

## 仮想ネットワークのライフサイクルを用いた管理手法

濱 口 毅<sup>†1</sup> 小 俣 拓 也<sup>†1</sup> 重 野 寛<sup>†2</sup>

現在、インターネットに代わる新世代のネットワークが期待されている。そこで、仮想ネットワークが新世代ネットワークで利用する新しいアーキテクチャを開発するためのテストベッドネットワークとして導入された。仮想ネットワークはスライスされた物理ネットワークのリソースを利用して構築される。利用者は仮想ネットワークと物理ネットワークを分離することで独自のネットワークアーキテクチャを構築可能である。しかし、仮想ネットワークにおいて複数の仮想ノードや仮想リンクをグループで管理する手法は検討されていない。そのため、仮想ネットワークにライフサイクルの観点を導入することでグループで管理する手法を提案する。

### Management with Life Cycle in Virtual Network

TSUYOSHI HAMAGUCHI,<sup>†1</sup> TAKUYA KOMATA<sup>†1</sup>  
and HIROSHI SHIGENO<sup>†2</sup>

A new generation network for the Internet is expected now. Therefore virtual network was introduced into the test bed network to develop the architecture for new generation networks. Virtual network is constructed using sliced resource of a physical network. Users divide a virtual network from a physical network and construct an original network architecture. Therefore virtual network is used as a test bed. However, technique which manage plural virtual nodes and virtual link in groups in virtual network is not done. In this paper, we propose management of virtual network by group which introduce the life cycle of its.

<sup>†1</sup> 慶應義塾大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Technology, Keio University

<sup>†2</sup> 慶應義塾大学理工学部

Faculty of Science and Technology, Keio University

### 1. はじめに

インターネットは世界中で大きく普及した。1969年にARPANETが誕生し、TCP/IPなどのネットワークの研究開発が成果を出し、パケット通信の技術が確立された。それによってインターネットが普及し、現在ではインターネットに代わる新世代のネットワークが期待されている。

新世代ネットワークで利用する新しいアーキテクチャを開発するために仮想ネットワークが提案された。仮想ネットワークは仮想ノードと仮想リンクから構築されている。そして、それらは仮想化技術を用いて作成されている。仮想化技術はリソースを分割することで1台の機器を複数の機器として多重化する技術である。そのため、仮想ネットワークはアーキテクチャを開発する上で複数の技術の比較であったり、リソースの管理が容易である。よって、スライスできる仮想ネットワークがテストベッドネットワークとして使われている<sup>1)</sup>。

現在の仮想ネットワークでは仮想ネットワークを構成している仮想ノードや仮想リンクを単独で管理していると想定される。しかし、今後も新たなアーキテクチャの研究に仮想ネットワークが利用されると考えられるため、複数の仮想ノードや仮想リンクをまとめて管理する必要がある。なぜならば、仮想ノードや仮想リンクを単独で管理すると管理者の作業量が増え、仮想ネットワークの管理が困難になるからである。このことから、管理者は複数の仮想ノードや仮想リンクをグループで管理するべきである。

そこで、本稿では仮想ネットワークのライフサイクルを用いた管理手法を提案する。提案手法では仮想ネットワークのライフサイクルとグループの観点を導入する。仮想ネットワークのライフサイクルは仮想ネットワークの状態を定義した観点である。グループは複数の仮想ノードと仮想リンクを1つのまとまりとして定義した観点である。この提案手法は管理者がグループを決定し、そのグループにライフサイクル適応する。そのため、仮想ネットワークの管理を効率化できる。

さらに、ライフサイクルを定義すると仮想ネットワーク特有の管理方法が実現できると考えられる。現在の仮想ネットワークでは仮想化技術の特徴は単独の仮想ノードと仮想ノードにしか利用できない。そのため、仮想ネットワーク特有の管理方法を実現すべきである。本稿では仮想ネットワーク特有の管理方法として再開機能を提案する。再開機能は仮想ネットワークのライフサイクルとグループを用いて仮想ネットワークを保存し、物理ネットワーク上に復元することで仮想ネットワークを再開できる機能である。

