Flexibles Ende-zu-Ende QoS-Monitoring in Hochleistungsnetzen

Roland Bless
Institut für Telematik, Prof. Dr. Dr. h.c. Gerhard Krüger
Fakultät für Informatik, Universität Karlsruhe
Zirkel 2, Postfach 6980, D-76128 Karlsruhe
bless@telematik.informatik.uni-karlsruhe.de

Zusammenfassung

Werkzeuge zur Messung der Dienstqualität in Hochleistungsnetzen und verteilten Systemen werden in verschiedenen Zusammenhängen benötigt, beispielsweise um die Einhaltung eines Vertrages mit dem Diensterbringer zu überwachen oder um adaptiv auf Schwankungen in der Dienstgüte reagieren zu können. Für den Einsatz in Hochleistungsnetzen sind jedoch besondere Gegebenheiten beim Entwurf solcher Werkzeuge zu beachten. Der am Institut für Telematik entwickelte QoS-Monitor wurde speziell für Hochleistungsnetze konzipiert und ist flexibel für den jeweiligen Einsatzzweck konfigurierbar. Durchgeführte Leistungsmessungen bestätigen hierbei die getroffenen Entwurfsentscheidungen.

1 Einleitung

Fortgeschrittene Anwendungen wie etwa Video-Konferenzen, Tele-Teaching, Tele-Medizin oder rechnergestützte, kooperative Gruppenarbeit benötigen zum einen die hohen Bandbreiten von Hochleistungsnetzen und zum anderen Unterstützung für Dienstqualitäten (Quality of Service – QoS) im Kommunikationssystem. Anwendungen, die keine harten Dienstqualitätsgarantien voraussetzen, sind oft in der Lage, sich *adaptiv* zu verhalten, d.h. sie passen sich dynamisch der momentan erbrachten Dienstgüte an. Diensteintegrierende Kommunikationssysteme verfügen oft ebenfalls über adaptive Mechanismen, um auf Schwankungen in der Dienstqualität reagieren zu können, z.B. durch Neuverhandlung der Dienstqualität oder Aktivierung zusätzlicher bzw. alternativer Protokollmechanismen [Schm97, HCCB94]. Zur Feststellung der vom Kommunikationssystem erbrachten Leistung ist eine Messung der Dienstqualität von Ende-zu-Ende erforderlich. Ein *QoS-Monitor*, der diese Aufgabe bewerkstelligt, muß dazu in der Lage sein, auch bei den hohen Geschwindigkeiten in Hochleistungsnetzen mithalten zu können. Weiterhin sollte er die *Messung und Überwachung* verschiedener Dienstqualitätsparameter wie Durchsatz, Ende-zu-Ende-Verzögerung, Verzögerungsschwankung und Übertragungsfehler unterstützen. Eine leichte Anpassung an neue Dienstqualitätsparameter und verschiedene Übertragungsprotokolle ist dabei ebenfalls wünschenswert.

2 Funktionalität und Architektur des QoS-Monitors

Der am Institut für Telematik entworfene QoS-Monitor mißt und überwacht verschiedene Dienstqualitätsparameter in Endsystemen, d.h. von Ende-zu-Ende. Der software-basierte QoS-Monitor wird üblicherweise einem Transportprotokoll wie etwa XTP oder TCP zur Seite gestellt, obwohl auch ein Einsatz für Protokolle ab Schicht 2 des ISO/OSI-Basisreferenzmodells möglich ist. Welche Dienstqualitätsparameter gemessen und überwacht werden sollen, ist dabei dynamisch, d.h. zur Laufzeit, konfigurierbar. Wie diese Parameterwerte aus Protokolldaten errechnet werden, kann in flexibler Weise statisch definiert werden. Derzeit vordefinierte Dienstqualitätsparameter sind u.a. Durchsatz, Ende-zu-Ende-Verzögerung, Verzögerungsschwankung und verschiedene Fehlerarten (verlorengegangene, fehlerhafte sowie duplizierte Dateneinheiten). Die Werte werden hierbei an der Schnittstelle zum Transportdienstnutzer gemessen.

Der QoS-Monitor kann mehrere uni- oder bidirektionale Datenströme gleichzeitig überwachen. Die

Überwachung erfolgt anhand von Vorgaben für zulässige Werte der zu überwachenden Dienstqualitätsparameter, wie sie bei *Dienstverträgen* üblich sind. Für jeden Parameter wird daher ein Intervall formuliert, in dem die Parameterwerte liegen sollen. Innerhalb des Intervalls sind zusätzlich Schwellwerte definierbar, die bei Überschreitung eine Warnmeldung des Monitors auslösen, damit bereits frühzeitig Maßnahmen ergriffen werden können, um einer Verletzung des Dienstvertrages entgegenzuwirken. Jeder Parameter ist zusätzlich einer *Dienstklasse* zuzuordnen, welche den Verpflichtungsgrad festlegt. Die Werte eines Parameters aus der *deterministischen* Klasse müssen immer innerhalb des spezifizierten Intervalls liegen, bei der *statistischen* Klasse dürfen a von b Werten auch außerhalb des Intervalls liegen (a und b sind dann ebenfalls für diesen Parameter festzulegende Größen). Für Parameter der Klasse *bestmöglich* müssen keinerlei Vorgaben eingehalten werden.

