

令和 5 年 5 月 29 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K11948

研究課題名(和文) 新陳代謝型通信ネットワーク技術の研究

研究課題名(英文) Research on Metabolic Communication Networking Technology

研究代表者

村山 純一 (Murayama, Junichi)

東海大学・情報通信学部・教授

研究者番号：10723702

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000 円

研究成果の概要(和文)：本研究の成果は、ルータを動作させながら、その内部ソフトウェアを初期化する技術を実現したことである。通信継続中に、ルータの内部ソフトウェアに潜伏する検知困難なマルウェアを駆除する効果が期待される。

この技術の特徴は、コンピュータの仮想化技術を適用して、ソフトウェア初期化とルータ冗長化の組み合わせを実現したことである。ルータ内部には、仮想化したルータ機能を冗長配置する。これらの仮想ルータは、生成/通信動作/消去と状態を遷移させる。また、通信動作中の仮想ルータは、生成直後の仮想ルータと無瞬断で切り替えられる。各仮想ルータを新陳代謝(繰り返し生成/消滅)させることで、マルウェアを効果的に駆除できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、「検知困難な潜伏マルウェアを駆除する」というものである。

社会のサイバー化が進展する一方で、マルウェアを使用したサイバー攻撃も後を絶たない。マルウェア対策として、マルウェアを検知した上で、感染を未然に防ぐあるいは感染後に駆除するという従来の対策は欠かせない。

一方で、攻撃技術の進化で検知を回避するマルウェアも増えている。このようなマルウェアに対しても、検知が可能になるまでの期間中、暫定的な対策でその被害を軽減することが要求される。

本研究の成果は、このような要求に応えるものである。マルウェアの感染自体は防げないが、感染後の速やかな駆除を実現することで、被害の軽減効果が期待される。

研究成果の概要(英文)：The research result has enabled telecommunication continuity during router initialization in a router network. This achieves erasure of hard-to-detect malware, which infects router software, from routers without disrupting telecommunication. Its major feature is combining router-software initialization with redundant router configuration by means of applying computer virtualization technology. Specifically, a physical router is redundantly configured with multiple virtual routers. Additionally, each virtual router is first created, then activated, and finally erased. Furthermore, the active virtual router is replaced with the newly created virtual router without interrupting telecommunication. As the result, malware can be effectively erased from a hardware router by means of metabolizing (creating/erasing repeatedly) its internal virtual routers.

研究分野：情報通信ネットワーク工学

キーワード：通信ネットワーク 仮想ネットワーク ネットワーク切り替え 仮想ルータ ルータ切り替え ソフトウェア初期化 マルウェア パケット転送テーブル改竄

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初から現在に至るまで、社会基盤化された情報通信ネットワークにおいて、マルウェアを使用した標的型攻撃が深刻化している。標的の多くはネットワークを終端するサーバであるが、ネットワーク内のパケット転送機器であるルータも標的にされる可能性が懸念される。ルータにマルウェアが感染すると、パケット転送テーブルが不正に改竄される恐れがある。この結果、多数のサービス利用者が、フィッシング詐欺や盗聴などの被害に遭うことになり、その社会的な被害は甚大になると予想される。

標的型攻撃のマルウェアは、標的以外には拡散しないため、解析用のマルウェア検体が不足する傾向にある。結果として、このようなマルウェアは、セキュリティソフトウェアを利用しても、検知や駆除が難しい。併せて、プログラムコードの難読化技術の進展により、マルウェアの検知がさらに難しくなり、その駆除も同様に難しくなると予想される。

研究開始当初でも、社会の高度情報化がさらに進展していくことが予想されており、このようなセキュリティ問題に対する対策の強化が急務となっていた。このような背景から、例えば「ネットワーク内部のルータにおいて、どうやって検知できないマルウェアを駆除するのか？」といった問いに応えるための技術的な道筋を付けておく必要があった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、究極的には、上述の背景に照らし合わせて、情報通信ネットワークに潜伏する検知困難なマルウェアを駆除する技術を実現することである。この難問を解決する糸口として、ネットワークを構成するルータのソフトウェアを定期的に初期化することに着目する。このようなアプローチにより、たとえ検知できないマルウェアであっても、結果的に駆除できる。しかし、単純にルータのソフトウェアを初期化すると、その間、パケット通信が中断する。社会基盤化された情報通信ネットワークにおいて、通信を中断させることは許容し難い。

