



Dreifaches Spiel

Funk-Lösungen auf dem Konvergenz-Prüfstand – Triple-Play-Anwendungen stellen die Funknetz-Technologie vor neue Herausforderungen. WLAN- und Wimax-Netze müssen heute die Anforderungen von Echtzeitanwendungen erfüllen.

Funknetze wie GSM, UMTS, Wimax oder WLAN wachsen zusammen. Und die Provider und Hersteller bewerben sie mit Triple-Play-Anwendungen. Dieses »dreifache Spiel« meint die Integration von klassischer Telefonie, Datendiensten/Internet und der Video-/TV-Übertragung. So attraktiv diese neuen Anwendungen für Anbieter und ihre Kunden auch sind – sie stellen sehr hohe Ansprüche an die Funknetztechnologien. In einer ersten Testreihe an der FH Stralsund mussten Wimax- und Wifi-/WLAN-Lösungen ihre Leistungsfähigkeit beweisen.

Im Fokus der Untersuchungen standen neben dem maximal möglichen Datendurchsatz und den Paketlaufzeiten vor allem die für »Quality-of-Service« wichtige Priorisierung unterschiedlicher Verkehrsklassen sowie die unter Lastbedingungen erreichbare Sprachqualität.

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

MAC-Layer

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 und wird daher hier nicht weiter beschrieben.

Der Medienzugriff wird in beiden Fällen hauptsächlich durch den Einsatz unterschiedlicher Interframe-Spaces (IFS) koordiniert. Unter einem IFS versteht man eine Wartezeit zwi-

schen 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 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 Senderversuch 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 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.

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 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 EIFS-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-Netzes 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.

Hybrid-Coordination-Function

Der Standard 802.11e führt die Hybrid-Coordination-Function (HCF) ein, welche die herkömmlichen DCF- und PCF-Mechanismen ersetzen soll. Die HCF beinhaltet zwei Zugriffsverfahren, den verteilten und wettbewerbsori-

entierten Enhanced-Distributed-Channel-Access (EDCA) sowie den zentral gesteuerten und wettbewerbsfreien HCF-Controlled-Channel-Access (HCCA). Zur Abgrenzung dieser Zugriffsverfahren wird das Intervall zwischen den 802.11e-Beacon-Frames, welche den sogenannten Superframe bilden, in einen wettbewerbsfreien Abschnitt (Contention-Free-Period, CFP) und einen wettbewerbsorientierten Abschnitt (Contention-Period, CP) unterteilt. Im CFP-Bereich ist der Zugriff für den HCCA reserviert. Im CP-Bereich kann der Zugriff sowohl per HCCA, als auch per EDCA oder dem herkömmlichen DCF erfolgen.

Das Senden von Daten einer QSTA erfolgt auch beim EDCA durch die Zuweisung von Transmission-Opportunities (TXOPs). Ein TXOP ist durch eine Startzeit und eine Sendedauer definiert. Hat sich eine Station während einer Wettbewerbsphase einen TXOP gesichert, so spricht man von einem EDCA-TXOP. Wurde der TXOP einer QSTA durch einen zentralen Hybrid-Coordinator (HC) zugeteilt, so bezeichnet man diesen als HCCA-TXOP. Durch die HCF ergeben sich neue Regeln für die Bestätigung von Paketen (ACK). Bisher musste jedes an den Empfänger direkt adressierte Datenpaket (Unicast) umgehend per ACK bestätigt werden. Nun ist es zusätzlich möglich, dass bestimmte Pakete gar nicht mehr bestätigt werden müssen oder mehrere aufeinander folgende Pakete zusammen mit einem sogenannten Block-ACK bestätigt werden.

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. Der Unterschied ist, dass beim EDCA verschiedene Prioritäten unterschieden werden. Von dieser Priorität hängen die Backoff-Zeit und die Contention-Window-Zeit ab. Damit bestimmt die Priorität eines Verkehrsstroms, wie lange die Station warten muss, bevor sie auf das Medium zugreifen darf. Entsprechend dem 802.11e-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-Categories (ACs) gemappt. Die höchste Priorität besitzt die Verkehrsklasse AC_VO und die niedrigste Priorität ist der Verkehrsklasse AC_BK zugeordnet. Pakete, die nicht entsprechend dem 802.11e-Standard gekennzeichnet sind, werden mit der User-Priority 0 (default) betrachtet und in die AC_BE eingeordnet. Jede der vier Verkehrsklassen korrespondiert mit einer von vier Warteschlangen. Zu jeder Warteschlange existiert eine eigene EDCA-Einheit. Diese entscheidet in Abhängigkeit von 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:

