|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **PHYSICAL LAYER(PL)**  Dämpfung(приглушение): je länge Leitung desto mehr Dämpfung  Verzerrung(искажение): Übertragungsmedien dämpfen Frequenzen verschieden stark. Meist nur Frequenzen bis zu einem max Wert(gut übertragbar. Verlust hoher Frequenzteile -> Signal nicht rekonstruierbar.  Bandbreite(B) – Größe des übertragbaren Frequenzbereichs  Datenrate: == Bitrate,  V-Anz Symbole pro Schritt  Baudrate - Schrittgeschwindigkeit // Länge von einem Symbol 2 Bit  Baudrate = D/SymbolLänge    Shannon:  S-Leistung des Nutzsignals, N-Leist.des Rauschens  **je größer -> besser**  Duplex  **Full-Duplex**: beide Übertragungsrichtungen gleichzeitig (Kabel)  **Half-Duplex**: beide Übertragungsrichtungen gleichzeitig, aber nicht gleichzeitig (WLAN)  **Simplex**: nur eine Richtung (unüblich)  Modulation  **Modulation**: Umwandlung Bitsequenz in übertragbares Signal.  **Demodulation**: Rückübersetzung beim Empfänger  **Baseband** (drahtgebundene Kom-tion):  Signal und wird direkt in diesem Frequenzbereich übertragen(Ethernet, USB-Schnittstelle).  **Passband** (drahtloser Kom-tion)[fmin,fmax]:  Nutzsignal wir in höheren Frequenzbereich verschoben  Nutzsignal verändert Trägersignal(WLAN, Blutooth)  Rückgewinnung am Empfänger durch Demodulation    Manchester will verhindern, dass das Signal zu lange auf 0 oder 1 bleibt -> So wird gleichzeitig Daten und Clock in einer Leitung übertragen (BitStream XOR Clock)  Bipolar encoding ist günstig, da wir Gleichstrom verwenden können  NRZI hat den Nachteil, dass bei langen 0-len oder 1-sen die Synchronisation außer Tritt kommen kann  NRZ(Non-Return-to-Zero) hat den Nachteil, dass der Empfänger bei der Übertragung einer längeren Folge gleicher Symbole unsicher wird über die Länfge der Folge  Taktrückgewinnung durch Leitungscodes  Häufige Symbolwechsel nötig, damit Empfänger die Symbole rückgewinnen kann. 1000000 schwierig wie viele 0en.  **Lösungen**: Synchrone Uhren || Manchester Code (Takfreq = 2\* Bitfreq) || Coderung: z.B. **4B/5B** bildet 4 Bits auf 5 Bits ab mit vielen Wechseln (16 Blockcodes auf 32 Leitungscode) der Code ist nicht gleichstromfrei:    Passband Transmission  Verschiebung des Nutzdaten *in höheren Frequenz* ist notwendig, *da nur ein gleichzeitiges Signal möglich*, falls nur Bereich [0; fmax] zur Verfügung steht und Antene für tiefe Frequenz müssen riesig sein    **ACK und FSK werden häufig kombiniert** -> Ergibt mehr Symbole -> höhere Bitrate & Baudrate const    BPSK/QPSK ändert nur die Phase, QAM ändert Amplitude & Phase  Multiplexing (mehrere User 1 Übertragunsmedium)  **Frequency Division Multiplexing (FDM):**  - Jeder Benutzer hat eigenen Frequenzbereich  **Time Division Multiplexing (TDM):**  - Frequenzbereich wird über Zeit geteilt  - Round-robin  - Benutzer wechseln sich zeitlich ab  Auch Kombination aus beiden Möglich.  Slotted ALOHA  Alle Frames :gleiche Größe. Zeit in **gleich große Zeitslots** unterteilt. Intervall reicht zum Senden des kompletten Pakets. Hosts müssen bzgl Zeit synchronisiert sein.  **Kollision**: Falls >=2 Hosts in gleichem Slot -> Kollision  Sobald neuer Frame vorhanden. Versuche im nächsten Slot zu senden. Falls **keine Kollision**: fertig. Sonst **p-persistent ALOHA**: Sendeversuch beim nächsten Slot mit Wahrscheinlichkeit p erneut.    (+) nur 1 Host aktive: volle Ratedes Kanals,(+)dezentral,(+)einfach  (-) Kollisionen verschwenden Zeitslots. (-) Host könnte Kollision erkennen bevor Übertragung fertig und Senden abbrechen (-)Sync  der Uhren notwendig  MAC-Adressen (Adresse der Link Layer)  Nur lokal gültig. Identifiziert Nachbarn.  Jedes Interface eines Hosts hat eigene MAC-Adresse  Bei Ethernet & WLAN 48 Bit.  