Title	Router Architecture and Caching Mechanisms toRealize Information-Centric Networking
Author(s)	大岡, 睦
Citation	大阪大学, 2017, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/67171
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 （ 大岡 睦 ）	
論文題名	Router Architecture and Caching Mechanisms to Realize Information-Centric Networking (情報指向ネットワーク実現のためのルータアーキテクチャとキャッシュ機構に関する研究)

論文内容の要旨

インターネットはその初期の設計思想と大きく異なる規模と形態で利用されている。初期のインターネットはホスト間に通信サービスを提供することを目的としていた。しかし、近年のWebページや動画配信サービスの台頭によって、現在のインターネットは主に大量のコンテンツの拡散・取得のために用いられている。ホスト中心の設計思想がコンテンツ中心の利用形態と一致していないために、大量の冗長トラフィックや、それに伴う過剰な帯域の消費、非効率的なネットワーク資源利用、コンテンツ可用性の低下など、様々な問題が引き起こされている。

このインターネットの限界に対処するために、既存のネットワークとの互換性を考慮せずに白紙からネットワークを設計する試みとして、本論文では情報指向ネットワーク(Information-Centric Networking; ICN)に注目する。ICNはホスト中心ではなくコンテンツ中心のネットワークアーキテクチャを実現するために、IPアドレスの代わりにnameをコンテンツごとに割り当てる。nameを用いることで、ネットワークの機能としてキャッシング・要求集約・マルチキャスト・セキュリティなどを組み込むことで、コンテンツ拡散・取得に係る諸問題を解決することができる。

しかし、既成概念に捉われないネットワークを実現するためには、多くの課題を解決する必要がある。まず、ICNはインターネットとの互換性が考慮されていない。全世界中にIPルータが展開されている現状においては、IPルータをそれと互換性のないICN装置に一朝一夕の間に置き換えることは不可能である。次に、ICNルータハードウェアの実現が必要である。ICNルータはnameに基づく通信やキャッシングなどの機能を具備する、従来のIPルータよりも高機能なルータであり、その実現可能性を示すことが希求されている。主にこれらの実現性の課題のために、ICNの有用な特徴にも関わらず、ICNの実現は困難視されてしまっている。

本論文の目的は、これらのICN実現可能性の課題に取り組み、ICNの実現可能性の実証に貢献することである。ICNの実現の主要な課題であるICNの展開とルータの実現に焦点を当て、ICNの段階的展開方式・ICNルータにおける高速なname検索機構・低オーバーヘッド性とネットワーク適正を両立したキャッシュ置換方式の課題解決に取り組んだ。

まず、ICN展開の課題を解決するために、OpenFlowを用いたICNの段階的展開方式に取り組んだ。OpenFlowは既存ネットワークの通信を阻害することなくネットワークをプログラマブルにする技術である。本論文ではOpenFlowにおいてICNを実現するための具体的かつ詳細な設計を提案する。ICNのnameの階層性を保持したままICNヘッダをOpenFlowが扱えるヘッダ情報に変換することで、ネットワーク内での最長プレフィックスマッチングを活用したマルチキャスト・キャッシングを実現することができる。また、OpenFlowネットワーク上にICNネットワークとIPネットワークを階層的に両立させることで、IPと共存する形でICNの実現を可能にする。

次に、ICNルータの実現課題として、name検索機構の実現課題に取り組んだ。IPアドレスが短い固定長のアドレスであるのに対して、nameは長く可変長であるという特徴がある。ICNルータはパケット処理毎にnameを検索する必要があるため、このnameの高速な検索処理が困難視されてきた。そこで、本論文では連想メモリとブルームフィルタを用いて、複雑なnameを高速に検索することができる機構のハードウェアを設計を示した。また、ハードウェア設計に基づく評価によって、提案方式は既存方式よりも高スループットかつ低遅延であることを示した。

最後に、ICNルータのもう一つの主要な実現課題として、キャッシュ機構の実現課題に取り組み、2つのキャッシュ置換方式を提案した。キャッシュ置換方式は過去に様々な分野で研究されてきたが、ICNルータ特有の資源制約を満たし、かつネットワーク特有のアクセスに適性を具備する方式は明らかにされていない。本論文では、資源制約の厳しいルータハードウェア上で実現可能かつ、ネットワークトラフィックに対して高いヒット率を達成可能なキャッシュ置換方式として、Compact CLOCK with Adaptive Replacement (Compact CAR)とCLOCK-Pro Using Switching Hash-table (CUSH)を提案した。Compact CARは、ネットワークの大部分を占める一度しか要求されないコンテンツによるキャッシュの占有を防ぎ、キャッシュする価値のあるコンテンツのみを識別する仕組みを有する。評価では、単純な方式と比較して最大で10倍のキャッシュ効率を達成できることを示した。CUSHは、更に資源制約が厳しい状況下でICNのチャンク単位アクセスによって発生するアクセスパターンに対処する能力を有する。評価では、既存方式がキャッシュヒットを発生させられない状況下でも、CUSHがキャッシュヒットを達成できることを示した。

