

Circuit switching

Ir. J. P. Katoen

Ir. J. van de Lagemaat

1	Inleiding	II 2010- 3
2	Principe	II 2010- 4
2.1	Opbouw van verbindingen	II 2010- 4
2.2	Overdracht van informatie	II 2010- 5
2.3	Verbreken van de verbinding	II 2010- 6
2.4	Signalering	II 2010- 6
2.5	Routing	II 2010- 7
2.6	De relatie tussen de gebruikte switching-techniek in het netwerk en de geboden service aan de gebruikers	II 2010- 9
3	Andere schakeltechnieken	II 2010-10
3.1	Eigenschappen van telecommunicatieverkeer	II 2010-11
3.2	Multi-rate circuit switching	II 2010-12
3.3	Fast circuit switching	II 2010-13
3.4	Message switching	II 2010-14
3.5	Packet switching	II 2010-14
3.6	Fast packet switching en ATM	II 2010-15
4	Prestatie	II 2010-16
5	Standaardisatie	II 2010-19

(

(

(

(

1 Inleiding

Switching-technieken (of in goed Nederlands: schakeltechnieken) zijn technieken die in communicatienetwerken worden gebruikt om het verkeer door het netwerk te sturen en de schaarse transmissiemiddelen toe te wijzen. Een gebruiker die gebruik maakt van de diensten die worden geleverd door het netwerk, zal zich over het algemeen niet bewust zijn van de in het netwerk gebruikte schakeltechnieken. Wel zal de gebruiker indirect de effecten van de gebruikte schakeltechnieken onderkennen.

Als het OSI-referentiemodel als leidraad wordt gebruikt, dan worden de verschillende schakeltechnieken geplaatst in de onderste drie lagen: de Fysieke laag, de Datalink-laag en de Netwerklaag. Vooral in de Netwerklaag worden verschillende 'datalinks', met ieder hun bijzondere eigenschappen, gekoppeld en wordt informatie in knooppunten geschakeld van de ene naar de andere 'link'. Voorbeelden van dergelijke knooppunten zijn een PABX, een ATM-switch en een router.

In dit hoofdstuk wordt één van de meest gebruikte schakeltechnieken behandeld: circuit switching (circuitschakeling). In de hoofdstukken II 2020, II 2025 en II 2030 worden achtereenvolgens packet switching (pakketschakeling), ATM en message switching (berichtschaakeling) behandeld.

Dit hoofdstuk is als volgt ingedeeld. Eerst wordt het principe dat ten grondslag ligt aan circuit switching gepresenteerd. Vervolgens wordt een aantal functies behandeld die sterk samenhangen met de techniek van circuit switching. De relaties tussen schakeltechnieken in het netwerk en de service die het netwerk biedt aan de gebruikers worden daarna besproken. Daarna wordt, om een beeld te krijgen van de efficiëntie van circuit switching, een beknopte classificatie van toepassingen voor netwerken gegeven met de eisen die zij stellen aan de netwerken. Er worden enkele prominente schakeltechnieken besproken in het licht van de eisen die de toepassingen stellen aan het netwerk. De kwantitatieve aspecten van circuit switching worden geïllustreerd aan de hand van enige typische toepassingen en vergeleken met enige kwantitatieve aspecten van packet switching. Als laatste worden de op circuit switching betrekking hebbende standaardisatie-activiteiten vermeld.

2 Principe

Het principe dat ten grondslag ligt aan circuit switching is dat, voordat informatie in het netwerk wordt verstuurd, eerst een verbinding van vaste capaciteit wordt opgezet en gereserveerd in het netwerk. Vervolgens wordt informatie verstuurd, waarbij uitsluitend gebruik gemaakt wordt van de opgezette verbinding. Nadat de verbinding is verbroken, worden de gereserveerde middelen vrijgegeven om nieuwe verbindingen mogelijk te maken en kosten te besparen.

2.1 Opbouw van verbindingen

De verbinding wordt opgezet op verzoek van gebruikers van het netwerk. Als het netwerk in staat is een verbinding tot stand te brengen, worden in het netwerk berichten verstuurd om alle onderdelen van het netwerk in te richten voor het ondersteunen van die verbinding. Figuur 1 illustreert dit scenario met een tijdsvolgordediagram. (Vergelijk dit met de totstandkoming van een telefoonverbinding, een vorm van circuit switching.)

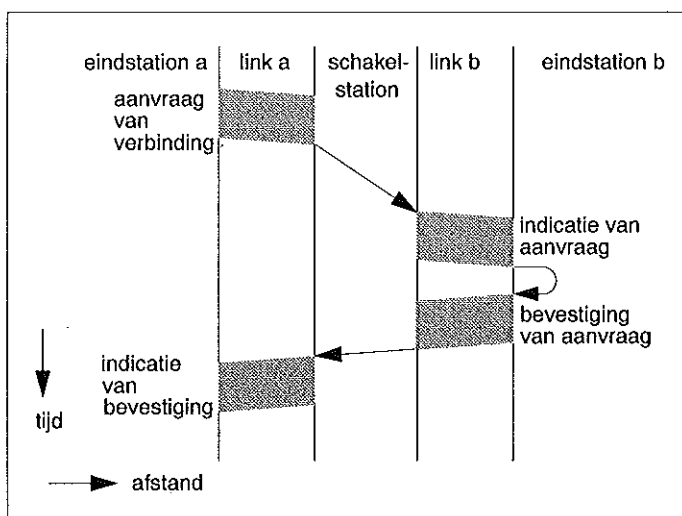


Fig. 1.
Opbouw van de verbinding
bij circuit switching.

Tijdens de opbouw van de verbinding worden middelen in het netwerk (transmissiekanalen, schakelstations en dergelijke) exclusief gereserveerd voor de verbinding en wordt een fysiek pad opgebouwd tussen de twee eindstations van de verbinding. Bij Time-Division Multiplexing (TDM) worden transmissiekanalen voor de verbinding verkregen door 'timeslots' te gebruiken, zoals het geval is bij 32-kanaals PCM (PulsCode-Modulatie) voor digitale telefonie. Bij Frequency-Division Multiplexing (FDM) worden transmissiekanalen verkregen door verschillende frequenties te gebruiken.

