

内容の要旨

報告番号	甲 第 4430 号	氏 名	八巻 隼人
主 論 文 題 目： アプリケーションルータにおける情報抽出およびテーブル検索のアクセラレーションに関する研究			
近年のインターネット関連技術の急速な進歩によって、IDS (Intrusion Detection System) といった高度な機能を提供するサービスの需要が高まっている。ルータにおいてもパケット解析技術を獲得することで、ネットワーク経路上のパケットに対し、ペイロードまで含めた情報抽出を可能とするアプリケーションルータが広く研究されている。アプリケーションルータは、積極的にパケットのコンテンツ情報を解析し、サービスに用いる機能を持ったルータである。アプリケーションルータによって、ネットワーク型IDSのようなセキュリティ用途のみならず、負荷分散やQoS (Quality of Service) 保証といった様々なサービスを高度に提供することが期待できる。 アプリケーションルータは、ペイロードに対する情報抽出を実現するために、GZIP 圧縮された HTTP パケットの展開機構とペイロードに対する文字列探索機構を備える必要がある。既存研究では、これらの処理機構に関して数 Gbps 程度を得ることが限界であった。今後の帯域幅の向上やコアネットワークへの対応を考慮すると、アプリケーションルータにおいてこれらの機構がボトルネックとなりうる。加えて、アプリケーションルータは情報抽出結果をもとにテーブルエントリの追加や変更を頻繁に行う。これによって、テーブル検索機構もボトルネックとなることが懸念される。 そこで本論文では、アプリケーションルータにおける GZIP 展開および文字列探索、テーブル検索に焦点を当て、それぞれのボトルネックを解決するアーキテクチャを提案し、評価した。そして、100Gbps ネットワーク環境においても、アプリケーションルータがワイヤレートでパケットを処理可能となったことを示した。 第1章では、本研究の目的と本論文の構成について述べた。第2章では、ルータの変遷と、アプリケーションルータの概要および実現されるサービス例に関して述べた。第3章では、一般的なルータおよびアプリケーションルータの処理機構と、それに関する既存研究を紹介し、アプリケーションルータにおける性能ボトルネックを明らかにした。第4章では、GZIP 圧縮された HTTP パケットの展開処理に関して、キャッシュ及び処理並列性を活かしたハードウェアアーキテクチャと、ピギーバックパケットを用いた複数台アプリケーションルータ間の処理高速化手法を提案した。提案アーキテクチャにより GZIP 展開において 100Gbps 以上の実効スループットが得られることを示した。第5章では、ペイロードに対する文字列探索処理に関して、ラビンカーブ法を基にした処理オフローダのハードウェアアーキテクチャを提案した。提案アーキテクチャにより従来の実装に対し 36%の回路規模で、文字列探索処理負荷を 5%まで削減でき、既存手法により 100Gbps 以上の実効スループットが得られることを示した。第6章では、テーブル検索処理に関して、従来の TCAM 方式に併せてフローキャッシュを用いることで、テーブル検索を高速化、省電力化するアーキテクチャを提案した。加えて、キャッシュミスを適切に削減するエントリ制御手法を実装することで、最短パケット長における 400Gbps 以上のスループットを従来の 17.9%の消費電力で行えることを示した。最後に、第7章において、各章の内容をまとめ、本研究の成果を要約するとともに、研究の発展性について言及した。			

論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4430 号	氏 名	八 巻 隼 人
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 西 宏章
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 山中 直明
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 重野 寛
		慶應義塾大学専任講師	博士（工学） 松谷 宏紀
		国立情報学研究所准教授	博士（工学） 鯉 道 紘
学士（工学）、修士（工学）八巻隼人君提出の学位請求論文は「アプリケーションルータにおける情報抽出およびテーブル検索のアクセラレーションに関する研究」と題し、7章から構成されている。 ネットワーク経路上のパケットに対し、パケット解析技術を用いてペイロードまで踏み込んだ情報抽出および解析を行い、その結果を用いることで高度なサービスを提供するアプリケーションルータが注目されている。アプリケーションルータは、ペイロードに対する情報抽出を実現するために、GZIP 圧縮データの展開機構とペイロードに対する文字列探索機構を備える必要がある。既存研究では、これらの処理機構に関して数 Gbps 程度を得ることが限界であった。今後の帯域幅の向上やコアネットワークへの対応を考慮すると、アプリケーションルータにおいてこれらの機構がボトルネックとなりうる。加えて、アプリケーションルータは情報抽出結果をもとにテーブルエントリを頻繁に更新する。これによって、テーブル検索機構もボトルネックとなることが懸念される。本論文では、アプリケーションルータにおける GZIP 展開処理および文字列探索処理、テーブル検索処理に焦点を当て、それぞれのボトルネックを解決するアーキテクチャを提案し、評価した。 第1章では、現在のネットワークを取り巻く状況を踏まえ、本研究の目的がアプリケーションルータにおける情報抽出およびテーブル検索ボトルネックの解決であることを述べた。 第2章では、ルータの変遷と、アプリケーションルータの登場した背景を述べた。そして、アプリケーションルータにより実現される高度な機能を持つサービス例を紹介した。 第3章では、一般的なルータと既存のアプリケーションルータのパケット処理アーキテクチャを、それぞれの関連研究と共に詳述した。アプリケーションルータが広帯域ネットワークに対応する上で、GZIP 展開および文字列探索、テーブル検索がボトルネックとなることを明らかにした。 第4章では、GZIP 圧縮された HTTP パケットの展開処理に関して、キャッシュ及び処理並列性を活かしたハードウェアアーキテクチャと、ピギーバックパケットを用いた複数台アプリケーションルータ間の処理高速化手法を提案した。提案アーキテクチャにより 100Gbps ネットワーク環境における HTTP 圧縮パケットの GZIP 展開処理をワイヤレートに行えることを示した。 第5章では、ペイロードに対する文字列探索処理に関して、ラビン-カープ法を基にした処理オフロードアーキテクチャを提案した。提案アーキテクチャにより従来の 36%の回路規模で、処理負荷を 5%まで削減でき、既存手法により 100Gbps 以上の実効スループットが得られることを示した。 第6章では、テーブル検索処理に関して、従来の TCAM 方式にキャッシュを併用することで、テーブル検索を高速化、省電力化するアーキテクチャを提案した。加えて、キャッシュミスの削減を目的とした適切なエントリ制御手法を実装し、従来の 17.9%の消費電力で最短パケット長における 448Gbps のテーブル検索性能が得られることを示した。 第7章では、本研究の成果をまとめ、アプリケーションルータにおいて 100Gbps ネットワーク環境でのワイヤレートな情報抽出およびパケット転送が可能となったことを示した。 以上要するに、本研究はこれまでパケットの配信に専念してきたインターネットバックボーンルータを高機能化するうえで必要なスループット拡大を図る技術を提案しており、次世代インターネットの研究・開発において、工業上、工学上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。			