

# インターネットにおける コンテンツ配信技術の最新動向

中川 郁夫

インテック・ウェブ・アンド・ゲノム・インフォマティクス(株)

## 概要

本稿では、インターネットにおいて近年特に注目を浴びているコンテンツ配信技術の最新動向についてまとめ、報告する。インターネットではファイル転送やウェブ、あるいはストリームと呼ばれる映像伝送などの場面において、コンテンツ、すなわち、アプリケーションデータの「中身」の配信を最適化する技術の研究・開発が急速に進んでいる。これらの技術はコンテンツ配信 (Content Delivery) 技術と呼ばれ、インターネットにおける情報流通において特に重要な技術として注目を集めている。コンテンツ配信技術は、インターネットの初期のころからさまざまな場面で研究されてきた。当初は負荷分散やトラフィック量の軽減などの目的での利用が主だった。一方で、最近ではビジネス利用などを目的としたコンテンツ配信技術として、例えば転送速度の向上や通信の安定性の向上など、ユーザに対するサービス品質の向上などの視点で研究が行われている。本稿ではこれらのコンテンツ配信技術について、背景や要素技術、あるいは最適化アルゴリズムの推移についてまとめ、最新のコンテンツ配信技術動向について報告する。

## 1. はじめに

近年、インターネットではコンテンツ配信技術に関する研究が急速に進められている。コンテンツ配信技術は特にウェブ (World Wide Web) などの情報提供サービスやストリーム (Stream, Streaming) などの映像中継などにおいてアプリケーションのデータ、すなわち「コンテンツ」を効率的に配信することを目的としている。

インターネットにおける情報提供サービスや映像中継では、その「コンテンツ」を広域分散環境において、不特定多数のユーザに広く提供する必要がある。インターネットでは情報の提供手段における地理的、あるいは時間的な制約を受けることなく、誰でも手軽に情報へのアクセスが可能になった。そのため、人気の高いコンテンツに対しては、極度にアクセスが集中し、情報提供サーバに対して膨大なアクセス処理、あるいはトラフィックなどの負荷がかかることになる。例えば、著明な Yahoo! では1日に12億ページビューを数える [1]。また、国内でも、日食中継では3時間に167万アクセスを記録し、さらに、同時最大13,000ユーザに映像中継を行った [12]。情報や映像の提供者は、このような高負荷な環境においても障害、遅滞なくコンテンツをユーザに届ける必要があり、そのために広域分散システムによるコンテンツ配信技術が必要とされる。

一般にコンテンツ配信を行う場合、コンテンツは広域分散環境において分散サーバシステムを構成することによって配信される。図1は分散システムによるコンテンツの提供を単純化して示したものである。この図に示されるように、コンテンツの提供者は複数のサーバをインターネット上に分散配置し、コンテンツを効率的に転送しようとする。

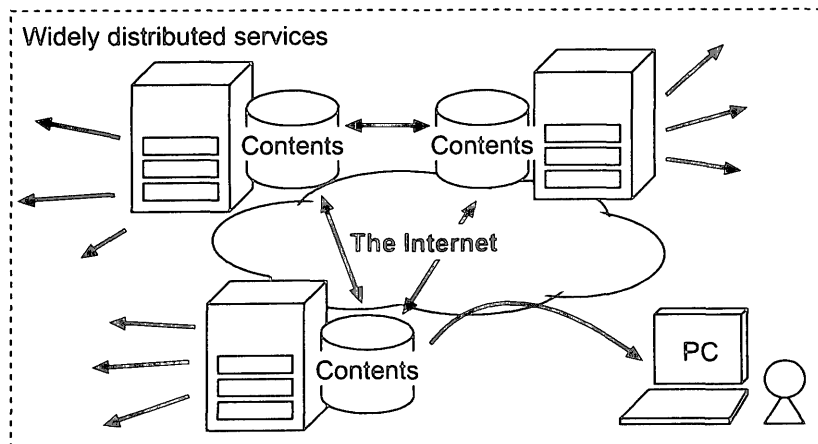


図 1: コンテンツ流通の環境

コンテンツ配信技術は、ある種の最適化技術である。インターネットにおけるコンテンツ流通は、さまざまな要素により構成される。例えば、情報提供を行うサーバ、データを転送するためのネットワーク、データを受信する端末、ユーザなどである。コンテンツ配信技術は、これらの構成要素のいずれか、あるいは複数の要素を最適化することを目的とする。例えば、サーバの性能がネットワーク性能に比較して高い場合には、ネットワークの利用効率を最適化することを目的としてコンテンツ配信技術が適用される。また、前述の例のように、情報提供サーバに極度にアクセスが集中する場合は、サーバの負荷分散を目的としてコンテンツ配信が行われる。さらに商用利用を中心に考えた場合、ユーザがデータを要求してからコンテンツが配信されるまでの応答時間を最適化するケースもある。

本稿では、インターネット上のコンテンツ配信技術の歴史とその技術の推移についてまとめるとともに、最新のコンテンツ配信技術動向について報告する。コンテンツ配信技術はインターネットを取り巻く環境の変化に応じて年々大きく変化してきている。コンテンツ配信という言葉が使われるようになったのは1990年代後半からであるが、類似の技術はインターネットが商用化されるずっと以前から研究・開発されてきた。本稿ではこれらの技術についてまとめる。

第2章ではネットワークリソースの有効利用、ネットワークの利用効率の最適化の観点から利用されてきたコンテンツ配信技術について解説する。ここでは、インターネットの初期のころから利用されているネットニュースの配信の仕組み、あるいはミラーサーバやキャッシュの利用によるネットワークトラフィックの削減などの手法について述べる。

第3章ではサーバのアクセス分散を目的としたコンテンツ配信技術について紹介する。ここでは、ミラーサーバやリバースキャッシュと呼ばれる技術によってサーバの負荷分散を実現する手法、およびスプリッタによって映像サーバを分散化させる方法について述べる。

第4章ではユーザへの応答性の向上を目的とするコンテンツ配信技術について解説する。同技術は、インターネットが商用利用されるようになって特に注目を集めており、特に産業界を中心に研究開発が進んでいる。ここでは、最新のコンテンツ配信技術の要素技術、および、リクエスト誘導の仕組みなどについて解説する。

