

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月30日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22500072

研究課題名（和文） 分散仮想マルチポイントスイッチング技術の研究

研究課題名（英文） Research on Distributed Virtual Multi-point Switching Technology

研究代表者

廣津 登志夫 (HIROTSU TOSHIO)

法政大学・情報科学部・教授

研究者番号：10378268

研究成果の概要（和文）：本研究では VLAN などの仮想化ネットワーク基盤を対象として、ネットワーク内の複数の点で通信の中継（ルーティング）を行うマルチポイントスイッチング技術を提案した。これにより、中継点を仮想化レイヤのトポロジを考慮して動的に配置することで、仮想化されたネットワーク資源を有効かつ効率的に利用する、仮想化通信制御の基礎技術を創出した。

研究成果の概要（英文）：In this research, we propose a multi-points switching technology for virtualized networks. The goal of our research enables an intelligent control on exchanging IP-layer traffic over multiple routing switches in parallel. The results of our research will be a basis of the efficient controls of virtualized networking.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：ネットワークアーキテクチャ、ネットワーク仮想化

1. 研究開始当初の背景

『ネットワーク仮想化技術』は単一の物理ネットワーク上に複数の論理的なネットワークを実現するもので、物理的な場所の制約を受けないネットワーク構築を可能にする。例えば、大学のキャンパス内の離れた部屋を単一論理ネットワークで接続することで、個々の研究室のために利便性と安全性を提供するといったことが可能になる。

しかし、この仮想化は上位層から透過である（見えない）ため、L2 や L3 の上に別の L2

が存在するといった形態が生じる。プロトコル階層は下位層ほど物理的な性質を反映するため、仮想化により物理構造と論理構造が乖離すると、論理ネットワークの中継点（ルーティングポイント）の配置によってはネットワーク全体の効率が低下する。例えば、図1のような仮想ネットワークは、4台のスイッチ(SW-C, SW-E1, SW-E2, SW-E3)で構成された一つの物理ネットワーク上に、3つの仮想LAN(VLAN A, VLAN B, VLAN C)があり、VLAN Aのトラフィックの中継がSW-E1

で行われている。この場合、A-E1 と B-E1

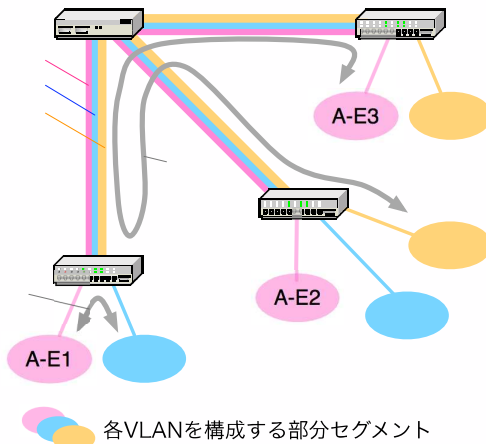


図 1 仮想化ネットワークの例

の間の通信は効率的であるが(図中矢印 1)、A-E3 と C-E2 の間と同じデータリンクを 2 回流れ冗長が生じる(図中矢印 2)。しかし、SW-C にルータを設置すると、全てのネットワーク間の通信がスイッチ間の接続を複数回またぎ、さらに全体の効率低下を招くことになる。

このような問題が発生することは、既に国際会議でも報告されており、本研究代表者の以前の研究においても、実環境のトラフィック観測から 10%を越えるノードが冗長通信を発生しうることが明らかになっていた。

しかし、これを最適化するような制御は容易ではなく、前述の例に対しては(1)複数のスイッチを跨ぐ論理ネットワークのルータはコア(SW-C)に設置する、(2) コアを跨ぐような広域の仮想 LAN は構成しない、という運用上の対処しかできなかつた。前者はある程度の効率低下は諦めて運用の容易さを重視するもので、後者はネットワーク構成の自由度を諦めて、効率を確保するものである。

2. 研究の目的

大学や企業等の組織内の通信基盤では既に仮想化技術(仮想 LAN, VLAN)による複数ネットワークの統合的利用が標準的であり、ユーザの要求に応じた自由なネットワークの構成が可能である。しかし、これは TCP/IP に代表される現在の通信基盤ソフトウェアの開発時には想定されていなかった側面で、仮想化は TCP/IP の制御からは透過に扱われている。

しかし、今後のネットワーク基盤の発展のためには、仮想化のような新しい技術を前提とした上位レイヤの拡張・改良が必須である。本研究で目指しているのは、このネットワークにおける『仮想化機能の存在を意識した垂直方向のネットワークの制御』である。具体的には、状況に応じてネットワークの中のマルチポイントで通信の中継を行うマルチポ

