

## 分担型キャッシングシステムの設計と実装

酒井 明広, 知念 賢一, 砂原 秀樹, 湊 小太郎

奈良先端科学技術大学院大学

### 概要

WWW(World Wide Web)の普及により、通信量の増加が問題となっている。現在用いられている階層型キャッシングは階層構造の上位にあるキャッシングプロキシサーバに負荷が集中する。この解決法としてWWWにおいてネットワーク上に頻繁に起こる同じ情報の流れをまとめるようにキャッシュを配置すれば効率的にネットワークの通信量を減らし、キャッシングプロキシサーバの負荷を分散させることができる。本稿ではシステムが流れをまとめるような分担型キャッシングプロキシサーバの設計・実装を行い、その評価について述べる。

## The Design and Implimentation of Caching System Based on Stream Control

Akihiro Sakai, Ken-ichi Chinen, Hideki Sunahara, Kotaro Minato

Nara Institute of Science and Technology

### Abstract

The current WWW(World Wide Web) caching system is organized hierarchically according to network topology. However, hierarchical caching suffers from high load at the top of the hierarchy. To resolve this problem, we have built a new caching system that bundles WWW object streams. This system caches WWW objects that flow between clients and servers of WWW and shares the cache by reflecting the access pattern of WWW users. In this paper, we describe the design and implementation of caching system based on stream control and its performance evaluation.

## 1 はじめに

今日のインターネットではWWW(World Wide Web)が代表的な情報サービスとなっている。WWWの普及した理由として様々なメディア(文字、画像、音声、動画)の情報を誰もが提供でき、また得ることができるという点がある。このような利点によりWWWは世界的に広まったが、その反面ネットワ

ークの通信量は飛躍的に増加した。また、ネットワークの帯域には限りがあり、WWWの通信に必要な十分な帯域を保証できない。このため現在のインターネットではWWWにおける通信量の増加と帯域浪費が深刻な問題となっている。

これらの問題を解決するために、キャッシングプ

ロキシサーバを用いる方法がある [1]。これは各クライアントが独自にオリジンサーバ (WWW サーバ) に情報を要求するのではなく、キャッシングプロキシサーバがクライアントに代わりオリジンサーバに情報を要求し、その情報をキャッシュする。クライアントからの要求する WWW の情報が、キャッシュにあればそれをクライアントに送る。このことによりオリジンサーバとキャッシングプロキシサーバ間の通信量が削減できる。

また、これを応用した方法としてネットワークの階層的な構成にあわせて、複数のキャッシングプロキシサーバを階層的に構成し、ネットワーク全体としての通信量の削減がなされている [2]。この階層型キャッシングは適切な位置にキャッシングを行わなければ、効率的に通信量を削減することはできない。また、階層構造の上位にあるキャッシングプロキシサーバに負荷が集中するという問題がある。

これらの問題を解決する方法として、ネットワーク上で頻繁に起こる同じ情報の流れをまとめるようにキャッシュを配置する方法が提案されている [3]。これはオリジンサーバとキャッシングプロキシサーバ間の経路上でキャッシングプロキシサーバが多段になっている場合、中間でキャッシュすることによりオリジンサーバとキャッシングプロキシサーバ間の通信量と帯域を効率的に減らすことができる。また、アクセス頻度の高いオリジンサーバのみキャッシングを行なうことにより、アクセス数の低いオリジンサーバの情報によるキャッシュのあふれを防ぎ、より有効にキャッシュを利用できる。このようなキャッシング方法はアイデアの提案にとどまっておらず、まだ具体的な設計・実装がなくその実装と評価が求められた。

本研究では、この方法に基づき、現在よく用いられている階層型キャッシングの欠点を解決するような新しいキャッシングシステム (分担型キャッシングシステム) の設計と実装を行ない、それを評価する。ただし、上記のような方法の問題点として、広域のネットワークでは経路は一定しておらず、またキャッシングプロキシサーバが多段になっているかどうかの判別は難しいといった点がある。このような問題を考慮し、今回はイントラネット内で用いることを想定した。

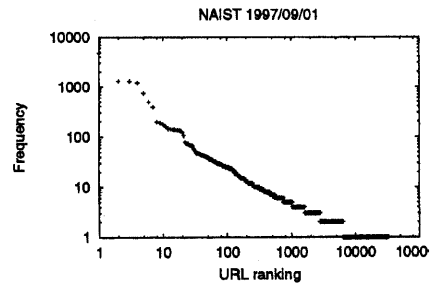


図 1: URL ランキング (1 日分) の図

## 2 背景

### 2.1 階層型キャッシングの問題

現在よく用いられている階層型キャッシングは、主にクライアントへの応答の速さとクライアントからオリジンサーバまでの通信量の削減を目的としている。しかし、ネットワークの帯域の削減を実現しているとはいえず、階層構造の上位にあるキャッシングプロキシサーバに負荷 (キャッシングプロキシサーバへのアクセスの増加やキャッシュするための記憶領域の増加) が集中するという問題がある。

