

Luftbrücken

Vergleichstest Mesh-WLANs – Nicht nur die Client-Anbindung, auch das Backbone kann in WLAN-Technik realisiert werden. Wie leistungsfähig solche Luftbrücken heute sind, haben wir in den Real-World Labs genauer untersucht.



Moderne WLAN-Infrastrukturen müssen ähnlich wie drahtgebundene Netze auch immer mehr Real-Time-Anwendungen transportieren. In vielen Unternehmen ist Voice-over-WLAN bereits ein Thema und auch die Übertragung von Video-Signalen ist häufig interessant. Dies bedeutet, dass WLAN-Infrastrukturen analog zu drahtgebundenen IP-Netzen Quality-of-Service-Eigenschaften haben müssen, um die gewünschten Übertragungsqualitäten sicherzustellen. Hierzu werden auch im WLAN-Bereich Priorisierungsmechanismen eingesetzt, die übertragungszeitkritischen Daten die Vorfahrt gegenüber anderen Daten eingeräumt. Es entsteht eine mehrstufige Hierarchie der Anwendungsdaten, nach der die Daten entsprechend im Netz transportiert werden sollen.

Qualitätssicherung auf Ebene 3

Eine Möglichkeit der Zuordnung eines IP-Paketes auf Ebene 3 ist die Nutzung des Type-of-Service-Byte, 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 1997 eine alternative Implementation des ToS-Byte vor. Auch bei den Differentiated-Services, kurz Diff-serv, 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 Codierungsmöglichkeiten 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 weitergeleitet. 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 Systeme 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 Technologie. Obwohl eigentlich alle aktuellen Netzwerkkomponenten 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.

QoS nach IEEE 802.11e

Im IEEE-Standard 802.11 wurde nur ein grundlegendes MAC-Verfahren sowie physikalisches Zugriffsverfahren beschrieben. Schnell wurde jedoch klar, dass wichtige Funktionalitäten im MAC-Layer fehlten. Darum rief die IEEE neue Arbeitsgruppen ins Leben, die den Auftrag hatten, die mangelhaften QoS-Eigenschaften durch die Standarderweiterung IEEE 802.11e zu beheben.

Der MAC-Layer besteht aus einer Distributed-Coordination-Function (DCF) und einer Point-Coordination-Function (PCF). Die Implementierung der DCF ist für alle Stationen zwingend vorgeschrieben, die Implementierung der PCF ist jedoch optional.

Der Medienzugriff wird in beiden Fällen hauptsächlich durch den Einsatz unterschiedlicher Interframe-Spaces (IFS) koordiniert. Unter einem IFS versteht man eine Wartezeit zwischen dem Ende eines Frames und dem Beginn eines neuen Frames auf dem Medium. Durch die

verschiedenen Längen der IFSs kann eine Priorisierung von einzelnen Stationen oder Datenübertragungen erfolgen. Auf diese Weise kann zum Beispiel sicher gestellt werden, dass Kontrollnachrichten generell mit höherer Priorität als Nutzdaten übertragen werden können.

Der DCF-Mechanismus (Distributed-Coordination-Function) ist die Basis für die WLAN-Kommunikation. DCF erlaubt den gemeinsamen Zugriff auf das Shared-Medium Luft durch den Einsatz eines CSMA/CA-Verfahrens (Carrier-Sense-Multiple-Access/Collision-Avoidance). Dabei hören die WLAN-Stationen das Medium ab, bevor sie mit der Übertragung beginnen. Sobald das Medium als frei erkannt worden ist, warten die Stationen vor dem Senden eine zufällige Zeit ab. Auf diese Weise wird verhindert, dass alle Stationen gleichzeitig einen Sendeversuch starten, nachdem sie das Medium wieder als frei erkannt haben. Durch den Austausch von RTS/CTS-Paketen (Ready-To-Send/Clear-To-Send) soll das Risiko einer Kollision zusätzlich verringert werden.

Im DCF-Verfahren (Distributed-Coordination-Function) sind alle Stationen dazu angehalten, Pakete, welche direkt an sie adressiert waren (Unicast), unverzüglich mit einem ACK zu bestätigen. Erhält ein Sender keine Bestätigung auf ein versendetes Paket, so wird versucht, das gleiche Paket erneut zu übertragen. Dies geschieht unabhängig davon, ob das versendete Paket nicht beim Empfänger angekommen ist oder die Übertragung des ACK fehlerhaft war. Im zweiten Fall muss die MAC-Schicht des Empfängers das Paket als Duplikat erkennen und entsprechend behandeln.