本稿ではライフサイクルモデルを用いた管理手法を実現するプロトタイプシステムと仮

仮想ネットワークの再開機能の構築を行い、仮想ネットワークをグループで管理する手法の実現性を示した。

## 2. 関連研究と問題点

### 2.1 仮想ネットワーク

仮想ネットワークはスライスされた物理ネットワークのリソースを利用して構築されている。図1に物理ネットワークに2つの仮想ネットワークを作成した例を示す。まず、仮想ネットワークを構築するためにはそれを構成する仮想トポロジを決定する。次に、仮想ネットワークで利用する物理ネットワークのリソースの量と、仮想トポロジにパケットを流す設定方法を決定する。ここで、本稿ではそれぞれリソース量と接続方法と呼ぶ。そして、リソース量に合わせて仮想トポロジに仮想ノードと仮想リンクを作成する。さらに、接続方法に合わせて仮想ノード間にパケットが到達させるために仮想リンクの設定を行い仮想ネットワークを構築する。また、リソースのスライスには仮想化技術が利用されている。仮想化技術はリソースを分割することで1台の機器を複数の機器として多重化する技術である。これを利用して物理ネットワーク上の物理ノードに仮想化技術を適応し、仮想ノード、仮想リンクを作成する。

新しいネットワークアーキテクチャの実験を行うために、仮想ネットワークはテストベッドとして利用される。これまでのテストベッドは既存のネットワーク技術に基づいて実験が行われていたため、実験範囲が制限されていた。しかし、仮想ネットワークではルータやリンクを含めた実験が行えるため、新しいネットワークアーキテクチャの開発を行うテストベッドとして利用されている。VINI<sup>2)</sup>はプロトコルとサービスを評価することができるテストベッドである。このテストベッドのルーティングは既存のテストベッドより自由度が高く、シミュレーションやエミュレーションより現実的な結果をだせる。GENI<sup>1)</sup>はアメリカにおける大規模なテストベッドである。GENIは研究者自身が仮想ネットワークを構築し、実験できることを目標としている。CABO<sup>3)</sup>は現在、物理ネットワークと仮想ネットワークの分離に成功しているテストベッドである。仮想ノードと仮想リンクを作成し、それらを異なるネットワーク間で接続させて仮想ネットワークを構築することができる。

### 2.2 関連研究

本稿では仮想ネットワークの研究は3つに分類できると想定する。1つ目は仮想ノード、仮想リンクの作成である。これは物理ネットワークのノードやリンクを仮想化するための研

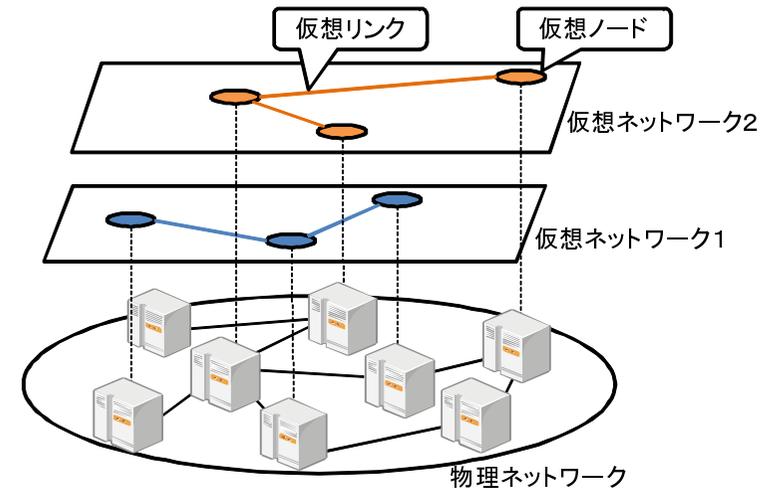


図1 仮想ネットワーク  
Fig.1 virtual network

究であり、仮想ネットワークの基本的な研究である。その中でも VROOM<sup>4)</sup>はルータの仮想化について書かれている。これは仮想化したルータを利用して仮想ネットワークのメンテナンスを容易にし、消費電力を抑えることができる。2つ目は仮想ネットワークのリソース制御である。物理ネットワークのリソースは有限である。そのため、多くの仮想ネットワークを構築するためには効率よくリソースを割り当てる必要がある。Raghavanらの研究では物理ネットワークに十分なリソースがない場合は、各仮想ネットワークにリソースを動的に割り当て、スケジューリングして制御する<sup>5)</sup>。また、Davinci<sup>6)</sup>では仮想リンクの帯域を動的に割り当てるフレームワークを提案している。3つ目は仮想ネットワークの管理である。仮想ネットワークは複数台の仮想ノードと仮想リンクで構成されている。さらに、共有された物理ネットワーク上に複数の仮想ネットワークが存在すると考えられる。その際に多くの仮想ノードや仮想リンクが混在し、管理が複雑になってしまう。そのため、仮想ネットワークの管理を効率的に行う方法が必要である。Feridanらの研究では仮想ノードや仮想リンクを管理ネットワークを用いて管理している<sup>7)</sup>。

