

オンデマンドに VM・ネットワークの構築を可能にする IaaS ネットワーク運用管理基盤

An Operations Management Platform for On-demand Service of IaaS Networks

園田 健太郎† 波多野 洋一† 鈴木 一哉† 千葉 靖伸† 下西 英之†

Kentaro Sonoda Yoichi Hatano Kazuya Suzuki Yasunobu Chiba Hideyuki Shimonishi

島村 栄‡ 副島 賢司‡ 黒田 貴之†

Hisashi Shimamura Kenji Soejima Takayuki Kuroda

1. はじめに

IaaS (Infrastructure as a Service) をはじめとするクラウドサービスの普及が加速している。それに伴い、ユーザ企業は、IaaS を利用して VM (Virtual Machine) の積極的な活用をはじめている。加えて昨今では、VM が所属するネットワークも併せて、ユーザ企業自身がオンデマンドに作成したいという要望が増えている。

しかしながら、IaaS 事業者は、このような VM とネットワークをオンデマンドに作成可能な仕組みとしてユーザ企業に提供する場合、2 つの問題がある。ひとつは、ネットワークの作成は、IaaS 事業者のネットワーク管理者が人手で設計と設定を行っており、非常に煩雑で時間がかかるため、専門家ではないユーザ企業がオンデマンドに行う場合、IaaS 事業者以上に運用管理が煩雑になる点である。もうひとつは、VM とネットワークというレイヤの異なる環境を人が統合的に把握・管理するための効果的な手段がない点である。

このような 2 つの問題に対して、我々は、動的なフロー制御によるスケーラブルなネットワークの構成手法と、VM とネットワークのマトリクス可視化手法を提案する。前者は、ネットワークの設計情報を設定コマンドとしてネットワーク機器に Proactive に登録するのではなく、設計情報をデータベースとして保持し、パケットの転送処理の都度、Reactive に制御していく手法である。後者は、VM ホストサーバとネットワークをそれぞれ x, y 軸に取り、VM をその交点にプロットして二次元化し、物理と論理を同時に表現する可視化手法である。

我々は、両手法を用いたオンデマンド型 IaaS ネットワーク運用管理基盤を開発した。実装には、OpenFlow[1]を使用した。OpenFlow は、従来スイッチに搭載されていたパケット転送機能と通信経路制御機能を分離し、通信経路制御機能をソフトウェアとして管理する概念、およびそのためのプロトコルである。開発したオンデマンド型 IaaS ネットワーク運用管理基盤を利用すれば、ユーザ企業自身がオンデマンドに VM とネットワークを自由に作成でき、かつ、VM とネットワークの構成を一目で確認できるようになる。評価の結果、本基盤が有用であることを示す。

2. IaaS の運用における問題

IaaS 事業者は、ユーザ企業から VM とネットワークの

作成に対する要求を受けた時、特にネットワークの作成は、ネットワーク管理者が経験と人手に基づいて設計を行い、IaaS 事業者が保有するネットワーク機器に多量に設定を行う作業が頻発するため、それに多くの時間がかかっていた。そのため、顧客であるユーザ企業自身がオンデマンドに自由に VM とネットワークを作成したいという要望に応える仕組みとはなっておらず、そのようなオンデマンド型の IaaS 基盤を構築することが困難であった。

2.1. IaaS のネットワーク作成サービスに対する要望

IaaS は、主にサーバ・コンピューティング・インフラストラクチャとしてのソフトウェア・ディプロイメント・モデル[2]である。IaaS 事業者は、保有するサーバ・コンピューティング資源の貸し出しを効率化するため、主に VM として提供することが多い。VM を使用するユーザ企業は、例えば、開発や実験で多量の計算・ストレージ資源を必要とする研究部門等がある。

我々は、このようなユーザ企業に対して VM の利用に関するヒアリングを行った結果、VM とその VM が所属するネットワークも一緒に作成したいという要望が多くあることが分かった。例えば、研究部門であれば、実験用のネットワークを研究者自身が自由に構成・組み替えたい、といった要望がある。特に、実験用途で IaaS を利用する場合等では、VM とネットワークの作成や修正、削除といった要求が頻繁に発生する。そのため、ユーザ企業は、VM やネットワークをユーザ企業自身でオンデマンドに自由に作成、修正、削除したいという要望がある。

2.2. IaaS のネットワーク作成サービスに必要な機能

このような要望を整理すると、IaaS 事業者がユーザ企業へ提供する VM とネットワークの構成の要件として、①複数の VM が所属するネットワークの構築、②クロズドなネットワークの構築、③プライベートネットワークの構築の 3 つがある (図 1)。

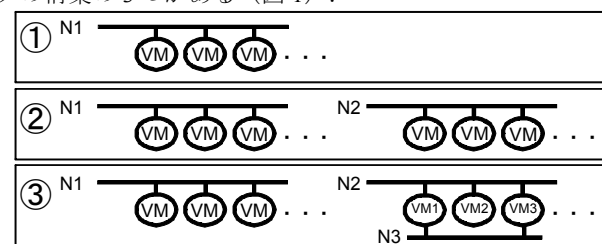


図 1. IaaS ネットワーク運用基盤の機能要件

† NEC クラウドシステム研究所, Cloud System Research Labs., NEC.

‡ NEC 情報・ナレッジ研究所, Knowledge Discovery Research Labs., NEC.

