

クラウドコンピューティング基盤の構築と運用

WIDE クラウドワーキンググループ

1 クラウドワーキンググループの活動

クラウドワーキンググループは先進的な広域クラウド運用技術の研究開発基盤として2010年1月に設立された。WIDE ネットワークのバックボーンを利用した広域ネットワーク上に分散的に計算資源、ストレージ資源を配置することで、高遅延、低帯域環境におけるクラウド運用の課題の解決に取り組んできた。現在多くの商用クラウドサービスが提供されており、ネットワークのサービスは仮想計算機ベースのものからコンテナベースのものに移行しつつある。クラウドワーキンググループここに一定の成果を収めたと判断し、その活動を完了することとした。

本報告書では、これまでのクラウドワーキンググループの成果の中からインパクトのあったものを取り上げその概要を紹介する。

2 活動成果

2.1 WIDE Cloud Controller

2010年当時、すでにAmazonによるEC2サービスが開始されていたものの、クラウド基盤自体を研究対象とした仕組みは存在しなかった。クラウドワーキンググループは、まず研究者が実際に手を入れることができるクラウド基盤の構築、その管理のためのインターフェース、さらにWIDE研究者が自由に利用できる仮想計算機基盤サービスの提供母体としてWIDEクラウドの開発と運用を開始した。仮想計算機を提供するハイパーバイザーは、東京大学、奈良先端科学技術大学院大学、北陸先端科学技術大学院大学、国立保健医療科学院、JGN(超高速

研究開発ネットワークテストベッド)*¹、および慶應義塾大学に配置された。ストレージ資源は東京大学、北陸先端科学技術大学院大学、奈良先端科学技術大学院大学に大規模なNFSサーバーを配置、また必要に応じてローカルストレージを組み合わせて構成した。これらの計算機資源はWIDEバックボーンを利用した広域L2で相互接続された。また、管理インターフェースは関谷を中心に開発され、WIDE Cloud Controllerとしてオープンソース公開された*²。

2.2 IPv6前提のクラウド基盤におけるステートレスアドレス変換技術の運用

WIDEクラウドでは枯渇するIPv4環境の中でのクラウドサービス運用を検証するため、IPv6を基本としたネットワークで構成された。ただし、IPv4クライアントからクラウド内に構築されたサービスへアクセスする場合も長期間残ると考えられるため、IPv4-IPv6アドレス変換技術を実装、運用した。これらの成果は[1, 2, 3]に論文としてまとめられた。

WIDEクラウドで用いているIPv4-IPv6アドレス変換ソフトウェアmap646は島を中心に開発され、オープンソースとして公開された*³。

2.3 広域L2運用技術

WIDEクラウドはWIDEバックボーンによって相互に接続された遠隔拠点間を広域L2技術によって接続していた。高品質かつ安定した広域L2ネットワークを運用するため、LISPとVXLANを用いて広域L2ネットワークに複数のL3接続点を構築する技術を提案し、2012年3月に実施したWIDE

*¹ <https://testbed.nict.go.jp/jgn/index.html>

*² git://wcc-git.wide.ad.jp/WCC

*³ <https://github.com/keiichishima/map646>

プロジェクトの合宿研究会ネットワークにて実際に運用した [4]。本実験を基に、LISP と VXLAN によるユーザ定義ネットワークの構成および最適なトラフィック制御に関する研究開発を進め、その成果が [5, 6] に論文としてまとめられた。

上記活動を進めていた 2012 年頃、VXLAN はまだ発展途上の技術でありオープンソース、商用ベンダーを含めて積極的に相互接続テストが実施されていた。クラウドワーキンググループでは中村を中心に（我々の知る限りでは世界初の）Linux 用 VXLAN のユーザスペースオープンソース実装を開発、公開した*4。本実装は Linux の開発者が VXLAN ネットワークドライバを開発する際の相互接続対象としても利用され*5、その後の Linux での VXLAN 実装の安定化に貢献した。また、当時の BIGLOBE のサービスを構築する際の VXLAN 実装としても利用された*6。