そこで本研究では、近年進展の著しい仮想ルータ技術および仮想ネットワーク技術を活用することで、初期化に関わるオーバーヘッドを軽減することを試みる。また、この特徴を活かして、従来は事後対処的に行われていた初期化処理を、予防対処的に行えるようにすることを目指す。具体的には、ルータ・ソフトウェアの初期化処理とパケット通信の継続を両立させることで、計画的かつ定期的にソフトウェアを初期化する技術を実現することを本研究の目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、ルータのソフトウェア初期化とパケット通信の継続を両立させるアプローチとして、図3-1に示すような「新陳代謝型ネットワークアーキテクチャ」と称する新たなネットワークアーキテクチャを設計する。特徴は次の3点である。

- ・プロバイダネットワークを複数の仮想ネットワークで冗長に構成
- ・各仮想ネットワークを定期的に生成・稼働・消去
- ・稼働中の仮想ネットワークは、新規生成された仮想ネットワークへ、無瞬断で切り替え

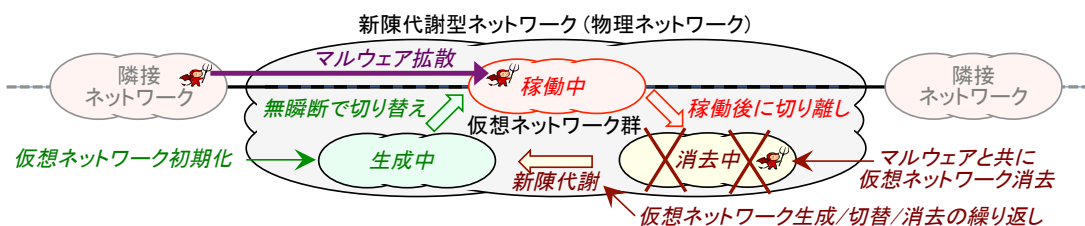


図3-1：新陳代謝型ネットワークの概要

多数の仮想ネットワークをソフトウェア的に構築し、これらを計画的に生成・稼働・消去させることで、潜伏するマルウェアを駆除する機会を増やす。この際、ネットワーク間での無瞬断切り替え技術を応用することで、パケット通信の中断を防止する。

ネットワークを仮想化することで、その生成・稼働・消去あるいは初期化への障壁も低減できると予想される。そこで、仮想ネットワークをあたかも生体の細胞のように見立て、新陳代謝的に置換していくことで、ネットワーク全体を常にマルウェアに汚染されていない衛生的な状態に保つことを狙う。具体的には、以下に示す4つの技術課題の解決を中心に研究を進める。

(1) 仮想ネットワークの割り当て形態の研究

仮想ネットワークを逐次的に生成・稼働・消去するような仮想ネットワーク割り当て形態で、ネットワーク構成を冗長化する。仮想ネットワークの予防的な切り替えを半永久的に繰り返すことで、検知困難なマルウェアを駆除する。一般的に普及している自律的な切り替え方式では、故障を契機とした切り替え時に通信の切断が発生する。一方、復旧時の切り戻し時には無瞬断

での切り替えが可能である。しかし、復旧時の切り戻し切り替えは、単発的な切り替えを想定しているため、この切り替えを単純に繰り返すことはできない。そこで、無瞬断切り替えと半永久的な繰り返し切り替えを両立させられるように、自律的な制御に集中的な制御を組み合わせ、この問題を解決する。

