

Computernetwerken: Theorie

1. Inleiding

- Bij een **gedistribueerd systeem** lijkt het systeem voor de gebruiker van buitenaf één samenhangend geheel (bv. Het World Wide Web). Bij een **netwerk** is dit niet zo. De gebruiker heeft te maken met verschillende fysieke machines.

1.1. Toepassingen van computernetwerken

1.1.1. Bedrijfsnetwerken

- **Resource sharing**: het gezamenlijk gebruiken of delen van faciliteiten, met als doel alle programma's, apparaten en vooral gegevens beschikbaar stellen aan iedereen op het netwerk, onafhankelijk van de plaats van de gebruiker. (bvb: Kantoor met gedeelde printer)
- Client-server
- **Communicatiemiddel**
- **Elektronisch zakendoen (e-commerce)**
 - Met andere bedrijven
 - Met de consument

1.1.2. Thuisnetwerken

- Meest populaire diensten
 - Toegang tot informatie op afstand
 - Communicatie van persoon tot persoon
 - Interactief amusement
 - E-commerce
 - E-mail
 - Chatten
- Peer-to-peer model: Communicatie tussen gelijke computers.
 - B2C: Business-to-consumer
 - B2B: Business-to-business
 - G2C: Government-to-consumer
 - C2C: Consumer-to-consumer
 - P2P: Peer-to-peer

1.2. Hardware van Netwerken

- 2 belangrijke kenmerken om in te delen
 - Transmissietechniek
 - Schaal

1.2.1. Transmissietechniek

- 2 technieken op grote schaal gebruikt
 - Broadcastnetwerken: vooral kleinere netwerken
 - Point-to-point netwerken: vooral grotere-schaal netwerken

1.2.1.1. Broadcastnetwerken

- 1 communicatiekanaal dat door alle machines in het netwerk wordt gebruikt
- Packets door 1 machine verzonden, worden door alle machines ontvangen. Adresveld geeft aan voor wie het is en die computer zal het verwerken.
- Ook mogelijkheid om packet door alle computers te laten verwerken, door speciale code in adresveld.
 - Naar alle machines: Broadcasting
 - Naar een deel van de machines: Multicasting
- Kunnen verder worden verdeeld in statische en dynamische netwerken. Afhankelijk van manier waarop kanaal wordt toegewezen
 - Statische toewijzing verdeelt tijd in discrete intervallen en gebruikt round-robin algoritme, waarbij elke machine mag broadcasten wanneer zijn tijdslot komt. Er gaat zo kanaalcapaciteit verloren wanneer machine niets te zeggen heeft.
 - Dynamisch:
 - Gecentraliseerd: Er is 1 entiteit, bv busarbitrage-eenheid die bepaalt wie als volgende de beurt is. Kan gebeuren door in ontvangstnemen van aanvragen.
 - Gedecentraliseerd: Elke machine beslist zelf om al dan niet te zenden.

1.2.1.2. Point-to-pointnetwerken

- Groot aantal verbindingen tussen paren machines
- Bron => bestemming via aantal machines gaan.
- Vaak meerdere routes van verschillende lengte mogelijk => beste routes vinden.
- Soms unicasting genoemd

1.2.2. Schaal

AFSTAND TSS PROCESSORS	PROCESSORS IN DEZELFDE	NAAM/VOORBEELD
1m	Vierkante meter	Personal Area Network
10 m	Ruimte	Local Area Network
100 m	Gebouw	
1 km	Campus	
10 km	Stad	Metropolitan Area Network
100 km	Land	Wide Area Network
1000 km	Continent	
10000 km	Planeet	Internet

1.2.2.1. Local Area Network

- LAN's onderscheiden zich in 3 kenmerken van andere soorten netwerken
 - Omvang
 - Transmissietechniek
 - Topologie
- Beperkte grootte => Transmissietijd voor ongunstigste geval is begrensd en van tevoren bekend.
 - Beheer vereenvoudigd
 - Ontwerpen gebruiken die anders niet mogelijk zouden zijn
- Gebruiken vaak transmissietechniek bestaande uit één kabel waarop alle machines aangesloten zijn. Traditioneel snelheid tss 10 en 100 Mbps, korte vertraging, zeer weinig fouten. Nieuwere LAN's tot 10 Gbps.

- Verschillende topologieën mogelijk.
 - Busnetwerk: Lineaire kabel: 1 machine is op bepaald ogenblik baas en mag zenden. Arbitragemechanisme nodig om conflicten op te lossen wnr 2 machines tegelijk willen zenden. Kan gecentraliseerd of gedistribueerd zijn.
 - In IEEE 802.3 (ethernet) is gedistribueerd. Computers kunnen zenden wnr ze willen. Als pakketten in botsing komen wacht elke computer willekeurige tijd en probeert opnieuw.
 - Ring: Elke bit gaat op eigen gelegenheid verder en wacht niet op rest vh pakket waartoe h behoort.
 - IEEE 802.5 (token ring van IBM)
 - FDDI

1.2.2.2. Metropolitan Area Network

- Vb: kabeltelevisienetwerk
- Nadat internet groot werd ontdekten kabelexploitanten dat ze door kleine wijzigingen ongebruikte delen v spectrum konden gebruiken voor duplexdienst.

1.2.2.3. Wide Area Network

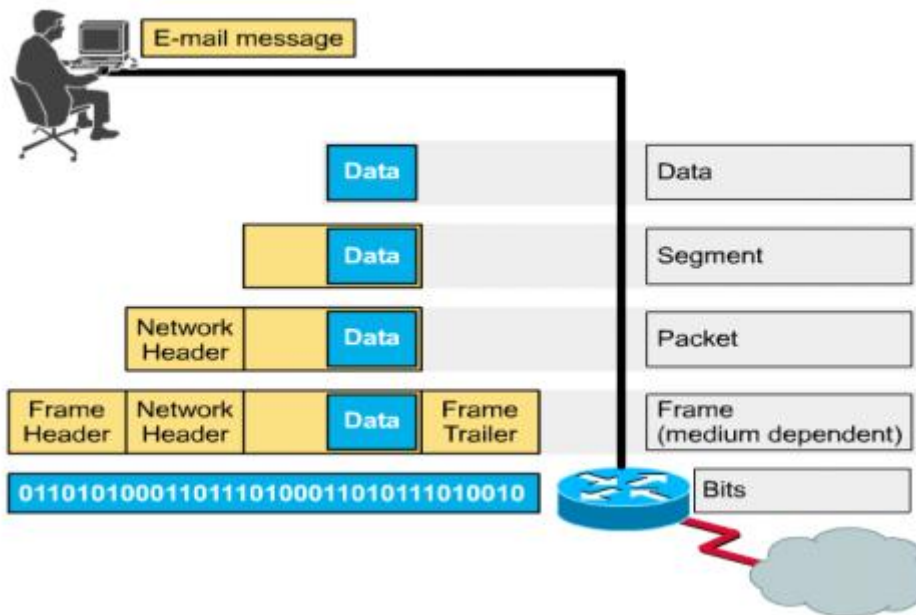
- Groot geografisch gebied
- Omvat aantal machines die bestemd zijn voor draaien v gebruikersprogramma's = hosts
- Hosts zijn verbonden door communicatiesubnet (kortweg subnet).
- Hosts zijn in het bezit v klanten (bv pc's van mensen), terwijl het subnet in bezit is van en beheerd w door een telefoonmaatschappij of ISP.
- Meeste wans hebben 2 afzonderlijke componenten
 - Transmissielijnen: brengen bits v ene naar andere machines
 - Schakelelementen: Gespecialiseerde computers die drie of meer transmissielijnen verbinden. Wanneer pakket binnenkomt wordt de juiste lijn gekozen om voort te sturen. → Routers.

1.3. Netwerksoftware

1.3.1. Protocolhiërarchieën

- Om complexiteit v ontwerp te verlagen w meeste netwerken opgezet als stapel lagen. Elke laag is gebouwd op de laag eronder. Aantal lagen, naam, inhoud & functie verschilt v netwerk tot netwerk.
- Doel laag is aanbieden v diensten aan hogere lagen, blackboxgewijs.
- Laag n op machine 1 en laag n op machine 2 (=peers) communiceren via protocol.
 - In realiteit communiceren ze niet direct, maar via onderliggende lagen.
- Tussen elke 2 opeenvolgende lagen is er een interface.
- Verzameling netwerken & protocollen = de netwerkarchitectuur.
- Serie protocollen die door systeem w gebruikt = protocolstack
- Elke laag plaatst een header voor het pakket/bericht (afhankelijk van voor of na packetsplitsing) om het protocol te identificeren en andere informatie.
- Op het einde w er ook nog een trailer toegevoegd.
- Wordt vaak in firmware geïmplementeerd

Data Encapsulation Example



1.3.2. Ontwerpaspecten van de lagen

- Elke laag moet mechanisme hebben om zenders & ontvangers aan te duiden. Er is dus adressering nodig.
- Er moet ook een mechanisme tot afhandeling v fouten zijn.
- Het moet mogelijk zijn pakketten terug in de juiste volgorde te zetten.
- Flow control: mag de ontvanger (of tussenstations) niet in overflow laten gaan
- Moet pakketgrootte w afgesproken
- Evt kan voor meerdere berichten dezelfde verbinding worden gebruikt: multiplexen.
- Tss zender & ontvanger moet beste route w gekozen: routing

1.3.3. Verbindingsgerichte en verbindingsloze diensten

- Verbindingsgericht: Vb: telefoonsysteem. Toetst nummer in, verbinding wordt gemaakt, communicatie, verbinding w afgebroken.
- Verbindingsloos: Vb: postsysteem. Communicatie, Communicatie, Communicatie
- Elke dienst w gekenmerkt door Quality of Service. Sommige diensten bevestigen elk pakket dat ze aankrijgen. Dit zorgt ervoor dat pakketten opnieuw kunnen verzonden worden en dus veiliger, maar wel meer tijd.
- Verbindingsloze diensten zonder bevestiging = datagram diensten. Snelheid belangrijker dan volledigheid (bv videochat)
- Verbindingsloze dienst met bevestiging = bevestigde datagram dienst.
- Ander soort is request-reply service. Client door request, server stuurt reply.

1.4. Referentiemodellen

1.4.1. OSI-referentiemodel

- Ontwikkeld door de International Standards Organisation.
- Volledige naam: ISO OSI (Open System Interconnection) Reference Model

- 7 lagen volgens 5 principes:
 1. Waar ander niveau v abstractie nodig is moet laag w gecreëerd
 2. Elke laag moet welomschreven functie hebben
 3. Functie v laag moet w gekozen met in het achterhoofd het definiëren van internationaal gestandaardiseerde protocollen
 4. Scheidingslijnen tss lagen moeten zo gekozen w dat hoeveelheid informatie die via interfaces moet w overgebracht zo klein mogelijk is
 5. Aantal lagen moet zo groot zijn dat afzonderlijke functies niet in dezelfde laag bijeen gezet moeten w en toch zo klein dat architectuur niet onhandig omvangrijk w.

1.4.1.1. Fysieke laag (physical layer)

- Verzenden v bits over communicatiekanaal.

1.4.1.2. Datalink laag (data link layer)

- Transmissiefaciliteit-zonder-meer transformeren in lijn die voor netwerklaag vrij lijkt te zijn van transmissiefouten.
- Door invoerdata te splitsen in dataframes (meestal enkele honderden of duizenden bytes) en deze frames 1 voor 1 over te sturen.
- Ook flow control

1.4.1.3. Netwerklaag

- Doet routing
 - Via statische tabellen
 - Dynamisch: bij elk bericht opnieuw bepaald
- Verder ook netwerk => netwerk problemen oplossen (bv. Andere ip-range, verschillende pakketgrootte)
- In broadcastnetwerken klein of onbestaande

1.4.1.4. Transportlaag

- In ontvangst nemen van data en ze in pakketten splitsen
- Bepaalt ook het soort transportdienst (bvb point-to-point)

1.4.1.5. Sessielag

- Stelt machines in staat onderling sessies te starten
 - Voor het regelen v dialoog, token-beheer, synchronisatie

1.4.1.6. Presentatielaag

- Syntax & semantiek
- Abstracte gegevensstructuren

1.4.1.7. Applicatielaag

- Bevat protocollen die users vaak nodig hebben, bv: http (HyperText Transfer Protocol)

1.4.2. TCP/IP-referentiemodel

- Gebruikt in ARPANET

1.4.2.1. Internetlaag

- Packet-switched (dus verbindingsloos).

- Stelt hosts in staat pakketten in willekeurig netwerk te zetten en dan onafhankelijk naar bestemming laten reizen. Hogere lagen moeten dan volgorde herstellen.
- IP (Internet Protocol)

1.4.2.2. Transportlaag

- Peer-entiteiten op bron en bestemming in staat stellen conversatie te voeren (zoals bij OSI)
- 2 end-to-endprotocollen gedefiniëerd
 - TCP: Transmission Control Protocol. Betrouwbaar & verbindingsgericht.
 - UDP: User Datagram Protocol. Onbetrouwbaar & verbindingsloos.

1.4.2.3. Applicatielaag

- TCP/IP heeft geen sessie- of presentatielaag. Men vond deze niet nodig en zijn dus weggelaten. Ervaring met OSI-model heeft uitgewezen dat dit meestal klopt.
- Bevat hogere protocollen, zoals SMTP, TELNET, http, FTP, DNS

1.4.2.4. Host-naar-netwerklaag

- Wat onder de internetlaag zit is niet duidelijk gespecificeerd in TCP/IP. Ook geen protocol. Wat er effectief gedaan w, varieert v host tot host en v netwerk tot netwerk.

