



QoS-Unterstützung in der neuen Generation von Weitverkehrs-Kernetzen und erste Erfahrungen im europaweiten Einsatz

Rudolf Roth

Fraunhofer FOKUS
Kaiserin-Augusta-Allee 31, 10589 Berlin, Germany
roth@fokus.fraunhofer.de

Zusammenfassung Das DFN-Projekt QUASAR untersucht Quality-of-Service-Architekturen für das DFN G-WiN. In enger Kooperation mit anderen europäischen Forschungsnetzbetreibern wurde im Rahmen des IST Projektes SEQUIN hierzu ein Premium IP Dienst entwickelt, der im pan-europäischen Backbone GÉANT implementiert und in ersten Feldversuchen erprobt wurde. In diesem Beitrag werden die Grundzüge des Premium IP Dienstes erläutert, und die durchgeführten Experimente dargestellt. Aus den erzielten Untersuchungsergebnissen werden Empfehlungen abgeleitet, die unternommen werden sollten, um zu einer schnellen und breiten Verfügbarkeit von Premium IP in den europäischen Wissenschaftsnetzen zu gelangen.



1 Einführung



Fortschritte in den optischen Übertragungstechnologien führen vor allem im Wissenschaftsbereich zu einem tiefgreifenden Wandel. Ambitionierte Anwendungen aus diversen Gebieten wie z.B. Mobility und VoIP Telephonie, Hochenergiephysik oder Telemedizin erfordern neben höheren Übertragungsraten meist auch Zusicherungen an die Dienstqualität bezüglich Übertragungsverzögerung, Streuung der Verzögerungszeiten und Paketverlust. Das Kommunikationsnetz muss daher über geeignete Mechanismen verfügen, um QoS-Anforderungen unterstützen zu können.

Viele der derzeit diskutierten QoS-Ansätze sind nur schlecht skalierbar; sie besitzen zu große Komplexität und verlangen einen hohen Aufwand an Konfiguration, Kontrolle und Administration. Es besteht damit ein Risiko erhöhter Stör- und Fehleranfälligkeit, so dass einer breiten Einführung von QoS-Unterstützung letztendlich ein fragwürdiges Kosten/Nutzen-Verhältnis entgegensteht.

Das DFN startete das Projekt QUASAR, in dem Quality-of-Service-Architekturen für das neue Wissenschaftsnetz G-WiN untersucht werden [3][4][5]. Ziel des Projektes ist die Entwicklung einer umfassenden QoS-Architektur, die den Gegebenheiten des G-WiN-Hochleistungsnetzes angepasst ist. In dem Beitrag werden die im Projekt verfolgten Ansätze erläutert, und die wichtigsten bisher erzielten Ergebnisse dargestellt.

Unabdingbar für eine erfolgreiche QoS-Strategie ist es, eine konsistente Herangehensweise in Abstimmung unter den Betreibern der europäischen Wissenschaftsnetze bzw. NRENs (national research and educational networks) zu erzielen. Der hier propagierte



Ansatz wurde daher nicht in Isolation entwickelt, sondern entstand in enger Kooperation mit den wichtigsten europäischen Forschungsnetzbetreibern im Rahmen des IST Projektes SEQUIN [8].

Eines der Hauptergebnisse dieser Arbeiten ist die Spezifikation eines Premium IP Dienstes für QoS-kritische Anwendungen basierend auf dem DiffServ EF-PHB Modell [20][21][23][24]. Premium IP soll künftig über den pan-europäischen Backbone GÉANT Forschern aus den angeschlossenen Einrichtungen europaweit zur Verfügung stehen. Die Umsetzbarkeit des Premium IP Dienstes wurde in ersten Feldversuchen mit verschiedenen Nutzergruppen erprobt.

2 Premium IP Spezifikation und Implementierung

2.1 Motivation und Zielsetzung

Gegenwärtig wird europaweit eine neue Generation von Wissenschaftsnetzen in Betrieb genommen, die in ihrem Kernbereich über Bandbreiten von 2,5 – 10 Gbit/s verfügen. Mit dem Übergang zu Netzen der neuen Generation werden meist auch ATM Dienste nicht mehr länger unterstützt. TEN-155 bot mit MBS (managed bandwidth service) interessierten Forschungsgruppen QoS-Verbindungen garantierter Bandbreite innerhalb des pan-europäischen Backbones. Für das Nachfolge-Netz GÉANT sollte daher mit Premium IP eine vergleichbare Lösung bereitstehen, bei der jedoch QoS-Mechanismen der IP Schicht zum Einsatz kommen.

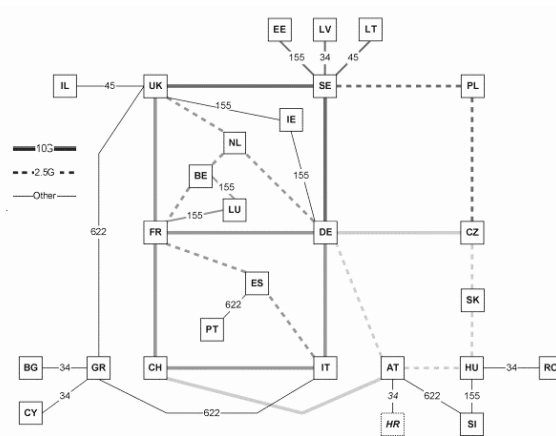


Abbildung 1: GÉANT Pan-European Backbone

Mit der gegenwärtigen Generation von Routern erscheinen Geräte auf dem Markt, die ein differenziertes Queuing von Paketen in Hardware realisieren, so dass durch die Konfiguration derartiger Features keine übermäßige Belastung der zentralen CPU mehr befürchtet werden muss, und ein Einsatz in Produktionsnetzen möglich wird. Andererseits

ist jedoch von unterschiedlichen Ersetzungszyklen in den europäischen NRENs auszugehen, so dass von einer weiten Verfügbarkeit nur schrittweise und mittelfristig ausgegangen werden kann.