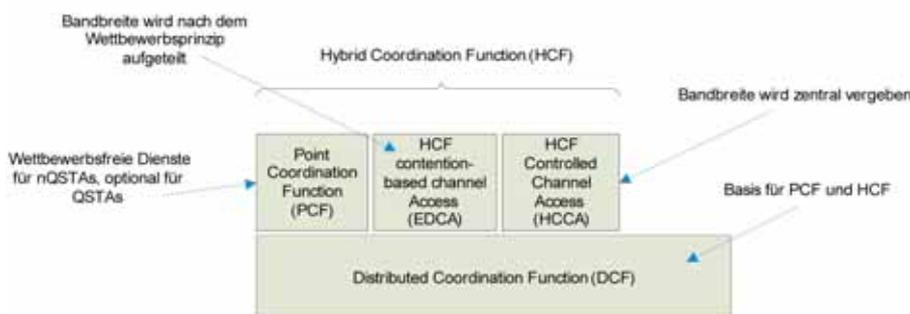
- ◆ Arbitration-Interframe-Space (AIFS) – Die Dauer, die bei erkanntem freiem Übertragungsmedium mindestens gewartet werden muss, bevor gesendet werden darf.
- ◆ Contention-Window (CW) – Ein Intervall, begrenzt durch CWmin und CWmax, das für den Backoff-Vorgang benutzt wird.
- ◆ TXOP-Limit – zur Spezifizierung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

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.

CW-Priorisierung

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.



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

Im Folgenden soll der Ablauf des Sendevorgangs an einem Beispiel verdeutlicht werden. Sobald das Medium nicht mehr belegt ist, wird für die Dauer des AIFS[AC_VO] gewartet. Nach dem Ablauf der Mindestwartezeit beginnt der Contention-Window-Bereich. Dazu wird ein CW-Wert bestimmt, der zwischen dem für die Verkehrsklasse spezifischen CWmin und CWmax liegt. Zu Beginn entspricht CW dem CWmin und wird bei Auftreten von Kollisionen schrittweise bis zu CWmax erhöht. Aus dem Bereich (0, CW) wird daraufhin nach dem Zufallsprinzip ein Wert B bestimmt, welcher dann als Wartezeit genutzt wird. Für jeden Timeslot, in dem das Medium unbelegt ist, wird B um eins erniedrigt. Die Dauer des Timeslots ist wieder abhängig vom eingesetzten Übertragungsverfahren, also der physikalischen Schicht. Sobald B auf null heruntergezählt wurde, kann das Paket gesendet werden. Sollte es dabei zu einer Kollision kommen und das ACK ausbleiben, wird ein neuer CWi+1 berechnet und der Vorgang wiederholt.

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.

Die Contention-Free-Period ist ausschließlich für den Zugriff mittels HCCA reserviert. Die Contention-Period kann von WLAN-Stationen genutzt werden, die nach dem EDCA-Mechanismus oder auch nach dem herkömmlichen DCF-Verfahren arbeiten. In dieser Phase kann der Zugriff zusätzlich durch HCCA erfolgen. Der Zugriff in diesen Phasen erfolgt durch HCCA. Es wird ersichtlich, dass diese CAPs sowohl in der CFP als auch der CP auftreten können. Dass

der HC jederzeit vorrangigen Zugang zum Medium hat, wird dadurch gewährleistet, dass dieser vor dem Mediengriff eine kürzere Zeit (PIFS) wartet als WLAN-Stationen, welche nach dem EDCA-Verfahren oder dem DCF-Verfahren arbeiten.

Der Zugriff des HC auf das Medium während einer Contention-Period ist notwendig, um QSTAs Dienste zu ermöglichen, die bestimmte Anforderungen an die Übertragung der Daten haben. Die Parameter (Traffic-Specification, TSPEC) einer Verbindung (Traffic-Stream, TS) handelt die QSTA vor dem Aufbau einer Verbindung mit dem HC aus. Dabei muss die QSTA nicht nur Ressourcen für die Pakete anfordern, die sie selbst verschicken will, sondern auch die berücksichtigen, die vom HC in Form von Daten oder beispielsweise ACKs zurückkommen.

Durch die TSPEC kann die QSTA zum Beispiel eine feste oder variable Paketgröße angeben oder die minimale, durchschnittliche und maximale Datenrate ohne MAC-Overhead definieren. Mit Hilfe der TSPEC kann auch ein Inactivity-Interval angegeben werden. Dieses legt fest, wie lange die QSTA auf einem TS inaktiv sein darf, bevor dieser durch den HC wieder abgebaut und dessen Ressourcen frei gegeben werden.

