



Freie Fahrt für alle Anwendungen

Bandbreite versus Priorisierung – Die Dienstqualität und das Bandbreitenmanagement nimmt in der Diskussion über den Nutzen von Netzwerkdiensten eine herausragende Rolle ein. Dieser Artikel gibt einen Überblick über die derzeit im Markt eingesetzten Bandbreitenmanagementmodelle und erläutert praxis- und bedarfsgerechte Umsetzungsmethoden.

Multimedia-Anwendungen benötigen einen unterbrechungsfreien, verlustarmen und verzögerungsarmen Transport der Datenströme. Diese Dienste stellen definierte Anforderungen, die in klassischen Datennetzen nicht realisierbar sind. Die Übertragung von Informationen mit einer definierten Dienstgüte ist der zentrale Punkt der Entwicklung besserer Datennetze. Jeder Mechanismus zur Sicherung der Dienstgüte muss sich an der Übertragungsqualität der Sprachnetze messen lassen. Jede Anwendung erwartet von einem Netzwerk bestimmte Eigenschaften.

Erforderlich sind Kenntnisse über diejenigen Parameter, die die Qualität einer Übertragung bestimmen. Die Verarbeitungsprozesse in aktiven Komponenten, wie Gateways, Switches oder Router, sind die Quelle der meisten Beeinflussungen, daher müssen neue Mechanismen

diese Prozesse optimieren und verbessern, um die Qualität einer Übertragung zu garantieren.

Der Begriff »Network Service Quality« (NSQ) beschreibt einen Mechanismus, der dafür sorgt, dass die Performance eines Netzwerks nach bestimmten Regeln den jeweiligen Datenflüssen im Transportnetz zugeordnet wird. NSQ stellt sich immer in den Bezug zu den Verkehrscharakteristiken traditioneller Netzwerke. Somit stehen die spezifischen Parameter (effektive Bandbreite, Verzögerung, Paketverluste und Jitter), die die IP-Telefonieapplikationen beeinflussen, im Mittelpunkt von NSQ.

Überdimensionierung der Netze (overprovisioning)

Die Überdimensionierung des Netzes ist die einfachste Möglichkeit, für ausreichende Bandbreite zu sorgen. Die Übertragungsgeschwin-

digkeiten aller Netzkanten und die Verarbeitungsgeschwindigkeit der Netzknoten (Switches, Router) werden bei diesem Lösungsansatz stark überdimensioniert. Grundlage einer Überdimensionierung der Netze ist die Homogenität der Netzkomponenten. Eine bewusste Beschränkung auf eine möglichst einheitliche Ausstattung der Netzwerkkomponenten ist ein wichtiger Schlüssel, um eine leistungsfähige und qualitätsgesicherte Prozessorganisation zu erreichen.

In der Praxis ist die Überdimensionierung des Netzes nur kurzfristig einsetzbar. In Zukunft ist mit immer höher werdenden Nutzdatenraten zu rechnen. Moderne Applikationen erfordern immer höhere Bandbreiten und neue Anwendungen fressen die verfügbaren Bandbreiten kontinuierlich auf. Darüber hinaus sind selbst in einem lokalen Netzwerk die Zeitpunkte und Orte

des Verkehrs nur schwer abschätzbar. Ein Zusammenbruch eines zentralen Knotens, kann trotz integrierter Fehlertoleranz zu Ausfällen führen.

Auch kommt es in Netzen deren mittlere Bandbreitenausnutzung aller Links auf 50 Prozent dimensioniert ist, nach wie vor in gewissen Hochlastfällen zu Verstopfungen, die zu erhöhten Verzögerungen, Verzögerungsschwankungen und Paketverlusten führen.

Quality-of-Service-Techniken

Der Begriff »Quality of Service« (QoS) beschreibt in der TCP/IP-Welt die Güte eines Kommunikationsdienstes aus der Sicht der Anwender. Dabei wird verglichen, wie stark die Güte des Dienstes mit deren Anforderungen übereinstimmt. Formal ist QoS eine Menge von Qualitätsanforderungen an das gemeinsame Verhalten beziehungsweise Zusammenspiel von mehreren Objekten.

QoS bezeichnet allgemein die Dienstgüte von Übertragungskanälen. Durch Quality of Service werden aktiv bestimmte Parameter beeinflusst, die für das Management der Network-Service-Quality (Bandbreite, Verzögerung, Paketverluste und Jitter) verantwortlich sind.

