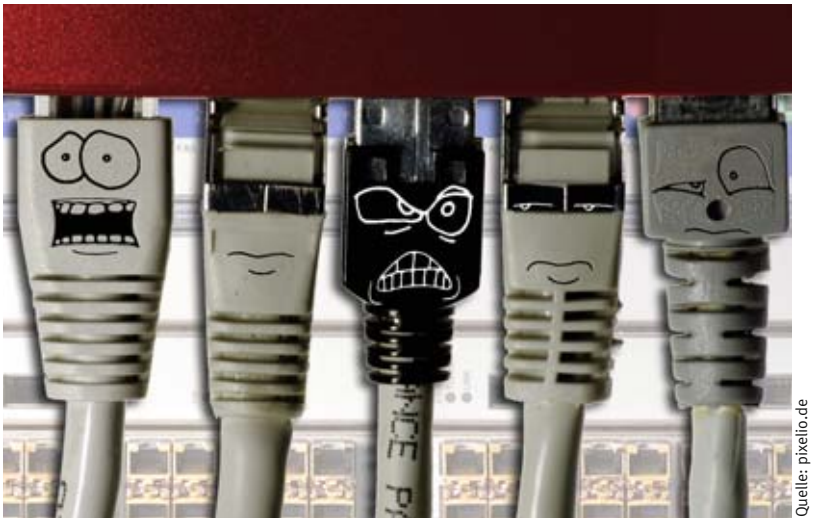
Wettbewerb der Kommunikationstalente

Vergleichstest Core- und Edge-Switches, Teil 1 – Neben immer mehr Bandbreite sollen LAN-Switches im Zeitalter von Unified-Communications auch den Anforderungen der verschiedenen Real-Time-Anwendungen gewachsen sein. Wie talentiert moderne UC-Switches heute sind, sollte ein Vergleichstest klären.



Quelle: pixelio.de

Moderne Kommunikationsnetze stellen aktive Komponenten vor immer anspruchsvollere Aufgaben. Mit dem Siegeszug der IP-Telefonie hält die erste Echtzeitanforderungen stellende Anwendung flächendeckenden Einzug in die Welt der Ethernet- und IP-basierenden Unternehmensnetze. Und auch die Integration von Video-over-IP beispielsweise für Konferenzsysteme steht in vielen Bereichen schon im Pflichtenheft. Dann sind da noch die klassischen Datenapplikationen, und deren Anforderungen an das Netzwerk werden auch immer anspruchsvoller.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen haben die Switch-Hersteller ihre Systeme zügig weiter entwickelt. Mit der Einführung von 10-Gigabit-Ethernet ist das gute alte Ethernet nochmals um den Faktor 10 schneller geworden. Und Mechanismen wie die Datenpriorisierung und das Bandbreitenmanagement sollen für eine intelligente Ausnutzung der zur Verfügung gestellten Ressourcen im gesamten Unternehmensnetz sorgen.

Kommunikationsstörungen im LAN

Die Übertragung von einem Endpunkt im Netzwerk zum anderen erfordert eine gewisse Laufzeit. Dabei gibt es zunächst einen festen Teil, der durch die Auswahl der zu verwendenden Codecs, also der Sprach-Digitalisierungs-Algorithmen, und der Netzwerkkomponenten beeinflussbar und ziemlich gut berechenbar ist. Dieser wird durch die Zeit, die die Kodierungsalgorithmen an beiden Endpunkten benötigen, durch die Hardware-Durchlaufzeit auf den beteiligten End- und Knotenpunkten und durch die rein physikalischen Übertragungsgeschwindigkeiten der verschiedenen Medien über bestimmte Entfernungen festgelegt.

Zusätzlich entstehen Verzögerungen beispielsweise durch volle Warteschlangen bei Überlast oder durch die eventuelle Wahl alternativer Routen zum Zielpunkt. Die beiden letzteren Punkte können auch die Ursache für zwei andere Übertragungsfehler sein. Beim sogenannten Jitter treffen Pakete, die in regelmäßigen Intervallen in das Netz geschickt werden, in unregelmäßigen Abständen beim Empfänger ein. Ist bei isochromem Datenverkehr wie der IP-Sprachübertragung ein Paket zu schnell am Ziel, dann kann es für die Ausgabe noch nicht verwendet werden. Kommt es dagegen später als erwartet, können Lücken in der Sprachwiedergabe entstehen. Diesem Jitter kann man durch den Einsatz eines Jitter-Buffers entgegenwirken, der Pakete aus dem Netz entgegen nimmt und verzögert aber gleichmäßig an die Dekodiereinheit weiter gibt. Natürlich erhöht sich dadurch auch der Delay.

