# 6. Foliensatz Computernetze

Prof. Dr. Christian Baun

Frankfurt University of Applied Sciences (1971-2014: Fachhochschule Frankfurt am Main) Fachbereich Informatik und Ingenieurwissenschaften christianbaun@fb2.fra-uas.de

### Sicherungsschicht

- Aufgaben der Sicherungsschicht (Data Link Layer):
  - Sender: Pakete der Vermittlungsschicht in Rahmen (Frames) verpacken
  - Empfänger: Rahmen im Bitstrom der Bitübertragungsschicht erkennen
  - Korrekte Übertragung der Rahmen innerhalb eines physischen Netzes gewährleisten durch Fehlererkennung mit Prüfsummen
  - Physische Adressen (MAC-Adressen) bereitstellen
  - Zugriff auf das Übertragungsmedium regeln

| 0                     | 0 0                        |     | 0                      |   |  |
|-----------------------|----------------------------|-----|------------------------|---|--|
| TCP/IP-Referenzmodell | Hybrides Referenzmodell    |     | OSI-Referenzmodell     |   |  |
|                       |                            | 111 | Anwendungsschicht      |   |  |
|                       |                            | 100 | Darstellungsschicht    | ſ |  |
| Anwendungsschicht     | <br>Anwendungsschicht      |     | Sitzungsschicht        | v |  |
| Transportschicht      | Transportschicht           |     | Transportschicht       | c |  |
| Internetschicht       | Vermittlungsschicht        |     | Vermittlungsschicht    | r |  |
| Netzzugangsschicht    | <br>Sicherungsschicht      | T   | Sicherungsschicht      | C |  |
|                       | <br>Bitübertragungsschicht | T   | Bitübertragungsschicht |   |  |
|                       |                            |     |                        |   |  |

Übungsblatt 3 wiederholt die für die Lernziele relevanten Inhalte dieses Foliensatzes

- Geräte: Bridge, Layer-2-Switch (Multiport-Bridge), Modem
- Protokolle: Ethernet, Token Ring, WLAN, Bluetooth, PPP

### Lernziele dieses Foliensatzes

- Sicherungsschicht (Teil 3)
  - Medienzugriffsverfahren
    - Medienzugriffsverfahren bei Ethernet
    - Medienzugriffsverfahren bei WLAN
  - Adressauflösung mit ARP

### Medienzugriffsverfahren

- Bei Ethernet 10BASE2/5, WLAN und PowerLAN (Powerline Communication) verwenden die Netzwerkgeräte bzw. Stationen ein gemeinsames Übertragungsmedium
  - Um den Medienzugriff zu koordinieren und Kollisionen zu vermeiden, sind Medienzugriffsverfahren nötig
    - Ethernet verwendet das Medienzugriffsverfahren CSMA/CD
    - WLAN und PowerLAN verwenden das Medienzugriffsverfahren CSMA/CA
- Bluetooth wird hier nicht behandelt, da sich Bluetooth-Geräte in Piconetzen organisieren
  - In jedem Piconetz koordiniert ein Master den Medienzugriff

# Medienzugriffsverfahren CSMA/CD

- Anders als bei Token Ring sind bei Ethernet die Wartezeit und übertragbare Datenmenge nicht eindeutig vorhersagbar
- Alle Teilnehmer stehen in Bezug auf den Medienzugriff im direktem
   Wettbewerb
- Wartezeit und Datenmenge hängen ab von...
  - der Anzahl der Teilnehmer und
  - der Datenmenge, die die einzelnen Teilnehmer versenden
- Ethernet verwendet das Medienzugriffsverfahren Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection (CSMA/CD)

# Bedeutung von CSMA/CD

### Carrier Sense (CS) heißt:

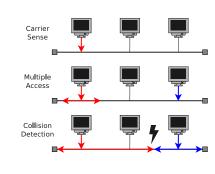
- Jedes Netzwerkgerät hört vor dem Senden den Kanal ab, und sendet nur dann, wenn der Kanal frei ist
- Die Netzwerkgeräte können also zwischen einer freien und einer besetzten Verbindungsleitung unterscheiden

