

クライアント協調型機構を持つ 負荷分散 Web プロキシネットワークシステム

飯間 悠樹[†] 市木 良和[†] 清田 寛信[†] 鈴木 優^{††} 川越 恭二^{††}

[†] 立命館大学 理工学部 情報学科 〒 525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

^{††} 立命館大学 情報理工学部 〒 525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

E-mail: †{iima,ichiki,kiyota}@coms.ics.ritsumeai.ac.jp, ††{yusuzuki,kawagoe}@is.ritsumeai.ac.jp

あらまし 本稿では、Web サーバの負荷に影響されない、安定した Web 閲覧者の Web サービス利用を実現することを目的とした、クライアント協調型機構を持つ負荷分散 Web プロキシネットワークシステムを提案する。提案システムは、Web サーバに対するアクセスを、インターネット上に散在する複数の Web プロキシに分散する。提案システムにおけるクライアント協調型機構とは、クライアント側とサーバ側が協調してプロキシサーバの選択処理を行う機構である。提案システムのような、複数の端末によって構築されるシステムでは、端末が保持する情報の管理や利用の際に通信が発生する。端末が保持する情報の量が膨大となる場合、その管理や利用に伴う通信がシステムのネットワークを圧迫する。本稿では、提案システムにおける管理情報のうち、クライアントとプロキシサーバ間のデータ転送速度情報と、プロキシサーバの保持コンテンツを識別する索引情報に着目した。データ転送速度情報はクライアントに対するデータ転送速度が高速なプロキシサーバを選択するために必要である。索引情報はクライアントの要求に応答するプロキシサーバを検索するために必要である。本稿では、これらの情報の管理や利用に伴う通信の発生を抑えるための機構を提案する。まず、データ転送速度情報をクライアント側で管理することにより、プロキシサーバ側における通信の増大を抑えつつデータ転送速度情報を利用する機構を提案する。さらに、プロキシサーバと対応するドメインの情報を索引情報とすることにより、索引情報の更新頻度を抑えたプロキシサーバ検索機構を提案する。

キーワード Web プロキシ, Web キャッシュ, P2P, 分散コンピューティング, 負荷分散

A Load Distribution Web Proxy Network System including Client Cooperation Mechanism

Yuuki IIMA[†], Yoshikazu ICHIKI[†], Hironobu KIYOTA[†], Yu SUZUKI^{††}, and Kyoji KAWAGOE^{††}

[†] Department of Infomation, College of Science and Engineering, Ritsumeikan University.

Nojihigashi 1-1-1, Kusastu, Shiga, 525-8577 Japan

^{††} College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University.

Nojihigashi 1-1-1, Kusastu, Shiga, 525-8577 Japan

E-mail: †{iima,ichiki,kiyota}@coms.ics.ritsumeai.ac.jp, ††{yusuzuki,kawagoe}@is.ritsumeai.ac.jp

Abstract In this paper, we propose a load distribution Web proxy network system including client cooperation mechanism. This system distributes access to Web servers among many Web proxies on the Internet. The client cooperation mechanism selects a server cooperatively both in the server side and in the client side. In this paper, we focus on the system network load caused by increase of message traffic. Message traffic increases on update and utilization of management data in this system. Especially, the data-transfer rates between a server and a client and the index data of contents on servers are taken into consideration. The data-transfer rates between a server and a client are used for selection of fast servers for each client. The index data of contents on servers are used for search of servers which fulfill the requirement of clients. In this paper, we propose two mechanisms to reduce the generation of foregoing messages. The first mechanism is client cooperation mechanism which enables to reduce messages by managing data-transfer rates in the client side. The second one is server search mechanism with less update frequency index data. This index data is information of contents' domain each server is responsible.

Key words Web proxy, Web cache, Peer-to-Peer, Distributed computing, Load balancing

1. はじめに

本稿では、不特定多数の Web コンテンツを対象とした負荷分散ネットワークにおける、管理情報の管理や利用に伴って発生する通信に着目し、そのような通信の発生を抑えるための機構の提案を行う。

近年、コンピュータの低価格化、高性能化およびインターネット環境の向上に伴い、Web コンテンツにアクセスする利用者や、Web を利用して自身のコンテンツを発信する利用者が増加している。このような環境の変化から、Web コンテンツの数および Web コンテンツに対するアクセスの数が増加している。

一方、Web コンテンツに対するアクセスが極めて一部のものだけに集中する傾向がある [1] ため、特定の Web サービスにアクセスが集中することがある。このような現象のうち、特に、アクセス数が短時間で急激に上昇する現象を Flash Crowd [2] と呼ぶ。このような状況では、Web サービスの応答速度が低下したり、一時的に利用できなくなることがある。

このような背景から、コンテンツの複製を用いることによってクライアントサーバ間における Web サーバの負荷分散を行うネットワークが研究されている。Web サーバに対する負荷分散の実現により、Web 閲覧者は Web サービスを安定して利用することができる。しかし、このような負荷分散ネットワークが不特定多数の Web コンテンツを負荷分散の対象とする場合、次のような問題が発生する。まず、負荷分散の対象となるコンテンツの数が膨大となる。また、不特定多数の Web コンテンツにアクセスする利用者を収容する必要があるため、利用者の数も膨大となる。よって、負荷分散システムにおいて管理する、Web コンテンツおよび利用者に関する情報の量が增大する。このため、このような情報の管理や利用に伴って発生する通信が負荷分散システムのネットワークを圧迫する場合がある。