QoS ist somit kein zusätzliches Feature, das sich an eine Netzinfrastruktur wie ein Add-On anflanschen lässt. QoS ist vielmehr das Resultat einer Vielzahl von aufeinander abgestimmten Maßnahmen, die im grundsätzlichen Design einer Netzinfrastruktur verankert sein müssen. Die QoS-bezogene Priorisierung wird durch folgende Mechanismen realisiert:

- ◆ IEEE 802.1p/Q,
- ◆ Differentiated-Services (DiffServ),
- ◆ Integrated-Services (Intserv),
- ◆ Traffic-Shaping oder
- ◆ Quality of Experience (QoE).

Sicherung der Dienstgüte gemäß IEEE 802.1p

Der Standard 802.1p beschreibt Methoden für die Bereitstellung der Dienstgüte auf dem MAC-Level. Die Standards IEEE 802.1p und IEEE 802.1Q definieren eine Erweiterung des MAC-Headers. Diese Erweiterung wird als Tag und die Frames mit dieser Erweiterung als Tagged-Frames bezeichnet.

Tagged-Frame

Die Unterscheidung der Pakete und der entsprechenden Zuordnung zu den Queues kann durch die Identifizierung der Prioritäten eines Paketes oder Frame erreicht werden. Der IEEE-802.1p-Standard empfiehlt die User-Priority und deren Umwandlung (Mappen) zu den Verkehrsklassen (Traffic-Classes) und damit zu den vorhandenen Queues.

Derzeit werden in den meisten Netzkomponenten nur 2 beziehungsweise 4 Queues verwendet. Das gezeigte Mapping der User-Priority in die Verkehrsklassen unter Berücksichtigung der Anzahl der zur Verfügung stehenden Queues führt zu einem Zusammenfassen unterschiedlicher Datenströme mit unterschiedlicher Anforderung an die Dienstgüte.

Integrated-Services

Die Grundidee der Integrated-Services (Intserv) ähnelt den Telefonnetzen. Es wird versucht eine feste Bandbreite auf den Übertragungsstrecken für einzelne Teilnehmer zu reservieren und eine entsprechende Verzögerung einzuhalten. Bei Intserv fragt der Sender bei den Routern im Netz an, ob die Ressourcen für einen Verkehrsfluss vom Sender zum Empfänger vorhanden sind. Ist das der Fall, stellen die Vermittlungssysteme die Verbindung in der gewünschten Qualität her und halten sie solange aufrecht, bis die Übertragung zu Ende ist. Intserv definiert Serviceklassen zur Realisierung einer definierten Dienstgüte. Es arbeitet mit Reservierungen, die über das Resource-Reservation-Protocol (RSVP) festgelegt werden. Bisher wurden nur zwei der existierenden Serviceklassen in Verbindung mit RSVP festgelegt.

- ◆ Guaranteed-Service: wird verwendet, um niedrige Laufzeitverzögerungen und Echtzeit-Transport zu realisieren. Guaranteed-Service wird von Anwendungen wie IP-Telefonie und Videoübertragungen benötigt.
- ◆ Controlled-Load-Services: ist eine Dienstklasse, der der Anwendung oder dem Nutzer ein unbelastetes Netzwerk vorgaukelt (kontrollierte Last). Controlled-Load-Services wird von Anwendungen in Anspruch genommen, die tolerant gegenüber geringen Paketverlusten und Delay sind.

Guaranteed- und Controlled-Load-Service können nur in Policy-basierten Netzwerken angewendet werden. Dabei stehen die in der Tspec (Traffic-Specification, auch Verkehrscharakteristik) und in der Rspec (Reservation-Specification, auch Reservierungscharakteristik) vereinbarten Parameter im direkten Zusammenhang mit den Service-Level-Agreements. Die SLAs dienen als Grundlage zur Reservierung von Bandbreite und dem damit verbundenen Token-Bucket-Verhalten. Diese Parameter müssen durch die Admission/Policy-Kontrolle zu dem Router übermittelt werden.

Intserv benötigt weiterhin Netzelemente wie Router oder Switches, die folgende Funktionen unterstützen:

- ◆ Admission-Control: Eine Admission-Control-Instanz muss in jedem Intserv-Endgerät sowie Intserv-fähigem Router präsent sein. Kommt eine Reservierungsanfrage auf ein be-



stimmtes Interface, so prüft die Admission-Control-Einheit, ob genügend Ressourcen zur Verfügung stehen und ob der gewünschte Dienst mit dem auf dem zugehörigen Interface eingesetzten Paket-Scheduling-Verfahren gewährleistet werden kann.

