

氏 名 黒瀬 浩

学位(専攻分野) 博士(情報学)

学位記番号 総研大甲第1604号

学位授与の日付 平成25年3月22日

学位授与の要件 複合科学研究科 情報学専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 CGMコンテンツに適した
タグキャッシングルーターアーキテクチャの研究

論文審査委員 主 査 教授 山田 茂樹
教授 計 宇生
准教授 福田 健介
准教授 鯉淵 道紘
教授 奥田 隆史 愛知県立大学

論文内容の要旨

本論文では、CGM (Consumer Generated Media) の動画視聴に適したコンテンツ配信基盤であるタグキャッシングルータ (TCR) アーキテクチャを提案する。TCR アーキテクチャは、フォークソノミータグをキーとして、ネットワーク上のコンテンツの検索およびキャッシングを行い、適した位置からコンテンツを取得するため、ネットワーク全体のトラフィックを削減でき、ネットワーク負荷変動による視聴中断を防止できる。

Web2.0 以降、視聴者がコンテンツを容易に投稿できるようになり動画投稿サイト利用が促進されている。また、投稿者が増えるにつれコンテンツ数、視聴者とも増加し続け、動画品質の向上から単位時間あたりのデータ量も増加し続けている。また、SNS (Social Networking Service) の利用も促進され、コンテンツの評判が急速に視聴者間へ伝搬されることが多くなった。これらの問題点を解決するために、

- 1) 人気コンテンツのアクセス分布は、Zipf の法則に従うこと、
- 2) 動画検索・視聴ではフォークソノミータグが利用されることが多いこと、
- 3) 視聴者が投稿したCGM コンテンツのランキングは時間的変動が大きいこと、

等の特性を前提に、動画コンテンツ視聴を安定的に行うコンテンツ配信基盤TCR アーキテクチャの構成方法を示している。

TCR アーキテクチャは、

- 1) 通信経路上のルータでコンテンツの情報及びデータをキャッシュする点、
- 2) フォークソノミータグによりコンテンツ拡散および検索を行う点、
- 3) 各TCR は他TCR の状態を意識せずに最適な通信経路を形成できる点に大きな特徴を有する。

TCRアーキテクチャは、タグ検索とコンテンツダウンロードの両方を効率的に支援することを目的にIPネットワーク上で動作するアプリケーション層のルータであるTCR、視聴端末Viewer、オリジナルコンテンツを保持するCMS (Content Management System)、コンテンツ情報を取得できない場合の照会先であるSE (検索エンジン)/DNS (Domain Name System)、推奨コンテンツを宣伝するSNS (Social Networking Service)等のコンポーネントから構成され、それらがネットワーク上に複数配置される。TCR自体は、コンテンツ関連キャッシュContentTable、探索経路キャッシュRoutingTable、経路探索機能ContentResolver()およびキャッシュ可否判断機能cachingFilter()で構成され、IP層の上に実装され、他のTCRと連動して、タグをキーに経路形成およびコンテンツ検索を行う。本研究では、各TCRにおける推奨コンテンツを宣伝するアドバタイズメントフェーズ、視聴コンテンツを検索する検索フェーズ、および視聴するコンテンツのダウンロードを行うダウンロードフェーズの動作アルゴリズム、キャッシュ管理アルゴリズム、転送先ルータの経路選択アルゴリズム等の詳細を明らかにしている。

TCR アーキテクチャの効果を確認するために、シミュレータを作成し、キャッシュを用いない伝統的な方法と、URI (Uniform Resource Identifier) によるキャッシュ方法の間で比較を行った。具体的にはタグをキーとしてキャッシュする方法の先行研究が無い事から提案アーキテクチャの評価は以下のように段階的に行った。

- 1) 視聴端末とCMS サーバの間に1つのキャッシュルータを持つタンデム構成、
- 2) CMS サーバが集中し、視聴端末がCMS サーバと近い位置にある格子状構成、
- 3) ツリー状構成でタグアクセスランキングの影響調査、
- 4) 応答性、経済性、安定性および確実性からなる総合評価、
- 5) 研究で評価されている階層キャッシュの登録方法の影響

を評価するシミュレーションを行った。その結果、国内にあるCMS サーバからコンテンツ視聴を行う想定ルータ100台規模のネットワークのシミュレーションでは、URIを検索キーとしたコンテンツキャッシング方式に対して、TCR方式は、4から12%のキャッシュサイズでも同等の応答性および安定性が得られ、評価指標による総合評価においても

一番優れていることを明らかにした。

上述の優位性が得られた要因を分析した結果、FIA (Future Internet Architecture)、特にCCN (Content Centric Network) で提案されているアーキテクチャに比べて、CGM動画視聴に特化するため以下の前提を排することで単純かつ効率的なコンテンツ配信基盤を提供できたことが大きく貢献していることを明らかにした。

- 1) コンテンツの名前解決とコンテンツデータ保持は別システムにより管理されること
- 2) コンテンツが任意の場所から生成され保持されること、
- 3) コンテンツを一意に特定しコンテンツデータを取得すること