Als Ersatz für MBS sollte Premium IP dem Nutzer einen QoS-Dienst ähnlich einer Mietleitung (leased line service) bieten, d.h. eine zugesicherte Bandbreite, geringe Verzögerungszeiten und vernachlässigbare Paketverlustraten. Die anstrebte Zielgruppe ist von vergleichbarer Größe, wie der der bisherigen MBS-Nutzer, und es ist mit einer ähnlichen Anzahl von Dientanforderungen zu rechnen; die Bereitstellung und Administration des Premium Dienstes sollte mit einem vergleichbaren Aufwand wie bei MBS zu bewältigen sein.

Ziele für Premium IP sind

- Bereitstellung eines IP QoS Dienst mit einer MBS vergleichbaren Charakteristik
- Realisierbarkeit auf den aktuell im Einsatz befindlichen Routerplattformen von GÉANT und der NRENs
- Schnelle Diensteführung und Bereitstellung während der Laufzeit von GÉANT
- Unabhängigkeit von der unterliegenden Netztechnologie
- Ende-zu-Ende-Dienst, der mehrere administrative Domains überspannen kann

Eine wichtige Anforderung ist, dass Premium IP über Domaingrenzen hinweg bereitgestellt werden kann, und mit unterschiedlichen Technologien unterstützt werden kann, so dass einzelne NRENs abhängig von ihrem augenblicklichen Stand und ihrer Ausbaustufe den Dienst flexibel unterstützen können, wie z.B. durch differenziertes Queuing, separate ATM PVCs oder kontrolliertes Overprovisioning.

Aufgrund dieser Vorgaben wurde ein Ansatz gewählt, der den folgenden Prinzipien genügt:

- Premium IP benötigt nur minimale zusätzliche Verarbeitungsaktionen pro Knoten
- zumindest zu Anfangs ist von statischer, manueller Konfigurierung auszugehen, und es werden keine zusätzlichen Signalisierungsprotokolle eingesetzt
- die Einführung kann innerhalb einer Domain stufenweise erfolgen

2.2 Premium IP Dienstmodell

Das Premium IP Dienstmodell [1][9][10] beruht auf dem EF-PHB (expedited forwarding per hop behavior) der diffserv (differentiated services) -Architektur. Die Diffserv-Architektur unterscheidet unterschiedliche Dienstklassen, die durch den DSCP-Wert (bzw. ehemals TOS-Byte) im IP-Paketheader gekennzeichnet werden.

Die Diffserv-Architektur bietet hohe Skalierbarkeit durch Aggregation von Verkehrsströmen. Bei der Paketverarbeitung in den Kernnetzroutern werden keine Mikroflows mehr unterschieden, und die Zuordnung von Verarbeitungsressourcen geschieht einzig über die Paketklassenmarkierung. Zur differenzierten Behandlung der Paketklassen werden geeignete Queuing und Scheduling Disziplinen auf den Routern eingerichtet. Um bestimmte

QoS Charakteristiken für ausgewählte Klassen über die gesamte Netzdomain garantieren zu können, ist es notwendig, dass bestimmte Funktionalitäten an den Domaingrenzen ausgeführt werden, durch die das eingehende Verkehrsaufkommen kontrolliert wird. Hierzu zählen die Funktionen des Traffic Shaping (Verkehrsglättung), Admission Control (Zugangskontrolle) und Policing. Für die Spezifikation eines QoS-Dienstes innerhalb des Rahmens der Diffserv-Architektur ist es somit notwendig, für diese Funktionen eine genau Festlegung zu treffen.

Premium IP ist für die Gegebenheiten in GÉANT entworfen. Die Spezifikation ist jedoch allgemein genug, um auch für die angeschlossenen NRENs anwendbar zu sein, deren Kernnetz-Topologien in Struktur und Komplexität weitgehend mit GÉANT vergleichbar sind. Für die Erbringung eines Ende-zu-Ende-Dienstes kann hier im allgemeinen von der in Abbildung 2 dargestellten Konstellation ausgegangen werden. Die Applikationen der Endnutzer erreichen über ein Campusnetz (Lx) das jeweilige nationale Wissenschaftsnetz (Nx), die über GÉANT als Transitnetz untereinander verbunden sind.

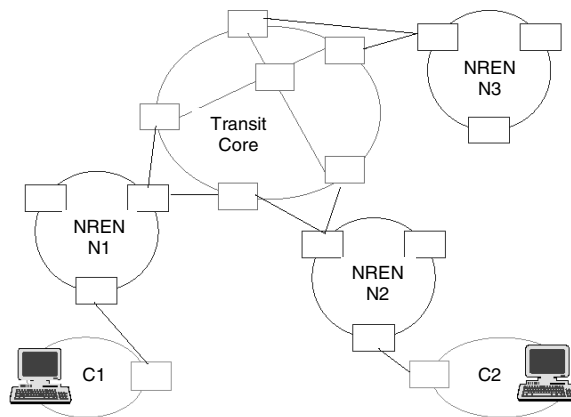


Abbildung 2: Netzmodell für Premium IP

Der Premium IP Dienst ist uni-direktional; es gibt eine maximale Bandbreite, mit der ein Sender Pakete in das Netz geben darf. Der Dienst ist sowohl Source als auch Destination spezifisch; er folgt damit einem Punkt-zu-Punkt-Modell. Dadurch unterscheidet sich Premium IP von einem empfänger-unabhängigen Modell, bei dem nur eine zulässige Zugangsrate festlegt wird, der jeweilige Empfänger von IP-Verkehr jedoch unspezifiziert bleibt und vom Sender nach Bedarf frei gewählt werden kann.

Für die einzelnen Funktionen gelten folgende Regeln:

Shaping

In den Weitverkehrsnetzen wird auf Verkehrsglättung verzichtet. Es ist Aufgabe des Endnutzers, dafür Sorge zu tragen, dass der eingehende Verkehr nicht den Dienstvertrag in Hinblick auf die maximale Übertragungsbandbreite verletzt. Es ist empfehlenswert, in den

Endsystemen eine Verkehrskontrolle zu konfigurieren, die verhindert, dass Paket-’Bursts’ gesendet werden, die die zulässige Höchststrate verletzen und dadurch zu Paketverlusten führen. Ist in der Anwendung bzw. dem Betriebssystem des Endgeräts diese Funktionalität nicht verfügbar, so empfiehlt sich zumindest eine Verkehrsglättung z.B. im Zugangsrouten, um auf diese Weise kurzfristige Bursts entzerren zu können und den Dienstvertrag einzuhalten.