- ◆ **Classification:** Beschreibt die Erkennung von Paketen, die bestimmte QoS-Anforderungen stellen, beziehungsweise zu bestehenden Reservierungen gehören.

- ◆ **Policy-Control:** Im Gegensatz zur Admission-Control- prüft die Policy-Control-Einheit die Berechtigungen der Teilnehmer zur QoS-Anforderungen. Außerdem kümmert sie sich um die Authentisierung der Teilnehmer im Netz. Im Bereich der Policy-Control herrscht bislang noch Unklarheit bezüglich der einzusetzenden Verfahren. Dabei ist ohne Implementierung der Policy-Control-Einheiten kein ernsthafter Einsatz der Integrated-Services denkbar.

- ◆ **Queuing and Scheduling:** Organisation der Warteschlangen, so dass die zugesagte Dienstgüte erreicht wird. Weighted-Fair-Queueing (WFQ) isoliert Controlled-Load-Verkehr von anderem Verkehr, indem getrennte Warteschlangen vorgesehen werden. Jede Warteschlange erhält auf Grund ihrer Priorität einen festen Anteil der verfügbaren Bandbreite.

Das RSVP ermöglicht die Reservierung von Ressourcen zur Sicherstellung der Dienstqualität bei der Datenübertragung. Im Gegensatz zu IP werden die Daten mit RSVP über einen festgelegten Weg übertragen. Dies gilt für Nutzdaten als auch für Kontrolldaten. Der Schlüssel für Echtzeitübertragungen im Internet liegt in der Reservierung von Bandbreite entlang des Lieferpfades (Guaranteed-QoS).

RSVP wird von Endsystemen und Routern eingesetzt. Zur Sicherstellung der Dienstqualität muss das Protokoll in allen Knoten imple-

mentiert sein. RSVP ist empfängerorientiert, es macht den Empfänger für die Reservierung verantwortlich. Reservierungsanforderungen können abgelehnt werden. RSVP kann jedoch nicht allen Anforderungen gerecht werden. Es existieren einige Probleme, die einer Implementation zum derzeitigen Zeitpunkt im Weg stehen. Auch wird bezweifelt, dass RSVP ausreichend skaliert um in Backbones eingesetzt werden zu können.

Differentiated-Services (Diffserv)

Beim IP-Protokoll (Schicht 3) erfolgt die Datenübermittlung ungesichert und verbindungslos. Alle Pakete werden von IP unabhängig von anderen übertragen. Zusätzliche Funktionen wie Fehlererkennung, Überwachung der Reihenfolge, Flusskontrolle und Sicherung der Übertragung werden durch die Protokolle höherer Schichten realisiert.

Zur Realisierung einer skalierbaren QoS-Lösung mit unterschiedlichen Dienstklassen wurden von der IETF die Differentiated-Services (Diffserv, RFC 2474 und 2475) entwickelt. Die Eigenschaften von Diffserv sind:

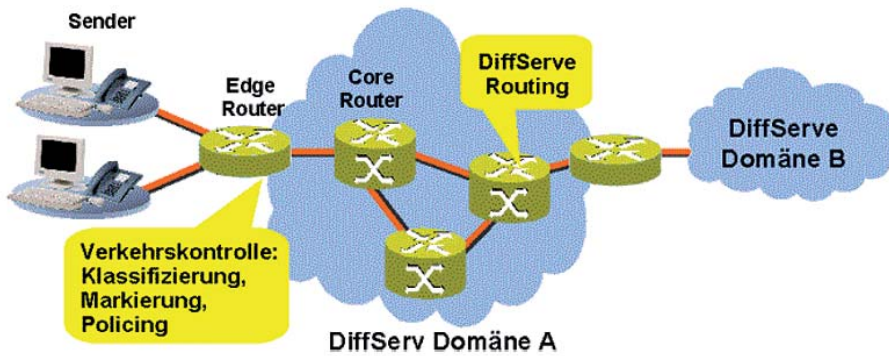
- ◆ Zuweisung von Ressourcen ist gebunden an die durch Diffserv definierten Serviceklassen.

- ◆ Jedes Paket enthält innerhalb des IP-Headers Informationen über die benötigte Verkehrsklasse.