著者はコンテンツ配信技術の研究の一環として、映像中継などのイベントにおいて、最適なコンテンツ配信の実現に関する実験などを行ってきた。第5章では、著者が参加した日食

の映像中継イベントについて、そこで使われたコンテンツ配信技術の概要と仕組みについて述べる。

## 2. ネットワークの有効利用を目的としたコンテンツ配信技術

インターネットが商用化される以前は通信帯域や通信料などネットワークリソースの価値が極めて高かった。同時期、サーバや端末の性能はネットワーク性能に比較して十分に高いものだったと言える。半面、ネットワークの性能は極めて低かったとも言える。この時代には、インターネットにおけるコンテンツ配信はネットワークリソースの利用効率を最適化することを目的として利用された。すなわち、ネットワークのある区間  $i$  に流れるトラフィック  $F_i$  とその回線の単価を  $C_i$  とすると、ネットワークリソースの利用効率の最適化は次のように表現できる。

$$\text{minimize } \sum_i F_i \times C_i$$

一般的には、自組織の LAN(Local Area Network) の回線の単価は、WAN(Wide Area Network) と呼ばれる広域環境の回線に比較して十分に小さい。したがって、上記の評価関数は広域環境の回線の利用効率についてのみ計算されることが多い。

本章では、ネットワークの利用効率を最適化することを目的とするコンテンツ配信技術について、その実現手法について解説する。ここでは、歴史的に利用されてきた技術として、ネットニュースの配信技術、ミラーサーバの技術、およびキャッシュ技術について述べる。

### 2.1. ネットニュース時代のコンテンツ配信技術

ネットワークリソースの最適化を実現するための典型的なコンテンツ配信の技術は「ネットニュース(NetNews)」と呼ばれる掲示版システムである。ネットニュースはあるユーザが記述した「記事」がネットワーク上の第三者(他のユーザ)が読むことを実現するための仕組みである。インターネットにおけるネットニュースは図 2 に示すように記事の配送や閲覧を処理するニュースサーバの相互接続によって構成される。

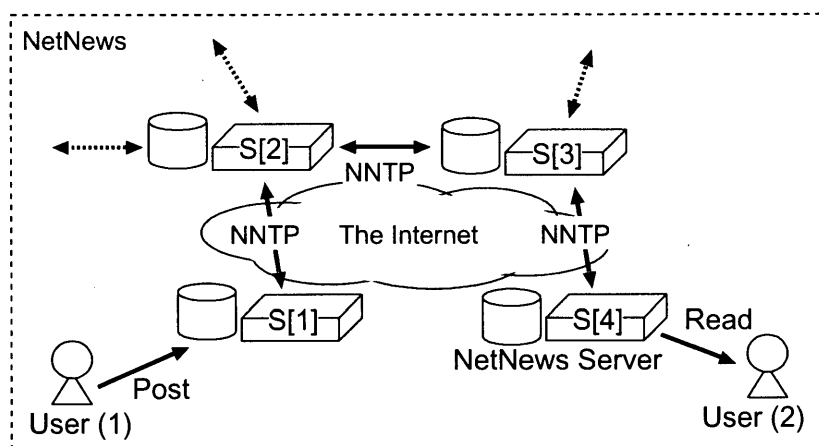


図 2: ネットニュースの仕組み

図中、S[1]~S[4] はネットニュースのサーバを表している。ネットニュースの各サーバは、新規に届いた「記事」を隣接のサーバに配送するよう試みる。隣接サーバが該当の記事を保

持っていない場合には記事が配送される。一方、同じ記事をすでに保持している場合は記事の配送は行われぬ。この仕組みは記事のフィード(Feed)と呼ばれる。例えば、図2において、左下のユーザ User(1) が「記事」を「投稿(Post)」した場合、その記事は最初に S[1] に届くことになる。その後、上記のフィードの仕組みによって S[2]、S[3]、S[4] に記事が配送されることになる。S[4] に記事が到着後、右下のユーザ User(2) は該当の記事にアクセス(Read)することが可能になる。このようにネットニュースの仕組みでは記事を隣接サーバに対して順に配送を行うため、その配送方式はバケツリレーとも呼ばれている。

上記のネットニュースの例では、S[1]~S[4] の各ネットニュースサーバは組織内に設置され、ユーザは組織内のサーバに対して LAN(Local Area Network) 経由でアクセスを行う。したがって、広域回線に流れるトラフィックはサーバ S[1]~S[4] 間のフィードに伴う通信のみである。ネットニュースでは上記のフィードの仕組みによって、同じ記事が広域回線を一度しか流れないように抑制することによって、高価なネットワークリソースを有効に利用することを實現する。

ネットニュースの配信は、通信コストを抑えながら広域分散環境におけるコンテンツの流通を可能にする。一方で、即時性を犠牲にしていること、あるいは実装上の問題で信頼性が必ずしも高くはないことなどが問題になる。

## 2.2. ミラーサーバを用いたコンテンツ配信

1980年代の後半から1990年代にかけて、フリーウェア、あるいはシェアウェアと呼ばれる安価なソフトウェアがインターネット上で公開、利用されるようになった。これらのソフトウェアはFTP(File Transfer Protocol)を用いることで自由にダウンロードでき、そのソフトウェアを公開するサーバが匿名(Anonymous)FTPサーバとして運用されている。

匿名FTPサーバではミラー(Mirror)と呼ばれるコンテンツ配信技術が利用されている。匿名FTPサーバでも、特に人気の高いソフトウェア、あるいは有用なソフトウェアはアクセスが集中するため、ネットワーク負荷の軽減が必要とされることが多発した。例えばMIT(Massachusetts Institute of Technology)が開発を進めていたX Window System, Version 11の公開時には、そのダウンロードのために日米間の国際回線が混雑するなど、深刻な問題が発生した。こうした問題を回避するため、特に人気の高い匿名FTPサーバに関しては、組織内、もしくは近隣のネットワークに同じコンテンツを持つサーバを構築するため、ミラーサーバの技術が利用された。