### Multiple Access (MA) heißt:

 Alle Netzwerkgeräte greifen auf dasselbe Übertragungsmedium konkurrierend zu

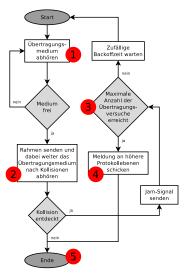
#### Collision Detection (CD) heißt:

 Jedes Netzwerkgerät hört auch während des Sendens den Kanal ab, um auftretende Kollisionen zu entdecken und wenn nötig eine Fehlerbehandlung durchzuführen



## Arbeitsweise von CSMA/CD (1/2)

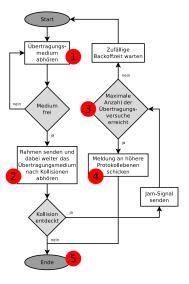
Bildquelle: Wikipedia



- Will ein Netzwerkgerät via Ethernet Datenrahmen übertragen, hält es folgenden Ablauf ein
- Übertragungsmedium überwachen
  - Übertragungsmedium frei ⇒ Schritt 2
  - Übertragungsmedium belegt ⇒ Schritt 3
- Rahmen senden und Übertragungsmedium weiter abhören
  - Erfolgreiche Übertragung
    - Erfolgsmeldung an höhere Netzwerkschichten melden  $\Longrightarrow$  Schritt 5
  - Kollision wird entdeckt
    - Sendevorgang abbrechen und das 48 Bits lange Störsignal (Jam-Signal) senden, um die Kollision bekannt zu geben ⇒ Schritt 3

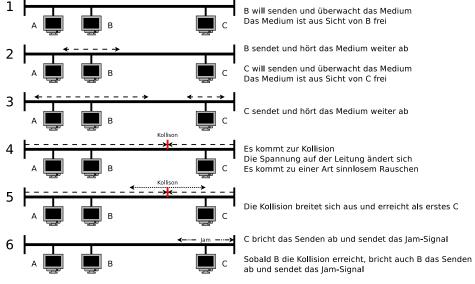
## Arbeitsweise von CSMA/CD (2/2)

Bildquelle: Wikipedia



- Übertragungsmedium belegt. Anzahl der Übertragungsversuche prüfen:
  - Maximum nicht erreicht
    - Zufällige Zeit abwarten  $\Longrightarrow$  Schritt 1
    - Die zufällige Zeit wird mit dem Backoff-Verfahren berechnet
  - Maximum erreicht ⇒ Schritt 4
- Fehler
  - Maximale Anzahl der Übertragungsversuchen erreicht
  - Fehler an höhere Netzwerkschichten melden ⇒ Schritt 5
- Übertragungsmodus verlassen

# Beispiel zu CSMA/CD



### Netzwerkausdehnung und Kollisionserkennung

- Eine Kollision muss vom Sender erkannt werden
  - Es ist wichtig, dass ein Rahmen noch nicht fertig gesendet ist, wenn es zur Kollision kommt
    - Sonst ist das sendende Netzwerkgerät vielleicht schon mit dem Aussenden des Rahmens fertig und nimmt eine erfolgreiche Übertragung an
- Jeder Rahmen muss eine gewisse **Mindestlänge** haben
  - Diese muss so dimensioniert sein, dass die Übertragungsdauer für einen Rahmen minimaler Länge, die maximale RTT (Round Trip Time) nicht unterschritten wird
    - RTT ist die Zeit, die ein Rahmen benötigt, um vom einen Ende des Netzes zum weitest entfernten anderen Ende des Netzes und wieder zurück zu gelangen
  - So ist sichergestellt, dass sich eine Kollision noch bis zum Sender ausbreiten kann, ohne dass dieser mit dem Senden fertig ist
    - Erkennt der Sender eine Kollision, weiß er, dass sein Rahmen nicht richtig beim Empfänger angekommen ist, und kann es später erneut versuchen

 $\label{thermodel} \mbox{Ethernet definiert eine maximale Netzwerkausdehnung und eine minimale Rahmenlänge}$ 

