

Inhoud leereenheid 2

Internet en world wide web

Introductie

Leerkern

- 1 Inleiding
- 2 Internet – verschillende gezichtspunten op internet
 - 2.1 Historie
 - 2.2 Circuitschakelen en pakketschakelen
 - 2.3 Adressering en routing
 - 2.4 Gelaagdheid van internet
 - 2.5 Naamgevingsconventies en het beheer van namen en IP-nummers
 - 2.6 Andere beheerorganisaties van het internet
- 3 Technische componenten in het internet
 - 3.1 Backbonenetwerk
 - 3.2 Aansluitnetwerk
 - 3.3 Lokale netwerken
 - 3.4 Internethosts
 - 3.5 Media die zorgen voor het transport van gegevens op het internet
- 4 World wide web
 - 4.1 Historie van het world wide web
 - 4.2 Afgeschermde domeinen van het internet
 - 4.3 Beheeraspecten van het world wide web
- 5 Structuur en groei van internet en world wide web

Terugkoppeling

- Uitwerking van de opgaven

Leereenheid 2

Internet en world wide web

INTRODUCTIE

In deze leereenheid maakt u kennis met het toepassingsgebied internet en het world wide web (www). U doet hier kennis op over de contexten en de basale communicatietechnologieën die bij internet en world wide web een rol spelen. Alleen de hoofdlijnen worden in deze cursus behandeld.

LEERDOELEN

Na het bestuderen van deze leereenheid wordt verwacht dat u

- het verschil tussen internet en www aan kunt geven
- de oorsprong en ontwikkeling van internet en www kunt beschrijven
- de specifieke actoren en dienstverleners rond de ontwikkeling en het beheer van internet kunt benoemen
- de onderliggende technische componenten kunt aangeven
- de onderliggende communicatiemediën kunt benoemen
- een probleemsituatie die zich voordoet rond het gebruik van het internet als communicatiemedium, kunt analyseren in haar context.

Studeeraanwijzing De verwachte studielast bedraagt 5 uur.

LEERKERN

1 Inleiding

Internet en het daarop opgebouwde world wide web vormen momenteel, naast het traditionele telefoonnetwerk, het belangrijkste toepassingsgebied van de communicatietechnologie. Internet en world wide web gebruiken we in deze leereenheid om een aantal belangrijke eigenschappen en componenten van de communicatietechnologie te behandelen in relatie tot de specifieke context die dit toepassingsdomein biedt.

In deze leereenheid hebben we ervoor gekozen om de behandeling van internet en world wide web te beginnen vanuit een historisch perspectief. Vervolgens worden een aantal technische aspecten behandeld die betrekking hebben op de structuur en de werking van internet en world wide web. Het is belangrijk om een eerste indruk te krijgen van het verschil tussen internet en world wide web, want heel vaak wordt er geen verschil meer gemaakt tussen beide begrippen, omdat het world wide web, dat beschouwd kan worden als een toepassing die gebruikmaakt van internet, dermate dominant is, dat het verschil met internet lijkt te verdwijnen.

2 Internet – verschillende gezichtspunten op internet

Internet

In dit hoofdstuk maakt u nader kennis met een aantal wezenlijke aspecten van internet. U zult zien dat het internet het onderliggende netwerk vormt waarvan vele toepassingen gebruikmaken. Naast de historische positionering van internet worden een aantal technische eigenschappen behandeld en krijgt u een indruk van de organisaties die zich bezighouden met het uitbouwen en beheren van dit netwerk.

2.1 HISTORIE

Advanced Research
Project Agency
(ARPA)

Het internet ontstond aan het eind van de jaren zestig toen de *Advanced Research Project Agency (ARPA)* van het Amerikaanse ministerie van defensie (DoD) een project in het leven riep om de computers van een aantal universiteiten, die financiële steun van het DoD hadden ontvangen, aan elkaar te koppelen in een netwerk. De verschillende centra hadden verschillende onderzoeksdoelstellingen. Het ministerie financierde niet alleen toegepast militair onderzoek, maar ook fundamenteel onderzoek. Er was behoefte om gegevens over onderzoeksresultaten uit te wisselen tussen de verschillende onderzoekscentra die verspreid over de VS lagen en geacht werden intensief samen te werken. Met moeite konden gegevens middels communicatieverbindingen uitgewisseld worden tussen computers van één leverancier, maar het koppelen van de verschillende computers die onder de vlag van ARPA gebruikt werden, vormde een uitdaging van een geheel andere orde.

Wanneer de onderzoeksinstellingen van elkaars gegevens gebruik wilden maken en het om kleine hoeveelheden gegevens ging, kon een telefoonverbinding tussen de beide locaties vaak uitkomst bieden. Ging het echter om grotere hoeveelheden gegevens, dan moesten deze gegevens bijvoorbeeld op ponsband (een papieren strook van zo'n 1,5 cm breedte met gestanste gaatjes op gedefinieerde plaatsen), ponskaarten (een kartonnen kaart ter grootte van een overschrijvingskaart met eveneens gestanste gaatjes) of magneetband geplaatst worden en fysiek naar de andere locatie vervoerd worden. Ook wilde men zo efficiënt mogelijk van de beschikbare computervoorzieningen gebruikmaken door over en weer elkaars reken capaciteit te gebruiken. Het was met name dit project waarin de eerste ideeën uitgewerkt werden om computers in netwerken met elkaar te verbinden. Het project waarin dit voornemen gerealiseerd werd, kreeg de naam ARPANET.

ARPANET

Voor het ministerie van defensie was het van belang dat het zo ontstane netwerk zoveel mogelijk bestand zou zijn tegen nucleaire aanvallen op een van de centra. Het moest dus door blijven werken wanneer een van de centra uitgeschakeld zou worden. Een centrale organisatie opzet van de technologie was daarom niet gewenst. Elke computer diende een gelijkwaardige rol in het netwerk te hebben. Elke computer vormde nog steeds een knooppunt in het netwerk en kon potentieel diensten aanbieden aan andere computers en diensten afnemen van andere computers. Een dergelijk knooppunt op het internet wordt een *node* genoemd en de computers worden met de term *host* aangeduid. Er bestonden eind jaren zestig nog geen pc's en er bestond ook nog geen fundamentele scheiding tussen clients en servers zoals die nu in de praktijk veelal gemaakt wordt bij het aanbieden van diensten via internet. De gelijkwaardigheid uit de beginperiode is echter nog steeds aanwezig in de onderliggende internetinfrastructuur.

knooppunt = node
computer = host

PDA = personal digital assistant; een uitgebreide elektronische agenda

De grote verscheidenheid aan componenten die momenteel aan het internet gekoppeld worden, varieert van de spreekwoordelijke ijskast, thermometer of webcam, via PDA's, mobiele telefoons, pc's en servers tot en met de grootste rekenmachines die de wereld momenteel kent voor het berekenen van reacties op moleculaire schaal en het 'droogtesten' van atoombommen.

De verdere ontwikkeling van internet, nadat de eerste vier computers in december 1969 aan elkaar gekoppeld werden, werd vooral bepaald door de evolutie die zich voordeed bij een aantal basistechnologieën.

In de volgende paragrafen maakt u kennis met een aantal van deze basistechnologieën, die samen in belangrijke mate bijdroegen aan het succes van internet.

Verder maakt u kennis met de protocollen die een rol spelen in internet en met de gelaagdheid die dit netwerk kenmerkt. Behalve met de organisatie rond het internet, krijgt u ook inzicht in de structuur, de media en de technische componenten van het netwerk.

2.2 CIRCUITSCHAKELEN EN PAKKETSCHAKELEN

Bij het vormgeven van internet werd voor de onderliggende netwerktechnologie een nieuwe richting ingeslagen. Niet langer werden de computers met elkaar verbonden via een geschakelde verbinding zoals wij die kennen van het traditionele telefoonnet. Bij geschakelde verbindingen wordt tussen deze computers een verbinding opgezet die *alleen* gebruikt wordt door de beide computers. In deze situatie wordt gebruikgemaakt van de *circuit-switching* eigenschappen van het telefoonnet. De tussenliggende netwerkverbinding wordt exclusief benut door de beide computers. Worden gedurende een bepaalde tijd geen gegevens verstuurd, dan wordt het netwerk niet volledig benut, omdat de verbinding nog steeds toegewezen is aan deze computers en dus niet door andere computers kan worden gebruikt. Tussen de telefooncentrales konden weliswaar al over elke kabelverbinding meerdere signalen gestuurd worden en konden de verbindingen dus al gedeeld worden, maar een echt efficiënte oplossing was dit niet, omdat deze vorm van *multiplexing* geen rekening kon houden met het actuele gebruik bij het toewijzen van transportcapaciteit aan gebruikers. Een oplossing werd gevonden in het opdelen van de gegevens in pakketjes, waarna die pakketjes stuk voor stuk op het netwerk geplaatst werden. Het netwerk kon nu wel door meerdere systemen gedeeld worden. Deze techniek heet *packet switching* en was enigszins afgekeken van een computerarchitectuur die op dat ogenblik in ontwikkeling was in de centra van ARPA: time-sharing.

Via time-sharing kan een computer meerdere taken tegelijkertijd uitvoeren door snel te wisselen tussen de verschillende taken. De centrale verwerkingseenheid hoeft bij deze aanpak dus niet te wachten totdat trage processen helemaal afgerond zijn, maar kan de 'dode' tijd gebruiken door andere processen te verwerken. Op een vergelijkbare manier wordt een netwerkverbinding efficiënt door meerdere communicatietaken gedeeld met behulp van pakketschakelen.

Circuitschakelen

Circuit switching

Multiplexing

Het gebruik van één fysieke verbinding voor meerdere gegevensstromen

Pakketschakelen

Packet switching

Time-sharing: tijdverdeeld

OPGAVE 2.1

In veel organisaties waar grote formulierstromen voorkomen, zoals bij verzekeringsmaatschappijen, wordt meer en meer overgestapt op een verwerkingswijze waarbij de formulieren eerst gesorteerd worden naar

moeilijkheidsgraad. Een bepaald schadegeval kan daarbij bijvoorbeeld als standaard gekenmerkt worden, of als complex. Afhankelijk van de moeilijkheidsgraad wordt er in meer of mindere mate aandacht besteed aan de verwerking en worden er meer of minder personen betrokken bij de afhandeling. Er kan daarbij ingespeeld worden op de mate waarin een bepaalde specialist beschikbaar is of een bepaalde afdeling belast is. In het verleden daarentegen moest het formulier in een vaste volgorde door een aantal personen verwerkt worden.

Beschrijf waar u in dit voorbeeld overeenkomsten ziet tussen circuitschakelen dan wel pakketschakelen.

2.3 ADRESSERING EN ROUTERING

Omdat de pakketten van allerlei computersystemen afkomstig kunnen zijn, moeten ze voorzien zijn van een eenduidig verzend- en ontvangstadres om te vermijden dat het pakket op de verkeerde computer terechtkomt.

Wanneer zo'n pakket eenmaal op het netwerk geplaatst is, kan het via verschillende routes op het bestemmingsadres terechtkomen, waardoor het niet uitgesloten is dat pakketten in verschillende volgorde bij de ontvanger aankomen, doordat niet elk tussenliggend deelnetwerk even snel is. Het internet is er inherent op ingericht om dit soort verschijnselen af te handelen zonder dat hierdoor de goede werking van het netwerk beïnvloed wordt.

