計測結果を図 5 に示す.

図 5 から, ウィンドウサイズが 16,384 byte の場合で VM-WMS と Normal-WMS との差異が最大となり, Normal-WMS に対し VM-WMS は 5 Mbps 程度スループットが落ちることが確認された. しかしながら, どのウィンドウサイズにおいても, VM-WMS のスループットは Normal-WMS のスループットに対し 90%以上の割合となっている. また, VM-WMS のスループットの最低値は約 70 Mbps であるが, インターネット中継を 512 Kbps で配信することを想定した場合, 1 台のサーバで処理できる接続数は

$$\frac{70000}{512} = 136.7$$

となり, 130 接続以上に対応できるため, 実用に耐えうると判断した.

6. 実運用による評価

前章までの議論からシステムの実装を行い, 実際にイベントをインターネット中継する中で, サーバのパフォーマンスと環境構築における作業時間について評

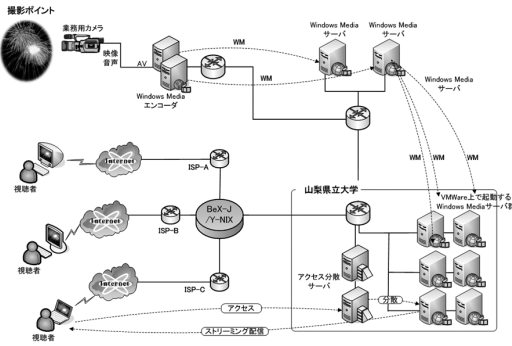


図 6 湖上祭中継システム
Fig. 6 The streaming system for Kojousai.

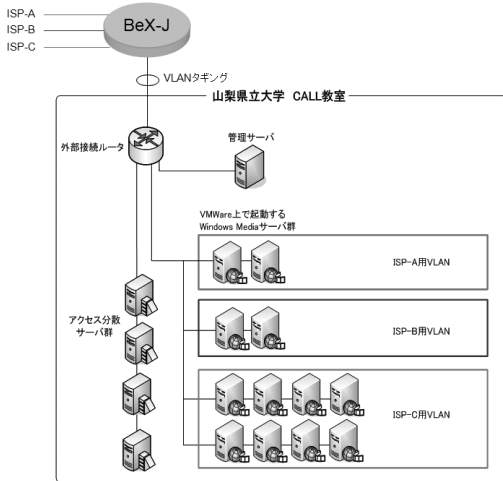


図 7 CALL 教室
Fig. 7 CALL classroom.

価を行った。評価は2006年8月4日に行われた第90回河口湖湖上祭の様をインターネット中継した活動の中で行った。中継は19時30分から21時の間配信した。

6.1 配信環境

インターネット中継を行うにあたり、ストリーミング技術には、Windows Media Technology を採用し、配信プロトコルは HTTP、配信レートは 512 Kbps とした。構築したシステムの全体構成を図 6 に示す。

6.2 サーバ構成

今回、サーバとして使用する機器には山梨県立大学の CALL 教室に設置されている端末を利用した。CALL 教室内の構成を図 7 に、CALL 教室に設置したサーバの仕様を表 3 に示す。CALL 教室では、仮想計算機技術を利用して教育計算機システムを運用しており、48 台の端末を一元管理するシステム (Valet System)²⁰⁾ を導入している。Valet System は、管理

表 3 サーバのハードウェア仕様
Table 3 Hardware specifications of servers.

種類	CPU	Memory	HDD
配信サーバ	Pentium4 3.4 GHz	1.0 GB	120 GB
負荷分散サーバ	Pentium4 3.4 GHz	1.0 GB	120 GB

表 4 上位回線一覧
Table 4 Specifications of uplink.