Treffen die Pakete beim Empfänger in einer anderen Reihenfolge ein, als vom Sender beabsichtigt, spricht man von einem Sequence-Error. Häufigste Ursache hierfür ist, dass einige zu einer Übertragung gehörende Pakete auf Grund einer Überlast regeroutet werden und so ihr Ziel auf einem anderen, möglicherweise langsameren Weg erreichen. Wie gut solche Fehler in der Paket-Reihenfolge ausgeglichen beziehungsweise überspielt werden können, hängt in erster Linie von der Länge des Jitter-Buffers ab.

Gehen bei der Übertragung Pakete ganz verloren (Packet-Loss), dann sind die Auswirkungen um so größer, je höher die Anzahl der Sprachdaten-Bytes in dem verlorenen Paket war und je stärker der Codec komprimiert. Gehen mehrere aufeinander folgende Pakete verloren (Consecutive-Packet-Loss), sind die Auswirkungen auf die Sprachqualität deutlich stärker, als wenn die Verluste gleichmäßig streuen. Diese Verlustart tritt überwiegend in Burst-Situationen auf. Die Ursache für Packet-Loss liegt häufig darin, dass auf dem Übertragungsweg Bandbreitenengpässe auftreten und durch länger dauernde Bursts Warteschlangen überlaufen, weshalb dann Pakete verworfen werden, oder Pakete in den Warteschlangen so weit verzögert werden, dass sie nicht mehr über den Jitter-Buffer sinnvoll versendet werden können. Werden die Jitter-Buffer sehr groß ausgelegt, um entsprechende Netzwerkfehler wie Sequence-Errors oder Jitter auszugleichen, führt diese Technik selbst zu einer zu großen Verzögerung, die dann gleichfalls die Echtzeitkommunikation stört. Jitter-Buffer verringern also Probleme, die durch Jitter und Squenz-Error entstehen können, erzeugen aber ihrerseits zusätzliche Delay-Zeiten. Gute Endgeräte verwalten den Jitter-Buffer daher dynamisch.

Bei entsprechender Überlast im Netz sind Datenverluste ganz normal, jedoch sollen sie durch die Priorisierungsmechanismen in der Regel auf nicht echtzeitfähige Applikationen verlagert werden. Arbeitet diese Priorisierung nicht wie vorgesehen, kommt es auch im Bereich der hoch priorisierten Sprachdaten zu Verlusten. Für eine realitätsnahe und aussagefähige Auswertung der Messergebnisse ist es darüber hinaus entscheidend zu wissen, welche Framegrößen in welchen Verteilungen in realen Netzwerken vorkommen. Analysen der Verteilung der Framegrößen beispielsweise für das NCI-Backbone oder von den Applikationen her typischer Business-DSL-Links haben ergeben, dass rund 50 Prozent aller Datenrahmen in realen Netzwerken 64 Byte groß sind. Die übrigen rund 50 Prozent der zu transportierenden Datenrahmen streuen über alle Rahmengrößen von 128 bis 1518 Byte.

Für Echtzeit-Anwendungen wie die Voice- oder Video-Übertragung ist zunächst das Datenverlustverhalten von entscheidender Bedeutung. Ab fünf Prozent Verlust ist je nach Codec mit deutlicher Verschlechterung der Übertragungsqualität zu rechnen, zehn Prozent führen zu einer massiven Beeinträchtigung, ab 20 Prozent Datenverlust ist beispielsweise die Telefonie definitiv nicht mehr möglich. So verringert sich der R-Wert für die Sprachqualität gemäß E-Modell nach ITU G.107 schon bei zehn Prozent Datenverlust um je nach Codec 25 bis weit über 40 Punkte, also Werte, die massive Probleme im Telefoniebereich sehr wahrscheinlich machen.