以上の研究によって、ICNの展開とICNルータのハードウェア実現の主要な課題を解決し、ICNの実現に大きく貢献した。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名（　大岡　睦　）			
論文審査担当者		（職）	氏　名
	主 査	教授	村田 正幸
	副 査	教授	渡辺 尚
	副 査	教授	長谷川 亨
	副 査	教授	東野 輝夫
	副 査	教授	松岡 茂登

論文審査の結果の要旨

近年のWebページや動画配信サービスの台頭による大量のコンテンツの拡散・取得アプリケーションによって、現在のインターネットでは大量の冗長トラフィックや、それに伴う過剰な帯域の消費、非効率的なネットワーク資源利用、コンテンツ可用性の低下などの問題が噴出している。これらの問題に対処するために、既存のネットワークとの互換性を考慮せずに白紙からネットワークを設計する試みが盛んとなり、特に情報指向ネットワーク(Information-Centric Networking; ICN)は、IPアドレスの代わりにnameをコンテンツごとに割り当てることで、ネットワーク機能にキャッシング・要求集約・マルチキャスト・セキュリティなどを組み込むことを可能とし、コンテンツ拡散・取得に係る諸問題を解決することができるネットワークとして注目されている。しかし、既成概念に捉われないネットワークを実現するためには、多くの課題を解決する必要がある。ICNはインターネットとの互換性が考慮されておらず、全世界中にIPルータが展開されている現状においては、IPルータをそれと互換性のないICN装置に一朝一夕の間に置き換えることは不可能である。また、ICNルータハードウェアにはnameに基づく通信やキャッシングなどの機能が要求されるが、ルータの厳しい資源制約下で複雑なnameに基づいて高速にパケットを転送・キャッシュすることは容易ではない。

本論文の研究成果は、これらのICNの課題に取り組み、ICNの実現可能性の実証に貢献した点にある。本論文ではICNの実現の主要な課題であるICNの展開とルータの実現に焦点を当て、ICNの段階的展開方式・ICNルータにおける高速なname検索機構・低オーバーヘッド性とネットワーク適正を両立したキャッシュ置換方式を提案している。ICN展開の課題については、既存ネットワークの通信を阻害することなくネットワークをプログラマブルにする技術であるOpenFlowを用いて、IPとICNが共存可能なネットワーク方式を提案している。また、ICNのnameの階層性を保持したままICNヘッダをOpenFlowが扱えるヘッダ情報に変換する工夫により、マルチキャスト・キャッシングなどのICNの有用な特徴を損なうことなく段階的な展開が可能であることを示している。name検索機構の実現課題については、IPアドレスとは異なり長く可変長であるために高速処理が困難視されてきたnameに対して、連想メモリとブルームフィルタを用いて高速に検索することができるハードウェア設計を示した。また、ハードウェア設計に基づく評価によって、提案方式は既存方式よりも高スループットかつ低遅延であることを示した。キャッシュ機構の実現課題については、資源制約の厳しいルータハードウェア上で実現可能かつ、ネットワークトラフィックに対して高いヒット率を達成可能なキャッシュ置換方式として、Compact CLOCK with Adaptive Replacement (Compact CAR)およびCLOCK-Pro Using Switching Hash-table (CUSH)を提案している。Compact CARは、ネットワークの大部分を占める一度しか要求されないコンテンツによるキャッシュの占有を防ぎ、キャッシュする価値のあるコンテンツのみを識別する仕組みを有し、単純な方式と比較して最大で10倍のキャッシュ効率を達成できることを示している。CUSHは、更に資源制約が厳しい状況下でICNのチャンク単位アクセスによって発生するアクセスパターンに対処する能力を有し、既存方式がキャッシュヒットを発生させられない状況下でも、CUSHがキャッシュヒットを達成できることを示している。

以上のように本論文は、ICNの展開とICNルータのハードウェア実現の主要な課題を解決し、インターネットの諸問題を解決する革新的なネットワークアーキテクチャであるICNの実現に関して有用な研究成果をあげている。よって、博士（情報科学）の学位論文として価値のあるものと認める。