そこで本稿では、このような通信の発生を抑え、負荷分散ネットワークの負荷を低減するために、クライアント協調型機構、および、プロキシサーバが処理をするドメインを表す、プロキシサーバの対応ドメイン情報を用いたプロキシサーバ検索機構を提案し、両機構を持つ負荷分散 Web プロキシネットワークシステムを併せて提案する。提案システムは、プロキシサーバによる P2P ネットワークと、クライアント側においてそのネットワークと通信するクライアントシステムによって構成される。クライアントシステムはクライアント側において、ローカルプロキシとして Web ブラウザの通信を全て仲介するシステムである。ただし本稿では、Web プロキシネットワークを WPN と呼び、WPN を構築するプロキシサーバをノードプロキシと呼ぶ。クライアント協調型機構とノードプロキシ検索機構で用いる対応ノードプロキシ情報の概要を図 1 に示す。

クライアント協調型機構は、WPN における通信の増大を抑えつつ、クライアントとノードプロキシ間のデータ転送速度情報を管理、利用する機構である。クライアント協調型機構はクライアントシステムによって実現される。提案システムはデータ転送速度情報を用いることによって、クライアントに対するデータ転送速度が高速なノードプロキシを選択することができ

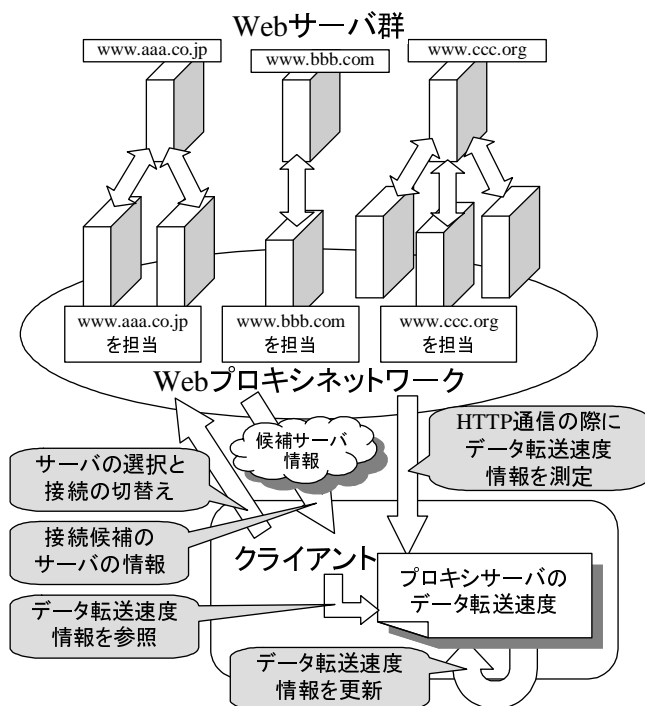


図 1 クライアント協調型機構とノードプロキシ検索機構において用いる対応ドメイン情報の概要

Fig. 1 Outline of a client cooperation mechanism and responsible domain information used in a node search mechanism.

る。ここで、クライアントとノードプロキシ間のデータ転送速度情報を、単にデータ転送速度情報と呼ぶ。まず、データ転送速度情報の取得や更新は、クライアント側がノードプロキシと実際に通信する際に行う。このため、WPN において、データ転送速度情報の更新処理などに伴う通信が発生しない。さらに、WPN が提示した接続先候補ノードプロキシ群の中からクライアントに最も適切と思われるノードプロキシを選択する処理を、クライアントがデータ転送速度情報を利用することによって行う。よって、ノードプロキシ側のネットワークに負荷を与えることなく、データ転送速度情報をノードプロキシの選択処理に用いることができる。

対応ドメイン情報を用いたノードプロキシ検索機構は、ノードプロキシが保持する Web コンテンツを識別する URL などの情報ではなく、あらかじめ登録したノードプロキシの対応するコンテンツの完全修飾ドメイン名情報を索引情報として用いてノードプロキシの検索を行う。完全修飾ドメイン名を本稿では FQDN と呼ぶ。ノードプロキシ検索機構は、クライアントの要求に対して、要求された Web コンテンツが属する FQDN に対応するノードプロキシを検索する。FQDN に対応するノードプロキシは、その FQDN に対するアクセスの数に合わせて複数対応する。本機構では、コンテンツの単位が FQDN となるため、選択したノードプロキシ上にクライアントが必要としている Web キャッシュが存在することは保証されないが、アクセスの分散は達成されると考える。なぜなら、Web キャッシュには、頻繁にアクセスされるものがノードプロキシ上に残り続けるという特徴があるためである。この特徴から、Web キャッ

シュを保持すべきノードプロキシを決定しておくことによって、アクセスされる頻度の高い Web キャッシュがそのノードプロキシに高い確率で保持されると考える。その結果、アクセスされる頻度が高い Web キャッシュに対するアクセスを分散することができる。また、この機構によって管理される情報は、どのノードプロキシが現在どのような Web キャッシュを保持しているかという情報ではなく、どのノードプロキシがどの FQDN と対応しているかという情報であるため、ノードプロキシにおける Web キャッシュの取得や破棄を通知する通信が発生しない。よって、WPN における通信量を低減できると考える。

2. 負荷分散 Web プロキシネットワークシステム

本章ではまず、提案システムの方針を述べる。次に提案システムの構成を述べ、最後に提案システムの動作の流れを述べる。

2.1 提案システムの方針

提案システムでは、WPN における通信の発生回数を低減するために、以下の三つの方針を立てる。

まず、クライアント固有の情報であるデータ転送速度情報を、WPN に負担をかけることなく管理および利用するためにクライアントシステムを導入する。次に、ノードプロキシの検索に必要な索引情報の管理に伴う通信の発生を抑えるために、ノードプロキシに対応する FQDN をあらかじめ決定しておき、この情報を索引情報とする。最後に、単一のノードプロキシが処理しきれない数のアクセスを分散するために、WPN における負荷分散機構を検討する。以下にそれぞれの方針について述べる。