De manier waarop dit in de beginjaren van internet werd opgelost, was om voor de hostcomputer een kleinere mini-computer te plaatsen die de taak kreeg om de pakketjes op de juiste manier te verwerken. De hostcomputer hoefde daarvoor niet aangepast te worden. Dit was een belangrijke stimulans voor de deelnemende organisaties om te participeren in het opkomende internet. Men kon de eigen computerlijn (men was vaak gehecht aan een bepaald computermerk) aanhouden en hoefde alleen die componenten te gebruiken die de vertaalslag konden maken naar de netwerkstandaarden.

Gelaagd systeem

Interface = (specificatie van) de interactie over het raakvlak van twee lagen

Zodoende ontstond er dus een *gelaagd systeem*, waarbij de host de gebruikersinterface en de toepassingen verzorgde, terwijl de mini-computers het netwerkverkeer afhandelden. De mini-computer kreeg de naam IMP, interface message processor. Door het koppelvlak tussen de host en de mini-computer eenduidig te definiëren, kan elke host onafhankelijk van het onderliggende netwerk met een andere host communiceren.

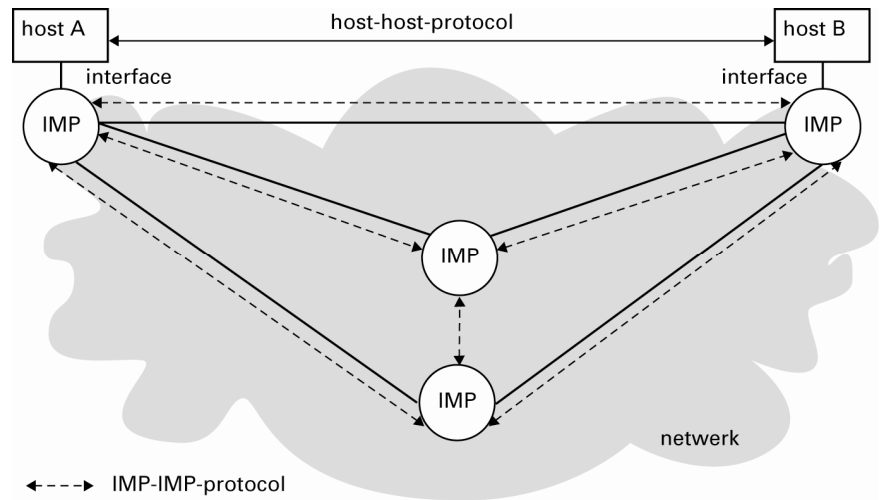
Er moeten natuurlijk wel goede afspraken worden gemaakt over:

- de communicatie en samenwerking tussen de hosts
- de communicatie en samenwerking tussen de IMP's
- de communicatie en samenwerking tussen de hosts en de IMP's.

Protocol

Protocol = verzameling afspraken over de samenwerking tussen gelijkwaardige (peer-)entiteiten

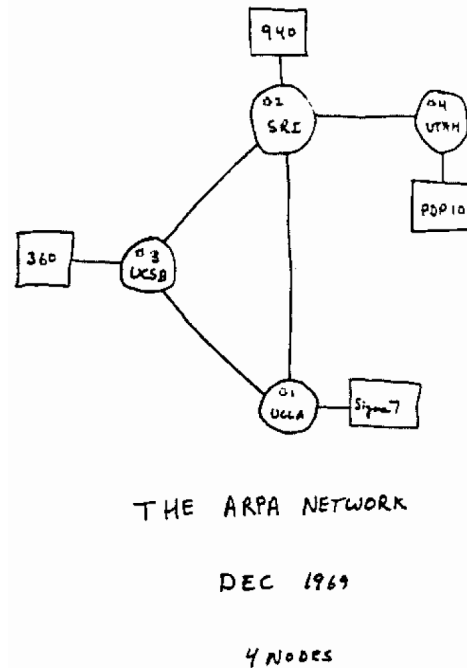
Deze afspraken over hoe de communicatie en samenwerking plaatsvindt, worden (communicatie)*protocollen* genoemd. Eenmaal vastgelegd, hoeven de toepassingen zich bijvoorbeeld alleen nog maar te houden aan de afspraken die gemaakt zijn over het uitwisselen van gegevens tussen de hosts en de communicatie met de IMP als onderdeel van een protocol. De toepassing hoeft dus *geen* weet te hebben van de manier waarop een bericht over het netwerk in pakketjes verstuurd wordt en wel zo dat bij de ontvanger de gegevens weer in de juiste volgorde aan elkaar geregen worden om tenslotte aan de ontvangende host aangeboden te worden.



FIGUUR 2.1 Scheiding van verantwoordelijkheden door protocollen voor de afhandeling van de communicatie

Zoals uit figuur 2.1 blijkt, kan het verkeer tussentijds door nog andere computers verwerkt worden. Wanneer bepaalde verbindingen overbelast zijn of raken, kan een bericht ook tijdelijk vastgehouden worden door een netwerkcomputer. Om die reden werd ervoor gekozen om de pakketten maar een beperkte omvang te geven (126 byte), zodat zo'n pakketje nooit te groot kan worden om op een IMP op te slaan. De beschikbare capaciteit van het netwerk kan op deze manier optimaal gebruikt worden.

Figuur 2.2 toont een originele schets van de eerste configuratie van het internet. In december 1969 waren computersystemen van IBM, DEC, UNIVAC en ILLIAC van de University of California Los Angeles (UCLA), University of California Santa Barbara (UCSB), University of Utah en het Stanford Research Institute (SRI) succesvol aan elkaar gekoppeld.



Topologie = beschrijving van het verbindingspatroon van de knooppunten in een netwerk

FIGUUR 2.2 De topologie van het internet kort na zijn ontstaan
Bron: Alex McKenzie

De hostcomputers die aangesloten waren op ARPANET konden de eerste jaren slechts over een beperkt aantal toepassingen beschikken. In 1971 werden de volgende drie protocollen gestandaardiseerd waarmee vastgelegd werd hoe een bepaald type toepassing op de ene computer kon samenwerken met eenzelfde type toepassing op een andere computer in het netwerk.

Eerste toepassings-protocollen: Telnet, FTP, SMTP

– Telnet-protocol

Het Telnet-protocol beschrijft hoe een gebruiker vanaf een bepaalde computer of eenvoudige terminal een verbinding kan maken met een andere computer en daar programma's op kan starten.

– File transfer protocol (FTP)

Het FTP beschrijft hoe een gebruiker vanaf een bepaalde computer een verbinding kan maken met een andere computer en vervolgens bestanden uit kan wisselen met deze computer.

– SMTP-protocol

Het mailbox-protocol SMTP beschrijft hoe een gebruiker vanaf een bepaalde computer een bericht kan versturen naar een gebruiker op een andere computer.

2.4 GELAAGDHEID VAN INTERNET

De gelaagdheid van internet in de verschillende communicatielagen correspondeerde, zoals wij hiervoor reeds zagen, in eerste instantie met de verschillende hardwarelagen, dat wil zeggen: gekoppelde computers met gespecialiseerde taken. Het protocol waarmee de communicatie en samenwerking tussen beide netwerklagen beschreven werd, kreeg de naam NCP: network control protocol. Hoe de verschillende hardwarelagen aan elkaar gekoppeld werden, werd vastgelegd in de interfacedefinities.

De zinvolheid van de opdeling in lagen is echter niet beperkt tot met elkaar verbonden apparaten met gespecialiseerde communicatiefuncties. Tegenwoordig kunnen verschillende communicatielagen in één apparaat verenigd worden, waarbij de verschillende lagen in de opbouw van de programmatuur nog herkenbaar zijn. Voor sommige delen van de communicatie is echter nog steeds specifieke apparatuur nodig. Wanneer u bijvoorbeeld verbinding met internet wilt maken en u beschikt niet over een digitale verbinding, hebt u een extra apparaat nodig, een modem.

De oorspronkelijke indeling van het internet in twee lagen heeft als volgt geleid tot de huidige gelaagdheid van het internet. De twee lagen bleken veel te beperkt om koppelingen aan te brengen met de specifieke computernetwerken van verschillende leveranciers. Bovendien werden in plaats van alleen telefoonverbindingen ook andere communicatiemediën gebruikt. Zo werden satellieten ingeschakeld en werden ook radiogolven tussen zenders en ontvangers op aarde gebruikt voor de communicatie tussen verschillende op grotere afstanden gelegen locaties. Door het opdelen van de communicatiefunctie in lagen en door de protocollen en interfaces eenduidig te beschrijven werd het mogelijk om de heterogene netwerken van verschillende leveranciers met elkaar te verbinden. Alleen de lagen die afweken tussen verschillende leveranciers, hoefden aangepast te worden. Men kon zodoende vanuit een computer van een bepaald merk een bestand versturen naar een computer van een heel ander merk via FTP. Alle onderliggende communicatielagen konden verschillend geïmplementeerd zijn maar dienden wel van dezelfde protocollen gebruik te maken. Daarnaast diende de interface vanuit de FTP-applicatie naar de onderliggende laag op beide systemen gelijk te zijn.

*TCP/IP
Transmission
control
protocol/internet
protocol*

In feite gaat het bij NCP en TCP/IP om een verzameling van protocollen.

Om in te spelen op deze veranderingen werd in 1983 de onderliggende structuur van ARPANET vanuit het NCP (network control protocol) omgezet in het *TCP/IP (transmission control protocol/internet protocol)* en werd de term internet gangbaar. Het IMP-protocol werd opgesplitst in een aantal lagen met per laag een gedefinieerd protocol en gedefinieerde interfaces tussen de lagen.

Transportlaag

– *Transportlaag*

In de transportlaag wordt voor het merendeel van de toepassingen gekozen uit twee mogelijke protocollen, namelijk TCP (transmission control protocol) en UDP (user datagram protocol). TCP wordt gebruikt wanneer het belangrijker is dat het bericht correct afgeleverd wordt dan dat dit snel gebeurt. Bij UDP geldt het omgekeerde.

Wanneer er iets mis gaat met het verzenden van een pakket, dan beslist de transportlaag of het pakket al dan niet opnieuw verzonden moet worden.

Netwerklaag

– *Netwerklaag*

De netwerklaag is van belang voor het koppelen van verschillende netwerken. Op dit niveau wordt de route van het pakket door het netwerk bepaald op basis van het IP-adres van de verzender en het IP-adres van de ontvanger. De netwerklaag onderneemt zelf geen actie wanneer een pakket door overbelasting van het netwerk verloren gaat; dit is een taak van de transportlaag.

IP-adres (zie paragraaf 2.5)

*Datalinklaag
Fysische laag*

– *Datalinklaag* en het *fysische laag*

De datalinklaag zorgt ervoor dat het pakket ingepakt wordt in een pakket dat verwerkt kan worden door het fysieke netwerk. De manier

waarop het IP-pakket ingepakt wordt, is afhankelijk van het transportmedium.

Toepassingslaag

– *Toepassingslaag*

In de toepassingslaag zijn de toepassingen te vinden die gebruik maken van de onderliggende lagen die de eigenlijke transportfuncties vervullen. De protocollen waaraan toepassingen zoals SMTP, ftp, DNS of http zich dienen te houden, zijn vastgelegd in protocollen zodat zender en ontvanger weten op welke manier de uitgewisselde informatie geïnterpreteerd kan worden binnen de context van de specifieke toepassing.

