

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：12612

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K17730

研究課題名（和文）フローサイズ予測に基づくトラフィック分割の精度向上に関する研究

研究課題名（英文）Improving Traffic Splitting Accuracy based on Flow Size Prediction

研究代表者

八巻 隼人（Yamaki, Hayato）

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号：20782197

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、通信トラフィックを従来よりも高精度に分割する手法と、そのような手法が通信アプリケーションの性能に与える影響を評価した。パケットレベルでのトラフィック分割により、高い精度を獲得できる一方で、受信側ではパケットの到着順序が乱れて再整列処理を要する。そこで、本研究ではパケットの到着順序をなるべく乱すことなくパケットレベルでトラフィックを分割する手法を提案した。また、本研究では通信アプリケーションとしてリンクアグリゲーション（LAG）とマルチパスルーティングに焦点を当て、高精度にトラフィックを分割することで従来よりもスループットを向上できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、動画などの高容量コンテンツの配信やIoT（Internet of Things）における超多ノードでの通信など、ネットワークの大容量化・高スループット化は必要不可欠となっている。本研究が着目するトラフィック分割は、このような要求を解決する一方法であるリンク集約やマルチパスルーティングの性能に直結する要素であり、実際に本研究ではこれらのアプリケーションにおいてスループットが向上できることを示している。本研究は今後の通信分野の発展に貢献する高い意義を有すると言える。

研究成果の概要（英文）：In this study, we evaluated methods for splitting communication traffic with higher accuracy than before and the impact of such methods on the performance of communication applications. While traffic partitioning at the packet level achieves high accuracy, it disrupts the arrival order of packets at the receiver side and requires re-alignment processing. Therefore, we proposed a method to divide traffic at the packet level without disturbing the arrival order of packets as much as possible. We also focus on link aggregation (LAG) and multipath routing as communication applications, and show that traffic partitioning with high accuracy can improve throughput compared to conventional methods.

研究分野：ネットワークアーキテクチャ

キーワード：トラフィック分割

1. 研究開始当初の背景

近年の通信トラフィック量の爆発的な増加に伴い、ネットワーク上の機器には 400Gbps や 1Tbps といった超高速なトラフィック処理性能が求められている。このような中で、トラフィック処理装置を技術的に性能向上させるのではなく、処理装置を多重化し、並列に処理させることで総合的な性能向上を目指す分散処理への需要が高まっている。ネットワークスイッチにおいて複数リンクを多重的に用いるリンク集約 (LAG: Link Aggregation) や、複数台のネットワーク侵入検知システムを並列的に用いる分散セキュリティシステムなど、今後ネットワークの様々な用途において分散処理の重要性が高まることが予想される。

分散処理において最大の処理性能を得るには、全ての処理装置が常に最大性能を発揮できるよう、各処理装置に均等に、または指定レートで正確にトラフィックを分割することが求められる。しかしながら、通信トラフィックの分散処理では、あるクライアントからの一連のデータ送信において生成されるパケット群 (フローと呼ぶ) を別々の処理装置に割り当てた場合、通信データの順不同などを招くことから、一般的にフロー単位でトラフィック分割が行われる。この際、動画や HTML など送信コンテンツによりフローサイズが大きく異なり、指定レートで正確にトラフィックを分割できないことが問題であった。

上記の問題に対し近年の研究では、各処理装置の負荷 (既送信データ量など) を管理し、負荷の少ない処理装置に新規フローを割り当てる方法が提案されている。しかしながら、インターネット通信では多くの場合、コンテンツが送信されるのは TCP ハンドシェイクや HTTP リクエストといった手続き後であり、フローが割り当てられてからコンテンツ送信までの間に数ミリ秒から数秒程度の遅延が生じる。そのため、現在負荷が少ない処理装置であっても、既にサイズの大きいフローが割り当てられており、近い将来に高負荷となる可能性がある。このような問題は、広帯域化が進み同時に流れるフロー数が多くなる今後のネットワークにおいてより顕著になっていくと考えられる。