- ◆ Die Markierung der eingehenden Pakete erfolgt an der Netzgrenze durch die Edge-Router.

- ◆ Die Markierung eines Paketes entscheidet über die Weiterbehandlung und das Weiterleiten von Paketen innerhalb der Switches und Router. Daraus folgt, dass jeder Switch und jeder Router innerhalb der Domäne in der Lage sein muss, die Werte innerhalb des DSCP-Feldes zu interpretieren.

Diffserv-Architektur



Diffserv verwendet dazu das IPv4-TOS-Feld beziehungsweise das IPv6-Traffic-Class-Feld des IP-Headers, welches in ein Diffserv-Feld umdefiniert wird. Dieses besteht aus einem sechs Bit langem Differentiated-Service-Codepoint-Feld (DSCP) für 64 mögliche QoS-Klassen, wobei die restlichen zwei Bits von aktuellen TCP-Stacks zur »Explicit-Congestion-Notification« (ECN) genutzt werden.

Diffserve-Feld

Diffserv benötigt keine Signalisierung und Zustandspeicherung in den Netzelementen, da jedes einzelne Paket individuell nach seiner Dienstklasse von den Netzelementen behandelt wird. Stattdessen definiert Diffserv eine kleine Anzahl von Regeln für Qualitätsklassen (Per Hop Behaviours, PHBs), die von den Routern durch geeignete Maßnahmen unterstützt werden müssen. Diffserve definiert die folgenden Qualitätsklassen:

- ◆ Expedited-Forwarding (EF, RFC 3246): Diese Qualitätsklassen mit strikter Priorität über alle anderen Klassen bietet geringsten Paketverlust, sehr geringe Verzögerung und kleinen Jitter. Für die Anforderungen von VoIP-Verkehr in Richtung geringer Verzögerung eignen sich diese Qualitätsklassen ganz besonders.
- ◆ Assured-Forwarding (AF, RFC 2597): Innerhalb dieses Dienstes werden vier unterschiedliche Qualitätsklassen und drei Levels für den Paketverwurf pro Qualitätsklassen definiert.
- ◆ Best Effort (BE): Keine Dienstgarantie, verbleibende Bandbreite.

Diffserv-Architektur

Der Sender setzt wie in der Abbildung ersichtlich über die Service-Primitives der Applikation das DS-Feld im IP-Header. Im Edge-Router erfolgt die Klassifizierung, indem bei jedem Paket das DS-Feld ausgewertet beziehungsweise

durch ein vom Administrator vorgegebenes DSCP-Feld ersetzt wird. Dieser »Stempel« definiert die weitere Behandlung des IP-Pakets innerhalb der betreffenden Diffserv-Domäne. Die Core-Router sind nur für das Routing der Diffserv-Pakete anhand der sechs DSCP-Bits zuständig, das heißt sie schließen anhand des DSCP-Stempels, auf die Behandlung des Pakets. Bei Diffserv beschränkt sich daher die Intelligenz auf den Edge, während Core-Router lediglich das Diffserv-Feld auswerten müssen. Außerdem darf der hochpriorisierte Verkehr nur einen Bruchteil des gesamten IP-Verkehrs ausmachen. Daher ist eine Zugangskontrolle (Admission-Control) unumgänglich, die den priorisierten Verkehr limitiert.

Die Vorteile von Diffserv liegen in der guten Skalierbarkeit für große Netze und in der Interoperabilität von Diffserv mit Intserv und MPLS. Darüber hinaus erlaubt der Diffserv-Ansatz lediglich eine relative Bevorzugung gegenüber anderen Dienstklassen und sobald der Verkehr einer Dienstklasse zu hoch ist, verhält sich Diffserv wie der normale Best-Effort-Transport. Daher ist es wichtig, für hochpriorisierten Verkehr parallel dazu für genügend Bandbreite zu sorgen. Obwohl die Dienstklassen (PHBs) definiert sind, gibt es keine Festlegungen für die einzelnen Werte und jede Domain kann die PHBs unterschiedlich behandeln.

Diffserv-Domäne

Die Prozessorganisation ist besonders im WAN-Umfeld (Ende-zu-Ende-Bereitstellung) der Diffserv-Definitionen besonders wichtig. Da mehrere Prozessbeteiligte an diesem Prozess beteiligt sind, ist eine formalisierte Ausgestaltung von

Handlungsabläufen unabdingbar. Ohne eine Prozessorganisation muss ständig mit der Gefahr gerechnet werden, dass durch unangemessene oder falsche Maßnahmen die QoS einer Netzinfrastruktur empfindlich leidet.