Voor het opbouwen van een verbinding is tijd nodig. Het kost enige tijd om de nodige *signaleringsberichten* in het netwerk te versturen. Dit wordt vooral bepaald door de transmissietijden van de signaleringsberichten over de verschillende links, de verwerkingstijd in de tussenliggende knooppunten en de eindstations van de verbinding en het wachten op het vrijkomen van transmissiekanalen. De opbouwtijd varieert van 0,1 sec voor snelle vormen van circuit switching, tot 10 sec voor bijvoorbeeld het traditionele telefoonnetwerk.

2.2 Overdracht van informatie

Na de opbouw van de verbinding tijdens de overdracht van informatie in het netwerk treedt geen buffering van informatie op in delen van het netwerk. Dus de 'bitrate' (snelheid in bit per seconde) van de verschillende links die worden gebruikt voor de verbinding moet gelijk zijn. Dit wordt aangeduid met de term 'speed-matching'. Tevens moet de snelheid van de gebruikers van de verbinding hieraan gelijk zijn. Er moet dus sprake zijn van een vaste, gedefinieerde bitrate. Als er links zijn met een grotere bitrate, kunnen deze met TDM of FDM worden opgedeeld in een aantal logische links met de vereiste bitrate.

Tijdens de overdracht van informatie over de verbinding is geen protocol-functionaliteit nodig, omdat een exclusief fysiek pad wordt gebruikt voor de overdracht van informatie. De informatie kan daardoor tijdens het transport in het netwerk niet van volgorde veranderen. De verwerkingstijd in de schakelstations en eindstations is nagenoeg nihil. Een kleine en constante overdrachtvertraging is het gevolg (zie figuur 2).

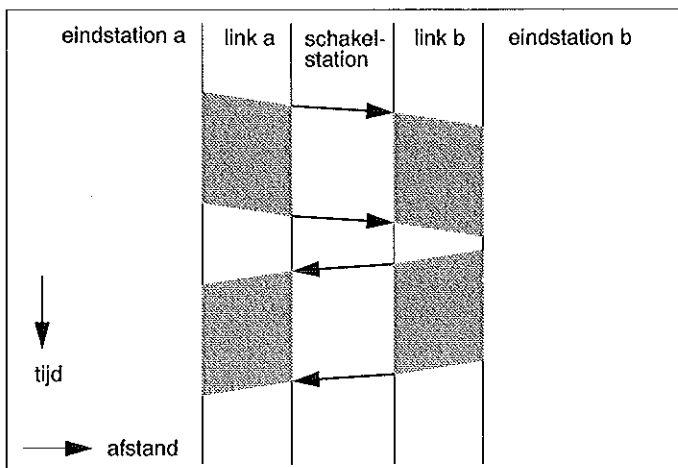


Fig. 2.
Overdracht van informatie
bij circuit switching.

De overdracht van informatie kan meestal in beide richtingen tegelijk gebeuren door verschillende kanalen voor beide richtingen op te zetten voor de verbinding (full-duplex).

De noodzaak van uniforme bitrate voor de gehele verbinding maakt dat gewone circuitgeschakelde netwerken moeilijk kunnen worden aangepast voor het aanbieden van diensten die een andere bitrate nodig hebben, aangezien daarvoor alle onderdelen van de verbindingen moeten worden ingesteld op de nieuwe bitrate. Een alternatief vormt multi-rate circuit switching (zie 3.2).

2.3 Verbreken van de verbinding

De verbinding kan worden verbroken door een eindstation (bijvoorbeeld als de gebruikers geen informatie meer te versturen hebben) of door knooppunten in het netwerk (zie figuur 3). Dit laatste zal gebeuren als het netwerk niet langer in staat is de verbinding te onderhouden.

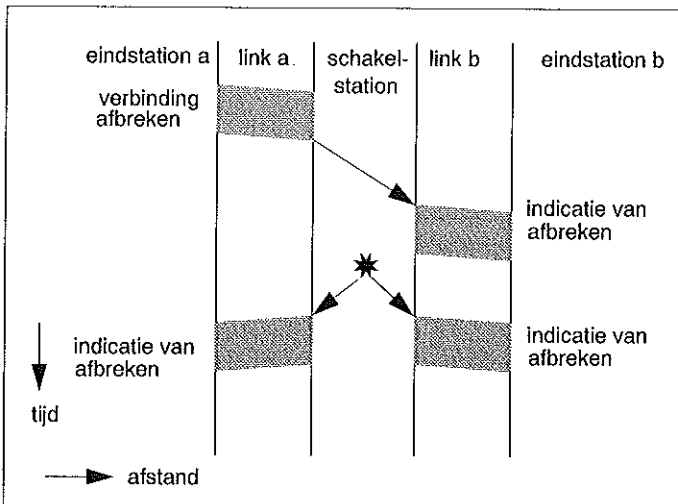


Fig. 3.
Verbreken van de verbinding bij circuit switching.

Bij het verbreken van de verbinding worden de middelen in het netwerk die voor de verbinding zijn gereserveerd weer vrijgegeven. Het verbreken van de verbinding duurt enige tijd. Deze tijd wordt bepaald door de transmissietijden van de nodige signaleringsberichten over de verschillende links en de verwerkingstijd in de tussenliggende knooppunten.

2.4 Signalering

De informatie-uitwisseling in het netwerk die gepaard gaat met het opzetten, het onderhouden en het verbreken van de verbinding wordt *signalering* genoemd. Tijdens het opzetten en verbreken van de verbinding wordt veel signaleringsinformatie in het netwerk verstuurd. Als de verbinding eenmaal is opgezet, is de hoeveelheid signalering in het netwerk zeer beperkt. Uitzonderingen hierop vormen netwerken die van aard veranderen tijdens de duur van de verbinding. Voorbeelden hiervan zijn mobiele netwerken, waarbij gebruikers zich verplaatsen, en intelligente netwerken, waarbij de aard van de verbinding (capaciteit, snelheid) op verzoek van de gebruiker kunnen worden veranderd.

