



WLAN, WiMAX ohne QoS / mit QoS

Die Standards 802.11 über 802.16 zu 802.30
Kann man aus den Standards etwas lesen oder lernen?
Wie könnte man das angehen?

Basistechnologien & QoS mit MAC Protokoll Erweiterungen
Klaus Rebensburg

V. 14. 11. 2005 1

Wie könnte man das versuchen zu verstehen? QoS in 802.11e?

Annäherungen

- Nehmen Sie Referenzen zur Hilfe
- Studieren Sie z.B. die Referenz (Chung/Pietchota)
- Versuchen Sie mit eigenen Worten, bildliche Abläufe zu erklären
- Kämpfen Sie sich hin und wieder durch den Dschungel der Abkürzungen
- Schauen Sie dann einmal „hinüber“ zu **802.16**, der interessante Aspekte des **802.11** weiterführt oder ergänzt – ist heute besonders aktuell (2007)

Training

- **ETSI HIPERLAN** ist ein gutes Trainingsobjekt der eigenen Engineering Fähigkeiten, gleicher Hintergrund, gleiche und andere Lösungen

2

IEEE 802.x Standard Familie von Prinzip zu Leistung

IEEE 802.

- **1** Bridging & Management, Interworking and Link Security
- **2** (IEEE802.1) LLC Logical Link Control
- **3** LANs Ethernet CSM/CD Access Method
- **3u** Fast Ethernet
- **3z** Gigabit Ethernet über Glasfaser
- **3ab** Gigabit Ethernet über UTP (Unshielded T'wisted Pair)
- **4** (IEEE802.1q) Trunk Bus
- **5** (IEEE802.1p) - Priorit Ring Access Method
- **6** (IEEE802.1x) MAM, EAP
- **7** (IEEE802.11) - Recommended Practices for Broadband Local Area Networks
- **8** (IEEE802.11e) Fair Queue Scheduling Mechanism
- **9** (IEEE802.11n) Heterogeneous LANs
- **10** (IEEE802.11i) Heterogeneous LAN/Man Security
- **11** Wireless LAN/Drahtlose Netze
- **12** (IEEE802.11n) Standards for Broadband Priority Access / 100 mb/s Ethernet
- **13** www.ieee802.org (IEEE802.22)
- **14** (IEEE802.11n) Spectrum Usage to 10GHz
- **15** Wireless Personal Area Networks WPAN
- **16** Broadband Wireless Metropolitan Area Networks
- **17** Resilient Packet Ring Networks in Local, Metropolitan, Wide Area Networks scalable to gigabits per second
- **18** Ongoing radio regulatory activities, national, international levels
- **19** Policies to address issues of coexistence with existing standards and other standards under development
- **20** Mobile Broadband Wireless Access - packet based air interface optimized for IP-based services
- **21** IEEE 802.21 Handover and interoperability between heterogeneous networks 802 and non 802 networks
- **22** Drahtlose Regionalnetze (WRAN)
- **30** 100 Base-X, 100 Base-T, Fast Ethernet

3

Überblick

Inhalte, die folgen

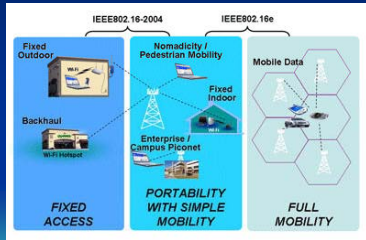
- WLAN Technologien – Luft-Luft – Frequenzen -> Paketflüsse
- Und dann waren da noch Schichten OSI, IEEE
- Gibt es QoS in WLAN?
- Original 802.11 MAC – Einsicht in die Notwendigkeiten von QoS
- 802.11e QoS Features
- Ausblicke – Was tun?
- Referenzen

Lernziele:

- 1. Komplexe Abläufe und Entwicklungen der PHY MAC Mechanismen nachvollziehen
- 2. Insbesondere typische Mehrfach Zugriffs- und Ressourcenprobleme
- 3. Ein Gefühl entwickeln für typische Engineering Lösungen rund um die ePhysik

Warum? Weil wir sonst die neuen Entwicklungen nicht verstehen
 Aktuell in 2006: 802.16 – Wireless im neuen Gewand
 Ziel für Informatiker wäre es, die Entwicklung zu verstehen

Feste und bewegliche und bewegte Ziele (Luft-Luft)



Wiederholung 802.x

802.10 Security	802.2 Overview & Architecture	802.1 Management	802.2 Logical Link Control						Data Link Layer
			802.1 Bridging						
			802.3 MAC	802.5 MAC	802.6 MAC	802.11 MAC	802.15 MAC	802.16 MAC	Physical Layer
802.3 PHY	802.5 PHY	802.6 PHY	802.11 PHY	802.15 PHY	802.16 PHY				
			Ethernet	Token Ring	DOQB	WLAN	WPAN	WMAN	

Kurzer Blick auf Organisation oberhalb der PHY Frequenzen Gliederung des OSI Layer 2 - Data Link Layer (OSI/802)

Logical Link Control (LLC) Sublayer

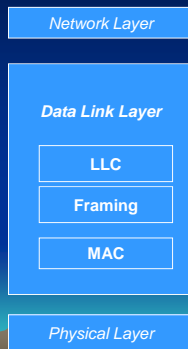
- Paketorientierte Kommunikation mit Verlustmöglichkeit
- Paketorientierte Kommunikation mit Sicherung gegen Verlust
- Verbindungsorientierte Kommunikation

Framing Sublayer

- Bildung der versandten „Rahmen“ (frames of bits)

Media Access Control (MAC) Sublayer

- Wann und wie erfolgt der Zugriff auf den Physical Layer
- Shared Medium (Koax, Funk, LWL, IR)



7

OSI Layer 1: PHY: Frequenzbänder gibt es viele

Am Beispiel der lizenzfreien ISM Bänder

- 6,765 - 6,795 Mhz
- 13,553 - 13,567 Mhz
- 26,957 - 27,283 Mhz
- 40,660 - 40,700 Mhz
- 433,05 - 434,79 Mhz

- 2,4 - 2,5 Ghz
- 5,725 - 5,875 Ghz
- 24 - 24,25 Ghz
- 61 - 61,5 Ghz

- 122 - 123 Ghz
- 244 - 246 Ghz

www.wikipedia.de

8

Qualitäten - Vor- und Nachteile der Frequenzbereiche

- **2,4 GHz Vorteile**
 - kostenloses ISM Frequenzband, daher höhere Verbreitung
 - Keine Transmitter Power Control nötig für volle Sendeleistung, daher geringere Gerätekosten auch keine dynamische Frequenz Selection DFS
 - etwas höhere Reichweite, da diese Frequenzen weniger stark gedämpft werden.
- **2,4 GHz Nachteile**
 - Frequenz muß mit anderen Geräten geteilt werden (Bluetooth, Mikrowellenherde, Babyphones, etc.), dadurch Störungen
 - effektiv nur 3 brauchbare (nicht überlappende) Kanäle
- **5 GHz Vorteile**
 - bessere Verbindungsqualität (subjektiv); weniger Verbindungsabbrüche
 - in Deutschland 19 (bei RegTP-Zulassung) nicht überlappende Kanäle
 - Mit 802.11h bis zu 1.000 mW Sendeleistung möglich (Dämpfungskompensation)
- **5 GHz Nachteile**
 - höhere Kosten
 - Kein ad-hoc Modus, nur Infrastruktur Modus
 - geringere Verbreitung
 - etwas weniger Reichweite, da diese Frequenzen stärker gedämpft werden

www.wikipedia.de

9

IEEE 802.11 legt alles fest

Standardisiert

- PHY
- MAC
- und anderes mehr

WLAN (802.11) ist übersichtlich?