1.4.3. Vergelijking tss OSI & TCP/IP

- Hebben veel gemeen. Zijn beiden gebaseerd op idee van serie onafhankelijke protocollen. Ook komen sommige lagen overeen
- In OSI staan drie concepten centraal: diensten, interfaces & protocollen. Grootste bijdrage van OSI is dat dit onderscheid w gemaakt.
 - Dienst geeft aan wat laag doet.
 - Interface bepaalt hoe lagen erboven met de laag kunnen communiceren.
 - Peer-protocollen die in de laag worden gebruikt zijn enkel in de laag bekend. Blackbox-principe
- TCP/IP maakte aanvankelijk dit onderscheid niet hoewel men nadien dit nog heeft proberen in te bouwen.
- Gevolg is dat OSI meer los staat van protocollen en dus protocollen kunnen vervangen worden. Is ook het doel van het gelaagd werken.
- OSI-model is ontworpen voor de protocollen. Zo was het niet partijdig voor/tegen bepaalde set protocollen maar wist men ook niet goed wat/waar nodig was. Datalink-laag deed aanvankelijk bv enkel point-to-point, maar toen broadcast werd uitgevonden moest er een nieuwe sublaag in gestoken w.
- Toen men echte netwerken begon te bouwen met OSI en bestaande protocollen kwam men tot de ontdekking dat deze niet overeen kwamen, dus moest men convergentiesublagen in het model steken om dit op te lossen.
- Ook verwachtte men dat ieder land één netwerk zou hebben, geëxploiteerd door overheid. Concept internet was dus geen rekening mee gehouden.
- TCP precies omgekeerd. Eerst protocollen, dan model. Model was eigenlijk beschrijving v protocollen. Dit zorgde er echter voor dat het model niet bij andere protocolstacks paste.
- Ook plaats van verbindingsgerichte en verbindingsloze mogelijkheden verschilt.

1.5. Ethernet

- Ontwikkeling Ethernet begon in Hawaï. Geen telefoonsysteem, wat voor onderzoekers nogal lastig was. Eigen telefoonkabels leggen tussen de eilanden was geen optie. => Kortegolfzenders. Elke userterminal werd voorzien van kleine zender met 2 frequenties: upstream (naar centrale computer), downstream (van centrale computer). Wanneer terminal wilde communiceren verzond het upstreampakket, en als dat goed aankwam stuurde centrale computer downstream bevestiging. Doordat er downstream maar één zender was waren daar geen botsingen. → AHOLANET. Werkte goed voor weinig verkeer maar stortte in bij veel verkeer. **Norman Abramson** was belangrijke persoon hier.
- Rond diezelfde tijd behaalde Bob Metcalfe bachelor aan MIT en ging voor Ph.D op Harvard. Tijdens studies kwam hij in aanraking met werk van Abramson. Na af te studeren op Harvard ging hij naar Hawaï voor de zomer voor hij bij Xerox PARC (Palo Alto Research Center) begon te werken. Bij PARC zag hij wat later basis zou worden voor PC, maar stond niet in netwerk. Met kennis van Aholanet en met collega David Boggs ontwierp hij eerste local area network.
- => Ethernet. Transmissiemedium was coaxiale kabel met maximale lengte van 2,5 km (met repeaters per 500m). Maximaal 256 computers, via transceivers op de kabel vastgeschroefd.
- Kabel waarop meerdere machines parallel w aangesloten noemt men **multidropkabel**.
- Werkte op 2,94 Mbps. Voordeel tov aholanet: luisterde of er al iemand aan het zenden was voor het zelf begon te zenden. Als zo echter 2 computers op zelfde moment beginnen te zenden is er nog steeds een probleem. Daarom luisteren computers ook tijdens het eigen zenden en wanneer ze probleem detecteerden vulden ze de ether met nog meer signalen om de anderen hierop attent te maken. Daarna stoppen met zenden en willekeurige tijd wachten.
- Ethernet van Xerox was zo succesvol dat Dec, Intel en Xerox in 1978 standaard opstelden voor 10 Mbps ethernet, de DIX-standaard. Met 2 kleine aanpassingen werd dit IEEE 802.3
- Xerox toonde weinig belangstelling om het verder commercieel te gebruiken, dus startte Metcalfe eigen bedrijf: 3Com, om ethernetadapters voor pc's te verkopen.
- Ethernet ondertussen al verder geëvolueerd
- Ook andere lan-standaarden: 802.4: token-bus; 802.5: token ring. Reden van 3 incompatibele standaarden is puur macht.
- Op moment v standaardisatie adverteerde General Motors met lan met vergelijkbare topologie aan ethernet, maar waarbij computers om de beurt konden versturen door klein pakket, token, aan elkaar door te geven. GM verkondigde ook dat deze methode essentieel was voor productie van auto's en weigerde iets aan positie te doen, maar toch is 802.4 ongeveer verdwenen.
- Ook IBM had eigen voorkeur. Zoals 802.4, maar token wordt in een ring geplaatst. 802.5 wordt nagenoeg enkel bij IBM gebruikt.

1.6. Internationale standaarden

De standaarden van de Internet Architecture Board (**Vet** is belangrijk. *Cursief* is inactief en ~~Doorstreept~~ is opgeheven)

- 802.1: Overzicht en structuur van LAN's
- 802.2: Besturing v logische links
- **802.3**: Ethernet

- 802.4: Token-bus
- 802.5: Token-ring
- 802.6: Dual queue dual bus
- 802.7: Technische adviesgroep over breedbandtechnologieën
- ~~802.8~~: Technische adviesgroep over glasvezeltechnologieën
- 802.9: Isochrone LAN's
- 802.10: Virtuele LAN's & beveiliging
- **802.11**: Draadloze lan
- 802.12: Demand Priority (AnyLAN van Hewlett-Packard)
- 802.13: (overgeslagen)
- 802.14: Kabelmodems
- **802.15**: Personal Area Netwerken (Bluetooth)
- **802.16**: Breedband Draadloos
- 802.17: Resilient packet ring

1.7. Metrische eenheden

10^{-24}	10^{-21}	10^{-18}	10^{-15}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}
yocto	zepto	atto	femto	pico	nano	micro	milli
10^{24}	10^{21}	10^{18}	10^{15}	10^{12}	10^9	10^6	10^3
Yotta	Zetta	Exa	Peta	Tera	Giga	Mega	Kilo

2. De Fysieke Laag

2.1 Vaste Transmissiemedia

- Doel fysieke laag = transporteren van bitstroom vanuit de ene machine naar de andere.
- Verschillende fysieke media mogelijk. Elk mogelijk medium heeft eigen positie in termen van bandbreedte, vertraging, kosten en gemak van installatie en onderhoud

2.1.1. Magnetische media

- Eén van de meestgebruikte manieren om data van de ene naar de andere computer te transporteren: magneetband of uitneembare media (bvb opneembare DVD's)
- Mag niet onderschat worden. (bv. Ultrium-magneetband v 200 GB (€40). 1000 in een doos = 200 TB, €4000.
 - 24u transport = 19 Gbps; 1u transport = 400 Gbps
 - Transport €1000 (hoge prijs): 0,03€/GB
 - *“onderschat nooit de bandbreedte van een bestelwagen vol magneetbanden die over een snelweg raast”* – Computernetwerken 4.ed (A.S. Tanenbaum)

2.1.2. Twisted-pair kabels

- Oudste en meest-gebruikte netwerkkabel is de twisted-pair kabel.
 - Twee geïsoleerde koperdraden, ong 1 mm dik. Worden spiraalwijs om elkaar gewonden. Dit omdat ze anders elkaars (magnetische) signalen zouden hinderen
- Vooral gebruikt in telefoonsysteem. Kunnen zonder versterking enkele km aan.

- Kunnen zowel voor analoge als digitale signalen worden gebruikt. Bandbreedte hangt af van dikte en afstand. Vanwege gunstige prijs-prestatie verhouding zal dit wrs blijven gebruikt worden.
- Verschillende soorten twisted-pair kabels, 2 belangrijk voor computernetwerken.
 - Categorie 3: Twee geïsoleerde draden die losjes rond elkaar gedraaid zijn. 4 zo'n paren in plastic omhulsel
 - Categorie 5 (sinds 1988): Lijkt op categorie 3, maar meer windingen per cm. Minder overspraak en betere signaalkwaliteit op lange afstand.
 - Categorie 6 en 7 maken opmars
- UTP (Unshielded Twisted Pair)

2.1.3. Coaxiale kabels (of coax)

- Omhulsel beter dan bij TP => lange afstanden, hogere snelheden
- Twee soorten op grote schaal gebruikt
 - 50-ohm: digitale transmissie
 - 75-ohm: analoge transmissie, kabeltelevisie
 - Onderscheid is puur op historische factoren gebaseerd
- Stijve kern van koperdraad, omgeven door isolatiemateriaal, omgeven door cilindrische gewoven geleider, omgeven door plastic omhulsel.
- Grote bandbreedte, uitstekend bestand tegen ruis

2.1.4. Glasvezels

- Theoretische bandbreedte van 50 Tbps, maar voorlopig praktische grens (decoders/encoders) van 1 Gbps. Kunnen niet sneller elektrisch \leftrightarrow optisch
- Optisch transmissiesysteem heeft drie componenten: lichtbron, transmissiemedium, detector.
 - Lichtpuls = 1-bit, afwezigheid van licht = 0-bit
 - Transmissiemedium= uiterst dunne vezel (fiber) van glas
 - Detector genereert elektrische puls wanneer er licht op valt
- Wanneer licht van het ene in het andere medium overgaat, buigt de straal af. Zo kunnen we verschillende stralen onder andere hoeken sturen zonder dat ze conflicteren. Dit is de multimode fiber
- We kunnen ook 1 straal er recht doorsturen, dit is dan single-mode fiber.

2.1.4.1. Transmissie van licht door glasvezels

- Optische vezels van glas, dat van glas is gemaakt, is goedkoop en onbepaald beschikbaar
- De verzwakking van het licht door het glas hangt af van de golflengte van het licht en enkele fysieke eigenschappen van het glas.
- De lengte van de lichtpulsen die door een glasvezel worden geleid, wordt tijdens de voortplanting gespreid. Deze spreiding wordt chromatische strooiing of chromatische dispersie genoemd. Hoeveelheid strooiing hangt af van golflengte. Men kan pulsen een speciale vorm geven zodat de strooiingseffecten elkaar opheffen. Dit zijn solitonen.

2.1.4.2. Glasvezelkabels

- Glasvezelkabels zijn zoals coax maar zonder het vlechtwerk. In het midden zit een kern waardoor het licht zich voortplant. Bij multimode 50 microns dik, bij singlemode 8 tot 10 microns.
- Daarrond zit een glazen bekleding met lagere brekingsindex dan de kern om het licht in de kern te houden. Daarrond zit een plastieken bekleding
- Glasvezels worden meestal in bundels gegroepeerd en door een omhulsel beschermd.
- Glasvezels kunnen op drie manieren met elkaar verbonden worden
 - Kabels eindigen op connectors en worden in contactdozen geplugd. 10-20% licht gaat verloren, maar herconfigureren netwerken is makkelijker
 - Mechanisch lassen: twee uiteinden worden zorgvuldig afgesneden. Worden dan in speciale huls tegen elkaar gelegd en geklemd. Kan verbeterd worden door licht te maximaliseren. Verlies 10%. Duurt 5 min om te leggen.
 - Aan elkaar smelten om één doorgaande verbinding te maken. Klein verlies.
- 2 soorten licht
 - LED (Light Emitting Diode)
 - Halfgeleiderlaser
- Ontvangen met fotodiode die elektrische puls afgeeft wanneer er licht opvalt. 1 Gbps

Item	LED	Semiconductor laser
Data rate	Low	High
Fiber type	Multimode	Multimode or single mode
Distance	Short	Long
Lifetime	Long life	Short life
Temperature sensitivity	Minor	Substantial
Cost	Low cost	Expensive

2.1.4.3. Glasvezelnetwerken

- Kan zowel voor LANs als voor WANs
- 2 soorten interfaces
 - Passieve interface: twee aftakkingen die op hoofdvezel zijn gesmolten. Ene heeft LED/Laser, andere heeft fotodiode. Aftakking zelf is geheel passief en daardoor betrouwbaar, want ring wordt niet onderbroken als er een LED/Laser/Fotodiode kapot gaat. Verliest bij elke koppeling licht, dus aantal beperkt.
 - Active repeater: Binnenkomend licht wordt omgezet naar elektrisch signaal, evt versterkt en dan als licht verder gezonden. Interface met computer is gewone koperdraad die op signaalgenerator binnenkomt. Tegenwoordig ook zuiver optische repeaters, die niet via elektrisch moeten en dus hogere bandbreedte. Als repeater uitvalt wordt ring onderbroken en valt netwerk uit. Kan met herhaalde repeaters onbeperkt lang zijn.

- Ook broadcast is mogelijk met de passieve sterconstructie. Inkomende en uitgaande glasvezels worden aan tegenovergestelde kanten van cilinder van siliciumdioxide gesmolten. Wanneer er een signaal inkomt, vangen alle uitgaanden het op.
- **full duplex** verbinding (tweebaansweg)
gelijktijdig dataverkeer in beide richtingen
- **half duplex** verbinding (enkel spoor)
dataverkeer in beide richtingen maar niet gelijktijdig
- **simplex** verbinding (enkelrichtingstraat)
dataverkeer in slechts één richting mogelijk

2.2. Het openbare telefoonsysteem

2.2.1. De netlijn: modems, ADSL en draadloze verbindingen

- Verkeers- en eindcentrales bevatten schakelapparatuur om gesproken door te schakelen. Eindcentrale heeft max 10.000 netlijnen.
- Netlijn is twee-aderige lijn eindcentrale ↔ eindgebruikers. Kan enkele kilometers lang zijn. Analoge signalen.
- Wanneer computer over analoge lijn wil zenden moeten gegevens eerst naar analoge vorm w geconverteerd door modem. In eindcentrale w gegevens geconverteerd naar digitale vorm voor langeafstandslijnen.
- Analoge signalen ontstaan door een spanning in tijd te laten variëren als representatie v informatiestroom.
- Transmissielijnen zijn onderhevig aan 3 problemen
 - Verzwakking: verlies v energie terwijl signaal zich voortplant. Wordt uitgedrukt in db/km. Hoeveelheid hangt af v frequentie.
 - Verdragingsvorming: Doordat signalen zich aan verschillende snelheden door kabel voortbewegen ontstaat er verdragingsvorming
 - Ruis: Ongewenste energie v andere bronnen dan zender. Thermische ruis w veroorzaakt door toevallige bewegingen v elektronen in draad en is niet te vermijden. Overspraak w veroorzaakt door inductieve koppeling tss 2 draden die te dicht bij elkaar liggen. Impulsrui: korte pulsen op de spanningslijn

2.2.1.1. Modem

- Vanwege bovengenoemde problemen is het niet wenselijk dat signaal een breed bereik aan frequenties bevat. Blokgolven in digitale signalen hebben echter wel breed spectrum en zijn dus onderhevig aan sterke verzwakking en verdragingsvorming. Deze effecten maken basisbandsignalen (DC) alleen geschikt vr lage snelheden & korte afstanden.