Leestekst

Het onderstaande voorbeeld uit de specificatie van het SMTP-protocol laat zien hoe mail door Smith op host Alpha.ARPA verzonden wordt naar de mailboxen van Jones, Green en Brown op host Beta.ARPA.

```
S: MAIL FROM:<Smith@Alpha.ARPA>  
R: 250 OK
```

```
S: RCPT TO:<Jones@Beta.ARPA>  
R: 250 OK
```

```
S: RCPT TO:<Green@Beta.ARPA>  
R: 550 No such user here
```

```
S: RCPT TO:<Brown@Beta.ARPA>  
R: 250 OK
```

```
S: DATA  
R: 354 Start mail input; end with <CRLF>.<CRLF>  
S: Blah blah blah...  
S: ...etc. etc. etc.  
S: <CRLF>.<CRLF>  
R: 250 OK
```

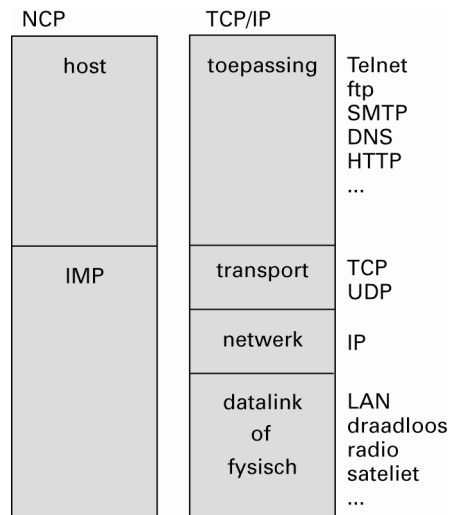
De mail is geaccepteerd door Jones en Brown. Green had blijkbaar geen mailbox op host Beta en het mailbericht kon dus niet afgeleverd worden.

U moet de berichten als volgt lezen:

- Achter S: staat het bericht dat de sender (zender) naar de ontvanger stuurt en achter R: het bericht dat de receiver (ontvanger) terugstuurt.
- MAIL (MAIL) This command is used to initiate a mail transaction in which the mail data is delivered to one or more mailboxes.
- RECIPIENT (RCPT) This command is used to identify an individual recipient of the mail data.
- DATA (DATA) The receiver treats the lines following the command as mail data from the sender.
- 250 Requested mail action okay, completed
- 550 Requested action not taken: mailbox unavailable [E.g., mailbox not found, no access]

Bron: SIMPLE MAIL TRANSFER PROTOCOL, <http://tools.ietf.org/html/rfc821> (1982)

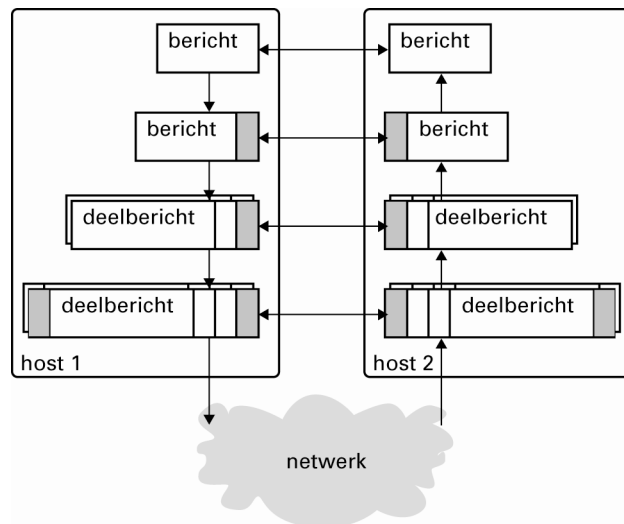
In figuur 2.3 is weergegeven hoe de lagen in het NCP in relatie staan met het huidige TCP/IP. Ook zijn de belangrijkste toepassingen en protocollen weergegeven die momenteel op de verschillende lagen een rol spelen.



FIGUUR 2.3 De lagen in het huidige internet gebaseerd op het TCP/IP protocol en zijn voorganger, het NCP protocol

Ga na welke van de protocollen in figuur 2.3 u al kent of herkent

Figuur 2.4 geeft een indruk hoe de verschillende lagen elk voor zich informatie toevoegen aan een bericht dat vanuit een toepassing op host 1 via het netwerk verstuurd wordt naar een toepassing op host 2. Op elke laag kan dus een keuze gemaakt worden voor de meest geschikte invulling, zonder dat dit beperkingen oplegt in keuze van de componenten op de andere lagen.



FIGUUR 2.4 Opbouw van een pakket dat via het netwerk verstuurd wordt

Poortnummer

Op de toepassingslaag wordt door een toepassing een bericht aangemaakt. In de transportlaag wordt dit bericht aangevuld met de TCP-header. Deze header bevat een tijdelijk nummer dat gerelateerd is aan de toepassing van de zender en een poortnummer dat specifiek is voor een bepaalde toepassing, zodat de toepassing van de ontvanger weet welke

dienst gevraagd wordt. Poortnummer 80 is bijvoorbeeld gereserveerd voor het opvragen van webpagina's via het world wide web.

Leestekst

Op een host kunnen tegelijkertijd meerdere toepassingen informatie met elkaar uitwisselen. Het poortnummer zorgt ervoor dat de juiste toepassingen van de beide hostsystemen met elkaar communiceren. De poortnummers hebben een numerieke waarde die ligt tussen 0 en 65525. De waarden onder 1024 zijn gekoppeld aan specifieke functies, zijn centraal gedefinieerd en worden beheerd door de IANA (Internet Assigned Numbers Authority) . Dit zijn de zogenaamde well-known port numbers. Voorbeelden:

- 21 FTP (een protocol voor het uitwisselen van bestanden)
- 80 HTTP (het protocol voor het world wide web)
- 110 POP3 (post office version 3, een protocol voor het ophalen van e-mailberichten vanuit de mailboxen op een e-mailserver).

De netwerklaag splitst het pakket uit de transportlaag indien nodig en voegt aan elk pakket een eigen header toe. Deze bevat onder andere een unieke identificatie van de zender en de ontvangende computer. Voor deze unieke identificatie heeft elke computer op het internet een uniek adres gekregen, het al eerder genoemde IP-adres. In paragraaf 2.5 zullen wij verder ingaan op dit IP-adres.

Door de datalinklaag wordt eveneens informatie toegevoegd aan het pakket, die specifiek is voor het communicatieprotocol dat gebruikt wordt tussen de verschillende componenten in het netwerk.

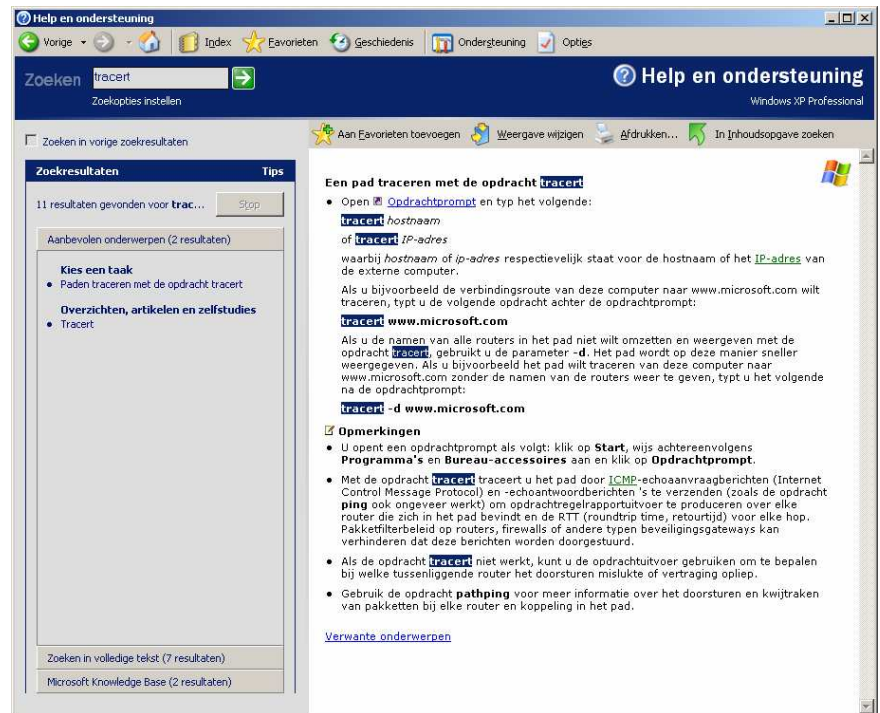
Routers

Op zijn weg van zender naar ontvanger kan het pakket via diverse netwerken en netwerkmedia getransporteerd worden. De knooppunten tussen deze verschillende netwerken worden gevormd door de routers die ervoor zorgen dat het pakket via een optimale netwerkverbinding verder verstuurd (gerouteerd) wordt naar het bestemmingsadres.

Toelichting bij opgave 2.2 voor het programma tracert

Voordat we in opgave 2.2 onderzoeken welk pad een bericht door het internet volgt, moeten we eerst nog enige toelichting geven hoe dit met behulp van een DOS-programma, tracert.exe, gedaan kan worden.

Roep vanaf het Bureaublad in Windows de helpfunctie op door op de functietoets F1 te drukken. Ga in het geopende dialoogschermbord naar het tabblad 'Zoeken' en geef als zoekwoord de term 'tracert' op. Selecteer uit de lijst met onderwerpen het eerste onderwerp (zie de figuur 2.5).



FIGUUR 2.5 Het help scherm in WindowsXP voor het programma tracert

In een zogenaamde MSDOS-box kunt u dit programma tracert oproepen. Een MSDOS-box opent u onder een Windows-versie via de menuopties Start - Programma's - Bureau-accessoires - Opdrachtprompt. In figuur 2.6 is zo'n MSDOS-box afgebeeld.



FIGUUR 2.6 MSDOS-box met een oproep van het programma tracert

Geef nu vanaf de opdrachtprompt het commando tracert gevolgd door een spatie en daarna een IP-adres, bijvoorbeeld 216.239.57.99 of een adres in de vorm van www.computertotaal.nl. Wanneer u het commando tracert geeft en vervolgens op de Enter-toets drukt, dan krijgt u enige uitleg over de mogelijke parameters die u het commando mee kunt geven (zie figuur 2.6).

Na dit intermezzo bent u voldoende geïnformeerd om met behulp van het programma tracert opgave 2.2 te maken.

OPGAVE 2.2

Met een programma als tracert dat als MSDOS-toepassing standaard met Windows meegeleverd wordt, kunt u nagaan via hoeveel routers u van uw eigen pc bij een bepaalde bestemming terechtkomt. In de volgende lijst (zie figuur 2.7) is (een deel) van de uitvoer van dit programma weergegeven bij een aanroep naar de zoekdienst Google.

In de eerste lijst wordt het pad weergegeven naar de Google-zoekdienst in het domein '.com'; in het tweede geval wordt het pad weergegeven naar de Google zoekdienst in het domein '.nl'.