2. 研究の目的

上述した背景を踏まえ、本研究ではフローレベルでのトラフィック分割における、指定レートへの分割精度の向上を目指す。そこで本研究では、機械学習を用いてフローの 1 パケット目からフローの全体サイズを予測し、各処理装置への将来的なデータ送信量に基づいて次のフロー割当先を決定する新たなトラフィック分割手法を提案する。本手法により、トラフィックをフローレベルでより正確に分割することが可能となる。

従来のトラフィック分割は、前述したように、各処理装置の現在の負荷に基づいた分割手法であったが、本研究ではフローサイズを予測する独自のアプローチにより将来的な負荷に基づいてトラフィックを分割する。トラフィック予測という観点においては、これまでスイッチやルータのインタフェース (ポート) 単位で数時間から数日後のトラフィック量を予測する研究はなされてきたが、フロー単位での予測についてはまだ研究されていない。また、フロー予測という観点においても、これまでの研究は次に到着するフローの IP アドレスやポート番号といったフロー情報の予測に関する研究が主であり、本研究が目的とするフローサイズに着目した予測手法の研究はなされていない。

提案手法により、現状の負荷からは把握できない、将来的に高負荷となる処理装置を把握し、その装置へのフロー割当を避けることが可能となる。その結果、従来手法のトラフィック分割の偏りを解消し、分散処理性能の向上が期待できる。

3. 研究の方法

本研究では、以下 3 つのテーマを明らかにする。(I) トラフィック分割精度が分散処理性能に与える影響、(II) 最適なトラフィック分割アルゴリズムの開発、(III) 提案手法の実装と評価。以下では、各テーマの実施詳細について述べる。

テーマ (I) : トラフィック分割精度が分散処理性能に与える影響

ここでは、実際の通信トラフィック分散処理環境において、トラフィック分割精度がアプリケーションの実行性能に与える影響を明らかにする。より具体的には、従来手法と、フローサイズが予めわかっている理想的状況下でのトラフィック分割時のアプリケーション性能を比較し、提案手法が理想的に働いた場合の有効性を明らかにする。本研究では、このような通信アプリケーションとして、ネットワークの高帯域化技術であるリンク集約 (LAG) とマルチパスルーティングに焦点を当て、トラフィック分割がアプリケーション性能に与える影響を評価する。

テーマ(II)：最適なトラフィック分割アルゴリズムの開発

テーマ(II)では、より高精度なトラフィック分割を可能とする分割アルゴリズムを開発する。トラフィック分割においては、単純にパケットを複数リンクに分割すると、受信側でパケットの到着順序が入れ替わり、再整列処理が必要となることがある。パケット再整列処理はパケットの到着順序が乱れるほど計算量が増え、通信において可能な限り避けることが推奨されている。従って、本研究の目標としても、単純に高精度にトラフィックを分割することだけでは不十分であり、可能な限りパケットの到着順序を乱さないことが重要となる。テーマ(II)では、このような要件を満たすトラフィック分割アルゴリズムについて開発する。

テーマ(III)：提案手法の実装と評価

提案手法の有効性を実環境での実験により評価する。実験環境としてはテーマ(I)で作成した通信トラフィック分散処理環境を用い、テーマ(II)で検討したトラフィック分割アルゴリズムを実装し、指定レートへのトラフィック分割精度および分散処理アプリケーションの実行性能を評価する。

4. 研究成果

本研究では、リンク集約とマルチパスルーティングそれぞれにおいて、最適なトラフィック分割アルゴリズムを提案した。以下ではそれぞれについて詳細を説明する、

(1) リンク集約

従来のフローレベルの均等なトラフィック分割手法は、図1に示すようにリンク間で偏り、最大で1.4倍程度の差が生じることが明らかとなった。フローレベルの分割では、動画のような使用帯域の高いエレファントフローが分割できないことが要因の1つである。一方で、パケットレベルでの分割は高精度なトラフィック分割を可能とするが、パケットの到着順序を大幅に乱す。