802.11 ist eine Normenfamilie für WLANs. Die Definition der IEEE 802 Normen, die zunächst ganz allgemein den Netzwerkzugriff beschreiben, begann im Jahre 1980, daher wurde die Bezeichnung 802 gewählt. Am Ende der 80er waren 4 Normen verabschiedet: 802.11, 802.11a, 802.11b und 802.11g. Zur Verabschiedung vorgesehen noch für 2004 sind 802.11e und 802.11i.

- 802.11: ursprünglicher Standard (PHY) verabschiedet
 - Datenrate: brutto 2,0 Mb/s
 - Frequenzband: 2,400 bis 2,4835 GHz (isozref)
 - Reichweite: indoor, nicht weiter verbreitet
 - 802.11a: Erweiterung der physikalischen Schicht, 1999
 - Datenrate: brutto 54 Mb/s
 - Frequenzband: 5 GHz (seit dem 13.11.2002 in Deutschland freigegeben)
 - Akzeptanz: nicht verbreitet
 - 802.11b: Erweiterung der physikalischen Schicht, 1999
 - Datenrate: brutto 11 Mb/s (netto 50 %)
 - Frequenzband: 2,400 bis 2,483 GHz (isozref)
 - Akzeptanz: aktuell der am weitesten verbreitete Standard
 - 802.11g: Erweiterung der physikalischen Schicht, 2003
 - Datenrate: brutto 54 Mb/s
 - Frequenzband: 2,400 bis 2,483 GHz (isozref)
 - Akzeptanz: lokale Verbreitung
 - Zusätzliche Erweiterungen von 802.11:
 - 802.11c: MAC-Layer Bridging gemäß 802.1d
 - 802.11d: Anpassung an die regulatorischen Bestimmungen verschiedener Länder
 - 802.11e: Unterstützung von Quality-of-Service
 - 802.11f: Interoperabilität zwischen Basisstationen
 - 802.11h: Reichweitenanpassung, Indoor- und Outdoor-Kanäle (im 5-GHz-Band)
 - TPC/DFS
 - 802.11i: Erweiterungen bezüglich Sicherheit und Authentifizierung
 - 802.11n: Mesh Netzwerke (bis 2009)
- Neben diesen gibt es potenzielle Erweiterungen, die andere Übertragungsraten erlauben
- 822 Mb/s im 2,4-GHz-Band, P802.11n, bis zu 108 Mb/s (isozref). Diese sind aber keine offiziellen IEEE-Standards.
 - Sendeleistungen: 2,4 GHz: 100 mW, 5 GHz: 80 mW, im TPC/DFS: 200 mW (indoor, ab 802.11h).
 - In Europa ist [ETSI EN 301 893](#) vorgeschrieben.
 - Kompatibilität: 802.11b und 802.11g sind zueinander kompatibel, jedoch fällt das 802.11g-Gerät dann in einen Kompatibilitätsmodus.

WLAN Standards, die erste

Der WLAN Standard heißt IEEE 802.11 (alles so um das Jahr 2000)

- Lizenzfrei 2,4 GHz üblich 100 mW Sendeleistung, 5 GHz (30, 1.000 mW), genannt ISM Bänder, ISM: I=Industrial, S=Scientific, M=Medical. Man unterscheidet u.a. 802.11 b, 802.11a, 802.11g
- 802.11b
 - PHY: 11 Mb/s (50% netto) und weniger, 50m, 2.4 GHz erweitert DSSS=Direct Sequence Spread Spectrum, mit besonderen Antennen bis 8 km Sichtweite Point to Point, 14 Kanäle überlappt je 22 MHz, 2 Kanäle funktionieren weltweit,
 - MAC: Infrastruktur Mode und Ad-Hoc Mode,
 - MAC: ohne Overhead 5.5 Mb/s, Zugriff per CSMA/CA.
- 802.11a
 - PHY unterstützt bis zu 54 Mb/s (50% netto), 5 GHz kleinere Reichweite
 - PHY OFDM=Orthogonal Frequency Division Multiplexing Modulation im 5 GHz Band
 - PHY 5 GHz Band leider nicht weltweit verfügbar
- 802.11c: MAC-Layer Bridging gemäß 802.1d
- 802.11d: Anpassung an die regulatorischen Bedingungen verschiedener Länder
- 802.11e: Quality of Service
- 802.11f: Interoperabilität von Basisstationen
- 802.11g (kompatibel zu 802.11b)
 - PHY: 2,4 GHz 54 Mb/s (50% netto) mit 3 verfügbaren Funkkanälen
 - PHY: robuster als 802.11a, weil Ausstrahlung im 2,4 GHz-Band günstiger, auch Bonding/Super G möglich 108 Mb/s
 - PHY: höhere Datenraten als 802.11b im 2,4 GHz-Band mit OFDM, bis zu 54 Mb/s
 - 1. PHY: OFDM Modulation, 2. PBCC Modulation (Packet Binary Convolutional Coding) aber auch 3. CCK (Comp. = Complementary Code Keying), Modulation mit Abwärtskompatibilität zu 802.11b
 - LINK: Fortschritt für Anwendungen wie Streaming Media, Video Downloads
 - PHY: Robust gegen Interferenz = größere Userdichte
 - PHY, MAC: Komplex wegen der 3 Modulationstypen, hat Chancen, wenn 802.11h nicht kommt

WLAN Standards, die zweite

- **802.11f**
 - Access Points, Registrierung und Weiterleitung des Benutzers von einem Access Point zum anderen - „empfohlene Praxis“
- **802.11h (kompatibel zu 802.11a)**
 - MAC Ergänzung zur Einhaltung der europäischen Bestimmungen für 5-GHz-WLANs.
 - eine **Anpassung der Übertragungsleistung (TPO)** auf das Minimum, das zum Erreichen des am weitesten entfernten Benutzers erforderlich ist
 - sowie **dynamische Frequenzwahl (DFS)**, Auswahl des Funkkanal am Access-Point sodass möglichst wenig Interferenzen mit anderen Systemen, z.B. **Radarsignalen**, entstehen.
- **802.11i**
 - MAC Ergänzung zur Verbesserung der **Sicherheit**.
Gültig für die physischen 802.11-Standards a, b und g (6.2004).
 - Alternative zur **Wired Equivalent Privacy (WEP)** mit neuen Verschlüsselungsmethoden und Authentifizierungsverfahren.
 - Als erste Lösungen wurden Teile von 802.11i realisiert mit **WPA (WiFi Protected Access)** Firmware-Upgrades mit dem **TKIP (Temporal Key Integrity Protocol)** angeboten
 - dann folgten neue Chips mit **AES (Verschlüsselungsalgorithmus)**, **Radius11i** Kompatibilität und **TKIP-Abwärtskompatibilität**

