

(続紙 1)

京都大学	博士 (情報学)	氏名	Zhang Yuncan
論文題目	Robust Service Provisioning in Network Function Virtualization (ネットワーク機能仮想化における堅牢なサービスプロビジョニング)		
(論文内容の要旨)			
<p>A network service (NS) is typically delivered using one or more functions, which provides a network functionality for the customers and/or the operators. Each NS is characterized by specific requirements such as delay requirement; a growing number of NSes with deadlines arise from the applications that cannot work properly if the delay requirement is not met. Network function virtualization (NFV) technology emerges as a promising way to reduce the capital and operational expenditures of service provisioning by decoupling network functions from proprietary hardware and enabling software implementation of network functions, i.e., virtual network functions (VNFs), on commodity servers. Compared to functions deployed on the dedicated hardware, the performance of VNFs is easily affected by diverse environmental factors, which includes various workloads and resource contentions among VNFs, and the VNFs that run in virtual machines or containers are prone to fail due to bugs, such as software crash and changes in operating conditions. Therefore, how to provision robust services that are capable of performing under heterogeneous deadlines, the uncertain processing times of VNFs, and the occurrence of failures, becomes challenging. This thesis studies three specific problems about robust service provisioning in NFV. Each problem corresponds to service scheduling under deadlines, service mapping and scheduling under uncertain processing time, and service chain provisioning against VNF and link failures, respectively.</p> <p>Firstly, this thesis proposes an optimization model to schedule delay sensitive NSes with deadlines allowing resource sharing and preemption. Unlike conventional NS scheduling models with static resource allocation for VNF instances, the proposed model ensures that VNF instances deployed on the same node share computation resources of the node and are able to scale up/down to change their process rate at runtime. NSes mapped to the same VNF instance of the same node share computation resources of the VNF instance and are able to be processed in parallel by the VNF instance. Preemption is allowed, which means that rescheduling the order of NS processing at runtime is possible and the process duration of each function of an NS is allowed to be discrete. This work formulates the proposed model as an integer linear programming (ILP) problem to maximize the number of admissible NSes. Due to the complexity of the problem, a genetic algorithm (GA) is developed to solve it efficiently. This work evaluates the proposed model with conventional models in the static and dynamic scenarios. The numerical results show that the proposed model outperforms conventional models in terms of acceptance ratio in both static and dynamic scenarios.</p> <p>Secondly, this thesis proposes an optimization model for the network service mapping and scheduling problem with uncertain processing time. This work models processing time uncertainty through the Γ-robustness approach, which provides different degrees of robustness against processing time uncertainty. This work formulates the problem with the objective to minimize the worst-case makespan over the given uncertainty set. This work shows the NP-hardness of considered problem. A heuristic that divides the problem into subproblems is presented to tackle it. For the subproblem in which mapping and scheduling decisions are given, this work develops an algorithm with polynomial time complexity to calculate the worst-case makespan over the uncertainty set, which has a better scalability than the corresponding mixed integer linear programming (MILP) problem and obtains the same worst-case makespan with the MILP problem. The numerical results show that the proposed model outperforms the conventional model with deterministic parameters in terms of worst-case</p>			

makespan.

Thirdly, this thesis proposes a sub-chain-enabled coordinated protection model for the availability-guaranteed service function chain (SFC) provisioning, which considers the availability of each component to constitute an SFC, including links and VNFs. Unlike conventional protection models providing certain protection for the whole chain, the proposed model configures sub-chains for each SFC and provides proper protection for each sub-chain to achieve the required availability in a cost efficient way. This work formulates the proposed model as an optimization problem to minimize the deployment cost. A game approach is presented to tackle the problem. The numerical results show that the proposed model outperforms the conventional ones in terms of deployment cost; the game approach has scalability of tackling the proposed model as the problem size increases.

This thesis is organized as follows. Chapter 1 introduces the background of robust service provisioning in NFV. Chapter 2 investigates the related works in literature. Chapter 3 presents the network service scheduling under deadlines with resource sharing and preemption. Chapter 4 develops the optimization model for network service mapping and scheduling under uncertain processing time. Chapter 5 introduces the service chain provisioning with sub-chain-enabled coordinated protection. Finally, Chapter 6 concludes this thesis.

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、ネットワーク機能仮想化における堅牢なサービスプロビジョニングに関する問題を、期限制約のあるサービスのマッピングとスケジューリング、不確実な計算処理時間を考慮したマッピングとスケジューリング、および、仮想ネットワーク機能とリンク障害に対するサービス機能チェーンのプロビジョニングに焦点を当てて研究を行っている。本研究で得られた成果は以下のとおりである。

第一に、遅延に敏感なネットワークサービスの期限制約を考慮して、計算資源共有とプリエンプションを可能にするマッピングとスケジューリングをするための最適化モデルを提案している。仮想化ネットワーク機能のインスタンスに静的な資源割り当てを行う従来のモデルとは異なり、提案モデルでは、同じノードに配備された仮想ネットワーク機能のインスタンスがノードの計算資源を共有し、実行時に計算処理能力を拡大・縮小することが可能である。また、実行時にネットワークサービス処理の順序を再スケジュールするプリエンプションが可能である。提案モデルを整数線形計画問題として定式化し、大規模な問題を解くために遺伝的アルゴリズムを開発している。静的および動的シナリオで、提案モデルを従来モデルと比較し、提案モデルが両シナリオでサービス収容効率の点で従来モデルよりも優れていることを示している。

第二に、不確実な計算処理時間を考慮して、ネットワークサービスのマッピングとスケジューリング問題のための最適化モデルを提案している。提案モデルでは、計算処理時間の不確実性の集合を数理モデルで表現し、与えられた不確実性集合に対して、最悪のメイクスパンを最小化する問題として定式化している。この問題を現実的な時間で解くために、複数のサブ問題に分割する発見的手法を開発している。開発された発見的手法は、対応する混合整数線形計画法よりも優れた拡張性を備え、最適値とほぼ同等の値を得ることを示している。さらに、提案モデルが、決定的な計算処理時間を想定した従来モデルよりも優れていることを示している。

第三に、仮想ネットワーク機能とリンク障害に対するサービス機能チェーンプロビジョニングにおいて、サービスの可用性を保証するために、サブチェーンを用いた協調型プロテクションモデルを提案している。提案モデルは、サブチェーンの導入により、サービス機能チェーンを構成する各コンポーネントの可用性を柔軟に組み合わせる。サービス機能チェーン全体に特定のプロテクションを提供する従来のモデルとは異なり、提案モデルは、サービス機能チェーンは複数のサブチェーンから構成され、各サブチェーンに適切なプロテクションを提供して、コスト効率の高い方法で必要な可用性を実現する。提案モデルを最適化問題として定式化し、ゲーム理論による解法を提示している。評価結果は、提案モデルが配備コストの点で従来モデルよりも優れていることを示している。ゲーム理論による解法は、問題規模に対して、拡張性があることを示している。

以上、本論文は、ネットワーク機能仮想化における堅牢なサービスプロビジョニングに関して、ネットワークサービスのマッピングとスケジューリング、及び、プロテクションモデルを提案し、ネットワーク機能仮想化技術の発展に貢献するものである。本論文の内容は、学術上、実用上とも寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値のあるものとして認める。また、令和3年8月20日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公開可能日： 年 月 日以降