Ein weiteres wichtiges Feld ist das TS-Info-Feld. Es besteht selbst wieder aus einer Struktur, in der beispielsweise eine eindeutige Nummer zur Identifizierung eines Traffic-Streams (TSID) und eine Richtung (Direction) definiert wird. Eine Non-AP-QSTA kann bis zu acht TS pro Richtung (Uplink, Downlink) verwalten. Anhand einer TSID und der Richtung kann sie verschiedene TS intern auseinanderhalten. Ein HC unterstützt ebenfalls bis zu acht TS pro Richtung, allerdings pro Non-AP-QSTA. Da die verschiedenen Non-AP-QSTAs die gleichen TSIDs verwenden können, muss der HC die verschiedenen Traffic-Streams neben der TSID und der Richtung zusätzlich durch die Adresse der Non-AP-QSTAs auseinanderhalten.

Hier soll nicht auf jedes der Felder im Detail eingegangen werden. Für weitergehende Informationen zu den Bedeutungen der einzelnen Felder von TSPEC und TS-Info kann hier auf den IEEE-802.11e-Standard verwiesen werden.

Wenn der HC eine Aufforderung zum Aufbau eines Traffic-Streams bekommt, so prüft er zu-

nächst die in der TSPEC angegebenen Bedingungen der QSTA. Je nach vereinbarter Admission-Control-Policy kann der HC die TSPEC entweder akzeptieren, ablehnen oder eine alternative TSPEC vorschlagen. Ein TS-Setup wird immer durch die Station-Management-Entity (SME) einer Non-AP QSTA auf Grund einer Anfrage einer höheren Anwendung initiiert. Wie die SME über die Notwendigkeit eines Traffic-Streams entscheidet und anschließend die Anforderungen der Anwendung in Bezug auf die Verkehrscharakteristika und die QoS-Bedingungen einstuft, wird durch den IEEE 802.11e-Standard offen gelassen.

Wenn die Non-AP-QSTA-SME für die Notwendigkeit eines TS entschieden hat, so startet sie durch Senden eines MLME-ADDTS.request1 einen TS-Setup. Die MAC-Schicht der Non-AP-QSTA leitet diesen Request als sogenannten Action-Frame an die MAC-Schicht des HC weiter. Gleichzeitig wird im MAC-Layer ein Response-Timer (ADDTS-Timer) gestartet. Die MAC-Schicht des HC meldet den empfangenen Request durch eine MLME-ADDTS.indication-Nachricht an die SME des HC weiter. Diese antwortet durch eine MLME-ADDTS.response-Nachricht, die durch die MAC-Schicht des HC wieder als Action-Frame an die Non-AP-QSTA weitergeleitet wird.

Kommt die Response-Nachricht vor Ablauf des Timeouts, so stoppt die Non-AP-QSTA den Timer. Anschließend sendet der MAC-Layer eine MLME-ADDTS.confirm-Nachricht an die SME. Diese Nachricht enthält die TSPEC und einen Status. Ist der TS erfolgreich aufgebaut, so wird die Non-AP-QSTA je nach Vereinbarung regelmäßig von dem HC gepollt und hat anschließend das Recht zu senden. Die Sendezeit wird in Form von HCCA-TXOPs zugewiesen. HCCA-TXOPs haben immer eine Startzeit und eine maximale Dauer. So lange ein Traffic-Stream aktiv ist, können die Parameter bei Bedarf neu ausgehandelt werden. Dieser Vorgang muss wieder durch die Non-AP-QSTA eingeleitet werden. Wenn die QSTA auf einem bestimmten Traffic-Stream für eine gewisse Zeit inaktiv war, das heißt keine Pakete versendet oder empfangen hat, so wird die Verbindung durch den HC beendet und alle für den TS angeforderten Ressourcen frei gegeben. Neben dem Timeout gibt es noch weitere Gründe, die zum Abbau eines TS führen.

Beim Abbau eines Traffic-Streams initiiert die Non-AP-QSTA den Abbau, zum Beispiel weil die dazugehörige Verbindung einer höheren Anwendung beendet wurde. Durch das Senden eines MLME-DELTS.request initiiert die Non-AP-QSTA das Löschen eines Traffic-Streams. Der MAC-Layer der Station sendet daraufhin einen entsprechenden Action-Frame an den HC. Dieser gibt die Aufforderung zum Löschen an die SME des HC weiter. Eine Antwort mittels eines Response-Paketes seitens des HC erfolgt nicht.

M. Sc. Susanne Goldammer, M. Sc. Roman Schmidt, Dipl.-Ing. Thomas Rottenau Prof. Dr. Bernhard G. Stütz, (dg)