

4 Der 802.11 MAC Layer

Nachdem im vorherigen Kapitel der Physical Layer ausführlich behandelt wurde, bewegen wir uns jetzt eine Ebene höher und betrachten die Funktionen des MAC Layers. Hierbei wird detailliert auf die einzelnen Funktionen eingegangen und deren Parameter beschrieben. Aktuelle Anpassungen des Grundstandards nach 802.11g, 802.11h, 802.11d und 802.11e werden hierbei ebenfalls berücksichtigt. Die in diesem Kapitel dargestellten Betrachtungen bieten eine solide Grundlage für das Verständnis über die Funktionsweise eines 802.11-WLANs. Die gewonnenen Erkenntnisse können für Optimierung des WLAN-Betriebes oder eine eventuelle Fehlersuche herangezogen werden.

4.1 Problematik eines Funkmediums

Allgemein ist bei den Netzwerktechnologien der MAC für die Framebildung und für die Bereitstellung eines geeigneten Zugriffsverfahrens verantwortlich. Da das Funkmedium ein gemeinsames Medium (Shared Media) darstellt, müssen beim Medienzugriff gewisse Regeln eingehalten werden, damit eine fehlerfreie Datenübertragung überhaupt möglich ist. Sollten zwei oder mehrere Stationen zeitgleich auf das Übertragungsmedium zugreifen und ihre Daten übertragen, so kommt es zu einer Überlagerung der einzelnen Funksignale. Daraus resultiert, dass die Signale der verschiedenen Stationen von den jeweiligen Empfängern nicht mehr ausgewertet werden können und somit die übertragenen Daten unbrauchbar werden. In diesem Fall spricht man von einer Kollision. Daten, die von einer Kollision betroffen sind, müssen erneut übertragen werden, damit diese die Zielstation erreichen können. Da während einer Zeiteinheit immer nur eine Station zwecks Datenübertragung auf das Übertragungsmedium zugreifen kann, können erneut ausgesendete Daten auf allen Stationen zu einer Verzögerung führen. Grundsätzlich gilt, dass kollisionsbehaftete

MAC Layer

Daten die Performance nachhaltig beeinflussen. Demnach ist es auch das oberste Ziel, für eine fehlerfreie Datenübertragung zu sorgen und Kollisionen weitgehend zu vermeiden. Dieses Ziel wird innerhalb eines WLANs über ein spezielles Zugriffsverfahren sichergestellt, das auf die physikalischen Eigenschaften des Übertragungsmediums Funk angepasst ist.

Störeinflüsse

Zudem muss man auch noch die generellen Unterschiede zwischen einem leitungsgebundenen und einem drahtlosen LAN berücksichtigen. In einem leitungsgebundenen LAN kann man eine relativ sichere Datenübertragung voraussetzen, d.h. ein Sender kann davon ausgehen, dass seine Daten beim Empfänger eintreffen, falls er die Daten fehlerfrei aussenden konnte. Betrachtet man hingegen ein drahtloses LAN, so muss man berücksichtigen, dass ein Funkmedium weitaus größeren Störeinflüssen ausgesetzt ist. Störquellen können hierbei von benachbarten Systemen ausgehen oder von WLAN-fremden Einrichtungen, die im selben Frequenzband arbeiten. Praktische Beispiele hierfür sind im ISM-Band Bluetooth oder Mikrowellen, die ebenfalls im 2,4-GHz-Band arbeiten. Wegen des höheren Störpotenzials ist es notwendig, geeignete Fehlererkennungsmechanismen zu implementieren, die bereits auf der MAC-Ebene Fehler erkennen und zudem beseitigen können. Dafür hat man beim WLAN-MAC ein Bestätigungsverfahren eingeführt, wie man es sonst nur bei den höheren Layern kennt. Über das Bestätigungsverfahren (Acknowledgement) werden dem Sender vom Empfänger die Frames bestätigt, die beim Empfänger fehlerfrei eingetroffen sind. Bleibt beim Sender die Empfangsbestätigung aus, so werden die Daten nach einer kurzen Verzögerungszeit erneut ausgesendet (Retransmissions), um sicherzustellen, dass die Daten beim Empfänger eintreffen können. In der zeitlichen Betrachtung kann man zudem festhalten, dass bei der Datenübertragung die Wahrscheinlichkeit einer Störung mit der Länge der Daten steigt. Je länger die Dateneinheiten sind, desto größer ist die benötigte Dauer für die Übertragung der Daten und umso höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Daten durch eine Störquelle nachhaltig beeinflusst werden können. Der WLAN-MAC sieht deshalb als Schutzmechanismus eine Fragmentierung vor, über die bei Bedarf die längeren Dateneinheiten für die Übertragung in kleinere Einheiten unterteilt werden können. Hierdurch kann gerade in Grenzsituationen die Wahrscheinlichkeit einer nachhaltigen Beeinflussung der übertragenen Daten drastisch gesenkt werden.