(2) 異種の仮想ネットワーク割り当て手法の研究

仮想ネットワークを切り替えても、再び同種のマルウェアに繰り返し感染する可能性が懸念される。そこで、マルウェアがソフトウェア固有の脆弱性を突いて感染するという特徴に着目し、異なるソフトウェア構造の仮想ネットワークへ切り替えることでこの問題を解決する。この際、マルチベンダ化を目的に標準化された故障切り替えプロトコルを活用して、ソフトウェア異種化が仮想ネットワーク切り替え機構に与える影響を最小限に留めるように留意する。

(3) 仮想ネットワークの生成・消滅順序の研究

ネットワークを構成する各ルータをそれぞれ任意のタイミングで新陳代謝/初期化すると、マルウェアの拡散タイミングによっては、マルウェアがルータ間を拡散移動しながらネットワーク内に残留し続ける可能性が懸念される。しかし、多数のルータの新陳代謝/初期化タイミングを同期させることも簡単ではない。そこで、ネットワークを仮想化し、仮想ネットワーク単位に新陳代謝/初期化することで、この問題を解決する。

(4) 仮想ネットワーク消滅時の情報保持手法の研究

仮想ネットワークがルーティングプロトコル等により動的に更新されるパケット転送経路情報を保有する場合、この情報が仮想ネットワークの切り替えによって消失することが懸念される。そこで、パケット転送機能と経路計算機能を分離・独立させ、動的経路情報を維持しながら、パケット転送機能のみを切り替えていくことでこの問題を解決する。この際、経路計算機能のマルウェア感染機会を最少化できるように留意する。

4. 研究成果

本研究の成果を、前節で掲げた4つの技術課題に即して説明する。

(1) 仮想ネットワークの割り当て形態の研究

ソフトウェアの初期化処理とパケット通信処理の継続を両立させるため、ネットワークを構成する各ルータを、仮想ルータ技術の適用で冗長化した[1-1]。このような冗長構成で、仮想ルータの無瞬断切り替えを定期的かつ半永久的に繰り返すための制御方式を設計した[1-2][1-3]。また、その方式の動作を実験で検証した[1-4]。これらの成果は以下の通りに発表している。

[1-1] 宮岡 他, 「標的型攻撃としての仮想ルータ更新方式」, 信学ソ大, B-7-9, 2019.

[1-2] 宮岡 他, 「繰り返し型の仮想ルータ無瞬断切り替え方式」, 信学技報, IN2019-92, 2020.

[1-3] Y. Miyaoka, et.al., “A repetitive router-switching scheme for achieving a metabolic router,” ICETC 2020, D1-2, 2020.

[1-4] Y. Suga, et.al., “Experiment on repetitive router exchanging for router metabolism,” ICETC2022, 06-5, 2022.

具体的な内容は以下の通りである。仮想ルータの無瞬断切り替えは、図4-1に示すように、既存の VRRP (Virtual Router Redundancy Protocol) 技術をベースにして実現した。この VRRP では、待機ルータの稼働優先値を稼働ルータより高く設定することで、自律的な無瞬断切り替えを駆動できる。しかし、このような切り替えを繰り返すと、稼働優先値が上限に達してしまい、その後は、自律的な無瞬断切り替えを駆動できなくなる。

この問題を解決するために、稼働仮想ルータおよび待機仮想ルータを集中的に制御するコントローラをルータ内に設置し、各仮想ルータの稼働優先値を動的に制御する方式を設計した。これにより、各仮想ルータにおける稼働優先値の飽和が防止され、無瞬断切り替えを半永久的に繰り返せるようになった。検証実験では、この方式の動作を確認すると共に、仮想ルータの切り替えにより、ルータ内に擬似的に潜伏させたマルウェアを駆除できることも確認した。

