

## OpenFlow を用いた広域サーバマイグレーション Wide-area Server Migration using OpenFlow

福島達也<sup>†</sup>      八槇博史<sup>‡</sup>  
Tatsuya Fukushima      Hirofumi Yamaki

山口由紀子<sup>‡</sup>      高倉弘喜<sup>‡</sup>  
Yukiko Yamaguchi      Hiroki Takakura

### 1. はじめに

減災の観点から、災害発生時にネットワークサービスを迅速に復旧させるための技術に注目が集まっている [1]。現在のネットワークサービスは複雑化し、複数サーバの連携が必須になり、使用ソフトウェアによっては、ネットワーク構成が変更し難いものも増加している。これにより、ある機関のサーバネットワークで深刻な障害が発生した場合、当該のネットワークの構成をそのまま他機関へマイグレーションし、業務を継続する必要性が高まっている。しかしネットワーク設定を維持したまま、異なるネットワーク環境へマイグレーションすることは困難である。

本研究では、次世代ネットワーク制御技術 OpenFlow[2] のパケット書き換え機能を用いて、対象のサーバ宛てのパケットをネットワーク環境に適した内容に書き換えることで、別のネットワークにマイグレーションしても、環境の変化を意識せず継続してアクセスできる、広域サーバマイグレーション環境の構築を目指す。

本稿では、サーバネットワークでは OpenFlow 装置を、機関間を繋ぐネットワークでは従来のレイヤー 3 装置を用いた環境を想定し、IP アドレスの変更を伴わないマイグレーションを実現する手法について述べる。またサーバの起動環境に応じて自動的にマイグレーション運用に切り替える OpenFlow コントローラプログラムを作成し、正しく動作することを確認した。

### 2. OpenFlow

OpenFlow は、パケットを伝送するアーキテクチャと、経路を制御するアーキテクチャが分離している点が主な特徴であり、「OpenFlow スイッチ」「OpenFlow コントローラ」から構成される。

OpenFlow スイッチは、パケットの転送処理を決定するデータベースであるフローテーブルを持ち、記述された制御ルールに従って、宛先 IP アドレスやポート番号などのパケットヘッダの書き換えやパケットの破棄、任意の物理ポートからの転送を行う。

OpenFlow コントローラは、OpenFlow スイッチからの情報をもとに経路計算や通信経路制御を行い、OpenFlow スイッチにフローエントリと呼ばれる制御ルールを書き込む。

スイッチとコントローラ間は OpenFlow プロトコルでメッセージの交換が行われ、コントローラで生成されたフローエントリをスイッチに、スイッチの情報をコントローラに伝えるために利用される。

### 3. 広域サーバマイグレーション

OpenFlow スイッチのみで構築されたネットワークは、自由に経路を制御できるため、ネットワーク内でのマイグレーション運用が容易である。それに対し本研究における広域サーバマイグレーションは、WAN を介した異なる OpenFlow ネットワーク間でのマイグレーションを想定し、運用には以下の制約がある。

- OpenFlow スイッチで書き換えたパケットが、TCP/IP に基づいてマイグレーション先のネットワークに到達できる必要がある
  - － マイグレーションする機器の IP アドレス、デフォルトゲートウェイを変更できない
- OpenFlow コントローラは、異なるネットワークの OpenFlow スイッチを制御する権限がない
  - － マイグレーション運用するコントローラは、マイグレーション先のネットワーク構成を事前に把握できない
  - － マイグレーション先のコントローラは、マイグレーションする機器のネットワーク設定を事前に把握できない

### 4. 設計

本研究において設計した広域サーバマイグレーション運用のための機能は、主に以下の 2 つである。

#### 4.1. パケット書き換え機能

インターネットを介したクライアント PC と仮想サーバの通信を考える。DC1 の仮想サーバを DC2 にマイグレーションすると、ネットワークアドレスが異なるため通信ができない。そこで図 1 に示すように、コントローラでスイッチの制御を行い、マイグレーション運用時は以下の通りにパケットが流れるようにする。

- ① 仮想サーバ宛てに送信されたパケットは、TCP/IP に基づいて DC1 に転送され、スイッチ 1 が受信する
- ② スイッチ 1 は、宛先 IP アドレスを転送用アドレスに書き換え、転送する
- ③ TCP/IP に基づいて DC1 から DC2 に転送され、スイッチ 2 が受信する
- ④ スイッチ 2 は、宛先 IP アドレスを転送用アドレスから元の IP アドレスに書き戻し、仮想サーバに転送する

#### 4.2. 自動マイグレーション運用機能

パケットの転送に用いる転送用アドレスは、コントローラ 2 が仮想サーバ起動時に DC2 の IP アドレスの中から未使用のものを選択し、コントローラ 1 にアドレスの対応を通知する。DC2 において仮想サーバを起