### 2.2 キャッシュ領域削減

アクセス傾向を解析することで、キャッシュする領域を効率的に削減することが可能である。文献 [4] によれば URL の頻度においては Zipf の法則が成り立つことが報告されている。この性質を利用すれば、キャッシュヒット率をあまり下げずにキャッシュサイズを小さくできる可能性がある。例えば、奈良先端科学技術大学院大学に設置されたキャッシングプロキシサーバにおける、クライアントが要求した URL の頻度回数とその頻度順位の関係を図 1 に示す。図 1 は 1997 年 9 月 1 日の 1 日分 (アクセス数 62101) であり、1 回しか参照されなかった URL の数は 26248 で、これらの URL はキャッシュしてもヒットしないので意味がない。

また、URL のホストについても同様なことがいえる。クライアントが要求した URL のホストの頻

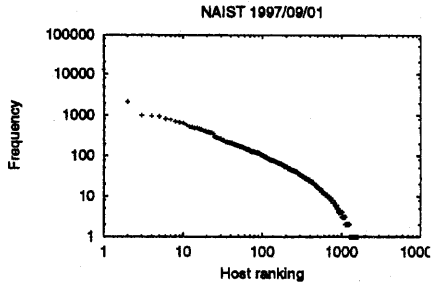


図 2: URL のホストランキング (1 日分) の図

度回数とその頻度順位の関係を図 2 に示す。図 2 において全体のホスト数は 1610 であったが、1 回しか参照されなかった URL のホストの数は 342 であり、このホストの URL をキャッシュしてもヒットしないので意味がない。ログの結果から頻度順位の高いホストと URL の頻度順位の上位にあるホストとがほとんど一致する傾向があることがわかった。これによりアクセス頻度の高いホストに対してだけキャッシュをすれば比較的ヒット率を下げずにキャッシュサイズを削減することが予測できる。

### 2.3 WWW ストリーム

クライアントからオリジンサーバまでの経路上において、クライアントがオリジンサーバに要求する WWW の情報の流れを WWW ストリームと呼ぶことにする。もし、複数のクライアントにおいて要求する情報が同じ場合、クライアントとオリジンサーバ間の中間部分で WWW ストリームをキャッシングを用いてまとめることができれば、中間部分の通信量を削減し、キャッシングを効率的に行なうことができるようになる。

例えば、図 3 において各々のクライアントがオリジンサーバに同じ情報を要求したとすると、クライアントとオリジンサーバ間の中間部分で WWW ストリームが重複する (太線部分)。この中間部分にあるキャッシングプロキシサーバにキャッシュを行なえば、WWW ストリームをまとめることができ、キャッシングプロキシサーバからオリジンサーバまでの通

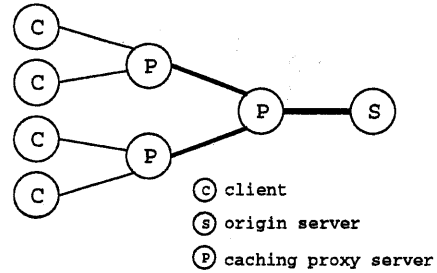


図 3: WWW ストリームの重複

信量の削減とキャッシングを効率的に行なえる。

### 2.4 階層型キャッシングの場合

階層型キャッシングで WWW ストリームをまとめるには、キャッシングプロキシサーバの管理者が WWW ストリーム上にあるキャッシングプロキシサーバに対してキャッシュを行なうように設定を行なう必要があり、クライアントが要求する WWW の情報ごとに設定を手動で行なわなければならないので、管理者に負担がかかるといった問題がある。

### 2.5 分担型キャッシングシステムによる解決

階層型キャッシングのように管理者がキャッシングの設定を行わなくてもよい分担型キャッシングシステムの設計と実装を行なった。分担型キャッシングシステムは WWW ストリームの重複する部分をまとめることにより通信量を削減し、効率的にキャッシングを行なうシステムである。

## 3 設計

実際の分担型キャッシングシステムの設計について説明する。本システムは、アクセス数の高いオリジンサーバに対して、オリジンサーバとキャッシングプロキシサーバ間の WWW ストリームをまとめるように、キャッシングを行なう。これは図 4 のような構成要素からなる。

