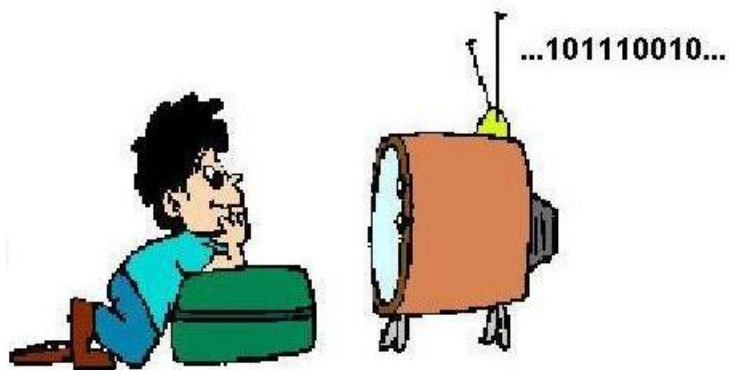


Nederland kijkt digitaal

J.F. Veldhuis



BWI-werkstuk, April 2006

Begeleider: Prof. dr. R.D. van der Mei
Vrije Universiteit Amsterdam
Faculteit der Exacte Wetenschappen
De Boelelaan 1081a
1081 HV Amsterdam



1 Voorwoord

Eén van de onderdelen van de studie Bedrijfskunde en Informatica (BWI) is het schrijven van een BWI-werkstuk. De inhoud van het werkstuk moet bestaan uit een onderzoek over een onderwerp dat in het vakgebied van de Bedrijfskunde en Informatica ligt.

In het werkstuk dat voor u ligt wordt informatie gegeven over de ontwikkelingen omtrent digitale televisie. In dit werkstuk wordt uitgelegd via welke media digitale televisie aangeboden kan worden, wat de grootste aanbieders zijn en welke ontwikkelingen de komende jaren zullen worden doorgevoerd. Daarnaast worden enkele analyses uitgevoerd waarmee een voorspelling gedaan wordt van de minimale capaciteit die nodig is om de consumenten in hun vraag te kunnen voorzien.

Hierbij wil ik Rob van der Mei bedanken voor het aandragen van het onderwerp en zijn enorme enthousiasme tijdens het begeleiden van het werkstuk.

Jolanda Veldhuis
April 2006



Contents

1	Voorwoord	1
2	Introductie	3
3	Digitale televisie	4
3.1	Van analoog naar digitaal	4
3.2	Grenzen vervagen	6
3.2.1	Televisie via de ether	6
3.2.2	Televisie via de kabel	9
3.2.3	Televisie via de satelliet	10
3.2.4	Televisie via vaste telefoonnetwerken	11
3.2.5	Televisie via mobiele telefoonnetwerken	13
3.3	Ontwikkelingen	16
3.3.1	Diensten	16
3.3.2	Techniek - HDTV	18
4	Capaciteitsplanning	21
4.1	Analyse	22
4.1.1	Modelomschrijving	22
4.1.2	De Erlang formule	25
4.1.3	Kelly's verlies model	26
4.1.4	Kaufman-Roberts	30
4.2	Resultaten	33
4.2.1	Erlang	33
4.2.2	Kelly	34
4.2.3	Kaufman-Roberts	35
5	Conclusie	37
6	Literatuurlijst	38



2 Introductie

Er staat de komende jaren veel te gebeuren voor televisiekijkend Nederland. Binnenkort kan ieder huishouden beschikken over haarscherpe televisiebeelden, de beste geluidskwaliteit en honderden televisiezenders. Mocht er dan nog geen programma naar wens op de kijkbuis zijn? Geen nood aan de man, met diensten als Video-on-Demand kan de kijker op elk gewenst moment van de dag afstemmen op het programma naar keuze. Dit is allemaal mogelijk door de digitalisering van de televisiebeelden.