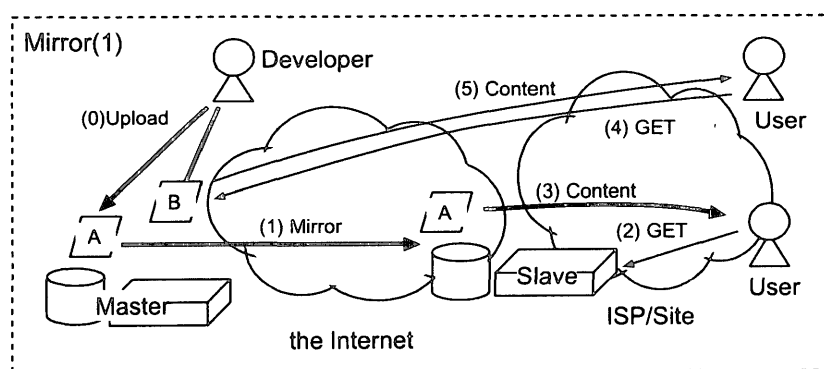


図3: ミラーサーバの仕組み

図3にミラーサーバを用いてコンテンツをダウンロードする仕組みを示す。図中、Master

はオリジナルのコンテンツを保持しているサーバを表す。Developer はソフトウェアの開発者であり、開発者は新規のソフトウェアを Master サーバ上に置くことによってコンテンツを提供する。Slave はコンテンツのコピーを保持するサーバである。ここでは Slave サーバをミラーサーバと呼ぶ。ミラーサーバでは定期的に Master とディスクの中身を比較し、コンテンツの同期処理を行う。ユーザはミラーサーバにコピーされたコンテンツをダウンロードすることによって高価なネットワークの利用率を軽減することを実現する。

一般にミラーサーバの仕組みでは、ディスク容量などの制限から同期対象になるコンテンツを制限する。そのため、ユーザは同期されているコンテンツは Slave サーバに、同期されていないコンテンツは Master サーバにアクセスすることになる。図ではコンテンツ A は同期されているため、ユーザは Slave から A をダウンロードすることができるが、コンテンツ B は同期対象外であるため、ユーザは Master から取得する必要がある。

ここで、ネットニュースではすべてのニュースサーバが対等に接続されているのに対して、ミラーサーバでは Master を頂点とするツリー構造でコンテンツの同期を行うことに注目したい。また、ネットニュースでは新規の記事の到着時にそれを隣接サーバに配送しようとするのに対して、ミラーサーバの仕組みでは Slave が定期的に Master のファイルシステムに同期することを試みることも、ネットニュースの仕組みとミラーサーバの仕組みの大きな差異である。

### 2.3. キャッシュサーバによるネットワークの有効利用

1995 年ごろからのウェブ (World Wide Web) の爆発的な普及により、インターネットにおけるデータ配信、コンテンツ配信は HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) を用いることが一般化した。ウェブによるトラフィックは急激に増大し、多くの組織ではネットワークを有効に利用するための技術を導入することが必要とされた。本章では、特にウェブの普及以来、多くの組織で利用されているキャッシュの技術によるコンテンツ配信技術について触れる。

ウェブは、ユーザがインターネット上のサーバに対してコンテンツ取得要求を行い、サーバから該当するデータを取得する、サーバクライアント型の通信モデルである。一方で HTML (Hyper Text Markup Language) と呼ばれるハイパーテキスト記述言語により柔軟なコンテンツ表現が可能になり、インターネット上では急激にウェブの利用者が増えた。ウェブは容易に視覚的な要素を採り入れることが可能であり、必然的にイメージデータなどのデータ量の多いコンテンツの流通が増えた。このため、ウェブの普及とともにインターネットにおけるトラフィックは急増した。

ウェブを利用する多くの組織では複数のユーザが利用するコンテンツ、あるいは単一のユーザが複数回アクセスするコンテンツなど、重複するデータの再送を避けるために、キャッシュサーバを導入している。キャッシュサーバは次のようなアルゴリズムにより同じデータが何度もネットワーク上を流れることを防ぐ。

```
X = 要求されたコンテンツ;  
  
if (X がキャッシュに含まれる and X が有効期限内)  
{  
    ユーザにキャッシュ内の X のデータを転送 ;  
}  
else  
{
```

オリジナルサーバから X を取得 ;  
 X をキャッシュに保存 ;  
 ユーザに X のデータを転送 ;

}

図 4 にキャッシュを用いた場合のコンテンツの取得までの流れを示す。Content Holder は情報提供者を表す。情報提供者は Master サーバにコンテンツをアップロード (Upload) することにより情報を公開する。ユーザは近隣のキャッシュサーバ (Cache) に対してコンテンツの取得要求 (1) GET を送信する。キャッシュサーバは同コンテンツに対する取得要求が初めてであるため、上記のアルゴリズムに従い、Master からコンテンツを取得して、それをキャッシュ上に保存する (2)。また、別のユーザからのコンテンツ取得要求 (3) GET に対しては、キャッシュ内のコンテンツを返すことで、広域回線上で同じコンテンツが複数流れることを抑制している。

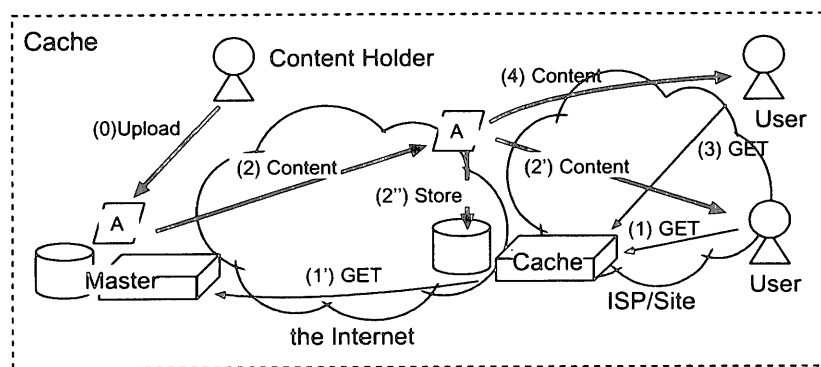


図 4: キャッシュの仕組み

### 3. アクセス分散を目的としたコンテンツ配信技術

インターネットが急速に普及し、多数のユーザが広域に分散するようになると、情報を提供するサーバの負荷やサーバの周辺のネットワーク負荷が問題になる。あるコンテンツに対してアクセスが集中した結果、その情報提供サーバの過負荷、あるいはトラフィックの過負荷によって正常なサービスを維持することが難しくなることがある。インターネットでの情報提供が一般的になってからは、このようにアクセスが集中するコンテンツを適切に配信するためにサーバへのアクセス分散を目的としたコンテンツ配信技術が利用されるようになった。