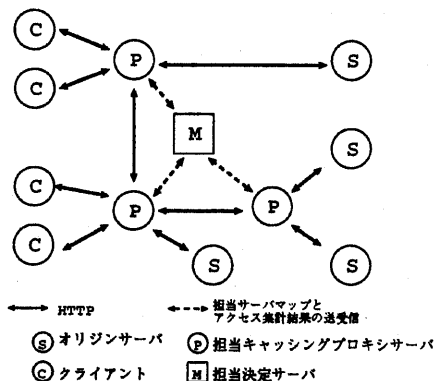


図 4: システムの構成

**担当決定サーバ** 各担当キャッシングプロキシサーバのアクセスにおいて、アクセス数の高いオリジンサーバを選び、そのオリジンサーバに対してキャッシュする担当のキャッシングプロキシサーバを求め、その対応マップ (担当サーバマップと呼ぶ) を作成する。

**担当キャッシングプロキシサーバ** 担当サーバマップよりオリジンサーバに対する担当のキャッシングプロキシサーバ (あるいはオリジンサーバ) から要求された WWW の情報を取ってくる。また、アクセスの集計を行い、その結果を担当決定サーバに送ったり、担当サーバマップを受け取ったりする。

### 3.1 担当決定サーバ

担当決定サーバはネットワーク上に頻繁におこる同一の WWW ストリームをまとめるような担当キャッシングプロキシサーバを求める。これを実現するために、あらかじめ担当キャッシングプロキシサーバからオリジンサーバまでの経路情報を登録しておく (経路は一定であるとする)。そして、各担当キャッシングプロキシサーバのアクセスの集計結果を担当キャッシングプロキシサーバから集める。そして、集めた結果からアクセスの多いオリジンサーバを決定する (このサーバだけがキャッシングの対象となる)。経路情報をもとに、各キャッシングプロキシサーバ

に対して、オリジンサーバとその担当のキャッシングプロキシサーバ (あるいはオリジンサーバ) の対応マップ (担当サーバマップ) を作成する。最後に担当サーバマップを各担当キャッシングプロキシサーバに配布する。

### 3.2 担当キャッシングプロキシサーバ

担当キャッシングプロキシサーバの動作の手順を示す。

1. リクエストを待つ。
2. リクエストがきたら、その情報がキャッシュにあるかどうかをチェックし、あれば 6 へ、なければ 3 へ。
3. そのオリジンサーバのホストに対して担当サーバマップをチェックする。
4. リストにそのホストがあればその担当のキャッシングプロキシサーバから情報を取ってくる。ただし、自分の担当なら、そのオリジンサーバのホストから情報を取ってくる。リストになければオリジンサーバから直接情報を取ってくる。
5. 担当サーバマップにキャッシュするよう指示があったら、その情報をキャッシュする。
6. リクエストしたクライアントに情報を送る。

担当キャッシングプロキシサーバは上記以外にも、担当決定サーバから集計結果の要求がきたらアクセスを集計し、その結果を送ることや担当決定サーバから担当サーバマップがきたら、そのマップを取得し、そのマップを反映するなどの動作がある。

動作説明のため、クライアントが要求する情報をどのように手に入れるかを図 5 を用いて説明する。クライアント C1 とクライアント C2 があり、各々が設定しているキャッシングプロキシサーバを P1 と P2 とする。クライアントがオリジンサーバ S にある情報を入手するために、P1 はオリジンサーバ S に対する担当のキャッシングプロキシサーバ P2 から情報入手する。P2 は要求された情報をキャッシュに持っていればそれを渡し、なければ S から情報入手し、キャッシングを行ない情報を渡す。

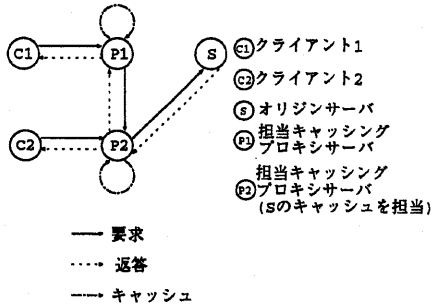


図 5: クライアントの要求する情報の流れ

S1	P0	1
S2	P2	0
S3	P2	1
S4	P1	1
S5	P0	0

図 6: 担当サーバマップ

### 3.3 担当サーバマップ

担当サーバマップは図 6 のような形式の列を持つ。ここで 1 列目はオリジンサーバ名、2 列目はオリジンサーバ名に対する担当のキャッシングプロキシサーバ名 (またはオリジンサーバ名)、3 列目はキャッシュフラグ (1 ならキャッシュする、0 ならしない) である。

## 4 評価

### 4.1 実験

階層型キャッシングシステムと分担型キャッシングシステムとの比較を行なった。図 7 に実験ネットワークの構成を示す。担当キャッシングプロキシサーバ P2 からオリジンサーバ S までの経路上に P0 と P1 があるとし、各 P0, P1, P2 にはクライアントからのアクセスがあり、クライアントが要求したオリジンサーバは全て S にあると設定した。クライアントのアクセスとして、奈良先端大学院大学のキャッシングプロキシサーバにアクセスされた 1997 年 10 月 1