De digitalisering heeft niet alleen invloed op het aantal zenders dat ontvangen kan worden, maar ook op de manier *hoe* de televisiebeelden worden ontvangen. In het verleden beschikten de consumenten alleen over analoge televisie dat met behulp van een antenne via de ether de huiskamer binnenkwam. Tegenwoordig kunnen we digitale televisie via de ether, kabel, satelliet, vaste en mobiele telefoonnetwerken ontvangen. De laatste trend is om via één medium zowel telefonie, televisie als internet te gebruiken.

De laatste twee jaar begint de digitalisering in Nederland door te breken en vechten de verschillende aanbieders door middel van reclamestunten om de consumenten. Het is echter nog niet voor iedereen duidelijk wat het verschil is tussen analoge en digitale televisie en wat de voordelen van de digitalisatie van de signalen zijn.

Dit werkstuk is bedoeld om helderheid te scheppen in de chaos. In hoofdstuk 3 zal het verschil tussen analoge en digitale televisie uitgelegd worden en bespreken we de verschillende manieren waarop televisie aangeboden kan worden. Hierbij worden per markt de grootste aanbieders gegeven. Tot slot zullen in hoofdstuk 3 nog enkele diensten zoals Video-on-Demand, Triple play en IPTV besproken worden.

Diensten als Video-on-Demand leiden tot een ander gebruik van het telecomnetwerk. Door de komst van deze diensten zijn kijkers in staat om zelf te beslissen wanneer een bepaald programma gekeken wordt. Dit leidt tot een ander type dataverkeer dan tot op heden het geval was. Bij de huidige video broadcasting worden namelijk de televisiebeelden van meerdere zenders tegelijk via het netwerk verstuurd en de consument stemt af op één van de programma's die op dat moment uitgezonden worden. Hoewel de consument keuze heeft uit tientallen televisiezenders wordt er toch door de programmabazen besloten wat er op welk tijdstip gekeken wordt. Diensten als Video-on-Demand gaan dit veranderen.

Deze diensten zullen echter veel meer capaciteit van het netwerk vereisen dan de huidige video broadcasting. Het dataverkeer naar elk huishouden kan dan immers verschillend zijn. In hoofdstuk 4 zullen we deze problematiek uitlichten en een voorspelling doen van de minimale benodigde bandbreedte die telecomaandbieders in hun netwerk moeten reserveren om aan de vraag naar video's en televisieprogramma's te kunnen voldoen.

Tot slot zal er in hoofdstuk 5 een korte samenvatting en conclusie gegeven worden van alle bevindingen.



3 Digitale televisie

3.1 Van analoog naar digitaal

De geschiedenis van de televisie is onlosmakelijk verbonden met die van Philips en met Erik de Vries. In 1930 werd er voor het eerst geëxperimenteerd met televisie. De Vries, werkzaam bij het Natuurkundig Laboratorium van Philips, bouwde de eerste zenders en deed de eerste proeven. De proefuitzendingen waren toendertijd alleen beschikbaar voor Philips-medewerkers in Eindhoven.

De eerste landelijke (zwart/wit) televisie-uitzending was op 2 oktober 1951 vanuit Bussum. De beeldsignalen werden door de televisietoren in Bussum naar de zendmast bij Lopik verzonden, die ze na ontvangst doorzond naar de ontvangsttoestellen in Nederland.

De televisiesignalen werden door middel van een zendmast via de ether verzonden. De eerste Hilversumse zendmast werd in 1952 in gebruik genomen. In 1971 werd de huidige zendmast gebouwd, de oude bleef staan tot 1976. Ontvangst was tot de jaren tachtig alleen mogelijk met behulp van een antenne, daarna werd het ook mogelijk om televisiebeelden via een kabelaansluiting te ontvangen.

De televisiebeelden werden altijd als een analoog signaal verstuurd. Een analoog signaal wordt als golfvorm verzonden en is dus continu variabel. Bij analoge verwerking van signalen blijft het signaal van het verzendstation tot de ontvanger een continu signaal. De grootste beperking van analoge signaalverwerking is dat elk systeem onderhevig is aan willekeurige fluctuaties, ruis. Wanneer signalen herhaaldelijk worden omgezet of over lange afstanden worden getransporteerd, kunnen deze fluctuaties een belangrijke component van het signaal worden.