# Minimale Rahmenlänge und Kollisionserkennung (Beispiel)

- Für Ethernet ist eine maximal zulässige Netzwerkausdehnung und eine minimale Rahmenlänge festgelegt
- Um die minimale Rahmenlänge zu berechnen, bei der die Kollisionserkennung noch möglich ist, gilt:

$$P=2*U*rac{D}{V}$$
 $P=0$  Minimale Rahmenlänge in Bits  $U=0$  Detenübertragungsgeschwindigkeit des Übertragungsmediums in Bits pro Sekunde  $D=0$  Länge des Netzes in Metern  $V=0$  Signalgeschwindigkeit auf dem Übertragungsmedium in Metern pro Sekunde

- Rechenbeispiel für 10BASE5 mit 10 MBit/s und Koaxialkabeln:
  - $U = 10 \, \text{MBit/s} = 10.000.000 \, \text{Bits/s}$
  - D = 2.500 m (das ist die Maximallänge für 10BASE5)
  - ullet V = Lichtgeschwindigkeit \* Ausbreitungsfaktor
    - Lichtgeschwindigkeit = 299.792.458 m/s
    - Ausbreitungsfaktor = 0,77 für Koaxialkabel
    - $V = 299.792.458 \,\mathrm{m/s} * 0.77 \approx 231.000.000 \,\mathrm{m/s}$

$$P=2*10*10^6\,\mathrm{Bits/s}*rac{2.500\,\mathrm{m}}{231*10^6\,\mathrm{m/s}}pprox$$
 217 Bits  $pprox$  28 Bytes

 Schlussfolgerung: Die minimale Rahmenlänge von 64 Bytes bei Ethernet ist mehr als ausreichend

### Ausbreitungsfaktor

- Der Ausbreitungsfaktor, der auch Verkürzungsfaktor heißt, hängt vom Übertragungsmedium ab und ist:
  - 1 für Vakuum
  - 0,64 für Twisted-Pair-Kabel Cat-5e
  - 0,66 für Koaxialkabel RG-58 ( $\Longrightarrow$  Ethernet 10BASE2)
  - 0,67 für Glasfaser
  - 0,77 für Koaxialkabel RG-8 (⇒ Ethernet 10BASE5)
- Beschreibt die Signalgeschwindigkeit in einem Übertragungsmedium in Relation zur Lichtgeschwindigkeit

## Netzwerkausdehnung und Kollisionserkennung (Beispiel)

 Um die maximale Ausdehnung zwischen zwei Netzwerkgeräten zu berechnen, bei der die Kollisionserkennung noch funktioniert, gilt:

$$2 * S_{max} = V * t_{Rahmen}$$

$$S_{max}=$$
 Maximale Ausdehnung mit Kollisionserkennung  $V=$  Signalgeschwindigkeit auf dem Übertragungsmedium in Metern pro Sekunde  $t_{Rahmen}=$  Übertragungsdauer eines Rahmens in Sekunden

- Rechenbeispiel für 10BASE5 mit 10 MBit/s und Koaxialkabeln:
  - $V = 231.000.000 \,\mathrm{m/s} = 231 * 10^6 \,\mathrm{m/s}$
  - Übertragungsdauer  $t_{Rahmen} =$  Übertragungsdauer für ein Bit multipliziert mit der Anzahl der Bits in einem Rahmen ( $\Longrightarrow$  512 Bits = 64 Byte)
    - Die Übertragungsdauer für ein Bit bei 10 MBit/s ist 0,1 Mikrosekunden
    - Ein Rahmen mit der kleinsten erlaubten Rahmenlänge vom 64 Byte benötigt somit 51,  $2\mu$ s, um vollständig gesendet zu werden
  - ullet Ein 51,2 $\mu$ s langer Rahmen legt im Koaxialkabel folgende Strecke zurück:

$$231*10^6 \frac{m}{s}*51, 2*10^{-6} \, s = 11.827, 20 \, m = 11,83 \, km$$

 Schlussfolgerung: Bei einer maximal erlaubten Ausdehnung von 2,5 km ist Kollisionserkennung möglich