Sie sehen schon an diesen Beispielen, dass an den WLAN-MAC gesteigerte Anforderungen gestellt werden, die über geeignete Mechanismen wie Acknowledgement, Retransmission oder Fragmentierung

gemeistert werden müssen. Die folgenden Abschnitte sollen einen detaillierten Einblick in die Umsetzung dieser Schutzmechanismen und des Zugriffsverfahrens bieten.

4.2 Distribution Coordination Function

Innerhalb des 802.11-MAC unterscheidet man zwischen zwei grundsätzlichen Methoden. Zum einen existiert als Basiszugriffsmethode ein dezentralistischer Ansatz, auch Distribution Coordination Function (DCF) genannt, zum anderen eine zentralistische Methode, die Point Coordination Function (PCF). Bei der zentralistischen PCF übernimmt ein sogenannter Point Coordinator die Kontrolle des Medienzugriffes, wobei diese Funktion vom Access Point wahrgenommen wird und somit PCF grundsätzlich nur im Infrastruktur-Netzwerk Anwendung finden kann. Die Basiszugriffsmethode DCF kann hingegen in einem Ad-hoc-Netzwerk oder Infrastruktur-Netzwerk zum Einsatz kommen.

*Distribution Coordination
Function*

Da bei der Basiszugriffsmethode DCF mehrere Stationen um den Medienzugriff in Konkurrenz stehen und Kollisionen nicht ausgeschlossen werden können, bezeichnet man den Zeitraum, der über die Basiszugriffsmethode verwaltet wird, als Contention Period (CP). Die zentralistische Verwaltung des Medienzugriffes PCF stellt hingegen eine Methode bereit, in der es geregelte Verhältnisse für den Medienzugriff gibt, die Stationen untereinander nicht in Konkurrenz stehen und Kollisionen vermieden werden. Man spricht deshalb von der Contention Free Period (CFP) als der Zeitspanne, in der das Medium zentral verwaltet wird. CFP ist für zeitkritische Anwendungen vorgesehen, bei denen der Medienzugriff innerhalb einer bestimmten Zeit gewährleistet sein muss, z.B. für die Übertragung von Sprachdaten. Die Implementierung von CFP ist laut Standard optional und baut auf der Funktion des Zugriffsverfahrens auf.

Contention Period

4.2.1 CSMA/CA

In Anlehnung an das leitungsgebundene Ethernet (IEEE 802.3), das ebenfalls auf einem dezentralistischen Ansatz beruht, ist bei der Basiszugriffsmethode jede Station für den Medienzugriff selbst verantwortlich. Möchte eine Station Daten übertragen, so prüft diese zuerst, ob das Übertragungsmedium frei ist und greift nur darauf zu, falls das Medium nicht belegt ist. Die Statusüberprüfung des Übertragungsmediums ist bereits Teil des Zugriffsverfahrens. Jedoch kommt bei WLAN nicht das bekannte CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) zum Einsatz, sondern eine etwas abgewandelte

CSMA/CA

Form dieses Zugriffsverfahrens, das als CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) bezeichnet wird. Vergleicht man die beiden Bezeichnungen, so unterscheiden sich diese lediglich im letzten Begriffsteil Collision Detection und Collision Avoidance.