サーバの負荷分散を目的とするコンテンツ配信技術では、分散された複数のサーバのうち  $i$  番目のサーバの負荷 (Load) を  $L_i$  として、次のような最適化を目指す。

$$\text{minimize } \max_i L_i$$

また、サーバのトラフィック分散を目的とするコンテンツ配信技術では、同じく  $i$  番目のサーバへのトラフィックを  $F_i$  として、次の式で表現される最適化を行う。

$$\text{minimize } \max_i F_i$$

なお、実際には、これらの最適化はいずれもサーバへのアクセス分散を実現する技術として同じ手法を用いる。いずれの場合も、コンテンツ配信技術を用いることにより、アクセス負荷を分散配置された各サーバに偏りがないように分散させる。

本章では、サーバへのアクセス分散を目的としたコンテンツ配信技術として、ミラーサーバ技術、リバースキャッシュ技術、および映像配信などで利用されるスプリットの技術について解説する。なお、本章で述べるコンテンツ配信技術は前章で解説したミラー、あるいはキャッシュの技術を応用したものを含む。しかし、サーバへのアクセス負荷分散を目的とするコンテンツ配信技術では、その運用、管理主体が情報提供者であることが特徴である。すなわち、前章と本章の技術は以下のように分類可能である。

	2章	3章
目的	ネットワークの有効利用	サーバのアクセス分散
運用主体	ユーザ側	情報提供者
分散サーバの設置	ユーザ側	情報提供者

### 3.1. ミラーサーバによるサーバ負荷分散

アクセスが集中するコンテンツにおいて、アクセス分散の手段のひとつとしてミラーサーバの設置がある。前章で解説したミラーサーバ技術はユーザ側でネットワークの有効利用をはかるために設置するものであるが、サーバのアクセス分散を目的にしたミラーサーバ技術は情報提供者がサービスを適切な状態で提供するための技術として位置付けられる。

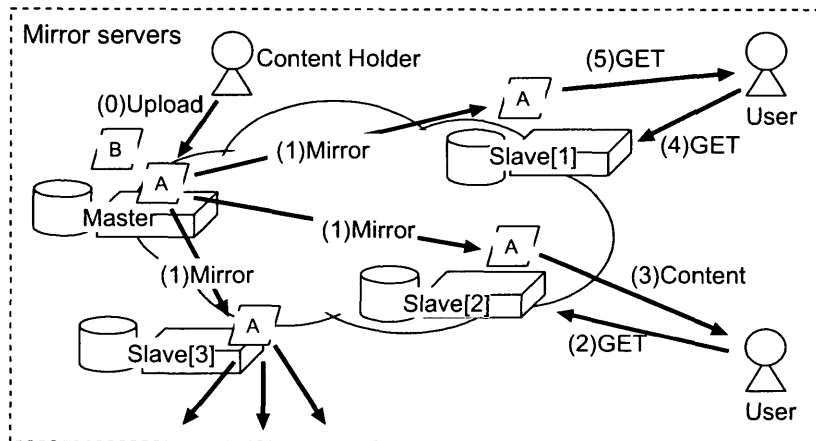


図 5: ミラーサーバによるサーバのアクセス分散

図 5 はサーバのアクセス分散を目的にしたミラーサーバの設置を行った例を示している。マスター (Master) サーバはオリジナルのコンテンツを提供するサーバを表している。スレーブ (Slave) サーバはそれぞれ、マスターサーバからコンテンツを取得、同期して、マスターサーバと同じコンテンツを保持する。コンテンツの同期はスレーブ側から定期的同期を行うプログラムを実行することにより、全コンテンツのコピーをスレーブ側にも保持する。

情報提供者はこれらのマスターサーバ、およびスレーブサーバに対し、同じ名前を付与し、名前解決 (DNS resolv) の際にランダムに各サーバのアドレスを回答することによって、ユーザからのアクセスを分散させる。

サーバのアクセス分散を目的にミラーサーバを設置する事例として、有名なものでは RingServer Project[2] がある。同プロジェクトでは 30 にも及ぶミラーサーバを設置し、サー

バの負荷分散およびアクセス分散をはかっている。

ミラーサーバの技術では、定期的にミラーによってコンテンツの同期を行うことが一般的である。そのため、サーバ間でコンテンツの同期に時間的な「ズレ」が生じることが問題になる。

### 3.2. リバースキャッシュ技術

リバースキャッシュ技術は、サーバの負荷分散を行う仕組みとしてミラーサーバに並んで多用されている技術である。ミラーサーバ技術はコンテンツ更新とコンテンツ同期処理が非同期に行われるためマスターサーバとスレーブサーバ間でコンテンツの内容に「ズレ」が生じることがある。リバースキャッシュでは、スレーブサーバでキャッシュの仕組みを実装することにより、マスターサーバとの動的なコンテンツ同期を可能にする。