### 2.3 想定される問題点

仮想ネットワークの管理において、現在は仮想ネットワークを構成している仮想ノードや仮想リンクを単独で管理していると想定される。しかし、今後も新たなアーキテクチャの研究に仮想ネットワークが利用されると考えられるため、複数の仮想ノードや仮想リンクをまとめて管理する必要がある。なぜならば、単独で管理すると仮想ネットワークの管理が困難になるからである。仮想ノードや仮想リンクを単独で管理したときの問題点は3つ想定される。1つ目は仮想ネットワークの管理が複雑になると考えられる。たとえば、仮想ネットワークの構築時、管理者が仮想トポロジを決定し、物理ネットワークのリソースをスライスする。しかし、これらを複数の仮想ノードと仮想リンクに行くと管理者の作業量は増え、管理が複雑になると考えられる。2つ目は仮想ネットワークの一部の仮想ノードや仮想リンクにポリシーを適用できないと考えられる。仮想ネットワークは仮想ノードと仮想リンクで構成されているためテストベッドネットワークとして利用される。そのため、利用状況に合わせてリソース量の設定などのポリシーを一部の仮想ノードと仮想リンクに行くと想定される。しかし、単独で仮想ノードや仮想リンクを管理するとポリシーを適用できない。3つ目は仮想化技術特有の機能が利用できないと考えられる。仮想ネットワークは既存のネットワークと異なり仮想ノードや仮想リンクで構成されている。そして、それらは仮想化技術を利用して作成されている。しかし、現在の仮想ネットワークの管理は単独の仮想ノード、仮想リンクの仮想化技術特有の機能しか存在しない。そのため、仮想ネットワーク特有の機能を導入するべきであると考えられる。仮想ネットワークに限らずネットワークは設定を少しでも誤ると切断されてしまう。これはネットワークの管理者にとって重大な問題である。ネットワークが不通となった原因を特定することができずネットワークを復旧できなかったり、原因を特定して改善できても、多くの労力を消費することがある。このことから、ネットワークの復旧を容易に行うための機能が仮想ネットワーク特有の機能として最優先されると考えられる。このことから、管理者は複数の仮想ノードや仮想リンクをグループで管理するべきである。

### 3. 仮想ネットワークのライフサイクルモデルを用いた管理手法

本稿では、仮想ネットワークのライフサイクルを用いた管理手法を提案する。

2.3節から、仮想ネットワークは複数の仮想ノードや仮想リンクをまとめて管理する必要があると言える。そのため提案手法では仮想ネットワークのライフサイクルとグループの観点を導入する。ライフサイクルは仮想ネットワークの状態を定義した観点である。グルー

プは複数の仮想ノードと仮想リンクの集合を定義した観点である。管理者がグループを決定し、そのグループ単位でライフサイクルを適応して仮想ネットワークを管理する。そのため、管理の複雑化を解決できる。また、グループを用いて管理しているため、仮想ネットワークの一部の仮想ノードと仮想リンクにポリシーを適応できる。

また、本提案では仮想ネットワークの管理に状態情報を用いる。仮想ネットワークはスライスされた物理ネットワークのリソースを利用して構築されている。そのため、状態情報を用いて仮想ネットワークのリソース量や接続方法を決定する。しかし、この状態情報は仮想ネットワークでのみ利用できるため、状態情報を用いることで仮想ネットワーク特有の機能を実現できる。

#### 3.1 ライフサイクル

仮想ネットワークの管理にライフサイクルを導入する。本提案ではライフサイクルを4つの状態に分類する。以下に4つの状態を示す。

- (1) **Init**  
物理ネットワーク上に仮想ネットワークが存在しない状態である。仮想ネットワークは仮想ノードと仮想リンクで構成される。この状態はそれらが作成されていない状態である。
- (2) **Deployed**  
これは仮想トポロジが決定している状態である。管理者は仮想ネットワークを構築する際に仮想トポロジを決定する。
- (3) **Stop**  
これは仮想ノードや仮想リンクが作成された状態である。この状態は仮想トポロジに仮想ノードや仮想リンクが含まれるようにそれらが作成されている
- (4) **Operating**  
これは仮想ノードと仮想リンクが相互に接続された状態である。仮想ネットワークを利用するために仮想ノード間でパケットが到達する設定をする。これによって仮想ネットワークは実行状態になる。