Interframe-Spaces

IEEE 802.11 definiert vier verschiedene Wartezeiten (Interframe-Space, IFS) vor dem Senden von Frames. Diese sind von der Art der zu übertragenden Pakete und dem Zugriffsmechanismus abhängig. Short-Interframe-Space (SIFS) ist der kürzeste Interframe-Space. SIFS wird beispielsweise vor der Bestätigung eines empfangenen Rahmens durch ein ACK, vor dem Senden eines CTS-Frame als

Bestätigung eines empfangenen RTS-Frames, vor der Übertragung des zweiten beziehungsweise der nachfolgenden Fragmente (MPDU) eines ganzen Frames (MSDU) oder vor der Antwort einer WLAN-Station auf eine Polling-Anfrage des Access-Points verwendet.

PIFS (PCF-Interframe-Space) wird im Rahmen des PCF-Verfahrens von einem Access-Point oder Point-Coordinator (PC) verwendet, um Zugang zum Medium vor allen anderen Stationen zu erhalten, beispielsweise um Informationen zur Synchronisierung zu verschicken oder Polling-Abfragen zu tätigen.

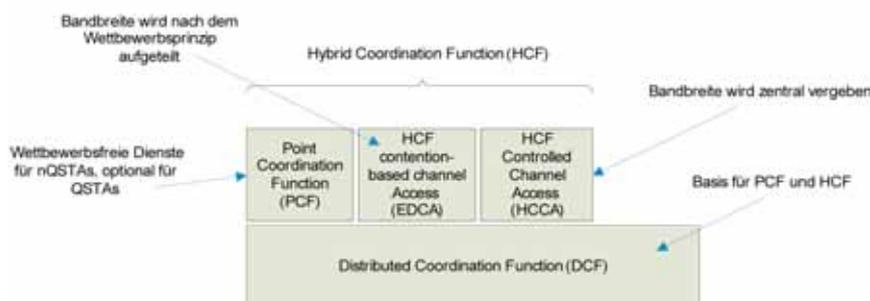
DCF-Interframe-Space (DIFS) wird von allen WLAN-Stationen verwendet, die den herkömmlichen DCF-Mechanismus anwenden. DIFS sollen sowohl vor der Übertragung von Datenpaketen (MSDUs) als auch vor der Übertragung von Managementinformationen (MMPDUs) verwendet werden.

Extended-Interframe-Space (EIFS) wird immer dann verwendet, wenn eine WLAN-Station ein unvollständiges oder fehlerhaftes Paket empfangen hat oder die Übertragung durch die physikalische Schicht abgebrochen wurde. EIFS ist dann die Wartezeit, bis die WLAN-Station einen erneuten Zugriff auf das Medium versuchen darf.

Wird das Medium als frei erkannt, muss eine Station zunächst mindestens für den Zeitraum eines DIFS warten, bevor sie senden darf. Anschließend belegt sie das Medium. Wenn das Medium danach wieder frei ist, dann kann beispielsweise nach Ablauf eines SIFS ein ACK als Bestätigung für ein empfangenes Paket gesendet werden. Durch die kürzere Dauer eines SIFS haben eilige Pakete wie ACK Priorität. Damit nun aber nicht alle DCF-Stationen gleichzeitig Daten abschicken, muss jede zusätzlich einen weiteren Zeitbereich abwarten, welchen man als Contention-Window (CW) bezeichnet.

Contention-Window

Um Kollisionen zwischen Stationen zu vermeiden, die den gleichen IFS vor dem Senden gewartet haben und gleichzeitig auf das Medium zugreifen würden, definiert der 802.11-Standard eine weitere zufällige Wartezeit, auch