Broadcast-Adresse FF-FF-FF-FF-FF-FF  Jede NIC muss **eindeutige MAC-Adresse** haben **innerhalb eines lokalen Netzwerkes** | **LINKLAYER(LL)**  **Link** – verbindet benachbarten Nodes (WLAN, Ethernet, Mobilfunk)  **Frame(Gruppe von Bits)** – Nachricht auf Schicht2. „Briefumschlag“ für Schicht3 Packet  Dienste von LL:  - Übertragung von Frames zw benachbarten Nodes  - Rahmenbildung(Framing): Positionsrichtige Erkennung von Zeichen, Erkennung von Blockgrenzen. Frame = Header+Payload. Payload = IP Paket  - Vielfachzugriff: Wer darf Medium wann nutzen (nötig, falls Mehrpunktmedium: WLAN, Sattelitennetze)  - Fehlererkennung/-Korrektur: Umgang mit Bitfehlern auf PL. Hinzufügen von Redundanz, um Fehler zu erkennen  - Zuverlässige Datenübertragung: Korrektur von Paketverlusten, korrekte Reihenfolge, Vermeidung von Duplikaten. Bei WLAN teilweise, bei Ethernet gar nicht.  NIC  Man impl LL in allen Nodes. Impl der meisten Funktionalität in HW (Fehlererkennung, Rahmenbindung usw). Netzwerkkarte(NIC) impl-t große Teile der LL und PL. Die wird über Bus mit CPU verbunden. Jede NIC hat HW-Adresse . Anhand dieser Adr lässt sich eine Station auf der Bitübertragungsschicht adressieren  Rahmenbildung  Problem: Erkennung beim Empfang, wann Frame beginnt und endet.  **Byte Count**: jeder Frame beginnt mit dem Feld, das Anz enthaltener Bytes angibt (Anz. inkl diesem Feld)  (-) Nach Fehler erneute synchronisation schwer  **Byte Stuffing**: FLAG-Anfang und Ende. ESC.damit FLAG nicht in Nutzdaten vorkommt.  (+) einfache Sync-tion nach Fehler  (-) Platz Overhead    **Bit Stuffing**: Frame beginnt mit speziellen reserviertem Bitmuster(01111110).  Beim senden wird nach 5 1en immer ein 0 eingefügt und beim Empfang nach 5 1en immer ein 0 gelöscht.  (+) Framelänge muss kein Vielfaches von 8Bit sein.  Fehlererkennung und -korrektur  **Ursache**: Rauschen, Dämpfung, Verzerrung usw  **Fehlerkorrektur**: Keine F-korrektur (zu viel Redundanz)  Fehlererkennung: Fehler wird erkannt aber nicht behoben, Maßnahmen: Ethernet 802.3 keine Retransmission (nur durch TCP, falls Timeout eintritt), WLAN (durch LL(Active Repeat Request))  Checksumme    Cyclic Redundancy Check (CRC)  Generator G hat Länge r+1. Gesucht Rest der Längen r    Ethernet 802.3 Frames:    ***Präambel***:\*\* 7mal 10101010, dann 1mal 10101011  *\*\** Synchronisation Sender & Empfänger, Start desFram  ***Adressen***: je 6 Byte Sender & Empfänger MAC. Normalerweise, NIC leitet Frame nur an BS weiter, wenn destination Adr passt. Ausnahmen: Broadcast(dest.Adr FF:FF:FF:FF:FF:FF) oder Promiscuous Mode  ***Type***: 2Byte Art des Netzwerkprotokolls IPv4/IPv6 ***CRC***: 4Byte  **Eigenschaften**:  **Verbindungslos**: Kein Verb. Aufbau vor Datenaustausch  **keine zuverlässige Verbindung**: Frameverlust mögl. Absicherung durch höhere Schichten erfolgt  **Vielfachzugriff**: Nur bei Punkt-zu-Punk:Unsl CSMA/CD  Arten von Link:  \* Punkt-zu-Punkt(2kommunzier. Nodes)  \* Mehrpunktverbindung(>2 kom Nodes): WLAN 802.11, Bluetooth 802.15, Klassisches Ethernet(Hub)  Vielfachzugriff  Geteilter Broadcastkanal. Interferenz == **Kollision** falls mehrere Stationen gleichzeitig senden.  **Multiple Access Control**: Algorithmus, der entscheidet, wann Host senden darf.Entscheidung muss **inband** getroffen sein (kein extra Kanal).  **Anforderungen**(Link hat Kapazität R):   * 1 Host sendet -> Host sendet mit Rate R * M Hosts -> jeder mit R/M(„Fairness“)   Klassifizierung von MAC:  **Multiplexverfahren**: Sender darf nur zur bestim t mit einer bestim Freq senden.  **Random Access Verfahren**: Kollisionen werden zugelassen. Mechanismen um sich von Kollision zu erholen. z.B. Un-/Slotted ALOHA, CSMA /CD /CA  **Token-Verfahren**: Kollisionen werden verhindert. Nur wer Token hat darf auf Kanal zugreifen  Carrier Sense Multiple Access (CSMA)  Carrier Sensing==Mitlauschen auf dem Kanal.  *Kanal fre*i-> Beginne Übertragung. *Kanal beleg*t->Verschiebe Übertragung.  *Kanal belegt*:  1-persistent: Sende sobald Kanal wieder frei wird  p-persistent: Sende im nächsten Slot, mit Wahr-keit p falls Kanal frei ist.  Non-persistent: Warte zufällige Zeit und prüfe erneut, ob Kanal frei. => Ethernet  Wegen dprop erkennen Sender erst verspätet, ob es zu Kollisionen kommt. dprop hat Einfluss auf Kollisionswahrscheinlichkeit.  Bei spät erkannter Kollision ist losgesendetes Paket wertlos.  dprop = t senden – t empfangen  CSMA/CD (Collision Detection)  **Kollision Erkennung**: Sender (NIC) hört während senden Medium weiter ab.  **Sofortiger** Abbruch der Übertragung & **Jam Signal** bei Kollision  Erneuter Sendeversuch nach **zufälliger** Wartezeit  **Binary Exponential Backoff**: Verdoppelung mittlerer Wartezeit nach jeder erneuten Kollision.  **Voraussetzung**: Sender fähig zu „listen while talk“.  Leicht im LAN: messen des empfamg Signals & vergleichen mit gesendetem -> Vollduplex  Schwer im WLAN: Empfangene Signale viel schwächer als gesendete -> Halbduplex  Sobald Sender Kollision erkennt: Frame wird nicht zu Ende übertragen -> Sender sendet Störsignal **JAM** umNachbarn ihre Sendertätigkeit anzustellen | Ethernet CSMA/CD: 1.NIC hört Kanal ab (frei->Frame wird gesendet; belegt-> NIC wartet bis Kanal frei ist) 2. NIC beobachtet ob Kollision auftritt(falls keine->erfolgreiche Übertragung) 3.Falls Kollision->Abbruch->JAMsenden. 4. Nach Abbruch:**Exponent Backoff**: mehr Kollisionen -> Backoff größer  Mindestlänge von Ethernet Frames  WC: Kollision wird erst nach 2\*dprop erkannt.  **Ziel** ist es, dass Sender Kollision noch erkennt, bevor er alle Bits seines Frames losgesendet hat(Transmission Delay)  Minimale Paketgröße: dtrans > 2dprop  Vielfachzugriff bei WLAN 802.11  CS: Wie Ethernet wird vor Senden Medium abgehört  ÐÐ°ÑÑÐ¸Ð½ÐºÐ¸ Ð¿Ð¾ Ð·Ð°Ð¿ÑÐ¾ÑÑ hidden collision problem**Kollision Erkennung nicht möglich**, weil: 1. WLAN ist **halbduplex**: empfang Signal sehr schwach 2. WLAN Stationen können sich nicht gegenseitig hören(**Hidden Station Problem:**  A hört bis zum B, C hört bis zum B  Beim B **(Empfänger) werden Kollisionen erkannt werden**  CSMA/CA (Collision Avoidance) bei WLAN  DIFS> SIFS Priorisierung von ACK, damit keine Verschachtelung  **Sender**: *1. FREI*: Kanal mind. für Zeitspanne DIFS frei -> sende kompletten Frame(ohne Carrier Sense) *2. BELEGT:* exponent Backoff **Unterschied zu CSMA/CD**  Höre Kanal ständig ab & **dekrementiere Timer nur** während Zeiten, wo Kanal frei ist. Erneute Übertragung, wenn Timer ausfällt  Falls **kein ACK** eintrifft -> Wieder in belegt Fall.->Ggfs backoff Intervall erhöhen.  **Empfänger**: bestätigt Datenempfang durch ACK nach Zeitspanne SIFS.    Switched Ethernet  **Hub**: Alle Leitungen quasi miteinander verbunden. Eine einzige Kollisionsdomäne(1Host gleichzeitig sprechen darf)CSMA/CD notwendig  **Switch**: Isoliert jeden Port in eigene Kollisionsdomäne ohne CSMA/CD  \*\*Jeder Host direkt mit Switch-Port verbunden.\*\*Keine Kollision möglich, falls Vollduplex.\*\*Kein CSMA/CD notwendig  Switches speichern Frames zwischen und leiten Frames weiter  Gleichzeitige Übertragung von A zu A’ und B zu B’ möglich  Switch: Forwarding  **Forwardingtabelle** enthält Info, an welchen Port ein Frame weitergeleitet werden muss:  Ziel MAC-Adr | Ziel Port | TTL  Selbstlernend: ankommender Frame: Eintragen von Port & MAC des Senders.  Nachschlagen, ob Eintrag für MAC Zieladresse schon in Tabelle.  **Vorhanden**: Weiterleiten an Zielport. Falls Zielport == Quellport. Frame verwerfen  **Sonst**: Fluten. Weiterleiten an alle Hosts mit Ausnahme des Senders. Auch die, die er schon weiß, was dranhängt. |  |