### CSMA/CD heute

- Das Medienzugriffsverfahren CSMA/CD ist nur bei Ethernet mit der Bus-Topologie zwingend nötig
  - Grund: Dort sind alle Netzwerkgeräte direkt mit einem gemeinsamen Medium verbunden
- Fast alle auf Ethernet basierenden Netze sind heute vollständig geswitcht und darum frei von Kollisionen

## Medienzugriffsverfahren CSMA/CA bei Wireless LAN

- CSMA/CD versagt bei Funknetzen
- Bei CSMA/CD stellt der Sender auftretende Kollisionen fest
  - Bei kabelgebundenen Netzen mit gemeinsamem Übertragungsmedium empfängt jeder Teilnehmer die Übertragungen aller anderer Teilnehmer
    - Darum bekommt auch jeder Teilnehmer jede Kollision mit
  - Bei Funknetzen wie WLAN ist das nicht immer der Fall
    - Aus diesem Grund will man das Entstehen von Kollisionen mit dem Medienzugriffsverfahren Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance (CSMA/CA) minimieren
- Spezielle Eigenschaften des Übertragungsmediums führen bei Funknetzen zu unerkannten Kollisionen beim Empfänger
  - Hidden-Terminal-Problem
  - Fading

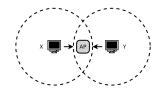
Auch PowerLAN bzw. Powerline verwendet CSMA/CA als Medienzugriffsverfahren

Quelle: Analysis of CSMA/CA used in Power Line Communication. Martin Koutny, Petr Mlynek, Jiri Misurec. IEEE (2013)

# Spezielle Eigenschaften des Übertragungsmediums

- Hidden-Terminal-Problem (verursacht durch unsichtbare/versteckte Endgeräte)
  - X und Y senden an die Basisstation (Access Point)
  - Wegen Hindernissen können die Stationen X und Y ihre Übertragungen gegenseitig nicht erkennen, obwohl sie an der Basisstation interferieren
- Hindernis
  Y AP

- Fading (abnehmende Signalstärke)
  - X und Y senden an die Basisstation
  - Die elektromagnetischen Wellen werden durch Hindernisse und im freien Raum allmählich abgeschwächt
  - Durch die Positionen der Stationen X und Y zueinander sind deren Signale zu schwach, als dass sie ihre Übertragungen gegenseitig wahrnehmen können



Quelle: Computernetzwerke, James F. Kurose, Keith W. Ross, Pearson (2008)

### WLAN (802.11) kennt drei verschiedene Medienzugriffsverfahren

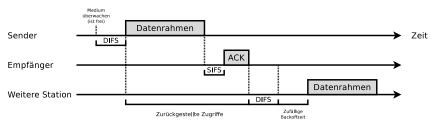
- O CSMA/CA
  - Vorgehensweise: "erst hören, dann sprechen" (listen before talk)
  - Kollisionsvermeidung durch zufällige Backoffzeit
  - Mindestabstand zwischen aufeinanderfolgenden Rahmen
  - Empfangsbestätigung durch ACK (nicht bei Broadcast)
  - Standardmäßiges Medienzugriffsverfahren bei WLAN und bei allen WLAN-Geräten implementiert
- **2** CSMA/CA RTS/CTS (Request To Send/Clear To Send)
  - Vermeidung des Problems versteckter Endgeräte
  - Optional und meistens implementiert
- CSMA/CA PCF (Point Coordination Function)
  - Access Point steuert den Medienzugriff zentral
  - Optional und selten implementiert

Quellen: Vorlesungsfolien von Prof. Dr. Michael Massoth und Wikipedia

# Übertragung von Rahmen

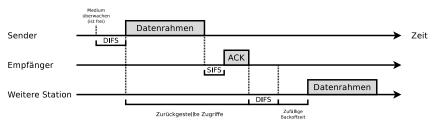
- Erkennt bei CSMA/CD (Ethernet) ein sendender Teilnehmer eine Kollision, bricht er das Senden des Rahmens ab
- WLAN verwendet aber keine Kollisionserkennung, sondern mit CSMA/CA eine Kollisionsvermeidung (eigentlich ist es nur eine Kollisionsminimierung)
  - Hat eine Station mit dem Senden eines Rahmens begonnen, überträgt sie den vollständigen Rahmen in jedem Fall
    - Hat eine Station einmal mit dem Senden begonnen gibt kein Zurück
  - Der Sender muss darum erkennen können, wenn ein Rahmen nicht korrekt beim Empfänger angekommen ist
    - Lösung: Der Empfänger bestätigt den korrekten Empfang des Rahmens mit ACK