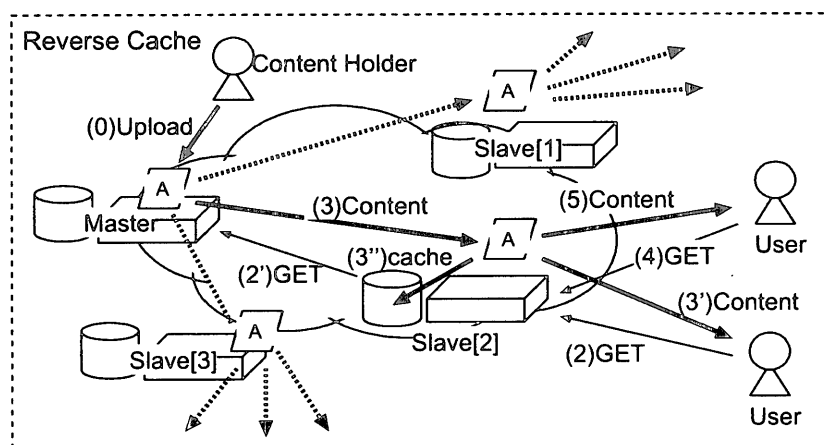


図 6: リバースキャッシュの仕組み

図 6 はリバースキャッシュの例である。前述のミラーサーバの時と同様、マスター (Master) サーバはオリジナルのコンテンツを提供するサーバを表している。スレーブ (Slave) サーバはユーザからのコンテンツ取得要求を受け取った際に、2.3 で記述したキャッシュのアルゴリズムを用いてマスターサーバとのコンテンツ同期をはかる。

リバースキャッシュにおいて、マスターサーバ、スレーブサーバに対し、同じ名前を付与することは前述のミラーサーバ技術と同様である。

### 3.3. スプリット技術

映像中継などでストリーム (Stream) を広域の多数のユーザに配信する場合には、スプリット (Split) と呼ばれる技術が有効である。映像中継ではユーザはサーバから映像を受信する。スプリットでは、スプリットサーバと呼ばれるサーバが Master サーバから映像を一旦受信し、それを別のユーザに再配信する。スプリットでも、Master サーバおよびスプリットサーバはツリー構造をなす。

図 7 にスプリットサーバの仕組みを示す。Encode はコンテンツ提供者 (Content Holder) が提供する映像をインターネットに適したフォーマットに変換する。Master サーバは映像を中継する親サーバとして位置付けられる。Slave は親サーバから映像を受け取り、さらに別のユーザに再配信する。Slave をスプリットサーバと呼ぶ。



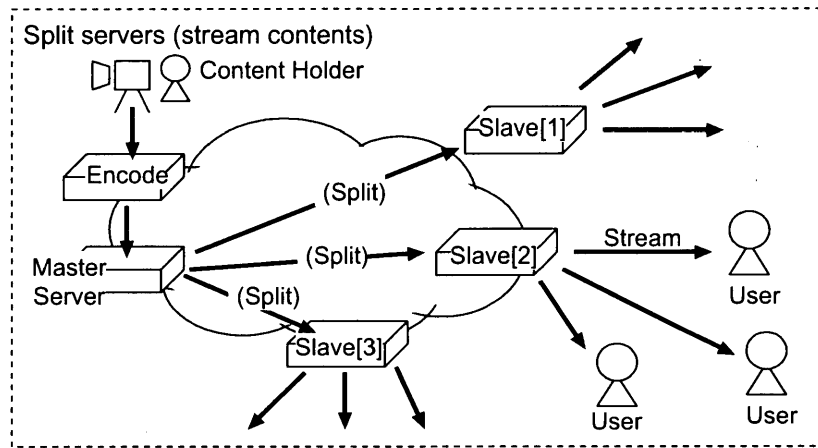


図 7: スプリットによる映像配信

#### 4. ユーザへの応答性向上を目的としたコンテンツ配信技術

インターネットがビジネス用途で利用されるようになり、企業の情報提供のみならず、サービス紹介、オンラインマーケティング、あるいはオンライン取引などが盛んに行われるようになると、インターネット上でのウェブ、コンテンツへのアクセスにおいてユーザへの応答性が重要な問題になってくる。特にインターネット上での情報提供サービスにおいて、応答時間 (Response Time) が5秒を越えるとユーザは別のサービスに移ってしまう、と報告されている例もあり、インターネット上でビジネスを展開しようとする企業にとって、コンテンツへのアクセスに対する応答性の向上は極めて重要な意味を持つ。そのためコンテンツ配信技術でもユーザの利便性を向上させることを目的として利用されるようになってきている。

ユーザへの応答性を向上させることを目的としたコンテンツ配信技術は、主としてユーザがコンテンツ取得要求を行ってからコンテンツを受け取るまでの応答時間の最適化と考えることができる。すなわち、あるアクセス  $j$  に対する応答時間を  $T_j$  とし、以下の式で表現される最適化を行う必要がある。

$$\text{minimize ave } T_j$$

しかし、実際にはすべてのアクセス  $j$  についてコンテンツ配信にかかる時間  $T_j$  を計算、もしくは予測するのは極めて難しい。一般的には、応答時間  $T_j$  はインターネットを構成する以下のような要素によって影響を受ける。すべてのアクセスについて、これらの要素をすべて数式化し最適化をはかるのは現実的ではない。

- 通信の経路
- 通信路の帯域 (ex. ISDN の場合 64Kbps など)
- 通信路の伝送遅延 (ex. 物理距離 × 光の速度)
- サーバの応答時間 (ex. 混雑度やサーバの負荷など)
- コンテンツのサイズ
- TCP のパラメータ

インターネットにおけるコンテンツ配信技術では、より現実的な解決手段として、単純化されたアルゴリズムによってユーザのリクエストをより最適な方法により処理しようとする

る。具体的には、ユーザへの応答性の向上を目的としたコンテンツ配信技術は、次の二つの技術の組み合わせで実現される。

1. コンテンツ同期技術
2. リクエストの誘導

ここで、コンテンツの同期技術は前章で述べたミラーサーバ、リバースキャッシュ、あるいはスプリットなどの技術によって分散配置されたサーバ間でのコンテンツ同期を実現する。一方、リクエストの誘導では、ユーザのコンテンツ取得要求を適切なサーバに誘導することによって、コンテンツの配信に要する時間を最小限に抑え、ユーザへの応答性を向上させる[4]。

本章では、特にインターネットにおけるコンテンツ配信技術の最新動向として、リクエストの誘導技術に着目する。近年のコンテンツ配信技術ではリクエストの誘導技術として、リダイレクト、DNSによるリクエスト誘導、およびエニーキャストなどの技術が利用されている。本章では、これらの技術についてその概要と仕組みについて述べる。また、リクエスト誘導ではユーザからのアクセスに対して最適なサーバ選択を行う必要がある。本章の後半ではサーバ選択に利用されている判断基準についても触れる。