Het versturen van signaleringsinformatie in het netwerk kan op verschillende manieren gebeuren. In het traditionele telefoonnet wordt signaleringsinformatie over dezelfde kanalen verstuurd als de (spraak)informatie van de gebruiker. In dit geval spreken we van *in-band-signalering* of *kanaalgebonden signalering*. In moderne telefoonnetten wordt voor de overdracht van signaleringsinformatie gebruik gemaakt van aparte kanalen (*out-of-band*). Een voorbeeld hiervan is *Common Channel Signaling* (CCS) of *gemenewegsignalering*, zoals wordt toegepast in CCITT-signaleringsstelsel C7 (zie II 2055, Case C7). In het AT&T-netwerk in de Verenigde Staten wordt gebruik gemaakt van een pakketgeschakeld netwerk (gebaseerd op X.25) voor het versturen van de signaleringsinformatie. Voor het toepassen van out-of-band-signalering hoeft geen apart netwerk te worden gebruikt, maar kunnen voor dit doel gereserveerde TDM-timeslots worden gebruikt, zoals bij PCM-transmissie timeslot 16, of kan gebruik gemaakt worden van aparte kanalen die worden verkregen met FDM.

2.5 Routering

Bij circuit switching is routering nodig om te bepalen welk fysiek pad wordt vastgelegd voor een verbinding. Voor routering zijn grofweg twee soorten te onderscheiden: hiërarchische en niet-hiërarchische routering.

Hiërarchische routering maakt gebruik van een hiërarchische ordening van knooppunten in het netwerk. Als een directe verbinding tussen twee gebruikers (die helemaal onder in de hiërarchie zitten) niet mogelijk is, wordt geprobeerd een verbinding te leggen via een knooppunt één niveau hoger (N) in de hiërarchie. Als dit niet mogelijk is, wordt een route via een ander knooppunt op niveau N geprobeerd. Is ook dit niet mogelijk, dan wordt een route via één of meer knooppunten op niveau N-1 geprobeerd, enzovoort. Dit wordt geïllustreerd in figuur 4, waar als voorbeeld achtereenvolgens dertien verschillende routes worden geprobeerd. Merk op dat de gebruikers niet direct met elkaar zijn verbonden, maar uitsluitend via knooppunten van hogere orde kunnen worden bereikt. Route 1 behoort dan niet tot de mogelijkheden. Ook zijn niet alle knooppunten van een bepaald niveau direct met elkaar verbonden.

Hiërarchische routering wordt toegepast in de meeste telefoonnetten waar de knooppunten bestaan uit de diverse (lokale, regionale, enzovoort) centrales.

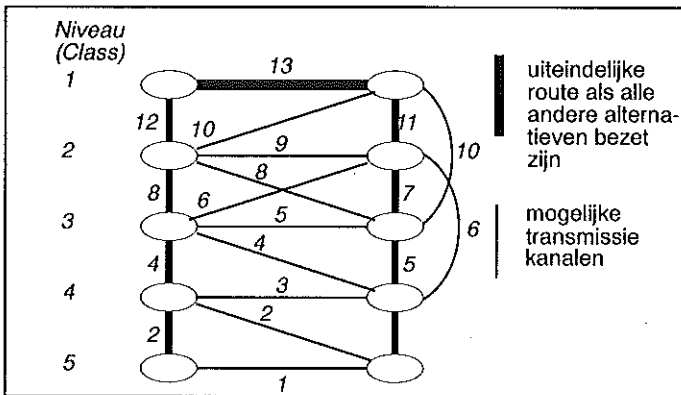


Fig. 4. Hiërarchische routing.

Niet-hiërarchische routing brengt geen ordening in knooppunten aan maar beschouwt ze als gelijken ('peer'-knooppunten). Niet-hiërarchische routing lijkt sterk op de routing die wordt gebruikt voor pakketgeschakelde netwerken. De knooppunten worden opgevat als een vermaasd netwerk, voor zover mogelijk is binnen de grenzen van de topologie. Dit wordt weergegeven in figuur 5.

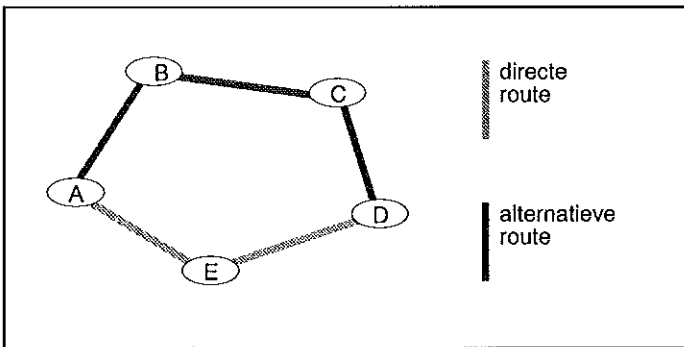


Fig. 5. Niet-hiërarchische routing.

Het voordeel van niet-hiërarchische routing ten opzichte van hiërarchische routing is dat het gebruik van transmissiekanalen kan worden aangepast aan de veranderingen in verkeersaanbod (in termen van verbindingen die worden aangevraagd) gedurende bijvoorbeeld de dag of het seizoen. Bij hiërarchische routing (die vrij statisch is) moet het netwerk zodanig worden gedimensioneerd dat de maximale belasting kan worden verwerkt. Een nadeel van niet-hiërarchische routing is dat veel signaleringsinformatie met betrekking tot de belasting en bezetting van het netwerk moet worden verstuurd om routingstabellen up to date te houden en daarmee efficiënte routing te kunnen plegen. Het CCITT-signaleringsysteem C7 kan hiervoor worden gebruikt. Verder kan het netwerk verstopt raken doordat

meer verbindingen worden aangevraagd dan waarvoor capaciteit aanwezig is. De functies die nodig zijn voor routerings- en congestiebeheer zijn vrijwel gelijk aan de functies die bij packet switching worden gebruikt. Bij packet switching kan routing zowel per pakket als per verbinding worden toegepast, bij circuit switching alleen per verbinding.

2.6 De relatie tussen de gebruikte switching-techniek in het netwerk en de geboden service aan de gebruikers

Zoals al in de inleiding is vermeld, is het voor de gebruiker van een netwerk niet van belang welke schakeltechniek in het netwerk wordt gebruikt. Voor de gebruiker zijn van belang:

- de aard van de geboden service (verbindingsooriënteerde of verbindingsooze service);
- de kwaliteit van de service (Quality of Service, QoS; vertragings-tijd van zender naar ontvanger, bitrate, betrouwbaarheid, beveiliging, enzovoort).