Traffic-Shaping

Die Philosophie der »Freien Fahrt für alle Anwendungen« verzögert wichtige Informationen, behindert die Leistung der Anwendungen und schadet dadurch dem Unternehmen. In der Regel fehlt den Netzen keine zusätzliche Bandbreite, sondern Wege, die vorhandene Bandbreite zu managen und deren Verbrauch zu kontrollieren. Hier setzt das so genannte Traffic-Shaping an.

Das Traffic-Shaping ist ein Telekommunikationsverfahren bei dem beim Senden der Datenfluss nach definierten Kriterien gesteuert wird. Das Traffic-Shaping arbeitet unidirektional. Im Gegensatz zur Datenflusskontrolle arbeitet dieses Verfahren ohne Steuerinformationen der Gegenseite. In der Regel wird mit Hilfe des Traffic-Shapings der Netzwerkverkehr in verschie-

Traffic-Shaping in der Regel die Diffserv- oder Intserv- und/oder die Queueing-Funktionen zusammen.

Quality of Experience (QoE)

Quality of Experience (QoE) bezeichnet ein subjektives Maß eines Kunden zur Beurteilung von Liefer- oder Dienstleistungen. Es befasst sich allgemein mit einem Angebot aus der Sicht des Kunden. QoE im Rahmen von Telekommunikationsnetzen ist ein subjektiver Maßnahmenkatalog mit dem die jeweiligen Dienstleistungen aus der Sicht von Benutzern bewertet werden. Ziel des Bewertungsverfahrens ist es mehrere Metriken zu generieren, um künftig dem Anwender die Leistungen so optimal wie möglich bereitstellen zu können.

QoE ist ein Lösungsansatz der in den Endgeräten aktiv ist. Quality of Experience basiert auf der Grundlage der Optimierung und dem Monitoring der Echtzeitdatenströme, um dem Nutzer die höchstmögliche Qualität zur Verfügung zu stellen. Zu den wesentlichen Eckpunkten der Microsoft-Lösung gehören:

eine Ende-zu-Ende-Übertragung notwendigen Parameter in die Optimierung der aktuellen Benutzerqualität ein.

Die von Microsoft entwickelte QoE-Lösung bricht auch mit vielen Basisparametern der regulären Telefonie. Beispielsweise ist die Default-Einstellung in einer Microsoft-Unified-Communications-Umgebung immer die Übermittlung einer breitbandigen Sprache. In den traditionellen Telefonnetzen und bei VoIP wurde bisher die Sprache immer schmalbandig übermittelt.

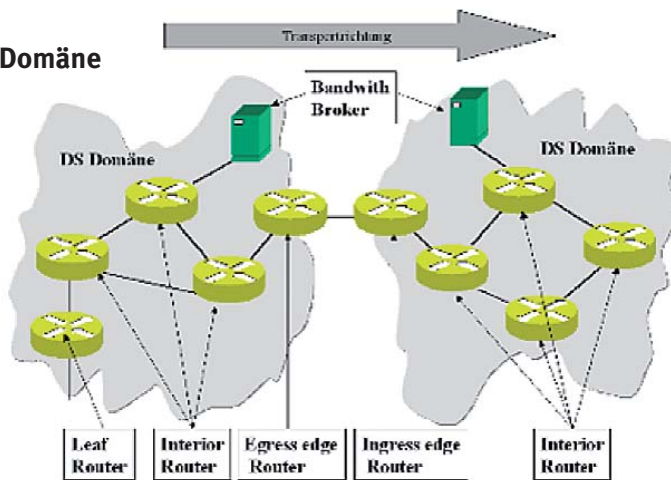
Die RT-Audio-Breitband-Codexs von Microsoft nutzen eine Abtastfrequenz von 16 kHz. Daraus ergibt sich ein Frequenzbereich von 8000 Hz und einer nutzbaren Frequenzbereich von etwa 50 Hz bis 7000 Hz. Dadurch ist eine präzisere Übertragung der niedrigen und hohen Frequenzbereiche möglich. Dies kommt der Qualität des Sprachsignals zugute. Eine breitbandigere Übermittlung der Sprache verbessert nicht nur die Verständlichkeit und Natürlichkeit der Sprache, sondern gibt dem Zuhörer auch ein Gefühl der Transparenz.