# Ablauf von CSMA/CA – 1/5



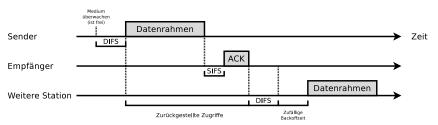
- ullet Zuerst horcht der Sender am Übertragungsmedium ( $\Longrightarrow$  Carrier Sense)
- Das Medium muss für einen kurzen Zeitraum frei sein
  - Der Zeitraum heißt **Distributed Interframe Spacing (DIFS)**  $\approx 50 \mu s$
- Ist das Medium einen DIFS lang frei, kann der Sender einen Rahmen aussenden

# Ablauf von CSMA/CA – 2/5



- Empfängt eine Station einen Rahmen, der die CRC-Prüfung besteht, wartet sie einen kurzen Zeitraum ab
  - Der Zeitraum heißt **Short Interframe Spacing (SIFS)**  $pprox 10 \mu s$
  - Danach sendet der Empfänger einen Bestätigungsrahmen (ACK)
- DIFS und SIFS garantieren bei CSMA/CA einen Mindestabstand zwischen aufeinanderfolgenden Rahmen

# Ablauf von CSMA/CA - 3/5



- Nach Ablauf eines weiteren DIFS mit freiem Übertragungsmedium wird eine Backoffzeit berechnet
  - Die Backoffzeit wird berechnet, indem ein zufälliger Wert zwischen minimalem und maximalem Wert des Contention Window bestimmt wird, und dieser zufällige Wert wird mit der Slot Time multipliziert
    - Nach dem Ablauf der Backoffzeit wird der Rahmen gesendet

#### Quelle: Grundkurs Computernetzwerke, Jürgen Scherff, Vieweg + Teubner (2010)

Belegt während der Backoffzeit eine andere Station das Übertragungsmedium, wird der Zähler so lange angehalten, bis das Medium mindestens ein DIFS lang wieder frei ist.

# Ablauf von CSMA/CA – 4/5

| Modulationsverfahren        | SIFS               | $DIFS^1$   | Slot Time          | Minimales CW | Maximales CW |
|-----------------------------|--------------------|------------|--------------------|--------------|--------------|
| FHSS (802.11)               | $28\mu s$          | $128\mu$ s | $50\mu \mathrm{s}$ | 15           | 1023         |
| DSSS (802.11b)              | $10\mu$ s          | $50\mu$ s  | $20\mu$ s          | 31           | 1023         |
| OFDM (802.11a/h/n/ac)       | $16\mu s$          | $34\mu s$  | $9\mu s$           | 15           | 1023         |
| OFDM (802.11g) <sup>2</sup> | $16\mu \mathrm{s}$ | $34\mu s$  | $9\mu s$           | 15           | 1023         |
| OFDM (802.11g) <sup>3</sup> | $10\mu\mathrm{s}$  | $50\mu$ s  | $20\mu \mathrm{s}$ | 15           | 1023         |
| 1 DIEC CIEC - A CL. T.      |                    |            |                    |              |              |

 $<sup>^{1}</sup>$  DIFS = SIFS + 2 \* Slot Time

- Der minimale und maximale Wert des CW sowie die Slot Time hängen vom verwendeten Modulationsverfahren ab und sind fest vorgegeben
- Die untere und obere Schranke des CW sind immer Zweierpotenzen, wobei vom Ergebnis der Wert 1 abgezogen wird
  - Verwendet ein WLAN z.B. das Modulationsverfahren OFDM ist beim. . .
    - ullet 1. Sendeversuch das CW ein Wert  $\geq$  15 und  $\leq$  31
    - 2. Sendeversuch das CW ein Wert  $\geq$  31 und  $\leq$  63
    - ullet 3. Sendeversuch das CW ein Wert  $\geq$  63 und  $\leq$  127