#### 3.2 グループ

グループは複数の仮想ノードと仮想リンクの集合から成り立っている。これは管理者が1つのグループとして扱いたい仮想ノードと仮想リンクを選択して決定される。そして、この

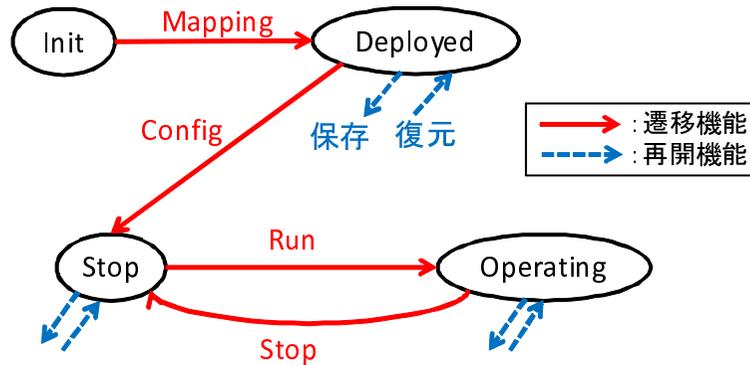


図2 仮想ネットワークのライフサイクルと管理機能  
Fig.2 life cycle of virtual network and management function

グループをライフサイクルに合わせて管理することで仮想ネットワークの管理が効率化される。

### 3.3 状態情報

状態情報は仮想ネットワークを利用するときのリソース量や接続方法を示した情報である。状態情報は仮想ネットワークの構築、設定のときに、物理ノードに送信される。物理ノードは受信した状態情報を利用して指定されたリソース量や接続方法になるように設定する。状態情報は2つの情報に分けられる。

#### ● 構成情報

これは仮想ネットワークで利用するリソース量を示した情報である。仮想ネットワークで利用するリソース量は管理ノードで管理者によって決定される。リソース量を仮想ネットワークに反映させるために、管理ノードから物理ノードに構成情報が送信される。受信した物理ノードは構成情報に従って仮想ノード、仮想リンクを作成する。

#### ● 動作情報

これは仮想トポロジを構成する情報である。仮想ネットワークは仮想ノードや仮想リンクを作成するだけでは構築されない。仮想ノード間で通信する必要がある。そのため、動作情報が仮想ノードに送信され、パケットが到達してネットワークとして機能するための設定がされる。

### 3.4 管理機能

管理機能は管理者がライフサイクルの状態を決定するための機能である。この機能は管理ノードから管理者が実行する。図2はライフサイクルと管理機能を示している。円はライフサイクルの状態を表し、矢印は管理機能を表わしている。管理機能は遷移機能と再開機能の2つから成る。遷移機能はライフサイクルの状態を遷移させる機能である。再開機能は仮想ネットワークを Init 以外のライフサイクルの状態から利用する機能である。

#### 3.4.1 管理ノード

管理ノードは管理機能を実行するノードである。管理ノードは物理ネットワークに接続されている。そのため、管理者は管理機能を実行して物理ネットワーク上の仮想ネットワークを操作することができる。また、管理者は管理ノードでグループを決定する。

#### 3.4.2 遷移機能

遷移機能はライフサイクルの状態を遷移させる機能である。グループの管理はグループに対して遷移機能を利用してライフサイクルの状態を遷移させて行う。ライフサイクルの遷移には状態情報を用いる。要求された状態と一致するように状態情報を用いてライフサイクルの状態を決定する。遷移機能には4つの機能がある。

#### ● Mapping

この機能はライフサイクルの状態を Init 状態から Deployed 状態に遷移する。管理者はこの機能を実行して仮想トポロジを指定する。つまり、Mapping 機能を利用すると管理者は仮想ノード、仮想リンクの配置場所とリソース量を決定する。すると、管理ノードでそれに基づいて構成情報と動作情報が作成される。構成情報は指定した仮想トポロジに合わせて管理ノードから物理ノードに送信される。