- Om de problemen met gelijkstroomsignalen te omzeilen w er wisselstroom gebruikt. Uitgaan van continue toon in bereik van 1000 tot 2000 Hz (**draaggolf**). Amplitude, frequentie of fase kan w gemoduleerd vr transmissie van informatie
 - **Amplitudemodulatie**: voor weergeven van 0 of 1 w twee verschillende spanningsniveau's gebruikt.
 - **Frequentiemodulatie**: Gebruikt twee (of meer) verschillende tonen.
 - **Fasemodulatie**: draaggolf w systematisch en op gelijke tijdsintervallen met aantal graden verschoven.

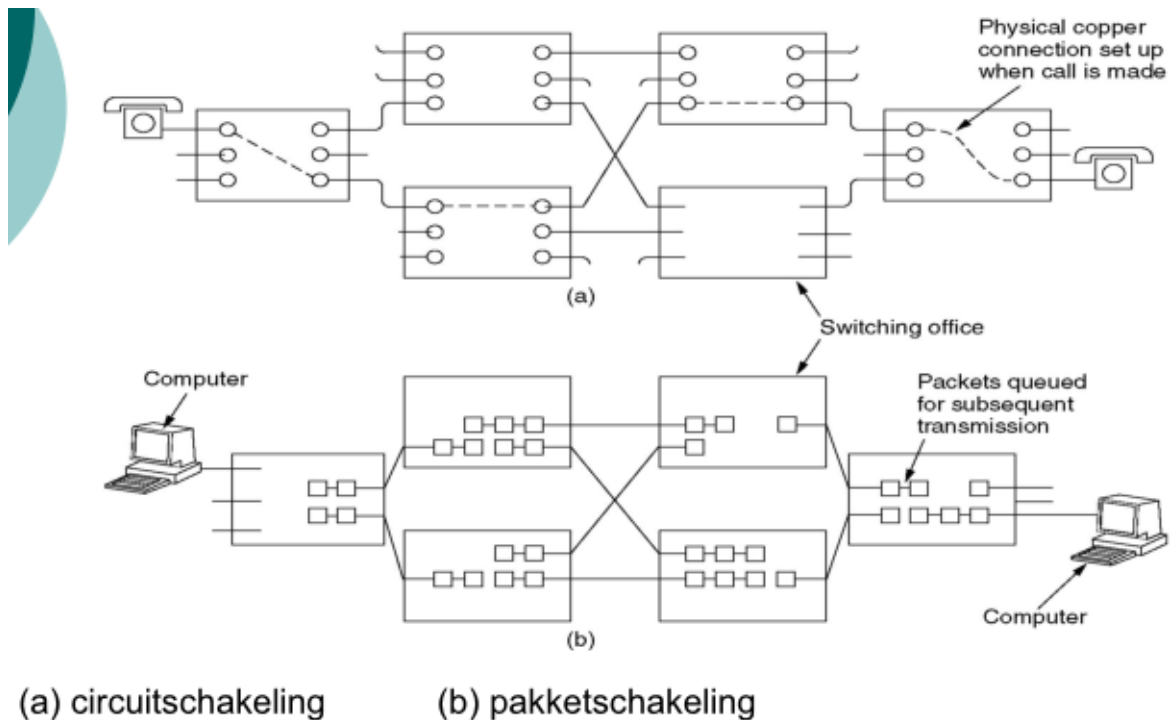
2.2.1.2. Digital Subscriber Line

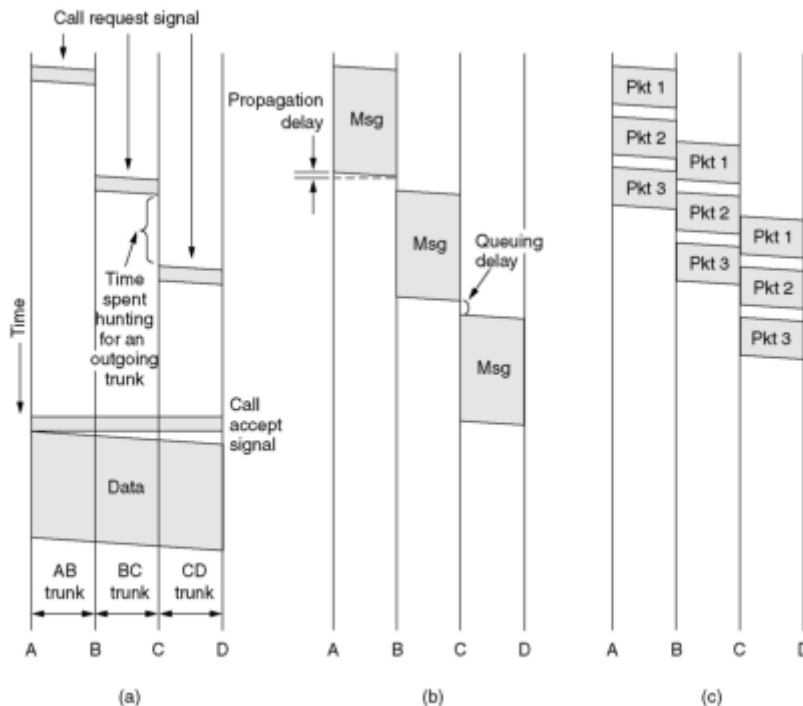
- Toen telefoonmaatschappijen begonnen te realiseren dat toegang tot internet steeds belangrijker werd en ze dus een concurrerend product moesten maken begonnen ze met het aanbieden v nieuwe digitale diensten over de netlijn. Diensten met meer bandbreedte dan de standaardtelefoondienst worden breedband genoemd, maar is vooral marketing.
- In eerste instantie waren veel overlappende diensten die allen onder de naam xDSL (Digital Subscriber Line) werden aangeboden. Meest populaire: ADSL (Asymmetric DSL)
- Modems zijn traag omdat ze zijn gemaakt voor overbrengen v menselijke spraak en verzenden v gegevens minder belangrijk was. Bepaalde frequenties w verzwakt. xDSL doet men dan werken door aangesloten klanten te verbinden met andere soort switch waarop dit soort filtering niet toegepast w en dus de hele capaciteit vd netlijn beschikbaar w.
- Telefoonmaatschappij moet balans vinden tussen afstand en snelheid.
- xDSL diensten zijn ontworpen met oog op te leveren diensten.
 - Moeten werken over cat 3 TP
 - Mogen bestaande telefoons en faxmachines v klanten niet verstoren
 - Moeten veel sneller zijn dan 56 kbps
 - Altijd beschikbaar tegen alleen maandelijkse vergoeding
- Eerste ADSL-aanbod was van AT&T en werkte door het beschikbare spectrum op de netlijn, ong 1.1 MHz, op te splitsen in 3 frequentiebanden: POTS (Plain Old Telephone Service), upstream (gebruiker => eindcentrale), downstream (eindcentrale => gebruiker). Techniek waarbij verschillende frequentiebanden w gebruikt, w frequentie-multiplexing genoemd.
- Alternatieve methode: DMT (Discrete MultiTone). Beschikbaar spectrum op netlijn, 1.1 MHz, w opgedeeld in 256 onafhankelijke kanalen v 4312,5 Hz. Kanaal 0 w gebruikt voor POTS. Kanalen 1-5 zijn niet in gebruik en dienen om ervoor te zorgen dat spraak- en gegevenssignalen elkaar niet verstoren. Van de resterende kanalen w er één gebruikt voor upstreambesturing en 1 vr downstreambesturing. Rest is beschikbaar v gebruikersgegevens.
- In principe kunnen alle overblijvende kanalen w gebruikt voor full duplex gegevensstroom, maar door overspraak ea blijven systemen in praktijk ver onder theoretische grens. Provider mag zelf bepalen hoeveel kanalen gebruikt w voor upstream en hoeveel voor downstream. Technisch is gelijke verdeling mogelijk, maar meeste providers wijzen ongeveer 80 tot 90% toe aan downstream, aangezien meeste gebruikers veel meer downloaden dan uploaden. Dit geeft de betekenis aan de A in ADSL. Het is ook mogelijk enkele van de hoogste upstreamkanalen bidirectioneel te maken voor hogere bandbreedte, maar hiervoor is een speciale schakeling nodig om echo's te voorkomen.
- ADSL standaard staat snelheden tot 8 Mbps downstream en 1 Mbps upstream toe. Er zijn echter maar weinig providers die deze snelheid aanbieden. Meestal 512 kbps downstream en

64 kbps upstream of 1 Mbps downstream en 256 kbps upstream. Binnen elk kanaal w modulatiemethode gebruikt die vergelijkbaar is met V.34. Afstastsnelheid is echter 4000 baud ipv 2400 baud. Lijnkwaliteit v elk kanaal w constant gecontroleerd & overdrachtsnelheid w continu aangepast, waardoor versch kanalen mogelijk versch overdrachtsnelheden hebben. Eigenlijke gegevens w verzonden met QAM-modulatie, met max 15 bits per baud. Bij bvb 224 downstreamkanalen en 15 bits/baud bij 4000 baud is de downstreambandbreedte 13,44 Mbps. In praktijk is signaal-ruisverhouding nooit goed genoeg om deze snelheid te bereiken, maar 8 Mbps is mogelijk over korte, kwalitatief hoogwaardige lijnen. Daarom is de standaard zo hoog gedefinieerd.

- ADSL-configuratie
 - NID (Network Interface Device) moet geïnstalleerd w in huis v klant. Dit w gemonteerd aan eind v netlijn v telefoonmaatschappij en voor huisinstallatie v klant. Vlakbij NID of soms ermee gecombineerd w een splitter geplaatst. Dit is een filter die POTS scheidt v gegevens. Gegevens w naar ADSL-modem gestuurd. Is digitale signaalprocessor die ingesteld is om te werken als 250 QAM-modems die parallel op verschillende frequenties werken.
 - Aan andere kant, bij eindcentrale, w een corresponderende splitter geïnstalleerd. Daar w het spraakdeel uit het signaal gefilterd en verzonden naar de normale spraakswitch. De gegevens gaan naar een DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) verzonden die vergelijkbare digitale signaalprocessor bevat als ADSL-modem. Het omgezette signaal w opgesplitst in pakketten en verder verzonden naar ISP.
 - Volledige scheiding tss spraakstelsel en ADSL zorgt ervoor dat telefoonmaatschappij relatief eenvoudig ADSL kan implementeren

2.2.2. Schakelen





(a) Circuit switching (b) Message switching (c) Packet switching

2.2.2.1. Circuit-schakeling

- Wanneer men een nummer belt zoekt de schakelapparatuur in het telefoonsysteem een fysiek pad dat vanaf telefoontoestel naar dat van de ontvanger leidt.
- Als er een oproep bij de centrale binnenkomt w er (conceptueel) een fysieke verbinding tot stand gebracht tss inkomende en uitgaande lijn.
- Model v bovenstaande figuur is natuurlijk sterk vereenvoudigd, omdat delen vh fysieke pad tss twee telefoontoestellen in feite kunnen bestaan uit microgolfverbindingen waarin duizenden gesprekken gemultiplext zijn. Het basisidee dat er tijdens de duur vh een exclusieve verbinding is tss de uiteinden blijft echter overeind.

2.2.2.2. Berichtschakeling

- Er w gn fysiek pad tss zender en ontvanger tot stand gebracht. Als zender blok data wil versturen w dat eerst in eerste schakelcentrale bewaard en dan later doorgestuurd. Elk blok w in zijn geheel ontvangen, nagekeken op fouten en verder doorverzonden. Store-and-forwardnetwerk. Gebruikt in telegrammen.

2.2.2.3. Pakketschakeling

- Bij berichtschakeling is er gn grens aan grootte v blok wat betekent dat routers disks moeten hebben om lange blokken te bufferen. Houdt ook in dat één blok lijn tss 2 routers minutenlang bezet kan houden, waardoor het onbruikbaar w voor interactief verkeer => Pakketschakeling. Grens aan grootte van blokken en zo blokken laten bufferen in geheugen.

Item	Circuit-switched	Packet-switched
Call setup	Required	Not needed
Dedicated physical path	Yes	No
Each packet follows the same route	Yes	No
Packets arrive in order	Yes	No
Is a switch crash fatal	Yes	No
Bandwidth available	Fixed	Dynamic
When can congestion occur	At setup time	On every packet
Potentially wasted bandwidth	Yes	No
Store-and-forward transmission	No	Yes
Transparency	Yes	No
Charging	Per minute	Per packet

A comparison of circuit switched and packet-switched networks.

vervoer met eigen wagen via de weg (zelf grootte, snelheid en type voertuig bepalen) vs spoorweg

2.3. Kabeltelevisie

2.3.1. Centrale antenne-installaties

- Ontstond aan eind '40 als manier om betere ontvangst te realiseren vr kijkers in afgelegen of bergrijke gebieden. Bestond oorspronkelijk uit grote antenne bovenop heuvel die televisiesignaal uit de lucht plukte, een versterker (het kopstation) om het opgegeven signaal te versterken en een coaxiale kabel om het signaal bij de abonnees af te leveren.
- In beginjaren w kabeltelevisie Centrale Antenne-installatie genoemd. Door amateurs opgezet. Als het aantal abbonees toenam werden er extra kabels op de oorspronkelijke kabel aangesloten (evt met versterkers). Eénrichtingsverkeer.
- Vanaf 1974 begonnen er kabel-only kanalen te komen. Dit zorgde voor twee veranderingen in de industrie.
 - Grote bedrijven begonnen op grote schaal kleine bestaande kabelsystemen op te kopen en nieuwe kabel te leggen om nieuwe abonnees te winnen
 - Er ontstond de noodzaak om verschillende systemen in verschillende steden met elkaar te verbinden.