Schakeltechnieken worden gebruikt om informatie in het netwerk te versturen en de transmissiemiddelen toe te wijzen. In termen van het OSI-referentiemodel zijn schakeltechnieken een protocol-aspect en is de geboden service aan de gebruiker een service-aspect. Een gebruiker communiceert met een service door service-interacties voor het aanvragen van een verbinding, het versturen en ontvangen van informatie en dergelijke (zie figuur 6).

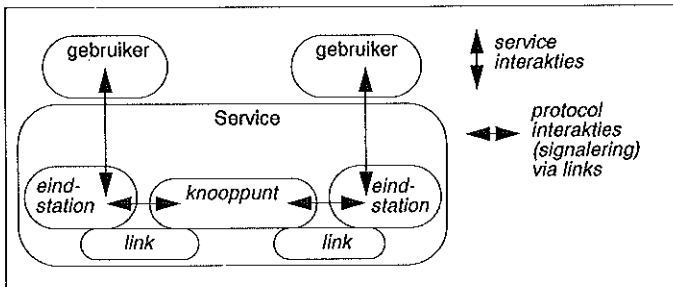


Fig. 6.
Switching en services.

Een verbindingsooriënteerde service, waarbij gebruikers een verbinding aanvragen die wordt opgezet wanneer zowel de serviceverlener als de geadresseerde gebruiker daarmee instemmen, kan met gebruikmaking van verschillende schakeltechnieken in het netwerk worden uitgevoerd. Als circuit switching in het netwerk wordt gebruikt, kan de interne circuit-geschakelde verbinding worden opgezet als de gebruikers een verbinding op serviceniveau aanvragen.

Ook als packet switching in het netwerk wordt gebruikt, kan een verbindingsooriënteerde service worden opgezet. De verbindingen op serviceniveau worden dan *virtuele circuits* genoemd, zoals bij ATM (zie II 2025). Tijdens het opzetten van de verbinding

op serviceniveau worden middelen in het netwerk gereserveerd die, in tegenstelling tot bij circuit switching, niet exclusief voor deze verbinding worden vastgelegd. Tijdens de overdracht van informatie worden de berichten die de gebruikers versturen in kleinere pakketten opgedeeld die ieder apart in het netwerk worden verwerkt. Routing van pakketten kan dan zowel per verbinding als per pakket geschieden. In het laatste geval worden aan de ontvangende kant de pakketten weer op volgorde gezet en als één bericht aan de ontvanger aangeboden. Dit is noodzakelijk omdat de pakketten via verschillende kanalen in het netwerk zijn verstuurd en daardoor mogelijk van volgorde zijn veranderd ten gevolge van verschillende overdrachttijden van de verschillende kanalen. Om ervoor te zorgen dat iedere gebruiker een verbinding krijgt met de vereiste kwaliteit, moet bij packet switching een grens worden gesteld aan het aantal verbindingen dat het netwerk gelijktijdig ondersteunt op basis van het verwachte verkeer per verbinding.

Een verbindingsloze service, waarbij gebruikers berichten naar elkaar sturen zonder eerst een verbinding op te zetten, kan worden uitgevoerd met diverse schakeltechnieken. In het geval van circuit switching kan voor ieder bericht van de gebruikers in het netwerk een verbinding worden opgezet en na het versturen van het bericht weer worden verbroken. Als wordt verwacht dat twee gebruikers meer berichten in korte tijd naar elkaar zullen sturen, kan de verbinding enige tijd worden onderhouden en pas worden verbroken als enige tijd geen van de gebruikers meer een bericht heeft aangeboden. Bij het opzetten van een verbinding per bericht is het mogelijk dat de volgorde van de berichten wordt veranderd doordat de snelheid van overdracht per verbinding kan verschillen. De gebruikers moeten hiermee rekening houden.

Als packet switching wordt gebruikt om een verbindingsloze service te ondersteunen, wordt ieder bericht opgedeeld in pakketten die in het netwerk worden verstuurd. Ook hier moeten de pakketten zo nodig weer op volgorde worden gezet voordat het bericht aan de ontvangende gebruiker wordt aangeboden. Bovendien kan in dit geval het nog steeds voorkomen dat verschillende berichten van gebruikers uit volgorde geraken.

3 Andere schakeltechnieken

Behalve circuit switching zijn er diverse andere vormen van switching ontwikkeld, zoals hierboven al zijn genoemd. Een aantal daarvan wordt hier kort gekarakteriseerd. Voordat dit gebeurt, worden eerst een paar eigenschappen van telecommunicatieverkeer gegeven. Deze bepalen in grote mate de toepasbaarheid van schakeltechnieken.

3.1 Eigenschappen van telecommunicatieverkeer

Een grote hoeveelheid toepassingen maakt gebruik van telecommunicatie- en datacommunicatiefaciliteiten. Deze lopen uiteen van toepassingen die een lage bitrate nodig hebben (telemetrie, telecontrole, tele-alarmeren, spraak, telefax, lage-snelheidsdata (terminalverkeer)), via toepassingen met een gemiddelde bitrate (hi-fi-geluid, beeldtelefoon, hoge-snelheidsdata), tot toepassingen met hoge bitrate (High-Definition Television (HDTV), televisiedistributie, multimediatoepassingen). In figuur 7 worden deze toepassingen gegeven met hun bitrate en gemiddelde duur van informatie-uitwisseling.