#### 4.1. リダイレクトによるリクエスト誘導

リクエスト誘導でもっとも利用されている技術のひとつは、リダイレクトという仕組みを用いてユーザがアクセスする先を明示的に最寄りのサーバに変更することである。一般的にコンテンツ配信の対象となるコンテンツはウェブによる情報発信、情報提供サービスである。ウェブではHTTP(Hyper Text Transfer Protocol)と呼ばれるプロトコルを利用するが、同プロトコルではリダイレクト(Redirect)という仕組みが提供されている。本来、リダイレクトはアクセスされたページが「引越し」した場合などに、移動先をユーザに通知するために利用される仕組みである。コンテンツ配信技術におけるリダイレクトでは、この仕組みを用いて明示的にユーザに「近い」サーバを指示し、その後の通信を最寄りのサーバから行う。

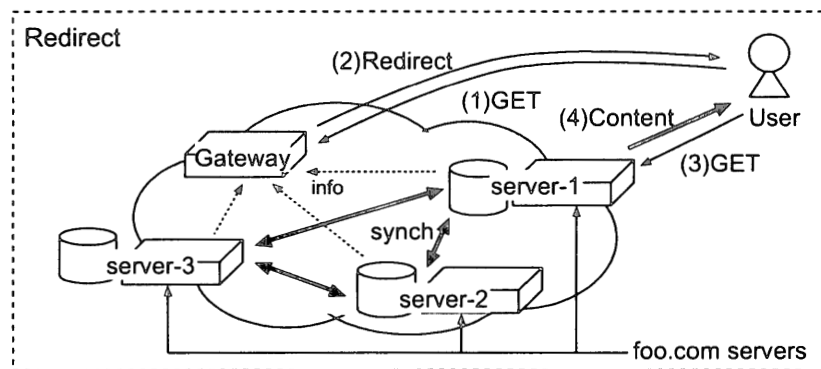


図 8: リダイレクトによるリクエスト誘導の仕組み

図 8 はリダイレクトを用いたリクエスト誘導の仕組みを表している。リダイレクトでは、ユーザは一度ゲートウェイサーバ(Gateway)にコンテンツ取得の要求を行う。ゲートウェイサーバはユーザのアドレスやサーバの負荷などの情報をもとに最適と判断されるサーバを選択し、ユーザに該当サーバへアクセスするよう指示(Redirect)する。リダイレクトでは、本来のコンテンツ取得要求の前にゲートウェイサーバとの通信が発生するため、オーバーヘッド

ドが存在する。一方で、ユーザの端末(PCなど)のIPアドレスなどを用いてリクエストを誘導できるため、きめ細かな誘導、柔軟な誘導が可能である。

#### 4.2. DNS を用いたリクエストの誘導

リクエスト誘導でリダイレクトに並んで使われる技術はDNS(Domain Name System)を用いたリクエストの誘導である。DNSはインターネットにおける名前解決の手段であり、ホスト名からIPアドレスを検索する仕組みを提供する。ユーザがコンテンツを保持するサーバにアクセスする場合、端末はサーバ名からIPアドレスを知るために名前解決(resolv)を試みる。DNSを用いたリクエストの誘導では、端末が名前解決を行う際に、DNSサーバでその端末の属するネットワークの場所を考慮して、回答するIPアドレスに最寄りのサーバのアドレスを指定する。同技術を実現するソフトウェアとしてTenbin[5, 6, 7]が有名である。

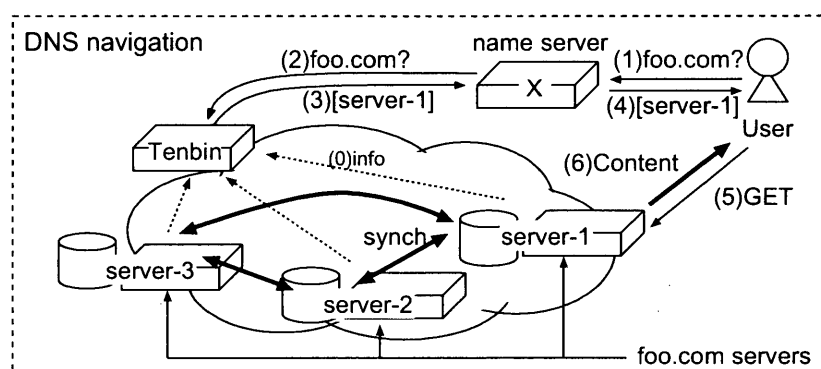


図 9: DNS によるリクエスト誘導の仕組み

図 9 に DNS を用いたリクエストの誘導の仕組みを示す。本図では、リクエストの誘導に Tenbin を用いている例を表している。Tenbin は分散されたサーバから最適化の計算に必要な何らかの情報を入力しておく (0)。DNS を用いたリクエストの誘導ではユーザが DNS を検索した時点で最寄りのサーバの IP アドレスが取得できるため、リダイレクトに見られるオーバーヘッドは必要ない。一方、図 9 に示すように、端末が DNS による名前解決を行い場合、端末は近隣のネームサーバ X への問い合わせ (1) を介して、間接的に Tenbin に問い合わせ (2) を行う。そのため、Tenbin では端末のアドレスではなくて、X のアドレスを用いてリクエストを誘導する必要がある。このことはほとんどの場合には問題にならないが、正確性に欠けることは事実である。

#### 4.3. エニーキャストによるリクエストの誘導

最近のコンテンツ配信では、経路制御の仕組みを応用してリクエスト誘導を行う技術も利用されている。エニーキャストと呼ばれる技術を用いるもので、広域に分散されたサーバに共通の IP アドレスを割り当て、該当の IP アドレスを経路情報としてアナウンスすることでユーザからのリクエストを最寄りのサーバに誘導させようとする。