Wat valt u op wanneer u de uitvoer in de beide lijsten met elkaar vergelijkt?

```
Bezig met het traceren van de route naar google.com [72.14.207.99]
via maximaal 30 hops:
 1 <1 ms <1 ms <1 ms 145.20.32.250
 2 6 ms 6 ms 7 ms v1-20-1.2040.xrs01.amsterdam2a.surf.net [145.145.10.21]
 3 7 ms 6 ms 6 ms zt-500.xsr03.amsterdam2a.surf.net [145.145.80.42]
 4 6 ms 7 ms 7 ms core1.ams.net.google.com [195.69.144.247]
 5 7 ms 7 ms 7 ms 209.85.248.88
 6 85 ms 87 ms 91 ms 209.85.248.180
 7 97 ms 99 ms 96 ms 72.14.233.113
 8 101 ms 103 ms 97 ms 66.249.94.92
 9 101 ms 95 ms 105 ms 72.14.236.130
10 95 ms 95 ms 95 ms eh-in-f99.google.com [72.14.207.99]
```

```
Bezig met het traceren van de route naar google.nl [216.239.59.104]
via maximaal 30 hops:
 1 <1 ms <1 ms <1 ms 145.20.32.250
 2 6 ms 6 ms 6 ms v1-20-1.2040.xrs01.amsterdam2a.surf.net [145.145.10.21]
 3 6 ms 6 ms 6 ms zt-500.xsr03.amsterdam2a.surf.net [145.145.80.42]
 4 6 ms 6 ms 6 ms core1.ams.net.google.com [195.69.144.247]
 5 6 ms 6 ms 6 ms 209.85.248.93
 6 7 ms 7 ms 28 ms 209.85.254.101
 7 10 ms 9 ms 9 ms 209.85.248.79
 8 18 ms 18 ms 17 ms 72.14.236.197
 9 18 ms 19 ms 18 ms 216.239.59.104
```

De drie cijfers achter het volgnummer geven de responsetijd van de router in milliseconden weer; deze tijd wordt drie keer bepaald. In de laatste kolom wordt de informatie weergegeven die de betreffende router teruggeeft. Dit is soms een naam van de router maar in elk geval het ip-adres.

FIGUUR 2.7 Twee routes naar Google

2.5 NAAMGEVINGSCONVENTIES EN HET BEHEER VAN NAMEN EN IP-NUMMERS

Het IP-nummer waarover elke host op internet beschikt, is cruciaal voor het functioneren van een TCP/IP-netwerk, dat wil zeggen: een netwerk dat gebaseerd is op TCP/IP. Wanneer er twee computers op internet aangesloten zijn met een gelijk IP-adres, zullen de gegevens niet altijd op de juiste computer aankomen; er ontstaan dan netwerkconflicten.

Zoals we in opgave 2.2 zagen, is het IP-adres opgebouwd uit vier getallen met een punt ertussen. Elk van de vier getallen kan de waarden tussen 0 en 255 aannemen. Elk getal kan dus met 8 bits gerepresenteerd worden. Het IP-adres bijvoorbeeld van de internetcomputer bij de Open Universiteit Nederland waarop Studienet draait, is 145.20.126.249.

OPGAVE 2.3

Bereken hoeveel unieke hostmachines geadresseerd kunnen worden via een IP-adres. Denkt u dat dit adresseringssysteem voldoende is om alle huidige computers die aangesloten zijn op internet, te voorzien van een uniek adres?

IPv4 en IPv6

In eerste instantie zou het aantal beschikbare adressen via dit adresseringssysteem nog heel wat jaren groei van het aantal internethosts mogelijk maken. Er zit echter een structuur in de manier waarop adressen uitgedeeld worden, waardoor niet elk adres gebruikt kan worden. Een ISP krijgt immers een groep van adressen toegewezen die niet op elk ogenblik allemaal in gebruik zijn. Om ook in de toekomst verzekerd te zijn van een voldoende hoeveelheid unieke internetadressen wordt daarom gewerkt aan de invoering van een nieuwe opzet van die adressen. Deze nieuwe verzameling afspraken heeft de naam IPv6 (IP version 6; de huidige IP-nummerstructuur draagt de naam IPv4). IPv6 kent in totaal 128 bits (vier keer 32 bits in plaats van vier keer 8 bits van IPv4). Er is nooit een echte versie IPv5 geweest. Voor een experimentele ontwikkeling is in de jaren zeventig de waarde '5' in het versieveld van de IP-header reeds uitgegeven, zodat nu naar 6 gesprongen moest worden.

OPGAVE 2.4

Stel een gemiddeld atoom op het aardoppervlak beslaat een oppervlak van 5 \AA^2 ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$). Reken uit hoeveel adressen aan elke atoom aan het aardoppervlak toegekend zouden kunnen worden met de nummermethode volgens IPv6. Neem daarbij als straal van de aardbol 6000 km.

Uitgifte van IP-adressen

De IPv6-specificatie kent, naast de verlengde adressering, nog andere verbeteringen ten opzichte van IPv4, zoals beveiliging, snellere routing en aanduiding van gewenst kwaliteitsniveau van de netwerkverbinding.

De *uitgifte van IP-adressen* wordt gecoördineerd door ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers). ICANN houdt zich niet alleen bezig met het uitgeven van IP-adressen, maar ook met de uitgifte van domeinnamen. Op domeinnamen komen wij verderop in de deze paragraaf uitvoerig terug.

De eigenlijke uitgifte van adressen wordt uitgevoerd door vier organisaties die op wereldschaal adressen uitdelen: AfriNIC (The African Network Information Center) voor Afrika, ARIN (American Registry for IP Numbers) voor Noord-Amerika en Afrika zuidelijk van de Sahara, APNIC (Asian-Pacific Network Information Center) voor Zuid- en Oost-Azië, RIPE NCC (RIPE Network Coordination Center) voor Europa, Afrika en het Midden-Oosten en LACNIC (Latin American and Caribbean Internet Addresses Registry) voor het Caribisch gebied en Zuid-Amerika. Om toegang te krijgen tot internet, dienen particulieren en ook bedrijven zich aan te melden bij een *ISP (internet service provider)*. ISP's dienen zich op hun beurt aan te melden bij een van de hiervoor genoemde organisaties die wereldwijd de blokken van IP-adressen verdelen.

*ISP
Internet service
provider*

Bekende ISP's in Nederland zijn Planet internet, XS4ALL en SURFnet. SURFnet is de ISP die in Nederland het (hoger) onderwijs faciliteert met internettoegang en daarmee ook de Open Universiteit Nederland. Doordat ISP's blokken van IP-adressen toegewezen krijgen, zullen dus grote groepen van IP-adressen niet gebruikt worden, hetgeen voor een deel verklaart waarom hier en daar al een tekort aan IP-adressen ontstaat. Een ISP stelt adressen beschikbaar aan particulieren of bedrijven die aangesloten zijn bij deze ISP. Kijkend naar de koppelingen van de netwerken zullen kleine ISP's aan grotere ISP's gekoppeld worden, die op hun beurt hun netwerken weer koppelen aan de rest van het internet. Een ISP zal er ook op letten niet afhankelijk te zijn van één andere organisatie en zal er daarom naar streven om op meer plaatsen koppelingen aan te brengen met andere ISP's. Er zijn knooppunten waar veel ISP's hun netwerken aan elkaar koppelen. In Nederland is dat de Amsterdam internet exchange (AMS-IX). Niet elke ISP onderhoudt een eigen fysiek netwerk. Het beheer van de fysieke infrastructuur (kabels en grote landelijke en internationale netwerken) is grotendeels in handen van grote, vaak internationaal opererende organisaties die netwerkcapaciteit aanbieden aan ISP's en andere organisaties.

Deze opzet waarbij vele kleinere en grotere organisaties elk voor zich een deel van het internetnetwerk voor hun rekening nemen, verklaart waarom het internet ook vaak aangeduid wordt als een netwerk van netwerken.

Domeinnaam

Wij zagen reeds dat het ICANN behalve de uitgifte van IP-adressen ook de uitgifte van *domeinnamen* coördineert. Domeinnamen koppelen een leesbare naam aan IP-adressen, zodat mensen niet de moeilijk te onthouden IP-adressen hoeven in te voeren, maar gebruik kunnen maken van een betekenisvolle naam. Zo hanteert de Open Universiteit Nederland in het merendeel van haar communicatie de domeinnaam ou.nl. Het tweede deel van de naam (de aanduiding .nl) wordt aangeduid met TLD (top level domain). De meeste landen hebben een eigen TLD. Daarnaast zijn er TLD's zoals .com voor bedrijven, .edu voor educatieve organisaties in de Verenigde Staten, .net voor netwerkorganisaties. Recent zijn een groot aantal TLD's toegevoegd door het ICANN, omdat het .com-domein onbeheersbaar dreigde te raken met meer dan 2 miljoen subdomeinen. Voorbeelden van deze nieuwe TLD's zijn .info en .biz.

Belang van domeinnamen

De domeinnaam is vooral door het world wide web zeer belangrijk geworden. Voor marketingdoeleinden door bedrijven of voor het geven van goede overheidsinformatie speelt de domeinnaam een steeds belangrijkere rol. Een goede domeinnaam zorgt ervoor dat informatie eenvoudig vindbaar is. De belangen die spelen bij het uitdelen van IP-nummers, maar vooral domeinnamen, zijn enorm. Ook sommige kleinere landen proberen munt te slaan uit de toegewezen domeinnaam. Een land als Tuvalu, een eilandenstaat in de Stille Oceaan, verkoopt zijn TLD .tv voor vele miljoenen en beschikt daarmee over een interessante bron van inkomsten gezien het totale bruto product van deze staat van rond de 10 miljoen dollar in 2000.

Het ligt binnen de mogelijkheden van het ICANN om een land volledig af te sluiten van het internet. Mede hierdoor is het des te verbazingwekkender dat een particuliere Amerikaanse organisatie als het ICANN over de macht beschikt om wereldwijd het beleid

te bepalen! Het ICANN is in het kader van de deregulering als bedrijf opgezet door de regering Clinton en is aan niemand rekenschap verschuldigd, al is er wel een poging ondernomen om door de wereldwijde groep gebruikers van het internet een aantal directeuren te laten kiezen. Deze verkiezing liep echter uit op een groot fiasco en heeft zeker niet geleid tot een democratischer bestuur van het ICANN. Of het internet een platform wordt/blijft waar mensen van over de gehele wereld vrij zijn om met elkaar te communiceren en allerlei informatie met elkaar uit te wisselen, of dat het internet zich ontwikkelt tot een platform met sterke sturing van commerciële organisaties en regelgeving en censuur door de overheid, is in belangrijke mate afhankelijk van de positie die het ICANN inneemt.

2.6 ANDERE BEHEERORGANISATIES VAN HET INTERNET

Harmonisatie
internet
ISOC

Internet society

De centrale coördinerende organisatie die wereldwijd probeert de ontwikkeling, de beschikbaarheid en het gebruik van het internet te *harmoniseren* en te stimuleren, is de *ISOC (Internet Society)*. In tegenstelling tot het ICANN is de ISOC een wereldwijd opererende organisatie. De leden van de ISOC zijn individuele professionals en organisaties uit zo'n 180 landen. De werkzaamheden van de ISOC worden ondersteund door landelijke organisaties, de zogenaamde chapters (in Nederland is dat de ISOC.nl en in België de Internet Society Chapter of Belgium).

Technische
standaarden
internet
IETF

Internet Engineering Task Force
Request for comment

De organisatie die zich bezig houdt met de ontwikkeling van de *technische standaarden* en de beheeraspecten is de *IETF (Internet Engineering Task Force)*. De standaarden worden vastgelegd in zogenaamde *RFC's (request for comment)*. De *RFC's* worden eenvoudig doorgenummerd. Belangrijke standaarden uit de begindagen van het internet zijn de al eerder genoemde Telnet (RFC97) en FTP (RFC114). Inmiddels zijn er al meer dan 3000 *RFC's* uitgebracht.

CERT

Computer emergency response team

Een ander belangrijk samenwerkingsverband binnen het internet zijn de Internet computer emergency response teams (*CERT's*). Het centrale *CERT* coordination center stemt maatregelen af op het gebied van *beveiligingsincidenten*. Veel grotere organisaties en ISP's participeren actief in dit wereldwijde samenwerkingsverband, zodat problemen met beveiliging zeer snel wereldwijd bekend worden en snel de noodzakelijke preventieve of correctieve maatregelen genomen kunnen worden.

