



Doctoral Thesis

Don't disturb my Flows: Algorithms for Consistent Network Updates in Software Defined Networks

Author(s):

Förster, Klaus-Tycho

Publication Date:

2016

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010733901> →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 23703

**Don't disturb my Flows:
Algorithms for Consistent Network Updates
in Software Defined Networks**

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH

(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

Klaus-Tycho Förster

Diplom-Mathematiker, Braunschweig University of Technology, Germany

Diplom-Informatiker, Braunschweig University of Technology, Germany

Assessor des Lehramts, Studienseminar Goettingen, Germany

born on 19.05.1984

citizen of

Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Roger Wattenhofer, ETH Zurich, examiner
Ratul Mahajan, Ph.D., Microsoft Research, co-examiner
Prof. Dr. Stefan Schmid, Aalborg University, co-examiner

2016

Abstract

In this dissertation, we consider the problem of finding efficient methods and complexity classifications for the consistent network update problem, with special focus on Software Defined Networks (SDNs). While the original and updated set of rules might both be consistent, disseminating the rule updates is an inherently asynchronous process, resulting in potentially inconsistent states. We study two fundamental consistency properties, first, loop freedom of forwarding rules, and second, consistent flow migration.

For the consistency property of loop freedom, we focus on hardness results. We start with longest prefix matching rules, and show that both maximizing the number of rules updated at once and finding the fastest update schedule is an NP-complete problem. Our results are then extended by proving that deciding if a sublinear schedule exists is also NP-complete already for two destinations. For single-destination routing, the number of rules updated at once can be approximated well in polynomial time, but finding an optimal update set is NP-complete too. We also consider related problems, specifically the hardness of fast blackhole-free updates under memory restrictions, the use of labeling schemes for local loop-free updates, and flipping the approach by generating efficient failure scenarios for reachability testing of a SDN controller.

For the consistent migration of flows, we show that for most scenarios involving splittable flows, the problem is in P, but NP-complete to decide for unsplittable flows. Specifically, we start by considering the standard flow migration model, where the bandwidth of every edge should be respected, no matter if each individual flow is in its old or its new state. We then extend this model in three ways: First, we develop non-mixing flow migration, where each packet respects waypointing and service chains. Second, we show the standard model to be susceptible to packet loss, and develop a lossless flow migration model. Third and last, we decouple the flow migration problem from a fixed new set of paths, and just consider the new set of demands: For the case of multi-commodity flows with one destination, this change allows to greatly improve the number of updates needed in the worst case. For all of these models, we present the first algorithms that can decide if a consistent flow migration for splittable flows exists, and also

provide an implicit schedule. On the hardness side, we show the decision problems for unsplittable flows to be NP-complete, whereas previous work only considered fastest update schedules.

Zusammenfassung

Thema der vorliegenden Dissertation ist die Problematik von konsistenten Netzwerkaktualisierungen in programmgesteuerten Netzwerken, mit besonderem Augenmerk auf effizienten Algorithmen und Komplexitätsklassifizierungen. Selbst wenn die aktuellen und gewünschten Netzwerkzustände in einem konsistenten Zustand sind, kann der Wechsel zwischen beiden Zuständen zu Inkonsistenzen führen, da die Dissemination der Änderungen ein inhärent asynchroner Prozess ist. Wir betrachten zwei fundamentale Konsistenzprobleme, zuerst die Kreisfreiheit von Netzwerkpaketweiterleitungen, dann die konsistente Migration von Netzwerkflüssen.

Für die Thematik der Kreisfreiheit legen wir unseren Fokus auf Komplexitätsresultate. Wir beginnen mit Präfixregeln und zeigen, dass sowohl die Maximierung der gleichzeitig aktualisierten Regeln als auch die Minimierung der Aktualisierungsplandauer ein NP-vollständiges Problem sind. Unsere Resultate lassen sich auch auf den Spezialfall mit zwei Senken erweitern, für den wir zeigen, dass das Problem der Aktualisierungsplandauer auch NP-vollständig für sublineare Werte ist. Sollte nur eine Senke im Netzwerk sein, dann kann die Maximierung der gleichzeitig aktualisierten Regeln gut approximiert werden, jedoch ist die optimale Lösung dieses Problems auch NP-vollständig. Wir betrachten in diesem Kontext auch verwandte Probleme, etwa Schwarze Löcher unter Speicherrestriktionen, die Verwendung von Knotenetikettierungen für rein lokale konsistente Aktualisierungen, und zuletzt eine in gewisser Sicht umgedrehte Problemstellung, bei der die Wiederherstellung der Erreichbarkeit im Netzwerk in effizient gewählten Fehlerfällen thematisiert wird.

Bezüglich der konsistenten Migration von Netzwerkflüssen können unsere Ergebnisse grob wie folgt zusammengefasst werden: Das jeweilige Entscheidungsproblem ist in P für teilbare Flüsse, aber NP-schwer für unteilbare Netzwerkflüsse. Wir betrachten zunächst das Standardmodell für konsistente Flussmigration, in dem die Kapazität jeder Kante nicht durch die aufliegenden Flüsse verletzt werden soll, egal ob die einzelnen Flüsse im alten oder neuen Zustand (nach der Aktualisierung) sind. Wir entwickeln dieses Modell dann auf drei Arten weiter: Zuerst betrachten wir nicht-vermischende Migration, bei der jedes Paket gewählte Wegpunkte und Dienstketten respektiert.

Danach zeigen wir, dass das Standardmodell für Paketverluste anfällig ist, und entwickeln ein verlustfreies Flussmigrationsmodell. Als drittes Modell entkoppeln wir das Flussmigrationsmodell von den gegebenen neuen Flusspfaden, und betrachten nur eine Migration zu den neuen Flussgrößen: Für Netzwerke mit nur einer Senke können wir dadurch die Dauer der konsistenten Flussmigration erheblich verbessern. Für alle diese Modelle ist unsere Arbeit die erste, die in polynomieller Zeit das Entscheidungsproblem für die konsistente Migration von teilbaren Netzwerkflüssen lösen kann. Für die entsprechenden Entscheidungsprobleme für unteilbare Flüsse können wir deren NP-Schwere beweisen, vorherige Arbeiten betrachteten nur die NP-Schwere der jeweiligen Optimierungsprobleme.