

Osaka University

Adaptive and autonomous placement method of virtualized network functions based on biochemical reactions

村田研究室
坂田 航樹

1

Osaka University

ネットワーク機能仮想化技術 (Network Function Virtualization: NFV)

- ネットワーク機能を汎用サーバ上のソフトウェアで実現
 - 仮想ネットワーク機能 (Virtual Network Function: VNF)
 - ソフトウェアで実現されたネットワーク機能
 - サービスチェイニング (Service Chaining: SC)
 - フロー毎に適切な VNF を経由するようにパケットの転送経路を制御する技術

メリット

- 新サービスの迅速・柔軟な実現
- インフラ共有による資源削減
- ネットワーク運用のシステム化
- 環境変動への柔軟性の向上

↓

近年のネットワークを取り巻く環境の変化に対応

2

Osaka University

生化学反応を用いたタプル空間モデル [14]

- 分散システム内の挙動をタプル空間内の生化学反応式で表現
 - タプル空間: 生化学反応の起こる場
 - 化学物質: 種類や濃度によってタプル空間の情報を表現
 - 生化学反応: 結果により化学物質の濃度を増減させて、タプル空間の情報を操作
- ネットワークの挙動の表現
 - 複数のタプル空間を接続してネットワークを構成
 - 化学物質の拡散や移動を生化学反応で表現
 - 各タプル空間で反応は独立に起こる

ネットワーク化されたシステムの
自律分散的な挙動の
モデル化に適している

3

Osaka University

研究の背景と目的

- NFV に求められる機能
 - SC 要求及びフローのトラフィック量に応じたNFV システムの制御
 - 各サーバへの VNF の配置, 各 VNF への資源配分, フロー経路の決定など
 - 環境変動への対応
 - サービス拡張性の保持
- 生化学反応を用いたタプル空間モデル
 - ネットワーク化されたシステムの自律分散的な挙動のモデル化に有効
 - 具体的なネットワークサービスへの適用に関しては未検討

生化学反応を用いたタプル空間モデルによって
NFV に求められる機能の実現を目指す

4

Osaka University

タプル空間モデルを用いた NFV システムのモデル化

- タプル空間: サーバ
- 化学物質: VNF の需要, フローのパケット, サーバ資源等
- 生化学反応式: フローへの VNF の実行, VNF への資源配分, フローの経路の決定及びパケットの転送等を表現
- サーバを複数接続して NFV システムの挙動を表現

5

Osaka University

酵素触媒反応の NFV への応用

一般形

$$E + S \rightarrow ES \rightarrow E + P$$

(E: 酵素, S: 基質, ES: 酵素-基質複合体, P: 生成物)

Substrate (S) → Enzyme (E) → Enzyme (E) + Products (P)

MEDIATE (ES)

- 酵素がないと反応が進まない
- 反応後は酵素が元の形に戻る
- VNF はサーバ資源がないと実行できない
- VNF の実行後サーバ資源は解放される

NFV へ応用

RSRC (サーバ資源) → VNF (需要に応じて資源を割り当て) → PKT (パケット到着) → MEDIATE (VNF を実行) → RSRC (解放)

- VNF、VNF の需要の多さを表現
- PKT: SC 要求が与えるフローを構成するパケット
- RSRC: 利用可能な資源量
- RS VNF: VNF に割り当てられた資源量
- toserve: パケットへの VNF の実行
- MEDIATE: SC 要求のパケットに割り当てられた資源量

6

Osaka University

VNF への資源割り当てと VNF の実行

- VNF の需要に従った資源割り当て
 - (1), (2): VNF への資源の割り当て, VNF の実行, フローを構成するパケットの SC の更新, 実行された VNF の需要増加
 - (3): 実行されない VNF の需要減少
- 需要の多い VNF の周囲のサーバへの拡散
 - (4): 需要の多い VNF の分散実行, VNF の再配置を実現

$$RSRC|VNF_f \xrightarrow{rs} RS.VNF_f \quad (1)$$

$$RS.VNF_f|PKT_c \xrightarrow{mediate} MEDIATE_c \xrightarrow{rs} \begin{cases} VNF_{f_1(c)}|VNF_{f_2(c)}|PKT_c|RSRC|toServe(VNF_{f_1(c)}, PKT_c) \\ (if f_1(f(c)) \neq \emptyset) \\ VNF_{f_1(c)}|VNF_{f_2(c)}|RSRC|toServe(VNF_{f_2(c)}, PKT_c) \\ (if f_2(f(c)) = \emptyset) \end{cases} \quad (2)$$

$$VNF_f \xrightarrow{rs} 0 \quad (3)$$

$$VNF_f \xrightarrow{rs} VNF_f' \quad (4)$$

- VNF_f: VNF f の需要の多さを表現
- PKT_c: SC 要求 c であるフローを構成するパケット
- toServe(VNF_f, PKT_c): PKT_c への VNF_f の実行の完了
- RSRC: 利用可能な資源量
- RS.VNF_f: VNF f に割り当てられた資源量
- MEDIATE_c: SC 要求 c のパケットに割り当てられた資源量