図 1 の①は、複数の VM が所属するネットワークを構築する機能である。これは、従来の IaaS に必要な機能である。図 1 の②は、セキュリティ等の観点からユーザ企業毎にネットワークセグメントが切られたクローズドなネットワークを構築する機能である。図 1 の②の N1 ネットワークと N2 ネットワークはそれぞれ別のユーザ企業であり、N1 と N1 の間で通信を不可とする必要がある。図 1 の③は、クローズドなネットワークの中にさらにプライベートなネットワークを構築する機能である。図 1 右下の VM1、VM2、VM3 は、N2 ネットワークに所属しており、同時に VM1 と VM3 は N3 というプライベートなネットワークに所属している。IaaS のネットワーク作成サービスでは、これら 3 つの機能を満たす基盤が必要になる。

2.3. IaaS のネットワーク作成に対する問題

昨今では、このような VM とネットワークの作成に対する要望に応える IaaS 事業者が出てきている。しかしながら、現在の IaaS 事業者は、ユーザ企業自身にオンデマンドに自由に VM とネットワークを作成してもらうサービスの提供、およびそのための運用管理基盤は整備されていない。その大きな理由として、A:管理者による人手のネットワークの設計と設定で時間がかかること、B:VM とネットワークを人が統合的に把握・管理するための効果的な手段がないこと、の 2 つが挙げられる。

A は、現在の IaaS 事業者は、ユーザ企業から VM とネットワークの作成に対する要求を受け付け、VM とネットワークの設計と設定に係る作業を管理者が人手で行うという運用形態であるため、その作業に要する時間が多くかかるという問題である。VM の作成要求に対しては、配置の最適化手法やデプロイの高速化手法等を用いて自動化するプロビジョニング技術等があり[3][4]、オンデマンド化が進んでいる。しかしながら、ネットワークに対しては、ネットワーク管理者の経験による物理と論理の設計の複雑さや、機器ベンダ毎に異なる設定コマンドの違いによる設定作業の煩雑さ等から、効率化はあまり進んでいない。ここでは、VM の作成と同時に発生するネットワークの設計と設定の 2 つの作業を分けて考える。

まず設計では、VM の配置を考慮しながら、前節で述べたネットワークの 3 つの構成要件を考える必要がある。しかしながら、VM とネットワークの作成が同時に発生する場合、ネットワークの設計は VM の配置と共に、セキュリティを考慮したユーザ企業間でのネットワーク分割やスケーラビリティを考慮した VLAN 数、ブロードキャストドメインの設定等を細かく検討する必要がある。このため、熟練のネットワーク管理者が経験と勘によって設計を行うことが多く、その作業には非常に時間がかかるという問題がある。

次に設定では、上述した設計内容に基づいてネットワーク機器に対して設定を行うが、関連する全てのネットワーク機器に対して設定コマンドを発行する必要がある。通常、ユーザ企業毎のネットワークは論理ネットワークとして管理し、その論理ネットワークの構成には VLAN を用いる。その場合、ネットワーク管理者は、関係する全てのネットワーク機器のポートに対して VLAN-ID の設定を行う必要がある。この作業は、設定ミスのないように慎重性が求められ、かつ機器ベンダのネットワーク機

器毎の固有の設定コマンドを熟知していないと、煩雑で時間がかかる。このような設定作業を効率化するため、ネットワーク機器に対する設定作業を自動化する技術や統合管理システムといった製品が存在する。これらの技術や製品を利用した運用管理の対象として、例えば、通信キャリアのように、ネットワーク機器を何千台と保有しているが一度設計や設定を行った後、変更があまり発生しないようなネットワークや、企業のネットワークの運用管理のように、夜間にバッチ処理的に設定作業を行う時間が確保できるような場合には有用である。しかしながら、今回のような多数のユーザ企業から VM とネットワークの作成に対する要望が一斉、かつ頻繁に発生するような環境を想定する場合、設定コマンドの数やその回数が非常に膨大な量になり、時間がかかる (図 2)。

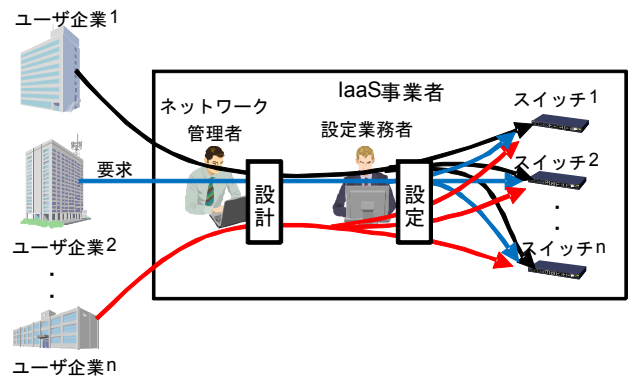


図 2. ネットワークの設計と設定作業

B は、VM やネットワークという目に見えず全体が把握しづらい構成を人が効率良く把握・管理するための方法やシステムがないという問題である。一般的な IaaS 事業者は、VM (VM ホスト用サーバ) の管理はサーバ管理者、ネットワークの管理はネットワーク管理者が行うというように業務が分担されている。これは、サーバやネットワーク機器の台数が多いことや、サーバとネットワークの管理知識や方法がそれぞれ異なる等から、このような業務分担がされていることが多い。そのため、IaaS 事業者が VM とネットワークの作成要求を受ける場合、VM の設計と設定はサーバ管理者が行い、ネットワークの設計と設定はネットワーク管理者が行うことになる。しかしながら、A の問題で述べたように、VM とネットワークの作成にはお互いの設計情報に基づいて作業を進めるため、現在の VM とネットワークの構成等をお互いが共有するために、サーバ管理者とネットワーク管理者が設計書等を通じて上手にコミュニケーションを取る必要が発生し、大変な時間と労力が必要になる。特に、ユーザ企業によるオンデマンドな IaaS 基盤を構築するためには、管理知識や経験のないユーザであっても、VM とネットワークの構成等を容易に確認できる仕組みが重要になる。