www.wikipedia.de

16

WLAN Standards, die dritte

- **802.11n**
 - 2004: IEEE verkündet WAN Wireless + Große Erwartungen bis 2006
 - PHY bei 2,4 GHz, bis 540 Mb/s, Overhead > **100 Mbit/s**
MAC 4-5 mal schneller als 802.11g,
MAC eventuell 50 mal schneller als 802.11b.
 - PHY 802.11n wird größere Entfernungen überbrücken können
 - PHY 802.11n addiert zu den 802.x Standards **MIMO (multiple-input multiple-output)**.
Zusätzliche Send- und Empfangsantennen erlauben erhöhte Datenraten durch **Raum Multiplex** und erhöhte Reichweite durch spezielle Coding Verfahren wie das sog. **Alamouti coding**
- **802.11s**
 - Mesh-Netzwerke (Geplant gegen Ende 2008)

www.wikipedia.de

17

Erster Rundschlag: PHY Fortschritte durch

PHY Transfer Methoden

- **FHSS Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)**, **Frequenzspritzverfahren** für drahtlose Datenübertragung. Fast- und Slow Hopping. Die Trägerfrequenz wechselt frequentiv und diskret. Die Folge der Frequenzwechsel wird durch **Pseudozufallszahlen** bestimmt.
 - Slow Hopping**: Minimal wird 1 bit pro Frequenzsprung übertragen, also z.B. 3 Bits bevor die Frequenz wechselt.
 - Fast Hopping**: Hier wird maximal 1 bit pro Frequenzsprung übertragen, es können aber durchaus auch 3 Frequenzsprünge innerhalb eines Bits stattfinden.**FHSS ist leicht implementierbar**, nutzt aber nur einen schmalen Bereich des Spektrums zu einem Zeitpunkt, und ist **nicht so abhörsicher** wie DSSS.
- **DSSS Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)**, **Frequenzspritzverfahren** für drahtlose Datenübertragung. Verwendung einer vorgegebenen Sequenz, um ein Ausgangssignal zu spreizen. Diese Frequenz wird auch **Chipping-Frequenz** genannt, und stellt eigentlich eine Bitfolge dar. Das Signal wird nun mit dieser Chipping-Sequenz XOR verknüpft. Beispiel: Chipping Sequenz: +1 +1 0 0 0 +1 +1 +1, 8 Chips d.h. ein Bit muss durch 8 Chips codiert werden.
 - Vorteile**: DSSS ist (je nach Chipping-Sequenz-Länge) sehr gut gegen **Abhören** gesichert; das Signal verschwindet für Angreifer im Hintergrundrauschen.
 - Allerdings**: Je länger die Chipping Sequenz desto mehr Bandbreite wird benötigt. Bei **CDMA** hat jeder Sender eine **eigene** Chipping Frequenz. Alle können dann „gleichzeitig“ senden.

18

PHY Fortschritte durch ...

- HR-DSSS, High Rate DSSS, benutzt CCK, Complementary Code Keying das den Bitstrom in 8bit code Symbole aufteilt
- PBCC Proprietäre Erweiterungen des PHY erlauben andere Übertragungsraten (22 MBit/s im 2,4-GHz-Band, PBCC, auch als "802.11b+" bezeichnet; oder 108 MBit/s). Diese sind aber keine offiziellen IEEE-Standards
- OFDM, Mehrträgerverfahren –siehe später

19

Überblick auf Raten bei 802.11 Standards

Standard	PHY Transfer Methode	Frequenzen	Datenraten Mb/s
802.11 legacy	FHSS, DSSS, infrarot	2.4 GHz, IR	1, 2
802.11b	DSSS, HR-DSSS	2.4 GHz	1, 2, 5.5, 11
"802.11b+" non-standard	DSSS, HR-DSSS (PBCC)	2.4 GHz	1, 2, 5.5, 11, 22, 33, 44
802.11a	OFDM	5.2, 5.8 GHz	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54
802.11g	DSSS, HR-DSSS, OFDM	2.4 GHz	1, 2, 5.5, 11; 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54

20

Der Markt von 802.11

Überraschender Erfolg der WLAN Technologie (versus UMTS)

- Wi-Fi Chipsets
2003 (25 Mio Sets) – 2005 (120 Mio = 1 Mrd USD)
 - WiFi= Wireless Fidelity - WiFi Alliance propagiert
 - Rundum Sorglos Verwendung WLAN und Internet
- Jährliche Zuwachsraten von über 40% (Quelle ABI)

21

?

Probleme? Vielleicht mit QoS?

22

Also kein Problem mit 802.11? Doch!

Handlungsbedarf?

- WLAN **Basis** **Connektivität** **ok**, mit IEEE 802.11 b und 802.11a!
- Doch wehe! QoS und andere Nachrüstungen erforderlich! Daher **IEEE 802.11 e**

Im Einzelnen

- Channel Access Funktionen 802.11 haben leider **physikalische und systematische Grenzen**
- PHY, LLC Systemarchitektur muss upgedatet werden für den 802.11 MAC
- **Security** – vom Stiefkind zu zentraler Bedeutung
- Trotz Kompatibilität - meist Neubeschaffung von verbesserten Hardwarekomponenten nötig

23

Probleme QoS und WLAN

Wir erinnern 1.: QoS hat viel mit Traffic Charakteristika (Flow) zu tun:

- Durchsatz, Packet Size, Delay, Jitter, Prioritäten, Scheduling, Service Wechsel und Intervall, Klassen von Datenströmen, Art der Pakete, Bursts, ftp, ...

Wir erinnern 2.: 802.11 ist **Best Effort** wie Ethernet, mehr nicht aber

- Ethernet ist problemloser, weil **hohe Datenrate** bei fehlerarmem Physical Layer

Leider 1.: Wireless braucht aber hohen Per-Packet Overhead:

- **32%** des Datenstroms für Packet Fragmentierung, Interframe spacing, und Mac Level acknowledgement
- Mit RTS/CTS sogar **50%**
- Dazu kommen Kollisionen und Backoffs – Frame delivery Dauer geht **exponentiell** hoch
- **Retransmissions** verursachen unvorhersehbare Verzögerungen (10-100 ms), Blockierung der Übertragung möglich, ...

Leider 2.: Multimedia Services (voice, video) sind besonders betroffen vom Delay – daher Problem mit neuen Märkten

- Wireless AV zuhause?
- Wireless Patient Monitoring?
- Wireless Verkehrskommunikation?

24

QoS Festnetz versus Wireless

Mechanismen im Festnetz – wir erinnern
IETF's **Integrated/Differentiated Services**
oberhalb Link Layer + RSVP

Es gibt QoS auch in 802.11 mit IntServ/DiffServ (e)

- **IntServ** – per-flow resources
-> soft states / scalability problems
- **DiffServ** – different service levels to different groups of users,
edge routers, mark, policy, shape, Service Level Architecture SLA

25

?

Layer PHY

26

Wir erinnern – ein Wireless PHY Problem – Ein
Programm – Ein Sender?

