

Diss. ETH No. 15481

Adaptive End-to-End Quality of Service Guarantees in IP Networks

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZÜRICH

for the degree of
DOCTOR OF TECHNICAL SCIENCES

presented by
ROMAN PLETKA
Ing. dipl. en Systèmes de Communication, EPF Lausanne
born February 8, 1973
citizen of Müllheim, TG

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Burkhard Stiller, examiner
Prof. Dr. James P.G. Sterbenz, co-examiner

2004

Abstract

Quality of Service (QoS) in IP networks has made significant advances in the past decade, which resulted in the standardization of QoS frameworks such as Integrated Services and Differentiated Services addressing both relative and absolute service differentiation. Simultaneously, hardware development has led to new fast and efficient QoS mechanisms for traffic differentiation and prevention of the dreaded congestion collapse. The hardware itself shifted from simple network interface cards to interfaces built with application-specific integrated circuits, leading to the introduction of application-specific instruction-set processors, or in other words, network processors. This evolution allowed the development of new, more sophisticated algorithms for QoS support.

However, it can be safely stated today that QoS support still is rarely used. The increasing gap between the description of QoS parameters and the capabilities of the underlying hardware, which becomes even more important when traversing heterogeneous networks consisting of networking equipment from different manufacturers each having different capabilities, is one of the reasons for this. The lack of interoperability between QoS mechanisms cannot be solved solely on the protocol level. Moreover, QoS requirements differ for each type of application; a one-size-fits-all solution is not satisfactory, and, depending on the underlying QoS mechanisms, mapping these requirements to them is difficult. Therefore QoS deployment is an extremely complex task.

This thesis addresses existing and new QoS mechanisms whose integration, interaction, and interoperation are not solvable on the protocol level to build adaptive end-to-end QoS guarantees. To do so, a safe, efficient, and adaptive framework using active networks (SeaFan) is proposed that is flexible enough to address certain QoS tasks even in the data path. Safety and se-

curity requirements are ensured by the combination of a byte-code language, the introduction of the resource-bound vector, the definition of a safety hierarchy, and a sandbox environment. The minimum set of functionalities in a node model supporting the active-networking framework is specified. These functionalities are capable of acting locally on the nodes and globally with respect to the end-to-end service. The concept of having several QoS capabilities running at the same time is explicitly allowed.

New QoS mechanisms are introduced that address relative and absolute bandwidth differentiation with responsive and non-responsive protocols, including packet-drop-rate differentiation. Scalability is ensured by the aggregation of flows and the careful limitation of the distribution of information, even when acting on the end-to-end service from within the network.

The excellent performance of the new QoS mechanisms has been shown by means of simulations in *ns-2*, and the feasibility of and the benefits from the existence of a programmable networking infrastructure have been shown in a reference implementation on the IBM PowerNP 4GS3. Further optimization methods using just-in-time compilation have revealed additional potential in byte-coded active networks. The combination of the active-networking framework and the QoS mechanism enables the deployment of adaptive end-to-end services over heterogeneous IP networks.

Zusammenfassung

Dienstgütern in IP-Netzwerken haben im vergangenen Jahrzehnt entscheidende Fortschritte gemacht, die sich in der Standardisierung von diesbezüglichen Architekturen wie “Integrated Services” und “Differentiated Services” manifestiert haben. Diese Architekturen beinhalten sowohl absolute wie auch relative Dienstgütendifferenzierungsmöglichkeiten. In der Zwischenzeit hat die Entwicklung von neuen Rechner-Bausteinen auch zu schnelleren und effizienteren Mechanismen für die Unterstützung der Dienstgütendifferenzierbarkeit in Netzwerken geführt. Die einfachen Netzwerkschnittstellenkarten wurden im Laufe der Zeit mit applikationsspezifischen integrierten Schaltungen ergänzt und heute zunehmend durch Prozessoren mit applikationsspezifischen Befehlssätzen, auch Netzwerkprozessoren genannt, ersetzt. Diese Entwicklung ermöglichte den Einsatz neuer und komplexerer Algorithmen für die Unterstützung einer Vielzahl von Dienstgütern.

Trotzdem gilt heute immer noch, dass Dienstgütern in IP-Netzwerken nur in seltenen Fällen unterstützt werden. Die zunehmende Lücke zwischen der Beschreibung von Dienstgüteparametern und den Möglichkeiten der zugrunde liegenden Hardware ist umso wichtiger in heterogenen, aus Geräten verschiedenster Hersteller mit jeweils unterschiedlichen Möglichkeiten und Ressourcen bestehenden Netzwerken, und mit ein Grund für die spärliche Verbreitung von Dienstgütern. Fehlende Kompatibilität zwischen Mechanismen für Dienstgütern können nicht auf der Ebene von Protokollen gelöst werden. Des Weiteren ist eine Art Einheitsklasse unzureichend, da die Bedürfnisse der Anwendungen sehr unterschiedlich und deren Abbildung auf darunterliegende Dienstgütemechanismen sehr komplex sind. Deshalb ist der Einsatz von Dienstgütern eine sehr schwierig Aufgabe.

Diese Doktorarbeit befasst sich mit existierenden und neuen Dienstgütemechanismen, deren Integration, Interaktion und Interoperation nicht auf der Ebene von Protokollen gelöst werden kann, um adaptive Ende-zu-Ende Dienstgütegarantien aufbauen zu können. Dieses Ziel wird erreicht mit Hilfe einer neuen, ungefährlichen und sicheren Architektur, genannt SeaFan, basierend auf der Idee von aktiven Netzwerken. Diese Architektur weist genügend Flexibilität auf, um gewisse Prozesse für Dienstgütern im Datenweg auszuführen. Die netzwerkspezifischen Sicherheitsanforderungen sowie die Ansprüche auf Gefahrlosigkeit werden durch die Kombination aus einem Bytecode, der Einführung eines Vektors zur Limitierung der Ressourcen, der Definition einer Risikohierarchie sowie einer Sandkastenumgebung garantiert. Die Minimalmenge der Funktionsvielfalt wird in einem Knotenmodell, das diese auf aktiven Netzwerken basierende Architektur unterstützt, sowohl für lokal auf einem Knoten als auch global mit auf Ende-zu-Ende Sichtweise basierenden Funktionalitäten erläutert. Die Möglichkeit, mehrere Dienstgütemechanismen parallel zu verwenden, ist explizit erlaubt.

Neue Dienstgütemechanismen für die Differenzierung von Paketverlustraten und die relative und absolute Differenzierung von Bitraten, die sowohl für adaptive als auch für nicht anpassungsfähige Protokolle geeignet sind, werden eingeführt. Die Skalierbarkeit ist einerseits durch die Aggregation einzelner Datenverbindungen und andererseits durch die umsichtige Limitierung der Informationsverteilung bei der Ende-zu-Ende Sichtweise gegeben.

Die hervorragende Leistung der neuen Dienstgütemechanismen wird anhand von Simulationen in *ns-2* dargelegt, und die Machbarkeit sowie die Vorteile, die aus einer programmierbaren Netzwerkinfrastruktur resultieren, werden mittels einer Referenzimplementierung auf dem IBM PowerNP 4GS3 veranschaulicht. Weitere Optimierungsmöglichkeiten von byte-kodiertem aktiven Code basierend auf fertigungssynchroner Kompilation werden demonstriert. Die Kombination einer auf aktiven Netzwerken basierenden Architektur der Dienstgütemechanismen ermöglicht adaptive Ende-zu-Ende Dienste, die heterogene IP Netzwerke traversieren können.