2.1.1 クライアントによるデータ転送速度情報の管理

提案システムでは、クライアントに対するデータ転送速度が高速なノードプロキシを選択するために必要であるデータ転送速度情報を、WPN 側ではなく各クライアントが個別に管理する。このことによって、WPN においてデータ転送速度情報の更新に伴う通信が発生することを防ぎ、WPN に負担をかけることなく膨大なデータ転送速度情報を管理する。

提案システムにおいてクライアントに関する情報を用いる処理は、クライアントからの要求に対して適切なノードプロキシを選択する処理である。これは、クライアントごとに適切なノードプロキシが異なるためである。提案システムにおける、クライアントにとって適切なノードプロキシとは、クライアントに対するデータ転送速度が高速なノードプロキシである。このため、ノードプロキシ選択の精度が悪い場合、クライアントに対する提案システムのデータ転送速度が低下することになる。しかし、精度の高いノードプロキシ選択を実現するためには、データ転送速度情報が必要である。なぜなら、クライアントに対するノードプロキシのデータ転送速度は、ノードプロキシの性能だけではなく、クライアントとノードプロキシ間におけるインターネットの通信経路の状態に依存するため、データ転送速度を測定した情報を用いなければ判断できないからである。

また、データ転送速度情報は、WPN ではなくクライアント側で管理すべきであると考えられる。データ転送速度情報の総数は、クライアントとノードプロキシの組合せの数に等しく、膨大となる。また、データ転送速度情報はネットワーク状態の変

化に伴って更新されるべきである。このため、WPN でデータ転送速度情報を管理した場合、データ転送速度情報を更新するための通信がノードプロキシ間で頻発する。さらに、データ転送速度情報は、同じノードプロキシに関するものであってもクライアントによって異なるため、クライアント固有の情報であると言える。このため、クライアントは他のクライアントのデータ転送速度情報を知る必要がない。よって、クライアント側はデータ転送速度情報を共有する必要がないことから、この情報を WPN において管理する必要はないと考える。

そこで提案システムでは、クライアント側がデータ転送速度情報を管理する。そのために、提案システムではクライアントにクライアントシステムを配置する。このことによって、データ転送速度情報の利用や取得および更新などの処理をクライアント側に局所化できるため、WPN におけるデータ転送速度情報に関する通信の発生を抑えることができると考える。

2.1.2 完全修飾ドメイン名を用いたノードプロキシ検索

提案システムでは、ノードプロキシが保持している Web キャッシュを識別する URL などの情報ではなく、ノードプロキシに対応している FQDN の情報を索引情報とする。

Web キャッシュには、頻繁にアクセスされるものほどノードプロキシ上に残るという特徴がある。このため、Flash Crowd を引き起こす Web コンテンツのキャッシュは、ノードプロキシ上に残りやすいと考えられる。そこで、ノードプロキシに、FQDN を割り当てることによって対応する Web コンテンツをあらかじめ決定しておく。そして、ある Web コンテンツに対するアクセスを、その Web コンテンツに対応するノードプロキシに転送する。このことによっても、被アクセス頻度の高い Web コンテンツのキャッシュが対応するノードプロキシに保持され、その結果、Flash Crowd を引き起こすアクセスの分散は達成できると考える。この対応コンテンツ情報を用いることにより、実際にノードプロキシが保持している Web キャッシュの URL などの情報を管理する場合と異なり、Web キャッシュの取得や破棄を他ノードプロキシに通知するための通信が発生しない。このため、WPN の負荷を低減できると考える。

また、ノードプロキシが対応する Web コンテンツを、個々の Web コンテンツではなく、FQDN を単位として管理する理由は、一つの Web サイトを構成する Web コンテンツの多くが同一の FQDN に属していると考えられるためである。一般に、ある Web サイトを閲覧する利用者は、同一サイト内のページを連続して閲覧すると考えられる。このとき、Web コンテンツごとに異なるノードプロキシを割り当てていた場合、ページの遷移ごとにノードプロキシの検索処理が発生することになる。このため、ノードプロキシが FQDN 単位でコンテンツと対応付けられることによって、同一 Web サイト内におけるページ遷移に伴うノードプロキシ検索の発生を防ぎ、この処理による WPN の負荷を低減できると考える。

最後に、高速なノードプロキシ検索を実現するため、ノードプロキシの検索機構として DHT [3] を採用する。DHT によって、ノードプロキシにあらかじめキー値を与えておき、Web コンテンツの FQDN からキー値を算出することによって、FQDN

に対応するノードプロキシを特定する。

2.1.3 負荷分散機構

提案システムでは、Flash Crowdのような、単一のノードプロキシが処理できないほどの数のアクセスを分散するために、一つのFQDNに複数のノードプロキシが対応する。さらに、そのノードプロキシ群によって木構造ネットワークを構築し、各ノードプロキシが自律的にこの木構造の維持管理を行う。

前述した、FQDNを用いたノードプロキシ検索の仕組みでは、FQDNとノードプロキシの対応が1対1である。このため、あるFQDNに対するアクセスの数が、ノードプロキシ単体で対応できないほどに上昇した場合、提案システムはそのFQDNに属するコンテンツに対する要求に回答できなくなる。

そこで、FQDNとノードプロキシの対応を1対多にする。このことによって、あるFQDNに対するアクセスを複数のノードプロキシに分散することができる。さらに、それら複数のノードプロキシを管理するためのネットワーク形態として、情報伝播が高速である木構造[4]を採用する。情報伝播が高速であるという木構造の特徴によって、検索対象となるノードプロキシの増加に伴うノードプロキシ検索の速度低下を抑える。この負荷分散のための木構造ネットワークを本稿では負荷分散木と呼ぶ。そして、負荷分散木の根であるノードによってDHTを構成することにより、ノード検索機構であるDHTと、負荷分散機構である負荷分散木を対応付ける。