また、LISP 実装に関しては上野を中心にオープンソース実装が開発、公開された*7。

2.4 動的拡張可能なストリーミング基盤としての広域クラウド活用技術

WIDE プロジェクトでは朝日放送、奈良先端科学技術大学院大学、NTT スマートコネクと連携して全国高校野球選手権大会（甲子園）のインターネット配信を実施していた。WIDE クラウドの仮想計算機資源を活用し、スポーツ大会などの期間限定ではあるが大規模なストリーミングサービスのサーバー資源を動的に配置し、スムーズなサービス提供を実現する技術開発にも取り組み、その成果を [7, 8, 9] にプロジェクト研究報告書および論文としてまとめた。

2.5 仮想計算機ネットワークマイグレーション技術

広域ネットワークにおけるクラウド運用において、拠点に依存した IP アドレス空間を利用した

仮想計算機のマイグレーションは大きな課題だった。仮想計算機が別の拠点に移動すると IP アドレスへの到達性がなくなるため、サービスを継続できなくなる。この問題を解決するために、IETF の Network Mobility Working Group で仕様策定されていた RFC3963: Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol を活用した仮想計算機移動技術を開発した。本技術には、WIDE プロジェクトの USAGI ワーキンググループで開発された Linux 用 NEMO プロトコルスタックを活用した。本実験運用は [10] の成果を基にしている。また、本研究開発の成果は [11, 7] にまとめられた。

2.6 狭帯域ネットワークにおけるブロックストレージマイグレーション実験

広域ネットワーク内で仮想計算機の移動を考慮する際に最も大きな課題となるのがストレージの移動である。クラウドワーキンググループでは、ストレージマイグレーションの可能性を検証するため、2011 年 3 月に三重県で開催された WIDE 合宿研究会にて、1.5Mbps の ADSL 回線で接続された研究会会場へ WIDE クラウドのコアネットワークに配置された仮想計算機群を移動させる実験を実施した。ストレージ全体を移動するのではなく、差分のみを移動する技術を活用したものの、上記環境ではおよそ 500MB の差分ストレージに対して 1 時間程度の移動時間がかかることとなり、技術的に実現可能であるものの、実運用は難しいという結果を得られた。本成果は WIDE プロジェクト 2011 年報告書 [8] にまとめられた。

2.7 分散ファイルシステムの評価

広域ネットワークにおける仮想計算機ストレージのマイグレーション問題に関して、元々分散環境での運用が想定されている分散ファイルシステムの活用を目標に、既存の分散ファイルシステムの評価を実施した。対象とした分散ファイルシステムは研究当時広く認知され、実装が存在した Ceph*8、

*4 <https://github.com/upa/vxlan>

*5 <https://www.spinics.net/lists/netdev/msg211564.html>

*6 https://mpls.jp/2012/presentations/mpls2012_biglobe.pdf

*7 <https://github.com/edenden/lix>

*8 <https://www.redhat.com/en/technologies/storage/ceph>

Sheepdog^{*9}、GlusterFS^{*10}、XtreemeFS^{*11}の4つである。Sheepdogはすでに開発が停止している模様であるが、他の3つについては現在でも積極的に開発が継続されている。評価の結果、書き込み性能に関してはSheepdogが、読み出し性能に関してはGlusterFSとXtreemeFSが他よりも高い性能を示すことが確認された。Cephに関しては、性能的には他のシステムよりも劣るものの、仮想計算機単位での性能の揺らぎが少なく、安定した結果を示した。本研究活動は[12]にポスター論文としてまとめられた。より詳しい内容は[13]から参照できる。

2.8 GlusterFSを用いた仮想計算機用ストレージ運用実験

クラウドワーキンググループでは仮想計算機用ストレージとしてNFSを用いていた。本研究では、もともと分散ファイルシステムとして設計されているGlusterFSを仮想計算機用ストレージとして利用する実験運用を実施した。GlusterFSのノードは東京大学、北陸先端科学技術大学院大学、JGN大阪NOC、JGN岡山NOCのノードを利用し、東西2クラスタ、各クラスタで2重化となる形で構成、高可用性の実現を目指した。本研究の報告は[14]にまとめられている。運用の結果、GlusterFSは書き込み速度に課題があることが検証された。これは広域ネットワークで遠方に配置された分散ストレージへの同期書き込みに負荷がかかるためである。もともとGlusterFSは高遅延、狭帯域な広域ネットワーク向けに実装されているものではないため、仮想計算機基盤に特化した分散ストレージシステムの必要性を認識できた。