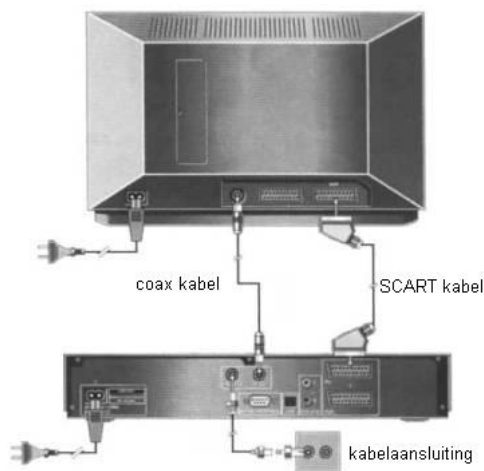
Tegenwoordig zenden kabelmaatschappijen behalve een analoog signaal ook digitale signalen uit. Bij digitale doorgave wordt het analoge signaal omgezet naar een digitaal signaal dat bestaat uit enen en nullen. In combinatie met foutcorrectie zorgt dit ervoor dat er veel minder kwaliteitsverlies optreedt bij het verzenden van de gegevens. Hierdoor ontvangt de consument een scherper beeld en geluid.

Door televisiebeelden te digitaliseren worden de gegevens efficiënter via het netwerk verzonden; er is minder capaciteit van het netwerk nodig dan bij het verzenden van een analoog signaal. De beschikbare bandbreedte wordt efficiënter gebruikt doordat bij digitalisering van het signaal gebruik gemaakt wordt van MPEG-2 beeldcompressie. Door het gebruik van MPEG-2 compressie en transport streams is het mogelijk om diverse zenders op één frequentie-kanaal door te geven. Bij analoge televisie neemt één televisiezender één frequentie-kanaal in gebruik. Bij digitale televisie is het mogelijk om binnen de ruimte van één analoog tv-kanaal meerdere digitale kanalen uit te zenden. De hoeveelheid kanalen die op één frequentie verzonden kunnen worden is afhankelijk van de gebruikte compressiefactor. Hogere compressie zorgt ervoor dat er meer kanalen kunnen worden verzonden, maar hierdoor wordt de beeldkwaliteit minder. Over het algemeen is er op een transport stream ruimte voor zes tot acht televisie zenders.



Bijna alle televisietoestellen in Nederland zijn alleen geschikt voor analoge beeldsignalen. Om toch televisie te kunnen kijken op het gewone televisietoestel moet een decoder (ook wel settop-box genoemd) gebruikt worden, zie Figuur 3.1. Dit apparaat regelt het omzetten van het digitale signaal naar analog. De decoder wordt op eenzelfde manier aangesloten als een videorecorder; het signaal dat via de kabel ontvangen wordt gaat eerst naar de decoder en dan door naar het televisietoestel. Op deze manier kan er ook nog gewoon analog televisie gekeken worden. Verder gaat er een SCART kabel van de decoder naar de televisie. Hiermee kunnen de digitale zenders bekeken worden.

Voor elke televisie in het huishouden moet een aparte decoder aangeschaft worden.



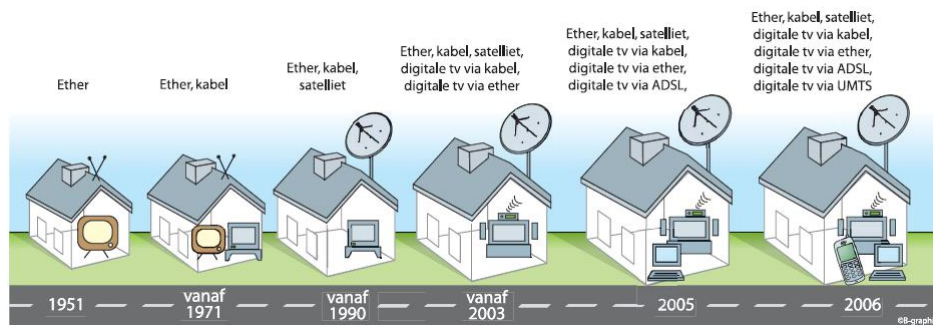
Figuur 3.1: TV met decoder

Toekomstige televisietoestellen moeten in staat zijn om het digitale signaal te ontvangen zonder tussenkomst van een apart aan te schaffen decoder.