In den Weitverkehrsnetzen selbst kann sich durch die Zusammenmischung unterschiedlicher Verkehrsströme unter Umständen die Burstiness erhöhen. Dieser Effekt muss in der Festlegung der Policy-Regeln Berücksichtigung finden.

Paket-Markierung

Im Regelfall sollte das Endsystem bereits die richtige Paketmarkierung für Premium IP erzeugen. Wahlweise kann jedoch auch die Markierung von einem Router im lokalen Campusnetz gesetzt werden.

Admission Control

In den Zugangsroutern zu den beteiligten Netzdomains muss der eingehende Verkehr, der als Premium IP markiert ist, auf seine Zulässigkeit überprüft werden. Bei Paketen, deren Source und Destination Adresspaar nicht mit einem der abgeschlossenen Dienstverträge übereinstimmt und die somit ungerechtfertigter Weise eine Premium-Markierung tragen, wird das DSCP-Byte zurückgesetzt und die Pakete werden als Best-Effort-Verkehr weiterbehandelt.

Policing

Pakete, deren Adresspaar zu einem der Dienstverträge passt, müssen am Eingangspunkt zu einer Netzdomain einem Policing unterworfen werden, um sicherzustellen, dass der eingehende Premium-Verkehr nicht die zulässige Höchststrate überschreitet. Exzess-Pakete, die diese Rate verletzen, werden verworfen. Das Premium IP Modell sieht vor, dass nahe am Kundennetz ein striktes Policing durchgeführt wird, während an den weiteren Domain-Übergangspunkten nur noch ein abgeschwächtes Policing stattfindet.

Policing wird auf dem aggregierten Premium IP Verkehrstrom ausgeführt. Daher unterscheidet das Policing am Übergang vom Kundennetz zum NREN Sender/Empfänger-Netzpaar. Am Übergangspunkt zwischen NREN und GÉANT wird jedoch nur noch der aggregierte Verkehr betrachtet und ein Policing auf der Basis von Sender/Empfänger-NREN-Paaren durchgeführt.

Die Policing-Funktion verwendet einen Token-Bucket, der durch die beiden Parameter der Rate und Bucket-Tiefe bestimmt ist. Als Rate wird am Übergangspunkt vom Kundennetz die vereinbarte Bandbreite konfiguriert und eine geringe Tiefe von 2 MTUs. An den weiteren Übergangspunkten sollte eine geringe zusätzliche Bandbreite zur aggregierten Summe konfiguriert werden, sowie eine größere Bucket-Tiefe, um Aggregationseffekte abzufangen. Der empfohlene Wert beträgt hier 5 MTUs.

Router Scheduling

Router müssen Premium IP Pakete mit minimaler Verzögerungszeit und Verzögerungsvariation weiterleiten. Für die vereinbarten Premium IP Verkehrsmengen dürfen keine Verluste durch Queueüberläufe entstehen. Gleichzeitig wird aber auch durch die Policing-

Funktionen an den Ingress-Punkten des Netzes sichergestellt, dass die Menge des Premium-Verkehrs begrenzt bleibt, so dass es durch die bevorzugte Behandlung von Premium-Verkehr zu keinem 'Aushungern' des restlichen Verkehrs kommen kann.

Die Priorität von Premium IP Verkehr lässt sich über die Zuweisung zu einer separaten Verarbeitungsqueue realisieren. Als Scheduling-Mechanismen stellen heutige Router unterschiedliche Möglichkeiten zur Verfügung. Zur Implementierung von Premium IP kann verwendet werden, (vgl. [1]) z.B:

- Strict priority queuing
- Weighted Fair Queuing mit sehr hohem Gewicht gegenüber den restlichen Verkehrsklassen
- Modified Deficit Round Robin im strict oder alternate priority mode

In lokalen Laborexperimenten konnte für die im Kernbereich von GÉANT und den größeren NRENs eingesetzte Hochleistungsrouter eine Validierung dieser QoS Mechanismen unter Lastbedingungen überprüft werden. Es wurden Untersuchungen zu Ratenlimitierung und Paketmarkierung, Scheduling Mechanismen und Mechanismen zur Überlastvermeidung (congestion avoidance) durchgeführt. In den Tests konnte eine korrekte Arbeitsweise dieser Mechanismen beobachtet werden. Eine zusammenfassende Beurteilung der Ergebnisse findet sich in [14]. Die konkreten gemessenen Ergebnisse unterliegen jedoch einem NDA.

QoS Monitoring & Measurement

QoS Monitoring ist eine wesentliche Komponente bei der Einrichtung und dem Betrieb eines QoS-fähigen Dienstes. Wichtige Punkte betreffen die zu beobachtenden Metriken, die eingesetzten Messverfahren und der gewählte Ansatz, um zu domain-übergreifenden Messungen der Ende-zu-Ende QoS zu gelangen.

Das QoS Monitoring eines Ende-zu-Ende-Dienstes erfordert die Koordinierung verschiedener Messung und eine Korrelierung ihrer Werte. Es beinhaltet Messungen zwischen den Endpunkten, Messungen innerhalb eines einzelnen Teilnetzes und am Übergangspunkt zwischen angrenzenden Netzen [13].

Die für Premium IP relevanten Metriken beinhalten Bandbreite, Paketverlustrate, unidirektionale Übertragungsverzögerung (*one way delay*) und Schwankungsbreite der Übertragungszeiten (*ipdv* – interpacket delay variation). Die zum Einsatz kommenden Messmethoden umfassen aktive und passive Verfahren, i.e. Messungen mittels speziellem Testverkehrs bzw. direkte Messungen des Nutzerverkehrs und Abfrage von Informationen aus administrativen Logfiles.

3 Transeuropäische Experimente zur Validierung von Premium IP

Zur Untersuchung des vorgeschlagenen Implementierungsmodells für Premium IP wurden umfangreiche Versuchsserien durchgeführt. In einer ersten Nachweisphase wurden die Premium IP Eigenschaften zunächst im Rahmen eines H.323 Videokonferenz-Szenarios untersucht. In der nachfolgenden Phase wurden verschiedene Kooperationen mit internationalen Nutzergruppen initiiert, die es erlaubten, die gewonnenen Erfahrungen zu verallgemeinern und in einem breiteren Kontext anzuwenden.