#### ● Config

この機能はライフサイクルの状態を Deployed 状態から Stop 状態に遷移する。管理者は仮想トポロジを作成するとそれに合わせて仮想ノードや仮想リンクを作成する。構成情報を受信した物理ノードで仮想ノードと仮想リンクが作成される。

#### ● Run

この機能はライフサイクルの状態を Stop 状態から Operating 状態に遷移する。仮想ネットワークを機能させるために仮想ノード間でパケットを到達させなければならない。そのため、この機能が管理ノードで実行されると、グループ宛に動作情報が送信さ

れる。受信したグループ内の仮想ノード、仮想リンクは動作情報に従って設定をする。

• Stop

この機能はライフサイクルの状態を Operating 状態から Stop 状態に移す。この機能を利用すると動作情報に従って処理した設定を仮想ノード、仮想リンクで Stop の状態に戻す。

3.4.3 再開機能

再開機能は仮想ネットワークを Init 以外のライフサイクルの状態から利用できる機能である。この機能を使うと、仮想ネットワークが切断されてもライフサイクルのある状態から復旧できる。図3に物理ネットワーク上の仮想ネットワークに対して再開機能を実行している例を示す。実行する機能には保存機能と復元機能がある。

保存機能は仮想ネットワーク自体を保存する機能である。仮想ネットワークは仮想ノード、仮想リンクで構成されているため、それらを保存することで仮想ネットワーク自体を保存できる。管理ノードで保存機能が実行されるとグループの仮想ノード、仮想リンクのイメージと状態情報が管理ノードに保存される。状態情報を保存することでリソース量や接続方法を保持できる。

復元機能は保存された仮想ネットワークを再び物理ネットワーク上に構築する機能である。管理ノードで復元機能が実行されると保存した仮想ノードのイメージと状態情報が物理ノードに送信される。受信した物理ノードは仮想ノード、仮想リンクを構築し、状態情報をもとにリソース量や接続方法を設定する。これによって仮想ネットワークを復元できる。

また、再開機能は仮想ネットワークの複製も可能である。保存された仮想ネットワークを異なる物理ネットワーク上で復元すると同様の仮想ネットワークを複数構築できる。これによって、類似した仮想ネットワークを利用した実験をする場合は構築に時間がかからない。

4. プロトタイプの実装

本節では、提案手法のプロトタイプの実装について説明する。ライフサイクルを用いた管理手法と仮想ネットワークの再開機能の構築を行った。

4.1 実装環境

物理ネットワークは管理ノード1台とサーバ3台をL3スイッチで接続することで構築した。仮想化方式にはコンテナ方式を使用した。コンテナ方式は稼働中のOSの内部にコンテナと呼ばれる区画を作成し、コンテナ間を分離して仮想化している。そのため、他の

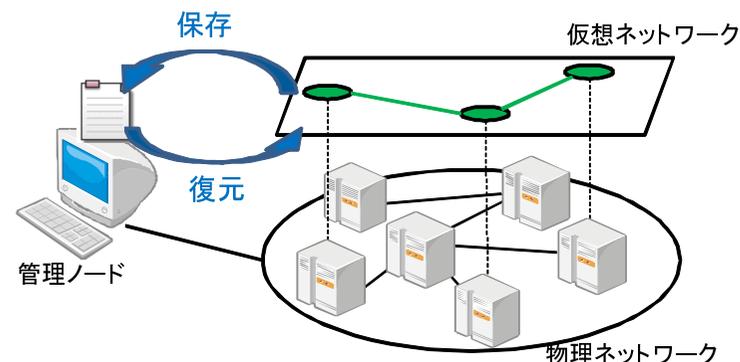


図3 再開機能  
Fig.3 restart function

仮想化方式に比べて処理が速い。よって本稿では OpenVZ を利用した。また、ネットワークのスライスにはタグ VLAN を利用した。なぜならば、他のリンクの仮想化に比べてタグ VLAN は容易に実現できるからである。そのため、L3 スイッチを利用した。

4.2 システムの構成要素

管理ノード

ライフサイクルを用いた管理をするために管理ノードに以下の役割を実装した。

- ライフサイクルの状態提示
- 管理対象となるグループの決定
- 状態情報を送信してサーバの構成モジュール、動作モジュールを実行

構成モジュール

構成モジュールはサーバ内に存在し、管理ノードから受け取った構成情報をもとに仮想ノードの作成を行う。仮想ノードの作成するために OpenVZ を利用する。OpenVZ は構成情報に書かれている CPU、メモリの利用量をもとにコンテナを作成する。