2.3.2. Internet via kabel

- In loop van tijd werden kabels tss steden vervangen door glasvezel. Combinatie van glasvezel voor grote afstanden en coax naar huizen w HFC (Hybride Fiber Coax) genoemd. De elektro-optische convertors w fiber nodes genoemd. Aangezien bandwidth fiber veel groter is dan bandwidth coax kan fiber verschillende coax-kabels voeden.
- In afgelopen jaren zijn veel kabelexploitanten ook internet gaan aanbieden via kabel. Er zijn echter wel technische verschillen. Zo moeten bvb unidirectionele versterkers vervangen w door bidirectionele versterkers.
- Een ander groot verschil is dat bij kabel een kabel w gedeeld door meerdere aansluitingen, terwijl bij telefoonlijnen 1 per klant is. Daarom moeten kabelexploitanten lange kabels opsplitsen.

3. De Datalinklaag

3.1. Ontwerpaspecten vd datalinklaag

- De datalinklaag heeft een aantal specifieke functies:
 - Verschaffen v goed gedefiniëerde interface naar netwerklag
 - Afhandelen v transmissiefouten
 - Reguleren v framestroom zodat langzame ontvangers niet geoverflowed worden
- DLL accepteert pakketten v netwerklaag en verpakt die voor verzending in frames. Elk frame bevat header, payloadveld met daarin pakket en frametrailer
- Belangrijkste taak is framebeheer

3.1.1. Aan netwerklaag geleverde diensten

- Belangrijkste dienst is overbrengen v data van netwerklaag v zender naar netwerklaag v ontvanger.
- DLL kan zo ontworpen w dat ze diverse diensten aanbiedt. Geboden diensten kunnen v systeem tot systeem verschillen
 - Onbevestigde verbindingloze dienst: Bronmachine zendt onafhankelijk frames naar doelmachine zonder dat doelmachine die bevestigd. Als er door ruis frame verloren gaat w er geen poging gedaan om dat verlies te herstellen. Geschikt als foutenfrequentie heel laag is, zodat het herstel aan hogere lagen kan w overgelaten. Ook geschikt bij realtime-verkeer, zoals spraak, waar data die te laat is erger als verkeerde data.
 - Bevestigde verbindingloze dienst: Geen verbindingen, maar elk frame w afzonderlijk bevestigd. Zo weet afzender of frame goed is aangekomen. Als het niet binnen bepaald interval is aangekomen, kan het nog eens w verzonden. Nuttig op onbetrouwbare kanalen, zoals draadloze systemen
 - Bevestigde verbindinggerichte dienst: Er w tss bronmachine en doelmachine verbinding tot stand gebracht voordat er data w overgebracht. Elk verzonden frame w genummerd en DLL garandeert dat elk verzonden frame effectief w ontvangen, in juiste volgorde en maar 1 keer.
 - Transfers bestaan uit 3 fasen: (1) verbinding w tot stand gebracht doordat beide zijden variabelen en tellers initialiseren die bijhouden welke frames er zijn ontvangen en welke niet; (2) Frames w verzonden; (3) verbinding w opgeheven.

3.1.2. Frames

- Om data op fouten te controleren zal de DLL data in frames splitsen en van elke frame de checksum berekend. Als frame aankomt w dit opnieuw berekend. Als de twee verschillen dan weet DLL dat er fouten zijn voorgekomen en neemt ze stappen om fout af te handelen.
- Opdelen v bitstroom in frames is moeilijker dan het op eerste zicht lijkt. Manier om verdeling te maken is door lege intervallen tss frames aan te brengen. Maar netwerken geven zelden garantie v timing, dus kan zijn dat lege intervallen wegvallen of er extra ontstaan.
- Vaak w verschillende methodes gebruikt, voor grotere veiligheid.

3.1.2.1. Tellen v tekens

- Veld in header w gebruikt om aantal tekens in frame aan te geven. Door transmissiefout kan dit echter ook veranderen en kan ontvanger dus frames fout detecteren. Ook terugsturen foutcode kan niet want ontvanger weet niet hoeveel tekens er moeten w overgeslagen. Zelden gebruikt

3.1.2.2. Vlagbytes met byte-stuffing

- Probleem van resynchronisatie na fout w opgelost doordat elk frame begint en eindigt met speciale bytes. Vroeger waren begin en einde anders, nu vaak hetzelfde scheidingsteken, een vlagbyte genoemd.
- Probleem als binaire data overeenkomt met tekenreeks vlagbyte. DLL v zender gaat daarom speciale byte (aangeduid met ESC) voor elke toevallige vlagbyte plaatsen. DLL ontvanger verwijderd die dan weer. Dit heet **byte-stuffing** of **character-stuffing**.
- Natuurlijk nog steeds probleem als ESC-reeks ook in data voorkomt. Daarom voor elke toevallige ESC-reeks in data ook ESC-reeks zetten.
- Belangrijk nadeel: sterk gebonden aan tekens v 8 bits. UNICODE gebruikt echter 16-bit tekens.

3.1.2.3. Start- en eindvlaggen met bitstuffing

- Dataframes mogen uit willekeurig aantal bits bestaan en er mogen willekeurig # bits per teken w gebruikt. Elk frame begint met speciaal patroon: 01111110, wat in feite vlagbyte is.
- Voor escape-redenen zal DLL v zender elke keer ze vijf opeenvolgende 1'en tegenkomt een 0 toevoegen. (=bit-stuffing). DLL ontvanger zal 0'en bij vijf opeenvolgende 1'en weghalen.

3.1.2.4. Schending v codering fysieke laag

- Alleen toepasbaar in netwerken waar codering op fysiek medium enige redundantie bevat. Op sommige LAN's bv, w één databit met twee fysieke bits gecodeerd. Gewoonlijk is 1-bit paar hoog-laag en 0-bit paar laag-hoog. Dat houdt in dat elk databit in het midden transitie bevat, waardoor ontvanger gemakkelijk begin en eind kan bepalen. Hoog-hoog en laag-laag w niet in data gebruikt, maar wel in sommige protocollen vr scheiding v frames.

3.1.3. Afhandeling v fouten

- Frames moeten zonder fout en in juiste volgorde aan netwerklaag w afgeleverd.
- Bij bevestigde dienst zal de ontvanger frame terugsturen om te laten weten of het verzonden frame goed is aangekomen.
- Door problemen met hardware kan frame echter compleet verdwijnen. Ontvanger zal dus niet reageren. Zender mag dus niet blijven wachten op bevestiging. Daarom zal de DLL timers gebruiken.
- Uitgaande frames moeten volgnummers krijgen, zodat bij opnieuw verzenden (door timeout) de ontvanger hetzelfde frame niet meerdere keren accepteert.

3.2. Foutcorrigerende codes

- Netwerkontwerpers hebben twee hoofdstrategieën om fouten af te handelen. Enerzijds opnemen van zoveel redundante informatie in elk verzonden blok data dat ontvanger in staat is te concluderen wat verzonden data moet geweest zijn. Anderzijds opnemen van zoveel redundante informatie dat ontvanger kan concluderen dat er een fout is opgetreden

en een herhaalde transmissie aanvragen. In eerste strategie w foutencorrigerende codes (error-correcting codes) gebruikt en in de tweede foutenontdekkende codes (error-detecting codes). Gebruik van foutencorrigerende codes w vaak aangeduid met voorwaartse foutencorrectie (forward error control)

- Op kanalen die betrouwbaar zijn is het voordeliger om foutdetectiecode te gebruiken om nu en dan foute frames opnieuw te zenden. Kanalen waar veel fouten ontstaan (zoals draadloos) is het voordeliger ontvanger in staat te stellen fout te corrigeren.
- Een frame dat uit b databits bestaat en uit r redundante bits bestaat dus uit n totaalbits. Die n bits noemt men een codewoord. Wanneer we twee codewoorden (bv. 10001001 en 10110001) hebben kunnen we door een XOR te doen en het aantal enen uit dit resultaat op te tellen weten hoeveel de twee codewoorden verschillen (=Hamming-afstand). Dit noemen we d . Dit betekent echter ook dat er d fouten zijn om codewoord 1 te veranderen in codewoord 2.
- In meeste datatransmissietoepassingen zijn alle 2^b databerichten, maar door manier waarop controlebits w berekend, w niet alle 2^n mogelijke codewoorden gebruikt.
- Als algoritme v berekenen controlebits bekend is, is het mogelijk volledige lijst met toegestane codewoorden op te stellen en in deze lijst de twee codewoorden te vinden met kleinste Hamming-afstand. Dit is dan de Hamming-afstand van de hele code.
- Foutenontdekkende en –corrigerende capaciteiten v code hangen af van Hamming-afstand vd code. Om d fouten te ontdekken is er code met afstand $d+1$ nodig, omdat bij zo'n code d fouten van 1 bit een geldig codewoord nooit in ander geldig codewoord kunnen veranderen. Voor het corrigeren v d fouten is er een code met Hamming-afstand v $2d+1$ nodig, omdat codewoorden dan zover van elkaar liggen dat zelfs bij d veranderingen het originele codewoord nog steeds dichterbij ligt dan andere geldige codewoorden.
- Eenvoudig voorbeeld van foutenontdekkende code is de pariteitsbit. Die is één of nul om te zorgen dat het aantal enen in het codewoord even w. Je kan dus maar 4 geldige codewoorden hebben: 000000000, 0000011111, 1111100000, 1111111111
- (p194-196 begrijpen + slides)

3.3. Elementaire datalinkprotocollen

3.3.1. Onbeperkt simplex protocol (utopia)

- Unidirectioneel
- Transmissiemedium is error free
- Geen overflow bij ontvanger
- Zender
 - Heeft een buffer voor een buitengaand frame
 - Heeft een buffer voor een buitengaand pakket
 - While(true)
 - Vraagt pakket aan netwerklaag
 - Steekt pakket in frame dataveld
 - Stuurt frame naar fysische laag
- Ontvanger
 - Heeft buffer voor ontvangen frame
 - Heeft buffer voor event

- While(true)
 - Wacht op een event (enkel frame_arrival mogelijk)
 - Vraagt het frame aan de fysische laag
 - Geeft de data aan de netwerklaag

3.3.2. Simplex stop-and-wait protocol

- Unidirectioneel + error-free
- Ontvanger kan overflow hebben (bevestigingsframe bevat frame_arrival)
- Zender
 - Heeft een buffer voor een buitengaand frame
 - Heeft een buffer voor een buitengaand pakket
 - **Heeft buffer voor event**
 - While(true)
 - Vraagt pakket aan netwerklaag
 - Steekt pakket in frame dataveld
 - Stuurt frame naar fysische laag
 - **Wacht op event**
- Ontvanger
 - Heeft buffer voor ontvangen frame
 - **Heeft buffer voor te sturen frame (=dummyframe)**
 - Heeft buffer voor event
 - While(true)
 - Wacht op een event (enkel frame_arrival mogelijk)
 - Vraagt het frame aan de fysische laag
 - Geeft de data aan de netwerklaag
 - **Stuurt dummyframe naar fysische laag**

3.3.3. Simplexprotocol voor kanaal met ruis (par)

- Unidirectioneel + onbetrouwbaar medium (bevestigingsframe kan frame_arrival, cksum_err of timeout bevatten)
- PAR = Positive Acknowledgement with Retransmission Protocol
- Zender
 - Heeft een buffer voor een buitengaand frame
 - Heeft een buffer voor een buitengaand pakket
 - Heeft buffer voor event
 - **Heeft sequentienummer voor het volgende frame**
 - **Zet sequentienummer op 0**
 - **Vraagt eerste pakket van netwerklaag**
 - While(true)
 - Steekt pakket in frame dataveld
 - **Steekt sequentienummer in frame nrveld**
 - Stuurt frame naar fysische laag
 - **Start timer voor huidig sequentienummer**
 - Wacht op event
 - **Als event = frame_arrival**

- **Haalt frame van fysische laag**
 - **Als ack veld = sequentiernr**
 - **Stopt timer voor huidig seqnr**
 - **Haalt volgend pakket**
 - **Seqnr +1**
- **Ontvanger**
 - **Heeft buffer voor verwacht framenummer**
 - Heeft buffer voor ontvangen frame
 - Heeft buffer voor te sturen frame
 - Heeft buffer voor event
 - **Zet verwachtnr op 0**
 - While(true)
 - Wacht op een event (**mogelijkheden: frame_arrival, cksum_err**)
 - **Als event = frame_arrival**
 - Vraagt het frame aan de fysische laag
 - **Als framennr is het verwachte frame**
 - Geeft de data aan de netwerklaag
 - **Verwachtnr +1**
 - **Stuurframe.ack = 1 – verwacht frame**
 - Stuurt frame naar fysische laag

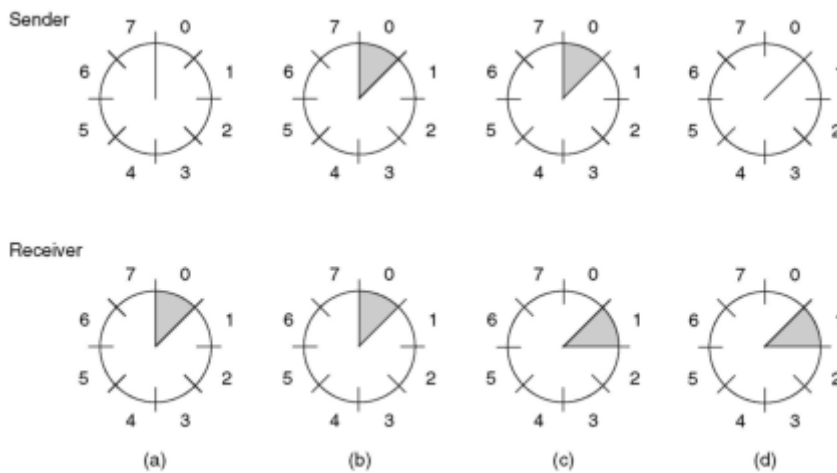
3.4. Protocollen met glijdende vensters

- In vorige protocollen w er slechts in 1 richting dataframes verzonden. In praktijk is er meestal behoefte aan datatransmissie in beide richtingen. Een manier om full-duplex datatransmissie te bereiken is gebruik v 2 afzonderlijke communicatiekanalen, waarbij elk kanaal voor éénrichtingsverkeer (in tegengestelde richtingen) gebruikt w. Levert 2 afzonderlijke fysieke circuits, elk met kanaal 'heen' (data) en 'terug' (bevestigingen). In beide gevallen zou bandbreedte terug bijna geheel ongebruikt blijven.
- Beter voor data in beide richtingen zelfde circuit te gebruiken. In p2 en p3 w lijn tenslotte al gebruikt voor verkeer in beide richtingen. In dit model w dataframes van A naar B gemengd met bevestigingsframes van A naar B. Door te kijken naar veld soort in header van inkomend frame kan ontvanger zien of het data of bevestiging is.
- Verbetering mogelijk: Niet onmiddellijk bevestiging sturen maar wachten tot het zelf data moet sturen. Bevestiging w aan het dataframe gekoppeld. Dit heet piggybacking. Voordeel: Beschikbare bandbreedte w beter benut. Echter ook complicatie: hoelang moet DLL wachten op te verzenden pakket. Als DLL langer wacht dan time-outperiode v zender, w het frame nog eens verzonden.
- Protocollen met sliding windows. Elk uitgaand frame bevat volgnr tss 0 en een maximum. Het maximum is meestal $2^n - 1$, zodat volgnr mooi in veld van n bits past. Het stop-and-waitprotocol met sliding winow gebruikt $n=1$, zodat alleen 0 en 1 als volgnr gebruikt kunnen w.
- Essentie v sliding window is dat zender lijst bijhoudt v volgns die overeenkomen met frames die hij mag zenden ("frames vallen binnen zendvenster"). Op zelfde manier houdt ontvanger ontvangstvenster bij.