上位 ISP	許容帯域	割当サーバ台数	最大接続数/台
ISP-A	20 Mbps	2	20
ISP-B	25 Mbps	2	25
ISP-C	300 Mbps	8	50

サーバから各端末に仮想計算機のゲスト OS イメージおよびネットワーク情報を自動配布する仕組みを有するのに加え、管理サーバから各端末の起動停止や起動させるイメージの指定を行う機能を有している。

6.2.1 提案システムの実現

CALL 教室の端末では、VMWare Workstation 5.5 によって仮想計算機環境を実現しており、ホスト OS として Linux (FedoraCore4)、ゲスト OS として Windows XP を採用している。CALL 教室の端末を配信サーバとして利用するため、Windows Server 2003 Enterprise Edition に Windows Media Server の設定を行ったゲスト OS のイメージおよびネットワーク情報を用意し、管理サーバから全端末に配布した。なお、提案システムではゲスト OS イメージおよびネットワーク情報の配布方法については指定していないが、今回は Valet System の自動配布機能を利用した。

6.2.2 ネットワーク構成

インターネット中継では、不特定多数のアクセスが見込まれる場合には負荷分散機能が必要となる。今回は富士河口湖町の協力の下、告知を行ったこともあり、多数のアクセスが見込まれたため、負荷分散システム (LAFS+HADA)^{3),21)} を導入した。しかしながら多数のアクセスが見込まれない場合には必須ではない。

山梨県立大学は、山梨県の地域 IX である Y-NIX²²⁾ と BeX-J²³⁾ に接続しており、それらを通じ今回 3 組織 (ISP-A, ISP-B, ISP-C) の上位回線を確保した。各回線の許容帯域は表 4 に示すとおりである。図 7 に示すように、上位回線ごとに VLAN を設定し、各 VLAN には許容帯域に対応できる台数の配信サーバを配置した。配置したサーバ台数は、ISP-A 用に 2 台、ISP-B 用に 2 台、ISP-C 用に 8 台とした。なお、山梨県立大学と地域 IX 間の回線帯域は 1 Gbps となっており、山梨県立大学側のルータには Juniper 社²⁴⁾ の M7i を、また、サーバを収容するスイッチには CISCO 社²⁵⁾ の Catalyst 2970 を利用している。

表 5 配信サーバの準備にかかる時間

Table 5 Working hours in preparation for a delivery server.

工程	作業時間
HDD のフォーマット (120 GB)	35 分
Windows のインストール	10 分
初期設定	10 分
ネットワーク設定	5 分
Windows アップデート	30 分
SNMP サービスのインストール	3 分
SNMP の設定	1 分
WMS のインストール	3 分
WMS の設定	15 分
全工程の合計	112 分

上位回線の許容帯域を受け、負荷分散システムにおいて、トラフィック量と視聴者の接続数の上限を表 4 のとおり設定した。トラフィック量には上位回線の許容帯域を設定し、視聴者の接続数の上限はシミュレーションの結果から、最大値を ISP-C の 50 としている。これはシミュレーションの結果を受け、CPU 負荷が 50%以下に収まり、安定運用の指標とした 70 接続以下でかつ回線帯域に余裕を持たせたためである。

6.3 環境構築時間についての評価

本手法を用いずに配信サーバ 1 台を構築するのに必要な時間について、各工程における作業時間を計測した結果を表 5 に示す。

従来はサーバごとに設定を行っていたため、サーバ台数分の作業が必要になるため、12 台の設定には、112 分 (全工程の作業時間の合計) \times 12 = 1,344 分が必要であった。これに対し、提案システムを用いると、雛形となるゲスト OS イメージを作成するために 1 台だけをセットアップし、そのイメージを配布するだけでよい。今回、各端末へのゲスト OS イメージおよびネットワーク情報の配布は Valet System の自動配布機能を利用しており、端末すべてにイメージを配布するのにかかった時間は 25 分、ネットワーク情報の配布には 5 分かかっている。このため、必要な時間はそれらを全工程の合計からネットワーク設定の時間を引いたものに足し合わせ、 $(112-5)+25+5=137$ 分となる。Valet System を利用しない場合には、ゲスト OS イメージの配布に 1 台あたり 10 分、ネットワーク情報の配布に 15 分かかるので、 $(112-5)+(10+15) \times 12=407$ 分かかる。よって、サーバ台数が 2 台以上である場合、提案システムによって構築した方が作業時間が短くなり、設定しなければならぬサーバ台数が増えるほど効果が期待できる。また、環境を元の状態に戻す際は、同様に提案システムを用いて以前使用していたゲスト OS のイメージおよびネットワーク情報を配布し直せ