VM とネットワークが現在どのように構成されているかをリアルタイムに把握できる優れた方法として、可視化が挙げられる。しかしながら、従来のネットワークの可視化手法は、ノードとエッジで構成するグラフ表現が多いため、VM (論理) と VM ホストサーバ (物理) の関係と、論理ネットワークと物理ネットワークをそれぞれ組み合わせる表現ができない、大量のノードとエッジが

画面に表示されると管理者が理解できない、という問題がある。

以上より、ユーザ企業のオンデマンドな VM とネットワークの作成を実現するため、ネットワークの設計と設定に要する時間の短縮化、および VM とネットワークの統合的な運用管理のための可視化が課題となる。

3. 関連研究

ネットワークの設計と設定に要する時間の短縮化に対して、いくつかの関連技術や製品が存在するが、いずれの技術や製品を用いても、ユーザ企業からの要求に対する数が増えれば、設計と設定にかかる時間も増加するため、前述の問題を解決できない。また、VM とネットワークの統合的な運用管理についても、適切な可視化手法がない、ユーザ企業がオンデマンドに自由に VM とネットワークを作成可能にする IaaS 事業者のサービスはまだないこと等から、統合的な運用管理方法は確立されていないと推察する。

ネットワークの設計を効率良く行うための研究として、VLAN の構成情報をモデル化して設計を自動化する手法[5]や、ネットワーク機器の仕様を規定して設計の統一化を図る手法[6]等があるが、設計内容自体はネットワーク管理者が検討しなければならないため、ユーザ企業からの要求が増加すれば、IaaS 事業者がその設計にかかる時間も増加してしまい、問題の解決には繋がらない。

ネットワーク機器の設定を効率良く行うための研究として、VLAN の設定を自動化するため、スイッチが所持する VLAN 情報を一括管理する手法[7]、管理者から指示された VLAN のポート設定コマンドを自動生成する手法[8]、スイッチに対する VLAN の設定処理をモデル化して自動設定する手法[9]、VLAN による論理ネットワークを可視化してスイッチの管理を容易にする手法[10]等があるが、いずれの手法も論理ネットワークの構築に VLAN を用いており、スイッチに対する VLAN の設定を行うコマンドの発行が毎回発生するため、ユーザ企業からの要求が増加すれば、スイッチに対する VLAN 設定のコマンド発行回数も増加してしまい、問題の解決には繋がらない。

また、仮想インフラの自動構築システムに関する研究[11]がある。複数のデータセンタ間を相互に接続し、その上に仮想インフラを自動的に構築するシステムを提案しているが、データセンタの内部に複数のプライベートネットワークを構築するための手法等については言及されていない。

サーバとネットワークの統合的な可視化に関する研究は、[12]のサーベイ論文に詳しいが、物理と論理を分かりやすくリアルタイムに表現できる方法はまだない。

サーバとネットワークを統合管理するシステムとして、JP1[13]や OpenView[14]、Hinemos[15]等の製品があるが、これらの製品の内部では、サーバ管理とネットワーク管理は別々の機能として提供されていることが多く、VM とネットワークの管理が常時連動しているわけではない。また、これらの製品は非常に大規模なシステムであり、使用するためにサーバとネットワークに対する専門的な知識が必要となるため、ユーザ企業が容易に利用できるシステムとはなっていない。

4. IaaS ネットワークの運用管理方法

前述したネットワークの設計と設定に要する時間の短縮化と、VM とネットワークの統合的な運用管理のための可視化という 2つの課題に対して、我々は、動的なフロー制御によるスケーラブルなネットワークの構成手法と、VM とネットワークの構成を二次元マップで表現し、リアルタイムに同時に表示するマトリクス可視化手法を提案する。

4.1. 動的フロー制御によるネットワーク構成手法

迅速、かつスケーラブルにネットワークを構成するために、VLAN を用いた静的な論理ネットワークの分割ではなく、動的なフロー制御による分割を行う。フロー制御とは、パケットの送信元と宛先に関する情報であるフロー情報に基づいてパケットの流れを制御することである。VLAN を用いた論理ネットワークの場合、あらかじめ設計を行い、その設計情報に基づいてネットワーク機器への設定作業が完了してはじめて VM とネットワークの利用が可能になる Proactive な運用形態となる。そのため、VLAN 数制限等のスケーラビリティと設定に要する時間がかかることが問題になっていた（図 3 の Proactive（従来））。本手法では、論理ネットワークの設計情報を VM の接続先スイッチのポート番号と併せてデータベースとして管理し、実際に VM がパケットを送信する際にスイッチがデータベースに問い合わせを行い、フローとして制御していくという Reactive な運用形態となる（図 3 の Reactive（今回））。このような仕組みにより、スイッチへの設定作業が一切なくなる。