Denkspiel – der zelluläre Trick

- 1 Lizenz Bandbreite – z.B. gesamt 2 MHz – ein Kanal
volle Bandbreite -> zuwenig! + das **Blut** kocht
- Z.B. bei 20 KHz pro Kanal, 1 **großer** Transceiver = 100
Kanäle – 100 User -> zuwenig! + das **Blut** kocht
- Zellulär mehrere (schwächere) Transceiver mit je 100
Kanälen -> aber die Wellen halten sich nicht an 6ecke
-> **Interferenzen, Störungen**
- Besser: Zellulär mehrere Transceiver mit je 20 Kanälen
-> räumliche Anordnung in **1.000 Zellen so flexibel**
möglich, dass 20.000 User gleichzeitig arbeiten können

27

Wir wiederholen: PHY OFDM

Gute Signale tragen zur Qualität der Übertragung bei im PHY Layer!

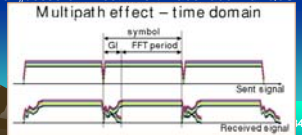
Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) hilft bei **Reflexionen, Echos** und anderen Effekten ungewollter **Mehrwege Ausbreitung**

Orthogonalität wird bewahrt trotz/wegen mehrfach codierten Mehrfrequenz Trägern, bei denen Interferenzen gefiltert werden.

Aus der Zeitdomain werden Signale transformiert in ein FFT Intervall, aus dem die Daten extrahiert werden.

Durch ein sog. **Guard Intervall (GI)** fallen Echos des vorhergegangenen Symbols weg, eine Beeinflussung des eigentlichen FFT Intervalls ist vermieden.

Schnelle Signalprozessoren machen komplizierte Steuerungen und Berechnungen heute erst möglich (z.B. INTEL) und sorgen für „besseren“ Best Effort – aber auch für QoS.



Quelle: Alvarion

?

Steuerung der Möglichkeiten des PHY über

MAC, LLC
Media ACcess, Logical Link Control

35

Genug zum PHY, PMD – von unten nach oben zur konfliktfreien Medienzugriffs Steuerung (MAC)

Noch Teil des PHY:

PLCP Physical Layer Convergence Protocol

- Stellt fest, ob Kanal frei, Kanalwahl

Nach IEEE nun **LLC und MAC** (mehrfach) in Schicht 2:

- Medium frei? wartet, Zeitschlitz im Wettbewerb? Medium belegen.
- Anbindung Endgerät an Accesspoint, **Roaming, Authentifizierung, Verschlüsselung und Synchronisation, Energiespar Optionen, MIB**
- Asynchroner Datendienst (best-effort Broadcast, Multicast), optional zeitbeschränkter Dienst
- IEEE 802.11 - 2 **DCF** (Distributed) und 1 **PCF** (Point Coordination) Zugriffsverfahren:
 - CSMA/CA – Carrier Sense, Multiple Access – Collision Avoidance (zufällig, fair, nicht fair, warten auf Acknowledge)
 - Optional Behandlung versteckter Endgeräte
 - Optional kollisionsfreies, **zentralisiertes** Verfahren für zeitbeschränkte Dienste (asynchron und synchron)

36

Von „oben“ - Untergliederung Data Link Layer (OSI/802)

Logical Link Control (LLC) Sublayer

- Paketorientierte Kommunikation mit Verlustmöglichkeit
- Paketorientierte Kommunikation mit Sicherung gegen Verlust
- Verbindungsorientierte Kommunikation

Framing Sublayer

- Bildung der versandten „Rahmen“ (Frames von Bits)

Media Access Control (MAC) Sublayer

- Wann und wie erfolgt der Zugriff auf den Physical Layer
- Besonders wichtig bei Shared Medium (Koax, Funk)



37

Data Link Layer (OSI/802)

Bereitstellung einer fehlergesicherten Verbindung für eine vorgegebene Bitfolge über einen vorhandenen Physical Layer

- **LLC:**
 - Fehlerkontrolle: Erkennung von Übertragungsfehlern, einschließlich Beheben und Signalisierung des Fehlers
 - Flusskontrolle (flow control): Strategien, wenn der Sender schneller sendet als Empfänger die Daten entgegennehmen kann (puffern, regeln)
- **Framing:**
 - Segmentierung: Zusammenfassung einzelner Bits zu größeren Einheiten unter Berücksichtigung der natürlichen Grenzen der Einheiten (z.B. 7 bit ASCII)
- **MAC:**
 - Identifikation: Auswahl eines bestimmten Senders oder Empfängers auf dem Physical Layer
 - Medienzugriff: Aktivieren des Physical Layers

38

Und wie bekommt WLAN QoS?

Möglichkeit:

Jedes WLAN wird als **Single Link** von höheren Levels verwaltet?

Ansonsten: **Ohne 802.11 MAC Sublayer** läuft nichts – die Funktionalität müsste über übliche MAC Funktionen hinausgehen

Ohne „**QoS Awareness**“ der oberen Layer könnten die QoS nicht genutzt werden

Vorgriff:

802.11e Wireless Media Extensions stellen Dienstklassen mit verwalteten QoS Ebenen und Prioritäten für Daten-, Voice und Video

Um IntServ und DiffServ zu bedienen, dafür hat die 802.11e Task Group den Mac Layer modifiziert!

802.11i Security 2005 – allerdings ohne Hardware support nix los (WPA 2)

39

MAC im Original

Physikalische +logische Infrastruktur BSS (Basic Service Set)

- Access Point (AP)
- Stationen rund um den AP (STAs)

Reliable Data Service mit Frame Exchange Protocol

- 1 Frame von Source -> Destination, CRC Check
- ACK, NAK + ggf. Retransmission (ms)
- Wie kommen STAs nicht durcheinander bei unerwarteten Signalen?
 - Optional RTS/CTS für Robustheit und „hidden nodes“ Problem
 - STA schickt RTS (mit Längenangabe), erhält CTS, sendet dann erst MSDU (MAC Service Data Unit)
 - STAs updaten den sog. Network Allocation Vector (NAV-Interner Timer) und warten erfolgreiches CTS ab (auch Hidden STAs tun das)

DCF, PCF:

- 802.11 kennt 2 Kanalzugriffs Funktionen:
 - DCF (Distributed Coordination Function) längste Wartezeit DIFS
 - PCF (Point Coordination Function) Wartezeit für zeiteingeschränkte Dienste PIFS
- Short Interframe Spacing SIFS, höchste Priorität beim Medienzugriff, Steuernachrichten

40

Interpretation DCF Distributed Coordination Function

CSMA/CA (Collision Avoidance)

- STA hat Sendewunsch, findet Medium frei, wartet Zeit DIFS, startet Übertragung (belegt also das Medium)
- Dann gibt STA Medium frei
- Während einer zufälligen Backoff Zeit zählen die Konkurrenten herunter
- Kürzeste Backoff Zeit gewinnt, belegt Medium, wartet Zeit DIFS und sendet. Die anderen Backoff Zeiten werden angerechnet.
- Bei gleichen Wartezeiten gibt es Kollisionen, neue Versuche sind die Folge