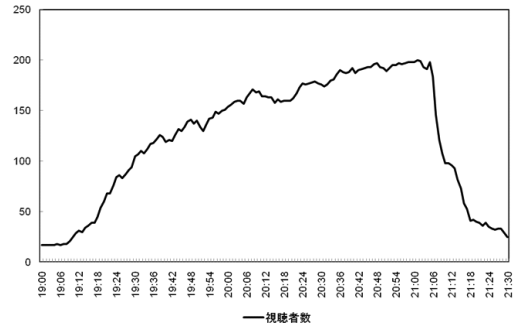


図 8 視聴者数

Fig. 8 The number of audience.

ばよく、手動で配布作業を行っても 1 台につき 25 分程度で元の環境を復旧できた。この時間を考慮するとサーバが 1 台であっても本手法を利用する方が有効である。

6.4 パフォーマンス評価

前節で、提案システムによって配信環境の構築にかかる作業時間が短縮されたことを示したが、パフォーマンスの面で実際の運用に耐えうるものかを以下で評価する。

6.4.1 配信結果

湖上祭中継時における視聴者の数を図 8 に示す。また、CGI への総アクセス数は 506 であった。図 8 は負荷分散サーバが各サーバから取得したデータのうちの、視聴者からの接続数を合計したものである。図 8 から視聴者数は時刻とともに徐々に増加していることが見てとれる。また、21:00 頃には視聴者数が最大の 200 となった。

6.4.2 ネットワークの状態

仮想計算機上で動作させた配信サーバの実運用でのパフォーマンスを評価する前に、まずはサーバへのアクセス数に偏りがなかったこと、トラフィックが正常であったことを確認する。

負荷分散サーバのログから、視聴者はすべて配信サーバに割り当てられており、各サーバへの接続数の平均と最大は表 6 のとおりであった。1 台のサーバに対する視聴者の接続数の最大値は、ISP-A、ISP-B、ISP-C 配下の配信サーバそれぞれにおいて、17、25、26 であった。結果として、表 4 で設定した上限を超えたサーバはなく、著しい偏りも見られなかった。

また、表 7 は各回線へ流れ込むトラフィック量の平均値と最大値を示しているが、ISP-A、ISP-B、ISP-C それぞれの許容帯域を 20 Mbps、25 Mbps、300 Mbps として設定していたのに対し、最大トラフィック量は、それぞれ約 17 Mbps、約 24 Mbps、約 64 Mbps であ

表 6 配信サーバへの接続数

Table 6 The number of connections to delivery server.

上位 ISP	平均接続数	最大接続数
ISP-A	8.5	17
ISP-B	13.54	25
ISP-C	9.98	26

表 7 上位回線へのトラフィック流量

Table 7 Traffic to each line.

上位 ISP	平均トラフィック	最大トラフィック
ISP-A	6.99 Mbps	17.09 Mbps
ISP-B	10.35 Mbps	24.27 Mbps
ISP-C	36.16 Mbps	65.95 Mbps

表 8 CPU 負荷

Table 8 CPU load.

上位 ISP	平均 CPU 負荷	最大 CPU 負荷
ISP-A	14.43 %	27.97 %
ISP-B	14.11 %	27.67 %
ISP-C	14.21 %	29.65 %

表 9 メモリ使用量

Table 9 Memory usage.

