

CDNにおける映像コンテンツ巡回配布方式“Relaycast”の提案

中平 拓司[†] 山岡 徹也[†] 島村 和典^{†‡}

[†] 高知工科大学大学院 工学研究科 〒782-8502 高知県香美郡土佐山田町宮の口 185

[‡] 通信・放送機構 高知通信トラヒックリサーチセンター 〒782-8502 高知工科大学教育研究棟 A501

E-mail: [†] {056013y, 055127p}@gs.kochi-tech.ac.jp, [‡] shimamura.kazunori@kochi-tech.ac.jp

あらまし インターネットにおいて、リアルタイム性を有し、一定のビットレートでデータが連続的に発生する映像コンテンツを配信するための技術が盛んに研究されている。最近では、ネットワーク負荷あるいはサーバ負荷を広域に分散させることで品質保証を狙ったコンテンツ配信インフラであるCDN(Content Distribution Networks)が注目されている。本稿では、CDNにおけるコンテンツのSurrogateへの複製配置に着目し、ユニキャストあるいはマルチキャストと比べて必要帯域の規模適応性(Scalability)に優れた映像コンテンツの巡回配布方式、Relaycastを提案する。提案方式により、コンテンツ1個分の帯域で、ほぼリアルタイムに複数のコンテンツをサーバ間で配布し合うことが可能となる。

キーワード CDN, 映像コンテンツ, 巡回配布, 帯域の規模適応性

Relaycast – A Cyclic Distribution of Video Content over CDN

Takuji NAKAHIRA[†] Tetsuya YAMAOKA[†] and Kazunori SHIMAMURA^{†‡}

[†] Graduate School of Engineering, Kochi University of Technology

185 Miyanokuchi, Tosayamada-cho, Kami-gun, Kochi, 782-8502 Japan

[‡] Kochi Traffic Research Center, Telecommunications Advancement Organization of Japan

A501 Kochi University of Technology, 782-8502 Japan

E-mail: [†] {056013y, 055127p}@kochi-tech.ac.jp, [‡] shimamura.kazunori@kochi-tech.ac.jp

Abstract Delivering a video content, which generates the code stream in a constant bit rate and has the time constraints, over the Internet has been widely studied. Researchers and developers are paying more attention for the technology called CDN(Content Distribution Networks) in these days. CDN is referred to as an infrastructure to enhance the quality of content delivery by distributing the network and the server load. We focus our interesting on the content distribution subsystem on CDN. A cyclic distribution of video content among the surrogates is proposed in this paper. Proposed scheme has the advantage compared to unicast or multicast-based distribution in the sense of scalability of bandwidth. It enables to distribute the multiple contents among distributed servers using the bandwidth that one content consumes in near real-time.

Keyword CDN, Video Content, Cyclic Distribution, Scalability of Bandwidth

1. はじめに

近年、インターネット回線の広帯域化は著しく、特に国内におけるADSLやFTTHといったアクセス網の高速化と普及には目を見張るものがある[1]。このため、インターネットを介して、数Mbps~数100Mbps

の帯域を要求する映像コンテンツを配信する技術およびそのアプリケーション技術の研究開発が盛んである。

一般に映像や音声はリアルタイム性を有し、一定のビットレートでデータが発生するため、従来のベストエフォート型のインターネットアーキテクチャによる配信では、パケットロス、遅延の増大、パケット到

着間隔の変動（遅延揺らぎ）が原因となっており、その品質が保証されないという問題がある。ゆえに、インターネットにおいても品質保証を実現するための研究が精力的に行われ、標準化もされている。IntServ[2]やDiffServ[3]はその例である。

一方で、上位層においても、サーバの分散化やキャッシュサーバの配置などにより、サーバ負荷およびネットワーク負荷を分散させ、映像配信時の品質を保証することを目指した技術も登場している[4]。近年、この分散化を、さらに地理的に広範囲に拡張し、コンテンツ配信時の品質向上を図る研究が活発である。こうした上位インフラを総称してCDN(Content Distribution Networks)と呼ぶ。現在は、Webコンテンツ配信時のサーバの負荷軽減、応答時間の短縮を目的とした事例が多いが、今後は映像コンテンツを対象とした研究が期待される。