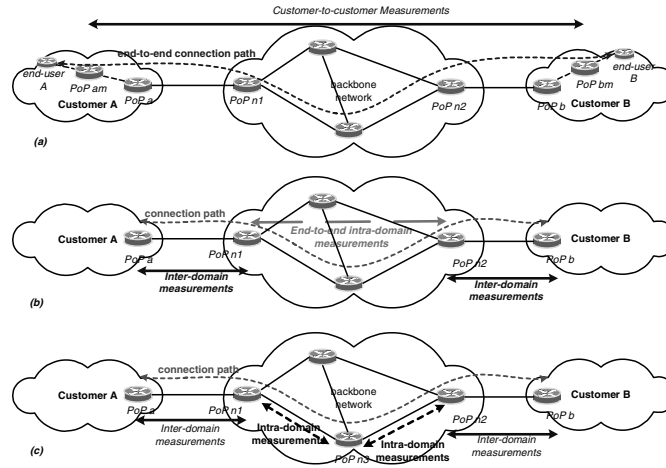


Abbildung 3: Koordination von QoS Messungen

3.1 H.323 Videokonferenz-Experimente mit Premium IP

In einem Versuchsaufbau unter Beteiligung von GÉANT und vier nationalen Wissenschaftsnetzen wurde die Bereitstellung von Premium IP in Produktionsnetzen untersucht. Als Demonstrationsanwendung wurde ein Videokonferenzdienst auf der Basis von H.323 gewählt. Neben dem DFN Quasar Projektteam und weiteren Partner aus SEQUIN waren noch Vertreter der TERENA Video Conferencing Task Force TF-STREAM beteiligt [14][14][16].

Testbett-Topologie

Das Testbett zu der H.323 Versuchsreihe erstreckte sich über 5 Forschungslabore in 4 Ländern, die jeweils durch ihre nationalen Wissenschaftsnetze über GÉANT miteinander verbunden wurden. Neben dem QUASAR Testbett mit den beiden Standorten Fraunhofer FOKUS in Berlin und Universität Stuttgart, waren Forschungslabore von SWITCH in der Schweiz und GRNET in Griechenland beteiligt, sowie in Italien CINECA, das über das Wissenschaftsnetz GARR-B angebunden war. SWITCH war als zentraler Knoten konzipiert, der die Funktionalität einer MCU (multipoint conferencing unit) und eines Gatekeepers (für Verbindungskontrolle, Call Routing, Addressverwaltung etc.) bereitstellte.

Das Versuchstestbett ist in Abbildung 4 dargestellt. Es umfaßte Netze und Verbindungen unterschiedlicher Geschwindigkeit unter Nutzung verschiedener Netztechnologien. Das GÉANT-Kernnetz besteht aus Juniper M160 Router, die über 10 Gbit/s bzw. 2,5 Gbit/s unter einander verbunden sind. Alle beteiligten Wissenschaftsnetze sind mit Zugangsleitung von 2,5 Gbit/s POS an GÉANT angeschlossen, mit Ausnahme von GRNET, dessen Zugang über 2 x 155Mbit/s ATM Leitungen realisiert wird.

Das QUASAR Testnetz besitzt eine STM-1 SDH zwischen den beiden Standpunkten, die über den G-WiN-Zugang des Berliner Standortes die Anbindung an GÉANT erhielten.

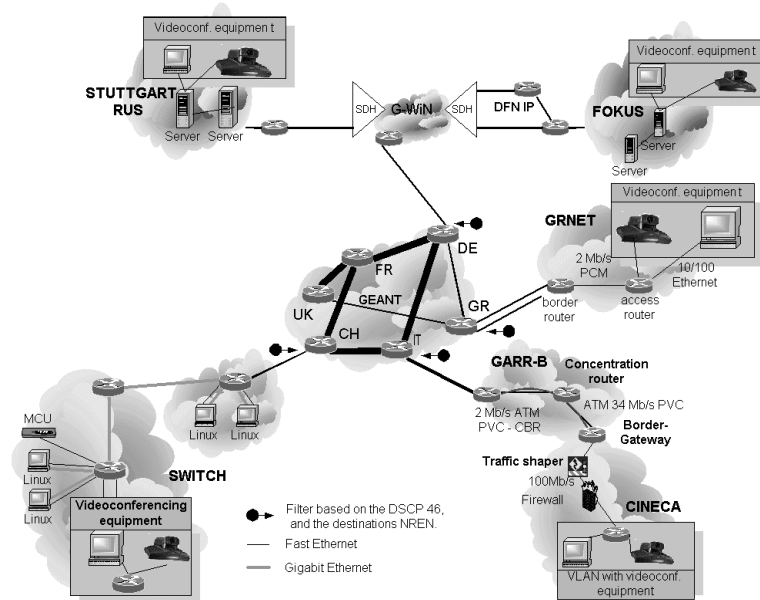


Abbildung 4: H.323 Video Conferencing Versuchsaufbau

GARR-B basiert auf ATM-Technologie, der Zugang zu GÉANT geschieht mittels 2.5 Gbit/s POS Interface. Zur Anbindung von CINECA diente eine ATM 2Mbit/s PVC-CBR Verbindung. Um Einfüsse von Firewall und Traffic Shaper auf die Verzögerungszeiten auszuschließen wurde für die Testreihe eine separate Direktanbindung der Endgeräte an den GARR-B Router eingerichtet. Das SWITCH Testbett setzt sich aus zwei Standorten zusammen: CERN in Genf und ETH Zürich. Der Zugang zu GÉANT geschieht über den Genfer Standort, und die Standorte selbst sind mittels Gigabit Ethernet Verbindungen miteinander verknüpft. GRNET ist über den GÉANT-Knoten in London angebunden. Vom Athener Kernnetzrouter führte eine 2Mbit/s PCM Verbindung zu dem LAN der Videokonferenz Endgeräte.

Als Router-Knoten wurden in den NRENs und an den Standorten Cisco Geräte mit unterschiedlicher Leistungsfähigkeit aus den Baureihen 12000, 7600, 7500 und 7200 eingesetzt. Als Endgeräte standen diverse hardware-unterstützte Systeme der Hersteller VCON, Polyspan und SunVideo zur Verfügung.