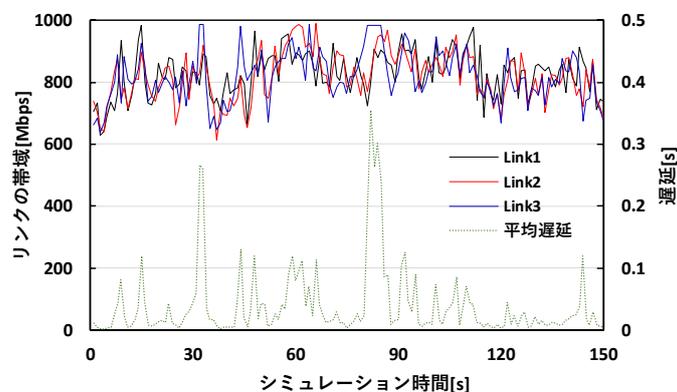


図1. 従来のトラフィック分割手法による分割精度

そこで、提案手法ではフローのサイズによりエレファントフローを判別し、エレファントフローに対してはパケットレベル分割を、それ以外のフローに対してはフローレベル分割を適用するハイブリッドなトラフィック分割手法を提案した。提案手法では、受信側でエレファントフローのパケットの順不同が発生するが、エレファントフローにおけるパケットの順不同は許容可能なことが、過去の研究で示されている。

提案手法によるトラフィック分割の結果を図2に示す。提案手法では、エレファントフロー判別の閾値を500MB、100MBに設定した場合、従来手法(図1)よりも明らかに各リンク帯域の偏りが低減された。

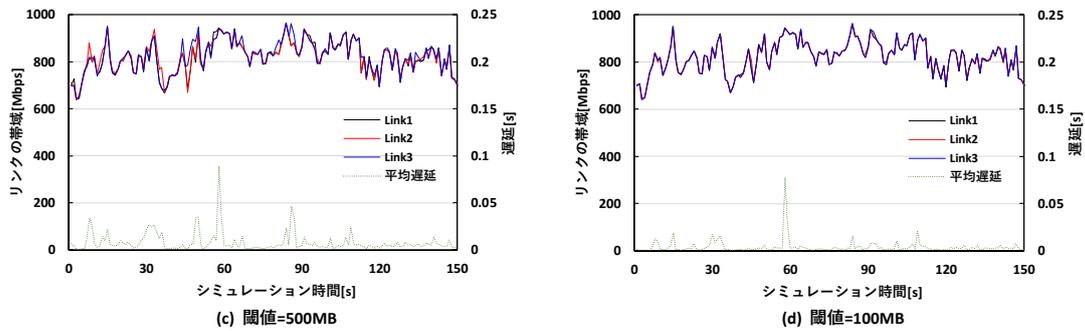


図2. 提案手法によるトラフィック分割の分割精度

(2) マルチパスルーティング

リンク集約と同様に、マルチパスルーティングにおいても従来手法では複数パスへのトラフィック分割に偏りが生じた。特にマルチパスルーティングでは、リンク集約と異なり、各経路に対称性 (i.e., 各経路の長さや他のリンクとの接続など) がいないため、より各経路の状況にリアルタイムに応じた動的なトラフィック分割が必要となる。

そこで、提案手法では各経路の負荷状況を INT (In-band Network Telemetry) 技術を用いて収集し、その負荷状況に応じて動的に各経路へのトラフィック分割比率を変更する手法を提案した。提案手法では、SRv6 のソースルーティング機能により明示的に各経路を通過するパケットを送信、通過するノード上において自身に接続するリンクの帯域利用情報をパケットに付加、マルチパス分岐元のルータにおいてパケットに付与された各経路のリンク帯域利用情報を集約することで、各経路の負荷状況をリアルタイムに把握する。また、得られた負荷状況を基に送信トラフィックを適切な比率でマルチパスに分配する機能を有する。

提案手法の評価結果を図3に示す。従来 (Baseline) に対して提案 (Dynamic) によりマルチパスルーティング時のスループットを大幅に向上できることを示した。これは、提案手法ではマルチパスへのトラフィック分割比率を動的に制御することで、その時の負荷状況に応じた適切な比率でのトラフィック分割が可能となったためである。