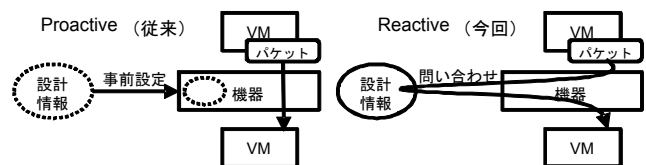


図 3. 動的フロー制御による論理ネットワークの構成

論理ネットワークの設計情報を保有するデータベースは、2.2 節で述べたネットワークを構成する 3 要件を満たすために、論理ネットワーク番号（sliceID）とネットワーク機器を特定する機器番号（dpid）、およびネットワーク機器のポートを特定するポート番号の 3 種類で表現する。sliceID と dpid、ポート番号の組み合わせによって、ユーザ企業毎のネットワーク、クローズドなネットワーク、およびプライベートネットワークを管理できる。図 4、および図 5 に例を示す。

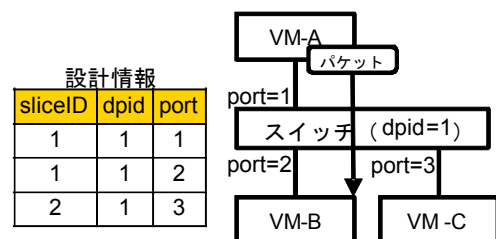


図 4. 設計情報の例

図 4 は、ネットワークの設計情報、および VM とネットワークの構成を表した例である。例えば、図 4 の VM-A と VM-B が同じ論理ネットワークに所属する場合は、同じ sliceID として管理する（図 4 の sliceID=1）。sliceID は、その論理ネットワークに所属する VM の接続先のスイッチ ID とポート番号をセットにして管理する（図 4 の VM-A は port=1, VM-B は port=2）。このように設計情報をデータベースへ一度登録して管理することで、ネットワーク機器（スイッチ）毎に発生していた設定作業はなくなる。

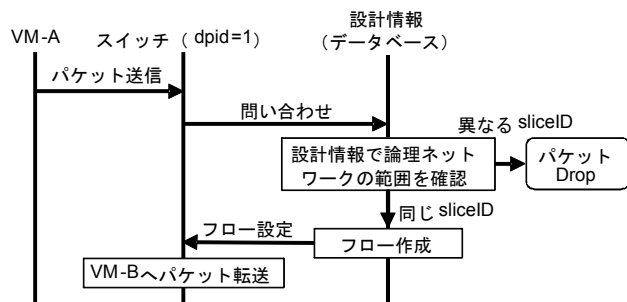


図 5. 動的フロー制御の処理の流れ

図 5 は、設計情報を用いた論理ネットワークの動的フロー制御の処理の流れを表した例である。例えば、図 4 の VM-A と VM-B の間で通信を行う場合、VM-A からスイッチにパケットが到達すると、スイッチは設計情報データベースへ問い合わせる。設計情報データベースを参照して VM-A と VM-B の所属するスライスの sliceID を照合する。図 4 では、VM-A と VM-B は共に sliceID=1 で同一スライスであるので、同じ論理ネットワークに所属する VM とみなし、VM-A と VM-B の間でパケットを転送するためのフローを作成して、スイッチに設定する。こうして、VM-A と VM-B が通信可能となる。また、VM-A と VM-C の場合を考えると、それぞれの VM は異なるスライスであるため、フローを作成せず、パケットは Drop される。これにより、異なる sliceID に所属する VM 間にはパケットが流れず、VLAN と同等の論理ネットワークが構成される。

このように、ネットワークの構成をデータベースとして管理することでネットワーク機器への設定をなくし、VM 間の実際の通信が発生する時に Reactive にフローを作成しながらネットワークを制御するという手法により、スケラブル、かつ迅速なネットワークの設計と設定が可能となる。

4.2. VM とネットワークのマトリクス可視化手法

物理と論理の関係を同時に表現可能な方法として、VM ホストサーバ毎に VM をクラスタリングし、ネットワークの構成と併せて二次元マップで表現するマトリクス可視化手法を提案する。図 6 のように表現する。

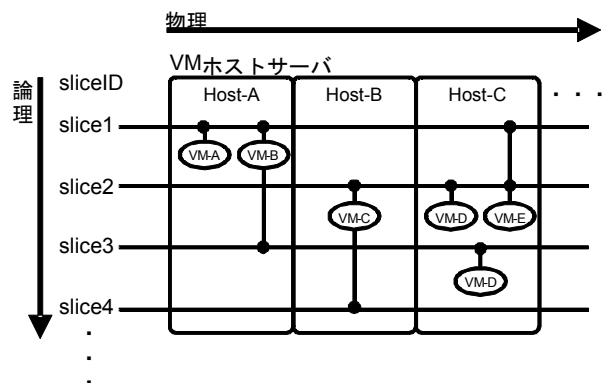


図 6. マトリクス可視化手法

マトリクス可視化手法は、x 軸に VM ホストサーバ（物理。Host-A 等の矩形枠）、y 軸にネットワーク（論理。図 6 では sliceID という線）を取り、その交点に VM（ノード）をプロットして、物理と論理を同時に表す表現方法である。このような可視化手法により、IaaS 事業者やユーザ企業は、VM がデプロイされた VM ホストサーバと、VM が所属するネットワークを容易に把握することができる。さらに、VM ホストサーバとネットワークは、数が増えるにつれて x 軸方向（矩形枠）と y 軸方向（線）にそれぞれ伸長していくため、グラフ表現のような固定軸のないネットワーク可視化よりも視認性に優れている。