動作モジュール

動作モジュールはサーバ内に存在し、仮想ネットワークを作成するためにルーティングテーブルの設定を行う。サーバからコンテナにアクセスし、設定を変更する。

### 4.3 システム概要

ライフサイクルの遷移機能を利用するときは管理ノードで選択したグループに対して状態情報を送信する。状態情報は物理ネットワークを通過してサーバに送信される。受信したサーバは情報に応じて処理をモジュールに移す。構成情報の場合は情報を構成モジュールに渡し、仮想ノードや仮想リンクを作成する。動作情報の場合は情報を動作モジュールに渡し、ルーティングテーブルなどの作成を行う。それぞれモジュールの処理が終了したら管理ノードに通知する。

また、再開機能を利用するときも状態情報を利用する。仮想ネットワークを保存するときは管理ノードで選択したグループに対して保存要求をする。要求されたサーバは構成モジュール、動作モジュールで状態情報を抽出する。そして、仮想ノードのコンテナと共に状態情報を管理ノードに送信する。管理ノードはグループ単位で作成した1つのファイルに受信したコンテナと状態情報を保存する。復元するときは選択したグループに管理ノードから保存したコンテナと状態情報をサーバに送信する。受信したサーバはコンテナを起動し、モジュールによって状態情報を処理することでグループを復元する。

### 5. おわりに

本研究の目的は、仮想ネットワークを複数の仮想ノードや仮想リンクをグループで管理することである。現在の仮想ネットワークは仮想ノードや仮想リンクを単独で管理していると想定される。仮想ノードや仮想リンクを単独で管理したときの問題点は3つ想定される。1つ目は仮想ネットワークの管理が複雑になると考えられる。2つ目は仮想ネットワークの一部の仮想ノードや仮想リンクにポリシーを適応できないと考えられる。3つ目は仮想化技術の機能が利用できないと考えられる。そのため、複数の仮想ノードや仮想リンクをまとめて管理する必要がある。

本稿では仮想ネットワークをまとめて管理するためにライフサイクルを用いた管理手法を提案した。提案手法では仮想ネットワークのライフサイクルとグループの観点を導入する。管理者がグループを決定し、そのグループ単位でライフサイクルを適応して仮想ネットワークを管理する。そのため、管理の複雑化を解決できる。また、グループを用いて管理しているため、仮想ネットワークの一部の仮想ノードと仮想リンクにポリシーを適応できる。また、本提案では仮想ネットワークの管理に状態情報を用いる。仮想ネットワークはスライスされた物理ネットワークのリソースを利用して構築されている。そのため、状態情報を用いて仮想ネットワークのリソース量や接続方法を決定する。しかし、この状態情報は仮想ネッ

トワークでのみ利用できる。そのため、状態情報を用いることで仮想ネットワーク特有の機能を実現できる。

ライフサイクルモデルを用いた管理手法を実現するプロトタイプシステムと仮想ネットワークの再開機能の構築を行い、仮想ネットワークをグループで管理する手法の実現性を示した。

### 参考文献

- 1) Geni: Global environment for network innovations. URL: <http://www.geni.net/>.
- 2) Vini: A virtual network infrastructure. URL: <http://www.vini-veritas.net/>.
- 3) L.Gao N.Feamster and J.Rexford. How to lease the internet in your spare time. *SIGCOMM Computer Communication Review*, pp. 61-64, 2007.
- 4) B.Biskeborn J. van derMerwe Y.Wang, E.Keller and J.Rexford. Virtual routers on the move:live router migration as a network-management primitive. *in Proceedings of the ACM SIGCOMM'08*, pp. 231-242, 2008.
- 5) S.Ramabhadran K.Yocum B.Raghavan, K.Vishiwanath and A.C. Snoeren. Cloud control with distributed rate limiting. *in Proceedings of SIGCOMM'07*, pp. 337-348, 2007.
- 6) Y.Li C.-Y. Lee J.Rexford J.He, R. Zhang-Shen and M.Chiang. Davinci: Dynamically adaptive virtual networks for a customized internet. *in ACM CoNEXT*, 2008.
- 7) M.Moser M.Feridan and A.Tanner. Building an abstraction layer for management systems integration. *in Proceedings of the 1st IEEE/IFIP International Workshop on End-to-End Virtualization and Grid Management*, pp. 57-60, 2007.