また、WPNの拡張性を高めるために、各ノードが自律的に負荷分散木の維持管理を行うことによって、負荷分散木の維持管理コストを各ノードに分散する。ノードの自律的動作による負荷分散については、4章で述べる。

2.1.4 提案システムの不正利用防止

提案システムの不正利用を防ぐための方針について、利用者情報とノードプロキシ情報の管理の観点から述べる。提案システムの不正利用としては、成りすましなどの利用者による不正利用と、不正なコンテンツ配信を目的とした悪意あるノードプロキシのWPN参加が考えられる。

まず、利用者による提案システムの不正利用を防ぐために、利用者の情報を管理する。さらに、不正利用を目的としたノードプロキシがWPNに参加することを防ぐために、ノードプロキシとその管理者の情報も管理する。これらの情報は、集中的に管理する。なぜなら、利用者やノードプロキシ管理者などの個人情報を含む情報は安全に分散管理することが困難であるため、WPNで管理するべきでないと考えられるためである。そして、単体では個人を特定できない必要最低限の情報だけを、認証などのためにWPNにおいて利用する。

2.2 提案システムの構成

提案システムの構成を図2に示す。提案システムは、クライアントシステム、WPN構成システム、サービス管理システムの3つのサブシステムから成る。以下に、各サブシステムの役割と、サブシステム間のやり取りについて述べる。

(1) クライアントシステム

クライアントシステムは、クライアント側で機能するサブシステムである。本サブシステムは、クライアント側でローカル

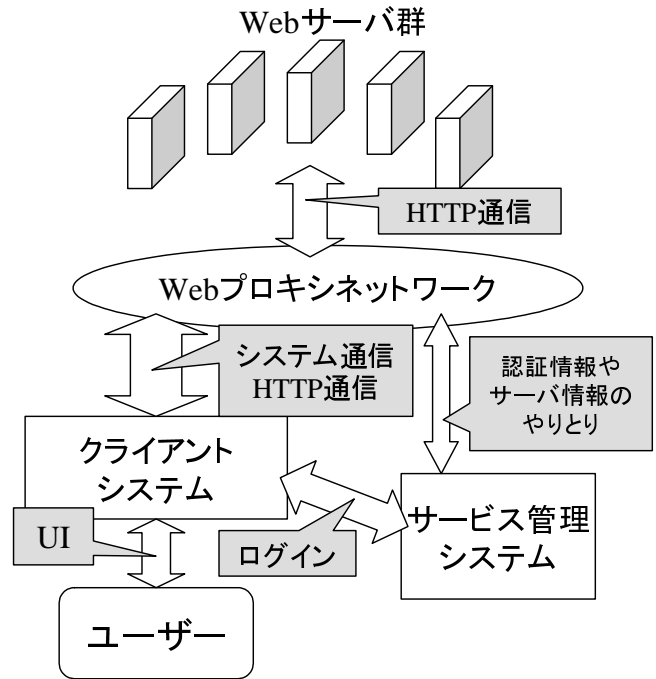


図2 Webプロキシネットワークシステムの構成
Fig.2 The structure of the Web proxy network system.

プロキシとして動作し、利用者がシステムを利用している間、Webブラウザからのアクセスを全て仲介する。また、本システムは、クライアント固有の情報であるデータ転送速度情報を管理する。そして、このデータ転送速度情報を基に、WPNが提示したノードプロキシ群の中から、自身に最も適していると思われるノードプロキシを選択する。この機能によって、提案システムは、WPNに負荷をかけることなく、ノードプロキシのデータ転送速度情報を利用したノードプロキシ選択を行う。具体的な処理は3章で述べる。

また、システム利用時のサービス管理システムへのログイン処理や、ノードプロキシの選択および切替え処理など、提案システムを利用する際に必要となる処理を利用者から隠蔽する。

(2) WPN構成システム

WPNは、インターネット上に散在するノードプロキシによって構築される、負荷分散のためのP2Pネットワークである。Webサーバに対するクライアントからのアクセスを複数のノードプロキシに分散し、Webサーバの負荷を低減する。本サブシステムは、WPNの構築と維持や、クライアントシステムと協調したクライアントシステムが接続するノードプロキシの選択、クライアント認証、ノードプロキシ認証などを行う。

(3) サービス管理システム

サービス管理システムは、提案システムの不正利用を防ぐために、利用者情報とノードプロキシ情報の管理を行う。また、WPNにおけるクライアント認証に必要な情報の管理と、WPNに対する通知を行う。クライアントシステムは、提案システム利用時にこのサブシステムにアクセスしログインを行う。ログイン処理を行った利用者が正当であった場合、サービス管理システムはノードプロキシへのアクセスを行う際の認証に必要な

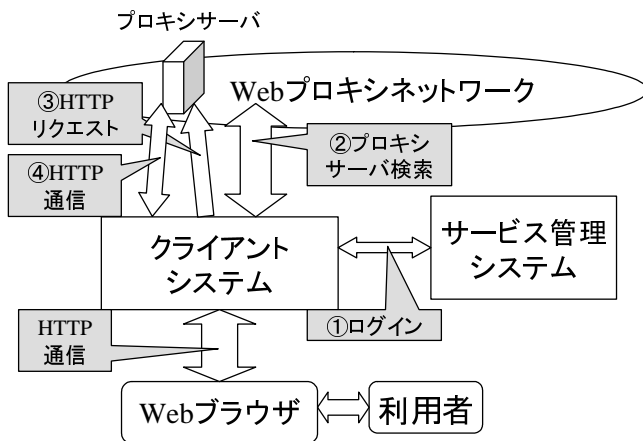


図 3 Web プロキシネットワークシステムの動作の流れ

Fig. 3 The process flow of the Web proxy network system.