図 10 にエニーキャストによるリクエスト誘導の様子を示す。エニーキャストでは経路情報を利用して、ユーザの IP パケットをネットワークレイヤで最寄りのサーバに誘導する。そのため、リダイレクトや DNS のように既存のサーバに対して何らかの処理を施す必要はない。また、通信はすべて通常の TCP/IP による通信で行われるため、リダイレクトのようはオーバーヘッドもない。一方で、経路情報の操作は一般的にネットワークに混乱を来す可

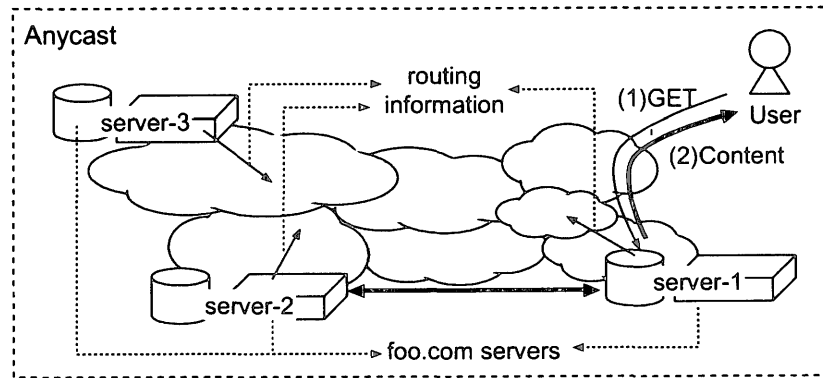


図 10: エニーキャストの仕組み

能性があるため、運用上、経路情報を頻繁に操作するのは難しいことが問題になる。また、通信中に経路情報が変更された場合など、TCP による接続がすべて切れてしまう可能性があることなどが問題とされている。

#### 4.4. 最適サーバの選択における判断基準

リクエストの誘導にあたっては、適切なサーバを選択する基準を定義することも非常に重要な技術として位置付けられる。ここでは、インターネットにおけるコンテンツ配信において、リクエストの誘導を決定づけるサーバの選択技術について解説する。

現在、インターネットにおけるコンテンツ配信では、あるアクセスに関して、もっとも「適切なサーバ」を選択するために以下のような情報が利用されている。

- 端末(PC など) の IP アドレスやホスト名
- DNS の問い合わせ元の IP アドレス
- 端末に関する経路情報
- サーバから端末までのネットワークの状況
- 端末の過去のアクセス履歴
- サーバの混雑状況
- 情報提供者の運用ポリシー

図 11 にこれらのサーバの選択に利用される情報を示す。これらの情報はアクセス時、あるいは定期的にリクエスト誘導システムによって収集され、統計化して利用されることが一般的である。

## 5. コンテンツ配信の実例

本章では最新のコンテンツ配信技術の実現例について紹介する。著者は平成 13 年 6 月に行われた日食映像の中継に携わった。同イベントでは、皆既日食をアフリカで撮影し、それをエンコード(画像のフォーマット変換)を行い、インターネットに向けて配信した。同中継では世界中からアクセスが集中した。記録によると、同イベントでは3時間に167万アクセスを記録し、同時最大13,000 ユーザに対して映像中継を行った[12]。

図 12 に日食映像中継で構築したコンテンツ配信ネットワークの概要を示す。今回のコンテンツ配信では日本各地に映像中継を行うための分散サーバを構築した。図中 Encode は画像フォーマット変換を行う装置を、また Master Server は映像配信を行う中心のサーバを表

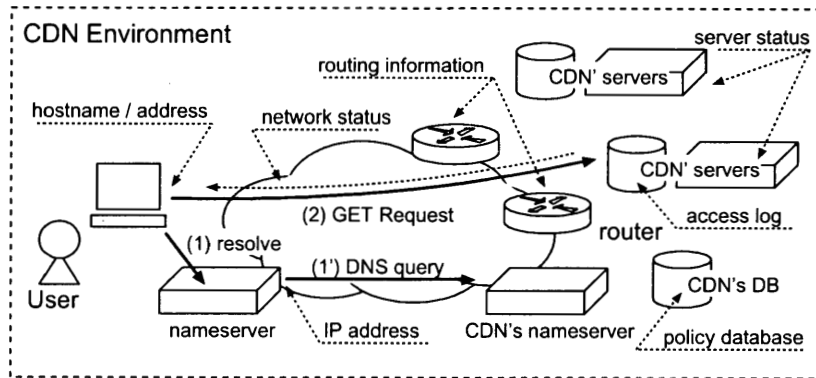


図 11: サーバ選択で利用できる情報

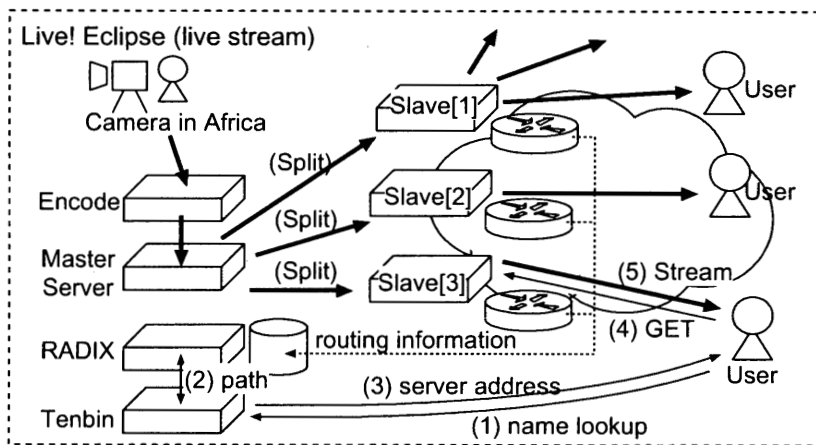


図 12: 日食中継の概要

す。また、Server[1]~Server[3]は分散サーバを表している。今回の中継ではアクセス分散を実現するために3.3節で記述したスプリット技術を用いている。

同中継では、リクエスト誘導の仕組みとしてTenbinを用いてDNSによるリクエスト誘導の仕組みを導入した。図中Tenbinと書かれている函型がリクエスト誘導を行うDNSサーバを表している。