Beveiligings-incidenten

Samenwerking tussen ISP's

Verder zijn er nog een aantal operationele samenwerkingsverbanden tussen de ISP's. Deze organisaties ontplooiën uiteenlopende activiteiten zoals het ondersteunen van elkaars helpdesks, ze maken afspraken over onderlinge koppelingen, over het uitwisselen van best-practices en proberen de politiek of de publieke opinie ten aanzien van het internet te beïnvloeden.

3 Technische componenten in het internet

Backbonenetwerk

1 giga = 10^9

De internetnetwerkstructuur is een hiërarchische structuur, die als volgt is opgebouwd.

– Backbonenetwerk

Het Backbonenetwerk koppelt de netwerken waar de ISP's gebruik van maken over grotere afstanden. Dit netwerk kent typisch bandbreedten van gigabit per seconde (Gbps). De netwerken van de ISP's worden op diverse punten onderling redundant gekoppeld, onder andere via de

Aansluitnetwerk

regionale Internet-Exchangeknooppunten.

– Aansluitnetwerken op basis van vaste of kiesverbindingen

De ISP's geven hun klanten de keuze uit vaste en kiesverbindingen. De klanten van deze providers kunnen bedrijven zijn, maar ook

particulieren.

Lokaal netwerk

– Lokale netwerken (LAN)

Bij veel organisaties hebben meerdere computers toegang tot internet via een intern netwerk, een local area netwerk of LAN. In toenemende mate hebben ook steeds meer particulieren inmiddels zo'n intern netwerk, waarbij een aantal computers gezamenlijk gebruikmaken van een internetaansluiting. Binnen LAN's worden de communicatiefuncties in toenemende mate gebaseerd op de internetprotocollen. Ook wordt er steeds meer gebruikgemaakt van typische internettoepassingen zoals e-mail en www. Een LAN dat gebruikmaakt van deze protocollen en gekoppeld is aan het wereldwijde internet, kan daarmee beschouwd worden als een onderdeel van dit internet.

3.1 BACKBONENETWERK

Router

Op de knooppunten van de diverse deelnetwerken (of subnetten) doen *routers* hun werk om het verkeer in goede banen te leiden. De algoritmen in deze gespecialiseerde computers bepalen, onder andere op basis van het IP-adres van de ontvanger, via welke route een pakketje naar zijn bestemming gestuurd wordt. De routers kunnen beschouwd worden als de werkpaarden waarop het internet draait. Een belangrijke rol speelt niet alleen de kortste of snelste weg naar de bestemming, maar ook de goedkoopste weg, gelet op de afspraken die de ISP's en netwerkbedrijven onderling maken ten aanzien van het gebruik van elkaars netwerken.

Door zo effectief mogelijk gebruik te maken van de beschikbare verbindingen, kan hier ook geld verdiend, respectievelijk gespaard worden.

In figuur 2.8 staat het Landelijk Nederlands netwerk voor het hoger onderwijs, SURFnet4, zoals dat rond 1998 gereed was en geëxploiteerd werd door SURFnet. Uit de figuur wordt duidelijk dat de backbone Amsterdam, Enschede, Eindhoven en Delft verbond. De backbone had een bandbreedte van ongeveer 2,5 Gbps. Elk knooppunt van de backbone bleef bereikbaar wanneer er één verbinding uitviel. Dat gold niet voor de overige knooppunten. Inmiddels is dit netwerk vervangen door SURFnet6 met een meer redundante structuur.



FIGUUR 2.8 SURFnet4 en SURFnet6

Bron: SURFnet dienstenbrochure; SURFnet5: Het netwerk belicht en website Het SURFnet netwerk <http://www.surfnet.nl/info/netwerk/nationaal/home.jsp>.

3.2 AANSLUITNETWERK

Modem modem= modulator-demodulator

Komt een internetverbinding bij een particulier of een kleinere organisatie binnen, dan staat hier in het algemeen een *modem* dat ervoor zorgt dat het analoge signaal, dat via een telefoonaansluiting of een kabelaansluiting binnenkomt, omgezet wordt naar een digitaal signaal. Is de aansluiting op basis van een ISDN-verbinding, dan komt het signaal reeds digitaal binnen. Bij aansluiting aan de analoge telefoonlijn is in het algemeen sprake van een kiesverbinding. De tariefstelling van een kiesverbinding is afhankelijk van de tijdsduur waarop de verbinding daadwerkelijk openstaat. Tegenwoordig zijn de kiesverbindingen in het algemeen vervangen door ADSL (asymmetric digital subscriber line), dat een grote bandbreedte levert bij een vast tarief, waarbij de verbinding dus permanent opengehouden kan worden of de kabel die ook deze permanente verbinding biedt.

Digitale aansluiting

In grotere organisaties komt internet veelal de organisatie binnen via een *digitale vaste aansluiting* op basis van een glasvezel of koperdraad.

3.3 LOKALE NETWERKEN

Netwerkaart

Binnen organisaties worden computers gekoppeld in een lokaal netwerk. De computers in een lokaal netwerk (LAN) beschikken over *netwerkkarten* waarmee de eigenlijke verbinding tussen computer en netwerk totstandgebracht wordt.

Het lokale netwerk kan aan het internet gekoppeld worden via een modem (indien geen digitale koppeling beschikbaar is) en een router. Het modem zorgt ervoor dat er een verbinding totstandgebracht wordt. De router zorgt voor de organisatie van het verkeer tussen LAN en internet.

Draadloze koppeling

Overigens wordt de draadloze koppeling van computers ook steeds populairder. Vaak vormt een draadloos netwerk een integraal deel van een LAN, waardoor vooral mobiele apparaten zoals laptops aan het netwerk gekoppeld kunnen worden zonder dat er extra bekabeling aangelegd hoeft te worden. Ook groeit het aantal publiek toegankelijke draadloze netwerken.

Beveiliging via de router

Bij grotere organisaties en bij particulieren met een vaste verbinding, via ADSL of kabelmodem, heeft de router ook vaak de functie om ongewenst verkeer tegen te houden. In de volgende leereenheid zullen wij hier nader op ingaan.

3.4 INTERNETHOSTS

De hosts zorgen voor het end-to-end afnemen en aanbieden van diensten en vormen aldus het sluitpunt van het internetnetwerk. Er wordt vaak verschil gemaakt tussen clients en servers. Clients zullen in het algemeen diensten afnemen en servers diensten aanbieden, maar deze grenzen zijn niet scherp te trekken. Clients voeren in toenemende mate ook functies van servers uit, zoals het beschikbaar stellen van gegevens voor andere computers in het netwerk. In de internetterminologie worden beide soorten computers met de term *host* aangeduid.

Client

De clients waren in het verleden uitsluitend computers. In toenemende mate worden ook andere apparaten direct aan het internet gekoppeld: van de spreekwoordelijke koelkast die zelfstandig zijn bestellingen bij de buurtsuper door kan geven, tot de auto die meldt aan de garage om de hoek dat hij toe is aan een servicebeurt omdat bepaalde motorfuncties beginnen terug te lopen. Welke toepassingen hier echt zinvol zijn en in grote omvang een rol zullen gaan spelen, valt momenteel nog nauwelijks te voorspellen. Wel is het nu reeds zo dat een veelvoud van de computers ingebouwd zijn in apparaten die niet onmiddellijk als computer herkenbaar zijn, maar wel een centrale verwerkingseenheid hebben. Men noemt deze interne computers *embedded systems*. Deze embedded systemen zullen, om hun functionaliteit goed tot hun recht te laten komen, steeds meer vragen om communicatievoorzieningen. Deze communicatievoorzieningen zullen naar verwachting gebaseerd zijn op internetstandaarden en internettechnologie om redenen van kostenbesparingen, koppelbaarheid en uitwisselbaarheid van gegevens.

Embedded systems

Server

Op de *servers* kunnen twee groepen van dienstenfuncties onderscheiden worden. Enerzijds stellen aan het internet gekoppelde servers functionaliteit beschikbaar aan de afnemers van deze diensten. Het bieden van diensten op het world wide web, het uitwisselen van e-mail, toegang tot databases, het uitwisselen van bestanden zoals multimediatekstbestanden, de besturing van astronomische radioschotels aan de andere kant van de wereld, vormen slechts een kleine greep uit de functies die geboden worden door servers in het internet. Anderzijds spelen grote aantallen servers ook een belangrijke rol bij het beheer van het internet en ondersteunen daarmee de goede werking van het internet.

Een belangrijke functie wordt bijvoorbeeld gerealiseerd door DNS'en (domain name server) die ervoor zorgen dat de IP-nummers vertaald worden naar domeinnamen, zodat u geen nummers hoeft te onthouden zoals bijvoorbeeld 216.239.39.100 om diensten op te roepen, maar gebruik kunt maken van veelal meer betekenisvolle domeinnamen.

3.5 MEDIA DIE ZORGEN VOOR HET TRANSPORT VAN GEGEVENS OP HET INTERNET

Koperkabel

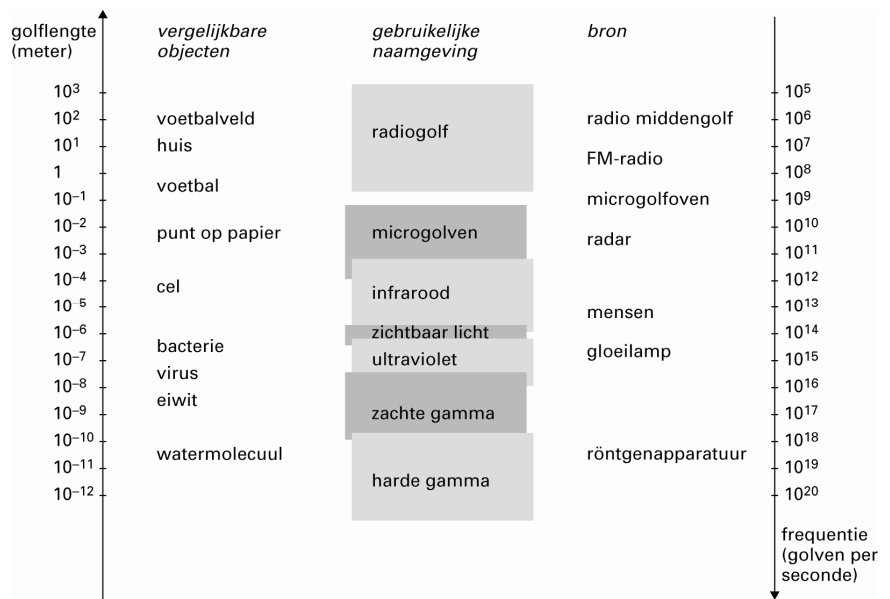
Glasvezel

aansluitnet

Om gegevens te transporteren over het internet wordt erg veel gebruikgemaakt van koperkabels en glasvezels. Bij *koperkabels* wordt de informatie getransporteerd door het manipuleren van elektrische stromen door de kabels. Bij *glasvezel* wordt licht door de glasvezel gestuurd. Glasvezels hebben het voordeel dat deze een grote capaciteit hebben, moeilijk afgetapt kunnen worden en vrijwel niet gevoelig zijn voor storingen van buiten af. Een nadeel is dat die kabels kwetsbaarder zijn dan koperkabels en ook duurder. Koperkabels zijn momenteel nog goedkoper aan te leggen. Ook speelt in het voordeel van de koperkabel dat deze reeds in grote mate beschikbaar is, vooral in het *aansluitnet* (de zogenaamde last mile, ook wel local loop genaamd). Met deze term duidt men de verbinding aan tussen de telefooncentrale en de gebruiker. Om op dit laatste stuk van de communicatieverbinding de overstap te maken naar een nieuwe technologie zoals glasvezel, zijn zeer grote investeringen nodig.