CDNでは、(1)作成されたコンテンツを、オリジンサーバの代理となる、分散配置された複数のサーバ(surrogate)に複製する(コンテンツ配布)、(2)ユーザのリクエストをある条件に従って得られたsurrogateに誘導し、配信を実行する(コンテンツ配信)、という動作が行われる。本稿では、(1)のシステムを対象とし、1ストリーム分の帯域でリアルタイムに複数の映像コンテンツをsurrogateに配布する方式、Relaycastを提案する。

以下、2章ではCDNの概要を述べた後これまでのコンテンツ配布方式を振り返り、帯域の規模適応性(Scalability)の問題を指摘する。次に、3章において、その解決策として巡回配布方式を提案し、その優位性を示す。

2. CDNにおけるコンテンツ配布

2.1 CDNの構成

CDNのシステムモデルを図1に示す。CDNは、コンテンツのオリジナルを持つオリジンサーバ(Origin Server)、その複製を持ち、広域に分散配置されるSurrogate、ユーザ端末からの配信要求を受け付け、どのSurrogateからの配信が最も望ましいか決定し、そこへ要求を誘導するRedirectorから成る[5]。

例えばWebサーバでは、クライアントからの要求に対し、迅速にダウンロードを終え、ブラウザに表示することが求められる。このとき、Redirectorは、各サーバの負荷状態、クライアントまでの距離(ホップ数)、RTT(Round-Trip-Time)といった評価値に基づき、どのサーバから転送を行うか決定する[6]。

本稿では、CDNにおいて、映像コンテンツをSurrogateに配置する(コンテンツ配布)ときの配布方式について議論する。

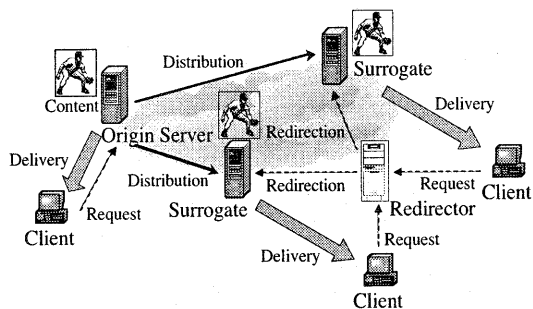


図1 - CDNのシステムモデル

Fig. 1 - System Model of CDN

2.2 従来のコンテンツ配布

2.2.1 ユニキャストによる配布

CDNにおけるコンテンツ配布とは、オリジンサーバにあるコンテンツをSurrogateに配布・蓄積することを指す。最も簡単な配布方法は、オリジンサーバから各Surrogateに対し、ユニキャストにより送信することである。ここで、図2にあるように、1台のオリジンサーバにビットレート b_c [bps]の映像ストリームが入力されており、これをリアルタイムに $N-1$ 台のSurrogateに配布したいとすると、オリジンサーバは、 $b_c \times (N-1)$ [bps]の帯域を必要とする。

さらに、 N 台のサーバにそれぞれ b_c [bps]の映像ストリームが入力され、それらを互いに配布したい(この場合、各サーバはオリジンサーバかつ他のサーバのSurrogateとなる)場合には、各サーバは、 $b_t = b_c \times (N-1)$ [bps]の送信帯域と、 $b_r = b_c \times (N-1)$ [bps]の受信帯域が必要となる。同時にネットワークには、 $b_c \times N(N-1)$ [bps]のトラフィックが流れることとなる。

すなわち、ソースの数が増えると、帯域の面で規模適応性に問題が生じることがわかる。特に、高品質の映像になると b_c が大きくなるため、ユニキャストによる配布は難しくなる。

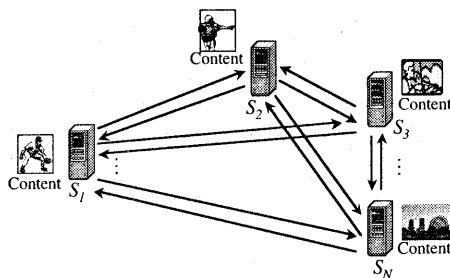


図2 - ユニキャストによるコンテンツ配布

Fig. 2 - Unicast-Based Content Distribution

2.2.2 マルチキャストによる配布

これに対処するため、図 3 に示すように IP マルチキャスト（以下マルチキャスト）を利用することが考えられる。マルチキャストにより、オリジンサーバ 1 台であれば、その送信帯域 b_t は、 $b_t = b_c$ [bps] ですむ。本来、マルチキャストは UDP をトランスポートプロトコルに使うため、通信の信頼性が保証されないが、最近では、信頼性を付加したのもも研究されており、コンテンツ配布への応用も期待されている[7]。