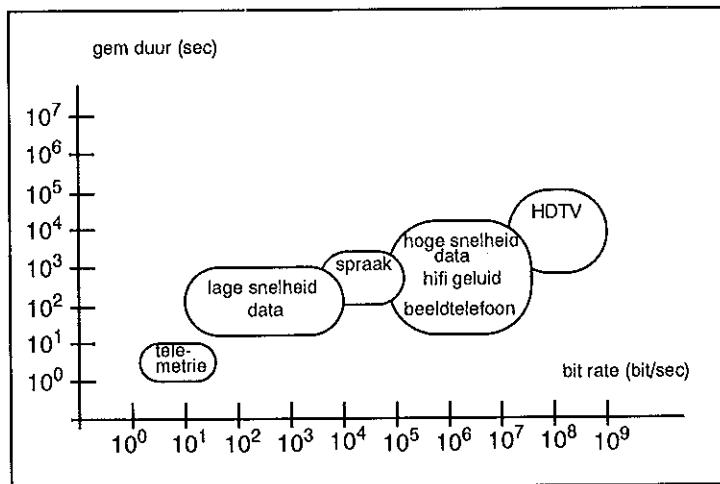


Fig. 7.
Toepassingen.

Behalve de bitrate die nodig is om de toepassing te ondersteunen, is de 'burstiness' van belang. Dit is de ongelijkmatigheid (fluctuatie) van de bitrate gedurende de duur van de communicatie. Niet voor iedere toepassing is voor de gehele duur van de communicatie de maximale bitrate nodig. De ongelijkmatigheid kan worden uitgedrukt als het quotiënt van de maximale en de gemiddelde bitrate die door de toepassing wordt gegenereerd. Dit wordt geïllustreerd in figuur 8. In figuur 9 wordt voor een aantal toepassingen de gemiddelde bitrate en de ongelijkmatigheid gegeven.

Wordt voor een toepassing een communicatiekanaal gebruikt dat een vaste bitrate heeft die gelijk is aan de maximale bitrate van de toepassing, dan wordt bij een hoge ongelijkmatigheid een deel van de bitrate niet continu gebruikt. Wordt een kanaal gebruikt met een bitrate die gelijk is aan de gemiddelde bitrate van de toepassing, dan zal de kwaliteit van de over te dragen informatie verminderen. Beide nadelen worden groter naarmate de ongelijkmatigheid toeneemt.

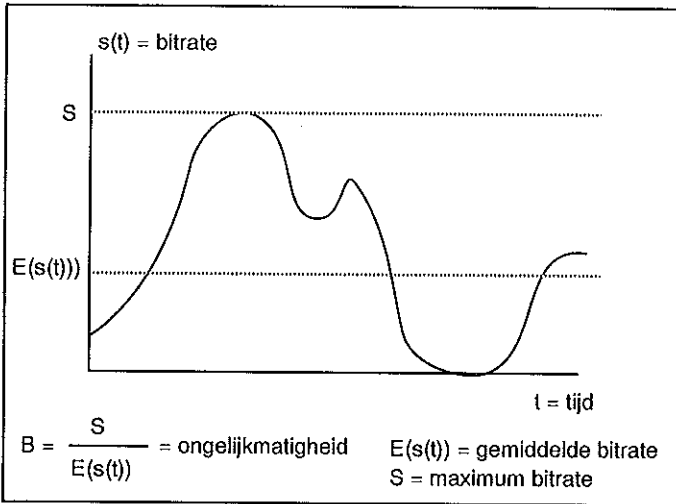


Fig. 8.
Ongelijkheidheid.

Toepassing	$E(s(t))$	B
Spraak	32 kbit/s	2
Interactieve data	1-100 kbit/s	10
Bulk-data	1-10 Mbit/s	1-10
Video	20-30 Mbit/s	2-3
HDTV	100-150 Mbit/s	1-2
Beeldtelefoon	circa 2 Mbit/s	5

Fig. 9.
Ongelijkheidheid van toepassingen.

Als laatste eigenschap moet worden vermeld dat sommige toepassingen (zoals transactiesystemen) erg gevoelig zijn voor het verlies van informatie in het netwerk, terwijl andere toepassingen (zoals beeldtelefoon) dat niet zijn.

3.2 Multi-rate circuit switching

Multi-Rate Circuit Switching (MRCS) is ontwikkeld om ook met circuit switching flexibeler de behoefte aan verschillende bitrates voor verschillende toepassingen te kunnen ondersteunen. Deze techniek houdt in dat een basis-bitrate wordt gedefinieerd en dat een verbinding bestaat uit een geheel aantal malen de basis-bitrate. De basis-bitrate wordt zo gekozen dat die gelijk is aan de minimale bitrate die effectief kan worden gebruikt voor een toepassing die weinig bitrate vereist, bijvoorbeeld een terminalverbinding van 1 kbit/s.

Als de basis-bitrate klein is ten opzichte van de maximale bitrate die een toepassing vereist, moeten veel kanalen met deze basis-bitrate moeten worden gecombineerd om een verbinding tot stand te brengen die een dergelijke toepassing ondersteunt.

Zo moet voor een HDTV-verbinding van 140 Mbit/s het geheel zich gedragen als een enkele 140 Mbit/s-verbinding; er moeten dan bijvoorbeeld 140.000 kanalen van 1 kbit/s met elkaar worden gesynchroniseerd. Dit vereist veel capaciteit in de schakelstations en de eindstations en genereert extra synchronisatie-informatie die in het netwerk moet worden verstuurd tussen deze stations. Wordt de basis-bitrate groter gekozen om verbindingen met hoge bitrates efficiënter te ondersteunen, dan zal in het geval van een verbinding voor een toepassing met lage bitrate een deel van de beschikbare bitrate niet worden benut.

Om de bovenstaande problemen te omzeilen, is het mogelijk gebruik te maken van meervoudige basis-bitrates. Hiervoor wordt een transmissiekanaal met TDM opgedeeld in verschillende kanalen met verschillende bitrates. In figuur 10 wordt als voorbeeld een kanaal met een bitrate van 156.672 kbit/s opgedeeld in één videokanaal, zeven stereogeluidskanalen, één PCM-kanaal voor dertig telefoongesprekken met bijbehorende signalering, en een apart kanaal voor synchronisatie. In dit geval wordt voor iedere basis-bitrate in het netwerk apart geschakeld.