Collision Detection

Beim leitungsgebundenen Ethernet findet während der Datenausendung eine Kollisionserkennung (Collision Detection) statt. Sollte eine Kollision über die Kollisionserkennung erkannt werden, so wird der Sendevorgang abgebrochen und die Station wird zu einem späteren Zeitpunkt versuchen, die Daten erneut auszusenden. Die Kollisionserkennung beruht in der Ursprungsversion von Ethernet darauf, dass während der Datenausendung das übertragene Signal vom Empfänger des PHYs überwacht wird. Sollte eine Abweichung zwischen dem gesendeten und dem empfangenen Signal erkannt werden, so muss eine Überlagerung von unterschiedlichen Signalen aufgetreten sein, was von der sendenden Station als Kollision gewertet wird. Demnach muss für die Kollisionserkennung eine Station gleichzeitig Daten senden und empfangen können, beziehungsweise besteht während der Datenausendung keine Möglichkeit, Daten einer anderen Station zu empfangen, da der Empfangskanal für die Kollisionserkennung vorbehalten ist. Da unter der Berücksichtigung dieser Restriktionen innerhalb eines Betrachtungszeitraums nur Daten gesendet oder empfangen werden können, spricht man in diesem Fall auch vom Halbduplexbetrieb.

Collision Avoidance

Vergleicht man nun die physikalische Ebene von Ethernet mit der eines WLANs, so besteht beim WLAN keine Möglichkeit, gleichzeitig Daten zu senden und zu empfangen. Somit sind beim WLAN die Voraussetzungen für die Implementierung einer herkömmlichen Kollisionserkennung grundsätzlich nicht gegeben, da der Hardwareaufwand für eine vollständig getrennte Sende-/Empfangseinheit nicht gerechtfertigt wäre und somit praktisch nicht umsetzbar ist. Zudem lassen sich Kollisionen auf dem drahtlosen Medium nicht von anderen Störungen unterscheiden. Deshalb hat man bei der Entwicklung der 802.11-WLAN-Technologie anstelle einer Kollisionserkennung auf eine Kollisionsvermeidung (Collision Avoidance, CA) gesetzt. Dieses Verfahren soll die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Kollision möglichst klein halten.

4.2.2 Virtuelle Carrier-Sense-Funktion

NAV-Wert

Bei Ethernet und 802.11-WLAN ist die physikalische Carrier-Sense-Funktion, die vom PHY bereitgestellt wird und über die der Status des Übertragungsmediums erkannt werden kann, vom Prinzip her gleich.

Die Carrier-Sense-Funktion meldet dem MAC entweder ein belegtes oder ein nicht belegtes Übertragungsmedium. Falls Daten zur Aussendung anstehen, kann der MAC anhand dieser Statusinformation entscheiden, ob er die Datenaussendung initiieren kann oder nicht. Beim 802.11-WLAN gibt es abweichend zum Ethernet noch eine sogenannte virtuelle Carrier-Sense-Funktion, die vom MAC selbst bereitgestellt wird. Die virtuelle Carrier-Sense-Funktion basiert auf einem Timer, der als Network Allocation Vector (NAV) bezeichnet wird. Über NAV erfolgt eine Medienreservierung, wobei bestimmt wird, wie lange das Medium voraussichtlich für die Übertragung der Daten belegt sein wird. Jede Station verwaltet den NAV-Wert. Erst wenn der NAV-Wert abgelaufen ist und die physikalische Carrier-Sense-Funktion ein unbelegtes Medium meldet, versucht die Station gegebenenfalls auf das Medium zuzugreifen, um Daten auszusenden, Kollisionen werden somit vermieden. Demnach trägt die virtuelle Carrier-Sense-Funktion zur Vermeidung von Kollisionen bei (Collision Avoidance).