さらに、現実的なCGM動画視聴環境と評価環境の相違点についても考察し、タグ数およびコンテンツ数が現実と比べて小さいがキャッシュ容量をスケールアップすることで現実モデルとなることから、本研究における評価環境が妥当であることを説明した。

最後に将来課題として、TCR アーキテクチャの性能が、コンテンツに割り当てられるタグ数、コンテンツ数、人気コンテンツの評判の伝搬速度により強く依存すると考えられるため、より現実的なアクセス状況での評価が望まれること等を述べた。

博士論文の審査結果の要旨

本論文は、CGM (Consumer Generated Media) の動画視聴に適したコンテンツ配信基盤であるタグキャッシングルータ (TCR) アーキテクチャを提案したものである。TCR アーキテクチャは、CGM コンテンツで頻繁に使用されるフォクソノミータグ(以下、タグと略称) をキーとして、コンテンツの検索およびキャッシングを行ない、適した位置からコンテンツを取得するので、ネットワーク全体のトラフィックを削減でき、ネットワーク負荷の変動による視聴中断を防止することを狙いとしている。

本論文は7章から構成される。第1章ではCGM コンテンツの特徴として、1) 人気コンテンツのアクセス分布は、Zipf の法則に従う、2) 動画検索・視聴はタグを利用することが多い、3) 視聴者が投稿した CGM コンテンツのランキングは時間的変動が大きい。という点に着目して、動画コンテンツ視聴を安定的に行うために以下3点を特徴とするコンテンツ配信基盤 TCR アーキテクチャを提案している。1) 通信経路上のルータでコンテンツの情報およびデータをキャッシュする、2) タグによりコンテンツ拡散および検索を行なう、3) 各 TCR は他 TCR の状態を意識せずに最適な通信経路を形成できる。

第2章では関連する先行研究と事例により課題を整理し、第3章で提案アーキテクチャを実現するシステムの内部構成、動作アルゴリズム、ネットワークレベルでの検索およびダウンロード等のプロトコルシーケンスの詳細について述べている。

第4章ではアーキテクチャの評価のために作成したシミュレータの構造を述べている、具体的にはタグをキーとしてキャッシュする方法の先行研究が無い事から提案アーキテクチャの評価は以下のように段階的に行っている。1) 視聴端末と CMS(Content Management System) サーバの間に1つのキャッシュルータを持つタンデム構成、2) CMS サーバが集中し、視聴端末が CMS サーバと近い位置にある格子状構成、3) ツリー状構成でタグアクセスランキングの影響調査、4) 応答性、経済性、安定性等からなる総合評価。以上の評価以外に、さらに階層キャッシュの登録方法の影響も評価できるシミュレータを自作し、大規模なネットワーク環境で平均ダウンロード時間を中心とする性能評価を行った。

第5章ではシミュレーションの結果と分析をまとめた。即ち、国内にある CMS サーバからコンテンツ視聴を行う想定ルータ100台規模のネットワークのシミュレーションで URI (Uniform Resource Identifier) を検索キーとしたコンテンツキャッシング方式と比較して、TCR 方式は、4 から 12%のキャッシュサイズでも同等の応答性および安定性が得られ、評価指標による総合評価においても優れていることを明らかにした。

第6章では提案の妥当性の議論を行い、FIA (Future Internet Architecture)や CCN (Content Centric Network) で提案されているアーキテクチャと比較してCGM 動画視聴に特化して3つの前提を排することで単純かつ効率的なコンテンツ配信基盤が実現できるようになったことを分析している。

第7章では TCR アーキテクチャとその評価結果をまとめるとともに、将来課題として、TCR アーキテクチャの性能は、コンテンツに割り当てられるタグ数、コンテンツ

数、人気コンテンツの評判の伝搬速度により強く依存すると考えられ、より現実的なアクセス状況での評価の必要性も述べている。

本論文の研究成果として、出願者は主著で電子情報通信学会論文誌論文 1 篇、査読付国際会議 1 篇、その他 5 件を発表している。

以上、本論文では、タグをキーとして経路上に視聴コンテンツ情報、コンテンツデータおよび転送先ルータをキャッシュするルータアーキテクチャを提案した。これによって、推奨コンテンツを CMS 側で集中的に管理してコンテンツ類似度を集計しなくても経路上で局所的に集計ができ、集計対象を減らしてランキング反映時間を短縮するとともに、キャッシングルータ間の状態を通信しなくても視聴状況に応じて適切に調整するコンテンツ配信基盤技術を明らかにした。このように本研究では、タグに着目して従来とは全く異なる新しいアプローチで研究を進めた点が独創的であると評価される。また、ルータ 100 台規模の大規模シミュレーションによって TCR アーキテクチャの特性や有効領域を明らかにした点で、ネットワークにおけるコンテンツキャッシング技術の面から情報通信技術の発展に貢献するところが大きい。よって、本論文は博士の学位請求論文として合格と認められる。