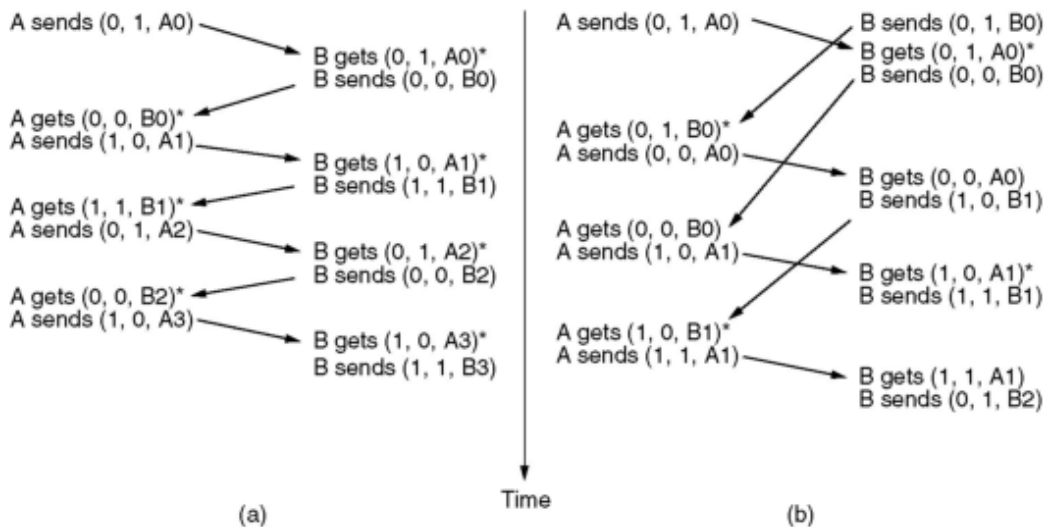
- Hoewel dit de DLLprotocollen meer vrijheid geeft blijft de beperking dat alles in volgorde naar NWL moet en dat FL draadachtig moet zijn (en dat dus frames moeten w afgeleverd in zelfde volgorde dat ze verzonden zijn)
- Volgnrs in zendvenster staan voor frames die al verzonden zijn of gereed zijn vr verzending maar waarvoor nog gn bevestiging ontvangen is. Elke keer dat er vanuit NWL pakket binnenkomt, krijgt dat het volgende nr en w de bovengrens v venster met 1 verhoogd. Als bevestigingsframe binnenkomt w ondergrens met 1 verhoogd. Op deze manier w lijst met onbevestigde frames bijgehouden.
- Omdat frames die momenteel binnen zendvenster liggen uiteindelijk verloren kunnen gaan of tijdens transmissie beschadigd kunnen w moet zender al deze frames in geheugen houden vr eventuele herhaalde transmissie. Als venster maximale grootte bereikt moet DLL zeggen dat NWL moet zwijgen.
- Ontvangstvenster = frames die geaccepteerd mogen w. Elk frame dat buiten venster valt w weggegooid. Als frame w ontvangen met volgnr = ondergrens dan w het doorgegeven aan NWL, w bevestiging gegenereerd en w venster met 1 positie verder gedraaid. Ontvangstvenster behoud steeds oorspronkelijke grootte.

3.4.1. Protocol met sliding window v 1 bit

- Grootte 1 betekent praktisch dat DLL frames enkel in oorspronkelijke volgorde accepteerd. Bij grotere vensters is dit niet zo. NWL krijgt data steeds in juiste volgorde, onafhankelijk v venstergrootte.



- Werkt echter enkel goed als beide machines niet op zelfde moment beginnen te zenden.



→ elk frame wordt dubbel verzonden

Two scenarios for protocol 4.

(a) Normal case.

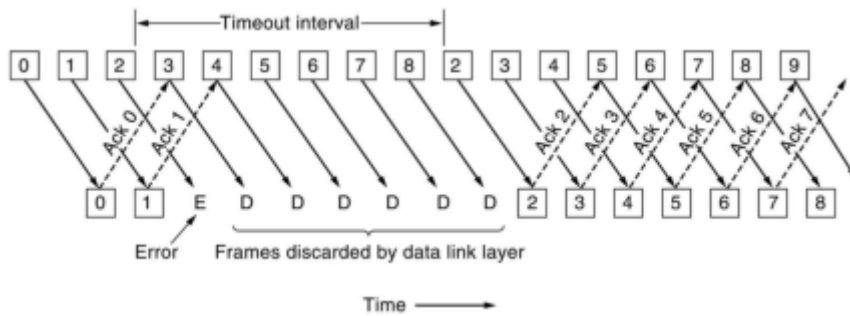
(b) Abnormal case.

The notation is (seq, ack, packet number).

An asterisk indicates where a network layer accepts a packet.

3.4.2. Protocol met go back n

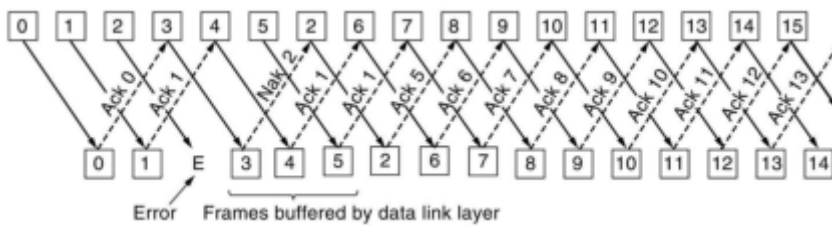
- Omdat bij tragere verbindingen in hiervoor gedefinieerde protocollen veel bandbreedte/tijd verloren gaat is het beter niet 1 maar een aantal frames te zenden alvorens te wachten op bevestiging. Als we de zender maximaal w frames laten zenden alvorens te blokkeren en als w geschikt wordt gekozen, dan kan de zender frames blijven zenden gedurende een tijd die gelijk is aan de transmissietijd heen en weer, zodat wanneer hij het laatst mogelijke pakket heeft verzonden, de bevestiging van eerste aankomt.
- De zender moet instaat zijn de pipe de hele tijd zonder stoppen gevuld te houden om maximale efficiëntie te bereiken.
- Deze techniek heet **pipelining**. Als capaciteit van kanaal b bps is, de framegrootte l bits en de voortplantingstijd heen en weer R seconden, dan is de tijd nodig van 1 frame l/b s. Nadat het laatste bit van frame verzonden is verloopt er een tijd van $R/2$ voordat het bit bij de ontvanger aankomt en nog eens dezelfde tijd voor de bevestiging terug is. Bij stop-and-wait is de lijn gedurende tijd l/b bezet en gedurende R vrij waardoor de gebruiksgraad $l / (l + bR)$ is. Als $l < bR$, dan is de efficiëntie kleiner als 50%.
- Als er een fout voorkomt zorgt dit er echter wel voor dat er veel opnieuw moet worden verzonden.



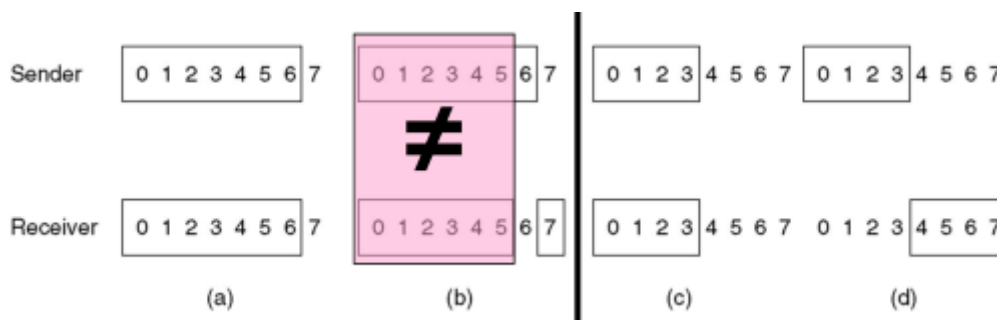
- **Go back n:** ontvanger gooit alle frames weg bij fout en stuurt geen bevestigingen. Vanaf fout w dus opnieuw gestuurd.

3.4.3. Protocol met selectieve herhaling

- Ook pipelining, maar andere foutenafhandeling. **Selectieve herhaling:** Verminkt ontvangen frame w genegeerd, maar alle latere correcte frames w opgeslagen & bevestigd. Als timer bij zender afloopt w alleen het onbevestigde frame opnieuw verzonden. Wanneer dat juist aankomt geeft DLLo buffer in juiste volgorde door naar NWL. W vaak gecombineerd met negatieve bevestigingen, die w verstuurd wnr er een fout is.



- Niet-sequëntiële ontvangst leidt echter tot bepaalde problemen die anders niet voorkomen. Seqnr van 3 bits => zender mag max 7 frames zenden voor hij op bevestiging moet wachten. Op onderstaande figuur zijn de windows dan conform (a). Frames 0 tot 6 w verzonden, komen goed aan, maar door technisch probleem komt bevestiging niet aan. (b) Ontvanger denkt dan 7 tot 5 te gaan ontvangen, maar zender wil originele 0-6 terug zenden. Hier lijkt het echter dat 0 tot 5 wel de correcte 0 tot 5 zijn, terwijl de verzonden 0 tot 5 echter nog de eersten zijn ipv al de volgenden. We moeten dus zorgen dat er geen overlapping is (c) en (d).



3.5. Voorbeelden van DLLprotocollen

3.5.1. HDLC – High-level Data Link Control

- Afgeleid van DLLProtocol dat op mainframes van IBM draaide: SDLC (Synchronous Data Link Control). Na ontwikkeling meldde IBM het bij ANSI en ISO aan om als standaard te laten

erkennen. ANSI veranderde het in ADCCP (Advanced Data Communication Control Procedure) en ISO in HDLC. CCITT heeft HDLC daarna overgenomen en gewijzigd om te komen tot LAP (Link Access Procedure) als deel van de netwerkinterfacestandaard X.25 . Later veranderde men dit nog in LAPB, om het compatibel te maken met recentere versie van HDLC.

- HDLC gebruikt een glijdend venster en volgnrs v 3 bits. Er mogen op elk moment max 7 onbevestigde frames uitstaan.
- Al deze protocollen zijn op dezelfde principes gebaseerd. Ze zijn allemaal bit-georiënteerd en gebruiken allemaal bit-stuffing voor datatransparantie. Ze verschillen enkel op kleine punten.
- Alle bitgeoriënteerde protocollen gebruiken volgende framestructuur: (8) 01111110 (8) adres (8) besturing (≥ 0) gegevens (16) controlesom (8) 01111110.
 - Adres is voornamelijk van belang voor lijnen met meerdere terminals, waar het gebruikt w om één van de terminals te identificeren. Voor point-to-point lijnen w dit soms gebruikt om commando's v reacties te onderscheiden.
 - Besturing w gebruikt vr volgnrs, bevestigingen ea.
 - Data kan willekeurige data bevatten. Het kan willekeurig lang zijn, hoewel de efficiëntie vd controlesom kleiner w naarmate de framelengte toeneemt. Dit vanwege een grotere kans op meerdere burstfouten.
 - Controlesom is een cyclische redundanciecode.
 - Het frame w afgebakend door een vlagrij. Minimaal frame bevat 3 velden en heeft in totaal 32 bits, afgezien vd vlaggen aan beide uiteinden
- Er zijn 3 soorten frames: information, supervisory en unnumbered frames.
 - Information: (1) 0 (3) volgnr (1) P/F (3) volgende
 - Volgnr bevat het volgnr van het frame.
 - Volgende is een bevestiging die via piggybacking w meegezonden. (maar per conventie w het nr van eerstvolgende verwachte frame gezonden)
 - Het bit P/F staat voor Poll/Final. W gebruikt bij polling ve groep terminals door computer (of concentrator). Met P nodigt computer terminal uit data te verzenden. In alle frames die door terminal w gezonden, behalve het laatste, is het bit P/F op P gezet. In het laatste is het op F gezet.
 - In enkele vd protocollen w het bit P/F gebruikt om andere machine te verplichten onmiddellijk een supervisory frame te zenden, ipv te wachten op verkeer in tegengestelde richting waarop vensterinformatie via piggybacking kan w meegezonden.
 - Supervisory: (1) 1 (1) 0 (2) Type (1) P/F (3) Volgende
 - Type w gebruikt om versch soortne supervisory frames v elkaar te onderscheiden.
 - Type 0: RECEIVE READY. Bevestigingsframe. W gebruikt als er geen verkeer uit tegengestelde richting is om voor piggybacking te gebruiken.
 - Type 1: REJECT. Negatieve bevestiging. Om aan te geven dat transmissiefout is ontdekt. Veld volgende geeft eerste frame aan dat niet correct is ontvangen. Zender moet alle uitstaande frames vanaf volgende opnieuw zenden