<sup>†</sup>名古屋大学大学院情報科学研究科

<sup>‡</sup>名古屋大学情報基盤センター

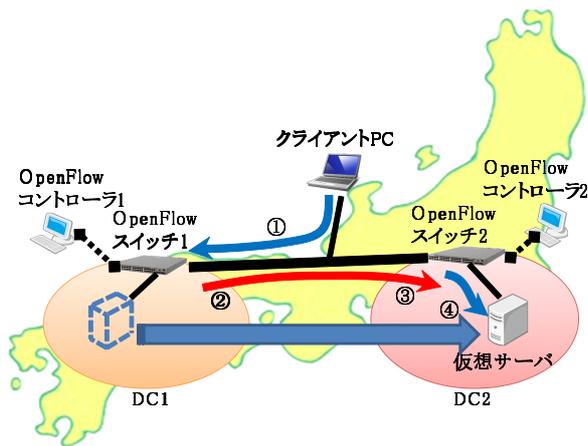


図 1: 広域マイグレーション運用を想定したネットワーク

動後、コントローラ間で以下のやりとりをすることで、自動でマイグレーション運用に切り替わるようにコントローラプログラムを実装する。

1. DC2 で仮想サーバを起動すると、デフォルトゲートウェイを探索する ARP REQUEST をブロードキャストで送信する
2. ARP REQUEST を受信したスイッチ 2 は、ARP パケットをコントローラ 2 に転送する
3. コントローラ 2 は、仮想サーバのアドレスと転送用のアドレスを含んだメッセージをコントローラ 1 へ送信する
4. コントローラ 1 とコントローラ 2 は、各スイッチのフローテーブルを削除し、マイグレーション運用のためのコントローラプログラムに切り替える
5. コントローラ 2 は DC1 のゲートウェイを記述した ARP REPLY を仮想サーバに返信する

また、マイグレーション運用中に、DC1 において仮想サーバを起動すると、コントローラ間で以下のやりとりをすることで自動でマイグレーション運用が停止するように実装する。これにより、仮想サーバの起動場所に応じて、自動的にマイグレーション運用と通常運用が切り替わる。

1. DC1 で仮想サーバを起動すると、デフォルトゲートウェイを探索する ARP REQUEST をブロードキャストで送信する
2. ARP REQUEST を受信したスイッチ 1 は、ARP パケットをコントローラ 1 に転送する
3. コントローラ 1 は、コントローラ 2 へ、仮想サーバのアドレスを含んだメッセージを送信する
4. コントローラ 1 とコントローラ 2 は、各スイッチのフローテーブルを削除し、通常運用のためのコントローラプログラムに切り替える
5. コントローラ 1 は DC1 のゲートウェイを記述した ARP REPLY をサーバに返信する

#### 4.3. 動作例

OpenFlow プロトコル対応スイッチと、OpenFlow コントローラアプリケーション NOX[3] を用いて、図 1 の

ネットワークトポロジを構成し、広域サーバマイグレーション環境を実装した。なお OpenFlow コントローラは、通常運用時には各 OpenFlow スイッチがスイッチングハブとして動作するようプログラムした。

仮想サーバを、DC1 のドメイン名を管理する DNS コンテンツサーバとし、マイグレーション後も問い合わせが可能が実験した。

まず DC1 の仮想サーバを停止し、あらかじめ DC2 にコピーしておいたものを起動したところ、ARP REQUEST が送信され、コントローラ 1 とコントローラ 2 のプログラムがマイグレーション運用モードに切り替わることを確認できた。

クライアント PC の DNS 設定に仮想サーバの IP アドレスを指定し、クライアント PC から DC1 の他のサーバへ、ドメイン名によるアクセスを試みたところ、DC2 にマイグレーションしている仮想サーバから IP アドレスを取得することができ、アクセスできることを確認した。

さらに、仮想サーバを DC1 で起動することで、ARP REQUEST が送信され、マイグレーション運用を停止し、各コントローラのプログラムが通常モードに切り替わることを確認した。

#### 5. おわりに

本研究では OpenFlow を用いた広域サーバマイグレーション手法を提案・実装し、異なるネットワークへのマイグレーション後も、各機器の IP アドレスを変更することなく通信が可能であることを確認した。

IP アドレスを変更しないマイグレーション運用は、DNS サーバなど、IP アドレスの変化が他のサービスに影響を及ぼすシステムに適していると考えられる。また、サーバを起動するだけで、起動環境に応じて運用が切り替わる本手法は、複雑な設定を必要としないため、災害時におけるネットワークシステム復旧の短縮化への応用が期待できる。

各機関のネットワークが、異なるポリシーで運用されている場合について考える。例えば 4.3 節のシナリオにおいて、OpenFlow スイッチ 2 が外部からの DNS パケットを遮断するよう制御されている場合、パケットがマイグレーション先の仮想サーバまで到達できないため正しく運用できない。このようなネットワークポリシーが異なる機関間においても、マイグレーション運用が可能であり、かつ各機関のネットワークに与える影響が少ないフローテーブル作成手法の設計が、今後の課題として挙げられる。

#### 参考文献

- [1] 堀越, 佐藤, 松本: “災害に強いネットワークに向けた研究開発”, 電子情報通信学会誌, 95, 3, pp. 253–258 (2012).
- [2] “OpenFlow—Enabling Innovation in Your Network”. <http://www.openflow.org/>.
- [3] “NOX—An OpenFlow Controller”. <http://noxrepo.org/>.