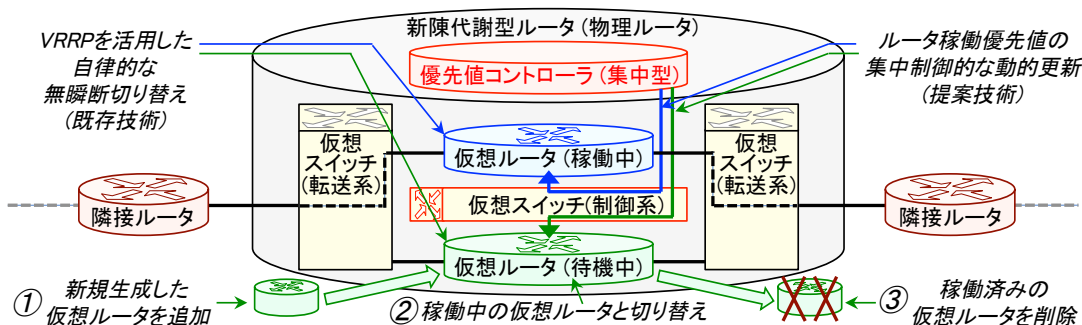


図4-1：仮想ルータの無瞬断切り替え制御の繰り返し技術の概要

これらの検討により、仮想ルータの無瞬断切り替えを半永久的に繰り返えせるような、仮想ルータ割り当て形態を明らかにした。また、後述(3)の仮想エッジルータ切り替え方式を組み合わせ、ルータ単位の制御をネットワーク単位の制御へ拡張することで、仮想ネットワーク割り当て形態についても同様に明らかにした。

(2) 異種の仮想ネットワーク割り当て手法の研究

仮想ネットワークの切り替え後に、再び同種のマルウェアに繰り返し感染することを防ぐため、異なるソフトウェア構造の仮想ネットワークへ切り替える制御方式を設計した[2-1]。また、その方式の動作を実験で検証した[2-2]。これらの成果は以下の通りに発表している。

[2-1] R. Ishioka, et.al., “A router metabolizing scheme using heterogeneous virtual routers,” ICETC 2021, C3-5, 2021.

[2-2] R. Ishioka, et.al., “Experiment on repetitive exchanging of heterogeneous routers for router metabolism,” ICETC2022, 06-4, 2022.

具体的な内容は以下の通りである。仮想ルータ切り替え機能のベースに適用した VRRP は業界標準であるため、自律的な切り替え機能については、マルチベンダ化に対応している。一方で、ルータの稼働優先値を設定する際のルータオペレーション方法はベンダ毎あるいはルータ種別毎に異なっている。

この問題を解決するため、図 4-2 に示すように、コマンド翻訳機能をコントローラ内に装備し、ルータ制御のコマンド差異を吸収する方式を設計した。これにより、異種の仮想ルータへのコントローラからの集中的かつ統一的な制御を可能にした。検証実験では、この制御方式の動作を確認すると共に、切り替え前の仮想ルータを制御できた擬似的なマルウェアが、同じ制御コマンドを使用しても、切り替え後の異種ソフトウェアの仮想ルータを制御できないことを確認した。

これらの検討により、異種の仮想ルータ

割り当て手法を明らかにした。また、後述(3)の仮想エッジルータ切り替え方式を組み合わせ、ルータ単位の制御をネットワーク単位の制御へ拡張することで、異種の仮想ネットワーク割り当て手法についても同様に明らかにした。

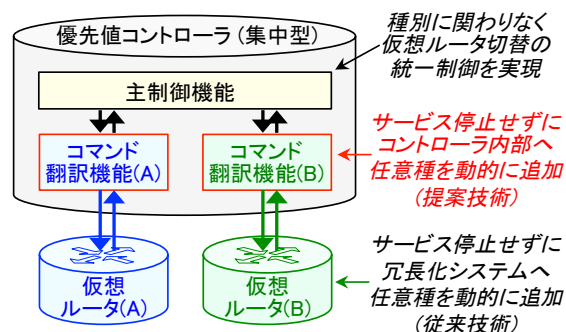


図 4-2：異種仮想ルータの集中制御技術の概要

(3) 仮想ネットワークの生成・消滅順序の研究

仮想ルータ切り替え方式をエッジルータへ応用して、仮想ネットワーク単位の切り替えを行う方式に拡張した[3-1]。また、仮想ネットワーク切り替えと並行して、エッジルータ内部で仮想エッジルータも切り替える方式を設計した[3-2][3-3]。さらに、これらの仮想ネットワーク切り替えと仮想エッジルータ切り替えを同期させる方式を設計した[3-4]。これらの成果は以下の通りに発表している。

[3-1] 田村 他, 「新陳代謝型ネットワークを実現するための仮想ネットワーク置換方式」, 信学技報, IN2020-24, 2020.

