

# 論文の内容の要旨

## 論文題目

### **Deployable and Scalable Information-Centric Networking**

(展開性とスケーラビリティを備える  
**Information-Centric Networking** に関する研究)

氏名                      朱 韵成 (ZHU YUNCHENG)

本論文では Deployability (展開性) と Scalability (スケーラビリティ) を備える Information-Centric Networking (ICN) に関する研究成果を報告する。現在のインターネットアーキテクチャはエンド・ツー・エンド通信向けに開発され、以後ほとんど変更されないまま利用されてきた。しかし、近年、情報コンテンツはネットワークの何処 (どのエンドシステム) にホスティングされているかという位置情報ではなく、情報コンテンツ自体に付加された名前によって識別され、入手されるべきであるといった提案が多く成されている。

言い換えると、情報の消費者は情報が何処に存在するかには関心がなく、情報自体に関心がある。そのため、ICN では、情報自体をネットワークアーキテクチャの中心として考え、名前による識別と経路制御を実現する。現在、このような ICN の概念により、近未来のインターネットを再設計する研究開発が進められている。しかし、既存の ICN の提案では、以下の問題のために実環境に展開をすることが困難である。

問題 1. (機能性) 既存の ICN の提案の殆どは、コンテンツの取得のみに焦点を当てている。しかし、これらの提案では、ユーザ生成コンテンツ (UGC) の配布等のサービスへの効率的なアクセスが提供できない。

問題 2. (展開性) 大部分の既存の ICN の提案では、現在のインターネットを根本から変更するという、実際には実現困難な「Clean-Slate」と呼ばれる設計である。さらに、これらの提案の幾つかは、ネットワーク設備に高い処理能力が必要であるという重大な欠点が解決されていない不完全な手法である。

問題 3. (スケーラビリティ) ICN の主要要素である名前による経路制御「Route-by-Name」には大量の情報に付けられた名前を処理できないという、名前解決におけるスケーラビリティの問題がある。そのため、実現可能かつ効率的な名前解決サービスが必要であるが、既存の手法では十分な解決手段が提示されていない。

本論文では、既存の ICN 研究において未解決である、機能性、展開性、スケーラビリティの 3 つの問題を解決することがインターネットの ICN への移行を成功させる鍵であると考え、これらに対する解決手法の提案を行う。この移行による恩恵は 2 つの側面がある。エンドユーザにとってはコンテンツ、および、新規サービスへの効率的なアクセスが可能になる。また、ネットワーク事業者にとっては、付加価値を提供するためのアップグレード費用の低減と、ネットワーク資源の有効利用が可能になる。本研究では、実際に ICN を現在のインターネット上に展開することにより、ICN によるインターネットの価値向上の可能性を示すことを目的としている。

具体的に本論文では、キャッシュ方式、転送プロトコル、名前解決の ICN における 3 つの重要な側面についての研究を行い、展開性とスケーラビリティを備えた ICN のための新規アーキテクチャの提案を行う。

キャッシュ方式の検討は ICN における最も重要な研究テーマの 1 つである。そのため、まず我々は問題 1 を解決することを目的とし、Upload Caching in Edge Networks (UCEN) というアップロードに対するキャッシュ方式を提案する。我々の解析では、エンドユーザのアップロード接続時間を 41%削減、さらにサービス事業者のピークトラフィックを 49%削減可能であることを示す。また、我々は、問題 2 を解決するために Content-Oriented Caching with In-Network Index (COCINI) の提案をする。COCINI は、エンドシステムの余剰ストレージとトラフィック帯域を利用することにより、冗長トラフィックの削減とコンテンツへの効率的な高速アクセスを可能にするキャッシュ方式である。我々の実トラフィックを用いたシミュレーションにより、COCINI は

49%のトラフィック削減とコンテンツアクセスの遅延を約 1/4 削減可能である事を示す。

次に、我々は問題 2を解決するために、Information-Centric Transport Protocol (ICTP) の提案を行う。ICTP は現在のインターネット上で実現するためのトランスポートプロトコルである。ICTP では既存のインターネットプロトコル (IP) と完全な互換性があり、逐次的な実装と展開が可能である。さらに、本プロトコルのコネクションレス特徴により、情報セントリック戦略が必要な In-Network 処理が可能になる。

そして、問題 3を解決するために、名前解決が必要な時間と空間計算量の改善を目指して、単純かつ実用的な名前解決サービス Distributed Resolution Service (DRS) の提案を行った。提案手法では、3,300 台の普通のマシンを陥ることで、 $10^{12}$ に及ぶ名前空間の解決が実現できることを示した。

最後に、これらの技術が一つのアーキテクチャの上に実装でき、実現したアーキテクチャで現在のインターネットから ICN への移行ができることを証明するために、展開性とスケーラビリティを備える ICN アーキテクチャ Deployable and Scalable Information-Centric Network Architecture (DSINA) の提案を行う。上記の研究成果を統合することにより、DSINA では Register-Access-Result モデルを用い、新しい Route-by-Name システムを既存のインターネット基盤上に構築する。これにより、DSINA はコンテンツ取得だけでなく、ユーザ生成コンテンツ (UGC) の配布や通知プッシングなどの様々なアプリケーションの支援が可能になる。また、Click プログラミングモデルを利用することにより、DSINA のプログラム実装を行い、ネットワークテストベッドである Emulab 上で検証実験を行う。この検証実験によって、このプロトタイプの動作確認と展開可能性を証明する。また、コンテンツ配布に応用した場合、コンテンツ配信の効率は既存アプリケーションの 10 倍に改善し、自己拡張性により複数クライアントが同じコンテンツを要求した場合においても、平均スループットの低下が 10%以下に抑えられることを示す。

これらの結果は、本論文の主張である、機能性、展開性、スケーラビリティ、の 3つの問題すべてを解決することで、エンドユーザとネットワーク事業者の両方に便益を与える ICN アーキテクチャが実際に動作し、実ネットワークに展開可能であることを示唆している。研究成果により、ICN 研究は実ネットワークでの大規模実装と展開及び既存ネットワークから ICN への移行の段階に入ることが可能になる。