The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Designing Adaptive and Evolvable Software-defined Infrastructure Inspired by Biological Behaviors
Author(s)	井上, 昴輝
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/72589
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式3

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 (井上 昴輝)	
論文題名	Designing Adaptive and Evolvable Software-defined Infrastructure Inspired by Biological Behaviors (生物学的振舞いに基づく進化適応性を備えるSDI仮想化基盤の構築の研究)

論文内容の要旨

Software-defined infrastructure (SDI) is a promising framework to enable flexible and rapid deployment of new services on information networks by providing virtualized infrastructure to customers by slicing computing resources and network resources. That contributes shortening time-to-market of customers' services. Also, for network service providers, it is expected that there will be a merit of both capital and operating expense (CAPEX and OPEX) reduction by deploying a SDI framework.

However, several problems remain in virtual network control and physical network design towards enjoying the SDI framework. First, a resource control which can immediately response to demand fluctuations is required. The softwarized user interface in SDI enables responding to resource demands from various customers in short-term. Second, related to the above problem, a resource controller is required to work without a full knowledge of the whole network situation. Conventional approaches intend to solve a certain optimization problem, where a centralized network controller needs to collect precise information before calculating an optimized solution. However, this process will be difficult for a larger number of multiplexed virtual networks, and that disables the on-demand network operation. Third, drastic and unexpected demand fluctuations should be considered. With short-term and customized requests, demand fluctuations become difficult to predict. Then adaptation by a softwarized VNE control becomes more important in SDI, but an improper physical resource arrangement may course degradation of the performance of VNE controls. The target of this thesis is to construct a virtual network embedding (VNE) control method for solving the first and the second problems, and physical resource planning for the third problem.

We first propose a physical resource design method for optical networks, e.g., wavelength division multiplexing (WDM) networks, as a prior inspection for physical resource design method in SDI frameworks. We propose a design method for adding transceivers to IP routers in IP-over-WDM networks. The method defines correspondence between an evolution model and a WDM network, and simulates a process of biological evolution (i.e., mutation and selection of gene regulatory networks through generations) where transceivers arrangement is reflected by modifying the gene regulatory network. Then it measures performance of the VNT control method (i.e., average link utilization rate). Evaluation results show that our method accommodates more patterns of traffic fluctuation with lower link utilization than ad-hoc design methods do. Thus we confirm our approach is promising for physical resource design.

Second, we present a VNE method that works with limited information for large, complicated, and uncertain SDI frameworks. To achieve this, the proposed method applies the biological ``Yuragi'' principle. Therefore, we develop a Yuragi-based VNE method that deals with node attributes, has the generality to set a performance objective, and runs in multi-slice environments. We examine a complicated model of end-to-end delay and show that the proposed method can sustain its adaptability under various types of delay conditions. Simulation results show that the Yuragi-based method can decrease VN migrations by about 29% relative to a heuristic method to adapt to fluctuations in resource requirements.

Finally, we propose an SDI resource design strategy that increases diversity of VNE solutions, which is derived by a variation of regulatory matrices under demand fluctuations. Our design strategy for the SDI system aims to achieve adaptability in the face of unpredictable environmental changes by increasing the diversity of considered VNE states. As a successful biological model, we consider the evolution of populations of organisms to better fit changing environments. The strategy imitates the evolvability of biological populations, adopting an evolutionary model that treats each VNE solution characterized as a biological phenotype. We use the proposed strategy to construct a method for reinforcing the computational capacity of physical nodes, and conduct experiments by computer simulation. Our results show that the probability of convergence with VNE control is improved by using the proposed physical-resource reinforcement, achieving a gain of up to 19% relative to a basis reinforcement method which optimizes an expected performance under predicted demand fluctuations.

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　井上　昴輝　）			
論文審査担当者		（職）	氏　名
	主 査	教授	村田 正幸
	副 査	教授	渡辺 尚
	副 査	教授	長谷川 亨
	副 査	教授	東野 輝夫
	副 査	教授	松岡 茂登

論文審査の結果の要旨

SDI（Software-defined Infrastructure）はネットワークと計算資源をソフトウェア制御により統合管理する技術であり、計算資源を含めて仮想ネットワークを提供する枠組みとして研究開発が進められている。SDIでは、仮想化技術により、物理資源を仮想的に切り分けて提供することが可能であり、カスタマーやサービス毎にネットワークをスライス化し柔軟な要件に応えることができる。また、要求の受付けから資源割り当てまでの作業をソフトウェアにより自動制御し、仮想ネットワークの即時提供や要求の変更への迅速な対応を可能とする。しかし、SDI仮想化基盤の構築に向けて課題が残されている。一つ目に、仮想ネットワーク要求の到着、要求の変動への即応が求められる。SDIではソフトウェアAPIを通してサービス要求を受け付けるため、細かい時間粒度での要求変動が起こることが想定される。従来の長期観測に基づく最適化アプローチによる資源割当方式は、細かい時間粒度の変動へ対応しようとするものではなく、従来方式ではソフトウェア化される迅速な手続きに適さない。また、制御コントローラーが多重スライスの一元管理を行うため、多重される仮想網数が増大しネットワークが大規模化する状況においては、莫大なネットワーク情報をコントローラーに収集する必要がある。その結果、制御コントローラーへの負荷が増大し、制御メッセージが帯域を圧迫することによる通信遅延の増大がボトルネックになりネットワーク管理が破綻する恐れがある。二つ目に、大幅な要求変化や環境変化に対する適応を図る必要もある。近年、フラッシュクラウドなどと称される急激にデマンドが大幅増加する現象が発生しており、SDI運用においても、サービスの多様化や、接続端末の多様化、接続端末数の増加が見込まれ、そのような変動へ備える必要がある。そこでも、仮想ネットワーク制御による適応を試みるが、場当たり的な物理資源設計では、物理資源容量の制約が仮想ネットワーク制御を阻害し、急激な変化を吸収することが困難となる。

本論文の研究成果は、上記の課題を解決することで、急激な要求変動や状況変化に対応可能なSDI基盤の設計制御方針を確立したことである。本論文では、まず、生物の進化適応性に関する知見をネットワーク資源設計に応用する事前検証として、IP-over-WDMネットワークにおいて生物の進化モデルに着想を得たポート数増強手法を提案し、トラヒックデマンドの変動強度に依らず、より多くのトラヒック変動パターンに対して仮想網制御により平均リンク利用率を小さく抑えられる効果を示している。さらに、生物のゆらぎ原理にもとづく仮想網埋め込み（VNE）制御手法を提案し、仮想ネットワーク要求のトポロジー変更や資源要求量の変動に対して、即座に遅延要件を満たす仮想網配置を導出することを示している。最後に、進化可能性を高める物理資源設計手法を提案している。提案手法は、生物の進化可能性に関する知見に着想を得てVNE解の多様性を測る指標を定義し、VNE制御が構築できるVNE解の多様性を高めるように物理資源増強を施す。提案した計算資源増強を施す効果として、ゆらぎ原理に基づくVNE制御手法が発見できるVNE解の多様性が増し、多様なデマンド変動に対してVNE制御の制御成功率が向上することを示している。

以上のように本論文は、生物のゆらぎ原理および進化適応性に基づき、デマンド変動に対する迅速な仮想ネットワーク制御に加え、多様なデマンド変動への適応可能性を獲得するSDI仮想化基盤構築に向けた有用な研究成果をあげている。よって、博士（情報科学）の学位論文として価値のあるものと認める。