- Type 2: RECEIVE NOT READY. Bevestigt frames tot aan volgende, maar zegt zender dat hij moet ophouden met zenden. Om aan te geven dat er problemen zijn bij ontvanger, bv tekort aan buffers. Als probleem verzonden is ontvangt zender RECEIVE READY, REJECT of bepaalde besturingsframes
 - Type 3: SELECTIVE REJECT. Vraagt om herhaalde transmissie van enkel het gespecificeerde frame. HDLC en ADCCP kennen dit frametype. SDLC en LAPB niet.
- Unnumbered frame: (1) 1 (1) 1 (2) Type (1) P/F (3) Modifier
 - W soms voor besturingsdoeleinden gebruikt, maar kan ook gebruikt w om data te vervoeren wnr er een onbetrouwbare verbindingloze dienst gewent is. De diverse bitgeoriënteerde diensten verschillen hier aanzienlijk. Er zijn 5 bits beschikbaar om frametype aan te geven, maar niet alle 32 typen w gebruikt.
 - Alle protocollen hebben commando DISC (disconnect), waarmee machine kan aankondigen dat hij uitvalt.
 - Commando waarmee machine die op de lijn is teruggekomen aanwezigheid kan aankondigen en alle volgnrs op nul kan terugzetten: SNRM (Set Normal Response Mode). Normal Response Mode is echter niet zo normaal. Het is een asymmetrische toestand waarin ene kant v lijn master is en andere kant slave. Stamt uit tijd waarin datacommunicatie inhield dat niet-intelligente terminal met grote computer praatte, wat asymmetrische verhouding is. Om protocol beter geschikt te maken vr situatie met twee gelijke partners hebben HDLC en LAPB nor ander commando, SABM (Set Asynchronous Balanced Mode) dat de lijn opnieuw start en beide partijen gelijkwaardig verklaart. Deze protocollen hebben ook SABME en SNRME, die gelijk zijn aan respectievelijk SABM en SNRM, met toevoeging van toelating van uitgebreid frameformaat met volgnrs van 7 ipv 3 bits.
 - Alle protocollen hebben ook FRMR (FRaMe Reject), gebruikt om aan te geven dat er frame met correcte controlesom maar onmogelijke semantiek is binnengekomen, bv. Een supervisory frame van type 3 in LAPB, een frame korter dan 32 bits, een ongeldig besturingsframe, bevestiging v frame buiten venster, ... FRMR-frames hebben dataveld v 24 bits dat aangeeft wat er mis was met frame. In data oa het besturingsveld v incorrect frame, vensterparameters en verzameling bits die specifieke fouten aangeven.
 - Besturingsframes kunnen natuurlijk ook verloren gaan of beschadigd raken, zodat deze ook bevestigd moeten worden. => speciaal besturingsframe: UA (Unnumbered Acknowledgement). Omdat er maar 1 besturingsframe kan uitstaan bestaat er nooit twijfel over welk frame er bedoeld w.
 - Overige bevestigingsframes hebben betrekking op initialisatie, polling en rapporteren v status. Er is ook een besturingsframe dat willekeurige informatie mag bevatten, UI (Unnumbered Information). Data is bestemd vr DLL zelf.
- Ondanks het feit dat HDLC vaak w gebruikt is het verre van volmaakt.

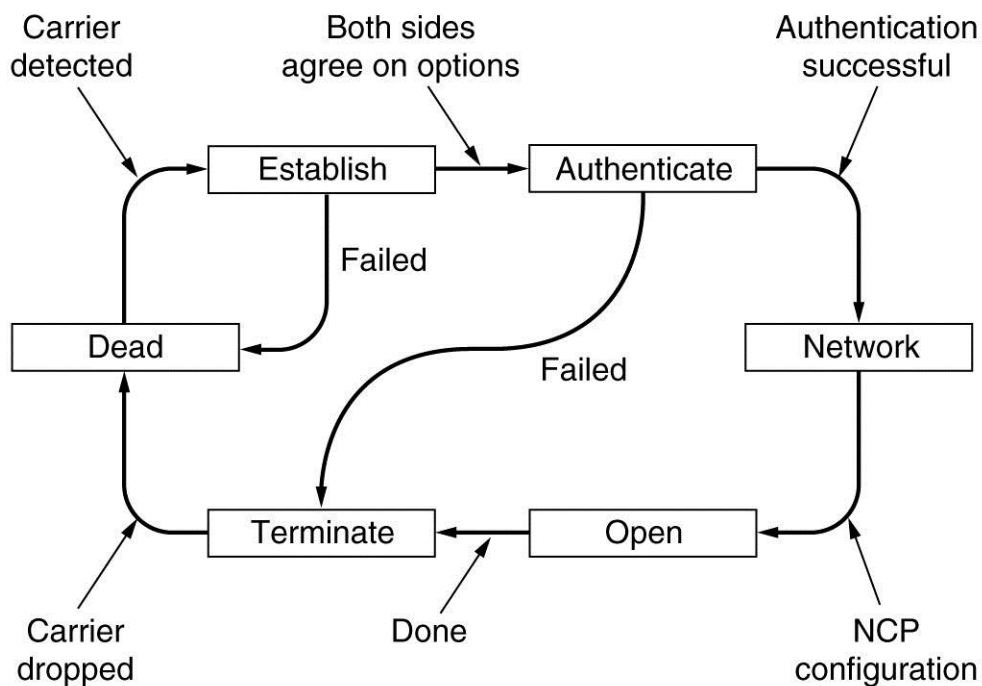
3.6.2. De DLL in het internet

- In de praktijk w point-to-point communicatie voornamelijk in 2 situaties gebruikt.
 - Ten eerste zijn er duizenden organisaties die één of meer LAN's bezitten, elk met een aantal hosts plus een router. Vaak zijn de routers onderling verbonden door een backbone-LAN. In het algemeen lopen alle externe verbindingen via enkele routers die gehuurde point-to-pointlijnen naar routers op andere plaatsen hebben. Deze routers en hun huurlijnen vormen de communicatiesubnets waarop het internet is gebouwd.
 - Particulieren die vanuit huis verbinding hebben naar ISP.

3.6.2.1. PPP: Point-to-point Protocol

- Gedefinieerd in RFC 1661, uitgewerkt in oa. RFC 1662 en 1663.
- PPP zorgt vr foutdetectie, kent meerdere protocollen, laat toe dat er tijdens het tot stand brengen vd verbinding over IP-adressen w onderhandeld, maakt authenticatie mogelijk en bevat nog meer mogelijkheden. Levert 3 dingen
 - Methode voor frames die ondubbelzinnig het eind v ene frame en begin van andere frame afbakent. Zorgt ook voor foutdetectie
 - Verbindingsbesturingsprotocol voor opzetten v lijnen, testen v lijnen, onderhandelen over opties en beëindigen v lijnen wnr ze niet meer nodig zijn. Dit protocol is LCP (Link Control Protocol). Ondersteunt synchrone en asynchrone schakelingen en byte- en bitgeoriënteerde coderingen.
 - Manier om over opties vr netwerklaag te onderhandelen die onafhankelijk is van het te gebruiken NWLProtocol. Men heeft er voor gekozen voor elk netwerklaagprotocol een ander NCP (Network Control Protocol) te gebruiken.
- Bij opzetten verbinding eerst LCP-pakketten in payloadveld v één of meer PPP-frames. Pakketten & reacties daarop selecteren te gebruiken PPP-parameters. Daarna reeks NCP-pakketten om netwerklaag te configureren. In het algemeen wil de pc een TCP/IP-protocolstack draaien en heeft daarom een IP-adres nodig.
- Frameformaat van PPP is zo gekozen dat het sterk lijkt op dat van HDLC. PPP is echter tekengeoriënteerd en niet bitgeoriënteerd. In PPP wordt op gekozen modemlijnen byte-stuffing, zodat alle frames een geheel aantal bytes zijn. PPP-frames kunnen niet alleen via kieslijnen worden gezonden, maar ook via SONET of via echt bitgeoriënteerde HDLC-lijnen (bvb verbinding tss 2 routers).
- Structuur: (1) Vlag 01111110, (1) Adres 11111111, (1) Besturing 00000011, (1 of 2) Protocol, (var) payload, (2 of 4) controlesom, (1) Vlag 01111110
 - Begint mt standaard HDLC-vlagbit.
 - Adres krijgt altijd binaire waarde 11111111 om aan te geven dat alle stations het frame moeten accepteren. Dit voorkomt dat er datalinkadressen moeten w gebruikt.
 - Besturing met standaardwaarde 00000011. Deze waarde geeft unnumbered frame aan. Maw, PPP levert geen betrouwbare transmissie met volgns en bevestigingen als standaard. In onbetrouwbare netwerken kan betrouwbare transmissie met numbered mode w bereikt, maar w in praktijk nauwelijks gebruikt.
 - Aangezien adres en besturing in standaardconfig altijd constant zijn biedt LCP mechanisme dat de 2 partijen nodig hebben om te onderhandelen over optie om ze helemaal weg te laten.

- Protocolveld moet aangeven welk soort pakket er in het Payload-veld staat. Er zijn codes gedefinieerd vr LCP, NCP, IP, IPX, AppleTalk ea. Protocollen die met 0 beginnen zijn NWL protocollen, zoals IP, IPX, OSI CLNP en XNS. Protocollen met 1 w gebruikt om over andere protocollen te onderhandelen. Grootte is 2 bytes maar kan door onderhandeling via LCP tot 1 byte w gebracht.
- Payload heeft variabele lengte, maar maximum waarover w onderhandeld. Standaardlengte=1500 bytes.
- Controlesom: standaard 2 bytes, kan door onderhandeling 4 bytes w.
- Een PPP-verbinding (begint bij Dead):



4. De MAC sublaag

4.1. Protocollen voor multiple-accesskanaal

4.1.1. ALOHA

4.1.1.1. Zuiver ALOHA

- Gebruikers zenden wanneer ze data hebben om te verzenden. Er treden botsingen op, maar door de terugkoppeling bij broadcasting kan een zender altijd vaststellen of een verzonden frame beschadigd is door te luisteren na het zenden.
- Als het frame vernield is wacht de zender een willekeurige tijd en probeert dan opnieuw
- Systemen waarin gebruikers één gemeenschappelijk kanaal gebruiken op een manier die tot conflicten kan leiden w contentiesystemen (contention systems) genoemd.
- Zelfs als er maar in de laatste bits een botsing plaatsvind moeten beide frames opnieuw w verzonden.

- Er is dus een klein aantal frames dat succesvol doorkomt
- Bereikt efficiëntie v 18%

4.1.1.2. Slotted ALOHA

- Verdelen v tijd in discrete intervallen, waarbij elk interval overeenkomt met 1 frame. Voor deze aanpak is het nodig dat gebruikers het eens zijn over de grenzen vd slots. Evt door speciaal station aan het begin v interval speciaal signaal te laten uitzenden.
- Efficiëntie v 37%
- Slotted ALOHA werd echter bijna niet in de praktijk gebruikt. Later echter, bij ontwikkeling v kabel, kwam hetzelfde probleem weer boven water en dacht men aan slotted ALOHA.

4.1.2. CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

- Protocollen waarin stations luisteren of ze een draaggolf horen en indien dit waar is niet zenden worden carrier-senseprotocollen genoemd.

4.1.2.1. Persistent en niet-persistent CSMA

- 1-persistent CSMA: Wanneer station data te verzenden heeft luistert het eerst naar het kanaal om na te gaan of iemand aan het zenden is. Als het kanaal bezet is, wacht het tot het vrij is. Als het vrij is, verzendt het een frame. Als er botsing optreed, wacht het een willekeurige tijd en begint het opnieuw. Het protocol heet 1-persistent omdat er een kans van 1 is dat het gaat zenden als het een leeg kanaal aantreft.
- De voortplantingsvertraging heeft belangrijke invloed op efficiëntie v protocol. Er is een kleine kans dat er, net nadat een station is begonnen te zenden een ander station klaar is om te zenden en naar het kanaal luistert. Als het signaal v 1 nog niet bij 2 is aangekomen, denkt 2 dat het kanaal vrij is en begint het te zenden => botsing. Hoe langer de voortplantingsvertraging, des te belangrijker w dit effect en des te slechter de efficiëntie vh protocol.
- Niet-persistent CSMA: Als station wilt zenden luistert het of het kanaal vrij is. Indien dit klopt begint het te zenden, maar indien dit niet klopt wacht het een willekeurige tijd en kijkt dan opnieuw. Hogere gebruiksgraad en grotere vertragingen dan 1-persistent
- P-persistent: Als station wilt zenden luistert het of kanaal vrij is. Als het vrij is zal het met kans p beginnen te zenden. Er is ook een kans $q=1-p$ dat het wacht met zenden tot het volgende slot. Dit w herhaald tot het zendt of er een ander station begin te zenden. Als er ander station is beginnen zenden wacht het willekeurige tijd en begint dan opnieuw v begin.

4.1.2.2. CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)

- Wanneer stations botsing detecteren verzending onmiddellijk afbreken.
- Vormt basis v Ethernet
- Men kan pas zeker zijn van geslaagde transmissie na $2T$ (waar T =transmissietijd)

4.2. Ethernet

4.2.1. Ethernetbekabeling

- 4 soorten kabel

NAAM	KABEL	MAX. SEGMENTLENGTE	NODES/SEGMENT	VOORDELEN
10Base5	Dik coax	500 m	100	(verouderd)

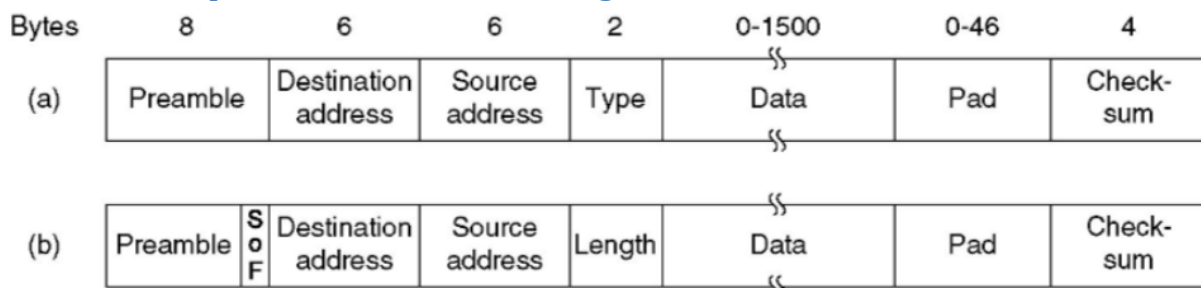
10Base2	Dun coax	185 m	30	Geen hub nodig
10Base-T	Twisted-pair	100 m	1024	Goedkoopst
10Base-F	Glasvezel	2000 m	1024	Optimaal tss gebouwen

- Om grotere dan (kabel)netwerken mogelijk te maken repeaters nodig. Die versterkt signalen.
- Tussen 2 tranceivers mag nooit meer dan 2,5 km zitten en een pad tss 2 transceivers mag nooit meer dan 4 repeaters bevatten.