Osaka University

フローの経路の決定とパケットの移動

- 生化学における濃度勾配に基づいた物質の移動
 - 濃度勾配: 体内の細胞間での, ある物質の濃度が異なる場合のその傾き
 - 濃度勾配に応じて細胞間を物質が移動
- 勾配場によるフローの経路の決定
 - VNF の需要が多く, サーバの利用可能な資源量の多いサーバへ, パケットが向かうような経路
 - (5) - (8): VNF の需要が多く, サーバの利用可能な資源量の多いサーバを頂上として, 周囲に向かって裾野が広がるように勾配場を形成
 - (9): 勾配場に応じてフローの経路を決定

$$VNF_f|RSRC \xrightarrow{rs} VNF_f|RSRC|GRAD_f \quad (5)$$

$$VNF_f|RS.VNF_f \xrightarrow{rs} VNF_f|RS.VNF_f|GRAD_f \quad (6)$$

$$GRAD_f \xrightarrow{rs} 0 \quad (7)$$

$$GRAD_f \xrightarrow{rs} GRAD_f'|GRAD_f' \quad (8)$$

$$PKT_c \xrightarrow{rs} PKT_c|GRAD_f' \quad (9)$$

SC 要求が {f₀, f₁, f₂} であるフローの経路

GRAD_f: VNF f の勾配物質

Osaka University

動作確認 : シミュレーション環境

- 各ノードに処理能力が 83 Kpps のサーバを 1 台設置
- パケットサイズを 1,500 Bytes と考えると, 1 Gbps のスループットに相当
- VNF は f₀, f₁ の 2 種類
- 各ノードの VNF の初期値
 - ノード 1 の VNF_{f₀}: 2,000
 - ノード 2 の VNF_{f₁}: 2,000
- ノード 0 にパケットを 17 Kpps で投入
 - フローのサービスチェイニング要求 c = {f₀, f₁}

- 確認する動作
 - 勾配場に応じたフローの経路の決定
 - VNF が提供されているノードにパケットが移動し, VNF が適用されることを確認
 - VNF の適切なサーバへの配置
 - パケットの処理時間が短くなるように VNF が配置されることを確認

Osaka University

動作確認 : 勾配場に応じたフローの経路の決定

- シミュレーション結果
 - VNF が提供されているノードが勾配場の頂上に
 - f₀ はノード 1 が, f₁ はノード 2 が勾配の頂上に
 - 勾配場に応じて, VNF が提供されているノードへパケットが移動し, VNF が適用される
 - ノード 0 → ノード 1 (f₀) → ノード 2 (f₁)

開始 10ms 後の f₀ の勾配場

f₀ の単位時間当たりの実行数

f₁ の単位時間当たりの実行数

Osaka University

動作確認 : VNF の適切なサーバへの配置

- シミュレーション結果
 - 時間経過後, すべての VNF がノード 0 で処理
 - 各 VNF がノード 1, 2 からパケットが到着するノード 0 へ
 - VNF の拡散先にパケットが到着し, VNF に対する需要が増加
 - パケットの到着するノードで VNF が実行されることで, パケット処理時間を短縮
 - ノード 0 に集約することでノード 1, 2 をスリブさせ, 省電力化が可能

f₀ の単位時間当たりの実行数

f₁ の単位時間当たりの実行数

Osaka University

まとめと今後の課題

- まとめ
 - 生化学反応を用いたタプル空間モデルのNFVへの適用方法を提案
 - VNF の配置, 資源割り当て, 及びフローの経路の決定
 - 動作確認
 - 複数のシナリオに基づくコンピュータシミュレーション
 - 勾配場に応じたフローの経路の決定とパケットの移動を確認
 - 酵素触媒反応の応用による VNF の適切なサーバへの配置及び資源配分を確認
 - パラメータチューニングによる VNF の様々な処理形態の実現
 - 数学的解析により提案手法の基本的な挙動とパラメータの影響を導出
 - パラメータチューニングにより, 複数ノード間の負荷分散の程度を制御できることをシミュレーションにより確認
- 今後の課題
 - 既存手法との性能比較評価
 - NFV に求められる他の挙動の実現
 - ノード間の伝搬遅延時間
 - VNF 毎の要求資源量の違い
 - 提案手法に基づく NFV システムの設計及び実装