

A Thesis for the Degree of Ph.D. in Engineering

**Reconfigurable hardware slice network
architecture for service transport and
data center network**

March 2023

**Graduate School of Science and Technology
Keio University**

Masaki MURAKAMI

主 論 文 要 旨

報告番号	① 乙 第	号	氏 名	村上 正樹
主 論 文 題 名 :				
Reconfigurable hardware slice network architecture for service transport and data center network (サービストラנסポートネットワークとデータセンターネットワークに向けた再構成可能ハードウェアスライスネットワークアーキテクチャ)				
(内容の要旨)				
<p>Beyond 5G 時代では今まで以上に多様なサービスが、それぞれの要件に応じた品質のネットワークを要求することが想定される。従来はエッジルーターのハードウェアを多機能にすることで、多様なサービスを収容していた。しかし、半導体性能の限界やサービス専用のネットワークをそれぞれ構築した場合においては設備コストが問題となった。そこで、我々は再構成可能ハードウェアを光ネットワークにより接続し、ネットワークスライスを構築する VPON (Virtual Packet Optical Node) の実現を目指している。VPON はリソースプールとして保持しているハードウェアをサービスに割り当て、要件に応じてハードウェアの機能を再構成する。そのため、ハードウェアはサービスに必要な機能のみを提供するため、リソースを効率よく利用でき、さらに、同一の物理ネットワーク上でハードウェアにより分離された論理ネットワークを構築するため、設備コストの課題も解決できる。</p> <p>VPON 実現に向けた主な課題として再構成可能ハードウェアスライスを構築するためのアーキテクチャの検討がある。サービスに適したハードウェア資源を確保するためには、物理的位置・ハードウェア性能・提供中のサービスと機能を識別する必要がある。そこで本論文では、VPON に流入したパケットに、これらを識別可能なアドレスを格納した SRv6 (Segment Routing IPv6) ヘッダを付与し、ネットワーク内でサービスに必要な機能を自律的に提供する方式を提案する。更に、サービス要求やネットワーク状態に応じてリアルタイムに資源を調停するために生体制御アルゴリズムに基づいて準最適解を導出する生物学的手法を導入した資源調停手法を提案する。また、再構成可能ハードウェアスライスの活用は DCN (Data Center Network) にも期待される。我々は OCS (Optical Circuit Switching) スライス、OSS (Optical Slot Switching) スライス、EPS (Electrical Packet Switching) スライスから構成される省電力 DCN を提案している。OSS や OCS はスイッチング消費電力がトラフィック量に依存しないため、高い省電力効果を得るためにはフローサイズや継続時間に応じて適切なスライスに収容する必要がある。従来のフロー分類手法では特定の時間帯に合わせてフロー分類を調整すると、トラフィック特性が変化した場合に、適切なスライスに収容できないフローが増加する問題が存在した。そこで、本論文では高い省電力効果を維持するために、フロー分類をトラフィックの動的な状況に応じて調整する手法を提案する。</p> <p>本論文では以下のように構成される。第1章では Beyond 5G 時代のサービスに触れながら、本論文の目的を明確化する。第2章では VPON のコンセプトを述べ、関連研究を紹介する。第3章では再構成可能ハードウェアスライスを構築するアーキテクチャと資源調停手法の提案を行う。提案手法により 1000 以上のスライスをリアルタイムに調停可能であることをシミュレーションで示す。更に、提案アーキテクチャに従って VPON プロトタイプシステムを構築し、実現可能性を検証する。第4章では再構成可能ハードウェアスライシング技術を省電力 DCN に適用し、フロー特性の変化に対応可能なフロー分類手法の提案とシミュレーション結果を示す。最後に、第5章において本アーキテクチャは次世代の多様なサービスを提供可能であることを結論として述べる。</p>				

Thesis Abstract

No. 1

Registration Number	<input checked="" type="checkbox"/> "KOU" <input type="checkbox"/> "OTSU" No. *Office use only	Name	Masaki Murakami
Thesis Title			
Reconfigurable hardware slice network architecture for service transport and data center network			
Thesis Summary			
<p>In the Beyond 5G era, it is expected that various service will require network quality to satisfy their individual requirements. In conventional approach, various services were accommodated using multifunctional edge routers. However, the limitations of semiconductor performance and the capital expenditure (CAPEX) of constructing dedicated networks became an issue.</p> <p>Therefore, we aim to realize a virtual packet optical node (VPON) in which reconfigurable hardware is connected in optical network and network slices are provided. VPON allocates hardware to services and reconfigures its functions according to their requirement. Thus, the hardware provides only the functions required for the service, enabling efficient use of resources. Furthermore, VPON solves CAPEX issue because logical network slices separated by hardware are constructed on the same physical network.</p> <p>One of the main challenges for VPON realization is considering the architecture for constructing reconfigurable hardware slices. In order to allocate hardware resources to suitable services, it is necessary to identify the physical location, hardware performance, services, and functions. Thus, this paper proposes a method to autonomously provide functions necessary for services in the network by adding a segment routing IPv6 (SRv6) header containing addresses that can identify the entries to packets entering the VPON. Moreover, we propose a resource arbitration method that introduces a biological method to get a quasi-optimal solution based on a biological control algorithm. The method enables arbitrating resources in real time according to service requests and network conditions.</p> <p>Reconfigurable hardware slices are also expected to be introduced in data center networks (DCNs). We have proposed an energy efficient DCN consisting of an optical circuit switching (OCS) slice, an optical slot switching (OSS) slice, and an electrical packet switching (EPS) slice. In OSS and OCS, since switching power consumption does not depend on the amount of traffic, the flows should be accommodated in appropriate slices according to their flow sizes and durations to get a high power-saving effect. In conventional flow classification methods, when flow classification is adjusted for a specific time period, the number of flows that cannot be accommodated in the appropriate slice increases when traffic characteristics change. Thus, this paper proposes a method to adjust flow classification according to dynamic traffic conditions in order to maintain a high power-saving effect.</p> <p>This dissertation is organized as follows. Chapter 1 clarifies the purpose touching on the services envisioned in the Beyond 5G era. Chapter 2 provides describes VPON concept and related works. In Chapter 3, a resource arbitration method is proposed, and experimental results with a VPON prototype are presented. In Chapter 4, reconfigurable hardware slicing technology is applied to the energy efficient DCN, and a flow classification method that can cope with changes in flow characteristics is proposed. Finally, Chapter 5 concludes that this architecture can provide various next-generation services.</p>			