データをクライアントシステムに渡す。

2.3 提案システムの動作の流れ

提案システムの動作の流れを図 3 に示し、以下に提案システムの動作の流れを説明する。提案システムはクライアントシステムを中心に動作し、WPN を構成するノードプロキシと通信することによって Web サーバの負荷を低減する。なお、以下に述べる提案システムの動作は、利用者がクライアントシステムを導入していることが前提である。

[step1] クライアントシステムは、利用者が Web ブラウザを起動した際にサービス管理システムに対してログインを行う。

[step2] クライアントシステムは、WPN と協調して、クライアントにとって適切なノードプロキシを決定する。

[step3] クライアントシステムは、決定されたノードプロキシに対して接続を求める。

[step4] ノードプロキシは接続を求めるクライアントシステムの認証を行う。ノードプロキシがそのクライアントシステムを適切であると判断した場合、当該のクライアントシステムとノードプロキシ間において HTTP 通信が開始される。

3. クライアントサーバ協調型サーバ選択方式

本章では、クライアント協調型機構によって実現されるクライアントサーバ協調型サーバ選択方式について述べる。クライアントサーバ協調型サーバ選択方式とは、データ転送速度情報が必要となるノードプロキシの選択処理において、WPN とクライアントシステムが処理に参加することによって、クライアントシステムが接続するノードプロキシを決定する方式である。

提案システムは不特定多数の Web コンテンツを対象としているため、多くの利用者を収容する必要がある。そして、利用者が増加することによって、クライアント固有の情報であるデータ転送速度情報は膨大となる。また、データ転送速度情報は頻繁に変化する情報である。このため、データ転送速度情報を WPN で管理した場合、WPN においてこの情報の更新や利用に伴う通信が頻発する。

本方式では、クライアントシステムがデータ転送速度情報を

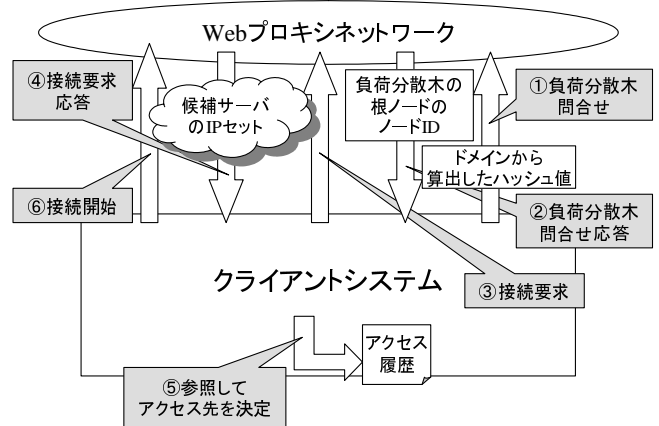


図 4 クライアントサーバ協調型サーバ選択方式の処理の流れ

Fig. 4 The process flow of the coordinate server selection between client and server.

管理する。このため、データ転送速度情報に関する処理はクライアント側に局所化される。本方式では、まず、クライアントシステムが、ノードプロキシと実際に通信を行った際にそのノードプロキシのデータ転送速度を測定し記録する。データ転送速度情報の更新は、以降の通信のたびに行われる。この機能により、データ転送速度情報の更新に伴う通信が WPN において発生することを防ぐ。さらに、WPN に負荷をかけることなく、データ転送速度情報を用いたノードプロキシの選択を行う。

本方式の処理の流れを図 4 に示し、以下にその流れを述べる。ただし、WPN 上のノードプロキシを識別するための ID を本稿ではノード ID と呼ぶ。

[step1] クライアントシステムは、アクセスする Web コンテンツの FQDN からキー値を算出し、WPN に対してそのキー値を保持する負荷分散木の根ノードプロキシを問い合わせる。

[step2] WPN はクライアントシステムに対して、キー値を保持する負荷分散木の根ノードプロキシのノード ID を返す。

[step3] クライアントシステムはノード ID を返されたノードプロキシに対して接続要求を發する。

[step4] 接続要求を受けたノードプロキシは、負荷情報などの WPN の情報を基に、接続を受け入れることができると判断した複数の候補ノードプロキシのノード ID セットを返す。

[step5] 候補サーバのノード ID セットを受け取ったクライアントシステムは、過去のデータ転送速度情報の記録を参照し、自身に最も適していると思われるノードプロキシを選択する。

[step6] クライアントシステムは選択したノードプロキシにアクセスする。

本方式には次のような特徴がある。

まず、データ転送速度情報の更新や利用に伴う通信が WPN を圧迫しない。これは、クライアントシステムがデータ転送速度情報を管理することによって、この情報の更新や利用の処理がクライアント側に局所化されることによって、WPN においてデータ転送速度情報に関する通信が発生しないためである。また、個々のクライアントシステムがデータ転送速度情報を収集するため、クライアントごとに異なるデータ転送速度に対応す

ることができる。さらに、データ転送速度情報は実際に HTTP 通信が行われた際に収集されるため、データ転送速度情報の収集のための通信が発生しない。加えて、データ転送速度情報は、クライアントシステムが実際にノードプロキシと通信をした際に更新される。このため、提案システムはクライアントとノードプロキシ間のデータ転送速度が変化した場合にも対処することができる。この特徴から、従来のサーバ選択手法では困難であった、ネットワーク状態の変化に対する適応性の高いノードプロキシの選択が実現できると考える。なお、クライアントシステムからの各要求に対してノードプロキシのノード ID セットを返す機構は、4. 章で述べる WPN 機構で実現される。最後に、WPN 側におけるノードプロキシ選択の方針と、クライアント側におけるノードプロキシ選択の方針を分離することができる。このため、WPN 側におけるノードプロキシ選択方針は、BGP4 [5] における AS_PATH を用いたものから、ノードプロキシの負荷情報を用いた独自のもの、あるいはそれらを混合したもので、ノードプロキシに関する情報だけによって決定できる選択方式であれば自由に用いることができる。