Der NAV-Wert wird auf jeder Station verwaltet und über eine Angabe im Frame-Header, den Inhalt des Duration/ID-Feldes, gebildet. In jedem ausgesendeten Frame wird über das Duration/ID-Feld angegeben, wie lange das Medium für die vollständige Übertragung der Daten belegt sein muss. Da alle Stationen diese Information empfangen, können sie ständig ihren NAV-Wert aktualisieren und die sendende Station kann auf diese Weise das Medium für die benötigte Zeit der Datenübertragung reservieren. Erst wenn der NAV-Wert abgelaufen ist, werden andere Stationen versuchen, auf das Medium zuzugreifen. Der NAV-Wert wird bei jedem empfangenen Frame aktualisiert, wenn das Frame ein gültiges Format hat und der NAV-Wert des Duration/ID-Feldes größer ist als der aktuelle NAV-Wert einer Station. Dies gilt allerdings nur, wenn das Frame nicht für die Station selbst adressiert war. Mit der virtuellen Carrier-Sense-Funktion, die vom NAV-Wert abgeleitet wird, soll sichergestellt werden, dass laufende Operationen nicht durch andere WLAN-Stationen unterbrochen werden. Eine Vielzahl von Operationen basieren auf dem Austausch mehrerer Frames, die wechselseitig zwischen zwei WLAN-Stationen ausgetauscht werden. Zwischen den einzelnen Frames einer laufenden Operation treten Sendepausen auf, währenddessen das Übertragungsmedium kurzzeitig nicht belegt ist. Würde sich das WLAN-Zugriffsverfahren ausschließlich auf die physikalische Carrier-Sense-Funktion stützen, bestände die Gefahr, dass andere WLAN-Stationen während den Sendepausen auf das Übertragungsmedium zugreifen, um ihre Frames zu übertragen.

Duration/ID-Feld

4.2.3 Acknowledgement

Acknowledgement Da jedoch Kollisionen trotz Kollisionsvermeidungsverfahren nicht vollständig ausgeschlossen werden können und andere Störeinflüsse die Datenübertragung nachhaltig beeinflussen können, wird der erfolgreiche Empfang der Daten dem Sender vom Empfänger durch eine Empfangsbestätigung (Acknowledgement, kurz ACK) mitgeteilt. Bleibt die Empfangsbestätigung aus, so werden die Daten vom Sender nach einer bestimmten Wartezeit erneut ausgesendet. Die Wartezeit wird über einen Backoff-Algorithmus gebildet, wobei die Wartezeit über eine Zufallszeit bestimmt wird und bei jedem erneuten Versuch bis zu einer bestimmten Grenze ansteigt (siehe Abschnitt 4.2.4). Das Acknowledgement basiert auf einem 14 Byte langen Frame, in dem kein Datenteil enthalten ist und der nur aus einem verkürzten Header besteht. Bei der Bestätigung muss man jedoch zwischen den unterschiedlichen Frametypen unterscheiden. Es werden nur Frames durch ein Acknowledgement bestätigt, die an eine bestimmte Station adressiert sind, wobei man hierbei von den sogenannten Unicast-Frames spricht. Frames, die an alle Stationen gerichtet sind, die sogenannten Broadcast-Frames, werden nicht bestätigt. Dasselbe gilt für Frames, die an eine bestimmte Gruppe von Stationen adressiert sind, die sogenannten Multicast-Frames. Diese Differenzierung beim Acknowledgement-Verfahren lässt sich damit begründen, dass es bei einer Frameaussendung an mehrere Empfänger nicht sinnvoll ist, wenn jeder Empfänger den Empfang bestätigt. Zudem kennt der Sender gar nicht alle potenziellen Empfänger und kann somit nicht wissen, mit welchen Empfangsbestätigungen er zu rechnen hat. Um welchen Frametyp es sich handelt, können die Stationen anhand der Adresse erkennen (siehe Abschnitt 4.5.1).

4.2.4 Interframe Space

Interframe Space Nachdem eine Station ein Unicast-Frame ausgesendet hat, erwartet sie innerhalb eines bestimmten Zeitraums eine Empfangsbestätigung. Damit die Empfangsbestätigung vom Empfänger ausgesendet werden kann, ohne dass eine andere Station bereits das Medium für die Übertragung ihrer Daten belegt hat, haben die Empfangsbestätigungen bei dem Medienzugriff eine höhere Priorität. Die Sicherstellung der Prioritäten wird über verschiedene Abstände zwischen zwei aufeinander folgenden Frames realisiert, die als Interframe Space (IFS) bezeichnet werden. Über unterschiedliche IFS erhalten die verschiedenen Frametypen unterschiedliche Prioritäten beim Medienzugriff. Die Logik, die hierbei verfolgt wird, ist vom Grundsatz her sehr einfach. Stationen,