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Mit Unterstützung für Übertragungsraten 1-54 Mbit/s

 $<sup>^3</sup>$  Mit ausschließlicher Unterstützung für Übertragungsraten  $> 11\,\mathrm{Mbit/s}$ 

# Ablauf von CSMA/CA – 5/5

| Modulationsverfahren        | SIFS               | $DIFS^1$   | Slot Time          | Minimales CW | Maximales CW |
|-----------------------------|--------------------|------------|--------------------|--------------|--------------|
| FHSS (802.11)               | $28\mu s$          | $128\mu$ s | $50\mu \mathrm{s}$ | 15           | 1023         |
| DSSS (802.11b)              | $10\mu$ s          | $50\mu$ s  | $20\mu s$          | 31           | 1023         |
| OFDM (802.11a/h/n//ac)      | $16\mu \mathrm{s}$ | $34\mu s$  | $9\mu$ s           | 15           | 1023         |
| OFDM (802.11g) <sup>2</sup> | $16\mu \mathrm{s}$ | $34\mu s$  | $9\mu s$           | 15           | 1023         |
| OFDM (802.11g) <sup>3</sup> | $10\mu$ s          | $50\mu$ s  | $20\mu \mathrm{s}$ | 15           | 1023         |
| 1 DIEC CIEC   A . Cl-+ T    |                    |            |                    |              |              |

 $<sup>^{1}</sup>$  DIFS = SIFS + 2 \* Slot Time

- Weitere Sendeversuche lassen den Wert von CW weiter exponentiell ansteigen, bis der maximale Wert erreicht ist
- Wurde ein Rahmen durch ACK bestätigt ( perfolgreiche Übertragung), wird die untere Schranke des CW wieder auf den Wert des minimalen CW in der Tabelle zurückgesetzt

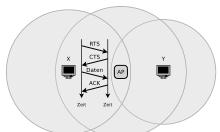
Quelle: Wireless LANs, Jörg Rech, Heise (2012)

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Mit Unterstützung für Übertragungsraten 1-54 Mbit/s

 $<sup>^3</sup>$  Mit ausschließlicher Unterstützung für Übertragungsraten  $>11\,\mathrm{Mbit/s}$ 

# CSMA/CA RTS/CTS

- CSMA/CA verringert die Anzahl der Kollisionen
  - Es kann aber nicht alle Kollisionen vermeiden
- Eine bessere Kollisionsvermeidung ermöglicht CSMA/CA RTS/CTS
  - Sender und Empfänger tauschen zuerst Kontrollrahmen aus
    - Das informiert alle erreichbaren Stationen, dass demnächst eine Übertragung beginnt
  - Kontrollrahmen: Request To Send (RTS) und Clear To Send (CTS)
    - $\bullet$  Beide Kontrollrahmen beinhalten ein Datenfeld, das die Belegungsdauer des Übertragungsmediums (des Kanals) angibt  $\Longrightarrow$  siehe Folien 28 + 29

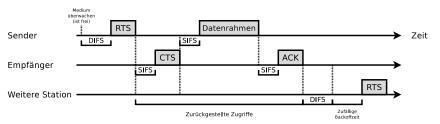


- Kollisionen sind nur während dem Senden von RTS- und CTS-Rahmen möglich
  - Wegen des Hidden-Terminal-Problems

#### Abbildung auf der linken Seite...

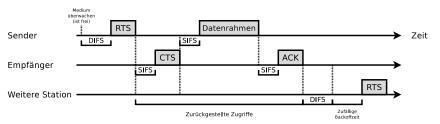
Station Y kann nicht den RTS-Rahmen von X empfangen, aber den CTS-Rahmen der Basisstation (Access Point)