また、クライアント協調機構の仕組みを利用し、サーバ選択処理の履歴をクライアント側に残すことによって、以前アクセスした負荷分散木の根であるノードプロキシに直接アクセスすることができる。この機能によって、前述したノードプロキシ選択の手続きを step3 から行うことができ、提案システムの応答速度の向上と、ノードプロキシ選択における通信コストの削減を達成できると考える。

4. Web プロキシネットワーク機構

本章では、ノードプロキシが構築する Web プロキシネットワーク機構について述べる。次に、両機構によって実現されるノードプロキシ検索の処理の流れを述べ、ノードプロキシによるノード自律型負荷分散方式 [6] の概要を述べる。

本機構は、アクセスを複数のノードプロキシに分散するための負荷分散機構と、ノードプロキシが対応する FQDN 情報を管理し、クライアントシステムからの要求に対してノードプロキシを検索するための負荷分散木検索機構によって構成される。

Web プロキシネットワーク機構の概要を図 5 に示す。

4.1 負荷分散機構

負荷分散機構は、負荷分散木と呼ばれる、ノードプロキシによる木構造ネットワークを構築する。そして、負荷分散木が負荷の増大に合わせて成長することによって、クライアントからのアクセスを分散する。負荷分散木の成長は、後述するノード自律型負荷分散方式によって実現する。

負荷分散木に属するノードプロキシは、すべて同一のキー値を保持し、そのキー値が算出される FQDN との対応関係を保持する。このため、ノードプロキシは、負荷分散木の成長に伴って木に参加した場合にはその負荷分散木に対応するキー値を新たに保持し、その負荷分散木から脱退する場合にはその負荷分散木に対応するキー値を破棄する。

4.2 負荷分散木検索機構

負荷分散木検索機構は、DHT を用いることによって、クラ

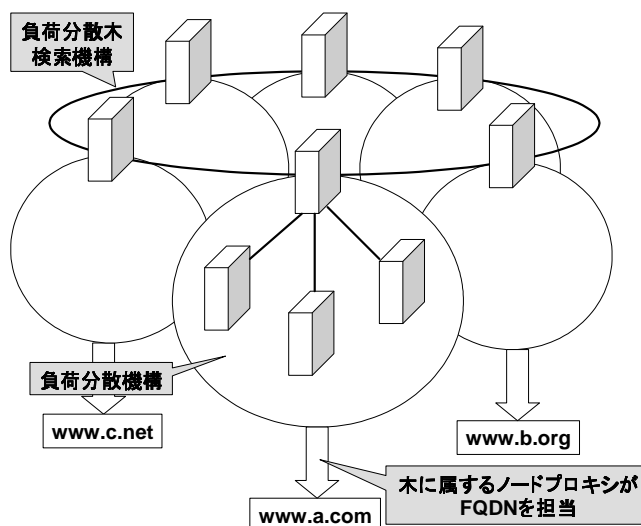


図 5 Web プロキシネットワーク機構の概要

Fig. 5 The overview of a Web proxy servers network topology.

イアントシステムからの負荷分散木検索要求に対して、負荷分散木の根となっているノードプロキシのノード ID を返す。負荷分散木検索機構は、このような負荷分散木の根となっているノードプロキシによって DHT のネットワークを構築することによって実現する。

4.3 ノードプロキシ検索の処理の流れ

負荷分散木と負荷分散木検索機構によって実現されるノードプロキシ検索の処理の流れを述べる。

[step1] クライアントシステムは、アクセス先の Web コンテンツの FQDN からキー値を算出し、そのキー値と対応する負荷分散木を負荷分散木検索機構に対して問い合わせる。

[step2] 負荷分散木検索機構はクライアントシステムに対して、問合せを受けたキー値と対応する負荷分散木の根であるノードプロキシのノード ID を返す。

[step3] 負荷分散木の根であるノードプロキシのノード ID を受け取ったクライアントシステムは、そのノード ID が示すノードプロキシに対して接続を要求する。

[step4] クライアントシステムからの接続要求を受けた負荷分散木の根であるノードプロキシは、接続を受け入れる余裕があれば自身のノード ID を返す。また、子ノードを保持している場合には、自身の子ノードに接続受け入れの可否を問い合わせる。最終的にクライアントに対して、接続を受け入れられるノード群のノード ID セットを返す。

4.4 ノード自律型負荷分散方式

ノード自律型負荷分散方式は、クライアントシステムからのアクセスの回送や負荷分散木の伸縮などの、WPN 内におけるノードプロキシ間の負荷分散に関する処理を、木構造を管理するノードを設置して集中管理するのではなく、木構造を構築する各ノードが自律的に判断して行う方式である。ここで自律とは、ノードプロキシが単体で収集できる局所的な情報を元に、実際に負荷が高くなったノードプロキシ自体が判断を下すことによって負荷分散に関する処理を行うことである。提案システムでは、各ノードプロキシが本方式によって負荷分散木に関す

る処理を行うための機能を備えているとする。

以下に、本方式における負荷分散処理の流れを述べる。ただし、負荷分散木は初期状態では根だけであり、その状態では、クライアントシステムは根であるノードプロキシと確立する。

[phase1] クライアントシステムからのアクセスの増加に伴ってノードプロキシの負荷が上がり始める。

[phase2] ノードプロキシの負荷値が一定値を超えた場合に、当該ノードプロキシは以降に発生するクライアントシステムからのアクセスを回送するために、子ノードプロキシを作成する。