41

Ack oder Retransmission

Collision Verhinderung durch Virtual Carrier Sense

- Jede STA hat internen Timer, Network Allocation Vector NAV, der anzeigt, ob das drahtlose Medium belegt ist. Jeder Frame enthält einen duration value (voraussichtliche Übertragungsdauer + ACKs und Fragmente).
- Alle STAs erhalten diesen Frame und updaten ihr NAV. Wenn ein STA eine Übertragung startet, wartet sie, bis ihr NAV auf 0 ist (solange er es nicht ist, belegt ein andere STA das Medium).
- Wenn es soweit ist, dann wird eine MSDU übertragen. Dann wartet die STA die Dauer der SIFS (short interface space)-DIFS auf ein ACK des MSDU Empfängers.
- So kann eine andere STA nicht übertragen solange ein ACK noch kommen kann.
- Falls nach Zeit SIFS ein ACK nicht kommt, dann wird Re-transmission versucht, solange bis ein Threshold erreicht oder die Lebenszeit einer MSDU vorbei ist (die wird dann weggeworfen).
- MSDUs können auch fragmentiert werden zur Erhöhung der Erfolgswahrscheinlichkeit ihrer Übertragung. Allerdings steigt der Overhead wegen der zusätzlichen ACKs.

42

PCF Frame Exchange Service

- **Poin Coordinator PC** sendet einen CF-Poll (Content free) Frame zu einem der STAs.
Falls PC selbst eine wartende Transmission hat, könnte er einen CF-Poll zusätzlich innerhalb des CF Polls mitsenden. Die **Ziel STA** antwortet mit einem **Data+CF+ACK** Frame oder mit einem F-ACK, wenn keine Transmission im STA wartet.
- Nach Vollendung einer Frame Exchange Sequenz sendet der PC ein **CF-Poll** zu einem anderen STA (seiner Polling Liste). Wenn er alle durchgepollt hat oder die CFP Dauer abgelaufen ist, dann sendet PC ein CF-End Frame, um das Ende des CFP anzuzeigen.
- Der NAV Wert aller STAs wird auf Maximum gesetzt zur Zeit **TBTI**, um CFP von ungewünschten Transmissions zu schützen.
- Dann broadcastet der AP die aktuelle **CFP** Dauer innerhalb der Beacon, und der NAV wird entsprechend upgedatet.
- Am Ende des CFP setzen alle STAs ihren NAV auf Null, wenn sie entweder einen **CF-End** Frame erhielten oder die **CFP** Dauer erreicht ist.
- Von nun an bis zur nächsten DTIM Beacon bewerben sich alle STAs für das Wireless Medium per DCF.

46

Qualitätsproblem bei Wireless: Hidden Stations

- Zwei Sender, die einander nicht „sehen“, ein Empfänger, der auf beide reagiert
- RTS / CTS Bestätigungsritual (virtuelle Reservierung) ist eine Lösung, jedoch Overhead abhängig von Framegröße.

47

Qualitätsproblem bei Wireless - Paketgröße

- Fragmentierung von Nutzdaten hilft etwas – in Abhängigkeit von der Fehlerrate noch besser
- Reservierungsinformation abhängig von der Framegröße als Information an alle Stationen, die stellen sich darauf ein (NAV - Net Allocation Vector).

48

?

QoS und MAC

49

QoS Grenzen des Original MAC

DCF kann keine QoS unterstützen – nur first come – first serve - best effort, ein bisschen Fairness?

- Alle STAs im BSS bewerben sich um das Medium mit gleicher Priorität.
- Das verursacht asymmetrischen Durchsatz zwischen Uplink und Downlink, weil AP gleiche Priorität wie andere STAs mit höherer Durchsatzanforderung. Es gibt **keine Unterscheidung für QoS Data Flows**.
Wenn die Anzahl der STAs in einem BSS sich erhöht, dann gibt es häufiger Kollisionen und damit Retransmissions. Daher nimmt die QoS ab, ebenso wie der Durchsatz im BSS.
- Obwohl PCF time-bounded Traffic unterstützt, gibt es Unzulänglichkeiten. Z.B. **unvorhergesehene Beacon Delays**, die verkürzte CFP zur Folge haben. **Unbekannte Dauern gepollter STAs** machen die Vorhersage für den PC schwierig, ebenso wie den **Polling Schedule** für den Rest der Wettbewerbsfreiheit
- Es gibt kein **Management Interface**, um PCF Operationen aufzusetzen oder zu kontrollieren.
Daher auch keine PCF Policy möglich, um mit IntServ und DiffServ zu kommunizieren.
Es gibt keinen Mechanismus für STAs, um QoS Anforderungen für den AP zu kommunizieren, was für die Optimierung der Performance von Polling Algorithmen essentiell wäre.
- **Resumee: Weder DCF noch PCF sind hilfreich für Traffic mit QoS**

50

802.11e QoS Features

Bei einem Wireless Medium mit unvorhersehbaren Charakteristiken hat ein herkömmlicher MAC wenig Chancen.

Allerdings kann die Wahrscheinlichkeit erhöht werden, dass eine bestimmte Verkehrsklasse adäquate QoS erhält. In einem angemessen kontrollierten System können echte QoS Garantien gemacht werden.

Maßnahmen im Rahmen von 802.11e

- 1. Einführung von QoS-Enhanced Stations versus Non QoS STAs.
- 2. QoS-Enhanced Access Points versus Non QoS Access Points.

Verbesserungen

- MAC: **Channel Access Functions**
- LLC und oberhalb: **Traffic Specification Management TSPEC** (Bindeglied zu IntServ und DiffServ)
- MAC: Erhöhung der Effizienz von 802.11 wie **Block ACK (BA), Direct Link Protocol (DLP), Automatic Power Save Delivery (APSD), Local Multicast service class**

51

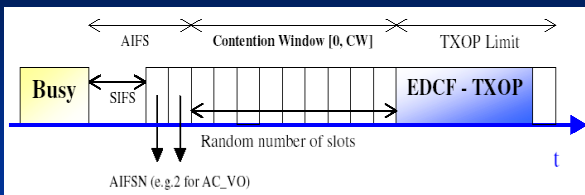
EDCA für priorisierten Traffic

EDCA verbessert DCF im Hinblick auf priorisierten Zugriff auf das Medium, ebenso prioritätsbasierte best-effort Dienst wie DiffServ.

Priorität QoS gewährleistet durch die Einführung von 4 Access Categories (AC). Jede AC hat seine eigene Transmit Queue und seinen eigenen Set von AC Parametern

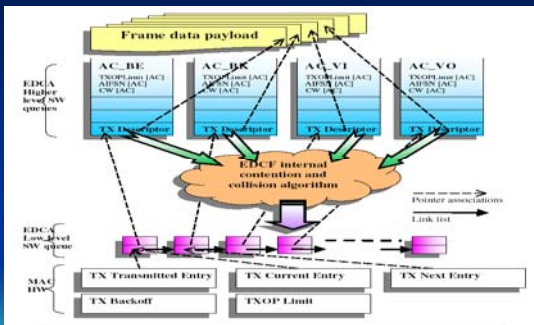
- User Prioritäten wie in IEEE 802.1D
- Beliebige Inter-frame Nummer (AIFSN), das minimale Zeitintervall zwischen Medium Idle und Start Transmission of Frame
- Contention Window (CW), Zufällig wird von diesem Intervall gezogen, Fenster für den Backoff Mechanismus
- TXOP, maximale Dauer in der ein QSTA senden kann, nachdem er ein TXOP erhalten hat
- Wenn das die Anwendung alles wüsste ...
- Der interne Wettbewerbs Algorithmus ...
- Die gewinnende Access Kategorie ...
- Mit geeignetem Tuning der AC Parameter ...