2.9 仮想計算機管理 MIB の標準化

多数のハイパーバイザーを運用し、それぞれのハイパーバイザーに複数の仮想計算機が作成運用される状況が一般的になる中、仮想計算機の情報を管理するための統一した枠組みが求められていた。クラウドワーキンググループでは、2012

年にIETFのOperations and Management Area Working Groupで仮想計算機管理MIBの原案を提案、2015年にRFC7666: Management Information Base for Virtual Machines Controlled by a Hypervisor[15]として標準化を完了した。本MIBを実装することにより、統一的な方法でハイパーバイザーの情報や仮想計算機の一覧、またハイパーバイザー内の仮想計算機のCPU、メモリ、ディスク、ネットワーク資源の割当量や使用率をモニタリング可能となった。

2.10 SDN 技術を利用したクラウドネットワーク運用

クラウド上に様々なネットワークサービスが構築されるようになり、仮想計算機単体ではなく、複数の仮想計算機の連携やそのネットワーク構成を柔軟に構築できることが重要な課題とわかってきた。クラウドワーキンググループでは、Software Defined Networking (SDN) 技術を活用したネットワーク構成運用技術の研究開発に取り組んだ。この研究では、2011年に発表された、SDNの実装の一つであるOpenFlowを用いた仮想ネットワーク構成技術を仮想計算機運用に活用している。研究の成果は、その実用性を確認するためにINTEROP Tokyo^{*12} 2013で出展者向けに提供された展示会ネットワークShowNetで運用された。本活動の詳細な報告は[16]にまとめられている。

2.11 仮想計算機用分散ブロックストレージ技術

広域ネットワークにおける仮想計算機基盤の運用にあたり、ストレージ資源の管理運用が大きな課題であることはすでに述べた。この課題を踏まえ、仮想計算機基盤の運用に特化した、ブロックストレージ技術の研究開発を実施した。CephやSheepdogなど、分散ブロックストレージの実装はあったものの、これらのシステムは資源分散のために分散ハッシュなどの技術が採用されており、資源の実態をどう配置するのかを制御するのが困難だった。必ずしも制御可能である方が優れているというわけではないものの、仮想計算機基盤を運用するにあたって

^{*9} <https://sheepdog.github.io/sheepdog/>

^{*10} <https://www.redhat.com/en/technologies/storage/gluster>

^{*11} <http://www.xtreemfs.org>

^{*12} <https://interop.jp>

は、その基盤システムの運用や更新に伴って資源の配置を制御できる方が良い場合も多い。そのため、本研究では制御されたストレージ配置の実現を念頭に設計、プロトタイプを実装した。研究開発の成果は [17] に論文としてまとめられた。さらに、本技術を OpenStack と連携させるプロトタイプ実装も開発し、2014 年に開催された CloudOpen Europe にて発表している [18]。本研究の過程で開発したソフトウェアはオープンソースとして公開している*¹³。

2.12 システムログの因果関係解析技術

大規模な基盤システムを運用する際、何か障害が発生した場合にその障害の原因を早期に発見できることが安定運用のための重要な鍵となる。クラウドワーキンググループでは小林を中心にシステムログメッセージの解析に取り組み、出力されるログメッセージから異常状態の原因を探る技術の開発に取り組んだ。小林による因果関係発見のための手法は [19] に修士論文としてまとめられている。小林の手法を WIDE クラウドのログメッセージに適用してみた結果は [20, 21] にまとめてある。

本手法は、元々はネットワークルータやスイッチなどのネットワーク機器から出力されるログメッセージを対象としたものであり、ログメッセージの内容がネットワーク制御に関連する文言であることが前提であったため、様々なサービスが動作するクラウド基盤から出力されるログメッセージの解析とは必ずしも相性が良くない。本報告書執筆時点では対象をネットワーク機器に限定し、継続研究中となっている。

2.13 ワードグラフを用いたログメッセージ変化点検知技術

ログメッセージの変化検知は、一般的にはログテンプレートと呼ばれるメッセージの雛形を手動もしくは自動的に定義し、テンプレートに合致するメッセージの出現頻度などを解析することで実施される。しかしながら、テンプレートの定義はそれ自体困難な問題であり、常に正確なテンプレートを定義できるとは限らない。そこで、本研究では、ログテ