Auf den Juniper M160 Kernnetzknotten von GÉANT wurde Premium IP einer separaten Queue zugewiesen und ein weighted round robin (WRR) Scheduling aktiviert, das der Premium Queue ein Gewicht von 90 zuwies gegenüber den Gewichten von je 5 für beiden anderen Klassen von best effort bzw. Signalisierungs-Paketen. An den Eingangspunkten wurde ein Policing konfiguriert, dass für jeden der beteiligten NREN-Paaren Premiumkapazität von 2 Mbit/s bereitstellte und darüber hinausgehende Excess-Pakete verwarf. Gleichzeitig wurden Zähler für Premium Pakete eingerichtet und ein Monitoring auf diesen Interfaces aktiviert. Die jeweiligen *token buckets* wurden gemäß der IP Premium Emp-

fehlungen mit einer Tiefe von 5 MTUs und einer Rate des 1,2-fachen der angeforderten Kapazität von 2Mbit/s konfiguriert.

Die Bereitstellung von Premium IP Unterstützung in den angeschlossenen NRENs erfolgte in den meisten Fällen durch die Einrichtung von dedizierten 2 Mbit/s ATM CBR-PVCs, wodurch eine automatische Begrenzung des maximal zulässigen Premium-Verkehrs bewerkstelligt war. Im Anschluss des QUASAR Testbett zu GÉANT über das G-WiN lag genügend Bandbreitenüberdimensionierung vor, so dass die Premium Charakteristik für diesen Übergang gewährleistet war.

Eingesetzte Messverfahren und durchgeführte Testreihen

Die Versuchsreihen umfassten eine subjektive Qualitätsbewertung der Dienstqualität durch die Konferenzteilnehmer und die objektive Messung von QoS Parametern dieser Anwendungen. Zum Einsatz kamen aktive und passive Messverfahren. Es wurden Punkt-zu-Punkt-Konferenzen zwischen allen 20 Paarkombinationen durchgeführt.

Die Testreihen umfassten die folgenden Schritte

1. Initiierung einer Videokonferenz und subjektive Bewertung der Dienstqualität durch die Endnutzer
2. Messung der Übertragungsverögerung
3. Beendigung der Konferenz und Initialisierung der aktiven Messkomponenten
4. Aufzeichnung von simulierten Videokonferenzverkehr durch das aktive Mess-System
5. Bestimmung der maximal erreichbaren Bandbreite

Zur Messung der QoS Metriken wurden folgende Verfahren im einzelnen angewandt:

Subjektive Qualitätsbewertung

Die subjektive Qualitätsbewertung orientierte sich an dem ITU-T Rec. P.800 und benutzte ein MOS Verfahren (Mean Opinion Score), bei dem Nutzer die Qualität auf einer Skala von 1 – 6 (unacceptable – very good) bewerteten.

Die subjektiven Bewertung der Dienstqualität zeigten eine große Abhängigkeit von den jeweils verwendeten Endgeräten. In den meisten Fällen wurden die Zweier-Konferenzen im oberen Bereich bewertet. Ausnahmen bildeten jedoch Geräteinkompatibilitäten, die keine direkte Konferenz erlaubten und den Einsatz einer MCU als Überbrückung erforderten. Die hierdurch eingeführten zusätzlichen Verzögerungszeiten führten zu einer sehr starken Abwertung der Dienstbeurteilung.

Es zeigte sich somit in der subjektiven Bewertung, dass anwendungsspezifische Faktoren gegenüber den netzspezifischen Einflüssen in stärkerem Maße die wahrgenommene Dienstqualität dominierten.

Verzögerungszeiten

Ein wichtiger QoS Parameter stellt das *one way delay* dar. Die Bestimmung der einfachen Verzögerungszeit erfordert eine exakte Zeitsynchronisation zwischen Sender und Empfänger in Millisekundengenauigkeit. Synchronisationsverfahren unter Verwendung von GPS (global positioning system) erzielen Genauigkeiten von 0,1 ms. Sie erfordern jedoch die Installation einer Satellitenempfangsantenne. Eine an vielen Stellen einfachere zu realisierende Lösung ist es, auf NTP (network time protocol) zurückzugreifen, womit sich unter günstigen Umständen eine Synchronisation im Bereich von wenigen Millisekunden erreichen lässt. Typische Verzögerungszeiten in transnationalen europäischen Verbindungen bewegen sich im Bereich einiger weniger 10ms, so dass unter Abwägung von Kosten und Aufwand eine NTP basierte Lösung gegenwärtig die am sinnvollsten scheinende Lösung für den weiträumigen Einsatz in GÉANT und den NRENs darstellt.

Für die durchgeführten H.323 Testreihen stand eine *one way delay* Bestimmung nur eingeschränkt zur Verfügung. Innerhalb des QUASAR Testbetts und an den Knoten von SWITCH konnte das von Fraunhofer FOKUS entwickelte passive Mess-System 'Internet Measurement Plattform' installiert werden, das eine Aufzeichnung der mit Zeitstempeln versehenen Paketheader durchführte, so dass eine Bestimmung des *one way delay* ermöglicht wurde [6].

In den übrigen Testreihen konnte als Approximation nur eine Bestimmung der RTT (round trip time) durchgeführt. Da durch den Versuchsaufbau die einzelnen Pfade im Netz klar determiniert waren, und der Verkehr der Gegenrichtung in der gleichen Verkehrsklasse entlang des entgegengesetzten Pfades transportiert wurde, sollte aber in diesem Fall durch die RTT eine hinreichend genaue Aussage über *one way delay* möglich sein. Die gemessenen durchschnittlichen RTTs bewegten sich erwartungsgemäß im Bereich von 30-50ms.