Im Hinblick auf den Einsatz in Hochgeschwindigkeitsnetzen wurde der QoS-Monitor *ereignisgesteuert* konzipiert. Ein Ereignis entspricht hierbei einem Protokollereignis, wie etwa dem Empfang einer Dateneinheit. Gegenüber einem Ansatz, der auf einer Auswertung von periodisch gesammelten Stichproben beruht, ergeben sich wesentliche Vorteile: es werden auch sehr schnell aufeinanderfolgende Ereignisse erfaßt (wodurch sich die Genauigkeit der Messung erhöht), die Festlegung einer Meßperiode ist unnötig, und der Zusatzaufwand für eine Unterbrechungsbehandlung entfällt. Es ergibt sich jedoch ein anderes Problem, das durch die meist ungenügend hohe Auflösung der rechnerinternen Systemuhr verursacht wird: insbesondere bei der Durchsatzmessung in Hochgeschwindigkeitsnetzen kann durch die geringe Zeitdauer („in der Nähe“ der Uhrauflösung) zwischen dem Empfang zweier Dateneinheiten ein beträchtlicher Meßfehler entstehen. Bei Kenntnis der minimalen Uhrauflösung $\Delta\mathrm{clock}_{\min}$ kann jedoch bei Vorgabe eines maximal erwünschten relativen Meßfehlers $\epsilon_{\max}$ das minimal notwendige Zeitintervall zu $\Delta t_{\min} := \Delta\mathrm{clock}_{\min}/\epsilon_{\max}$ für eine Durchsatzberechnung bestimmt werden. Falls mehrere Dateneinheiten innerhalb von $\Delta t_{\min}$ eintreffen, wird der Durchsatz über diese Dateneinheiten gemittelt. Sobald die Zwischenankunftszeit größer als $\Delta t_{\min}$ ist, kann die Berechnung des Durchsatzes erfolgen. Die Auflösungsgenauigkeit des Monitors ist folglich nur durch das Auflösungsvermögen der internen Uhr beschränkt.

Da der QoS-Monitor in der Lage ist, auch unidirektionale Datenströme zu überwachen, wird die Ende-zu-Ende-Verzögerung mit Hilfe von Zeitstempeln gemessen. Diese Methode setzt allerdings synchronisierte Uhren in den Endsystemen voraus. Dazu kann ein Uhrensynchronisationsprotokoll wie etwa NTP (Network Time Protocol) [RFC 1305] verwendet werden.

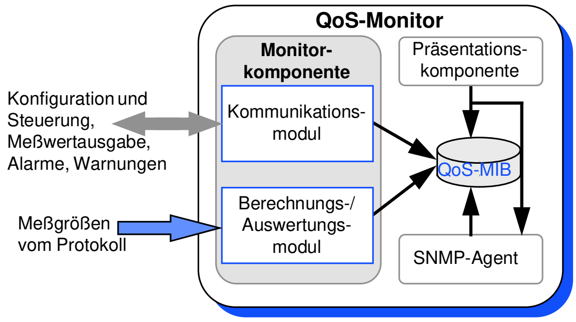

Abbildung 1 Architektur des QoS-Monitors

Abbildung 1 zeigt die Architektur des QoS-Monitors. Sie weist vier Komponenten auf: die eigentliche *Monitorkomponente*, eine *Präsentationskomponente* zur Anzeige der Meßwerte, eine Datenbank mit gespeicherten Meßwerten, die sogenannte *QoS-MIB*, und einen *SNMP-Agent* zur entfernten Abfrage der Meßwerte. Die Monitorkomponente selbst gliedert sich logisch in ein *Kommunikationsmodul* sowie ein *Berechnungs- und Auswertungsmodul*. Der QoS-Monitor ist durch das Kommunikationsmodul steuerbar (etwa durch einen Protokollkontrollagenten [Schm97]) und kann darüber auch Rückmeldungen, wie z.B. Alarme, Warnungen oder die Meßwerte selbst liefern. Die Meßgrößen vom Protokoll werden an das Berechnungs- und Auswertungsmodul übermittelt.

3 Implementierung

Die Implementierung des QoS-Monitors wurde in der Programmiersprache C unter Digital Unix 4.0 auf Alpha Workstations vorgenommen. Der QoS-Monitor ist nicht als separater Prozeß mit eigenem Adreßraum realisiert, sondern besteht aus mehreren Leichtgewichtsprozessen, die im gleichen Adreßraum wie das Protokoll lokalisiert sind und mit diesem über den gemeinsamen Speicher kommunizieren. Ziel der Implementierung war ferner, daß das Protokoll durch den Monitor so wenig wie möglich beeinflußt wird, insbesondere darf es nicht durch den QoS-Monitor (unnötig) blockiert werden. Es muß allerdings an einigen Stellen im Protokollprozeß Code hinzugefügt werden, damit er dem Monitor die Daten zur Auswertung liefern kann (unter anderem müssen auch die Zeitstempel übertragen werden).