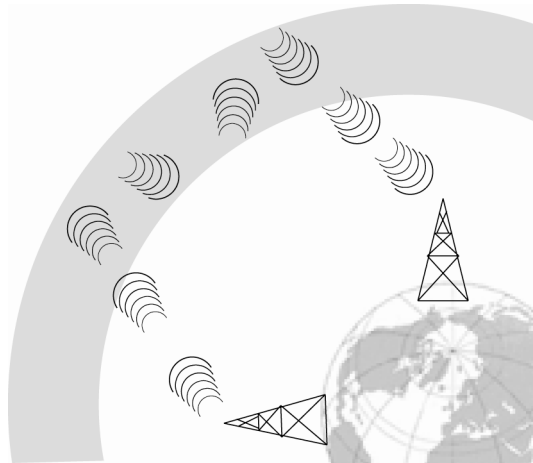
Draadloze communicatie

Voor het communiceren over het internet wordt niet uitsluitend gebruikgemaakt van kabels. Wanneer bijvoorbeeld in landelijke omgevingen geen kabels aanwezig zijn of vanwege de geografische gesteldheid van het terrein kabels niet gelegd kunnen worden, tenzij tegen buitensporig hoge kosten, dan kan gebruikgemaakt worden van *draadloze communicatie*. Draadloze communicatie vindt plaats door het versturen van elektromagnetische signalen. Deze elektromagnetische signalen bestrijken een frequentiebereik van zo'n 3 kHz tot 300 Ghz. Figuur 2.9 geeft dit elektromagnetische spectrum weer. Stukken uit dit elektromagnetisch spectrum zijn geschikt voor draadloze communicatie.



FIGUUR 2.9 Het elektromagnetisch spectrum

Afhankelijk van de frequentie verandert ook de karakteristiek van de communicatie. Die karakteristiek bepaalt bijvoorbeeld over welke afstand gegevens uitgewisseld kunnen worden en in welke mate fysieke objecten zoals gebouwen of weersomstandigheden de communicatie nadelig beïnvloeden. Van de eigenschappen van die elektromagnetische signalen kan gebruikgemaakt worden om grotere afstanden te overbruggen. Zo kan door reflectie van de signalen aan verschillende luchtlagen met afwijkende fysieke eigenschappen het bereik van kortegolfsignalen aanzienlijk uitgebreid worden (zie figuur 2.10).



FIGUUR 2.10 Reflectie van radiogolven aan specifiek luchtlagen

WiFi

De meest toegepaste vormen van draadloos internet hebben tot doel om de draadloze communicatie te ondersteunen tussen apparaten die enkele meters tot enkele honderden meters van elkaar verwijderd zijn. In dit toepassingsgebied worden radiosignalen met frequenties tussen de 1 en 6 GHz gebruikt. Op dit moment wordt deze WiFi technologie voornamelijk intern gebruikt binnen organisaties, om al dan niet mobiele clients te koppelen aan het lokale netwerk van de organisatie. Bovendien wordt deze technologie gebruikt op plaatsen als hotels en vliegvelden om reizigers met mobiele computers toegang tot internet te bieden.

WiMax

Ook openbare draadloze diensten die grotere afstanden kunnen overbruggen en grotere bandbreedtes bieden zoals WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) zullen naar verwachting in toenemende mate toegepast worden.

Verder worden internetverbindingen via het GSM-telefoonnet uitgebouwd in de vorm van de GPRS-standaard (general packet radio services). Door het koppelen van computers aan mobiele telefoons ontstaan weer nieuwe mogelijkheden voor internettoegang.

Op de backbone van het internet speelt ook de satellietverbinding een rol. Deze heeft als voordeel dat dit transmissiemedium ook goed gebruikt kan worden in afgelegen of onherbergzame gebieden waar bekabeling moeilijk kosteneffectief aan te bieden is. Echter ook voor bedrijven en particulieren beginnen satellietverbindingen een interessante en betaalbare optie te worden op plaatsen waar andere oplossingen niet voldoen.

OPGAVE 2.5

U hebt een film gemaakt van de bruiloft van uw dochter. U hebt van de film een montage gemaakt van zo'n 10 minuten en deze montage gedigitaliseerd en gecomprimeerd naar een MPEG-bestand. Dit bestand is zo'n 400 Mbyte groot geworden. U plaatst dit bestand op een server, zodat familie en vrienden die de bruiloft bijgewoond hebben, de film kunnen downloaden. Uw wilt deze personen informeren over de downloadtijden die men kan verwachten, afhankelijk van de verbinding waarover men beschikt. Vul tabel 2.1 aan met de downloadtijden voor deze film bij de verschillende verbindingstypen. De download- of

transportcapaciteit van de verschillende media is gegeven in bit per seconde (bps). N.b. Let erop dat de bestandsgrootte gegeven is in bytes.

TABEL 2.1 Voorbeelden van downloadbandbreedtes van verschillende verbindingstypen die onder andere voor toegang tot het internet gebruikt worden

| <i>verbindingstype</i> | <i>typische operationele bandbreedte voor download</i> | <i>downloadtijd voor een bestand van 400 Mbyte</i> |
|------------------------|--|--|
| glasvezelbackbone | 20 Gbps | |
| vaste WAN-verbinding | 2 Gbps | |
| LAN-verbinding | 1 Gbps | |
| draadloos netwerk | 54 Mbps | |
| ADSL | 8 Mbps | |
| kabelmodem | 2 Mbps | |
| satelliet | 1 Mbps | |
| ISDN | 128 kbps | |
| GPRS | 115 kbps | |
| analoog modem | 56 kbps | |

Verbindingen kunnen een asymmetrisch karakter hebben, waarbij voor upload en download verschillende bandbreedten beschikbaar zijn. Voor ADSL is dit bijvoorbeeld het geval. Een typische ADSL-verbinding heeft 2 Mbps downloadbandbreedte, maar slechts 512 kbps uploadbandbreedte.

4 World wide web

In de vorige paragraaf hebt u kennigemaakt met het internet, dat de infrastructurele basis legt voor allerlei diensten. De belangrijkste toepassing op het internet is sinds het midden van de jaren negentig het world wide web. Evenals bij de behandeling van het internet in paragraaf 2 staat ook in deze paragraaf de historische ontwikkeling van het world wide web voorop.

4.1 HISTORIE VAN HET WORLD WIDE WEB

De ontwikkeling van het world wide web startte aan het eind van de jaren tachtig van de vorige eeuw bij het Europees centrum voor onderzoek naar subatomaire deeltjes, CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) in Genève. De problemen waar deze organisatie voor stond, werden opgepakt door een medewerker van de organisatie, Tim Berners-Lee. Hij introduceerde een nieuwe aanpak bij het uitwisselen van gegevens over de diverse projecten heen in de dynamische organisatie die het CERN toentertijd ook al was. Typische problemen die het CERN had, zullen ook de huidige ict-manager in een grotere organisatie niet vreemd zijn:

- Where is this module used?
- Who wrote this code? Where does he work?
- What documents exist about that concept?
- Which laboratories are included in that project?
- Which systems depend on this device?
- What documents refer to this one?

(Bron: <http://www.w3.org/history/1989/proposal.html>)

CERN
Tim Berners-Lee

Denk bij hiërarchische opslagstructuur bijvoorbeeld aan de manier waarop bestanden op pc's opgeslagen worden in een directory-structuur op een harde schijf.

Een gebruikelijke aanpak voor het opslaan en toegankelijk maken van documenten die destijds in veel systemen gehanteerd werd, was een hiërarchische opslagstructuur. Die heeft een aantal nadelen. Onder andere kunnen daarmee de verschillende verbanden tussen de documenten minder goed weergegeven worden, zeker wanneer die verbanden in de tijd veranderen en documenten dus steeds in andere mappen opgeborgen zouden moeten worden.

Een oplossing die dit deels kan ondervangen, is een ordening op basis van sleutelwoorden waarmee documenten opgeslagen en toegankelijk gemaakt kunnen worden. De structuur die hierdoor ontstaat, is een netwerk van nodes (knooppunten) dat in de loop der tijd uitgebreid kan worden met nieuwe sleutelwoorden en nieuwe documenten.

Berners-Lee zocht de oplossing in een web van nodes met onderlinge links dat dynamisch moest kunnen groeien. Een node kan een notitie zijn, een rapport of een commentaar en het kan uit tekst bestaan, maar kan ook grafische elementen zoals afbeeldingen bevatten. Voorbeelden van nodes die Berners-Lee reeds onderkende, waren:

- people
- software modules
- groups of people
- projects
- concepts
- documents
- types of hardware
- specific hardware objects.

Aan de links tussen de knooppunten zou ook betekenis toegekend dienen te worden, bijvoorbeeld knooppunt A:

- depends on B
- is part of B
- made B
- refers to B
- uses B
- is an example of B

Hypertext

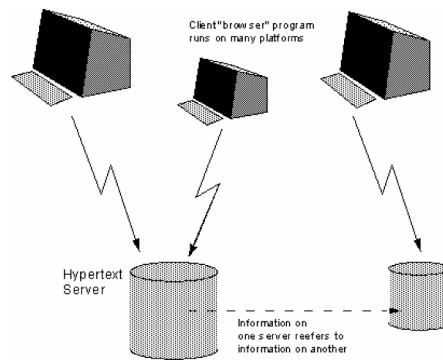
Al veel eerder waren vergelijkbare ideeën over gekoppelde objecten ontwikkeld en aangeduid met de term *hypertext*. In het midden van de jaren zestig ontwikkelde Ted Nelson het concept hypertext in het kader van zijn project Xanadu. Nelson introduceerde toen ook de term hypermedia om aan te duiden dat niet alleen tekstuele informatie gekoppeld zou moeten worden, maar ook multimedia-objecten. In de volgende tekst kijkt Ted Nelson terug op de ontwikkeling van hypertext in het Xanadu-project.

“The Xanadu model has always been very simple: make content available with certain permissions; then distribute and maintain documents simply as lists of these contents, to be filled in by the browser (in the same way that browsers now fill in GIFs). This list of contents is effectively a virtual file of contents to be sent for and how to put them together. Everyone can re-use all content virtually, simply by listing the desired content. Since links are between the addresses of these contents, links are intrinsically bidirectional, may be made by everyone, and may overlap in vast

numbers. Since the original address of content is known, its original context may be obtained.”

Bron: Ted Nelson: Deep hypertext: The xanadu® model (2001), <http://xanadu.com/xuTheModel/>

Uit deze wensen en ideeën werd door Berners-Lee en vele anderen het world wide web (www) ontwikkeld. Www is in de eerste plaats gebaseerd op een definitie van programmatuur en interfaces tussen de programmatuur. De manier waarop de data opgeslagen worden, is losgekoppeld van de presentatie ervan. De presentatie vindt plaats door middel van de webbrowser op de clientmachine van de gebruiker. De gegevens zijn opgeslagen op servers waarop de webserversoftware draait. Client en server zijn uiteraard verbonden via internet. Zie figuur 2.11.



