L-014

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 † 八槇博史 ‡ 山口由紀子 ‡ 高倉弘喜 ‡
Tatsuya Fukushima Hirofumi Yamaki 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．

†名古屋大学大学院情報科学研究科
‡名古屋大学情報基盤センター

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

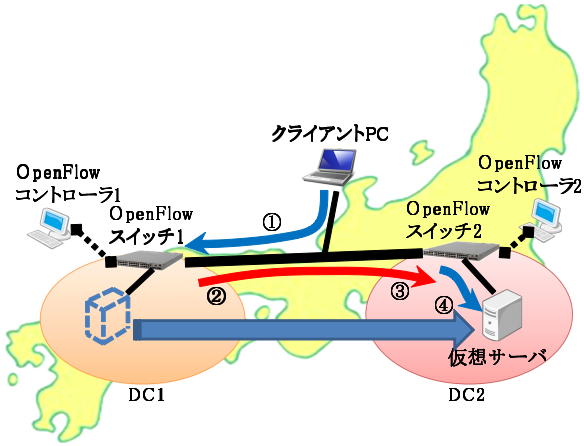

図 1: 広域マイグレーション運用を想定したネットワーク

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か実験した．

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/`.