

採 択 番 号 : 19104

課 題 名 : 未来を創る新たなネットワーク基盤技術に関する研究開発

副 題 : 時空間ダイナミクスの記述を可能とする拡張 Bow-Tie 構造に基づく進化発展可能なネットワーク化情報処理基盤アーキテクチャの創出

(1) 研究開発の目的

本研究開発では、仮想化技術を前提にしたネットワーク化情報処理基盤のための設計原理を、自己組織化原理に基づく環境適応性だけでなく、進化適応性を有する時間的・空間的構造を明らかにすることによって確立する。そのために、生物システムの Bow-Tie 構造に着目する。生物システムにおいて、Bow-Tie 構造は生物システムにおける情報処理ユニットであり、コアネットワークと入出力ネットワークからなり、かつ、階層的に構成されることによって全体システムをなすことがすでに知られている。ただし、これらの性質はいずれも相対的なものであり、Bow-Tie 構造の詳細については対象システムに依存する。本研究開発では、対象とするネットワーク化情報処理基盤を対象とした Bow-Tie 構造の詳細な検討を行うとともに、進化生物学における最新の研究成果に基づいて、進化適応可能なコアの内部構造を明らかにする(拡張 Bow-Tie 構造)。さらに、拡張 Bow-Tie 構造に基づいた具体的なシステム設計例として、NFV を用いて検証するとともに、具体的サービス例として Designated Reality を実装することによってその有効性を実証する。

(2) 研究開発期間

平成 28 年度から平成 32 年度 (5 年間)

(3) 実施機関

国立大学法人大阪大学 <代表研究者>

(4) 研究開発予算(契約額)

総額 85 百万円(平成 29 年度 17 百万円)
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

- 研究項目 1: Bow-Tie 構造に基づくネットワーク仮想化情報処理基盤の設計(大阪大学)
- 研究項目 2: 進化適応性を有するための拡張 Bow-Tie 構造のモデル化と検証(大阪大学)
- 研究項目 3: 拡張 Bow-Tie 構造に基づいたサービス実装による実証実験(大阪大学)

(6) 特許出願、論文発表等

		累計(件)	当該年度(件)
特許出願	国内出願	0	0
	外国出願	0	0
外部発表	研究論文	0	0
	その他研究発表	6	3
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	0	0
	標準化提案	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

・研究開発項目 1：Bow-Tie 構造に基づくネットワーク仮想化情報処理基盤の設計
仮想化技術に基づくネットワーク化情報処理基盤における Bow-Tie 構造の詳細化にあたって、ネットワーク仮想化情報処理基盤に求められる機能的要件を整理し、以下の 6 つの要件 SAFEST を得た。

- ① Scalability (量的拡大/縮小に対処可能であること)
- ② Accommodationability (局所性を考慮したユーザ/サービス収容能力を有すること)
- ③ Flexibility (状況変化に柔軟であること)
- ④ Evolutionability (進化適応性を有していること)
- ⑤ Self-Organizing Capability (自律的なシステム構成能力を備えていること)
- ⑥ Tolerability (故障耐性を有していること)

このうち、③ Flexibility はネットワーク仮想化によってもたらされ、⑤ Self-Organizing Capability は Bow-Tie 構造によってもたらされるものとなっている。従って、仮想化技術に基づくネットワーク化情報処理基盤のシステム設計論を得るためには、Bow-Tie 構造を基本としつつ、① Scalability、② Accommodationability、④ Evolutionability、⑥ Tolerability の 4 つの要件を得るシステム設計・詳細化を進めた。

階層的コア構造を採用したネットワークサービスアーキテクチャ Virtualized-Physical Service Architecture (VPSA) を提示し、要件① Scalability と要件② Accommodationability への対応を図った。また、要件④ Evolutionability と要件⑥ Tolerability の双方を満たすために Degeneracy 結合を採用し、NFV における VNF 配置問題を対象として机上評価を実施し、有効性を確認した。

次に、平成 28 年度に OpenMANO を用いて構築した実験環境を見直し、OpenStack を用いた実験環境を再構築した。OpenStack を用いた実験環境で再実験を実施し、ほぼ同様のエンド間遅延が計測され、20%以上改善されることを確認している。OpenStack のライブマイグレーション機能を用いて、実機環境においてトラフィック負荷を高め、機能配置の再構成動作の確認を行った。現状では Bow-Tie 構造を反映した機能配置にはなっていないものの、機能配置に依存してユーザーPC の受信レートが低下し、映像に乱れ（主にブロックノイズ）が生じることを確認している。

・研究開発項目 2：進化適応性を有するための拡張 Bow-Tie 構造のモデル化と検証

Linux カーネルを題材として、新たな機能である SCTP や IPv6 などの機能追加に対して、コア・非コアの構造や規模をどのように変えているかを分析し、構造の時間的変化の挙動を明らかにした。Linux カーネルのネットワーク機能はディレクトリ net におかれ、ネットワーク機能の種類に応じたサブディレクトリが用意されている。サブディレクトリをコンポーネントと見立て、v2.4 から v4.7 に至るまでのコンポーネント間の接続の時間的変化を分析した。開発の過程で、新たに無線やセキュリティ、さらには SCTP や MPLS などの新しい通信プロトコルが組み入れられたが、96%のコンポーネントが core コンポーネントを、48%のコンポーネントが ipv4 コンポーネントを利用し、さらに core コンポーネントを構成する関数のうち 15% (v4.7) の 180 個程度の関数が継続して呼び出されることを明らかにし、また、新しいコンポーネントから呼び出される関数の数は開発が進行しても増加しないことを解明した。以上の結果から、コアとペリフェリーの分割にあたってはシステム要素の利用頻度による切り分けが適切であり、また、システムが進化適応性を有するためには入れ子型のコアペリフェリー構造（階層的 Bow-Tie 構造）が有力である見通しを得た。階層的 Bow-Tie 構造のモデルとしては、平成 28 年度から検討を進めている Leader/Outstanding/Organized に分類するモデルがあり、これらの分類を成す公理を提示した。

・研究開発項目 3：拡張 Bow-Tie 構造に基づいたサービス実装による実証実験

拡張 Bow-Tie 構造の適用シナリオとして、サービス利用者の物理的状況ならびに遠隔地の物理的

(29-2)

状況の変化に応じて、利用者側のエッジサーバーや遠隔地側のエッジサーバーで適応的な処理を行う Designated Reality を挙げている。本年度は、Bow-Tie 構造を基本とするサービス例として、遠隔地に配置したロボットを操作しショッピング体験を享受する「My Shopping Mall At Home」を検討し、詳細化した。初期実装として、仮想現実技術／複合現実技術とエッジコンピューティング技術を利用し、局所的に取得される実世界の情報を局所的に統合・処理を行いつつ遠隔地のロボットへ情報伝達を行うアプリケーションを開発した。研究開発項目 1 で構築した実験環境を用いたアプリケーション動作に成功した。また、局所的な情報統合・処理によるユーザーの体感品質の向上性を検証し、その結果、エンド間遅延が 720 [ms] から 920 [ms] の間でユーザーの体感品質が急激に悪化することが明らかとなった。