FIGUUR 2.11 Een client/servermodel voor een gedistribueerd hypertextsysteem

Bron: Information management: a proposal, Tim Berners-Lee 1990, <http://www.w3.org/History/1989/proposal.html>

Http

De presentatie op de client-pc bij de gebruiker en de gegevens op de server communiceren met elkaar via een specifiek protocol. Dit protocol wordt aangeduid met *http* (hypertext transfer protocol).

Hostingdiensten

Bij de behandeling van internet zagen we dat de IETF en andere organen een belangrijke rol spelen bij de ontwikkeling ervan. Bij www is het vooral de organisatie W3C (World wide web consortium) die sturing geeft aan de uitbouw van de www-standaarden. De exploitatie van diensten is veelal in handen van de ISP's, die ook de toegang tot internet regelen. De diensten die aan klanten geboden worden, duidt men vaak aan met de term *hostingdiensten*. Typische hostingdiensten die door de ISP's aangeboden worden, zijn onder andere het beheer van webpagina's, e-mailbussen en domeinnamen.

4.2 AFGESCHERMDE DOMEINEN VAN HET INTERNET

Het oorspronkelijke uitgangspunt dat vanaf elke client elke server en daarmee elke dienst bereikbaar zou moeten zijn, is in de loop der jaren verfijnd. Niet meer alle servers zijn voor iedereen bereikbaar. Veel diensten zijn slechts toegankelijk voor beperkte doelgroepen. Dit heeft geleid tot maatregelen die enerzijds op netwerkniveau doorgevoerd zijn en anderzijds op serverniveau. De volgende indeling kan hierbij onderscheiden worden, gelet op de manier waarop diensten al dan niet

afgeschermd worden voor bepaalde gebruikersgroepen of groepen van computers.

Internet

– *Internet*

De diensten worden aangeboden op het openbare, overal en voor iedereen toegankelijke internet.

Intranet

– *Intranet*

De diensten zijn uitsluitend toegankelijk vanuit systemen binnen het interne netwerk van een organisatie, maar er wordt wel gebruikgemaakt van de internettechnologie. Het interne netwerk is in het algemeen afgeschermd van het internet middels een firewall.

Extranet

– *Extranet*

Dit netwerk biedt diensten aan betrokkenen bij een organisatie, maakt gebruik van het openbare internet en strekt zich uit buiten de fysieke locatie van de betreffende organisatie, waarbij gebruik wordt gemaakt van internettechnologie. Het extranet is alleen toegankelijk voor een specifieke gebruikersgroep, waarbij de toegang tot de servers geëffectueerd wordt door gebruikers in te laten loggen via een identificatiemiddel. Die identificatie kan worden afgedwongen door de combinatie van een gebruikersnaam en een wachtwoord of via een biometrische identificatie. In sommige gevallen wordt er zelfs een specifiek beveiligde verbinding opgezet tussen de client en het interne netwerk. In dat geval spreekt men van een VPN (virtual private network).

VPN

Virtual private network

Een grotere organisatie zal in het algemeen diensten aanbieden in alledrie de vormen.

4.3 BEHEERASPECTEN VAN HET WORLD WIDE WEB

Organisatie van webdiensten

Inmiddels wordt niet alleen het netwerk in stukken opgedeeld, maar ook de servers (van waaruit de diensten aangeboden worden) en de programmatuur (die deze diensten levert) worden steeds meer uit elkaar getrokken. Er hoeft geen vaste relatie meer te bestaan tussen de verzameling diensten en de servers waarop deze diensten aangeboden worden. Een server kan meerdere diensten verwerken en een dienst kan ook vanuit verschillende servers aangeboden worden. Zo hebt u reeds in opgave 2.2 ervaren dat de zoekdienst Google via verschillende servers toegankelijk is. Achter de zoekservice van Google verbergt zich een serverpark van honderdduizenden gespecialiseerde LINUX-servers waarmee honderden miljoenen vragen per dag afgehandeld kunnen worden.

Schaalbaarheid

Dit is een uiting van de behoefte aan *schaalbaarheid* van apparatuur en programmatuur om te voldoen aan de eisen die het internet stelt: 7 × 24 uur per week beschikbaarheid van diensten voor grote aantallen gebruikers. Die schaalbaarheid kan gerealiseerd worden door de belasting te spreiden over verschillende computers, verschillende netwerken en zelfs verschillende locaties.

Beveiliging

Ook aan de *beveiliging* dient veel aandacht besteed te worden. Het netwerk in grotere organisaties wordt zoals wij in de vorige paragraaf reeds zagen vaak fysiek ingedeeld in een aantal subnetwerken die op verschillende wijze beveiligd zijn. De databases met de belangrijke gegevens waarvan een organisatie afhankelijk is, worden in het algemeen niet open toegankelijk voor het internet beschikbaar gesteld. De databases worden, net als het intranet van een organisatie, veelal

DNS

beschikbaar gesteld vanuit een extra beveiligd deel van een netwerk. De webservers van het openbare internet moeten uiteraard wel voor de buitenwereld toegankelijk zijn, waarbij deze webservers ervoor zorgen dat de toegang tot de gegevens in de databases slechts gecontroleerd mogelijk is.

Bij het beheer van de namen van de computers in de organisatie, die gebruikmaken van internet en/of diensten aanbieden via internet, spelen de DNS'en een belangrijke rol. Een organisatie zal op zo'n server de namen van de aangesloten computers en de plaats in subdomeinen vastleggen. De DNS'en dienen uiteraard ook vanuit de buitenwereld toegankelijk te zijn.

Niet elke organisatie dient zelf voor deze diensten te zorgen. Een ISP is er in het algemeen op ingericht om dit soort diensten voor bedrijven en particulieren te beheren in de vorm van hostingdiensten die we in de vorige paragraaf al aanstipten.

5 Structuur en groei van internet en world wide web

Internet: netwerk van computers

Wij hebben in de vorige paragrafen gezien dat bij internet gegevens in pakketjes op het netwerk geplaatst worden en via verschillende wegen bij een bestemming kunnen komen. Deze netwerkarchitectuur zorgt er ook voor dat een netwerk dat gebaseerd is op het internetprotocol, naar believen uitgebreid kan worden. De schaalbaarheid is zeer groot; er is geen centrale component die bij te grote belasting of teveel knooppunten overbelast kan raken en aldus het hele netwerk plat kan leggen. De omvang van het huidige internet is voor een belangrijk deel toe te schrijven aan dit soort keuzes die reeds aan het eind van de jaren zestig gemaakt zijn.

World wide web: netwerk van gekoppelde webpagina's

Voor het world wide web geldt een vergelijkbare redenering. Ook hier geldt dat iedereen een webpagina op het web beschikbaar kan stellen die voor anderen toegankelijk is. De links die een dergelijke webpagina bevat naar andere webpagina's, vormen eveneens een netwerk dat in grote mate schaalbaar is. Op elk ogenblik kunnen nieuwe links toegevoegd worden; deze raken niet op en er ontstaan geen knelpunten, wat wel zou gebeuren indien alle links ergens centraal opgeslagen zouden moeten worden.

De onderliggende architectuur heeft dus een organische groei van internet en het www mogelijk gemaakt. Deze manier van groeien heeft geleid tot de specifieke structuren voor zowel internet als www. Omgekeerd inspireert ook het beeld van deze netwerken andere domeinen van wetenschap en techniek. Het fenomeen dat een technologische ontwikkeling leidt tot een brede paradigmaverschuiving is overigens niet uniek voor de netwerktechnologie, zoals de volgende voorbeelden aangeven.

Na het uitvinden van de klok werd het beeld van de klok een centraal thema dat leidde tot het toepassen ervan in vele wetenschapsgebieden en ook het mensbeeld werd erdoor beïnvloed. Hetzelfde herhaalde zich na de ontwikkeling van de stoommachine, waarbij krachten en energie in het menselijk lichaam centrale thema's werden. De computer introduceerde weer een fundamenteel andere optiek waarbij het denken over de werking van de hersenen in belangrijke mate beïnvloed werd.

Doordat het internet functioneert als een systeem waarbij instellingen, bedrijven en particulieren naar eigen inzicht kunnen koppelen, kan dit netwerk in bepaalde opzichten vergeleken worden met een biologische entiteit. Uit recent onderzoek blijkt inderdaad dat systeemconcepten die voor netwerken gelden, ook toepasbaar zijn in de biologie en menswetenschappen.

Het belangrijkste aspect dat een rol speelt bij de vorming van netwerken, is dat deze niet beschouwd kunnen worden als knooppunten die op een *toevallige* manier met elkaar verbonden worden.

Bij de eerste pogingen om het internet te beschrijven, ging men uit van een model van *random graphs*. Men beschreef het internet als een netwerk van knooppunten die op een willekeurige manier met elkaar verbonden zijn. Dit model blijkt echter niet met de werkelijkheid overeen te stemmen, want de manier waarop de knooppunten van internet met elkaar verbonden zijn, blijkt een ander model te volgen. Er is veeleer sprake van voorkeuren voor bepaalde koppelingen, omdat er knooppunten zijn waar veel andere knooppunten mee verbonden zijn. Internet exchanges, zoals de Amsterdam Internet Exchange uit paragraaf 2.5, zijn van die knooppunten in het internet waar providers graag aan koppelen. Hoe meer ISP's bij zo'n exchange bij elkaar komen, des te aantrekkelijker wordt het voor anderen om zich hier eveneens bij aan te sluiten.

Voor www zijn de grote zoekmachines zoals Lycos en Google knooppunten waar veel webpagina's naar verwijzen, die omgekeerd veel verwijzingen bevatten naar andere webpagina's. Maar ook websites als die van Microsoft of IBM vormen concentraties van webpagina's waar veel naar verwezen wordt. Dit alles toont aan dat de koppelingen bij internet en www zeker niet willekeurig zijn, maar in belangrijke mate gericht.

Dit beeld rond netwerken sluit aan bij het beeld van een *small world* waarin wij mensen leven.

(Bron: Prabhakar Raghavan, Verity, in IEEE internet computing, jan/feb 2002)

"Small world web

A social network comprises a set of people with a pattern of interactions among them. Modern social network theory is rooted in the work of Harvard social psychologist, Stanley Milgram. In 1967, Milgram reported results of experiments in which he asked each of several subjects. First in Omaha, Nebraska, and then in Wichita, Kansas, to try delivering a letter to an associate of his in Boston by forwarding the letter to someone they knew on a first-name basis. The objective was to get the letter to Milgram's associate as quickly as possible. By analyzing the network through which the letters finally reached their destination, Milgram found that typical paths took only six hops to arrive; hence, the folklore that any two people in the United States are linked in a social network by a mere 'six degrees of separation.'

Small worlds everywhere

Although six is not necessarily the number, the general idea that two randomly chosen people are connected by a short chain of intermediate acquaintances despite geographical and other cultural barriers has been confirmed in subsequent sociological research. Within the past few years,

Voorkeur voor
bepaalde koppelingen

Small-world-
netwerk

research based on the statistical properties of networks has shown that the smallworld phenomenon is pervasive in many kinds of networks and fundamental to the structural evolution of the world wide web. Kleinberg offers a good general survey of this body of research.