Bestimmte Netzfehler und die daraus resultierenden Verfälschungen des übertragenen Signals lassen sich mit Hilfe von Netzmanagementwerkzeugen in den Griff bekommen. Die Beseitigung der Übertragungsfehler bedarf jedoch der entsprechenden Werkzeuge und Mechanismen auf der Applikationsschicht. Aus diesem Grund müssen die Endpunkte einer VoIP-Lösung autonom die Ende-zu-Ende-Qualität kontrollieren und gegebenenfalls korrigierend eingreifen.

Eine Quantifizierung und das Monitoring der Quality of Experience aller Nutzer (in allen Verbindungen) ist Bestandteil der Microsoft-UC-Lösung. Der Office-Communicator misst die aktuellen Parameter und generiert daraus die individuelle Metrik für die Verbindungen. Der Office-Communications-Server sammelt und aggregiert diese in den Call-Detail-Records (CDR) als Metrics-CDR. Die Metrics-CDRs umfassen:

- ◆ MOS-Werte: Für Microsoft-UC wurden spezielle Algorithmen entwickelt, die sowohl die Effekte des Netzwerks als auch der Payload ermitteln. Diese Werte werden beispielsweise in den Bewertungsfaktor MOS als Qualitätskriterium der Sprachqualität umgerechnet. Dadurch wird die subjektive/objektive Benutzerqualität kontinuierlich überwacht. Darüber hinaus werden die Qualitätsmetriken für die Ermittlung akkurater Trends genutzt.
- ◆ Network-Service-Quality-Parameter: Microsoft-UC generiert Metriken über alle relevanten NSQ-Parameter für alle Verbindungen. Dadurch erhält der Netzadministrator exakte Kennzahlen über die verfügbare Netzperformance.
- ◆ ICE und relevante Übertragungsinformationen: Microsoft-UC nutzt zur korrekten Übermittlung der Sprachdaten über NAT-Gateways/Firewalls, die vom IETF veröffentlichten Interactive-Connectivity-Establishment Spezifikationen (ICE).

Diffserv-Domäne



dene Bereiche eingeteilt. Diese Einteilungen sind beispielsweise Applikationen oder Protokolle, Zeit und Art der Verbindung. Das Traffic-Shaping ermöglicht es gezielt geschäftsrelevante Dienste zu priorisieren. Irrelevante Internetdienste können entweder ganz gestoppt oder nur ein geringer Prozentteil der verfügbaren Bandbreite zugewiesen werden.

Durch das Traffic-Shaping werden an Netzgrenzen bestimmten Anwendungen die notwendigen Bandbreiten zur Verfügung gestellt und andere Applikationen gezielt ausgebremst. Damit werden Lastspitzen ausgeglichen und der Echtzeitverkehr erhält die gewünschte Vorfahrt vor anderen Anwendungen.

Da die Switches und Router innerhalb der Netze in der Regel keine echten Traffic-Shaping-Funktionen bereitstellen, arbeiten mit dem

◆ Benutzerorientierter Ansatz der »empfundenen Qualität«: Die von den Nutzern subjektiv empfundene Qualität der empfangenen Echtzeitströme umfasst alle relevanten Parameter zur Optimierung der Datenströme.

◆ Intelligente Endpunkte: So genannte »smart adaptive« Endpunkte analysieren die jeweiligen Übertragungsbedingungen und optimieren die notwendigen Parameter.

◆ Permanente Kontrolle der Benutzerqualität: Kontinuierliche Messungen, eine permanente Quantifizierung und das Monitoring der gesamten Benutzerdaten trägt zur Verbesserung der empfundenen Qualität bei.

QoE bricht mit dem traditionellen QoS-Lösungsansatz. Das Netzwerk ist nicht mehr alleiniger »Herrscher« über Übermittlungsparameter. In den QoE-Lösungsansatz fließen alle für



Der Monitoring-Server sammelt die Metriken aller Systeme und analysiert die Daten. Auf Basis der ausgewerteten Daten werden dem Systemadministrator die Ursachen für Probleme aufgezeigt und entsprechende Alarme generiert.