Auf Grund ihrer Bedeutung für die Übertragungsqualität haben wir daher das Datenrahmenverlustverhalten als primäres K.O.-Kriterium für unsere Tests definiert. Die Parameter Latency und Jitter – die wir standardmäßig ebenfalls messen – sind dann für die genauere Diagnose und weitere Analyse im Einzelfall wichtig. Sind jedoch die Datenverlustraten von Hause aus schon zu hoch, können gute Werte für Latency und Jitter die Echtzeitübertragungsqualität auch nicht mehr retten. Dafür, dass es zu solchen massiven Datenverlusten im Ethernet-LAN erst gar nicht kommt, sollen entsprechend gut funktionierende Priorisierungsmechanismen sorgen. Sie tun dies aber durchaus nicht immer, wie die Erfahrung aus vorhergehenden Tests zeigt.

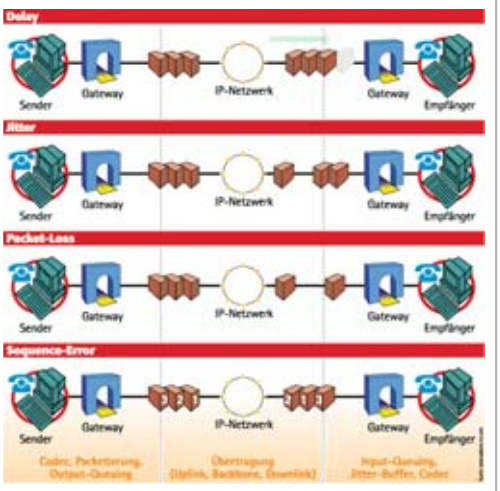
Qualitätssicherung im LAN

Ethernet-basierte LANs ermöglichen eine kostengünstige, durchgehende Netzwerk-Lösung vom Backbone-Bereich bis an die Endgeräte am Arbeitsplatz und sind nicht zuletzt aus diesem Grund weltweiter Standard in praktisch allen Unternehmen und Institutionen. Allerdings bietet das Ethernet auf Layer-2 und -3 nicht die selbe Übertragungsqualität wie von Hause aus echtzeitfähige Technologien, beispielsweise ATM. Das Ethernet-Protokoll ist zwar einfacher und arbeitet mit geringerem Overhead, die Übertragungen erfolgen aber ohne vorherigen Aufbau einer Verbindung oder die Aushandlung der Qualität der Übertragungsstrecke von Endpunkt zu Endpunkt. Für alle Applikationen wird nur eine Best-Effort-Behandlung – so gut, wie eben möglich – bereitgestellt, unabhängig von deren tatsächlichen Anforderungen oder den Anforderungen der Nutzer. Die Absicherung einer Verbindung erfolgt – wenn überhaupt – erst in den Protokollen höherer Ebenen, wie dem TCP.

In Ethernet-Netzen und unter Verwendung des TCP/IP-Protokolls – und damit auch im Internet, Intranet oder Extranet – gibt es also keine garantierten Verbindungseigenschaften. Deshalb ist auch die Implementierung von Quality-of-Service oder kurz QoS, wie man es von ATM kennt, nicht möglich. Trotzdem versuchen die Ethernet-Produktentwickler seit einigen Jahren durch Priorisierung und Reservierung von Ressourcen auch in IP-Netzen verschiedene Serviceklassen, die Class-of-Service oder CoS, zu etablieren. Allgemein sind zwei Wege zu unterscheiden, Service-Qualitäten zu realisieren, zum einen über die Reservierung von Netzwerkressourcen, die Resource-Reservation, und zum anderen über eine bevorzugte Behandlung bestimmter Pakete bei deren Weiterleitung, die Daten-Priorisierung.

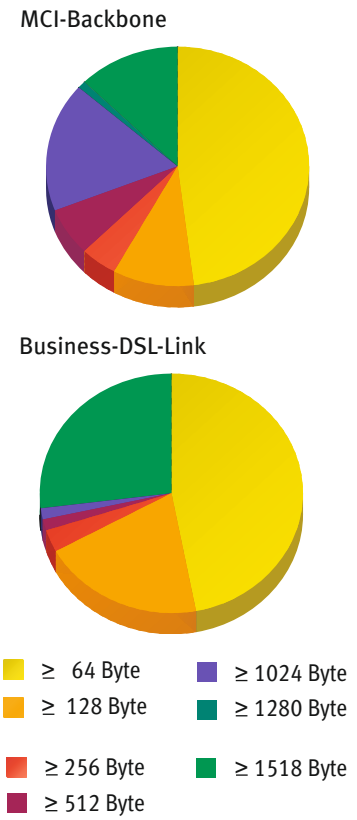
Grundlage für letztere ist die Entscheidung, welches Paket welche Priorität besitzt. Diese Entscheidung kann auf Grundlage der generell zur Verfügung stehenden Informationen aus den Headern der Ebenen 2, 3 oder 4 erfolgen. So ist

Störfaktoren



Störfaktoren wie Packet-Loss, Delay oder Jitter können die Übertragung von Real-Time-Applikationen empfindlich stören und beispielsweise die VoIP-Telefonie unmöglich machen.