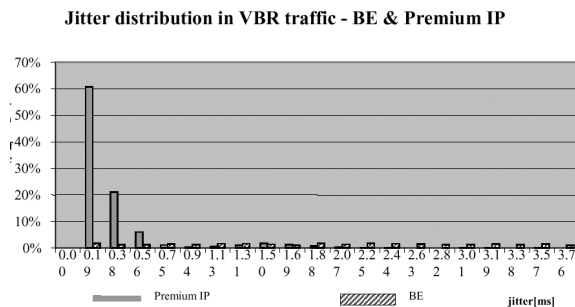


Abbildung 5: Jitter-Verteilung RUS nach GRNET

Jitter

Jitter-Messungen erfolgten unter Verwendung von aktiven Messkomponenten. Hierzu wurde das freie Software-Werkzeug RUDE/CRUDE [26] eingesetzt, wobei beide Seiten

sowohl die Rolle des Senders als auch des Empfängers einnahmen. Die Sendeseite des Mess-Systems wurde so parametrisiert, dass der erzeugte Verkehrsstrom typischen H.323 Verkehr simulierte hinsichtlich der Verteilung von Paketgröße und Senderate. Zur Gewinnung der Parametrisierung war zuvor realer H.323 Verkehr aufgezeichnet und statistisch ausgewertet worden. Als Vergleichswert wurden daneben noch Messung von CBR-artigem Testverkehr mit konstanter Paketgröße und Senderate durchgeführt. Abbildung 5 zeigt beispielhaft eine der gewonnenen Messungen. Sie wurde in der Messreihe zwischen RUS Stuttgart und GRNET Athens gewonnen, die den längsten Pfad im H.323 Testbett darstellten. Am Übergang GÉANT – GRNET lag ein relativ hohes Verkehrsaufkommen vor, so dass hier deutliche Unterschiede im Jitter zwischen Premium und BE Dienst feststellbar waren.

Paketverluste

Die Bestimmung der Paketverluste erfolgte ebenfalls aus dem aufgezeichneten Messverkehr der RUDE/CRUDE Messreihe. Daneben wurden eine Kontrolle zu Paketverlusten durchgeführt, indem parallel zur Konferenz Ping-Pakete im Sekundenabstand gesendet wurden. Ebenso konnte die passiv gewonnenen Headertraces auf Paketverluste untersucht werden. Durch Abfrage der Monitoring-Variablen auf den eingehenden Router-Interfaces zu GÉANT konnte die Anzahl der durch den Policer verworfenen Pakete ermittelt werden. Verworfenen Pakete konnten eindeutig den Experimenten mit netperf zu geordnet werden, in denen kurze Paketbursts erzeugt wurden, in denen die vereinbarte maximal zulässige Bandbreite überschritten wurde.

In nahezu allen Fällen konnten entweder keine bzw. vernachlässigbar geringe Paketverluste ($<0.02\%$) nachgewiesen werden. Einzige Ausnahme bildeten die Verbindungen zu CINECA, wo Paketverluste von bis 3% aufgetreten waren. Als Ursache dafür könnte die Konfiguration des ATM CBR PVC in Frage kommen an dem Shaping-Funktionen durchgeführt wurden. Trotz dieser hohen Verlustraten war die Qualität der Konferenz von den Nutzern als sehr hoch bewertet worden. Die Endanwendung konnte also offensichtlich selbst relative hohe Verlustraten verkraften.

Verfügbare Bandbreite

Eine Abschätzung der verfügbaren Bandbreite wurde mit Hilfe des Messwerkzeugs NETPERF [25] ermittelt. Ein Durchsatz von fast 2Mbit/s konnte für beinahe alle Verbindungen nachgewiesen werden, so dass die für die Testsessions konfigurierte maximale Bandbreite von 2Mbit/s Premium-Verkehr auch tatsächlich zur Verfügung stand. Ausnahme bildete der Verkehr zu GRNET, wo nur eine verfügbare Bandbreite von 800kbit/s nachgewiesen werden konnte. Mögliche Gründe wurden verfolgt, ohne dass ein zweifelsfreier Nachweis erbracht werden konnte. Als wahrscheinlichste Ursache ist eine Fehlkonfiguration des Border-Router zu vermuten.

3.2 Experimente mit Nutzergruppen aus IST Projekten

Im Rahmen der H.323 Versuchsreihe konnte die technische Umsetzbarkeit des Premium IP Modells aufgezeigt werden. Die darauf folgenden Kooperationen mit Nutzergruppen aus anderen IST Projekten dienen dem Zweck, die bisher erzielten Ergebnisse in einer breiteren heterogenen Netzumgebung zu bestätigen und weitere Erfahrungen über geeignete Konfigurationen für Premium IP auf den gängigen Routerplattformen zu sammeln [17].

Die Zusammenarbeit mit Endnutzern erlaubt die Überprüfung, inwiefern der Premium-Dienst tatsächlichen Anforderungen und Erwartungen entspricht, und sie ermöglicht die Ableitung einer passenden Vorgehensweise zur Koordination aller Gruppen, die an der Bereitstellung des Dienstes beteiligt sind. Die Festlegung geeigneter Kommunikationsprozesse und eine Zuordnung von Zuständigkeiten ist notwendig, um die komplexe Abstimmungsaufgabe zwischen allen Beteiligten zu regeln: den Endnutzern, den Netzadministratoren der lokalen Campusnetze und den Administratoren von GÉANT und der beteiligten NRENs [11][12][18].

Während der Laufzeit von SEQUIN wurden Kooperationen mit den IST Projekten AQUILA[27], MOICANE[30], LONG[29] und DATAGRID[28] initiiert, die ihr Interesse an Premium IP Konnektivität bekundeten, und die sich bereit erklärten, die Rolle eines Beta-Tester für den GÉANT Premium Dienst zu übernehmen. Die zeitliche Planung der Partnerprojekte erlaubte jedoch während der Laufzeit von SEQUIN nur Experimente mit den Projekten AQUILA und MOICANE. Kooperationen mit LONG und DATAGRID werden zu einem späteren Zeitpunkt im Rahmen von TF-NGN/GÉANT Aktivitäten stattfinden.

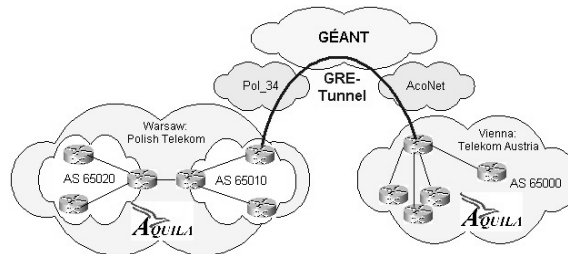


Abbildung 6: Premium IP im AQUILA Testbett

Experimente mit IST AQUILA

AQUILA [27] (Adaptive Resource Control for QoS Using an IP-based Layered Architecture) entwickelt eine erweiterte QoS Architektur für das Internet. Die Architektur definiert eine spezielle Schicht von Software-Komponenten zur verteilten und adaptiven Ressourcenkontrolle. Die vorgeschlagene Lösung wird in einem Testbett anhand von Nutzeranwendungen im Bereich von Multimedia-Diensten verifiziert.