# Ablauf von CSMA/CA RTS/CTS – 1/3



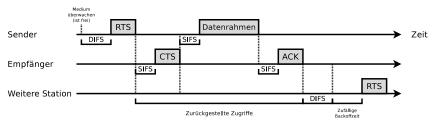
- Der Sender sendet nach dem DIFS einen RTS-Rahmen zum Empfänger
  - Der RTS-Rahmen enthält ein Feld, das angibt wie lange der Sender das Übertragungsmedium (den Kanal) zum Senden des Rahmens reservieren (benutzen) will
- Der Empfänger bestätigt die Reservierungsanfrage nach Abwarten des SIFS mit einem CTS-Rahmen, der ebenfalls die Belegungsdauer für das Übertragungsmedium enthält
  - Der Empfänger bestätigt somit die Belegungsdauer für den zu übertragenden Datenrahmens

# Ablauf von CSMA/CA RTS/CTS – 2/3



- Nach dem erfolgreichem Erhalt des Datenrahmens, wartet der Empfänger ein SIFS und sendet ein ACK an den Sender
- Ist das Übertragungsmedium (der Kanal) belegt, finden bis zum Ablauf des Netzbelegungsvektors – Network Allocation Vectors (NAV) – keine weiteren Sendeversuche statt
  - Der NAV ist eine Zählvariable, die jede Station selbst verwaltet
    - Verringert die Anzahl der Kollisionen
    - Enthält die voraussichtliche Belegungszeit des Übertragungsmediums
    - Wird mit der Zeit dekrementiert, bis er den Wert 0 erreicht

# Ablauf von CSMA/CA RTS/CTS – 3/3



- Vorteile:
  - Weniger Kollisionen, weil es das Hidden-Terminal-Problem löst
  - Weniger Energieverbrauch, weil keine Sendeversuche während des NAV
- Nachteile:
  - Reservierungen des Übertragungsmediums verursachen Verzögerungen
  - RTS- und CTS-Rahmen sind Overhead

# WLAN Kontrollrahmen (Special Frames) – RTS-Rahmen

Die Kontrollrahmen RTS, CTS und ACK haben einen anderen Aufbau, als die Datenrahmen

- Länge der RTS-Rahmen: 20 Bytes
- Mit ihm kann ein Sender eine Reservierungsanfrage für das Übertragungsmedium an die Basisstation senden
- Erstes Adressfeld = MAC-Adresse der Basisstation
- Zweites Adressfeld = MAC-Adresse des anfragenden Station

#### RTS-Rahmen



#### CTS-Rahmen



#### ACK-Rahmen



## WLAN Kontrollrahmen (Special Frames) – CTS-Rahmen

- Länge der CTS-Rahmen: 14 Bytes
- Mit einem CTS-Rahmen bestätigt eine Basisstation die Reservierungsanfrage für das Übertragungsmedium
- adresse = MAC-Adresse der Station, die die Reservierungsanfrage gesendet hatte

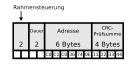
#### RTS-Rahmen



#### CTS-Rahmen



#### ACK-Rahmen



### WLAN Kontrollrahmen (Special Frames) – ACK-Rahmen

- Länge der ACK-Rahmen: 14 Bytes
- Mit einem ACK-Rahmen bestätigt der Empfänger die erfolgreiche Übertragungen eines Rahmens beim Sender
- adresse = MAC-Adresse der Station, die den Rahmen erfolgreich übertragen hat

#### RTS-Rahmen



#### CTS-Rahmen



#### ACK-Rahmen



# CSMA/CA RTS/CTS in der Praxis

- CSMA/CA RTS/CTS ist bei WLAN optional und meistens implementiert
  - Es wird in der Praxis zur Reservierung von Kanälen zur Übertragung langer
     Datenrahmen verwendet
- Man kann für jede Station einen RTS-Schwellenwert festlegen (Treiber?!)
  - So definiert man, dass RTS/CTS nur dann verwendet wird, wenn ein Rahmen länger ist, als der Schwellenwert groß ist
- Häufig ist der voreingestellte Schwellenwert größer als die maximale Rahmenlänge (2.346 Bytes) bei IEEE 802.11
  - Die RTS/CTS-Sequenz wird dann für alle gesendeten Datenrahmen weggelassen