[phase3] 以降、クライアントシステムからの検索要求に対して子ノードプロキシのノード ID が返され始める。そして、クライアントシステムからの当該コンテンツへのアクセスは子ノードプロキシに誘導される。

子ノードプロキシの負荷が高くなった場合は、その子ノードプロキシを中心として、phase1 から phase3 までの処理が再帰的に実行され、負荷分散木が成長する。一方、親ノードプロキシの負荷が下がった場合は、以降に発生するクライアントシステムからの検索要求に対して再び親ノードプロキシのノード ID が返されるようになり、クライアントシステムからのアクセスは親ノードプロキシに誘導される。同時に、親ノードプロキシと子ノードプロキシ間の親子関係は解消され、負荷分散木は次第に縮退していく。

また、ノードプロキシ間の親子関係が解消される場合、その時点で子ノードプロキシとクライアントシステム間において確立されている接続が親ノードプロキシに統合回収されることはない。それらの通信は、同一 FQDN に属する Web コンテンツに対する通信であり続ける限り継続される。これは、クライアントシステムが接続しているノードプロキシが負荷分散木から離脱することによる問題がないと考えるためである。ノードプロキシ間の親子関係が解消されるような場合、当該子ノードプロキシに対するアクセスは減少していると考えられ、このような状況では負荷分散木を縮小することが妥当と考える。また、提案システムではノードプロキシ間で互いに保持している Web キャッシュの検索を行わないため、現在確立されている接続の終了を待たずに負荷分散木から脱退したとしても、そのノードプロキシに接続しているクライアント影響はないと考える。

5. 既存のサービスと関連研究

従来、Web サーバとクライアント間において Web サービスの負荷分散を行う方法として、CDN (Contents Delivery Network) が利用されている。また、提案システムと目的が類似している、Coral [7] という特殊な CDN も存在する。本章では、これらのシステムの特徴を述べ、それぞれの問題点をまとめる。

5.1 CDN

CDN とは、世界中に Web コンテンツの複製を蓄えたサーバを配置し、利用者が最寄のサーバにアクセスすることにより、効率的かつ高速なコンテンツ配信を実現するネットワークである。Akamai [8] が有名である。

CDN の大きな特徴は次の三つである。まず、サーバ側が全ての処理を行う点、次に、ネットワーク上の複製とオリジナル

コンテンツとの同期などの複雑なコンテンツ管理を行う点、そして、提携した企業のコンテンツだけが配信の対象となる点である。これらの特徴のため、不特定多数の Web コンテンツを配信対象にした場合に、次のような問題が発生する。

まず、全ての処理をサーバ側で行うこと、複雑なコンテンツ管理を行うことには、サーバ側が管理する情報の量が增大した場合に、そのような情報に関する通信がシステムを圧迫するという問題がある。このため、クライアント固有の情報の管理や利用が困難となり、システムが収容できる利用者数が減少する。しかし、不特定多数の Web コンテンツを負荷分散の対象とするためには、システムがそれらのコンテンツにアクセスする不特定多数の利用者を収容する必要がある。

また、複雑なコンテンツ管理を行うことによる問題点は、コンテンツ管理に伴う通信が多くなり、システムを圧迫することである。一般に CDN が扱うコンテンツは、その数が限られており、また複雑な管理を必要とするものであることが多い。しかし、不特定多数の Web コンテンツは数が膨大であり、また一般に CDN で扱われるコンテンツ程に厳重な管理を必要としないものが多い。このため、CDN の複雑なコンテンツ管理は、不特定多数の Web コンテンツを扱うには向かない。

加えて、配信の対象が提携企業のコンテンツだけとなるため、負荷分散の対象が限定される。よって、不特定多数の Web コンテンツに対して負荷分散を実現することができない。

5.2 Coral

Coral は、PlanetLab [9] プロジェクトのノード上で開発が進められている、不特定多数の Web コンテンツを対象とした CDN である。ノードプロキシを P2P で接続しており、Web 上のあらゆるコンテンツを負荷分散の対象としているなど、提案システムと類似している。

Coral は、全ての処理をサーバ側で行うという点において他の CDN と同じである。サーバ選択にも DNS を利用した手法を用いている。異なる点においては、以下の二つの課題がある。

まず、Coral は DSHT [10] によって、どの Web キャッシュがどのノードに保持されているかという情報を管理している。この情報を DSHT で管理するために、Coral のノードは Web キャッシュを取得した際に、自身のノードアドレスを Coral ネットワーク上のいくつかのノードに登録し、この処理に伴って通信が発生する。このため、Coral のノード上で頻繁にキャッシュの取得が行われた場合に、ノードアドレスの登録に関する通信が頻発することが予想される。また、Web キャッシュには、その多くがあまりアクセスされないという特性がある。よって、そのようなキャッシュに関する情報が再利用されることは少ないと考えられるため、キャッシュが以降クライアントからアクセスされる可能性を考慮することなく、キャッシュの取得情報をネットワーク上に通知する仕組みは無駄が多いと考える。

また、DSHT によるアクセス分散手法は、ノードの負荷を考慮しない。よって、ごく少数のノードしか保持していない Web コンテンツに対して急激なアクセスがあった場合、それら特定のノードにアクセスが集中する可能性がある。そのような状況では、システム全体の負荷が小さい場合でも、特定の Web コ

