

# スケーラビリティと公平性を有するリアルタイムコンテンツ配信アーキテクチャ (041302002)

A New Architecture for Real-time Contents Distribution with Scalability and Fairness

## 研究代表者

加藤寧 東北大学大学院情報科学研究科

Nei Kato Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

## 研究分担者

曾根秀昭<sup>†</sup> 中山英久<sup>††</sup>

Hideaki Sone<sup>†</sup> Hidehisa Nakayama<sup>††</sup>

<sup>†</sup>東北大学シナジーセンター <sup>††</sup>東北大学大学院情報科学研究科

<sup>†</sup>Information Synergy Center, Tohoku University

<sup>††</sup>Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

研究期間 平成 16 年度～平成 18 年度

## 本研究開発の概要

インターネットの持続的な発展に重要な役割を果たすものとしてリアルタイムコンテンツ配信システムが期待されている。多人数利用に適した実用的な配信システムを構築するには、ユーザの待ち時間を最小限に抑え、且つスケーラビリティと効率性・公平性を保つことが重要である。本研究では、娯楽や教育の分野で期待されているリアルタイムビデオオンデマンド (VoD) 配信技術について研究開発を進め、新しいコンテンツ配信基盤技術の確立を目指す。

## Abstract

Real-time contents distribution systems are expected to play an important role in sustainable development of the Internet. For establishing useful distribution systems suitable for mass use, it is important to minimize the service delay, while keeping scalability, efficiency, and fairness. In this project, we carry out research and development regarding real-time Video on Demand (VoD) technology, which has been a focus of attention for amusement or educational area, for the establishment of new fundamental technology in contents distribution.

### 1. まえがき

多人数向けのリアルタイムコンテンツ配信システムは、映画配信や遠隔教育など様々な分野での利用が期待されており、大きな注目を浴びている。しかし、リッチコンテンツの普及により、従来のコンテンツ配信システムではバックボーンの帯域不足に加え、配信サーバの処理能力不足も大きな問題となっている。本研究では、次世代配信システムを設計するにあたり、できるだけ少ないリソースで多くのユーザをサポートする必要があるという見地から、スケーラビリティと公平性を有する新しいリアルタイムコンテンツ配信アーキテクチャを研究開発し、その基盤技術の確立を行い、インターネットにおけるコンテンツ配信技術の一層の発展に資することを目的とする。

### 2. 研究内容及び成果

本研究では、多人数向け配信システム、特に、見たいコンテンツをいつでもすぐにダウンロードでき、ユーザ満足度の高いリアルタイム型の配信システムを対象とする。このようなシステムは映画や教育番組の配信に欠かすことのできないものであり、大きな市場を創出できると期待される。しかし、現状に目を向けると、マルチキャスト技術に代表されるような幾つかの配信方式が提案されているものの、配信サーバとネットワークの特性を十分に考慮したものとは言えず、快適性と信頼性の面で多くの問題を抱えている。本研究では、リソース的に厳しい制約を受けるのがコンテンツ配信側のサーバの部分とバックボーンの部分であり、クライアントのいるローカルエリアネットワークの部分では帯域幅や個々のクライアントの処理能力に余裕があるという特徴を考慮することで、効率的な配信システムを設計・構築し、次のような成果を得た。

#### 2.1 ユーザ数の増加にも耐え得るスケーラビリティの実現

従来のマルチキャストによる配信方式には、サーバ上でデータをコピーして流す方式とマルチキャスト機能を搭載したルータでコピーする方式がある。前者はルータ等の機器の置換が不要であり容易に実現可能であるが、ユーザ数の増加に伴ってサーバの負荷が急激に増大する。後者はネットワーク及びサーバの負荷を低減できるが、対応機器が必須であり、特定のドメイン内でしか利用できない。