Das AQUILA Consortium umfasst 12 Partner mit Siemens in der Rolle als Projektkoordinator. Die Laufzeit ist bis Dez. 2002.

AQUILA definiert eine Anzahl von Verkehrsklassen mit unterschiedlichen QoS Anforderungen, deren Verhalten unter verschiedenen Verkehrsanteilen in den Experimenten untersucht werden soll. Das AQUILA Testbett setzt sich aus zwei Standorten zusammen: dem polnischen Telekom Operator POLPAK in Warschau und Austria Telecom in Wien. Die beiden Standorte werden über die nationalen Wissenschaftsnetze POL-34 und AcoNet an GÉANT angebunden. Der Zugang zu den NRENs geschieht mittels ATM CBR-PVC mit 2.5 Mbps, so dass ca. 2 Mbps an IP Kapazität nach Abzug des ATM Overheads zur Verfügung stehen. Es wurde ein IP GRE Tunnel [22] über die NRENs und GÉANT konfiguriert, der die beiden Standorte verbindet, in welchem die Pakete als Premium IP Verkehr durch den Backbone transportiert werden.

Experimente mit IST MOICANE

MOICANE (**M**ultiple **O**rganisation **I**nterconnection for **C**ollaborative **A**dvanced **N**etwork **E**xperiments) hat als Hauptziel die Realisierung eines verteilten Testbetts, das mehrere Netzeinseln beknüpft die durch jeweils unterschiedlichen Zugangstechnologien charakterisiert sind und verschiedene Nutzerdienste wie Tele-Vorlesung, Virtuelles Klassenzimmer, Virtuelles Labor anbieten.

Das MOICANE Consortium umfasst 10 Partner aus dem Bereich von Geräteherstellern, Telecom Operatoren, sowie Forschungsinstituten und Universitäten. Die Projektlaufzeit ist von Jan. 2001 – Dez. 2002.

Das MOICANE Testbett setzt sich aus 6 Netzeinseln in Portugal, Italien, Griechenland und Rumänien zusammen, die sich zum Teil in weitere Subnetze untergliedern. Die Verknüpfung dieser Netze geschieht über GÉANT und die jeweiligen nationalen Wissenschaftsnetze GARR in Italien, FCCN in Portugal, GRNET in Griechenland und RoEduNet in Rumänien.

Die ursprüngliche Planung sah eine Anbindung des Netzes in Bukarest über den Knoten in Athen vor. Schwierigkeiten bei der Konfiguration von Premium IP im Zugang von GRNET führten zu einer Lösung einer direkten Verbindung zu GÉANT über RoEduNet. Hierzu wurden im rumänischen Backbone Diffserv-Mechanismen zur Premium IP Unterstützung eingerichtet. Hierbei wurde zum ersten Mal Premium IP in einem Netz außerhalb des SEQUIN Consortium eingerichtet.

Eine erste Versuchsreihe zur Überprüfung der eingerichteten Konnektivität startete Mitte April, der sich weitere MOICANE Experimente bis Dez. 2002 anschließen werden. Im MOICANE Testbett selbst werden EF und AF Paket-Markierungen verwendet, so dass eine Tunnellösung realisiert wurde und der gesamte Verkehr als Premium über GÉANT und die NRENs transportiert wird.

4 Bewertung der Testergebnisse und Ausblick

In den hier beschriebenen Feldversuchen konnte zum ersten Mal weiträumig in einem Netz der neuen Generation ein diffserv basierter Ansatz zu IP QoS realisiert werden.

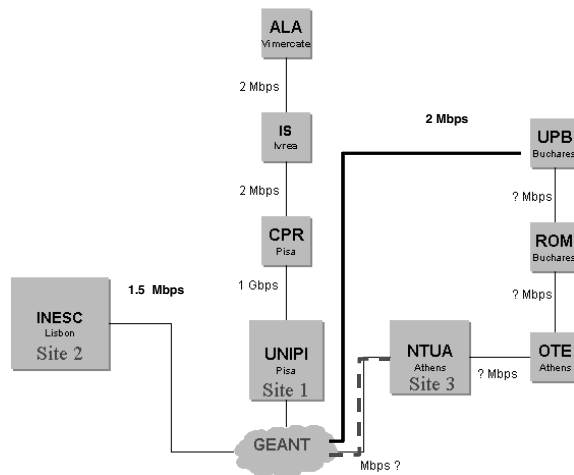


Abbildung 7: Premium IP im IST MOICANE Testbett

Die wichtigsten Ergebnisse der H.323 Experimente waren der Nachweis der vorgeschlagenen QoS Konzepte in einer Produktionsumgebung, die Entwicklung einer geeigneten Methodik für die Bereitstellung von Premium IP in GÉANT und die Aufstellung einer praktikablen Messinfrastruktur zur Überprüfung und Überwachung des Dienstes.

Es konnte weniger die Absicht der Tests sein, einen Nachweis zu erbringen, dass Premium IP eine deutlich wahrnehmbar bessere QoS Charakteristik liefert als der standardmäßige *best effort* Dienst: In fast allen an den Tests beteiligten Wissenschaftsnetzen liegt angesichts der gegenwärtig zur Verfügung stehenden Netzkapazitäten nur eine geringe Netzlast vor, so dass keine Netzengpässe auftreten und der reguläre *best effort* Verkehr bereits eine sehr gute QoS Charakteristik besitzt. QoS Mechanismen dienen per se denn auch weniger einer allgemeinen Verbesserung des Netzdienstes, sondern geben dem Nutzer eine Zusicherung, dass ein bestimmtes Mindestmaß an QoS selbst unter gewissen Ausnahmesituationen noch bewahrt bleibt.

