

論文内容の要旨

博士論文題目 Acceleration of WWW Service with Distributed Cache technology
(分散キャッシュ技術による WWW サービスの高速化)

氏 名 河合 栄治

インターネットキャッシュプロトコル(ICP)は、インターネット上で分散型キャッシュシステムを構築するために広く用いられているが、いくつかの欠点が指摘されている。例えば、ローカルエリアネットワーク(LAN)からインターネットへの対外接続における最大のボトルネックとなる境界ルータを通過するトラフィックを増加させることが挙げられる。また、従来より用いられているヒット率による性能評価は、キャッシュとしてのトラフィック削減効果を評価するには不十分であり、より正確な評価指標が望まれている。

本論文では、ICPを用いた分散型WWWキャッシュシステムにおける通信量の定量的な解析を、LANとインターネットを接続する境界ルータに着目して行った。その結果、ICPを用いることによって境界ルータを通過するパケット数が大幅に増加することを明らかにした。次にインターネット上のWWWトラフィックの削減効果を評価するために、ネットワーク的距離の概念をその通信モデルに導入し、実際に運営されている分散型キャッシュシステムのログデータを用いて解析した。そこでは、ICP自身のトラフィックとインターネット上のWWWトラフィックの削減のトレードオフを評価し、システム運用上の具体的な指針を示した。

ICPのような疎結合の分散型キャッシュシステムと比較して、ハッシュルーティングのような密結合のシステムはキャッシュ容量の効率が高いことから高いヒット率が期待できる。一方、こうしたシステムには対故障性が低いという問題点があった。従来の解決策では、名前空間の割当の再構築を行う際のオーバーヘッドが大きいことや、ノードの故障時に性能の劣化が大きいなどの問題が依然存在する。本論文では、複数のハッシュ関数を共有し、あらかじめキャッシュヒットしたオブジェクトを複数のノードに複製しておくことでこうした問題を解決する複製ハッシュルーティングを提案し、シミュレーションによる性能評価を行った。その結果、複製ハッシュルーティングではヒット率の低下が小さく、故障時のヒット率も維持され、キャッシュノード間のトラフィックも軽減することが判明した。

(論文審査結果の要旨)

本論文は、インターネットにおける広帯域情報配信を可能にする基礎技術としての分散型 WWW キャッシュシステムに焦点をあて、通信量を定量的に評価し、既存プロトコルの本質的な問題点を明らかにするとともに、それらを利用する際の具体的な指針を示している。また、新たに提案した複製ハッシュルーティングプロトコルでは、キャッシュの冗長性を導入することで耐故障性を向上し、さらにネットワークトラヒックの低減化も併せて実現し、その性能評価を通じてシステムの有効性を明らかにしている。

本論文の成果は以下に要約される。

1. ICP を用いた分散型キャッシュシステムにおいて、ローカルエリアネットワークとインターネットを接続する境界ルータに着目し、通過するパケット数に焦点をあてて通信のモデル化を行い定量的に評価した。境界ルータは、対外接続における最大のボトルネックとなるポイントであり、そこを通過するパケット数の大幅な増加は ICP の本質的な欠点である。その欠点を定量的に評価し、分散型キャッシュシステムの実際の運用における具体的な指針を提示した。
2. 上記の ICP の利点であるインターネット上の WWW トラヒックの削減効果を、新たにネットワーク距離の概念を導入することで定量的に評価した。従来より、本研究分野ではキャッシュヒット率を用いた評価が一般的であった。本研究の新規性は、より正確な評価指標値として Packet Hop Index および Byte Hop Index を提案し、それらを用いてキャッシュシステムの性能を評価する手法を提案したことにある。また、本研究で得られたキャッシュシステムの具体的な運用指針は、実際の運用に多大な影響を与えた。
3. ハッシュルーティングの低い耐故障性という問題に対して、最低限のキャッシュの冗長性を導入することで、高い耐故障性およびキャッシュノード間のトラヒックの削減を同時に実現した。従来の研究では、名前空間の割当の再構築にコストがかかることや、ノードの故障時にキャッシュがコールドスタートするため性能が低いという問題が存在した。本研究では、ハッシュ関数を複数共有し、キャッシュヒットしたオブジェクトはあらかじめオブジェクトを近隣のノードに効率的に複製することで、これらの欠点を克服した。また、近隣クライアントからのリクエストについてキャッシュを有効にすることでキャッシュ間のトラヒックを削減した。

以上のように、本論文は分散型キャッシュシステムにおける基礎研究として、既存プロトコルを新たな評価指標で定量的に評価を行い、具体的なシステム運用指針を提示し、更には新たに優位なプロトコルを提案したものであり、学術上だけでなく、実際のシステム構築上もその貢献度は大きい。よって本論文は博士(工学の)学位論文としてふさわしいものと認める。