このような可視化手法を運用管理の機能のひとつとして利用することで、IaaS 事業者によるネットワークの設計に係る現在の構成状況の確認作業や設定後の構成の正しさの確認作業等が容易、かつ正確に行うことが可能になる。それと同時に、ユーザ企業が自身で VM やネットワークの設計や構成の確認が可能になり、ユーザ企業によるオンデマンドな IaaS ネットワークの作成、および運用管理が実現できる。

5. オンデマンド型 IaaS ネットワーク運用管理基盤の開発

前述した動的フロー制御によるネットワーク構成手法とマトリクス可視化手法を用いた IaaS 基盤をオンデマンド型 IaaS ネットワーク運用管理基盤と呼ぶ。我々は、OpenFlow を用いて、オンデマンド型 IaaS ネットワーク運用管理基盤を開発した。

5.1. OpenFlow の利用

前述した動的フロー制御によるネットワーク構成手法とマトリクス可視化手法を実現するための基盤技術として、OpenFlow を用いた。OpenFlow は、従来ネットワーク機器に直接定義されていた通信制御や動作を OpenFlow プロトコルを介してネットワーク機器の外部のソフトウェアから自由に定義できるようにする概念である。パケットの転送機能と通信経路制御機能のうち、後者をソフトウェア（OpenFlow コントローラ）として分離する。パケットの転送機能は、OpenFlow スイッチが担う（図 7）。

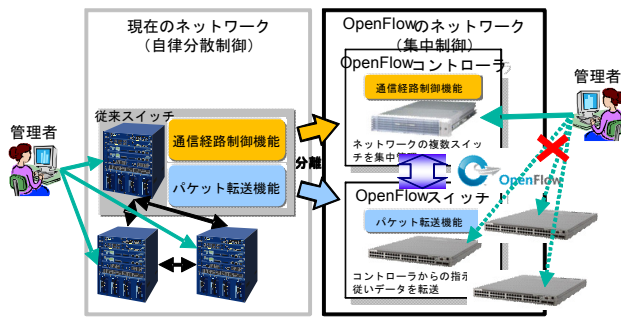


図 7. OpenFlow の概念

動的フロー制御によるネットワーク構成手法は、OpenFlow スイッチと OpenFlow コントローラを設計情報データベースと連動して動作するように実装した。また、マトリクス可視化手法は、OpenFlow コントローラと設計情報データベースが持つ VM の配置情報とネットワーク構成情報を利用してリアルタイムに表示するように実装した。従来のようにネットワーク機器に設定が発生していると、全てのネットワーク機器の設定情報を短い時間隔で定期的に吸い上げる仕組みが必要となるが、OpenFlow コントローラと設計情報データベースによる集中管理によって、そのような仕組みを持つ必要がなく、リアルタイムに可視化が可能となる。

5.2. 全体アーキテクチャ

図 8 は、開発したオンデマンド型 IaaS ネットワーク運用管理基盤の全体アーキテクチャである。

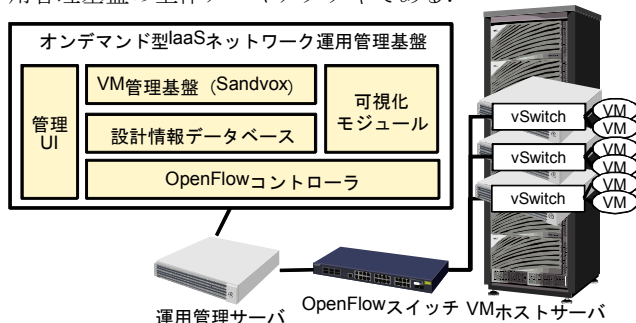


図 8. 全体アーキテクチャ

物理構成は、オンデマンド型 IaaS ネットワーク運用管理基盤を搭載した運用管理サーバと OpenFlow スイッチ、および VM ホストサーバから成る。運用管理サーバは、ネットワークの構成と管理を行う OpenFlow コントローラ、および設計情報データベースと、VM の作成や修正、削除等を管理する VM 管理基盤、可視化モジュール、VM とネットワークの設計と設定を GUI ベースで行えるようになるための管理 UI から成る。OpenFlow コントローラ、および設計情報データベースは、OSS で提供されている OpenFlow コントローラの開発フレームワークである Trema[16]を用いて実装した。また、VM 管理基盤には、サーバリソース管理基盤の Sandvox[17]を利用した。管理 UI は、IaaS 事業者、およびユーザ企業が VM とネットワークを作成するための Web 画面である。OpenFlow コント

ローラと VM 管理基盤 (Sandvox) は REST インターフェイスを通じて管理 UI、および可視化モジュールと連携する。各 VM ホストサーバには、ソフトウェアスイッチの Open vSwitch[18]をインストールし、Open vSwitch と OpenFlow スイッチを OpenFlow コントローラが集中管理する。これにより、VM ホストサーバを OpenFlow スイッチに接続するだけで容易に VM ホストサーバを増設できる。