しかし、 N 台のサーバがコンテンツを配布し合う場合には、各サーバの送信帯域 b_t は、 $b_t = b_c$ [bps] となるが、他のサーバから合わせて $N-1$ 個のストリームを受信するため、受信帯域 b_r は、 $b_r = b_c \times (N-1)$ [bps] 必要である。ゆえに、ユニキャストに比べると必要帯域は少なくとも倍すが、ソースの数に比例した帯域が要求される。また、広域に渡って配送木の維持管理をするコストがかかるなど、マルチキャスト自身の課題も存在する。

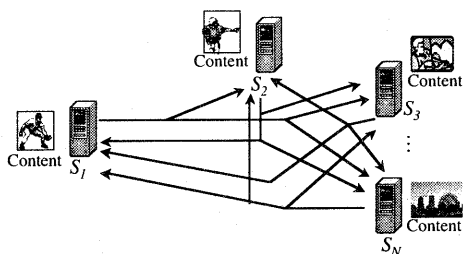


図 3 – Multicast-Based Content Distribution
Fig. 3 – Multicast-Based Content Distribution

3. 提案する配布方式

上記のように、複数のサーバに入力されている各映像ソースを同時に配布し合うには、従来の方式では帯域の制約に直面する。この問題に対して筆者らは、あらかじめストリーム配布の順番を決め、サーバ間を巡回させて配布する方式、Relaycast を提案する。まず、1 つの映像ソースを複数のサーバに配布するモデル（シングルソース）を取り上げ、次に、複数の映像ソースを同時にサーバ間で配布し合うモデル（マルチソース）を取り上げる。

3.1 シングルソースの場合

図 4 に、シングルソースにおける巡回配布のモデルを示す。ビットレート b_c [bps] の映像ストリームがサーバ S_i に入力されており、これをリアルタイムに

他の $N-1$ 個のサーバ、 $S_2, S_3, \dots, S_N$ に配布したいとする。このとき、次の手順でストリームの配布を実行する。ただし、 S_i には、この映像ストリーム用のバッファ (S_b [byte]) が備わっているものとする。

- (1) S_i において、ストリームのバッファリングを開始する。同時に、 S_i のストレージにこのストリームを蓄積する。
- (2) バッファの容量が S_{th} [byte] となれば、バッファ内のストリームデータを S_2 に送信する。このときの送信レート b_t は、 $b_t = b_c$ [bps] とする。
- (3) S_2 は、受信したストリームをストレージに蓄積すると同時に、自身のバッファにも蓄積する。そして、その容量が S_{th} [byte] となれば、 S_3 への送信を開始する。 b_t は、 $b_t = b_c$ [bps] とする。
- (4) 以下、 S_3 から S_N まで(3)の処理を繰り返す。

このように、 S_i から S_2, S_2 から $S_3, \dots$ と順次ストリームをユニキャストで中継し、巡回させることで、サーバ数 N が増加しても、隣接するサーバ間に b_c [bps] の帯域が確保できれば、ほぼリアルタイムにコンテンツの配布が実行できる。

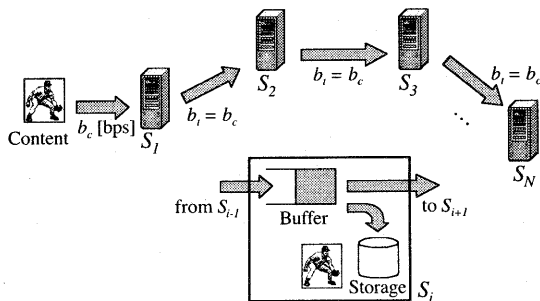


図 4 – 巡回配布（シングルソースの場合）
Fig. 4 – Cyclic Distribution for Single Source Model

3.2 マルチソースの場合

次に、シングルソースにおける巡回配布を、図 5 に示すようにマルチソースに拡張することを考える。今度は、 S_i から S_N にそれぞれ b_c [bps] の映像ストリームが入力されており、それらを互いに配布し合いたいものとする。このとき、次の手順で配布を実行する。ただし、 S_i は、自身のストリームを送信するためのバッファと、他のサーバから送信されるストリームを受信するためのバッファ（それぞれ S_b [byte]）を備えて