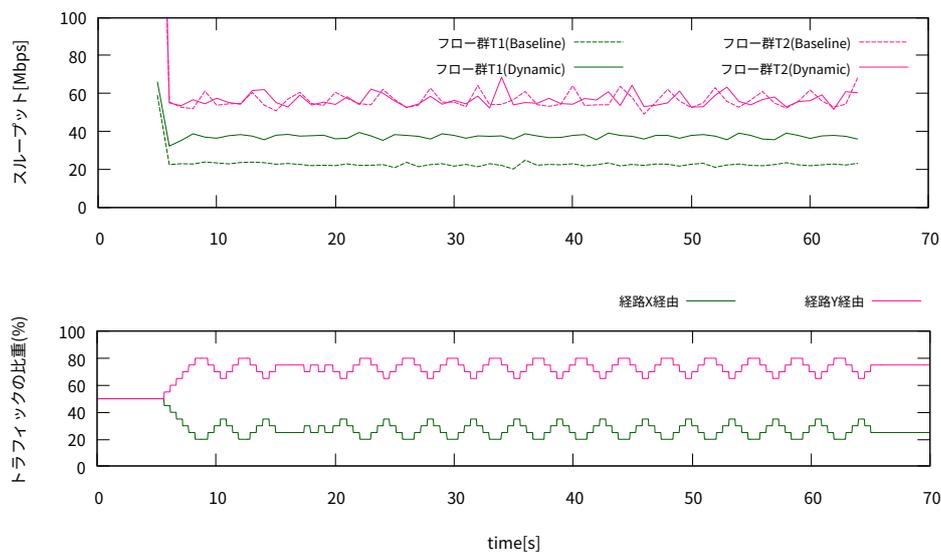


図3. マルチパスルーティングによるスループット
(従来: Baseline vs. 提案: Dynamic)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 鈴木想生, 八巻隼人, 三輪忍, 本多弘樹
2. 発表標題 複数パターン長を有するマルチパターンマッチングにおけるラビン-カーブ法のハッシュ関数最適化
3. 学会等名 組込み技術とネットワークに関するワークショップ ETNET2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 長田大樹, 八巻隼人, 三輪忍, 本多弘樹, 五島正裕
2. 発表標題 最長一致検索に対応する非TCAMキャッシュによるルータ宛先検索の高速化・省電力化
3. 学会等名 組込み技術とネットワークに関するワークショップ ETNET2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 平野愁也, 八巻隼人, 三輪忍, 本多弘樹
2. 発表標題 リンク集約におけるトラフィック負荷分散方式の検討
3. 学会等名 組込み技術とネットワークに関するワークショップ ETNET2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 荒巻慎太郎, 田中京介, 八巻隼人, 三輪忍, 本多弘樹
2. 発表標題 In-band Network Telemetryによるリンク混雑度に応じたマルチパス経路制御
3. 学会等名 電子情報通信学会NS研究会2022年5月研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤翔, 荒巻慎太郎, 八巻隼人, 三輪忍, 本多弘樹
2. 発表標題 マルチパスルーティングにおけるINTを応用した帯域要求量ベースの動的トラフィック分散
3. 学会等名 情報処理学会IOT研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大河原幸哉, 八巻隼人, 三輪忍, 本多弘樹
2. 発表標題 IP網におけるIn-networkコンテンツキャッシュ
3. 学会等名 情報処理学会IOT研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小倉快将, 八巻隼人, 三輪忍, 本多弘樹
2. 発表標題 検査対象の種類ごとに特化したSnortを複数用いたソフトウェア侵入検知システムの並列化
3. 学会等名 情報処理学会ARC研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 八巻隼人, 三輪忍, 本多弘樹
2. 発表標題 処理性能の異なる機器を複数台用いた並列NIDSに対するロードバランサ
3. 学会等名 電子情報通信学会CPSY研究会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------