7760 Access Point

#### Advanced Wireless Settings



Screenshot der Weboberfläche eines Netgear WGPS606 Wireless Router

### CSMA/CA PCF

- PCF = Point Coordination Function
- Die Basisstation (Access Point) steuert den Medienzugriff zentral
  - Sie fordert die angemeldeten Stationen zum Senden von Datenrahmen auf
    - Das Vorgehen heißt Polling
- CSMA/CA PCF ist ein optionales Verfahren und wird selten implementiert
  - Darum wird es an dieser Stelle nicht weiter näher beschrieben

# Arbeitsweise von ARP (1/2)

- Das Address Resolution Protocol (ARP) übersetzt IP-Adressen der Vermittlungsschicht in MAC-Adressen der Sicherungsschicht
- Will ein Netzwerkgerät Daten an einen Empfänger senden, gibt es auf der Vermittlungsschicht die IP-Adresse des Empfängers an
- Auf der Sicherungsschicht ist aber die MAC-Adresse nötig
  - Darum muss in der Sicherungsschicht die **Adressauflösung** erfolgen
  - Um die MAC-Adresse eines Geräts im LAN zu erfahren, sendet ARP einen Rahmen mit der MAC-Broadcast-Adresse FF-FF-FF-FF-FF als Zieladresse
    - Diesen Rahmen nimmt jedes Netzwerkgerät entgegen und wertet ihn aus
    - Der Rahmen enthält die IP-Adresse des gesuchten Netzwerkgeräts
  - Fühlt sich ein Gerät mit dieser IP-Adresse angesprochen, schickt es eine ARP-Antwort an den Sender
    - Die gemeldete MAC-Adresse speichert der Sender im lokalen ARP-Cache

# Arbeitsweise von ARP (2/2)

- Der ARP-Cache dient zur Beschleunigung der Adressauflösung
  - Er enthält eine Tabelle mit folgenden Informationen für jeden Eintrag:
    - Protokolltyp (IP)
    - Protokolladresse des Senders (IP-Adresse)
    - Hardware-Adresse des Sender (MAC-Adresse)
    - Ablaufzeit Time To Live (TTL)
  - Die TTL legt das Betriebssystem fest
  - Wird ein Eintrag in der Tabelle verwendet, verlängert sich die TTL
- ullet Aktuelle Linux-Distributionen verwerfen Einträge nach pprox 5 Minuten

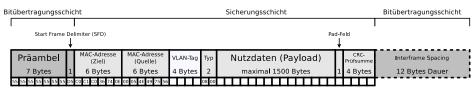
ARP-Cache ausgeben: arp -n oder alternativ ip neighbour

```
# arp -n
Address
                       HWtype HWaddress
                                                Flags Mask
                                                                    Tface
192,168,178,1
                       ether 9c:c7:a6:b9:32:aa C
                                                                    wlan0
192 168 178 24
                      ether d4:85:64:3b:9f:65 C
                                                                    wlan0
192.168.178.41
                      ether ec:1f:72:70:08:25 C
                                                                    wlan0
192,168,178,25
                      ether cc:3a:61:d3:b3:bc C
                                                                    wlan0
```

Mit arping kann man manuell Anforderungen zur Adressauflösung versenden

### Aufbau von ARP-Nachrichten

 ARP-Nachrichten werden als Nutzdaten in Ethernet-Rahmen übertragen (Typ = 0x0806 für das ARP-Protokoll)



- H-Länge = Länge der HW-Adressen (MAC-Adressen) in Bytes
  - Bei Ethernet: 6 Bytes
- P-Länge = Länge der IP-Adressen in **Bytes** 
  - Bei IPv4: 4 Bytes

|   | Hardware             | adresstyp   | Protokolladresstyp  |  |  |
|---|----------------------|-------------|---------------------|--|--|
|   | H-Länge              | P-Länge     | Operation           |  |  |
| ı | MAC-Adresse (Sender) |             |                     |  |  |
|   | MAC-Adress           | se (Sender) | IP-Adresse (Sender) |  |  |
|   | IP-Adresse           | (Sender)    | IP-Adresse (Ziel)   |  |  |
|   | IP-Adres             | se (Ziel)   | MAC-Adresse (Ziel)  |  |  |
|   | MAC-Adresse (Ziel)   |             |                     |  |  |

32 Bit (4 Bytes)