コンテンツに対するシステムの応答速度が落ちると予想される。

6. ま と め

本稿では、Web コンテンツの特徴を考慮した二つの機構によって、提案システムで用いる情報の管理や利用に伴う通信コストを抑えた。まず、クライアント固有である、クライアントに対するノードプロキシのデータ転送速度情報をクライアントシステムが管理し、WPN と協調することによって、この情報を用いたノードプロキシ選択処理を行う機構を提案した。この機構によって、データ転送速度情報を WPN で管理することなくノードプロキシ選択処理に用いることができる。このため、WPN における通信の発生を抑えつつ、クライアントに対してよりデータ転送速度の高速なノードプロキシを選択できると考える。さらに、ノードプロキシの検索に用いる情報を、ノードプロキシと対応する FQDN の情報とした。この情報は、ノードプロキシが保持している Web キャッシュを識別する情報と異なり、ノードプロキシにおいて Web キャッシュの取得や破棄が起こった場合にも変更が発生しない。このため、情報の更新に伴う通信の発生を回避できると考える。

今後は、シミュレーションや提案システムの実運用を通し、次に述べることを評価する予定である。まず、特定の Web サーバに対してアクセスが集中した環境における、システム利用者に対する、Web サービスの応答速度を評価する予定である。また、本稿において提案した機構の評価も行っていく。クライアント協調型機構については、提示されたノードプロキシの中から最適なノードプロキシを選択する場合の精度を測定する予定である。さらに、データ転送速度情報の取得と記録は、HTTP 通信の際に行われるという受動的なものであるため、適切なノードプロキシを選択できるようになるまでに時間を要すると考える。よって、その時間も測定する予定である。加えて、WPN については、負荷分散性能を測定していく予定である。

提案システムでは、クライアントシステムを導入することによって、クライアントをシステムの一部とした。よって、利用者は提案システムを利用するためにクライアントシステムを導入しなければならない。従来、このようなクライアントにおける変更はコストが高いとして避けられてきた。しかし、提案システムは、システム利用の判断を利用者に委ねる。これは、負荷分散サービスの利用を望む利用者が、負荷分散を利用したいと望む Web コンテンツに対して、負荷分散を利用したいと望む時に負荷分散を利用できるべきであると考えためである。このようにすることによって、利用者は、頻繁に応答速度が低下するような Web コンテンツに対してだけ提案システムを利用できる。このようにシステムの利用の判断を利用者に委ねる場合、利用の判断という変更点が利用者側に必ず発生することになる。よって、システム利用の選択という利用者の負担を軽減するためにも、提案システムにおけるクライアントシステムの導入は妥当であると考えられる。

本稿では、ノードプロキシによって構築される Web 負荷分散ネットワークの提案を行い、提案システムの方針と構成を述べた。次いで、提案システムを特徴付ける二つの機構について

説明した。Web コンテンツの特徴を考慮することによって冗長な情報や処理を省き、不特定多数の Web コンテンツを対象とした負荷分散を実現できるシステムを設計できたと考える。

多くの Web 利用者が提案システムを利用することによって、人気のある Web コンテンツを保持する Web サーバに対するアクセスが分散され、そのような Web サーバが提供する Web サービスの応答速度低下や停止が回避でき、Web の信頼性を高めることができると考える。Web の信頼性が高まることによって、Web 上における活動がより活発になることが期待される。

提案したシステムは現在実装を進めている段階であるが、今後はさらに、以下の点において詳細設計を行っていく予定である。まず、キャッシュを利用する場合に必ず問題となる、オリジナルコンテンツとの同期問題を解決する手法や、CGI に代表される動的なコンテンツに対する処理の考案を行っていく必要がある。また、提案システムを堅牢なものにするために、Web プロキシネットワークに、リクエスト単位の認証機能を設けることを検討している。さらに、集中管理とした個人情報などを確実に保護しつつ分散管理できるような、提案システムに適切なセキュリティ技術の検討も進めていく予定である。

謝辞 本研究の一部は、ハイテク・リサーチ・センター整備事業「防災と安全のための複合大規模センサシステムおよびロバストネットワークの構築」によるものである。また、本研究を進めるにあたり、立命館大学 理工学部 情報学科の伊藤雅弘氏から多大なご協力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

文 献

- [1] L. Breslau, P. Cao, L. Fan, G. Phillips and S. Shenker: "Web Caching and Zipf-like Distributions: Evidence and Implications" In *Proc. of the IEEE INFOCOM Conf. '99*, pp.126-134 (March 1999).
- [2] J. Jung, B. Krishnamurthy and M. Rabinovich: "Flash Crowds and Denial of Service Attacks: Characterization and Implications for CDNs and Web Sites" In *Proc. of the International World Wide Web Conf. (WWW '02)*, pp.293-304 (July 2002).
- [3] Ion Stoica, Robert Morris, David Karger, M. Frans Kaashoek and Hari Balakrishnan: "Chord: A Scalable Peer-to-peer Lookup Service for Internet Applications" In *ACM SIGCOMM '01* (August 2001).
- [4] 中通 実, 内田 渉, 原 隆浩, 前田和彦, 西尾章治郎: "Peer-to-Peer ネットワークにおける木構造を用いた複製更新の伝搬について", 電子情報通信学会データ工学ワークショップ (*DEWS 2004*) (May. 2004).
- [5] Y. Rekhter and T. Li: "A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4). Request for Comments: 1772" (March 1995).
- [6] 市木 良和, 鈴木 優, 川越 恭二: "Web プロキシネットワークシステムにおけるノード自律型負荷分散方式", 情報処理学会第 69 回全国大会, *3T-4* (May. 2007(予定)).
- [7] The Coral: Content Distribution Network: <http://www.coralcdn.org/>.
- [8] Akamai: Content Delivery, Application Performance Management, and Streaming Media Services: <http://www.akamai.com/>.
- [9] PlanetLab: <http://www.planet-lab.org/>.
- [10] Michael J. Freedman and David Mazières: "Sloppy Hashing and Self-Organizing Clusters" In *2nd Intl. Workshop on Peer-to-Peer Systems (IPTPS '03)* (February 2003).