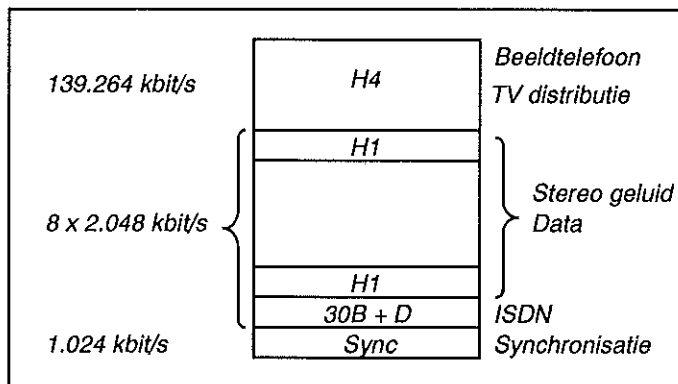


Fig. 10.
Multi-rate circuit switching;
meervoudige basis-bitrates.

Een belangrijk nadeel van deze methode is dat er capaciteit verloren gaat als er in verhouding meer verbindingen van een bepaalde bitrate worden gevraagd. Verder is deze methode moeilijk aan te passen wanneer voor bepaalde toepassingen, bijvoorbeeld door verbeterde compressietechnieken voor HDTV, andere basis-bitrates nodig zijn.

3.3 Fast circuit switching

Fast circuit switching is in de eerste plaats ontwikkeld om toepassingen met een ongelijkmatig verkeersaanbod efficiënt te kunnen ondersteunen. Het doel hiervan is om de tijd dat middelen in het netwerk zijn gereserveerd voor een verbinding te laten samenvallen met de tijd dat deze werkelijk gebruikt worden om informatie tussen de gebruikers te versturen. Wanneer een

gebruiker een verbinding aanvraagt, worden nog geen middelen in het netwerk gereserveerd, maar een reservering wordt al wel voorbereid voor de bitrate die de gebruiker aanvraagt. Als de gebruikers van de verbinding data willen versturen, worden middelen gereserveerd met een verkorte procedure, waarbij een beperkte hoeveelheid signaleringsinformatie in het netwerk wordt rondgestuurd. Vervolgens wordt de data verstuurd en worden de middelen weer vrijgegeven.

Het voordeel van deze techniek, zeker als deze wordt gecombineerd met de geavanceerde versie van multi-rate circuit switching, is dat onregelmatige toepassingen efficiënt kunnen worden ondersteund. De complexiteit van de signalering en de eisen ten aanzien van de snelheid van het opzetten en verbreken van verbindingen worden gesteld, staan vooralsnog een toepassing van deze techniek in de weg.

3.4 Message switching

Message switching (zie II 2030) is de techniek waarbij het gehele bericht dat een gebruiker wenst te versturen in één keer over het netwerk wordt verstuurd. Een voordeel van deze techniek is dat hij erg eenvoudig is en weinig functionaliteit in het netwerk vraagt. Een nadeel is dat buffers in het netwerk erg groot moeten zijn. Om een videofragment van 1 seconde te versturen, is een bufferruimte van 20 tot 30 Mbit nodig. Het doorschakelen van zo'n bericht in het netwerk is tijdrovend. Het tijdsvolgordediagram voor message switching is weergegeven in figuur 11.

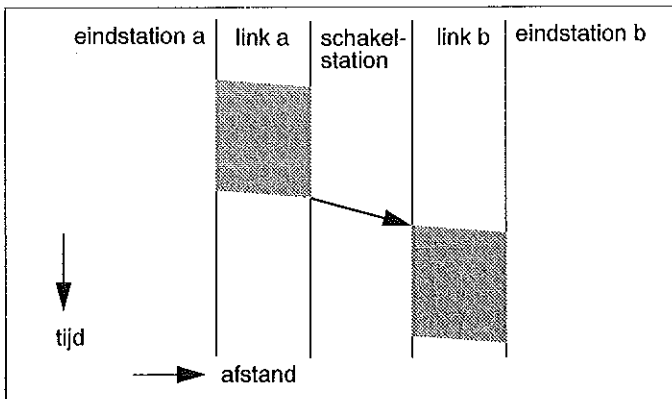


Fig. 11.
Message switching.

3.5 Packetswitching

Packet switching wordt uitvoerig besproken in II 2020. Bij deze techniek kunnen virtuele circuits worden gebruikt die in eigenschappen voor de toepassing veel lijken op circuitgeschakelde verbindingen. Terwijl bij circuit switching gereserveerde middelen niet worden gebruikt voor andere verbindingen, wordt dit bij virtuele circuits met packet switching wel gedaan. De efficiëntie die hiermee wordt verkregen, vertaalt zich in een aantal extra functies die nodig zijn om virtuele circuits goed te ondersteunen,

zoals routing, flow control en segmentatie. Een nadeel hiervan is dat de benodigde extra functies in knooppunten van het netwerk een ondersteuning van hoge bitrates vooralsnog niet toestaat.

Als bij packet switching gebruik gemaakt wordt van links met verschillende pakketgrootten (bijvoorbeeld ATM met pakketten van 53 octetten, Ethernet met maximale pakketten van 1518 octetten en FDDI met maximale pakketten van 4500 octetten), is het mogelijk in tussenliggende stations verschillende kleine pakketten samen te voegen tot één groot pakket om efficiënt van de grotere pakketten gebruik te kunnen maken. Dit wordt in OSI-standaarden op het gebied van netwerkinterconnectie *concatenation* (aaneenschakeling) genoemd. Om de oorspronkelijke pakketten terug te krijgen, moet het samengestelde pakket verderop in het netwerk worden uitgepakt (*separation*). Ook het omgekeerde geval kan zich voordoen: dat één groot pakket moet worden gesplitst in een aantal kleinere pakketten (*segmentation*) en dat verderop deze pakketten weer achter elkaar moeten worden gezet om het oorspronkelijke pakket terug te krijgen (*reassembly*).

Figuur 12 toont een tijdsvolgordediagram voor packet switching.

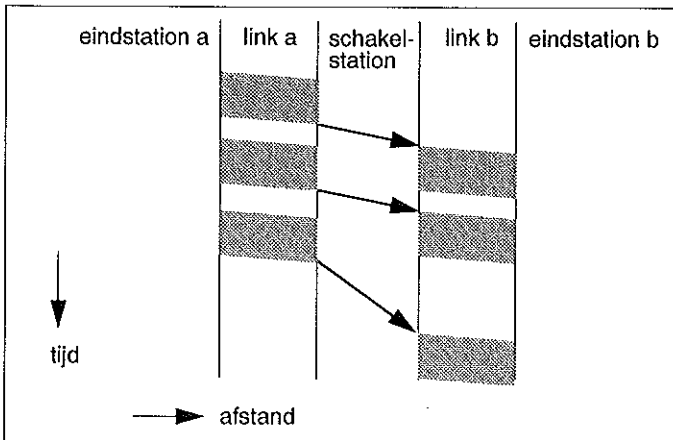


Fig. 12.
Packet switching.