Verteilung der Framegrößen



Analysen der Verteilung der Framegrößen beispielsweise für das MCI-Backbone oder von den Applikationen her typischer Business-DSL-Links haben ergeben, dass rund 50 Prozent aller Datenrahmen in realen Netzwerken 64 Byte groß sind.

es möglich, den Verkehr beispielsweise hinsichtlich der Quell- und Zieladressen (MAC oder IP) oder der Protokoll- und Portnummern einzuteilen, natürlich in Abhängigkeit davon, bis in welche Ebene das Netzwerkgerät die Protokoll-Header analysieren kann. Geht man einen Schritt weiter, kann man in den Protokoll-Headern der verschiedenen Ebenen bestimmte Bits gezielt setzen und so die Zugehörigkeit eines Paketes zu einer Prioritätsklasse kennzeichnen.

Die Hierarchie der Prioritätsentscheidungen auf den verschiedenen Layern, die ja durchaus widersprüchlich sein kann, ist für jeden Switch intern gelistet und entweder frei konfigurierbar oder fest vorgegeben. Zu beachten ist auch, dass Layer-2-Priorisierungen auf dem Weg durch ein LAN in der Regel verloren gehen, sobald sie auf Layer-3 geswitched beziehungsweise geroutet werden. Die Konfiguration des aktiven Netzwerks, das intelligent die Priorisierungsmechanismen nutzen soll, ist daher gerade in heterogenen Umfeldern nicht gerade trivial. Häufig wird der ITK-Verantwortliche gut beraten sein, wenn er sich schon aus Gründen einer vollständigen Kompatibilität für ein Netzwerk aus einer Hand entscheidet. Bei größeren Netzen ist auch eine entsprechende CoS-Management-Software unerlässlich, um die zur Verfügung stehenden Priorisierungsmechanismen auch wirklich effizient nutzen zu können.

Qualitätssicherung auf Ebene 3

Eine Möglichkeit der Zuordnung eines IP-Paketes ist die Nutzung des Type-of-Service-Bytes, kurz ToS, im IP-Header Version 4. Dazu sind zwei Varianten beschrieben. RFC 791 definiert mit den Bits 0 bis 2 acht Klassen, von »Routine« über »Immediate« bis zu »Network-Control«. Pakete mit einem höheren Octal-Wert in diesem 3-Bit-Feld werden vorrangig behandelt (IP-Precedence). Variante 2 verwendet die Bits 3 bis 6, um eine normale und vier um besondere Service-Klassen zu kennzeichnen. Festgehalten ist dies in RFC 1349. Ungünstigerweise wird dieses vier Bit große Teilfeld des ToS-Byte ebenfalls als Type-of-Service bezeichnet. Es gibt also im IP-Header ein ToS-Byte und darin enthalten ist ein ToS-Feld. Pakete können anhand des ToS-Feldes entsprechend der eingestellten Klasse Warteschlangen unterschiedlicher Priorität zugeordnet werden. Im IP-Header Version 6 ist ebenfalls ein Byte für eine Klasseneinteilung vorgesehen. Es wird treffend als »Class« bezeichnet und könnte ähnlich verwendet werden.

Eine Arbeitsgruppe der IETF stellte schon 1997 eine alternative Implementation des ToS-Byte vor. Auch bei den Differentiated-Services, kurz Diffserv, wird dieses Byte dazu verwendet, um Pakete mit Markierungen zu versehen, die dann auf den Netzwerkknotenpunkten eine bestimmte Behandlung bei der Weiterleitung zum nächsten Knoten bewirken (Per-Hop-Behavior). Dazu erhält dieses Byte im IP-Header per Definition eine neue Bedeutung und wird in diesem Anwendungsfall dann als Differentiated-Service-Byte oder kurz DS-Byte bezeichnet.