いるものとする。

- (1) 配布の順番を、 $S_1, S_2, \dots, S_N$ と決め、ストリームのバッファリングを開始する。同時に、ストレージへの蓄積も行う。
- (2) 送信バッファに S_{th} [byte] のデータが蓄積されたら、 S_1 が巡回配布を開始する。
- (3) 決められた周期 T [sec] が経過したら、 S_1 は送信を停止する。以後、 $S_2, S_3, \dots, S_N$ の順でバッファが空になる。
- (4) S_N のバッファが空になったら、 S_N は S_1 にその旨を知らせ、さらに S_1 は、 S_2 にストリームの送信を指示する。
- (5) S_2 からの巡回配布を実行する。このときの配布順は、 $S_2 \rightarrow S_3 \rightarrow \dots \rightarrow S_N \rightarrow S_1$ となる。以後、(2)~(5) と同様の処理を S_N の配布まで繰り返す。
- (6) S_N の巡回配布が終わったら、再び S_1 の配布に戻る。

このように、マルチソースにおいても、巡回配布を周期的に実行することで、サーバ数 N が増加しても、隣接サーバ間で必要な帯域は b_c [bps] で済む。この事は、通常のユニキャストでは N^2 に比例し、マルチキャストでも N に比例していた必要帯域の規模適応性の問題を解決できることを示唆している。

ここで、 S_i のバッファ容量 S_b 、送信開始のしきい値 S_{th} は、ストリーム送信の周期 T 、ビットレート b_c 、サーバ数 N といったパラメータにより決定される。 N が大きいと、次の送信権が回ってくるまでの時間が長くなるため、 S_b はより大きく取らなければならない。

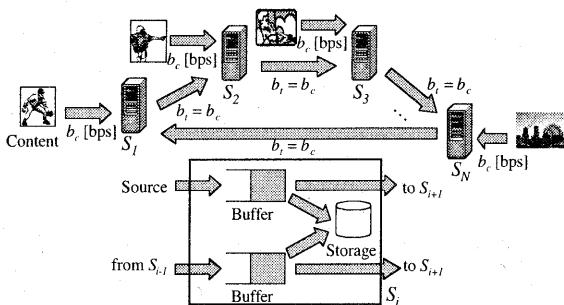


図 5 - 巡回配布 (マルチソースの場合)

Fig. 5 - Cyclic Distribution for Multi-Source Model

4. まとめ

ネットワークの広帯域化が進むことで、CDN によって、従来の Web コンテンツだけでなく、より大容量かつ多くの帯域を要求する映像コンテンツの配信が今後一般的になることが予想される。本稿では、CDN のコンテンツ配布系に着目し、映像コンテンツをユニキャストあるいはマルチキャストによって配布する場合に起きる規模適応性の問題を提起した。

その解決法として、分散配置された各サーバに順にストリームを巡回させることで、ストリーム 1 個分の帯域でリアルタイムに複数ストリームの配布を実行できる巡回配布方式、Relaycast を提案した。今後、提案方式の有効性を評価すると共に、信頼性の付与や、帯域変動時の対応等についても検討を進めたい。

謝辞

本研究は、通信・放送機構 ギガビットネットワーク研究開発プロジェクトのご支援を頂いており、ここに関係各位に感謝致します。

文 献

- [1] 総務省, “情報通信白書平成 14 年版,”
<http://www.johotsusintokei.soumu.go.jp/whitepaper/ja/cover/index.htm>
- [2] S. Shenker et. al, “Specification of Guaranteed Quality of Service,” RFC 2212, Sep. 1997.
- [3] S. Blake et. al., “An Architecture for Differentiated Services,” RFC 2475, Dec. 1998.
- [4] K. Ahn et. al., “Architecture of a VOD system with proxy servers,” IEICE Trans. on Comm., Vol.E83-B, No.4, pp.850-857, Apr. 2000.
- [5] 田代他, “インターネットコンテンツ配送技術の最新動向,” 情報処理, Vol.42, No.11, pp.1082-1091, Nov. 2001.
- [6] 下川, 中川, 山本, 吉田, “広域分散 Web サーバにおける経路情報を用いたサーバ選択,” 信学技報, IA2001-26, pp.49-56, Nov. 2001.
- [7] 木下真吾, “リライアブルマルチキャスト技術の最新動向,” 信学論(B), Vol.J85-B, No.11, pp.1819-1840, Nov. 2002.