[3-2] 宮岡 他, 「新陳代謝型ネットワークを実現するための仮想エッジルータ置換方式」, 信学技報, IN2020-25, 2020.

[3-3] K. Yoda, et.al., “A repetitive network switching scheme without packet forwarding interruption for achieving a metabolic network,” ICETC 2020, D2-3, 2020.

[3-4] Y. Tamura, et.al., “Designing a metabolic edge router for a metabolic network,” ICETC 2021, C3-4, 2021.

具体的な内容は以下の通りである。ネットワークを構成する各ルータをそれぞれ任意のタイミングで新陳代謝/初期化すると、マルウェアの拡散タイミングによっては、マルウェアがルータ間を拡散移動しながらネットワーク内に残留し続ける可能性が懸念される。

この問題を解決するために、ネットワークを仮想ネットワーク技術で冗長化して、仮想ネットワーク単位に新陳代謝/初期化する方式を設計した。この方式では、図 4-3 に示すように、エッジルータが、各仮想ネットワークを終端する仮想エッジルータを収容し、これらの仮想エッジルータを切り替えることで、仮想ネットワーク単位での切り替えを実現する。この際、上りと下りのパケット転送経路の切り替えには、時間幅を持たせる必要がある。これは、ネットワークを介したパケット転送には遅延が生じるためである。しかし、遅延パケットを転送すると隣接ルータの ARP (Address Resolution Protocol) 情報が不適切に更新されるため、ARP 情報由来の仮想エッジルータ切り替えが不安定になる。そこで、仮想エッジルータの物理アドレスと仮想アドレスを併用したパケット転送方式を設計することで、この問題を解決した。

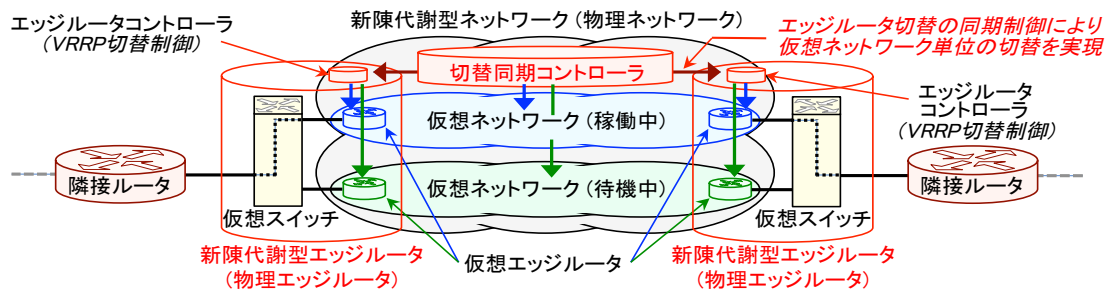


図 4-3：仮想ネットワークの無瞬断切り替えの繰り返し制御技術の概要

これらの検討により、ネットワーク内部のルータ単位の生成・消滅順序を意識することなく、仮想ネットワーク単位に生成・消滅順序を制御する手法を明らかにした。

(4) 仮想ネットワーク消滅時の情報保持手法の研究

仮想ルータが切り替わる際に、動的に更新されるパケット転送経路情報が失われないようにするために、仮想ルータから動的経路計算機能を分離・独立させることとした[4-1]。また、その動作方式を設計した[4-2][4-3]。これらの成果は以下の通りに発表している。

[4-1] 田村 他, 「仮想ルータ更新時の動的経路情報の継承方式」, 信学ソ大, B-7-10, 2019.

[4-2] 田村 他, 「仮想ルータの逐次更新を実現するための動的経路情報の継承方式」, 信学技報, IN2019-93, 2020.

[4-3] Y. Tamura, et.al., “A route inheriting scheme for maintaining dynamic routes cleanly in a metabolic router,” ICETC 2020, D1-3, 2020.