配信のスケジュール管理に関しては、あらかじめ決められた時間に配信を開始する方法や、ほぼ同じ時間にリクエストを出したユーザをグループ化して配信する方法がある。しかし、配信が開始された後にリクエストしたユーザは、コンテンツの先頭部分を入手できない、あるいは視聴開始までの待ち時間が長いといった問題が発生する。コンテンツを利用する時間帯がまちまちである映画や遠隔教育の配信を考えると、サービスの利便性が著しく低下する。

本研究では、近隣ユーザによるバッファシェアリングという斬新なコンセプトを提案し、ユーザ数が増加した場合にサーバの負荷増大を軽減し、ボトルネックの帯域も有効利用できることを確認した。クライアント毎の視聴開始タイミングがずれていても、巧く吸収できることも確認した。

#### 2.2 リソースと帯域の有効かつ公平な利用の実現

従来のシステムはブライムタイムにおける娯楽コンテンツの鑑賞や大学の遠隔教育の実施など、ユーザが複数地点から特定コンテンツに集中的にアクセスする状況を想定しておらず、バックボーンの帯域をすぐに使い切ったり、配信サーバに過度な負荷を掛けたりするなど実用上大きな問題がある。インターネットでは、送受信者間の距離によって転送時間が大きく異なったり、混雑時に一斉に送信を控えたりするなど効率性と公平性の面でも問題がある。

本研究では、現在の伝送制御プロトコルにおいて送信者の最大送信量の調節に関係している「コントロールウィンドウ」に注目し、ネットワーク中のルータがこのサイズの決定に関与することで、わずかな機能追加により効率性と公平性の問題を一気に解決できることを確認した。衛星ネットワークや無線環境における性能向上も確認された。

### 2.3 スケーラビリティと公平性を両立するリアルタイム配信アーキテクチャの創出

本研究のコンテンツ配信アーキテクチャの概念を図に示す。前述の2つの技術を組み合わせることで、スケーラビリティと公平性に富む配信アーキテクチャを創出する。本提案では、配信サーバの他に各ドメインに LSM (Local Service Manager) を配置し、各ドメイン内では LSM が配信サーバの役割を担う。また、LSM はドメイン内のバッファシェアリングの管制塔としての役割も担う。図では省略するが、トラフィックの集中するルータにウィンドウサイズ変更機能を加えることにより、効率性と公平性を実現する。しかし、モバイルユーザも存在し、ネットワークが無線リンクや衛星リンクを含む場合、本研究の目的を達するためには前述の技術だけでは解決できない問題が生じる。そこで、下記要素技術に関しても研究も行った。

#### (1) ハンドオフ制御技術

ユーザが異なる LSM がカバーするドメイン間でハンドオフを行う場合、それに伴う制御技術はシームレスな配信を実現するために欠かすことができない。本研究では、ハンドオフのタイミングをサーバに明示的に通知するとともに、ハンドオフの直前に移動先のネットワークの状態を推定し、移動後速やかに適切な送信レートを実現する方法を提案し、シームレスかつ各ネットワーク状況に適したリアルタイムコンテンツ配信を実現できることを確認した。

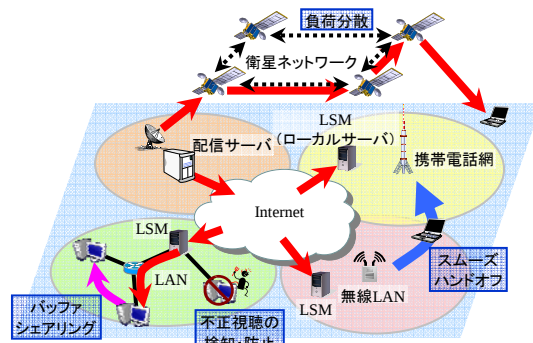
#### (2) 負荷分散技術

本提案では、サーバへの負荷集中やボトルネックへのトラフィック集中を回避できる。ただ、サービスの安定性を高めるために、モバイルユーザや過疎・遠隔地のユーザへは配信サーバや LSM から直接コンテンツの配信を行うため、モバイルネットワーク及び衛星ネットワークにおいて、トラフィックの集中を回避するための負荷分散技術が必要になる。本研究では、モバイルネットワーク及び非静止衛星ネットワークそれぞれにおける負荷分散技術を提案し、処理負荷を低減させることで、パケットドロップ数が減少するに伴いスループットが向上することを確認した。