External Contention Algorithmus



When the medium is detected to transit from busy to idle, the channel is monitored for SIFS time. At the end of SIFS and if the channel is still idle, a slot counter is started to count the number of slots from zero. At the end of each slot, the slot counter is incremented. If a transmit request has been made, the slot counter is compared with the programmed number of backoff slots. If the slot counter is equal or greater than the number of backoff slots, then an EDCF-TXOP has been obtained and transmission of the frame starts. If the medium is detected to transit from idle to busy at any time during the SIFS and contention period then the counting of slots is suspended.

EDCA Architektur und Implementierung



The frame data payload is stored in a pool of buffers in RAM. The EDCA low level SW queues implement the TX AC queues as defined in the 802.11e draft standard. The EDCA low level SW queues implement the TX priority (EDCA) as defined in the 802.11e draft standard. It is implemented as a list list, and entries in the list point to TX descriptors of the EDCA higher level queues. All the entries in the EDCA low level queue form is granted or pending TXOP. The EDCA internal contention and collision algorithm implements all the rules regarding arrival of contention and collision as defined in the 802.11e draft standard. It consists a random number generator.

HCCA für parametrisierten Traffic

- HCCA ist eine Komponente von HCF ...
- Das zentrale Konzept von HCCA ist die **Controlled Access Phase (CAP)**, .
- HC erhält Zugriff mit QoS ...
- 802.11e führt eine Anzahl neuer QoS Data Frame Subtypes ein

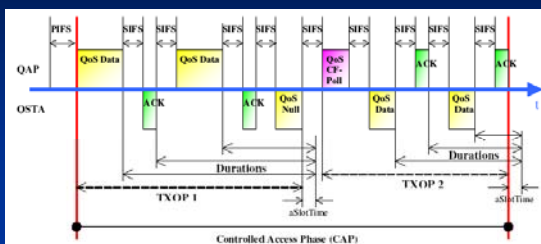
58

HCCA Architektur

- Gemäß dem 802.11e Standard kann es bis zu 8 Uplink oder Sidelink Traffic Ströme geben ...

59

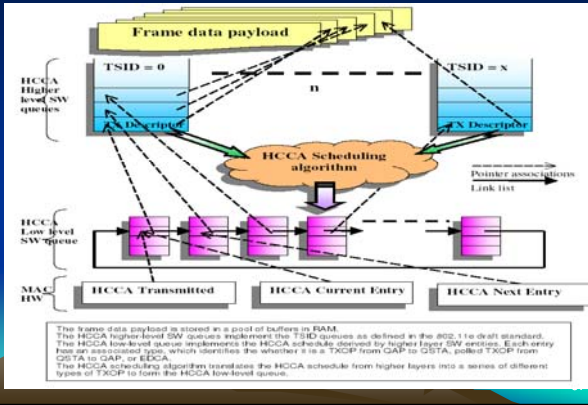
CAP Timing (2 polled TXOP, verschiedene QSTAs)



QoS CF-Poll Transmitted by QAP to grant a HCCA-TXOP, no data.
QoS-Data+CF-Poll Transmitted by QAP to grant a HCCA-TXOP, with data.
QoS-Null Transmitted by QSTA when it has no more data, or it is the last frame of the TXOP.
QoS-Data QoS data transfer between QAP and QSTA. Used by EDCA as well as HCCA.
QoS-Data+CF-Ack Transmitted by QAP in response to QoS-Null requesting a TXOP, no data.
QoS-Data+CF-Poll Transmitted by QAP in response to QoS-Null requesting a TXOP, with data.
QoS-Data+CF-Ack+CF-Poll Transmitted by QAP in response to QoS-Null requesting a TXOP, with data.
QoS-Data+CF-Ack+CF-Poll Generally not used.

60

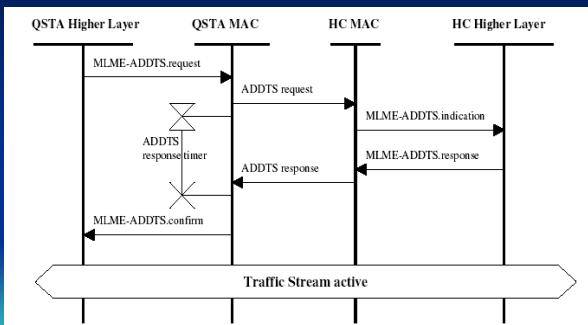
HCCA Architektur und Implementierung



Traffic Specifications(TSPEC)

- TSPEC ist das Traffic Stream Management Device des 802.11e Standards ...

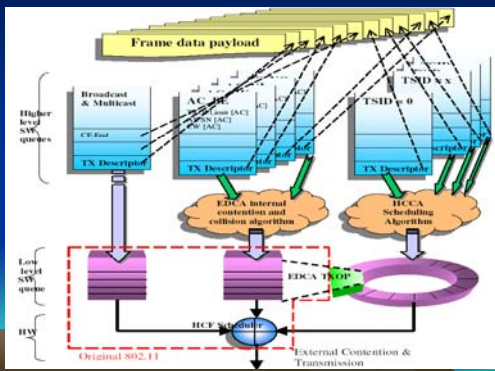
Typische TSPEC Aushandlung



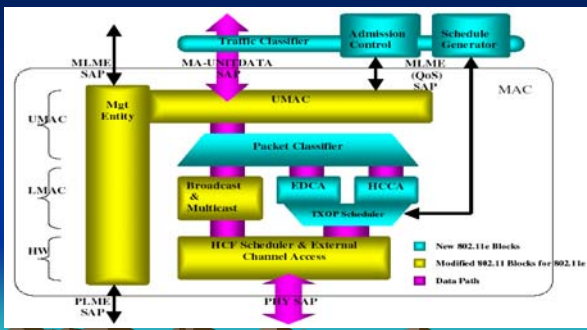
802.11e High Level SW Architecture

• ...

Architektur und Implementierung 802.11e



Die 802.11e SW Architektur



?

Status, Rückblick, Zusammenfassung

67

Status 802.11e 2004

MAC Enhancements for Quality of Service

- to expand support for applications with Quality of Service requirements, and in the capabilities and efficiency of the protocol.

May, 2004, 802.11e Anaheim Report, May 14, 2004
Sponsor Ballot Report:

- Sponsor Ballot extended by 10 days due to incomplete participation (75% not reached)
- Received **320** comments
- Provided Resolution to approximately **150**
- Next meeting goal to complete comment resolution and issue new draft for recirculation.