4.2.2. Manchester-encoding

- Geen van de versies v ethernet gebruikt gewone binaire encoding met 0 Volt voor 0-bit en 5 Volt voor 1-bit aangezien men bij 0 Volt niet kan weten of er niets of 0 gestuurd w.
- Ontvangers moeten echter ondubbelzinnig begin, eind en midden van elk blok kunnen vaststellen zonder v externe klok te moeten gebruikmaken. 2 methoden hiervan zijn de Manchester-codering en de Differentiële Manchester-codering.
- Manchester-codering verdeelt elk bit in twee gelijke intervallen. Een binaire 1 w gezonden door de spanning in het eerste interval hoog te maken en in het tweede laag. Een binaire 0 is omgekeerd. Dit zorgt ervoor dat elke bitperiode in het midden een overgang heeft, waardoor synchronisatie tss ontvanger en zender makkelijker w. Nadeel is dat er tweemaal zo grote bandbreedte voor nodig is dan voor normale binaire codering, omdat pulsen maar half zo breed zijn.
- Differentiële Manchester-codering is een variatie op de gewone Manchester-codering. Hierin w met 1 aangegeven met geen overgang aan het begin vh interval en 0 door wel een overgang. In beide gevallen is er ook in het midden een overgang. Vereist complexere apparatuur, maar is beter bestand tegen ruis.
- Alle Ethernet-systemen gebruiken Manchester-codering met -0,85 Volt voor het lage signaal en +0,85 Volt voor het hoge signaal.
- In sommige andere LAN's (bv 802.5) wordt differentiële Manchester-codering gebruikt.

4.2.3. Ethernet-protocol voor de MAC-sublaag



- (a) is de indeling van DIX-ethernet, (b) is IEEE 802.3
- **Preamble:** in DIX: 10101010, in 802.3 maar 7 bytes. Als begin van het frame en als kloksynchronisatie
- **Start of Frame:** (802.3): Voor compatibiliteit met 802.4 en 802.5
- **Adressen:** Adressen kunnen voorkomen in 2 of in 6 bytes, maar de basisstandaard van 10 Mbps gebruikt enkel adressen van 6 bytes. Als het destination adres begint met 0 is het een gewoon adres, als het begint met 1 een groepsadres. Zo kan men multicasten. Een adres met enkel enen gebruikt men om te broadcasten. Verder is er een onderscheid in de 46^{ste} bit, naast de MSB. Dit geeft aan of het lokale of mondiale adressen zijn.

- **Type:** (DIX) bevat info over het proces waarvoor de info bestemd is
- **Lengte:** (802.3): type werd naar headerveld binnen data verhuisd. Niet vaak in praktijk gebruikt, maar aangezien alle types numerieke waarden hoger dan 1500 hebben w aangenomen dat > 1500 een type is en < 1500 een lengte. Sinds 1997 accepteert IEEE beide vormen.
- **Data:** Max 1500 bytes
- **Opvulling/Pad:** Als opvulling om, in geval van te kleine data, aan de minimale lengte van 64 bytes te komen. Dit is omdat de zender nog bezig moet zijn met zenden als een mogelijke ruisburst van een botsing al teruggekomen is. Als de netwerken beter w moet dit dus w aangepast.
- **Checksum:** Hash-code van de data met CRC. Foutdetectie, geen foutcorrectie.

4.2.4. Geschakeld ethernet

- Om verzadiging te voorkomen: naar grotere bandbreedte overstappen, maar op den duur raakt dit ook verzadigd. => geschakeld ethernet: switch
- Wanneer station ethernet-frame wil zenden, geeft het een frame door aan switch. De plugkaart die het frame krijgt, kijkt of het bestemd is voor één van de andere stations op deze kaart. Zo ja, dan w het frame daarheen gekopieerd. Zo nee, dan w het frame via de backplane naar kaart v doelstation gezonden. Backplane loopt in het algemeen op snelheid v meerdere Gbps en gebruikt eigen protocol v leverancier.
- Wat gebeurt er als twee machines op zelfde plugkaart op zelfde moment zenden?
 - Als alle poorten op de kaart samen bedraad zijn en zo lokaal LAN vormen, worden botsingen afgehandeld zoals in CSMA/CD netwerk. Eén transmissie per kaart, maar alle kaarten kunnen parallel zenden. Elke kaart vormt eigen domein v botsingen.
 - Ander type: elke invoerpoort w gebufferd, zodat inkomende frames in RAM w opgeslagen wnr ze binnenkomen. Hierdoor kunnen alle invoerpoorten tegelijk frames ontvangen & zenden, zodat parallelle full-duplex ontstaat. Voor elke poort apart domein v botsingen, dus er treden gn botsingen op.
 - Omdat switch standaard alleen Ethernet-frames op elke invoerpoort verwacht, kunnen enkele vd poorten als concentrator w gebruikt (= poort verbinden met hub die op zijn beurt naar hoop stations gaat). Hubs worden echter niet vaak meer gebruikt door dalende prijzen van switches.

4.2.5. Fast ethernet

- Er was meer bandbreedte nodig dus kwamen er twee nieuwe voorstellen
 - FDDI (Fiber Distributed Data Interface)
 - Fibre Channel
- Beiden w toegepast in backbone-netwerken, maar niet in kantoor-omgeving. Beheer v stations is ingewikkeld met complexe en dure chips.
- Doordat beiden het niet haalden was er een leemte in LAN's sneller dan 10 Mbps, dus moest men crappy netwerken maken om genoeg computers te kunnen aansluiten. In 1992 riep IEEE 802.3-commissie bijeen om sneller LAN te leveren.
- Daar kwamen 2 mogelijke oplossingen uit: huidig behouden maar sneller laten verlopen of compleet opnieuw ontwerpen met nieuwe fancy features.

- Uiteindelijk haalde het eerste het, en de voorstanders van het tweede starten een aparte werkgroep op, 802.12, maar dat werd een flop.
- 802.3 besloot voor snellere versie om 3 redenen
 - Backwards compatability
 - Nieuw protocol zou onvoorziene problemen kunnen hebben
 - De wens het werk af te hebben voordat de techniek veranderd was
- Dit werd 802.3u, in juli 1995 door IEEE goedgekeurd. Het is echter geen nieuwe standaard, maar een addendum op 802.3 . W vaak fast Ethernet genoemd.
- Oude pakketformaten bleven, maar bittijd verlaagde van 100 ns naar 10 ns. 10Base-T wires werden meer gestandaardiseerd. Alle fast Ethernetsysteùe, gebruiken hubs en switches. Multidroplijnen met vampieraftakkingen of BNC-verbindingen zijn niet toegestaan.
- Men moest beslissen welke kabel(s) men zou gebruiken. Zo is er Twisted-pair categorie 3. Deze bekabeling ligt er vaak al. Hier kon men dus computers voorzien van fast Ethernet zonder opnieuw te moeten bekabelen. Belangrijkste nadeel TPcat3 is dat daarover geen signalen van 200 megabaud (bij Manchester-codering 100 Mbps) over 100m mogelijk zijn, de max afstand voor 10Base-T. TPcat5 kan dit makkelijk aan en glasvezel kan nog verder. Als compromis werden alle drie de mogelijkheden toegestaan.

NAAM	KABEL	MAX. SEGMENTLENGTE	VOORDELEN
100Base-T4	Twisted pair	100 m	Gebruikt UTP cat 3
100Base-TX	Twisted pair	100 m	Full-duplex bij 100 Mbps (cat5 UTP)
100Base-FX	Glasvezel	2000 m	Full-duplex bij 100 Mbps. Lange segmenten

- 100Base-T4 gebruikt signaalsnelheid van 25 MHz, slechts 25 procent sneller dan de 20 MHz van standaard Ethernet. Om echter de vereiste bandbreedte te bereiken zijn er voor 100Base-T4 vier Twisted-pairs nodig. Aangezien standaardbedrading v telefoon al tientallen jaren 4 TP/kabel heeft, kunnen meeste kantoren dit gebruiken. Telefoon moet dan wel w opgegeven. Van de 4 TP gaat er altijd één naar de hub en één van de hub. De twee andere zijn schakelbaar zoals nodig. Er w gn Manchester-codering gebruikt, maar dit vormt geen probleem vr de korte afstanden en met moderne klokken. Verder w er ternaire signalen verzonden, zodat de draad gedurende één klokperiode 0, 1 of 2 kan bevatten. Met 3 TP in voorwaartse richting kunnen er 27 versch symbolen w gezonden, zodat er 4 bits + redundantie kunnen w verstuurd. Zo komen we aan 100 Mbps. Het omgekeerde kanaal heeft 33,3 Mbps. Deze methode staat bekend als 8B/6T (8 bits afgebeeld op 6 trits).
- 100Base-TX kan met kloksnelheden tot 125 MHz en hoger werken. Twee TP per station. 1 van hub, 1 naar hub. Ipv gewone binaire codering w methode gebruikt die 4B/5B w genoemd. Afkomstig van FDDI en daar ook compatibel mee. Elke groep van 5 klokperiodes, die ieder bestaan uit één van twee signaalwaardes, levert 32 combinaties. Zestien van deze combinaties w gebruikt om 4-bitgroepen de verzenden. Enkele vd overige 16 w gebruikt voor besturing (zoals begin/eind v frames).
- 100Base-FX: 2 multimode-glasvezels. Mag geen gebruik maken van hubs. Enkel switches.
- In 1997 voegde 802-commissie nieuw type toe, 100Base-T2, TPcat3 met 2 TP's. Er was echter geavanceerde digitale signaalprocessor nodig voor de noodzakelijke coderingsmethode, waardoor deze optie behoorlijk kostbaar was. Werd dan ook zelden gebruikt vanwege complexiteit, kosten, en het feit dat veel kantoorgebouwen nu voorzien zijn van cat 5 UTP.

4.2.6. Gigabit-ethernet

- In 1995 begon 802-commissie te werken aan Gigabit-Ethernet. Dit werd in 1998 geratificeerd als 802.3z.
- Doelstellingen: 10 keer sneller maken met behoud van backwards compatibility.
- Alles point-to-point ipv multidrop.
- Aangezien er per lijn maar 2 stations zijn moet er bij full-duplex niet gekeken worden naar pakketten uit de andere richting. CSMA/CD is dus overbodig. Maximale lengte v kabel w nu dus bepaald door signaalsterkte en niet door tijd die nodig is voor de ruisburst om terug te geraken.
- Half-duplex w gebruikt als de computers met hub verbonden zijn ipv met switch. Aangezien hub niet buffert en alle lijnen intern met elkaar zijn verbonden is er een veel groter botsingsdomein. Hier moet dus nog wel CSMA/CD gebruikt w. Aangezien frame met minimumlengte (=64 bytes) nu 100 keer sneller verzonden kan w is maximale afstand 100 keer kleiner (=25m). Dit is nodig om te garanderen dat zender nog steeds bezig is met zenden als ruisburst aankomt. Commissie vond dit echter onaanvaardbaar en voegde twee kenmerken toe om straal groter te maken. Deze vergroten straal tot 200m
 - Carrier extension: vertelt hardware dat deze frames moet opvullen om het 512 bytes lang te maken. Deze w door zendende hardware geplaatst en door ontvangende hardware verwijderd, dus software heeft er geen weet van.
 - Frame bursting: Zender kan ononderbroken sequentie v meerdere frames in 1 keer verzenden. Als totale burst kleiner is dan 512 bytes zal ook hier carrier extension w toegepast.
- In praktijk is kans dat een bedrijf dat gigabit-ethernet implementeert nog hubs gaat gebruiken relatief klein, aangezien dat ronduit stupide zou zijn, maar wegens backwards compat moest commissie dit implementeren.

NAAM	KABEL	MAX. SEGMENTLENGTE	VOORDELEN
1000Base-SX	Glasvezel	550 m	Multimode glasvezel (50; 62,5 μ)
1000Base-LX	Glasvezel	5000 m	Enkel (10 μ) of multimode (50; 62,5 μ)
1000Base-CX	2pair STP	25 m	Shielded Twisted-pair
1000Base-T	4pair UTP	100 m	Cat5 UTP

- 1 Gbps over glasvezel betekent dat lichtbron aan- en uitgeschakeld moet kunnen w in minder dan 1 ns. LED's zijn niet zo snel waardoor lasers nodig zijn. 2 golflengtes mogelijk: 0,85 micron (kort) en 1,3 micron (lang). Lasers die licht met golflengte van 0,85 μ produceren zijn goedkoper, maar werken niet op single-mode.
- 3 verschillende diameters: 10, 50 en 62,5 μ . Eerste vr single-mode, laatste 2 voor multi-mode. Niet alle 6 mogelijke combinaties zijn echter toegestaan en maximale afstand hangt af van gebruikte combinatie. Waarden in tabel = meest optimale situatie. 5000m is bv enkel mogelijk met 1,3 micron lasers in combinatie met 10 micron glasvezel. Is duurste uitvoering, maar verwacht w dat dit zeer populair gaat worden.
- 1000Base-CX gebruikt korte afgeschermdde koperen kabels. Dit moet echter concurreren met snelle glasvezel en goedkoop UTP. W nauwelijks gebruikt.
- Op glasvezel nieuwe coderingsregels. Bij gebruik Manchester-coderig bij 1 Gbps zou 2 Gbaud-signaal nodig zijn. Daarom en omdat het te veel bandbreedte verspilt w besloten om 8B/10B te gebruiken, gebaseerd op Fibre Channel. Elke byte v 8 bits w gecodeerd op glasvezel als 10 bits. Omdat er 1024 mogelijke uitgangscodewoorden zijn voor elke ingangsbyte was er enige

ruimte beschikbaar voor bepaalde toegestane codewoorden. Daarvoor volgende regels: (1) Codewoord mag niet meer dan 4 opeenvolgende identieke bits bevatten, (2) Codewoord mag niet meer dan 6 nullen of enen bevatten. Deze keuzes worden gemaakt om voor voldoende transities te zorgen. Daarnaast zijn er voor verschillende ingangsbytes twee mogelijke codewoorden mogelijk. Signaalgever zal dan kiezen voor codewoord met meeste evenwicht tussen verzonden 0 en 1'en. De noodzaak om dit zoveel mogelijk gelijk te houden is gebaseerd op wens om DC-component van signaal zo laag mogelijk te houden, waardoor signaal ongewijzigd transformatoren kan passeren.