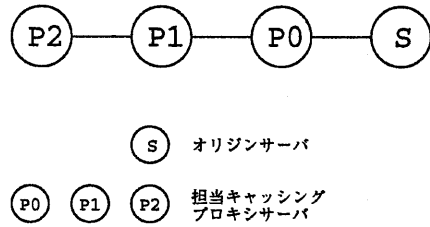


図 7: ネットワーク構成

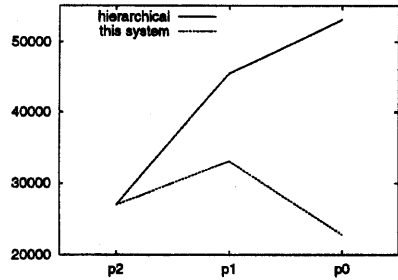


図 8: サーバのアクセス数

日分のログを 3 つに分け、それぞれ p0 (アクセス数 20000), p1 (アクセス数 30000), p2 (アクセス数 27000) に対するアクセスとして行い、キャッシュを用いた場合のキャッシュサイズとヒット率を計測した。担当サーバマップの作成は前日のログのアクセス数の高い上位 100 のオリジンサーバに対して作成し、オリジンサーバに対する担当のキャッシングプロキシサーバの数を 2 と設定した。

### 4.2 結果

各キャッシングプロキシサーバのアクセス数を図 8 に示す (実線が階層型で点線が分担型)。階層型キャッシングシステムでは、サーバへのアクセスが階層構造の上位に集中するのに対し、分担型キャッシングシステムはサーバへのアクセスが分散していることが確認された。各キャッシングプロキシサーバのヒット率とキャッシュサイズを図 9、図 10 に示す (実践が階層型で点線が分担型)。分担型キャッシングシ

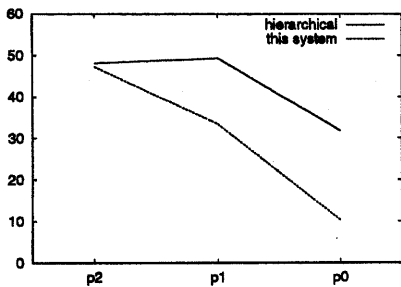


図 9: ヒット率

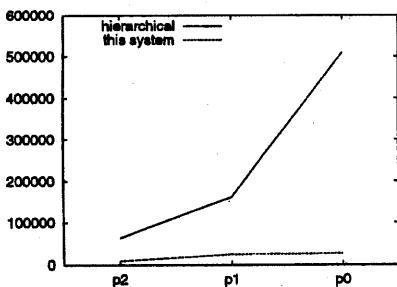


図 10: キャッシュサイズ

テムではヒット率が低くなっているが、キャッシュサイズが激減していることが確認された。

#### 4.3 考察

分担型キャッシングシステムは階層型キャッシングシステムに比べ、各キャッシングプロキシサーバへのアクセスの集中が減り、キャッシングプロキシサーバへの負荷を減らすことができた。また、ヒット率の減少よりキャッシュサイズの減少効果が高いことが確認された。

### 5 今後の課題

課題として以下のようなものが挙げられる。

- アクセス数の多いオリジンサーバの変化の対応

- オリジンサーバに対するキャッシュ配置の数の適切な設定
- 担当キャッシングプロキシサーバの限界 (担当サーバマップの増大による処理速度の低下)
- WAN での利用
- キャッシングプロキシサーバの多段の数が多い場合の遅延

### 6 まとめ

本研究では、分担型キャッシングシステムの設計と実装を行い、実験によりその評価を行なった。今後はさらに詳細な評価を行ない、このシステムのWANでの適応を行う予定である。

### 謝辞

本研究を行うにあたり、多大なご協力を頂いた日立製作所の吉田健一博士、および貴重な助言を頂いた WIDE Project のメンバに感謝します。

### 参考文献

- [1] Ari Luotonen and Kevin Altis. World-wide Web Proxies. Proceedings of First International World-Wide Web Conference, April 1994.
- [2] Anawat Chankhunthod, Peter B. Danzig, Chuck Neerdaels, Michael F. Schwartz and Kurt J. Worrell. A Hierarchical Internet Object Cache. USENIX 1996 TECHNICAL CONFERENCE, January 1996.
- [3] 吉田健一. WWW 用分散キャッシュ構成の検討. インターネットカンファレンス'96 論文集, pp. 59-68, July 1996.
- [4] S. Glassman. A Caching Relay for the World-Wide Web. In First International World-Wide Web Conference, pages 69-76, May 1994.