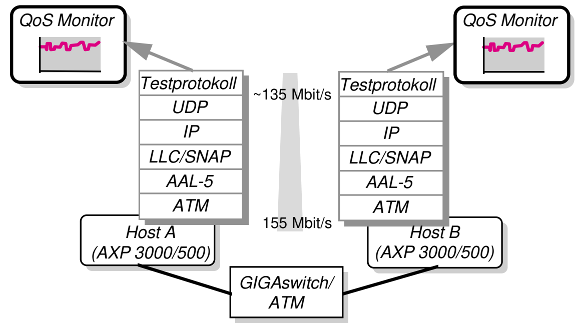

Abbildung 2 Testumgebung zur Leistungsmessung

Eine Leistungsmessung wurde in einer ATM-Testumgebung, wie in Abb. 2 dargestellt, durchgeführt. Hierbei wurde ein simples Testprotokoll, basierend auf UDP und „IP over ATM“, über eine 155 Mbit/s ATM-Verbindung zur Übertragung verwendet. Zum einen wurde der maximal erreichbare Durchsatz für dieses System gemessen (s. Abb. 3), zum anderen die Ausführungszeit des Monitors gemessen (s. Abb. 4). Die Tests zeigten folgendes Ergebnis: der QoS-Monitor war in der Lage, auch bei einem Durchsatz von 134 Mbit/s (theoretisches Maximum war 135 Mbit/s) ohne Verlust von Meßwerten zu arbeiten. Die Bearbeitungszeit zum Messen und Überwachen unterschiedlicher Parameterkombinationen liegt im Mikrosekundenbereich (ca. 10% der Protokollbearbeitungszeit [BrDi96]), ist aber unabhängig von der Länge einer Dateneinheit.

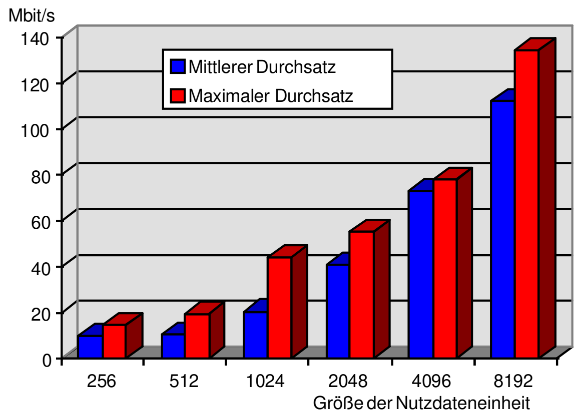

Abbildung 3 Messung des maximal erreichbaren Durchsatzes

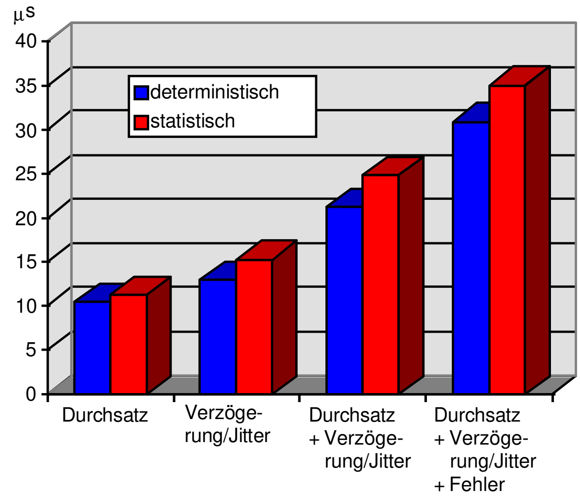

Abbildung 4 Messung der Ausführungszeit des Monitors

Literatur

[BrDi96] T. Braun, C. Diot: *'Performance Evaluation and Cache Analysis of an ILP Protocol Implementation'*, IEEE/ACM Transactions on Networking, Volume 15, No.3, S. 318–330, 1996.

[HCCB94] D. Hutchison, G. Coulson, A. Campbell, G. Blair: *'Quality of Service Management in Distributed Systems'*, in Network and Distributed Systems Management, Editor: M. Sloman, Addison-Wesley, 1994, S. 273–302

[RFC 1305] D. Mills: *„Network Time Protocol (Version3) – Specification, Implementation and Analysis“* , Network Working Group Report RFC 1305, University of Delaware, März 1994

[ScBl96] C. Schmidt, R. Bless: *'QoS Monitoring in High Performance Environments'*, Proceedings of the 4th IFIP International Workshop on Quality of Service, Paris, March 1996, S. 199-207, published in GMD-Studien Nr. 282, GMD – Forschungszentrum Informationstechnik, Sankt Augustin, Germany

[Schm97] C. Schmidt: *'Integrierte Managementarchitektur für qualitätsorientierte Kommunikationsdienste'*, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 10, Nr. 497, VDI Verlag Düsseldorf, 1997