5.3. 管理 UI

図 9 は、オンデマンド型 IaaS ネットワーク運用管理基盤上で VM とネットワークを作成するための管理 UI の画面イメージである。

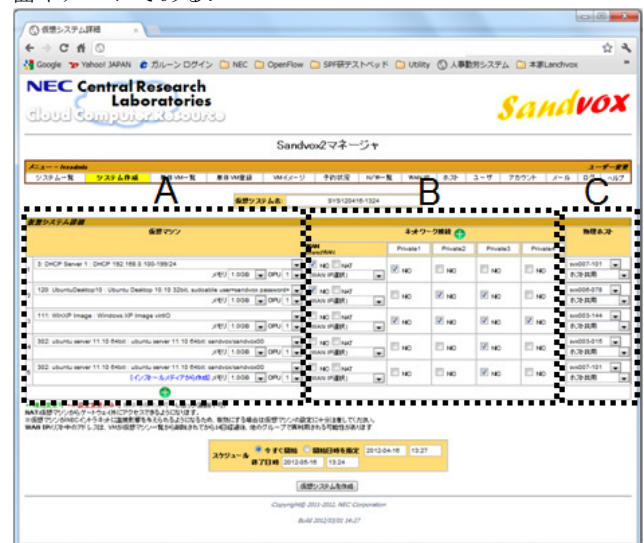


図 9. 管理 UI の画面イメージ

管理 UI は、A:仮想マシンの作成、B:ネットワークの構成、C:VM ホストサーバの指定の3つの機能から成る。

A:仮想マシンの作成 (図 9 の A) では、あらかじめ登録されている VM イメージの選択や CPU コア数、メモリ容量等を指定できる。VM は何個でも作成可能である。

B:ネットワークの構成 (図 9 の B) では、A で決めた VM をどのネットワーク (スライス) に所属させるかを指定する。スライスは何個でも作成可能である。

C:VM ホストサーバの指定 (図 9 の C) では、A で決めた VM をデプロイする先の VM ホストサーバを指定する。何も指定しなければ、VM ホストサーバの稼働状況や VM デプロイ数に応じて VM 管理基盤が自動的に決定する。

ユーザ企業は、このような管理 UI を通じて VM とネットワークを作成できるようになることで、従来、IaaS 事業者者に依頼していた VM やネットワークの作成を WebUI 上でオンデマンドに自由に行えるようになる。一方で、IaaS 事業者は、この管理 UI を通じて各ユーザ企業の VM とネットワークの利用状況を確認することが容易になる。また、VM とネットワークの作成をユーザ企業が行えるようになるため、これまで IaaS 事業者の管理者が行ってきた VM とネットワークの設計や設定等の管理オペレーションの管理負荷は劇的に低減され、管理者はオンデマンド型 IaaS ネットワーク運用管理基盤のメンテナンスのみに集中できるようになる。

5.4. 可視化モジュール

図 10 は、IaaS 事業者、およびユーザ企業が VM とネットワークの構成をいつでも容易に確認できる可視化モジュールの画面イメージである。

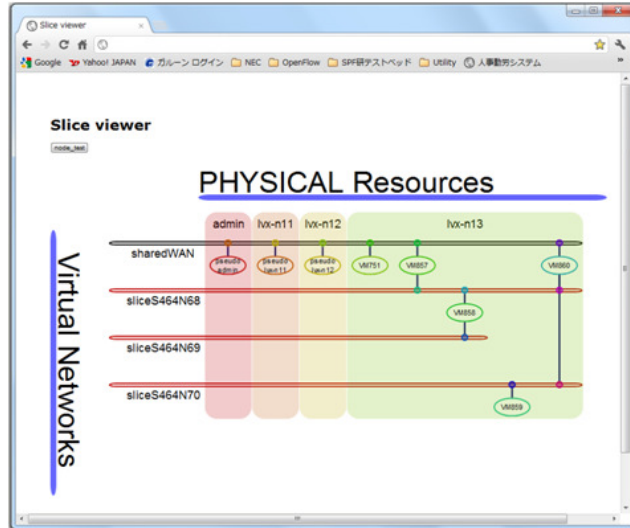


図 10. 可視化モジュールの画面イメージ

可視化モジュールは、マトリクス可視化手法に基づいて VM のデプロイ先である VM ホストサーバと VM の所属する論理ネットワーク（スライス）をマトリクスで表示するビューワである。これにより、IaaS 事業者、およびユーザ企業はいつでも VM とネットワークの構成を確認することができ、現在の構成が想定する構成と相違ないかといった確認作業を容易にし、VM とネットワークの設計と設定を効率化する。

6. 評価と考察

我々は、開発したオンデマンド型 IaaS ネットワーク運用管理基盤を弊社研究所内で実際に運用している。研究所内では、IaaS 事業者は我々であり、ユーザ企業に相当するのは研究所員であり、研究所員が開発や実験のために所員自身で自由に VM とネットワークを作成できるようにしている。現在、VM ホストサーバ数 30 台、ユーザ数約 100 名、稼働 VM 延べ数約 1,200 個という規模で運用中である。現在運用中のオンデマンド型 IaaS ネットワーク運用管理基盤を用いて、VM とネットワークの作成にかかる時間を測定した結果、ユーザが一斉に VM とネットワークを作成した場合でも我々（IaaS 事業者）のネットワークの作成にかかる時間は 1sec 以下であった。オンデマンド型 IaaS ネットワーク運用管理基盤がネットワークの作成に要する時間の短縮化と VM とネットワークの統合的な可視化による運用管理の効率化という 2つの課題に対する十分な解決策となり、実運用として十分利用可能であることを確認した。