上位 ISP	平均メモリ使用量	最大メモリ使用量
ISP-A	301.47 MB	319.02 MB
ISP-B	322.86 MB	343.41 MB
ISP-C	317.65 MB	325.30 MB

り、上限値内に収まっていることが確認できた。地域 IX との接続点となる山梨県立大学の外部接続ルータには、上位回線へのトラフィックがすべて流れることになるため、合計 100 Mbps 程度のトラフィックが流れたことになる。外部ルータには Juniper 社の M7i を用いており、サーバを収容するスイッチには Cisco 社の 2970 を用いている。これらが接続に用いているインタフェースはギガビットイーサネットであり、ASIC を搭載しているため、内部バスおよびインタフェースのスループットを考えると 100 Mbps のトラフィックを扱うのに十分な性能である。また、VLAN を設定しているが、ASIC により処理されるためオーバーヘッドによって遅延などが生じる可能性は低い。よって、配信サーバから送出されるトラフィックは滞りなく上位回線に転送されたと考えられる。

以上のことから、サーバへの接続状況やトラフィックの状態に問題を示す値は見られなかった。

6.4.3 配信サーバの評価

表 8、表 9 は、それぞれ配信サーバの CPU 使用率とメモリ使用量を示している。CPU 負荷は平均が 14% 程度であり、最大でも 30% 以内に収まっている。シミュレーションより、VMWare 上の Windows Server で 30% 以内であれば、Linux 側で 50% 以内に収まるため、負荷の上限を超えることはなかったと判断できる。

メモリ使用量は、接続数がない場合の平均は 310 MB 程度であり、配信時には最大約 20 MB の増加が見られるが、これはシミュレーションより接続数が 25～30 の場合の値である。1 台のサーバへの最大同時接続数が 26 であったことから、シミュレーションに近い値となっていることが確認された。

以上より、配信サーバの負荷状態を示すパラメータにおいて問題を示す値は見られなかった。さらに定期的に視聴者と同様にサーバに接続し、映像確認を行うことで映像に劣化などの問題がないことも確認してい

る。したがって、仮想計算機技術による機能劣化があったとしても、サーバを複数台用意することにより、問題なく映像を配信できていたと判断した。

7. おわりに

本論文では、仮想計算機技術を利用したインターネット中継システムについて提案した。提案システムにより、短時間で配信環境を構築することが可能となり、結果として人的資源を節約することが可能となる。また、提案システムを検証するため、シミュレーションでの評価と提案システムを実際のインターネット中継に適用することで評価を行った。評価の中で、パフォーマンスや運用面で実用に耐えうることを、配信環境の構築に必要な作業時間が短縮したことを示し、有効性を確認した。

今後の課題としては運用の省力化があげられる。具体的には、最低限のリソースで運用できるようにするため、視聴者のアクセス数とサーバの負荷状況に応じて、動的に配信サーバを起動させる仕組みについての検討などがある。

謝辞 本研究を行うに際して、(株)甲府情報システムの末木完治、手塚仁両氏からは大学の教育計算機システムについて助言やデータの公開、試験環境の提供に協力をいただいている。また、(株)ウインテックコミュニケーションズ、(株)日本ネットワークサービス、山梨県立大学、(株)YSK e-com には環境整備に協力をいただいた。本研究の一部は Y-NIX/NAVEL プロジェクト²⁶⁾より支援を受けている。NAVEL プロジェクトの諸兄には本システムの運用、評価に協力いただいている。これらの皆さんに深く感謝する。