3.6 Fast packet switching en ATM

Fast packet switching staat voor een familie van technieken die alle tot doel hebben packet switching mogelijk te maken met zo weinig mogelijk functies in het netwerk. Met deze techniek, gewoonlijk aangeduid met de term ATM (Asynchronous Transfer Mode), is het mogelijk verbindingsgescheiden services te bieden die alle vormen van verkeer efficiënt kunnen ondersteunen (zie hoofdstuk II 2025, ATM).

Een belangrijk aspect van ATM is dat een kleine, vaste pakketlengte is gekozen. Hierdoor kan de flexibiliteit van packet switching optimaal worden gebruikt. Het is mogelijk flexibel in te spelen op de verschillende bitrates die de verschillende toepassingen nodig hebben door het aantal gereserveerde pakketten voor een verbinding te variëren. Door het gebruik van routing per verbinding kunnen pakketten niet van volgorde veranderen in het netwerk en is de signalering beperkt. De kleine vaste lengte van de pakketten maakt het tevens mogelijk uitermate snelle schakelstations te maken.

4 Prestatie

Om een idee te krijgen van de werking en de efficiëntie van circuit switching, worden in deze paragraaf de prestaties van circuitgeschakelde netwerken vergeleken met die van pakketgeschakelde netwerken en worden de kans op blokkeren en de kans op vertraging voor circuit switching geïllustreerd. Deze paragraaf geeft niet de achtergronden van de analyse- en meettechnieken voor prestaties. De vergelijking met packet switching is afhankelijk van veel factoren en wordt hier slechts gegeven voor een zeer beperkt aantal daarvan.

Voor *circuitgeschakelde* verbindingen wordt de prestatie van het netwerk bepaald door:

- de bitrate van de verbindingen;
- de tijd die nodig is om de verbinding op te zetten;
- de kans dat een verbinding niet kan worden opgezet. Dit is het geval als in het netwerk niet voldoende faciliteiten vrij zijn om de verbinding te ondersteunen. Dit wordt mede bepaald door de capaciteit van de schakelelementen of knooppunten in het netwerk en van de capaciteit van de transmissiekanalen.

Voor *pakketgeschakelde* netwerken wordt de prestatie hoofdzakelijk bepaald door:

- de grootte van de pakketten;
- de vertraging die optreedt in het netwerk;
- de kans dat fouten optreden, zoals het verloren gaan van pakketten;
- de kans dat geen verbinding opgezet kan worden bij verbindingsgeorïënteerde services (virtual circuits).

Het is daarom niet eenvoudig circuit switching en packet switching met elkaar te vergelijken. Deze vergelijking zal ook worden beïnvloed door de aard van het verkeer dat wordt gegenereerd door de toepassingen die van het netwerk gebruik maken. Zoals uit het voorgaande al is gebleken, is packet

switching in principe flexibeler. In figuur 13 is een vergelijking gemaakt van de vertraging die in het netwerk optreedt bij circuit en packet switching als functie van de grootte van de pakketten. Hierbij zijn de volgende waarden en notaties gebruikt:

- De verbinding van de gebruikers met het netwerk (local loop) heeft een bitrate van 2,4 kbit/s.
- De capaciteit van de transmissiekanalen in het netwerk is 120 kbit/s.
- Signaleringsberichten voor het opzetten van een verbinding hebben een lengte van 160 bits.
- Berichten om ontvangst van pakketten te bevestigen hebben een lengte van 160 bits.
- ρ is de verhouding tussen aangeboden verkeer en de capaciteit van de local loop.
- m is de lengte in bits van de berichten die worden aangeboden. Deze is gelijk aan de grootte van de pakketten.
- Voor ieder bericht wordt bij circuit switching een verbinding opgezet en weer verbroken.
- Bij packet switching wordt niet eerst een verbinding opgezet voordat informatie wordt verstuurd.

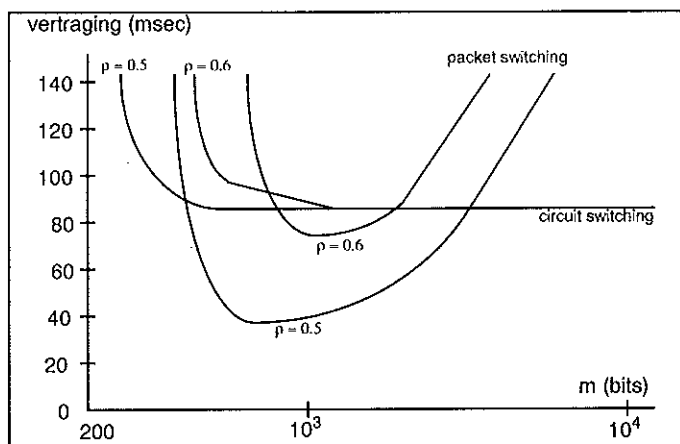


Fig. 13.
Prestatievergelijking van
circuit switching en packet
switching.

Als m klein is (dus als er veel verbindingen moeten worden opgezet en verbroken) loopt de vertraging voor circuit switching op doordat langere tijd op het beschikbaar komen van een verbinding moet worden gewacht. Als m groot is, wordt de vertraging voor circuit switching geheel bepaald door de snelheid van signaleringsuitwisseling in het netwerk.

Bij kleine m wordt de vertraging bij packet switching veroorzaakt door het grote aantal pakketten voor data en voor de bevestiging van datapakketten. Hierdoor raakt het netwerk verstopt. Bij grote m worden bij packet switching de transmissietijden en de vertraging in het netwerk groot.