6.1. 評価環境（運用中のシステム構成）

図 11 は、評価環境である現在運用中のオンデマンド型 IaaS ネットワーク運用管理基盤の構成である（図 11）。

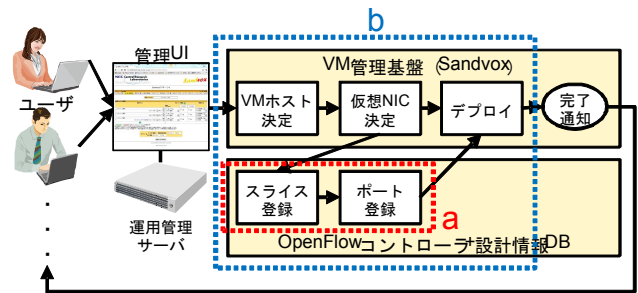


図 11. 評価に用いた IaaS ネットワーク運用管理基盤

今回の評価では、ネットワークの作成にかかる時間の測定（図 11 の a）と、VM とネットワークの作成にかかる時間の測定（図 11 の b）の 2つを評価した。オンデマンド型 IaaS ネットワーク運用管理基盤では、VM とネットワークの設計は、ユーザが管理 UI 上でユーザ自身が行うことになり、IaaS 事業者側での設計作業はなくなるため、測定対象から外した。

図 11 の a は、ユーザが前節で述べた管理 UI を使って VM とネットワークの作成要求を一斉に発生した後、OpenFlow コントローラがネットワーク（スライス）の登録とポート番号の登録を完了するまでにかかる時間である。一方、図 11 の b は、VM とネットワークの作成要求の後、VM 管理基盤が VM ホストを決定し、VM の仮想 NIC を割り当て、デプロイを完了するまでにかかる時間と、図 11 の a にかかる時間との和である。なお、VM とネットワークの作成要求は、REST インターフェイスを使って繰り返し自動作成するスクリプトを用意して実行した。

6.2. 評価結果と考察

まず、図 11 の a で示したネットワークの作成にかかる時間は、1sec 以下であった。動的フロー制御によるネットワーク構成手法では、Reactive にパケットの転送を処理するため、ネットワークの作成は、設計情報データベースへ sliceID とポート番号の情報を登録する作業のみになる。したがって、その時間はデータベースのレコード登録の処理能力にのみ依存する。今回の評価に使用したオンデマンド型 IaaS ネットワーク運用管理基盤では、100 万/sec のレコード登録を十分に処理できるため、ネットワークの作成にかかる時間は、ほとんど発生しない。

次に、図 11 の b で示した VM とネットワークの作成にかかる時間は、1 ユーザが VM を 5, 6 個で作成する場合、大よそ 1 分程度であった。図 11 の a の評価から、ネットワークの作成にかかる時間は 1sec 以下であることから、VM の作成に時間がかかるということになる。今回の VM 作成に用いたイメージは Ubuntu11.04 であり、HDD が 20GB の設定であった。HDD の容量を増やせばデプロイにかかる時間は長くなるため、今回の測定だけでは一概に結論付けはできないが、従来、このような VM の作成作業はユーザ自身が手作業で行うことが多かったため、今回のように自動化できるようになった点は有用であるといえる。

VM とネットワークの設計は、オンデマンド型 IaaS ネットワーク運用管理基盤によってユーザ自身がいつでも自由に VM とネットワークを作成できるようになり、本基盤の管理者が作成オペレーションを行うことは一切発生しなくなり、管理負荷を劇的に軽減できたことを確認

した。また、マトリクス可視化手法を用いた可視化モジュールで VM とネットワークの構成をユーザ自身が確認できるようになり、設計や運用管理の参考情報として十分有用であることを確認した。

その他、副次効果として、オンデマンド型 IaaS ネットワーク運用管理基盤では、論理ネットワークの作成に VLAN を使用しないため、VLAN の仕様上 4,095 個以上の論理ネットワークを作成できないという数的制約を打破できることを確認した。IaaS 事業者は、事業拡大の観点からより多くのユーザ企業を収容したいため、ユーザ企業が増えるにつれ非常に多くのネットワークを構築する必要が出てくる場合であってもスケーラビリティを確保できる点は有用であると考えます。

7. 今後の課題

今後の課題として、オンデマンド型 IaaS ネットワーク運用管理基盤の大規模化に向けた VM の作成の高速化や、OpenFlow コントローラのフロー作成処理の高速化、スケーラビリティを持った可視化手法の検討等がある。

VM の作成の高速化は、前節の評価結果から、ネットワークの作成と同時に大量の VM のデプロイが発生すると非常に時間がかかってしまうという懸念がある。IaaS 事業者がユーザ企業へのサービス提供をさらに短縮化するためには、VM のデプロイにかかる処理を高速化する手法の検討が必要である。

OpenFlow コントローラのフロー作成処理の高速化は、図 5 に示したように、OpenFlow コントローラを使用する場合、ファーストパケットの処理のための遅延が発生するという特性がある。ファーストパケットとは、VM とネットワークの設定作業が完了し実際に VM 間で通信が発生する際、送信元 VM から宛先 VM へのはじめてのパケットである。この時、中継する OpenFlow スイッチが OpenFlow コントローラへ問い合わせる処理が発生する。二度目以降は、OpenFlow スイッチがフローを学習するため発生しない。大規模なオンデマンド型 IaaS ネットワーク運用管理基盤を想定する場合、このような OpenFlow コントローラの処理を高速化する手法の検討が必要である。

スケーラビリティを持った可視化手法は、現在のマトリクス可視化手法では、VM ホストサーバとネットワークは、数が増えるにつれて x 軸方向と y 軸方向にそれぞれ伸長していく手法であり、その数が例えば 1,000 以上といった大規模なものになった場合、視認性が落ちてしまう。そのため、物理的に近い場所にある VM ホストサーバ同士をまとめて表示する、所属する VM 数が多い順にネットワーク (y 軸方向に並ぶ線) をソートする等の工夫が必要になる。