参考文献

- 1) Live! ECLIPSE (2007/09/08).
<http://www.live-eclipse.org/>

- 2) 太田麻衣子：地域向けコンテンツ配信方式に関する考察, e-Toyama 推進協議会インターネット技術部会 (2003). <http://e-inet.wag.ad.jp/meeting/file/2003112103.pdf>
- 3) 水越一貴, 羽田友和, 林本雅之, 八代一浩, 安藤英俊：動画配信における負荷分散システムの構築, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.4, pp.1641-1650 (2007).
- 4) 水越一貴, 羽田友和, 林本雅之, 八代一浩, 安藤英俊：地域ネットワークにおけるサーバ負荷を考慮したサーバ選択システムの構築, 分散システム/インターネット運用技術研究会シンポジウム2005, pp.123-128, 情報処理学会 (2005).
- 5) 豊島修平, 菊池 豊：地域間相互接続実験プロジェクトにおける定常的な動画配信ネットワーク, 情報処理学会研究報告, Vol.2003-DSM-30, pp.41-46 (2003).
- 6) Symantec Corp (2007/05/25). <http://www.symantec.com/>
- 7) pcAnywhere (2007/05/25). http://www.symantec.com/ja/jp/home_homeoffice/products/overview.jsp?pcid=pf&pvid=pca115
- 8) Ghost (2007/05/25). http://www.symantec.com/ja/jp/enterprise/products/overview.jsp?pcid=1025&pvid=865_1
- 9) IBM (2007/05/10). <http://www.ibm.com/>
- 10) IBM RDM (2007/05/11). <http://www-03.ibm.com/systems/management/director/extensions/rdm.html>
- 11) IBM Director (2007/05/10). <http://www-03.ibm.com/systems/management/director/>
- 12) 安倍広多, 石橋勇人, 藤川和利, 松浦敏雄：仮想計算機を用いた Windows/Linux を同時に利用できる教育用計算機システムとその管理コスト削減, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.11, pp.3468-3477 (2002).
- 13) 八代一浩, 鈴木嘉彦, 伊藤一帆, 片谷教孝, 豊木博泰：遠隔の操作センターから管理が行える教育用計算機システムの構築と評価, 情報処理学会研究報告, Vol.2006-DSM-043, pp.7-12 (2006).
- 14) Microsoft Co.: Windows Media (2007/01/13). <http://www.microsoft.com/windows/windowsmedia/default.mspx>
- 15) Windows Server 2003 Enterprise Edition (2007/05/25). <http://www.microsoft.com/japan/windowsserver2003/enterprise/default.mspx>
- 16) Windows Media Load Simulator (2007/05/09). <http://www.microsoft.com/technet/prodtechnol/windowsmedia/downloads/loadsim.mspx>
- 17) VMWare Workstation (2007/05/11). <http://www.vmware.com/ja/products/ws/>
- 18) Microsoft Windows Media Developer Center (2007/05/07). <http://www.microsoft.com/japan/msdn/windowsmedia/>
- 19) Netperf (2007/05/10). <http://www.netperf.org/netperf/>
- 20) 八代一浩, 末木完治, 阿部義弘, 手塚 仁：仮想計算機技術を用いた遠隔制御教育用計算機システムの開発, DICOMO2006 論文誌, pp.941-944 (2006).
- 21) 羽田友和：仮想計算機システムを利用した映像配信システムの構築, 第 21 回インターネット技術第 163 委員会研究会—ITRC meet21 (2007). <http://www.itrc.net/report/meet21/data/2p1/hada.pdf>
- 22) Y-NIX：山梨地域情報ネットワーク相互接続機構. <http://www.y-nix.or.jp/>
- 23) BeX-J: Broadband or Business EXchange Japan. <http://www.bex-j.net/>
- 24) Juniper Networks (2007/04/05). <http://www.juniper.net/>
- 25) Cisco Systems Inc. (2007/04/05). <http://www.cisco.com/>
- 26) NAVEL プロジェクト：山梨地域情報ネットワーク相互接続機構運用部会. <http://www.navel-y.jp/>

(平成 19 年 6 月 11 日受付)

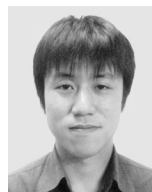
(平成 19 年 12 月 4 日採録)



羽田 友和

2003 年山梨大学工学部コンピュータメディア工学科卒業。同年山梨ソフトウェア株式会社(現, 株式会社 YSK e-com)入社。2006 年より株式会社デジタルアライアンスへ出向。

山梨県情報ハイウェイの運営に従事。



水越 一貴(学生会員)

2003 年麗澤大学国際経済学部国際産業情報学科卒業。2005 年同大学大学院国際経済研究科政策管理専攻修士課程修了。現在, 山梨大学大学院医学工学総合教育部博士課程在学中。ネットワーク運用管理技術, サーバ負荷分散技術に関する研究に従事。



八代 一浩（正会員）

1997年山梨県立女子短期大学助
教授．2005年より山梨県立大学国
際政策学部准教授．2007年山梨大
学大学院博士課程修了（工学博士）．
インターネットシステムの運用技術
に関する研究に従事．電子情報通信学会，日本教育工
学会各会員．