3.2 Grenzen vervagen

In de jaren 50 van de vorige eeuw was het alleen mogelijk om televisie via de ether te ontvangen. Vanaf 1971 werd het mogelijk om televisie ook via de kabel te ontvangen. Twintig jaar later werd het mogelijk om via de satelliet over televisiebeelden te beschikken. Vanaf 2003 werd de digitale televisie in Nederland geïntroduceerd. Eerst werd digitale televisie, naast analoge televisie, via de kabel en de ether te ontvangen. Inmiddels is het mogelijk om zowel digitale televisie via de ether, kabel en satelliet als via de vaste en mobiele telefoonnetwerken te ontvangen. Zodoende verdwijnt de analoge televisie langzaam uit het straatbeeld. In Figuur 3.2 is een tijdlijn van de ontwikkeling van de ontvangst van televisiebeelden te zien.



Figuur 3.2: Tijdlijn van de ontwikkeling van ontvangst televisiebeelden

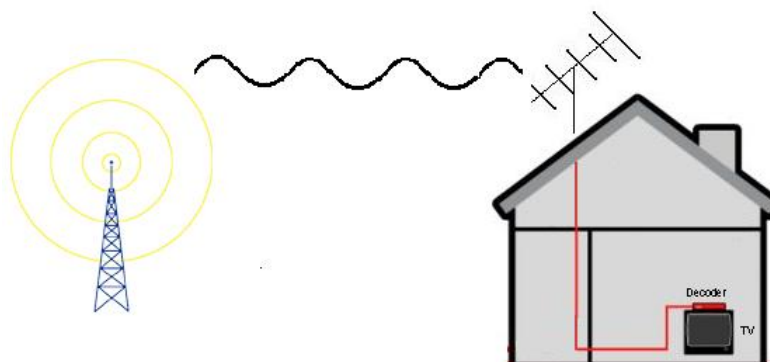
In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de verschillende manieren waarop digitale televisie door de consument ontvangen kan worden. Tevens zullen de belangrijkste aanbieder per uitzendkanaal besproken worden.

3.2.1 Televisie via de ether

Digital Video Broadcasting (DVB) is de internationale standaard voor digitale televisie. Indien de ontvangst van digitale televisie via de ether gebeurt wordt er gesproken van DVB-T (DVB-Terrestrial).

Met digitale televisie via de ether is het mogelijk om televisie te ontvangen op elke gewenste plaats binnen het ontvangstgebied. De consument is dus niet afhankelijk van de plaats van de kabel- of satelliet aansluiting.

Om digitale televisie via de ether te kunnen ontvangen heeft de consument een speciale antenne, een ontvanger (decoder) en een smartcard nodig. De antenne vangt het gecodeerde signaal op dat door verschillende zendmasten via de ether wordt verspreid. Dit signaal wordt vervolgens in de ontvanger omgezet naar beeld en geluid. De smartcard die in de digitale ontvanger geplaatst wordt zorgt ervoor dat de gecodeerde signalen gelezen kunnen worden. Op de smartcard staan tevens de persoonlijke abonnementsgegevens opgeslagen, hier wordt onder andere bijgehouden welke zenders er in het pakket van de consument zit en of de consument betaald heeft. Figuur 3.3 geeft schematisch weer hoe televisie via de ether ontvangen wordt.



Figuur 3.3: Televisie via de ether

Nederland kent op dit moment (april 2006) drie aanbieders van digitale televisie via de ether; Digitenne, KPN en Scarlet.