#### (3) セキュアなコンテンツ配信技術

コンテンツ流通における権利保護の要求の高まりを受け、バッファシェアリング技術におけるコンテンツの安全な共有を実現するための技術についても研究を行った。現状の技術では、配信側はコンテンツの配信後の流通を知ることが出来ないため、不正視聴や横流しを防げない。今後の本格的なコンテンツ配信時代の到来に先立ち、健全かつ公正な流通を保つための不正視聴の監視及び防止技術の開発が急務である。本研究では、コンテンツ受信により生じるトラフィック量の変化の波形を利用してコンテンツが視聴されているか判定し、それに基づき不正視聴を検知・防止する手法を提案した。遅延やパケット損の発生する環境においても、提案手法が有効であることを確認した。

以上のように、本研究では、まずスケーラビリティと公平性及び効率性を実現する配信技術を確立し、それらの特徴を活かしつつ組み合わせることにより、効果的なリアルタイムコンテンツ配信アーキテクチャを設計した。また、重要な要素技術の開発も行った。これにより、スケーラビリティと公平性を有するリアルタイムコンテンツ配信アーキテクチャを創出し、本研究の目的を達した。



図：提案コンテンツ配信アーキテクチャの概念図

### 3. むすび

インターネット上でのリアルタイムコンテンツ配信技術は、通信と放送を融合し、新しい市場を切り開くキラー・アプリケーションとして大きな期待が寄せられている。本研究が実現したコンテンツ配信システムは、様々なネットワークが融合して地球全体をカバーする次世代ネットワークにおいて、世界規模でのコンテンツ流通を支える基盤となり得る新しいアーキテクチャである。これにより、ネットワーク上でのコンテンツ流通サービスの拡大、コンテンツ市場のさらなる成長を促進することが期待される。また、不正視聴検知技術は、有料コンテンツの流通管理、ビデオ会議システムのセキュリティ強化策としての利用など、応用分野は多岐にわたり、それぞれのフィールドに合わせて展開されていくことが期待される。

#### 【誌上発表リスト】

- [1] T. Taleb, N. Kato, Y. Nemoto, "REFWA: An Efficient and Fair Congestion Control Scheme for LEO Satellite Networks", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.14, No.5, pp.1031-1044 (Oct. 2006)
- [2] T. Taleb, A. Jamalipour, N. Kato, Y. Nemoto, "A Theatre in the Sky: A Ubiquitous Broadband Multimedia-on-Demand Service over a Novel Constellation Composed of Quasi-Geostationary Satellites", Wiley International Journal of Satellite Communications and Networking, Vol.24, No.3, pp.215-227 (May/Jun. 2006)
- [3] T. Taleb, N. Kato, Y. Nemoto, "Recent Trends in IP/NGEO Satellite Communication System: Transport, Routing, and Mobility Management Concerns", IEEE Wireless Communications Magazine, Vol.12, No.5, pp.63-69 (Oct. 2005)

#### 【申請特許リスト】

- [1] 中山英久、加藤寧、「コンテンツ検出装置、不正使用判定装置及び警報装置並びにコンテンツ配信ネットワークシステム」、日本、2006年2月6日

#### 【受賞リスト】

- [1] 加藤寧、船井情報科学振興賞、2007年4月21日
- [2] 加藤寧、IEEE Communications Society 衛星通信貢献賞、2005年11月
- [3] 檀岡健一、Tarik Taleb、根元義章、加藤寧、Best Student Paper Award for WPMC2006, "Fast Convergent Layered Multicast in Fixed and Mobile Networks", 2006年9月20日

#### 【報道発表リスト】

- [1] 「「コンテンツ配信技術」研究最前線」、朝日新聞、2005年5月8日

#### 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.it.ecei.tohoku.ac.jp/projects/>