Die Diffserv-Spezifikation nach RFC 1349 definiert sechs Bits, die dazu dienen, den Differentiated-Services-Code-Point festzulegen. Diese sechs Bits werden genutzt, um verschiedene Service-Klassen zu definieren. Jede Netzwerkkomponente entscheidet anhand dieser Bits, wie die entsprechenden Pakete zu behandeln sind, und steuert das Per-Hop-Behavior. Die sechs Bits sind nochmals in zwei mal drei Bits unterteilt. Diese Struktur ist in RFC 1349 festgeschrieben, aber letztendlich ist es den Herstellern beziehungsweise den Netzwerkadministratoren freigestellt, wie sie diese Bits genau nutzen.

Eine sinnvolle Diffserv-Anwendung ist daher nur möglich, wenn ein Managementsystem durchgängig die notwendigen Service-Klassen-Zuordnungen steuert. Die insgesamt 64 Codierungs-Möglichkeiten müssen auf die vorhandenen Hardware-Queues beziehungsweise auf die zur Verfügung stehenden Links abgebildet werden und so dafür sorgen, dass die unterschiedlichen Dienste mit der gewünschten Qualität übertragen werden können. Diese Mechanismen müssen in einer Domäne konsistent arbeiten und zwischen verschiedenen Domänen durch Mapping gesichert werden.

Die Funktionsweise bei der Priorisierung ist im Grunde immer die gleiche. Pakete werden auf den Gateways und Knotenpunkten anhand dieser Unterscheidungsmerkmale in den Headern den Warteschlangen oder Queues unterschiedlicher Priorität zugeordnet. Die Queues höherer Priorität werden dann entsprechend der Policy der jeweiligen Queuing-Mechanismen bevorzugt weiter geleitet. Welches Prinzip dieser Bevorzugung zu Grunde liegt, ist unterschiedlich. In vielen Fällen sollte eine Priorisierung aber nicht ohne eine Festlegung einer gewissen Bandbreite erfolgen. Diese könnte beispielsweise so aussehen, dass die Queue mit der höchsten Priorität nur eine bestimmte maximale Bandbreite erhält. Sonst kann es passieren, dass bei einer Überlast ausschließlich hoch eingestufte Pakete transportiert werden, während sich die Pakete in den unteren Queues stauen, bis sie verworfen werden.

Das Festlegen einer minimalen Bandbreite für Pakete niedrigerer Priorität erfüllt den selben Zweck. Moderne Switches verschieben diese Grenzen dynamisch, abhängig vom momentanen Verkehr. Zu beachten ist jedoch, dass bei voller Ausreizung der entsprechenden Bandbreiten und der den Queues zugeordneten Buffern auch Pakete höherer Priorität keine Chance mehr haben, transportiert zu werden und ebenso verfallen können. Hierin liegt ein grundsätzlicher Nachteil der Ethernet-Technologie. Obwohl eigentlich alle aktuellen Netzwerkgeräte das ToS- beziehungsweise DS-Byte auswerten können, ist diese Funktion in den seltensten Fällen aktiviert und wird höchstens im In-House-Bereich oder anderen abgegrenzten und kontrollierbaren Umgebungen genutzt.

Port-Nummern-Klassifizierung

Da die meisten Applikationen sowie Windows-Betriebssysteme Klassifizierung mit ToS und Diffserv nicht beherrschen erfolgt zumeist eine erste Klassifizierung nach Diensten im Edge-Bereich sinnvoller Weise über die benutzten TCP- oder UDP-Port-Nummern. Hierbei weist der Edge-Switch anhand der erfolgten Klassifizierung den Paketen die entsprechende Hardware-Queue zu. Optional können die Klassifizierungen dann auch auf ToS- beziehungsweise Diffserv-Werte gemappt werden. Dabei werden die schon vorhandenen Werte überschrieben. Diese generierten ToS- und Diffserv-Werte können dann die Core-Switches weiter verwenden, ohne dass sie erneut ein Mapping durchführen müssten. Im vorliegenden Vergleichstest wurden zur Festlegung der Prioritäten die jeweiligen UDP-Portnummern gesetzt. Die Klassifizierung der einzelnen Datenströme erfolgte durch den jeweiligen Switch, der die Datenströme empfing.

Prof. Dr. Bernhard G. Stütz,
dg@networkcomputing.de