8. まとめ

VM とネットワークの作成をユーザ企業自身がオンデマンドに作成可能なサービスを IaaS 事業者が提供する場合、ネットワークの作成は、従来 IaaS 事業者が人手で設計と設定を行っており、非常に煩雑で時間がかかるため、専門家ではないユーザ企業がオンデマンドに行う場合、IaaS 事業者以上に運用管理が煩雑になる、VM とネットワークというレイヤの異なる環境を人が統合的に把握・管理するための効果的な手段がない、という 2 つの問題があった。

このような問題に対して、我々は、ネットワークの設計情報をデータベースとして保持し、パケットの転送処理の都度、Reactive に制御していく動的フロー制御によるスケーラブルなネットワークの構成手法と、VM ホストサーバとネットワークをそれぞれ x, y 軸に取り、その交点にデプロイ/所属する VM をプロットして二次元化し物理と論理を同時に表現するマトリクス可視化手法を提案した。

両手法を OpenFlow をベースとして実装し、オンデマンド型 IaaS ネットワーク運用管理基盤を開発した。本基盤を用いることで、ユーザ企業は管理 UI、および可視化ビューワを使用してユーザ企業自身でオンデマンドに VM とネットワークの作成が可能となる。本基盤を弊社研究所内で実際に運用し、ユーザ (企業) 自身がオンデマンドに VM とネットワークを作成可能であることを確認した。また、ネットワークの作成にかかる時間を測定した結果、その時間は 1sec 以下であり、実運用として十分利用可能であることを確認した。VM とネットワークの可視化によって、設計や運用管理が容易になり、十分な効率化が可能であることも確認した。

今後は、オンデマンド型 IaaS ネットワーク運用管理基盤の大規模化に向けた VM の作成の高速化や、OpenFlow コントローラのフロー作成処理の高速化、スケーラビリティを持った可視化手法の検討等とそれらの評価を行っていく予定である。

【参考文献】

- [1] N. McKeown, T. Anderson, H. Balakrishnan, G. Parulkar, L. Peterson, J. Rexford, S. Shenker and J. Turner, OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks, SIGCOMM Comp. Review, Vol.39, No.2, Apr, 2008.
- [2] http://csrc.nist.gov/publications/drafts/800-144/Draft-SP-800-144_cloud-computing.pdf
- [3] 藤澤 克樹, 安井 雄一郎, 高宮 安仁, 佐藤 仁, “最適化分野におけるクラウド技術の利用”, オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学 56(6), 318-324, 2011.
- [4] 金子 雅志, 西村 豪生, 入江 道生, 飯尾 政美, “将来ネットワークに向けたサーバ構成方法に関する一考察”, 電子情報通信学会技術研究報告, IN, 情報ネットワーク 110(69), 7-10, 2010.
- [5] 新 麗, 二宮 恵, 加藤 雅彦, “ネットワークシステム管理のための構成情報データモデルの設計”, 電子情報通信学会技術研究報告, IA, インターネットアーキテクチャ 108(275), 25-30, 2008.
- [6] T. Iijima, Y. Atarashi, H. Kimura, M. Kitani, H. Okita, “VLAN data model for NETCONF”, IETF Internet-Draft, draft-ijima-ngo-vlandatamodel-01, Aug, 2007.
- [7] 藤村 真希, 下川 俊彦, “AX-ON-API を用いた VLAN 運用管理を支援するシステムの開発”, 情報科学技術フォーラム講演論文集 9(4), 165-166, 2010.
- [8] 沖田 英樹, “PBB-VPN 運用管理システムの開発評価”, 電子情報通信学会技術研究報告, ICM, 情報通信マネジメント: IEICE technical report 109(463), 35-40, 2010.
- [9] 吉澤 政洋, 垂井 俊明, 沖田 英樹, “サーバ仮想化環境における管理コストを低減するネットワーク管理システム

の実装および評価”, 電子情報通信学会技術研究報告, NS, ネットワークシステム 109(273), 71-76, 2009.

[10] Sunil D. Krothapalli, X. Sun, Yu-Wei E. Sung, Suan Aik Yeo and Sanjay G. Rao, “A Toolkit for Automating and Visualizing VLAN Configuration”, In Proceedings of ACM CCS Workshop on Assurable & Usable Security Configuration, Nov, 2009.

[11] 竹房 あつ子, 中田 秀基, 高野 了成, 柳田 誠也, 大久保 克彦, 工藤 知宏, 田中 良夫, “マルチドメインクラウド資源フレームワークの実証実験”, 電子情報通信学会技術研究報告, NS, ネットワークシステム 110(448), 479-484, 2011.

[12] 三末 和男, “ネットワークの可視化技術 - 大規模ネットワークと動的ネットワークへの挑戦 -”, 電子情報通信学会誌, Vol.92, No.2, pp.112-117, 2009.

[13] JP1, <http://www.hitachi.co.jp/Prod/comp/soft1/jp1/>

[14] OpenView, <http://www8.hp.com/us/en/software-solutions/software.html?compURI=1170657>

[15] Hinemos, <http://www.hinemos.info/>

[16] Trema: Full-Stack OpenFlow Framework, <https://github.com/trema/>

[17] 大野 岳夫, 副島 賢司, 黒田 貴之, 島村 栄, “研究開発業務の効率化を目的とした IaaS クラウド基盤の試作とその活用”, 情報処理学会全国大会講演論文集, 2012.

[18] Open vSwitch: <http://openvswitch.org/>