イントスイッチング技術を実現することで、これにより仮想化ネットワークにおける効率の良い通信を可能とする通信制御基盤の実現を目指した。

3. 研究の方法

『仮想化機能を意識したネットワーク制御』のために、

- (1) 実際のネットワークトラフィックの観測と推定
- (2) トラフィック変動や仮想化リソース変動に適応する知的制御技術
- (3) L 2 と L 3 にまたがる仮想化トラフィックの中継制御技術

の三つの方向から研究を展開した。最初のトラフィック観測・推定では、昨今のネットワークやトラフィックの終端であるサーバ環境の仮想化を考慮して、物理環境上の実際のトラフィックを観測・推定する技術の研究を展開した。次の知的制御技術では、観測した情報をもとに中継制御やサーバ環境の配置制御技術の研究を展開した。最後の中継制御技術においては、当初 VRRP などのルータ冗長化技術の応用で制御手法の確立をすすめ、さらに OpenFlow による複数レイヤのトラフィック制御技術を用いた中継制御へと研究を展開した。

4. 研究成果

研究の方向毎に成果をまとめる。

(1) ネットワークトラフィックの観測・推定
ネットワークトラフィックの観測と推定については、従来までも行っていた LAN レベルでのトラフィックの観測に加えて、インターネットレベルのトラフィックの観測も行い、仮想化による様々なトラフィックへの影響を明らかにした。仮想化された環境では、従来の物理マシンに 1 インスタンスの OS が稼働する環境とことなり、仮想化に共存する他の OS 上のリソース負荷により通信性能に大きな影響が生じ、観測においては anomaly として現れることが明らかになった。また、小規模なプローブトラフィックの観測から大規模なデータトラフィックの様相を推定する技術を開発した。

(2) 変動に適応する知的制御技術

トラフィック変動に適応する制御の一つとして、各中継点のエージェントが中継トラフィックを PSO (Particle Swarm Optimization) により学習することで最適な中継点配置を求める手法を提案し、その効果を示した。ここでは、実トラフィックデータを元にして生成したモデルに対してシミュレーションで効果を示した。

また、トラフィックを生成するエンドノードの仮想化を考慮に入れるため、エンドノード

の仮想化における資源の最適配置技術の研究も行った。ここでは、実環境では仮想化された仮想マシンに対する仕様上の要求スペックよりも実際にある瞬間に消費している資源が少ないことから、リソース制限の厳しい状況での実消費リソースに応じた最適な仮想マシン配置が可能になった。この配置には複数のリソース状況を含むことができるため、トラフィックも制御の一つの軸として扱うことができる。また、この最適化処理を高速に実行するための技術として、最適化アルゴリズムのGPU実装をめざし、CUDAにおける最適化処理の高速化技術の研究も行った。

(3) 仮想化トラフィックの中継制御技術
中継制御技術については、それまでの研究で主たる問題の対象としていた通信リンク上の冗長トラフィックから、観測・制御の観点をスイッチの中継キャッシュのキャパシティに移行した。この観点の元で、リングトポロジにおける中継点制御を検証した。
また、当初 VRRP などのルータ冗長化制御プロトコルの応用として実現していた制御について、OpenFlowによる制御へと研究を展開した。OpenFlowはある意味でルータの中継機能のオープン化であり、観測や制御の意図を中継処理として実現することが可能となる。具体的には Fat-tree のような複雑な構造をもつ Multipath ネットワークにおいて、OpenFlow 制御によりネットワーク資源を有効に利用する技術を確立した。また、この制御を実際の LAN 環境/WAN 環境で運用することを目指して、OpenFlow のコントロールプレーンをデータプレーン上に実現するための基本的な制御手順が明らかになった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① Chunghan Lee, Hirotake Abe, Toshio Hirotsu, Kyoji Umemura, "Analytical Modeling of Network Throughput Prediction on the Internet," IEICE Transaction on Information and Systems (D), 査読有, Vol. E95-D, No. 12, 2012 年, pp. 2870-2878.
- ② 二川 潤、廣津 登志夫、雪田 修一, "縮退運転時のオーバコミットを抑制する小規模仮想化環境向け動的資源割当", 電子情報通信学会論文誌 D, 査読有, Vol. J95-D, No. 3, 2012 年, pp. 486-495.
- ③ ChungHan Lee, Hirotake Abe, Toshio Hirotsu, Kyoji Umemura, "Traffic Anomaly Analysis and Characteristics

on a Virtualized Network Testbed," IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, 査読有, Vol. E94-D, No. 12, 2011 年, pp. 2353-2361.

- ④ 廣津 登志夫, "LAN 仮想化技術", コンピュータソフトウェア, 査読有, Vol. 28, No. 2, 2011 年, pp. 31-40.
- ⑤ 高橋 謙輔, 阿部 洋丈, 廣津 登志夫, 菅原 俊治, "離散 PSO を用いた分散仮想ルータのための動的中継点制御", 人工知能学会論文誌, 査読有, Vol. 26, No. 1, 2011 年, pp. 25-33.