ンプレートを定義することなく、機器から出力されたログメッセージをのちを利用して変化検知を試みた。時系列に生成されるログメッセージに共通に含まれる文字列を抜き出し、同じ文字列を含むログメッセージ間にリンクを作成してグラフを作成する。これにより、ログメッセージひとつひとつをノード、共通文字列を含むログメッセージ間をエッジとしたグラフを作成できる。このグラフを一定期間ごとに作成し、作成されたグラフをその期間のシステムの状態と定義した。各期間に作成されたグラフを比較することで、状態が変化したかどうかを判断したり、過去の類似した状態が発生していなかったかどうかを検出したりする。一般的に、システムが安定状態にある場合はほぼ同じ状態のグラフが生成され続けるため、グラフの変化を発見することで通常とは異なる状態の発生を識別できる。ただし、それが障害あるいは異常かどうかは別途判断する必要がある。本研究活動は [21] にて概要を報告している。

2.14 ログテンプレート生成技術の研究

システムログの解析を実施するにあたり、ログメッセージの固定部分と変数部分を特定し、テンプレートとなる文字列を発見することは重要な研究課題であり、これまでも多くの手法が提案されている。[19] においては強化学習を用いたテンプレート推定を用いていた。一般的に良質のテンプレートを作成するためにはログメッセージ全体を数回解析する必要があり、テンプレート生成自体に時間がかかったり、新しいテンプレートメッセージの発見が困難であるといった課題がある。ネットワークサービスが普及し、サービスの基盤が動的に更新されていくような環境が一般的になっている現在、テンプレートメッセージの発見も動的に対応できた方が望ましい。そこで、本研究では一定の精度を確保しつつ、1 パスでテンプレートメッセージを発見する技術開発に取り組んだ。ログメッセージはプログラマ的には C 言語の `printf()` 関数のように、事前に定義された文字列から生成されているケースがほとんどであるため、固定部の単語の長さは一定である確率が高い。そこで、本手法はログメッセージの単語

*¹³ <https://github.com/keiichishima/ukai>

数と次元数とし、各単語の長さを要素としたベクトルに変換し、コサイン類似度を用いてログメッセージの類似度を比較、テンプレートを生成する。本研究の内容は ArXiv にて公開している [22]。

2.15 スケールアウト可能なログ検索エンジンの設計と実装

大規模な基盤システムを運用する際、その状態の把握や障害発生時の情報収集のため、ログメッセージを収集しておくことが重要である。大規模システムでは大量のメッセージが発生するため、それらを高速に蓄積・検索できる必要がある。Hadoop などを用いた大規模データベースシステムは存在するものの、Hadoop 環境そのものの構築および運用はそれ自体がひとつの大規模分散システムであり、コストも発生する。本研究では、軽量化かつ高速検索が可能なログメッセージ収集・検索システム「HAYABUSA」を設計、実装してその有用性を確認した。HAYABUSA は 144 億レコードの全文検索を 6 秒で完了する速度を実現している。実験環境だけでなく、実環境での運用として INTEROP Tokyo^{*14} 2016 の展示者向けネットワーク ShowNet で運用される機材のログ収集としても利用し、その運用性を確認した。本研究の成果は [23, 24, 25, 26] に論文としてまとめられている。また、HAYABUSA はオープンソースとして公開されている^{*15}。

2.16 URL ビット列出現頻度による URL 分類

インターネットを活用したネットワークサービス、ウェブブラウザベースのサービスが増加していく中で、それらを悪用したフィッシングなどの被害が増え続けている。Cloud ワーキンググループではネットワークサービスの安全性向上のための機械学習・深層学習の応用にも取り組んだ。そのひとつが URL をビット列とみなし、良性サイトとフィッシングサイトを人学習させることによりアクセス前に URL を分類する試みである。学習にはニューラルネットワークを用い、ある学術機関の URL アクセ

スデータに PhishTank^{*16}から入手したフィッシングサイトのデータを混在させ、95% の精度で二者を分類できることを確認した。ただし、出所の異なるデータセットを結合しているため、本結果を一般化することは現時点ではできない。本研究の成果は [27] に論文としてまとめられている。

また本研究成果は INTEROP Tokyo^{*17} 2018 で動態展示した。ShowNet に接続する展示者のウェブアクセス情報を上述の仕組みを使って事前に学習させたニューラルネットワークモデルで評価し、展示者がアクセスした URL と、過去に観測されたフィッシングサイト URL との類似度をリアルタイムに表示した。