Een andere vergelijking wordt verkregen door voor beide technieken te bepalen hoeveel telefoongesprekken tegelijkertijd kunnen worden ondersteund. Als we uitgaan van een bitrate van 10 Mbit/s op een lokaal netwerk, dan kunnen met circuit switching zo'n $10.000.000/128.000 = 78$ gesprekken tegelijk worden gevoerd (uitgaande van een PCM-codering van 64 kbit per seconde voor spraak per spreker). In figuur 14 is aangegeven hoeveel gesprekken door packet switching tegelijkertijd kunnen worden ondersteund als alleen informatie wordt verstuurd als daadwerkelijk wordt gesproken. Tevens is in figuur 14 aangegeven hoe groot de kans is dat meer pakketten worden aangeboden dan er kunnen worden verstuurd (overflow) en de gemiddelde duur van de overflow.

Aantal gesprekken	Kans op overflow	Gemiddelde duur van de overflow (msec)
78	$3 \cdot 10^{-23}$	8
98	$4 \cdot 10^{-15}$	10
117	$1 \cdot 10^{-9}$	12
137	$6 \cdot 10^{-6}$	16
156	$2 \cdot 10^{-3}$	23
176	$8 \cdot 10^{-2}$	41
195	$6 \cdot 10^{-1}$	106

Fig. 14.
Ondersteuning van
telefoongesprekken bij
packet switching.

In een circuitgeschakeld netwerk is er altijd een kans dat geen verbinding kan worden gemaakt (blokkeringskans). Het netwerk is zodanig ontworpen dat op drukke tijden het vereiste aantal verbindingen kan worden ondersteund met een bepaalde (kleine) kans op blokkering. Bij piekbelasting treedt blokkering op. Er zijn dan geen transmissiekanalen meer beschikbaar of, wat minder vaak het geval is, de schakelelementen zijn volledig bezet. Vooral wanneer schakelelementen een concentratiefunctie hebben (meer ingangen dan uitgangen hebben), kan blokkering optreden. In sommige gevallen treedt geen blokkering op maar worden verbindingen die niet direct tot stand kunnen worden gebracht in een wachtrij gezet.

In figuur 15 is voor een *blokkerend systeem* de kans op blokkering gegeven als functie van de belasting van het netwerk (in erlang, zijnde het quotiënt van het gemiddelde aantal aanvragen voor verbindingen en de gemiddelde duur van een verbinding). In figuur 16 is voor een *wachtrijstelsel* de kans gegeven dat moet worden gewacht op een verbinding. Als parameter van beide illustraties wordt de capaciteit m van het netwerk gebruikt (in aantal gelijktijdig ondersteunde verbindingen). Verder is uitgegaan van een Poisson-verdeling voor de verbindingsaanvragen.

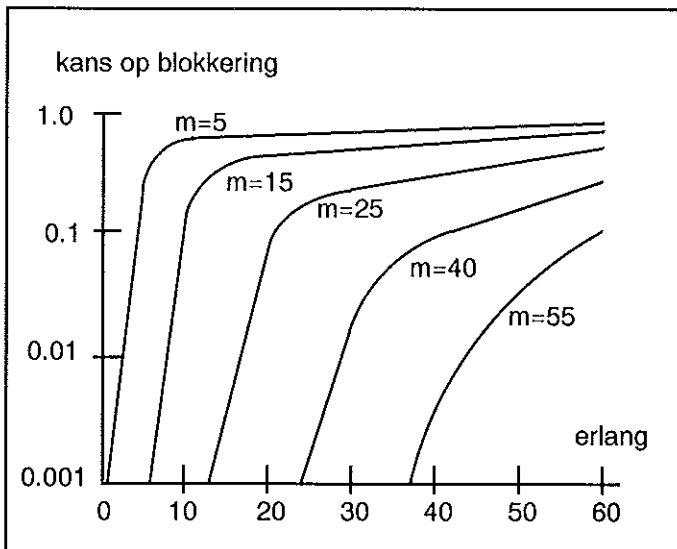


Fig. 15.
Kans op blokkering.

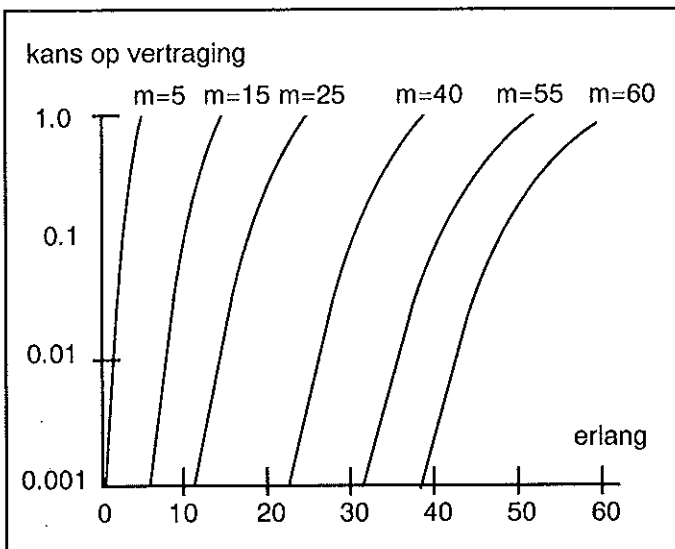


Fig. 16.
Kans op vertraging.

5 Standaardisatie

Op het gebied van circuit switching vinden de meeste standaardisatie-activiteiten plaats voor ATM, toegepast voor breedband ISDN (B-ISDN). De aspecten van signalering worden vooral in ETSI en ITU (vroeger CCITT) gestandaardiseerd. De resultaten verschijnen als aanbevelingen in de I-serie.

Circuit switching wordt tevens toegepast in de nieuw te ontwikkelen intelligente netwerken en mobiele netwerken waarvoor de standaardisatie in volle gang is.

Auteurs

De heer Katoen is werkzaam bij de Universiteit Twente, vakgroep Tele-informatica en Open Systemen. Hij is vooral betrokken bij de ontwikkeling van derde generatie mobiele netwerken in Europees verband.

De heer Van de Lagemaat is werkzaam bij de Universiteit Twente als instituutsmanager van het Centre for Telematics en Information Technology (CTIT). Het CTIT is een multi-disciplinair onderzoeksinstituut op het gebied van ontwerp, invoering en gebruik van telematica-systemen en infrastructures.