[学会発表] (計 15 件)

- ① Chunghan Lee, Hirotake Abe, Toshio Hirotsu and Kyoji Umemura, "Performance Implications of Task Scheduling by Predicting Network Throughput on the Internet," The 11th IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications (ISPA-13), 査読有, 2013 年 7 月 16 日~18 日, Melbourne, Australia, (Accepted).
- ② 橋本 直樹、廣津 登志夫, "OpenFlow 制御ネットワークの効率的な再構築手法の提案", 情報処理学会第 75 回全国大会, 4K-6, 査読無, 2013 年 3 月 6 日~8 日, 東北大学(宮城県).
- ③ 岡崎 雄太、廣津 登志夫, "OpenFlow による fat-tree ネットワークのマルチレイヤ経路制御", 情報処理学会第 75 回全国大会, 3L-10, 査読無, 2013 年 3 月 6 日~8 日, 東北大学(宮城県).
- ④ 津金 佳祐、廣津 登志夫, "LP ライブラリの GPU 高速化におけるデータ依存性の解析", 情報処理学会第 75 回全国大会, 2K-7, 査読無, 2013 年 3 月 6 日~8 日, 東北大学(宮城県).
- ⑤ Chunghan Lee, Hirotake Abe, Toshio Hirotsu and Kyoji Umemura, "Recent Empirical Evaluation of Aggregate Throughput using Parallel Transfers on the Internet," 情報処理学会コンピュータシステム・シンポジウム, 査読有, pp.53-58, 2012 年 12 月 6 日~7 日, 筑波大学(東京都).
- ⑥ Chunghan Lee, Hirotake Abe, Toshio Hirotsu, and Kyoji Umemura, "A Statistical Approach for Selecting Throughput Prediction Parameters on the Internet," 6th International Conference on Ubiquitous Information Technologies & Applications (CUTE 2011), pp. 37-40, 査読有, 2011 年 12 月 15 日~16 日, Seoul, Korea.
- ⑦ Chunghan Lee, Hirotake Abe, Toshio

- Hirotsu, and Kyoji Umemura, "Predicting Network Throughput for Grid Applications on Network Virtualization Areas," 1st Workshop on Network-Aware Data Management (NDM2011), pp.11-20, 査読有, 2011年11月14日, Seattle, USA.
- ⑧ Chunghan Lee, Hirotake Abe, Toshio Hirotsu, and Kyoji Umemura, "Estimating Traffic Anomalies for Throughput Prediction on Network Virtualization," 2nd Workshop on High Speed Network and Computing Environments (HSNCE 2011), pp. 267-273, 査読有, 2011年7月19日, Munich, Germany.
- ⑨ Kensuke Takahashi, Toshio Hirotsu and Toshiharu Sugawara, "Adaptive Routing Point Control in Virtualized Local Area Networks Using Particle Swarm Optimizations," Proceedings of the 23rd IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI 2011), pp. 352-360, 査読有, 2011年11月7日～9日, Boca Raton, USA.
- ⑩ Chunghan Lee, Hirotake Abe, Toshio Hirotsu, and Kyoji Umemura, "Internet Traffic Characteristics of Virtual Machine on Amazon EC2," 情報処理学会研究報告(OS), 2011-OS-117, 査読無, 2011年4月13日～14日, 沖縄県立博物館(沖縄県).
- ⑪ Toshio Hirotsu, Kensuke Fukuda, Hirotake Abe, Satoshi Kurihara, Osamu Akashi and Toshiharu Sugawara, "Dynamic and Distributed Routing Control for Virtualized Local Area Networks," Proceedings of The 35th IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN 2010), pp. 212-215, 査読有, 2010年10月11日～14日, Denver, USA.
- ⑫ Chunghan Lee, Hirotake Abe, Toshio Hirotsu and Kyoji Umemura, "A PCA Analysis for Traffic Anomaly Estimation," インターネットカンファレンス 2010 (IC2010), pp.93-98, 査読有, 2010年10月25日～26日, 東京大学(東京都).
- ⑬ Chunghan Lee, Hirotake Abe, Toshio Hirotsu, Kyoji Umemura, "Analysis of Anomalies on a Virtualized Network Testbed," 2010 IEEE International Conference on Computer and Information Technology (CIT 2010), pp.297-304, 査読有, 2010年6月29日

～7月1日, Bradford, UK.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

廣津 登志夫 (HIROTSU TOSHIO)
法政大学・情報科学部・教授
研究者番号：10378268

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

菅原 俊治 (SUGAWARA TOSHIHARU)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号：70396133
福田 健介 (FUKUDA KENSUKE)
国立情報学研究所・アーキテクチャ科学研究系・准教授
研究者番号：90435503