具体的な内容は以下の通りである。インターネット内では、ルータ同士が自律的にルーティングプロトコルを使用してパケット転送経路情報を交換している。また、交換した情報から各ルータが自身のパケット転送テーブルに設定すべき経路情報を計算・設定している。この経路情報は時間の経過に伴い動的に更新される。ルータ内部で、稼働仮想ルータを不用意に切り替えてしまうと、この経路情報が消失してしまう。

この問題を解決するために、稼働仮想ルータおよび待機仮想ルータが保有すべき動的経路計算機能を、図 4-4 に示すように、仮想ルータから切り離してルータ内のルートサーバへ集中的に機能配備した。このルートサーバは、稼働仮想ルータに代わってルーティングプロトコルを使用して隣接ルータとパケット転送経路情報の交換を行う。また、パケット転送経路情報が更新される度に、更新情報を各仮想ルータのパケット転送テーブルに動的に反映させる。待機仮想ルータが冗長化システムに新規追加された場合には、初期設定として全パケット転送経路情報を一括で反映させる。各仮想ルータ内のパケット転送経路情報を同期させることで、仮想ルータを任意のタイミングで支障なく切り替えることが可能となる。

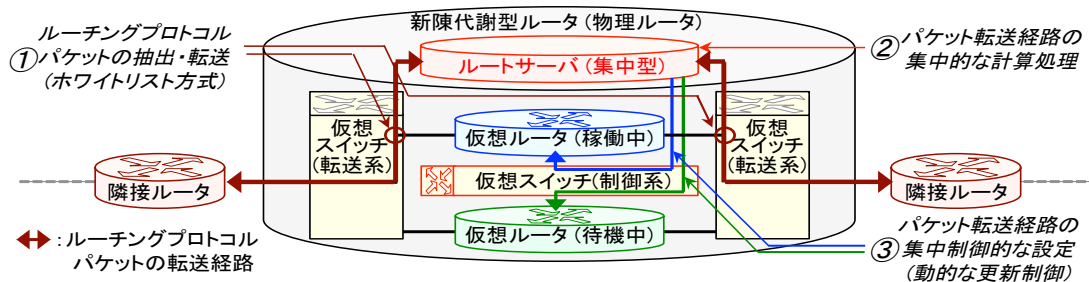


図 4-4：仮想ルータ切り替え時の動的パケット転送経路情報の継承技術の概要

ルータ内では、ルートサーバを仮想ルータから隔離することで、ルートサーバへのマルウェア感染を防止する。具体的には、外部から送られてくるパケットについて、ルーティングプロトコルパケットのみを選択的にルートサーバへ届け、その他のパケットについては全て仮想ルータで処理する。また、仮想ルータからルートサーバへの能動的な制御コマンドは受け付けない。

これらの検討により、仮想ルータ消滅時の情報保持手法を明らかにした。また、この手法を外部ネットワークへの経路情報を扱うエッジルータに対して応用することで、仮想ネットワーク消滅時の情報保持手法も明らかにした。

本研究の結論は次の通りである。基本的なマルウェア対策として、従来の検知ベースの対策は欠かせない。一方、検知回避するマルウェアに対しては、検知ベースの対策が可能になるまでの間、暫定的な対策が必要となる。このような対策として、検知困難な潜伏マルウェアを定期的に駆除する本技術は、予期せぬ被害の拡大を抑制する観点から有効と言える。なお、一連の実験では、ソフトウェアルータ（仮想ルータ）のパケット転送性能不足が顕著であった。そこで、今後は、本技術をハードウェアルータでも実現できるように発展させることを目指す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 7件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 R. Ishioka, Y. Suga, and J. Murayama	4. 巻 Session 06
2. 論文標題 Experiment on repetitive exchanging of heterogeneous routers for router metabolism	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2022 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC 2022)	6. 最初と最後の頁 C6-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.34385/proc.72.06-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 —