2.17 NAT64 性能評価

WIDE クラウドでは IPv6 ベースで基盤システムが構築されており、IPv4 クライアントからのアクセスは IPv4-IPv6 変換技術を用いている。2019 年にハンガリーの Budapest University of Technology and Economics 大学の Gábor Lencse 教授招聘し、アドレス変換技術の性能評価に関する研究を実施した。Gábor Lencse 教授は RFC8219: Benchmarking Methodology for IPv6 Transition Technologies の共著者のひとりであり、IPv6 移行技術の専門家である。研究では、WIDE クラウドで利用している自作の IPv4-IPv6 変換ソフトウェア map646^{*18}、Linux カーネルモジュールとして実装されている Jool^{*19}、および Linux ユーースペース実装として TAYGA^{*20}を対象として性能を評価した。本評価研究の結果は [28] に論文としてまとめられた。また性能計測に用いたソフトウェア siitperf はオープンソースとして公開されている^{*21}。

^{*14} <https://interop.jp/>

^{*15} <https://github.com/hirolovesbeer/hayabusa>

^{*16} <https://phishtank.com/>

^{*17} <https://interop.jp/>

^{*18} <https://github.com/keiichishima/map646/>

^{*19} <https://jool.mx/en/index.html>

^{*20} <http://www.litech.org/tayga/>

^{*21} <https://github.com/lencsegabor/siitperf/>

3 まとめ

クラウドワーキンググループでは、広域ネットワークでの分散クラウド運用、IPv6 通信を基本としたサービス基盤運用など、先進的な仮想計算機基盤技術の研究開発に取り組んだ。さらに基盤そのものだけでなく、サービス基盤を活用したネットワークアプリケーションの研究、サービス基盤のセキュリティに関する研究などを手がけてきた。時代の流れとともに、ネットワークサービスのコア技術は仮想計算機からコンテナ技術へと移行しつつある。本ワーキンググループはここで完了するが、WIDE プロジェクトでは引き続き先進的な基盤技術の研究開発に取り組む予定である。

参考文献

- [1] 石田渉, 島慶一. IPv6 のみで構成された IaaS システム用の IPv4-IPv6 変換ソフトウェアおよびその運用システムの実装と評価”. In *Internet Conference 2011 Work in Progress (IC2011 WIP)*, 2011.
- [2] Keiichi Shima, Wataru Ishida, and Yuji Sekiya. Design, implementation, and operation of IPv6-only IaaS system with IPv4-IPv6 translator for transition toward the future internet datacenter. In *2nd International Conference on Cloud Computing and Services Science (CLOSER2012)*, 2012.
- [3] Keiichi Shima, Wataru Ishida, and Yuji Sekiya. *Cloud Computing and Service Science*, chapter Designing an IPv6-Oriented Datacenter with IPv4-IPv6 Translation Technology for Future Datacenter Operation. Springer, 2013.
- [4] 中村遼. LISP+VXLAN. 合宿研究会ネットワーク運用実験, 2012.
- [5] Ryo Nakamura, Yukito Ueno, Katsuhiko Horiba, Yuji Sekiya, and Hiroshi Esaki. Route optimization for geographically distributed IaaS platform through the integration of LISP and VXLAN. In *AsiaFI 2012 Summer School Poster*, 2012.
- [6] Ryo Nakamura, Yuji Sekiya, and Hiroshi Esaki. Implementation and operation of user defined network on IaaS clouds using layer3 overlay. In *3rd International Conference on Cloud Computing over Service Science (CLOSER 2013)*, 2013.
- [7] 石橋尚武, 岡本慶大, 島慶一, 関谷勇司. WIDE プロジェクト 2010 年度 研究報告書, 第 XXVI 部クラウドコンピューティング基盤の構築と運用. WIDE プロジェクト, 2011.
- [8] 石田渉, 岡本慶大, 島慶一, 関谷勇司, 中村遼, 堀場勝広. WIDE プロジェクト 2011 年度 研究報告書, 第 4 部クラウドコンピューティング基盤の構築と運用. WIDE プロジェクト, 2012.
- [9] Katsuhiko Horiba, Kazuya Okada, Yoshihiro Okamoto, and Ryo Nakamura. Adaptive server load balancing on distributed cloud. In *Asian Internet Engineering Conference (AINTEC'11)*, 2011.
- [10] 島慶一. NEMO BS を用いた Xen ゲスト計算機のオフラインライブマイグレーション. In *Internet Conference 2009 Poster*, 2009.
- [11] 関谷勇司, 島慶一. WIDE プロジェクト 2009 年度 研究報告書, 第 24 部クラウドコンピューティング基盤の構築と運用. WIDE プロジェクト, 2010.
- [12] 島慶一, DANG Nam. 仮想計算機イメージ格納領域としての分散ファイルシステム/ストレージシステムの性能比較. In *Internet Conference 2012 Poster (IC2012 Poster)*, 2012.
- [13] 浅井大史, 上野幸杜, 岡本慶大, 島慶一, 関谷勇司, 中村遼, Nam Dang. WIDE プロジェクト 2012 年度 研究報告書, 第 9 部クラウドコンピューティング基盤の構築と運用. WIDE プロジェクト, 2013.
- [14] 山本成一, 島慶一, 関谷勇司. WIDE プロジェクト 2012 年度 研究報告書, 第 31 部 JB Project. WIDE プロジェクト, 2013.

