

京都大学 情報学研究科 通信情報システム専攻

氏名 松原大典

論文 P2P システムおよび ICN による情報共有に関する研究

Studies on Information Sharing using Peer-to-Peer Systems and Information-Centric Networking

(論文内容の要旨)

Peer-to-peer (P2P)システムはコンテンツ配信、音声通話、コラボレーショングループウェアなどの情報共有アプリケーションに利用されている。P2P システムでは各端末がクライアントであるのと同時にサーバとしても機能することができるため、より大量のリソース（例：音声ファイル）を容易に端末間で交換できるという点で、クライアント/サーバ型モデルと異なる。このような通信を実現するために、P2P システムはユーザに対してユーザが要望する適切なリソースを見つけ出すための探索機能を提供する。しかし、P2P システムは分散型アーキテクチャを有するため、その多くはリソース間の関係を示す構造的な情報をユーザに提供しない。このため、P2P 情報共有システムではユーザやシステム管理者によるリソースの探索や管理が困難であった。本論文の 1 つ目の課題は、P2P 情報共有システムにおけるリソースの直感的な探索と管理の実現である。

Information-centric networking (ICN)は IP アドレスの代わりにリソースの名前(データ ID) を用いて端末間の通信と情報共有を実現する新しいネットワークアーキテクチャである。データ ID の利用には、中継ノード上のデータキャッシュの活用、モビリティの簡易化、多対多通信の実現などの利点がある。一方で、データ ID の数は端末や IP アドレスの数よりも大幅に多いため、ICN のルーティング機能には多くの課題がある。特に Machine-to-Machine (M2M)通信などデータが分散的に移動する場合は、中継ノードの経路情報数とトランザクション負荷が増加するため、この課題はより重要となる。本論文の 2 つ目の課題は、データが分散的に移動する M2M 通信における効率的な ICN のルーティング機能の実現である。

第 1 章の序論では、P2P システムや ICN などの分散システムが情報共有にもたらす影響について述べ、これらのシステムにおけるリソースの探索と管理の重要性について説明する。また P2P システムと ICN における一般的な課題と、本論文で検討した研究課題について述べる。

第 2 章では、複数ユーザ間で直感的なリソースの探索および管理を実現する P2P 情

報共有システム **Network Resource Browsing System (NRBS)**を提案する。提案システムは、分散配置されたファイルの整理・管理を直感的なユーザインタフェースで実現する仮想ディレクトリを実装している。本システムでは中央管理サーバが仮想ディレクトリを管理し、仮想ディレクトリ上のリンクとユーザクライアントに保存されている実ファイルデータを関連付ける。ユーザまたはシステム管理者が仮想ディレクトリ上のファイルやフォルダに対してアクセス制御を設定することで、ファイルのセキュリティ管理を実現する。本システムをユーザビリティ、管理性、セキュリティの観点で説明し、仮想ディレクトリがユーザビリティや管理性を向上させると共に、厳密なファイルセキュリティを実現することを示す。

第3章では、複数ユーザ間でリアルタイムな相互交流を実現する **P2P 情報共有システム Communication Information Sharing System (CISS)**を提案する。提案システムはプッシュ型通知と通信アーカイブを実装している。プッシュ型通知は要約したテキスト情報を送信しユーザクライアントのインタフェースに表示することで、交流スペースにて発生した変化をユーザに伝える。通信アーカイブは交流スペースにおけるユーザ通信の録音データを作成し、その録音データを複数ユーザ間で共有する。プッシュ型通知と通信アーカイブの統合により、複数ユーザ間のリアルタイムな情報共有と、時間に依存せずにユーザが参照できる通信アーカイブの提供を実現する。本章では、プッシュ型通知と通信アーカイブを統合する機能について説明する。システムの性能について評価し、500名の同時オンラインユーザ間でのリアルタイムな相互交流を実現することを確認する。

第4章では、**ICN**の一方式である **Data-Centric Network (DCN)**を提案する。**ICN**において最も困難な課題の一つとして、データの移動への対応がある。データが移動すると経路情報の集約ができず、中継ノードの経路情報数が増加する。また、移動するデータに到達するためにデータ取得メッセージは経路情報を参照する必要があるが、これにより名前解決ノードのような上位階層の中継ノードのメッセージのトランザクション負荷が大きくなる。**DCN**は経路情報数を削減するために集約ポイントで経路情報を集約する。また、上位階層の中継ノードのトランザクション負荷を低減するために、最適化経路を形成する。これらの施策によって、**DCN**は大量データの頻繁な移動に対応することが可能となる。

第5章では、**DCN**を大規模網に適用した際の通信遅延およびトランザクション負荷に関する課題を説明する。次に、集約ノード同士を隣接ノードとして直接接続する集

約ノードピアリング方式を提案する。次に、提案方式を DCN のプロトタイプと 37 の中継ノードと 336 台の端末による広域網テストベッドを用いた実験で評価する。この評価によって、DCN が遅延と上位階層の中継ノードのトランザクション負荷を低減できることを示す。

第 6 章では、確率計算による理論的評価によって DCN と既存 ICN 方式のトランザクション負荷を比較する。また、インターネットサービスプロバイダ (ISP) のバックボーン網トポロジを用いたシミュレーションにより、経路情報数とトランザクション負荷を比較する。これらの評価により、異なる端末分布パターンや通信パターンにおける各 ICN 方式の特性を明らかにし、近隣の端末同士が通信する場合において DCN が上位階層の中継ノードのトランザクション負荷を低減できることを示す。

第 7 章では、本論文で説明した研究成果を要約した後、今後に残された課題について述べる。