Der QoS-MAC-Sublayer von IEEE 802.11e

USER-PRIORITÄTEN UND ACCESS-KATEGORIEN

User Priority	Bezeichnung nach 802.1d	Access-Kategorie nach 802.11e	Bezeichnung nach 802.11e
1	BK (Background)	AC_BK	Background
2	– (Reserviert)	AC_BK	Background
0 (default)	BE (Best Effort)	AC_BE	Best Effort
3	EE (Excellent Effort)	AC_BE	Best Effort
4	CL (Controlled Load)	AC_VI	Video
5	VI (Video)	AC_VI	Video
6	VO (Voice)	AC_VO	Voice
7	NC (Network Control)	AC_VO	Voice

als Backoff bezeichnet. Diese zufällige Wartezeit wird aus einem Bereich zwischen 0 und dem CW gebildet. Der CW-Wert bewegt sich in einem Bereich zwischen den definierten Werten CWmin und CWmax. Zu Beginn wird CW mit dem Wert von CWmin initialisiert. Danach wird CW bei jeder auftretenden Kollision schrittweise verdoppelt, bis der Wert von CWmax erreicht wird.

Je nachdem welchen Zufallswert die Station errechnet hat, dementsprechend viele freie Slots muss zusätzlich zum vorgegebenen Interframe-Space gewartet werden, bevor sie das Medium zum Senden benutzt werden darf. CWmin und CWmax sind abhängig vom verwendeten physikalischen Layer.

Ein AIFS-Intervall kommt immer dann zum Einsatz, wenn eine Station einen Rahmen empfangen hat, dessen Checksumme (FCS) nicht korrekt war, etwa weil der Rahmen unvollständig oder fehlerhaft empfangen worden ist.

Erweiterungen durch IEEE 802.11e

IEEE 802.11e beschreibt verschiedene Mechanismen, mit deren Hilfe der MAC-Layer eines WLAN-Netztes um Quality-of-Service-Eigenschaften erweitert wird. Basis für alle QoS-Dienste ist die Distributed-Coordination-Function (DCF). Der Standard ist so formuliert, dass WLAN-Stationen die IEEE 802.11e implementieren und somit QoS unterstützen (QSTAs, QoS-Stations) zu denen ohne QoS Unterstützung (nQSTAs, Non-QoS-Stations) kompatibel sind. Im Falle einer QSTA setzt auf die DCF eine Hybrid-Coordination-Function (HCF) auf. Diese stellt verschiedene Zugriffsarten bereit. Beim HCF-Contention-Based-Channel-Access beziehungsweise Enhanced-Distributed-Channel-Access (EDCA) erfolgt der Zugriff auf das Medium nach dem Wettbewerbsprinzip.

Neben EDCA gibt es noch den HFC-Controlled-Channel-Access (HCCA). Dabei wird die zur Verfügung stehende Bandbreite durch eine zentrale Basisstation an die QSTAs verteilt. Schließlich gibt es noch die Point-Coordination-Function (PCF). Diese ist sowohl für QSTAs als auch für nQSTAs optional. Da HCF bei einer nQSTA nicht vorhanden ist, ist PCF erforderlich, wenn hier ein wettbewerbsfreier Zugriff auf das Medium erfolgen soll. Ansonsten basiert der Zugriff einer nQSTA immer auf DCF und erfolgt somit nach einem Wettbewerbsprinzip.

Der Standard 802.11e führt die Hybrid-Coordination-Function (HCF) ein. Die HCF beinhaltet zwei Zugriffsverfahren, den verteilten

und wettbewerbsorientierten Enhanced-Distributed-Channel-Access (EDCA) sowie den zentral gesteuerten und wettbewerbsfreien HCF-Controlled-Channel-Access (HCCA).

Wireless-Multimedia

Der Enhanced-Distributed-Channel-Access-Mechanismus (EDCA) ist besser bekannt unter dem Namen Wireless-Multimedia (WMM) beziehungsweise Wireless-Multimedia-Extension (WME). Der Zugriff auf das Übertragungsmedium erfolgt bei WMM wie auch beim herkömmlichen DCF nach dem Wettbewerbsprinzip. Entsprechend dem 802.1d-Standard unterscheidet EDCA zwischen acht verschiedenen User-Priorities (UPs). Auf Grund der vier zur Verfügung stehenden Warteschlangen werden diese acht UPs auf vier verschiedene Access-Kategorien (ACs) gemappt. Jede der vier Verkehrsklassen korrespondiert mit einer der vier Warteschlangen. Zu jeder Warteschlange existiert eine eigene EDCA-Einheit. Diese entscheidet in Abhängigkeit der Priorität der Warteschlange über die beim Zugriff auf das Medium zu verwendenden Wartezeiten. Die Warteschlange und die EDCA-Einheit werden zusammen auch als Backoff-Einheit bezeichnet.

