

学位論文 博士（工学）

需要変動によるサーバ負荷の変動を
軽減するコンテンツ配信手法に
関する研究

2015 年度

慶應義塾大学大学院理工学研究科

堀江 光

需要変動によるサーバ負荷の変動を軽減する コンテンツ配信手法に関する研究

堀江 光

論文要旨

インターネット利用者数の増加に伴い、多くのウェブサービスが運用され、その経済的および社会的重要性が増している。しかし、その一方で、Flash Crowds と呼ばれる現象がウェブサービスの安定的な運用を妨げるとして問題となっている。Flash Crowds とは、特定のサービスやコンテンツに対する突発的なアクセス集中のことで、数分間にウェブサービスへのアクセス数が平常時の数百倍から数千倍にも達するとの報告がある。Flash Crowds によりサーバが過負荷状態となるとサービスの性能低下や異常停止などの障害の原因となるため、対策が必要である。

Flash Crowds による過負荷状態を防ぐためには、キャッシュ配信によりサーバへ到達するリクエスト数を減少させる負荷軽減と、サーバを複製することで個々のサーバへの負荷を分散する負荷分散の両方が必要である。なぜならば、ウェブサービスが配信するコンテンツには静的コンテンツと動的コンテンツの2種類が存在し、静的コンテンツには負荷軽減手法、動的コンテンツには負荷分散手法が適するためである。また、Flash Crowds に対応するためには、各手法において4つの性質を備える必要がある。第一に、投入した資源量に対し十分な処理能力を得られること、第二に、Flash Crowds 発生後速やかに処理能力が向上すること、第三に、需要に対して過不足のない適切な資源量で稼働すること、第四に、コンテンツの更新内容が速やかに反映されることである。既存手法はプロキシ方式、キャッシュ共有方式、クラウド方式、完全複製方式の4種に大別できるが、これら4つの性質をすべて満たすものはない。

本論文では、Flash Crowds のような突発的な需要変動によるサーバ負荷の変動を軽減するコンテンツ配信手法を提案する。本提案は、クライアント間連携による負荷軽減手法 *MashCache* およびデータセンタ間連携によるストレージの負荷軽減手法 *Pangaea* からなり、それぞれ4つの性質を満たす。

MashCache は、各クライアントが取得したコンテンツをキャッシュとして他のクライアントと共有することで、ウェブサービスに直接アクセスすることなく目的とするコンテンツの取得を可能とする。キャッシュの共有には分散ハッシュ表によ

る Peer-to-Peer ネットワークを用いる。また、MashCache は、Aggressive Caching, Query Origin Key, Cache Meta Data, Two-phase Delta Consistency の 4 つの要素技術により、各クライアントやウェブサービスの負荷を低く保ちつつ、常に新しいキャッシュをクライアント間で共有することを可能とする。

Pangaea は、複数の異なるデータセンタに属するストレージサーバを統合し単一のキーバリューストア (KVS) を構築することで、個別のデータセンタ規模の制約を受けない負荷分散を実現する。一方で、データセンタ間通信路は高遅延かつ狭帯域であるため、応答時間や転送速度の性能低下が問題となる。Pangaea は Multi-Layered Distributed Hash Table, Local-first Data Rebuilding の 2 つの要素技術により、データセンタ間を跨ぐ通信の頻度と転送量を低下させる。これにより、複数のデータセンタの資源の効果的な利用を実現する。

提案手法の Flash Crowds に対する有用性を確認するために、シミュレータおよび実際のインターネット環境を用い評価した。MashCache がサーバの負荷を軽減していることを確認するため、2,500 台のクライアントによる Flash Crowds を模した負荷を発生させたところ、ウェブサーバの負荷が約 98.2 % 削減された。また、コンテンツの更新が速やかに反映されることを確認するため、各リクエストによって得られたコンテンツのキャッシュがいつ生成されたものであるかを解析したところ、95 % 以上のリクエストが過去 10 s 以内に生成されたキャッシュで処理された。また、Pangaea がデータセンタ間通信による性能低下を軽減し、負荷分散手法として有用であることを確認するために、シミュレータと実際のインターネット環境を用いて評価したところ、Pangaea によりデータの探索に要する平均時間が 74 %、データセンタ間のデータ転送量が 70 % 削減された。

A Study on Stable Content Distribution Dealing with Demand Fluctuation

Hikaru HORIE

Abstract

As the number of Internet users continue to increase, many web services running on the Internet gain economic and social importance. As the Internet population increases, *flash crowds* often occur on the Internet and prevent web services from running stably. A huge number of clients suddenly flock to a web service in flash crowds, and the number of requests increases hundred to thousand times as many as usual in a few minutes. It is necessary to take measures against flash crowds because server overload results in performance degradation or service outage.

To keep web services stable, it is necessary to reduce the burden on each server by both *load-reduction* and *load-balancing*. The former reduces the number of requests that reach the servers by deployment of caches. The latter distributes requests that reach the servers by server replication. The reason why both of them are necessary is that load-reduction and load balancing are suitable for static contents and dynamic contents respectively. To deal with flash crowds, load-reduction techniques and load-balancing techniques must satisfy four requirements: scalability, agility, elasticity and consistency. Existing techniques can be classified broadly into four categories: proxy-based, cache-sharing, cloud-based and full-replication. Unfortunately, there is no technique that satisfies the all four requirements.

This dissertation proposes techniques to deal with demand fluctuation such as flash crowds for stable web services. The proposed techniques consist of *MashCache*, a load-reduction technique, and *Pangaea*, a load-balancing technique.

MashCache reduces the number of requests that reach web services by sharing caches between clients. MashCache uses a fully-decentralized peer-to-peer network built with a distributed hash table to manage caches and clients. MashCache enables us to keep caches updated and the burden on web servers and clients low by four elemental technologies: Aggressive Caching, Query Origin Key, Cache Meta Data and Two-phase Delta Consistency.

Pangaea distributes the burden on storage servers regardless of which datacenter they are placed. Pangaea unifies storage servers in multiple datacenters as a single uniform key-space key-value store and enables us to exceed the limited capacity of a single datacenter. The key-value store enables service providers to flexibly deploy web servers or application servers to any datacenter they want to use. However, inter-datacenter communication channels are high-latency and narrow-bandwidth and degrade the performance of the key-value store. Pangaea reduces opportunities and amount of inter-datacenter communications by two elemental technologies: Multi-Layered Distributed Hash Table and Local-first Data Rebuilding.

Evaluation results with simulation and real Internet environments demonstrate the proposed techniques are suitable for flash crowds. MashCache reduces the number of the requests that 2,500 clients issue and that reach a web server by about 98.2 %. 95th percentiles of the requests are processed with caches which are generated in the past 10 seconds. Using two datacenters and 500 servers in each datacenter, Pangaea reduces the average time to find a data object by 74 % and the amount of inter-datacenter data transfer by 70 %.