Graphing the world wide web

We can view the Web as a directed network in which each node is a static html Web page and each edge is a hyperlink from one page to another. Current estimates suggest that this graph has several billion nodes and an average degree of about 7. A recurrent observation on this graph, confirmed independently by several groups of researchers, is the prevalence of power laws: the degrees of nodes are distributed according to inverse polynomial distributions. Such laws would not arise if the Web link network were a random graph in the classical tradition of Erdos and Renyi. Reka Albert, Hawoong Jeong, and Albert-Laszlo Barabasi described a procedure for producing random graphs with a power-law distribution. Their model failed to produce the clustering properties characteristic of small worlds, but it achieved fame for its estimation of the diameter of the Web network as 19, referring to the number of links between any two pages on it. Ravi Kumar and his colleagues present a somewhat more general model that explains more of the structured observed in the Web. Lada Adamic undertook a study of the average number of links to traverse between Web sites (as opposed to pages), and found that, as in the social sphere, we could pick two Web sites at random and get from one to the other in just four clicks. Andrei Broder and his colleagues explicated the Web's connectivity structure in somewhat more detail, presenting a picture of the Web as a bowtie (rather than the more spherical view implicit in earlier work).

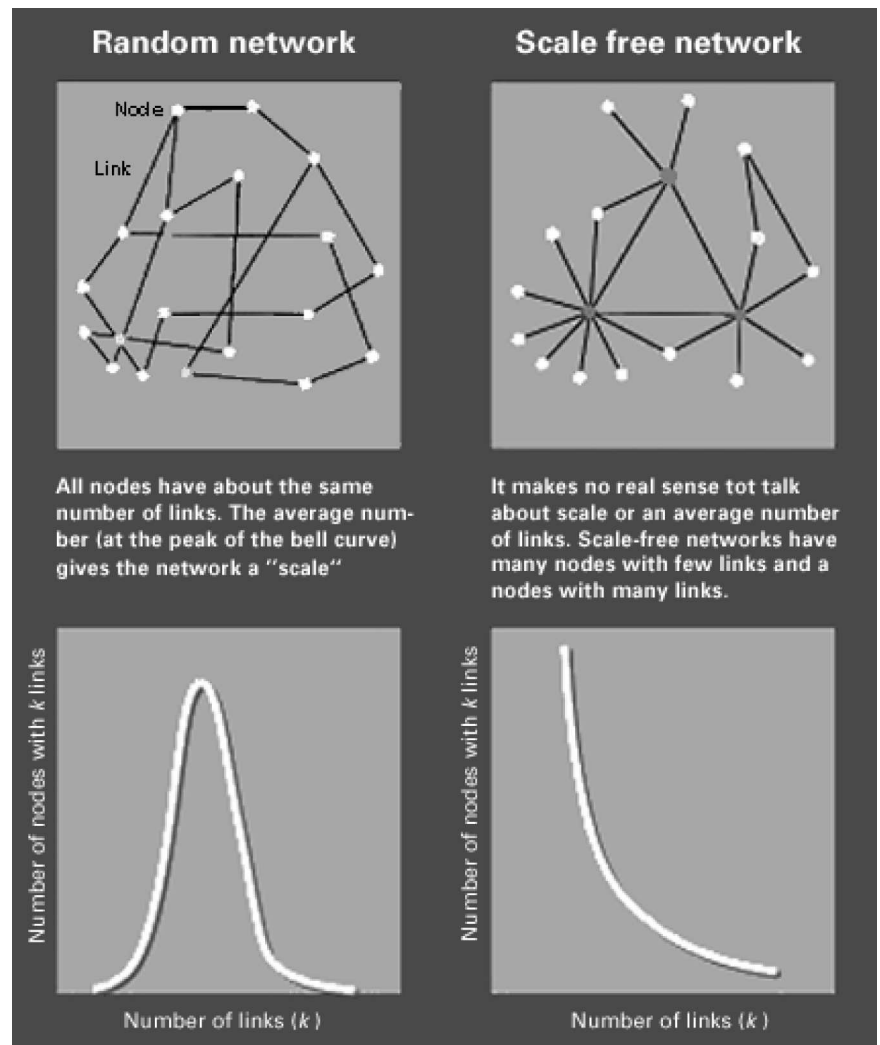
Small-world applications

The small-world phenomenon constitutes a basic property of the Web, which is not just interesting but also useful. Perhaps the best known use of this graph structure is the Google search engine. Google uses the link structure to induce a total ordering of the pages of the Web, assigning to each page a number called the PageRank. Kleinberg proposed a different approach, the HITS method, which orders pages by topic and reveals a particular behaviour of Web content creators, namely, that they congregate into groups of self-styled experts on a topic. It is possible to enumerate these congregations of experts and to mine the Web accordingly.

Math and action

The common theme in all these studies is insight into the behaviour of people creating and accessing Web content. These insights are interesting, they can be modelled mathematically, and they are actionable from the standpoint of knowledge management."

In figuur 2.12 zijn onderzoeksresultaten weergegeven waarbij gekeken is op welke manier groepen van webpagina's te onderkennen zijn die al dan niet naar elkaar verwijzen.



FIGUUR 2.12 Vergelijking karakteristiek van een random netwerk en een scale-freenetwerk

Bron: New Scientist, 13 april 2002

Het small-worldmodel (ook wel scale free model genoemd) voorspelt dus dat veel pagina's in www slechts met een klein aantal andere pagina's gekoppeld zijn, terwijl een beperkt aantal met veel andere gekoppeld is. Deze laatste categorie noemt men de hubs (hub = centrum of middelpunt) in het netwerk die voor een belangrijk deel de kwetsbaarheid van www bepalen. Wanneer veel hubs uitvallen, houdt de gekoppelde structuur van de webpagina's al snel op te bestaan.

De studie van de structuur en de dynamiek van de netwerken die gevormd worden door de technische componenten van internet en de links tussen de webpagina's van www, blijken bijzondere parallellen te vertonen met de netwerken tussen mensen en de netwerken van moleculen in biologische processen die in de natuur voorkomen. De resultaten van deze studies maken ook duidelijk waar de stabiliteit van dit soort netwerken zit en waar de kwetsbaarheid. De stabiliteit zit vooral in de schaalbaarheid, terwijl de kwetsbaarheid gelegen is in de afhankelijkheid van een beperkt aantal centrale knooppunten.

*Surface web en
deep web*

U dient wel te beseffen dat lang niet alle informatie op het web op deze manier goed beschreven kan worden. Het domein van dit soort onderzoek vormen de webpagina's met links. Dit wordt ook wel het *surface web* genoemd. Studies hebben aangetoond dat er achter dit surface web een veel groter web verborgen ligt. Hier is niet het effect bedoeld dat webs niet toegankelijk zijn voor dit soort studies; bijvoorbeeld omdat deze zijn verborgen achter firewalls en aangeboden worden via intranetten. Bedoeld is de veelheid aan informatie, die wel voor iedereen op het net beschikbaar is, maar opgeslagen is in gegevensbestanden. Denk bijvoorbeeld aan productcatalogi. De structuur en omvang hiervan is moeilijk te achterhalen, omdat een bevraging van de omvang van de hele database op grote schaal niet goed uitvoerbaar is. Dit onderdeel van het web wordt ook wel het *deep web* genoemd.

TERUGKOPPELING

Uitwerking van de opgaven

- 2.1 De oude manier van werken, waarbij voor het verwerken van een formulier in grotere bureaucratisch ingestelde organisaties een vast circuit gevolgd wordt, kan vergeleken worden met een circuitgeschakelde aanpak. Er is immers vooraf een route vastgelegd die voor elk schadegeval gevolgd moet worden. De te volgen route ligt vast en aanpassingen van de procedure worden niet gestimuleerd. Een parallel met circuitschakeling ligt daarmee voor de hand. In de moderne organisatie wordt de route bepaald door de inhoud van het formulier en de belasting van de volgende knooppunten in het proces. Er kan daarmee een parallel getrokken worden naar het pakketschakelen.
- 2.2 Wat allereerst opvalt, is hoeveel apparaten er betrokken zijn bij het uitwisselen van informatie. Er zijn 10 respectievelijk 9 routers nodig die de pakketten doorsturen van de bron naar de bestemming. Verder valt het op dat de routes voor de beide domeinen uit elkaar lopen maar soms ook weer bij elkaar komen. Bij de vijfde hop komen de pakketten weliswaar op verschillende routers terecht maar deze bevinden zich wel in hetzelfde subdomein (209.85.248). Uiteindelijk komt de zoekvraag bij twee verschillende hosts bij geheel verschillende domeinen terecht. Wat verder opvalt, is dat het pad naar google.com gemiddeld duidelijk grotere responsetijden kent dan het pad naar google.nl. NB: het commando is in beide gevallen opgestart vanaf een pc in het lokale netwerk van de Open Universiteit dat gekoppeld is aan het netwerk van SURFnet die als provider optreedt voor de Nederlandse onderwijsinstellingen voor hoger onderwijs. Het mechanisme dat het programma tracert gebruikt om het pad naar een bestemming te doorlopen, werkt niet in alle situaties; vandaar dat een melding als 'Request timed out' voor kan komen bij traces, vooral wanneer de route lang is.
- 2.3 Met een IP-adres dat bestaat uit 4 getallen die elk een waarde kunnen aannemen van 0 t/m 255, kunnen 256^4 , dus 4.294.967.296 hosts uniek geadresseerd worden. Er wordt geschat dat het aantal computers dat in 2007 op het internet aangesloten is, in de orde van 1 miljard ligt (bron: Internet Usage Worldwide by Country, 2007, <http://www.infoplease.com/ipa/A0933606.html>). In principe kan dus elke huidige computer geadresseerd worden. NB: dat elk van de vier getallen 256 waarden aan kan nemen, komt omdat elk getal wordt gerepresenteerd door 8 bits (een 0 of een 1). Met acht bits kunnen $2^8 = 256$ getallen (0 t/m 255) gerepresenteerd worden.
- 2.4 Met IPv6 kunnen $2^{128} = 3,4 \cdot 10^{38}$ unieke adressen toegekend worden. De oppervlakte van de aarde is $4\pi r^2 = 4\pi 3,6 \cdot 10^{13} \text{ m}^2 = 4,5 \cdot 10^{14} \text{ m}^2 = 4,5 \cdot 10^{34} \text{ \AA}^2$. Onder de aangegeven aanname bedekken dus zo'n $9 \cdot 10^{33}$ atomen het aardoppervlak. Aan elk atoom op het aardoppervlak kunnen met IPv6 dus ongeveer 38.000 adressen toegekend worden. Er hoeft dus vooralsnog geen vrees te bestaan dat deze manier om hosts te identificeren, binnen afzienbare termijn een tekort aan adressen op zal leveren.

- 2.5 U kunt de bandbreedte die gegeven is in bit per seconde omrekenen naar het aantal byte dat per seconde getransporteerd kan worden door de bandbreedte door 8 te delen. Over een verbinding van 1 kbps kan onder optimale omstandigheden immers 125 byte per seconde getransporteerd worden. Met optimale omstandigheden wordt hier bedoeld dat geen gegevens verloren gaan en de data optimaal verpakt kunnen worden in de communicatiepakketten. Zie verder tabel 2.2.

TABEL 2.2 Downloadbandbreedtes en downloadtijden van een filmpje

| <i>verbindingstype</i> | <i>typische operationele bandbreedte voor download</i> | <i>downloadtijd voor een bestand van 400 Mbyte</i> |
|------------------------|--|--|
| glasvezelbackbone | 20 Gbps | 0,16 s |
| vaste WAN-verbinding | 2 Gbps | 1,6 s |
| LAN-verbinding | 1 Gbps | 3,2 s |
| draadloos netwerk | 54 Mbps | 1 minuut |
| ADSL | 20 Mbps | 3 minuten |
| kabelmodem | 2 Mbps | 27 minuten |
| satelliet | 1 Mbps | 1 uur |
| ISDN | 128 kbps | 7 uur |
| GPRS | 115 kbps | 8 uur |
| analoog modem | 56 kbps | 16 uur |