また、最適なサーバ選択には端末のIPアドレス、およびBGP4[13]の経路情報を利用した。BGP4はプロバイダ間で経路情報を交換するために利用されるプロトコルで、同プロトコルで交換されるASパスと呼ばれる情報からインターネット上のホストに対する経路を調べることが可能である。今回の映像配信では、ASパスの長さはサーバから端末までの間に経由するプロバイダの数にほぼ等しいと考えることができる。今回のサーバ選択では、サーバを設置している各ネットワークから経路情報を収集し、常に最新の経路情報データベースを構築しておく。図中RADIXは経路情報データベースを保持する経路制御ソフトウェアを表している[8, 9]。DNS名前での名前解決(name lookup)の要求(1)を受け取ったTenbinは、端末のIPアドレスとRADIXに対して端末までの経路(ASパス)を問い合わせる(2)。Tenbinは端末まで短い経路を持つサーバを選択しそれを最適なサーバとして判断し、そのIPアドレスを回答する(3)。

なお、今回の映像中継におけるコンテンツ配信では、Tenbinを用いた場合のASパス長

の平均は2.3であった。これはTenbinを用いなかった場合のASパス長3.1に比較して、約25%程度通信経路を短縮できたことが分かっている [7]。

## 6. コンテンツ配信技術の展望

本稿では、インターネットにおいて近年特に注目を集めているコンテンツ配信技術について、その技術動向について報告した。コンテンツ配信技術は、目的によってその実現技術は大きく異なる。本稿では、ネットワークリソースの利用効率の最適化、サーバのアクセス分散、およびユーザへの応答性の向上という3つの視点からコンテンツ配信技術を分類し、その実現技術について述べた。また、最新のコンテンツ配信技術動向として、リクエストの誘導技術について着目し、実際に利用されている技術としてリダイレクト、DNSによるリクエスト誘導、エニーキャストの3つについて解説を行った。これらの技術においてユーザへの応答性の最適化のためにサーバ選択で利用される判断基準についても触れた。

インターネットにおけるコンテンツ配信では、サーバの状況、ネットワーク、端末、あるいはコンテンツの種類、サイズ、ポリシーなどから構成される非常に複雑な要素から構成されている。近年のコンテンツ配信技術では、ユーザへの応答性の向上という視点からコンテンツの配信を最適化するための研究が盛んであるが、現実的には理論的な最適解を計算するのは不可能とされる。インターネットではより実践的、現実的な手段として端末のアドレスや経路情報、サーバの状態などの情報から最適に近いと思われるサーバをいかに選択するか、という技術が必要とされている。

インターネットでは家庭へのブロードバンドの普及によって、より広域、広範囲にわたって高帯域のネットワークが展開されている。これに伴い、より拡張性の高い、より応答性の高い、コンテンツ配信技術が必要になる。また、今後はウェブやストリームのような情報提供側のコンテンツばかりではなく、オンライン取り引きや電話、あるいはゲームなどの即時性の高いコンテンツの配信を行っていく必要がある。コンテンツ配信技術においても、即時性や遅延、あるいは双方向性を考慮した新しい技術を検討していくことも必要である。

一方でインターネットにおけるコンテンツ配信はビジネス面での利用が急速に進んでいる。最近ではユーザ認証や課金などのモデルの整備が急速に進み、コンテンツ配信によるビジネスを目的としたCDN(Content Delivery Network)と呼ばれるサービスも登場してきている。同時に複数のCDN間を相互に接続する機構についても研究、実験が進められている [3]。今後、コンテンツ配信技術を取り巻く環境はビジネスでの利用化が進み、急進展しそうである。

## 謝辞

本研究にあたって協力をいただいた奈良先端科学技術大学院大学の門林助教授、九州大学の下川助手、IIJ-MCの山本氏に感謝します。

## 参考文献

- [1] Yahoo! : <http://www.yahoo.com/>
- [2] RingServer Project: <http://www.ring.gr.jp/>
- [3] M. Day, B. Cain, G. Tomlinson, P. Rzewski, "A Model for Content Internetworking (CDI)," draft-day-cdnp-model-08.txt, Oct. 2001

- [4] A. Barbir, B. Cain, F. Douglis, M. Green, M. Hofmann, R. Nair, D. Potter, O. Spatscheck, "Known CDN Request-Routing Mechanisms," draft-cain-cdn-known-request-routing-03.txt, Nov. 2001
- [5] 下川俊彦, 木場雄一, 中川郁夫, 山本文治, 吉田紀彦, "広域分散ストリーム配信における経路情報の利用," 電子情報通信学会 技術研究報告 (インターネットアーキテクチャ研究会) Vol.101 No.176, 1-8, July, 2001.
- [6] 下川俊彦, 吉田紀彦, 牛島和夫, "多様な選択ポリシーを利用可能なサーバ選択機構," 電子情報通信学会論文誌, J84-D-I:9, 1396-1403, September 20001.
- [7] 下川俊彦, 中川郁夫, 山本文治, 吉田紀彦, "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," 情報処理学会 研究報告 (高品質インターネット研究会) Vol.2001 No.111, 77 - 84, November, 2001.
- [8] 中川 郁夫, "経路の抽出を用いた地域内経路制御の実現," ソフトウェア科学会 第一回インターネットテクノロジーワークショップ, August, 1998.
- [9] 中川 郁夫, "ルートサーバを用いた地域内経路制御," ITRC 研究会発表, November, 1998.
- [10] 荻野司, 松田和宏, 須藤一顕, 針山欣之, 向阪正彦, "広域分散配置 Web サーバにおける最適サーバ探索システムの検討", 分散システム/インターネット運用技術 pp. 7-12, Jul. 2000.
- [11] 荻野司, 松田和宏, 須藤一顕, 針山欣之, 向阪正彦, 殖栗俊明, "広域分散配置 Web サーバにおける最適サーバ探索システムの検討", 分散システム/インターネット運用技術シンポジウム 2001 論文集, pp. 41-50, Feb. 2001.
- [12] ライブ! エクリプス実行委員会, <http://www.live-eclipse.org/>
- [13] Y. Rekhter, T. Li: "A Border Gateway Protocol 4", IETF RFC1771, Mar. 1995