1. 著者名 Y. Suga, R. Ishioka, and J. Murayama	4. 巻 Session 06
2. 論文標題 Experiment on repetitive router exchanging for router metabolism	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2022 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC 2022)	6. 最初と最後の頁 C6-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.34385/proc.72.06-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 —

1. 著者名 Rei Ishioka, Yu Tamura, and Junichi Murayama	4. 巻 Session C3
2. 論文標題 A router metabolizing scheme using heterogeneous virtual routers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2021 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC2021)	6. 最初と最後の頁 C3-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.34385/proc.68.C3-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 —

1. 著者名 Yu Tamura, Rei Ishioka, and Junichi Murayama	4. 巻 Session C3
2. 論文標題 Designing a metabolic edge router for a metabolic network	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2021 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC2021)	6. 最初と最後の頁 C3-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.34385/proc.68.C3-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 —

1. 著者名 Yuta Miyaoka, Yu Tamura, and Junichi Murayama	4. 巻 Session D1
2. 論文標題 A repetitive router-switching scheme for achieving a metabolic router	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 2020 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC2020)	6. 最初と最後の頁 D1-2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.34385/proc.63.D1-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 —

1. 著者名 Yu Tamura, Yuta Miyaoka, and Junichi Murayama	4. 巻 Session D1
2. 論文標題 A route inheriting scheme for maintaining dynamic routes cleanly in a metabolic router	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 2020 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC2020)	6. 最初と最後の頁 D1-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.34385/proc.63.D1-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 —

1. 著者名 Kosei Yoda, Yu Tamura, Yuta Miyaoka, and Junichi Murayama	4. 巻 Session D2
2. 論文標題 A repetitive network switching scheme without packet forwarding interruption for achieving a metabolic network	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 2020 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC2020)	6. 最初と最後の頁 D2-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.34385/proc.63.D2-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 —

1. 著者名 宮岡 祐太、田村 悠、村山 純一	4. 巻 Vol. 120, No. 163
2. 論文標題 新陳代謝型ネットワークを実現するための仮想エッジルータ置換方式	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会 技術研究報告 (情報ネットワーク研究会)	6. 最初と最後の頁 pp. 19-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 —

1. 著者名 田村 悠、宮岡 祐太、村山 純一	4. 巻 Vol. 120, No. 163
2. 論文標題 新陳代謝型ネットワークを実現するための仮想ネットワーク置換方式	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会 技術研究報告（情報ネットワーク研究会）	6. 最初と最後の頁 pp. 13-18
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 —

1. 著者名 宮岡 祐太、 田村 悠、 村山 純一	4. 巻 2019年
2. 論文標題 標的型攻撃としての仮想ルータ更新方式	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集（通信ソサイエティ）	6. 最初と最後の頁 B-7-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 —

1. 著者名 田村 悠、 宮岡 祐太、 村山 純一	4. 巻 2019年
2. 論文標題 仮想ルータ更新時の動的経路情報の継承方式	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集（通信ソサイエティ）	6. 最初と最後の頁 B-7-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 —

1. 著者名 宮岡 祐太、 田村 悠、 村山 純一	4. 巻 Vol.19 No.461
2. 論文標題 繰り返し型の仮想ルータ無瞬断切り替え方式	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会 技術研究報告（情報ネットワーク研究会）	6. 最初と最後の頁 pp. 97 - 102
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 —

1. 著者名 田村 悠、 宮岡 祐太、 村山 純一	4. 巻 Vol.19 No.461
2. 論文標題 仮想ルータの逐次更新を実現するための動的経路情報の継承方式	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会 技術研究報告（情報ネットワーク研究会）	6. 最初と最後の頁 pp. 103 - 108
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 —

1. 著者名 石岡 怜、広瀬 春土、村山 純一	4. 巻 Vol. 123 No. 51
2. 論文標題 新陳代謝型ルータ内におけるマルウェア感染拡大の抑制方式の設計	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 電子情報通信学会 技術研究報告（情報ネットワーク研究会）	6. 最初と最後の頁 pp. 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 —

〔学会発表〕 計0件

〔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
---------	---------