68

802.11 Rückblick in kleinen Buchstaben

802.11 ist eine Normen-Familie für WLANs. Die Definition der IEEE 802 Normen, die zunächst ganz allgemein den Netzwerkzugriff beschreiben, begann im **Januar 1980**, daher wurde die Bezeichnung 802 gewählt.
Mit der Zeit **2004** waren 4 Normen verabschiedet: 802.11, 802.11a, 802.11b und 802.11g. Zur Verabschiedung vorgesehen noch für 2004 sind 802.11e und 802.11i.

- **802.11** ursprünglicher Standard, 1997 verabschiedet
 - Datenrate: brutto 1 oder 2 Mbit/s
 - Frequenzband: 2,400 bis 2,485 GHz (Innenraum)
 - Akzeptanz: variabel, nicht mehr breit genutzt
 - **802.11a** Erweiterung der physikalischen Schicht, 1999
 - Datenrate: brutto 54 Mbit/s
 - Frequenzband: 5 GHz (seit dem 13.11.2002 in Deutschland freigegeben)
 - Akzeptanz: nicht verbreitet
 - **802.11b** Erweiterung der physikalischen Schicht, 1999
 - Datenrate: brutto 11 Mbit/s (netto 5,5 Mbit/s)
 - Frequenzband: 2,400 bis 2,485 GHz (Innenraum)
 - Akzeptanz: ähnlich der am weitesten verbreitete Standard
 - **802.11g** Erweiterung der physikalischen Schicht, 2003
 - Datenrate: brutto 54 Mbit/s
 - Frequenzband: 2,400 bis 2,485 GHz (Innenraum)
 - Akzeptanz: leichte Verbreitung
 - **Zusätzliche Erweiterungen von 802.11:**
 - **802.11c** MAC-Layer-Bridging gemäß 802.1d
 - **802.11d** Harmonisierung mit den regulatorischen Bestimmungen verschiedener Länder
 - **802.11e** Unterstützung von Quality-of-Service
 - **802.11i** Interoperabilität zwischen Basisstationen
 - **802.11j** Reichweitenvergrößerung, Indoor- und Outdoor-Kanäle (im 5-GHz-Band)
 - **TPC/DFS**
 - **802.11k** Erweiterungen bezüglich Sicherheit und Authentifizierung
- Neben diesen gibt es noch weitere Erweiterungen, die andere Übertragungsraten erlauben:**
- **802.11n** mit 2,4-GHz-Band, PHYCS, bis zu 600 Mbit/s (beidseitig oder 100 Mbit/s). Diese sind aber keine offiziellen IEEE-Standards.
 - **802.11ac** mit 5-GHz-Band, PHYCS, bis zu 1,3 Gbit/s (beidseitig oder 300 Mbit/s). Diese sind aber keine offiziellen IEEE-Standards.
 - In Europa ist **802.11n** vorgeschrieben.
 - **Kompatibilität:** 802.11a und 802.11g sind zueinander kompatibel, jedoch fällt das 802.11g-Gerät dann in einen Kompatibilitätsmodus.

69

Zusammenfassung

1. **Wireless** und **QoS** schließen sich eigentlich aus wegen der der **physikalischen Charakteristiken von Funk**
 - des **zellulären Konzepts/überlappender BSSs** (Basic Service Sets) und **Handover/Roaming** zwischen ihnen
2. **Der Markt will** QoS und Wireless!
3. **802.11e** ist eine **um QoS bereicherte Fassung des Standards 802.11**. Seine Performanz hängt u.a. wesentlich ab von
 - EDCA –
 - ohne temporäre und gezielte Beseitigung des Wettbewerbs keine QoS
 - Komplexer EDCA & HCCA scheduler
 - Admission Control Algorithmen, bedient von höheren Schichten
 - Traffic Schedule Generation
4. Der **Gewinn an Mobilität** wird stets erkauft durch (erträgliche?) Einschränkung an QoS

70

?

Der Weg ist das Ziel

71

Der Weg ist das Ziel QoS in 802.11e?

Annäherungen

- Nehmen Sie Referenzen zur Hilfe
- Studieren Sie z.B. die Referenz (Chung/Pietchota)
- Versuchen Sie mit eigenen Worten, bildliche Abläufe zu erklären
- Kämpfen Sie sich hin und wieder durch den Dschungel der Abkürzungen
- Schauen Sie dann einmal „hinüber“ zu 802.16, der interessante Aspekte des 802.11 weiterführt oder ergänzt – ist heute besonders aktuell (2006)

Training

- ETSI HIPERLAN ist ein gutes Trainingsobjekt der eigenen Engineering Fähigkeiten, gleicher Hintergrund, gleiche und andere Lösungen

72

Referenzen

- Simon Chung, Kamila Piechota: Understanding MAC protocol QoS amendments: A guide to IEEE 802.11e technology. September 2003, S3 Silicon & Software Systems
 - Alvarion, <http://www.alvarion.com/Runtime/HomePage.asp?fsp=1>
 - Wikipedia, www.wikipedia.de ist grundsätzlich ein kurzer guter Weg zu technischen Informationen und für einige Erklärungen und Bilder hier verwendet worden
 - <http://grouper.ieee.org/groups/802.11>
 - <http://www.wi-fi.org>
- Siehe auch zitierte Buchreferenzen, Anregungen und Beispiele auf dem Lehrportal

73

Noch

Fragen?
Kopfschmerzen?
Hoffnung?

Danke vielmals für die Geduld!

74

QoS und weiter?