Sollten mehrere Backoff-Einheiten gleichzeitig senden wollen, sorgt eine interne Kollisionsbehandlung dafür, dass die Warteschlange mit der höchsten Priorität sendeberechtigt ist. Alle Backoff-Einheiten, die auf Grund einer niedrigeren Priorität nicht senden konnten, verhalten sich, als ob eine Kollision aufgetreten sei. Jede Priorität besitzt spezifische Parameter, die sogenannten EDCA-Parameter. Diese Parameter ermöglichen die Priorisierung von Paketen. Die wichtigsten EDCA-Parameter sind:

- ◆ Arbitration-Interframe-Space (AIFS) – Die Dauer, die bei erkanntem freiem Übertragungsmedium mindestens gewartet werden muss, bevor gesendet werden darf.
- ◆ Contention-Window (CW) – Ein Intervall, begrenzt durch CWmin und CWmax, das für den Backoff-Vorgang benutzt wird.
- ◆ TXOP-Limit – zur Spezifizierung der maximalen Sendedauer pro TXOP.

INFOS IM WEB

- ◆ http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/tgs_update.htm
- ◆ <http://www.wi-mesh.org/>

Arbitration-Interframe-Space

Der Arbitration-Interframe-Space (AIFS) stellt eine Mindestwartezeit dar, bevor auf das Übertragungsmedium zugegriffen werden darf. Sobald das Medium als frei erkannt wurde, wird der AIFS der jeweiligen Backoff-Einheit bis auf null heruntergezählt. Erst dann darf auf das Medium zugegriffen werden. Der AIFS ist abhängig von der Verkehrsklasse und umso kleiner, je höher die Priorität ist. Die Mindestwartezeit einer Backoff-Einheit der Verkehrsklasse Voice (AIFS[AC_VO]) entspricht dem DCF-Interframe-Space und damit der Wartezeit einer im Rahmen des herkömmlichen DCF-Verfahrens genutzten Backoff-Einheit.

Contention-Window

Zur weiteren Unterscheidung der Prioritäten verwenden die vier Verkehrsklassen unterschiedliche Werte für das Contention-Window. Der CW-Wert bewegt sich zwischen einem minimalen CW (CWmin) und einem maximalen CW (CWmax). Im Gegensatz zum AIFSN sind die Werte für CWmin und CWmax nicht fest vorgegeben, sondern abhängig vom eingesetzten physikalischen Verfahren.

HFC-Controlled-Channel-Access

Der HCCA-Mechanismus ist eine Erweiterung des PCF-Mechanismus. Im Gegensatz zum PCF ist die Implementierung von HCCA bei einer Erweiterung der MAC-Schicht um den IEEE-802.11e-Standard zwingend vorgeschrieben. Der Zugriff auf das Wireless-Medium (WM) erfolgt wie bei PCF durch die zentrale Vergabe von Sendezeiten (TXOPs). Diese TXOPs werden durch einen sogenannten Hybrid-Coordinator (HC) verwaltet und zugewiesen. Die verfügbaren Sendezeiten sind auch hier in zwei Phasen unterteilt. Anders als PCF kann der HCCA-Mechanismus sowohl während einer Contention-Free-Period (CFP) als auch während einer Contention-Period (CP) oder einfach in beiden Phasen gleichzeitig eingesetzt werden.

Fazit

An komplexen QoS-Mechanismen für vermaschte WLAN-Lösungen mangelt es offensichtlich nicht. Ob WLANs so mit drahtgebundenen Ethernet-Systemen der aktuellen Generation gleichziehen können ist jedoch unklar. Schließlich handelt es sich bei Funktechniken generell um Systeme, deren Bandbreite sich in einem Segment befindlichen Systeme teilen müssen. Inwieweit es den Herstellern von vermaschten WLAN-Systemen gelingt, durch intelligente Konzepte grundsätzliche physikalische Nachteile der Funklösungen auszugleichen, zeigt der nachfolgende Testbericht.

**M. Sc. Susanne Goldammer,
M. Sc. Roman Schmidt,
Dipl.-Ing. Thomas Rottenau,
Prof. Dr. Bernhard G. Stütz,
dg@networkcomputing.de**