Mit der Bereitstellung von Premium IP wird der Europäischen Forschungsgemeinde ein wertvolles Instrument für anspruchsvolle innovative Experimente und Anwendungen bereit gestellt. In den durchgeführten Versuchen mit Nutzergruppen konnten erste Erfahrungen in der Dienstbereitstellungen gemacht werden und Kooperationsmodelle zur Koordination der beteiligten Gruppen erprobt werden. Im nächsten Schritt ist es nun notwendig, eine breite Unterstützung für die Realisierung und den Einsatz von Premium IP durch die europäischen NRENs zu gewinnen.

Durch die Arbeiten wurden darüber hinaus wichtige Impulse für weitere Entwicklungen gegeben. Die Einrichtung einer europaweiten QoS-Messinfrastruktur ist unabhängig vom verwirklichten QoS-Ansatz eine wesentliche Komponente für die angeschlossenen Wissenschaftsnetze. Mit der in den Experimenten verwendeten Herangehensweise konnte hier Pionierarbeit leistet werden, auf deren Grundlage weitere Fortschritte erzielt werden können.

5 Acknowledgements

Die dargestellten Arbeiten wurden im Rahmen der Projekte DFN QUASAR und IST SEQUIN durchgeführt.

QUASAR startete im November 2000 und besitzt eine Laufzeit von 2 Jahren. Partner sind das Fraunhofer Institut FOKUS und die Institute IND und RUS der Universität Stuttgart. Weitere Informationen sind zu finden unter der Homepage <http://www.ind.uni-stuttgart.de/quasar>

SEQUIN startete ebenfalls in Nov. 2000 und endete April 2002. Ein Teil der in SEQUIN begonnenen Arbeiten wird im Rahmen des wissenschaftlichen Forschungsprogramms zu GÉANT innerhalb der TF-NGN Arbeitsgruppe fortgeführt. Homepage: <http://www.dante.net/sequin>

Mein Dank gilt meinen Kollegen aus dem QUASAR Team Lars Burgstahler, Paul Christ, Cemal Coemert, Hyung-Woo Kim, Lutz Mark, und Jens Tiemann, sowie allen Beteiligten des SEQUIN Projektes.

Literatur

- [1] GÉANT D9.1: Specification and implementation plan for a Premium IP service M. Campanella, T. Ferrari, S. Leinen, R. Sabatino, V. Reijs, April 2001.
<http://www.dante.net/tf-ngn/GEA-01-032.pdf>
- [2] QUASAR Home Page <http://www.ind.uni-stuttgart.de/quasar>
- [3] QSR -M1: Technology Overview, QUASAR Consortium, Jan 01
- [4] QSR-M2: QoS Reference Model, QUASAR Consortium, Apr 01
- [5] QSR-M3: Preliminary QoS Architecture, QUASAR Consortium, Aug 01
- [6] QSR-M4: First Test Results, QUASAR Consortium Jan 02
- [7] QSR-M5: QoS Architecture, QUASAR Consortium May 02
- [8] SEQUIN Deliverables URL <http://www.dante.net/sequin/deliverables.html>
- [9] SEQ-D2.1 Quality of Service Definition, M. Campanella, P. Chivalier, A. Sevasti and N. Simar, April 2001.
- [10] SEQ-D2.1 addendum 1: Implementation architecture specification for an Premium IP service, M. Campanella, October 2001
- [11] SEQ-D2.1 addendum 2: Service Level Agreements specification for IP Premium Service, A. Sevasti, M. Campanella, October 2001 (work in progress)
- [12] SEQ-D2.1 Addendum: Establishing e2e SLAs across GEANT, Afrodite Sevasti GRNET, April 2002
- [13] SEQ-D2.1 Addendum: Monitoring and Verifying SLAs in GEANT, Athanassios Liakopoulos, April 2002
- [14] SEQ-D3.1 Definition of QoS Testbed, M. Campanella, M. Carboni, P. Chivalier, S. Leinen, J. Rauschenbach, R. Sabatino, N. Simar, April 2001.
- [15] SEQ-D5.1 Proof of Concept Testbed, M. Przybylski, R. Sabatino, N. Simar, J. Tiemann, S. Trocha, December 2001
- [16] SEQ-D5.1 Proof of Concept Testbed – Addendum: H.323 Testing Results, Jerzy Brzezinski, Tomas Bialy, Artur Binczewski, Michal Przybylski, Szymon Trocha PSNC, April 2002

- [17] SEQ-D6.1 Report on User of QoS Testing, Rudolf Roth, Afrodite Sevasti, Mauro Campanella, Nicolas Simar, April 2002
- [18] SEQ-D6.1 Addendum: IP Premium connectivity between end-users over the GEANT backbone, Afrodite Sevasti GRNET, April 2002
- [19] Premium IP FAQ – Frequently Asked Questions, Mauro Campanella
- [20] Blake S. Black D. Carlson M. Davies E. Wang Z. Weiss W. „An Architecture for Differentiated Services“, RFC2475, Informational, December 1998
- [21] Jacobson, V, Nichols, K., Poduri, K., „An Expedited Forwarding PHB“, RFC2598 Standards Track, June 1999,
- [22] Hanks, S., Li, T., Meyer, D. and P. Traina, „Generic Routing Encapsulation“, RFC 2784, March 2000
- [23] B. Davie, A., Charny, J.C.R., Bennet, K., Benson, J.Y. Le, Boudec, W., Courtney, S, Davari, V., Firoiu, D., Stiliadis, „An Expedited Forwarding PHB (Per-Hop Behavior)“, March 2002, Obsoletes RFC2598, PROPOSED STANDARD
- [24] Charny, A., Bennett, J.C.R., Benson, K., Le Boudec, J.Y., Chiu, A., Courtney, W., Davari, S., Firoiu, V., Kalmanek, C., Ramakrishnan, K.K., „Supplemental Information for the New Definition of the EF PHB (Expedited Forwarding Per-Hop Behavior)“, RFC3247, March 2002
- [25] Netperf Home Page <http://www.netperf.org/netperf/NetperfPage.html>
- [26] RUDE/CRUDE Home Page <http://www.atm.tut.fi/rude/>
- [27] AQUILA Home Page <http://www-st.inf.tu-dresden.de/aquila/>
- [28] DATAGRID Home Page <http://www.eu-datagrid.org/>
- [29] LONG Home Page <http://www.long.ccaba.upc.es/>
- [30] MOICANE Home Page <http://www.moicane.com/>