- QoS weiter ausreizen mit 802.16 / WiMAX

75

Schlagzeilen WiMAX 2005

Worldwide Interoperability for Microwave Access

- [WiMax: Regulatorer will Frequenzen im ersten Quartal vergeben](#) (10.11.2005, ssu)
Die Bundesnetzagentur will Spektrum um 3,5 GHz-Spektrum diskriminierungsfrei und technikkneutral verteilen. Das "Licensing Light" genannte Verfahren soll Konflikte bei der Vergabe von Spektrum für drahtlose Breitband-Anschlüsse vermeiden helfen.
- [WiMAX-Netz in Berlin gestartet \(Lipstadt\)](#) (08.11.2005, aww)
Die DSD Deutsche Breitband Dienste befreit seit heute in Berlin das erste WiMAX-Netz für Privatkunden.
- [Qualcomm verdrängt Nokia aus dem Mobilfunkmarkt](#) (07.11.2005, ssu)
Neue Kunde im Patentstreit der Mobilfunk-Pioniere: Qualcomm zufolge nutzen die Finnen in ihren GSM-GPRS- und EDGE-Produkten unberechtigt Patente, die die US-Firma ursprünglich für CDMA-Module entwickelt hatte.
- [Jedes vierte deutsche Haushalt ist mit DSL versorgt](#) (07.11.2005, hob)
- [Lenz BWKOM boomt der DSL-Markt in Deutschland auf Rekordniveau. Das Wachstum werde 2006 nahezu unvermindert anhalten.](#)
- [E-Bay hat \(in 1. Millionen Kunden in Deutschland\)](#) (07.11.2005, ssu)
Im dritten Quartal konnte der Mobilfunkanbieter 327.000 neue Kunden gewinnen. Der Marktanteil blieb bei 13,2 Prozent, der Durchschnittsumsatz (ARPU) sank leicht auf 21 Euro.
- [Palm-Chef in Zukunft Hardware](#) (05.11.2005, ll)
Palm-Chef Ed Colligan hat in einem Interview mit der Berliner Zeitung Stellung zur Zukunft der Taschencomputer seines Unternehmens genommen.
- [Laut Berlin will Zentrale für mobile Netze](#) (02.11.2005, kj)
Für die wichtigen Bereiche der Forschung haben Senat, Unternehmensverbände und die Technologiestiftung Berlin "Masterpläne" mit strategischen Zielen für die nächsten zehn Jahre vorgestellt.
- [WiMax: Intel und Motorola forcieren sich eine Zusammenarbeit](#) (08.10.2005, ssu)
Angesichts der bevorstehenden Verabschiedung des Standards durch das IEEE streben die Unternehmen kommerzielle Anwendungen wie Kombi-Mobilefone oder integrierte Empfänger in Notebooks an.
- [E-Bay: Mobilfunk wird bei neuen Filialöffnungen](#) (28.10.2005, aww)
Mit günstigen Preiskaufverträgen können sich die Mobilfunkler gegen die Konkurrenz durch neue Funktechniken wehren, meint der Technikkritiker von E-Plus.
- [WiMax am Rhein: Für Feuerwehr und Touristik](#) (27.10.2005, ssu)
Im Rahmen der "Mobile Initiative" "Digital kommunizieren" will Düsseldorf bis zur Fußball-WM einen PDA-basierten Fremdenführer anbieten. Die Feuerwehr soll per WiMax Filmsequenzen vom Brandort zur Leitstelle übertragen können.

802.16

- Frequenzen 3.2 .. 3.4 GHz, Reichweite ..70 km
-



Funktechniken

Tabelle 4: Funk-Techniken - Übersicht

Checkliste und Anwendungen

Bezeichnung	WiMax	ZigBee
Norm	IEEE 802.16a (phase 1)	IEEE 802.15.4
Klasse (mobil/schnurlos)	drahtloser Teilnehmeranschluss	schnurlos
Sendebereich/ Kanalanzahl/-Breite	2 - 11 GHz	868 MHz/1/600 kHz 2,4 GHz/16/2 MHz
max. effektive Sendeleistung	30 W (*1) / 3W (*1)	20 dBm, typisch 0 dBm
Reichweite bei Sichtkontakt	1 bis 50 km, typisch 4 - 9 km	100 Meter
max. Bandbreite (brutto/netto)	70 MBit/s	250 kBit/s, 128 kBit/s resp. 20 kBit/s
Anwendungen	Alternative zum Festnetzanschluss	Sensorsteuerung und Automation
Gerätebeispiele	Basisstation, Empfangsstation	Hausgerätesteuerung, Alarmsysteme
Standardisierer/ Anbieter	IEEE	IEEE

*1 siehe Text

WiMAX = Recycling von WLL

- Im 3,5-GHz-Band stehen 2 x 84 MHz zur Verfügung
- davon sind aufgrund bestehender Nutzungsrechte ab 2006 -- mit lokalen Einschränkungen -- vorerst nur zwei Blöcke (3410 bis 3452 MHz und 3510 bis 3552 MHz) verwendbar.
- Das entspricht bei heute verbreiteten WLAN-Produkten ungefähr zwei mal drei parallel nutzbaren Kanälen mit jeweils 54 MBit/s brutto.
- Indes ist die erlaubte effektive Sendeleistung höher als bei WLAN: Eine Wimax-Basisstation soll bis zu 30 Watt **EIRP** nutzen dürfen, die mobile oder stationäre Gegenstelle entsprechend drei Watt EIRP, was die mögliche Reichweite im Vergleich zu WLAN deutlich steigert.
- Wimax soll knapp 50 Kilometer überbrücken und dabei bis zu 70 MBit/s transportieren, freilich nicht beides gleichzeitig.

79

WiMAX 802.16

- IEEE 802.16** 3G **Schicht 1 (PHY) und 2 (MAC)**
- Der Basisstandard 802.16 (Wireless **MAN**) wurde zusammen mit 802.16.2 im Jahr 2001 als amerikanische Norm verabschiedet. IEEE 802.16 definiert LOS-Verbindungen (Line of Sight) in den Frequenzbereichen 10 bis 60 GHz, entspricht also dem Standard für klassischen Mikrowellen-Richtfunk.
 - IEEE 802.16a in 2003. Dieser Standard definiert NLOS-Verbindungen in lizenzierten und lizenzierten Bändern im Bereich von 2 bis 11 GHz.
 - 3,5 GHz für die lizenzierten und 5,8 GHz für die lizenzierten Anwendungen.
 - IEEE 802.16c und IEEE 802.16d beschäftigen sich mit Profilen für 10- bis 60-GHz- beziehungsweise 2- bis 11-GHz-Systeme.
 - im Rahmen von IEEE 802.16a "Mobile Wireless MAN", sind robuste Zugänge mit einem Durchmesser von mehr als 10 Kilometern im Bereich von einigen Kilometern, Geschwindigkeiten von über hundert Stundenkilometern und **Roaming** zwischen verschiedenen Funkzellen geplant.
 - Neusind die Managementgruppen IEEE 802.16r und 802.16g die entsprechende MSB definieren.
- MAN im Mikrowellenbereich**
- Seit dem 24. Juni 2004 geht in eine neue Ausgabe des Standards IEEE 802.16 (802.16-2004), die den Basisstandard aus dem Jahre 2001 mit den NLOS-Verbindungen aus IEEE 802.16a und den Profilen in IEEE 802.16c umfasst, ohne neue Funktionen hinzuzufügen.
- Wimax-Forum**
- Es wurde im Jahre 2003 von Nokia, Wi-LAN und Ensemble gegründet, heute zählen mehr als 170 Firmen dazu, von Alcatel und AT&T über Fujitsu, Intel und Siemens bis zu Yahoo.
- Vorteile von IEEE 802.16**
- die breite Auswahl unterschiedlicher Verfahren, die für die meisten Zugangsszenarien die jeweils optimale Lösung bieten sollen.
- OFDM, OFDMA**
- Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) nebst Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) zum Einsatz.
 - OFDM ist ein auch bei 802.11a oder **DVB-T** eingesetztes Verfahren, das ein Breitband- auf mehrere, möglichst übersprechungsarme Schmalbandkanäle zerlegt.
 - Bei OFDMA handelt es sich um den dafür vorgesehenen Mechanismus für die Zuteilung der Kapazitäten an verschiedene Benutzer, der allerdings nicht zwingend zum Einsatz kommen muss -- 802.11a beispielsweise arbeitet mit OFDM, aber ohne OFDMA.
- Authentifizierung**
- Zur Authentifizierung der Basisstationen gegenüber der zentralen Sendeanstanz kommen X.509-Zertifikate zum Einsatz, die auch für die Verschlüsselung des Datenverkehrs sorgen.

80

Ende

- Irgendwann muss Schluss sein ☺
- Aber so ähnlich rollt man dann jeden 802.x Standard auf ...

81