- 1000Base-t gebruikt andere coderingsmethode omdat klokken van gegevens op koperdraad in 1 ns te moeilijk is. Gebruikt 4 cat5 TP kabels, waardoor 4 symbolen parallel kunnen verzonden worden. Elk symbool is gecodeerd met één van 5 spanningsniveaus. Met deze methode kan één symbool 00, 01, 10, 11 of een speciale waarde voor besturingsdoeleinden voorstellen. Op die manier zijn er dus 2 databits per twisted-pair of 8 databits per klokcyclus. Klok werkt op frequentie van 125 MHz, waardoor 1 Gbps mogelijk is.
- Heeft ook stroomregulering.
- In 2002 werd 802.3ae goedgekeurd, 10-Gigabit Ethernet.

4.3. Switchen in de DLL

- Veel organisaties beschikken over meer dan één LAN en willen die met elkaar verbinden. Dit kan met bridges, die in DLL functioneren. Bepalen routes adhv DLL-adres. Doen verder niets met payloadveld dus kunnen eender welk type pakket verwerken. Routers bepalen route van pakket adhv adressen in de pakketten.

4.3.1. Lokale internetwerken

- In zijn eenvoudigste vorm werkt een transparante bridge in promiscue modus en accepteert dus elk frame dat verzonden is op elk ermee verbonden LAN. Als een frame binnenkomt moet een bridge beslissen of het weggegooid dan wel doorgezonden moet worden en in het laatste geval naar welk LAN. Bridge neemt deze beslissing door adres op te zoeken in grote hashtable binnen de bridge.
- Wanneer een bestemming niet voorkomt in de hashtable wordt het flooding-algoritme gebruikt: elk inkomend frame van onbekende bestemming wordt op alle met de bridge verbonden LAN's gezet, behalve het LAN waarop het is binnengekomen.
- Het algoritme dat de transparante bridges gebruiken is het achterwaarts leren (backward learning). Door naar bronadres van binnenkomend frame te kijken kunnen ze weten welke machine via welk LAN bereikbaar is.
- De topologie kan veranderen als er machines en bridges worden in- of uitgeschakeld. Daarom wordt er de tijd bijgehouden wanneer er het laatst een pakket van machine werd ontvangen. Van tijd tot tijd loopt er een proces in de bridge dat alle elementen in de hashtable ouder dan enkele minuten verwijderd.
- Routeringsalgoritme is dus het volgende:
 - Als bron-LAN en doel-LAN gelijk zijn wordt het frame weggegooid
 - Als bron-LAN en doel-LAN verschillend zijn wordt het frame doorgezonden
 - Als doel-LAN onbekend is wordt er flooding gebruikt.

4.3.2. Spanning-treebridges

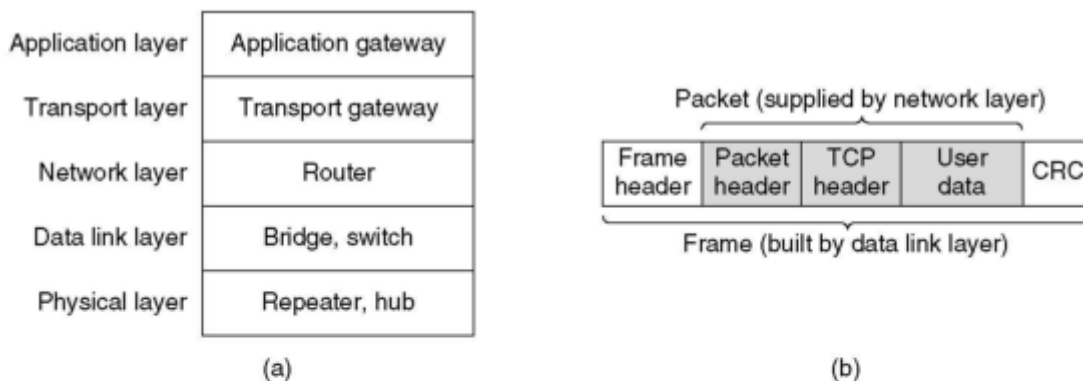
- Om betrouwbaarheid te verhogen w er soms twee parallelle bridges tss 2 LAN's geplaatst. Veroorzaakt ook nieuwe problemen doordat er lussen in topologie komen.
 - Bv: frame F w verzonden vanop LAN 1 met onbekende bestemming. Volgens principe van Flooding kopiëren beide bridges het naar LAN 2. Zo krijgen we F1 en F2. Maar B2 ziet dan F1 (en omgekeerd) en kopiëert dit dus terug naar LAN 1 enz enz..
 - Oplossing: bridges laten communiceren en over de feitelijke topologie een spanning tree (opspannende boom) te leggen die elk LAN bereikt. Komt erop neer dat sommige potentiële verbindingen tss LAN's genegeerd w. Om spanning tree op te bouwen broadcast elk LAN zijn serienr (gegarandeerd uniek) en het laagste serienr wordt de root. Dan w er een boom van korste paden van de wortel naar elke bridge en elk LAN gemaakt. Dit is de spanning tree. Algoritme w gestandaardiseerd in IEEE 802.1D

4.3.3. Remote bridges

- Veelvoorkomende toepassing is verbinden van twee op afstand gelegen LAN's. Het zou ideaal zijn als de LAN's onderling verbonden waren zodat het als één groot LAN werkt.
- Dit kan bereikt w door in elk LAN een bridge te plaatsen en de bridges paarsgewijs met point-to-point lijnen te verbinden.

4.3.5.Repeaters, hubs, bridges, switches, routers en gataways

- Gebruiker genereert gegevens die naar machine moeten verzonden w. Gegevens w overhandigd aan transportlaag, die header toevoegd (bv. TCP). Resultaat w overhandigd aan NWL. Deze voegt ook weer header toe, waardoor een NWLpakket ontstaat, bv IP-pakket. Dit wordt dan weer aan DLL gegeven die eigen header en controlesom (CRC) toevoegt om resultaat te overhandigen aan fysieke laag.

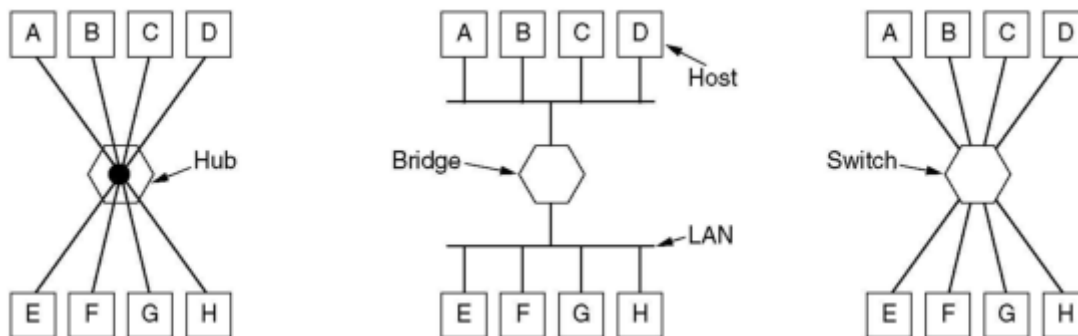


(a) Welk apparaat in welke laag

(b) Frames, pakketten en headers

- Repeaters: Analoge apparaten die verbonden zijn met twee kabelsegmenten. Signaal dat op één van deze segmenten verschijnt w versterkt en doorgegeven aan ander segment.

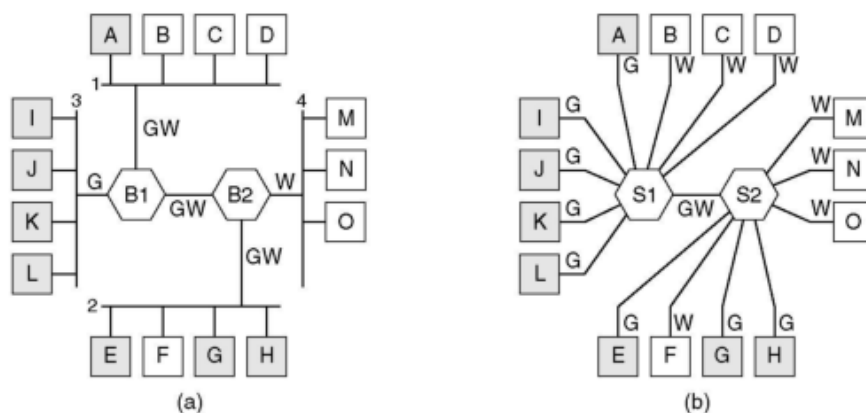
- Hubs: Aantal ingangen die elektrisch aan elkaar gekoppeld w. Arriverende frames op één van de lijnen w via alle andere lijnen weer verzonden. Als twee frames gelijktijdig arriveren: botsing.
- Bridge: verbindt twee of meer LAN's. Wanneer frame arriveert zoekt bridge ontvangstadres op in tabel om te bepalen waar het frame naar toe moet.
- Switch: Vergelijkbaar met bridges omdat ze ook routeren op basis vd frameadressen. Verschil is dat switch w gebruikt om verschillende computers ipv LAN's met elkaar te verbinden. Aangezien elke poort een eigen domein van botsingen is, zullen switches nooit frames kwijtraken ten gevolge van botsingen. Als frames echter sneller arriveren dan ze opnieuw verzonden kunnen w zal de bufferruimte vd switch te klein blijken te zijn, waardoor frames genegeerd zullen w. Om dit probleem te verkleinen beginnen moderne switches frames al te verzenden zodra het headerveld gearriveerd is, voor de rest van het pakket er is. Deze switches werken niet met het store-and-forwardprincipe maar met cut-throughprincipe.
- Routers: Wanneer pakket toekomt w header en trailer van het frame verwijderd en w het pakket in het payloadveld vh frame overhandigd aan routeringssoftware. Deze gebruikt de pakketheader om de uitgaande lijn te bepalen. Bij IP-pakket bevat de pakketheader een 32bits (IPv4) of een 128bits (IPv6) adres.
- Transport gateways: Verbinden twee computers die verschillende verbindinggerichte transportprotocollen gebruiken. Bv: een computer die TCP/IP gebruikt wil communiceren met computer die ATM gebruikt. Transport gateway kan pakketten van de ene naar de andere verbinding kopiëren en zonodig andere indeling geven.
- Application gateways bekijken zowel de indeling als de inhoud vd gegevens en vertalen berichten van de ene indeling naar de andere. Een e-mailgateway zou bv e-mails kunnen omzetten naar SMS.



4.3.6. Virtuele LAN's

- Er zijn verschillende redenen waarom het belangrijk is wie op welk LAN zit.
 - Beveiliging: elke netwerkinterface kan in promiscue modus gebruikt worden, waardoor alle dataverkeer in de lijn gekopieerd w. Sommige afdelingen, bv research-, patent- en boekhoudafdelingen hebben informatie die binnen de eigen afdeling moet blijven. Hier is het dus uitermate zinvol om alle gebruikers binnen één afdeling (en het dataverkeer dat ze genereren) in één LAN te groeperen.
 - Belasting: Sommige LAN's w zwaarder belast dan anderen en het kan wenselijk zijn om LAN's om die redenen van elkaar te scheiden.
 - Broadcasting: hoe minder aangesloten computers, hoe minder er moet broadcast w.

- De logische (afdeling) en fysieke topologie moet echter ontkoppeld w. Wanneer gebruiker van afdeling A naar afdeling B wordt overgeplaatst moet hij zelfde fysieke werkplek kunnen behouden. Wanneer er hubs worden gebruikt moet de netwerkbeheerder de connector van de machine van de ene hub naar de andere hub verplaatsen. Dit neemt echter veel tijd in of is totaal niet mogelijk.
- Om dit op te vangen werd er een methode gemaakt om bekabeling softwarematig te laten verlopen: VLAN (Virtueel LAN). Gebruikt speciale switches. Om VLAN-netwerk te installeren moet netwerkbeheerder eerst bepalen hoeveel VLAN's er moeten komen, welke computers bij welk VLAN horen en hoe de VLAN's moeten genoemd w. Vaak w de VLAN's informeel aangeduid door kleuren omdat dan gekleurde schema's kunnen w gemaakt waarin de fysieke opstelling vd machines in één oogopslag duidelijk is. Op die manier is dan zowel de fysieke als de logische opstelling duidelijk.



- (a) Vier fysieke LAN's, opgesplitst in twee VLAN's, grijs en wit, door twee bridges
- (b) Dezelfde 15 machines opgesplitst in 2 VLAN's mbhv switches

- Om VLAN's goed te doen werken moeten er configuratietabellen gemaakt w in bridges of switches. In deze tabellen staat welke VLAN's bereikbaar zijn via welke poorten.
- Tot hier toe hebben we aangenomen dat bridges en switches op één of andere manier weten welke kleur een inkomend frame heeft. Dit weten ze door de volgende methodes:
 - Elke poort krijgt VLAN kleur
 - Elk MAC-adres w gekoppeld aan VLAN kleur
 - Elk laag-3 protocol of IP-adres w gekoppeld aan een VLAN-kleur
- De eerste methode werkt enkel als alle machines op één poort bij hetzelfde VLAN horen.
- Bij de tweede methode heeft een bridge of een switch een tabel met daarin het 48bit MAC-adres van alle machines die ermee verbonden zijn gekoppeld aan het VLAN waarin die machine zit.
- Bij de derde methode kijkt de bridge of de switch naar het payloadveld van het frame om alle IP-machines op te delen in een bepaald VLAN en alle AppleTalk machines op te delen in ander VLAN. In eerste geval kan IP-adres ook gebruikt w om machine te identificeren. Kan handig zijn voor notebooks die op éénderwelk dockingstation kunnen gedockt worden.

Aangezien MAC-adres v dockingstation dan niet voldoende is om VLAN te bepalen. Enige probleem met deze benadering is dat deze in strijd is met meest fundamentele regel van netwerken: onafhankelijkheid v lagen.