Der Microsoft-UC-Mediastack enthält zahlreiche Mechanismen zur Optimierung der Übertragungsqualität und zur bestmöglichen Nutzung der vorhandenen Netzwerkressourcen:

- ◆ **Quality-Controller (QC)** ist eine Software-Komponente, die auf Basis der von den unterschiedlichen Schichten des Mediastacks zur Verfügung gestellten Informationen sich dynamisch an das Verhalten des Absenders anpasst. Der QC berücksichtigt eine Vielzahl von Parametern: Anzahl und Art der Datenströme, die aktuelle Schätzung der verfügbaren Bandbreite, die verfügbaren Codecs und die NSQ-Bedingungen. Zu den Optimierungsfunktionen gehört auch die Forward-Error-Correction (FEC).

Die QC wählt während des Gesprächs dynamische die genutzten Codecs aus und passt sich in Echtzeit an sich ändernde Übertragungsverhältnisse an. Bei der temporären Überlastung eines Links wird der SRC (in jedem Endpunkt der Session) aktiv und erkennt, dass sich die Netzbedingungen verschlechtert haben. Jeder Media-stack verringert daraufhin schrittweise die Bitrate. Zwangsläufig wird dadurch auch die Qualität der Audiodaten schrittweise gesenkt. Da die Microsoft-Codecs gegenüber den Standard-codecs eine wesentlich höhere Qualität liefern, führen eine Bitraten-Reduzierung nicht zu einer drastisch verschlechterten Sprachqualität.

- ◆ **Forward-Error-Correction (FEC):** Der RT-Audio-Encoder, unter Kontrolle der QC, bietet einen zusätzlichen Schutz vor Datenverlust während der Übertragung. Hierzu werden redundante Informationen in die RT-Audio-Bitstreams integriert. Anhand dieser Zusatzinformationen ist der Empfänger in der Lage, während der Übertragung verloren gegangene Datenpakete zu rekonstruieren. Durch die FEC-Funktion steigt die für die Übertragung notwendige Datenrate natürlicherweise an. Die Endpunkte der Verbindung entscheiden deshalb dynamisch über die Nutzung der FEC-Funktion für den jeweiligen Datenstrom.

Gutes Netzdesign ist wichtiger denn je

Die Bandbreitenmanagementverfahren sorgen für eine Verbesserung der Sprachqualität bei der Übermittlung von VoIP-Datenströmen. Die beschriebenen Lösungsansätze unterscheiden sich teilweise fundamental beziehungsweise bedingen die Kombination einzelner Teillösungen. Keine Lösung bietet das Allheilmittel für jedes

Netzwerkproblem. Aus diesem Grund ist es wichtig, die folgenden Schritte beim Design des Netzwerks zu beachten:

- ◆ **Verfügbare Netzbandbreite obligatorisch:** Weder QoE noch QoS sind ein Allheilmittel gegen zu wenig verfügbare Übertragungskapazitäten im Netz. Eine genügend dimensionierte Bandbreite im Netzwerk trägt zur Reduzierung der Verzögerungen bei und vermindert Paketverluste.

- ◆ **Richtige Provisionierung:** In einigen Teilen des Netzes (speziell im WAN) kann es aus Kostengründen oder auf Grund mangelnder Verfügbarkeit zu Bandbreitenengpässen kommen. Da die meisten Hersteller keine Intserv-Mechanismen in ihren Produkten unterstützen, sollte nur DiffServ eingesetzt werden. Die DiffServ-Mechanismen erweisen sich in der Praxis als kostengünstiger, einfacher zu konfigurieren und zu verwalten, skalierbarer und reichen für den Einsatz der Microsoft-Lösung im WAN völlig aus.

- ◆ **Elastizität:** Einer Sättigung beziehungsweise Überlast einer oder mehrerer Verbindungen im Übertragungsweg muss mit entsprechenden Queuing-Verfahren begegnet werden. Dadurch wird gewährleistet, dass die hochpriorisierten Verkehrsströme auch bei Überlastung der Transportressourcen übermittelt werden.

- ◆ **Qualität erreicht man nur durch Qualitätssicherung,** das heißt der Überprüfung der geplanten Qualität mit geeigneten Messinstrumenten. Jede passive Leitung wird überprüft, bei aktiven Komponenten wird fälschlicherweise angenommen, dass man darauf verzichten kann. Die Erfahrungen der Autoren zeigen, dass es große Unterschiede zwischen Datenblatt und zugehöriger Netzwerkkomponente geben kann.

Mathias Hein und Prof. Dr. Bernhard Stütz