- [15] Hirochika Asai, Michael MacFaden, Juergen Schoenwaelder, Keiichi Shima, and Tina Tsou. *Management Information Base for Virtual Machines Controlled by a Hypervisor*. IETF, October 2015. RFC7666.
- [16] 島慶一, 中村遼. WIDE プロジェクト 2013 年度 研究報告書, 第 5 部クラウドコンピューティング基盤の構築と運用. WIDE プロジェクト, 2014.
- [17] Keiichi Shima. UKAI: Centrally controllable distributed local storage for virtual machine disk images. In *Proceedings of Globecom 2013 Workshop - Cloud Computing Systems, Networks, and Applications (CCSNA)*, 2013.
- [18] Keiichi Shima. Location-aware distributed virtual disk storage for OpenStack. CloudOpen Europe 2014, 2014.
- [19] 小林諭. システムログ解析に基づく異常検出・原因究明技術に関する研究. Master's thesis, 東京大学, 2015.
- [20] 浅井大史, 小林諭, 島慶一, 関谷勇司. WIDE プロジェクト 2015 年度 研究報告書, 第 9 部クラウドコンピューティング基盤の構築と運用. WIDE プロジェクト, 2016.
- [21] 小林諭, 島慶一. WIDE プロジェクト 2016 年度 研究報告書, 第 7 部クラウドコンピューティング基盤の構築と運用. WIDE プロジェクト, 2017.
- [22] Keiichi Shima. Length matters: Clustering system log messages using length of words, 2016.
- [23] Hiroshi Abe, Keiichi Shima, Yuji Sekiya, Daisuke Miyamoto, Tomohiro Ishihara, and Kazuya Okada. Hayabusa: Simple and fast full-text search engine for massive system log data. In *Conference on Future Internet (CFI'17)*, 2017.
- [24] 阿部博, 島慶一. Hayabusa: 高速に全文検索可能なログ検索エンジン. *Internet Infrastructure Review*, Vol. 38, pp. 18–25, 2018.
- [25] Hiroshi Abe, Keiichi Shima, Daisuke Miyamoto, Yuji Sekiya, Tomohiro Ishihara, Kazuya Okada, Ryo Nakamura, and Satoshi Matsuura. Distributed Hayabusa: Scalable syslog search engine optimized for time-dimensional search. In *The 15th Asian Internet Engineering Conference (AINTEC2019)*, 2019.
- [26] 阿部博, 島慶一, 宮本大輔, 関谷勇司, 石原知洋, 岡田和也, 中村遼, 松浦知史, 篠田陽一. 時間軸検索に最適化したスケールアウト可能な高速ログ検索エンジンの実現と評価. 情報処理学会論文誌, pp. 728–737, 2019.
- [27] Keiichi Shima, Daisuke Miyamoto, Hiroshi Abe, Tomohiro Ishihara, Kazuya Okada, Yuji Sekiya, Hirochika Asai, and Yusuke Doi. Classification of URL bitstreams using bag of bytes. In *Proceedings of First International Workshop on Network Intelligence (NI2018)*, 2018.
- [28] Gábor Lencse and Keiichi Shima. Performance analysis of SIIT implementations: Testing and improving the methodology. *Computer Communications*, Vol. 156, pp. 54–67, 2020.