Digitenne

Digitenne werd in 2001 opgericht door NOZEMA¹, KPN, NOB² en de publieke en commerciële omroepen, verenigd in het Cahanoves Beheer (NOS, HMG, SBS, Canal+, Nickelodeon). Op 31 januari 2002 kreeg de joint venture officieel de vergunning van de Nederlandse overheid om de komende 15 jaar digitale televisie en radio in Nederland te exploiteren. Naar verwachting zal het ontvangstgebied van Digitenne in 2006 geheel Nederland beslaan.

Digitenne biedt de consument digitale televisie voor in huis, in de auto en buitenshuis. De kosten voor een abonnement voor digitale televisie thuis hangen af van het aantal televisies in het huishouden. Als een jaarabonnement voor één televisie wordt afgesloten kost dit de consument € 8,95. De eenmalige aansluitkosten bedragen € 29,95 (april 2006).

De kosten voor de jaarabonnementen voor digitale televisie voor in de auto of op de camping zijn gelijk aan de kosten voor digitale televisie thuis.

Voor het gebruik van Digitenne heeft de consument een digitale ontvanger, een antenne en een smartcard nodig. Bij een abonnement van AT HOME TV worden de antenne en smartcard bijgeleverd. De kosten voor de digitale ontvanger zijn voor de verschillende typen abonnementen als volgt:

Digitale ontvanger Kosten	
AT HOME TV ®	varieert van € 139,- tot € 299,-
OUTDOOR TV ®	€ 139,-
CAR TV ®	varieert van € 575,- tot € 599,-

Tabel 3.1: Kosten voor een digitale ontvanger bij een abonnement van Digitenne.

Bron: www.digitenne.nl, april 2006

¹De Nederlandse Omroep-Zender Maatschappij (NOZEMA) heeft als kernactiviteit het uitzenden van radio-, televisie- en datasignalen [30]

²Het Nederlands Omroepproductie Bedrijf (NOB) is een facilitair productiebedrijf voor radio, televisie en nieuwe media [29]



Indien een klant een jaarabonnement op AT HOME TV neemt dan kost de klant dit het eerste jaar $8,95 * 12 + 29,95 + 139$ (goedkoopste ontvanger) = €276,35. De jaren erop betaalt de klant €107,40 voor het abonnement. Voor dit bedrag krijgt de klant 27 televisie zenders aangeboden, waarvan drie zenders alleen tegen extra betaling beschikbaar zijn.

KPN en Scarlet bieden digitale televisie aan via Digtenne. Deze telecomaانبieders sluiten namens Digtenne de contracten af, hierbij zijn er voor klanten van KPN en Scarlet combinatiekortingen op de verschillende abonnementen.

TV van KPN

Sinds de overname van NOZEMA is KPN voor 80% aandeelhouder van Digtenne. KPN is tevens de grootste klant van Digtenne. KPN heeft ruim 100.000 digitale televisie klanten op basis van het Digtenne pakket.

Om digitale televisie van KPN te ontvangen heeft de consument een kleine antenne, een digitale ontvanger (Single Tuner of Twin Tuner) en een smartcard nodig. Met een Twin Tuner is het mogelijk om televisiebeelden op te nemen terwijl de consument een ander programma aan het kijken is. Met de Single Tuner is dit niet mogelijk. Tabel 3.2 geeft een overzicht van de kosten voor een abonnement gebaseerd op één televisie per huishouden.

	Kosten (euro)	
Abonnement per maand	€	13,95
Single Tuner	€	39,95
Twin Tuner	€	69,95
Smartcard	€	12,95
Aansluitkosten (eenmalig)	€	29,95

Tabel 3.2: Kosten van digitale TV van KPN op basis van één televisie per klant. Bron: www.kpn.com, maart 2006

Indien een klant een jaarabonnement op TV van KPN neemt kost de klant dit $13,95 * 12 + 29,95 + 12,95 + 39,95$ (goedkoopste ontvanger) = €250,25. De jaren erop betaalt de klant €167,40 voor het abonnement. Voor dit bedrag ontvangt de consument in totaal 25 zenders.

Scarlet

Scarlet is een full service provider van telecommunicatie diensten. Om de consument digitale televisie te kunnen leveren heeft Scarlet een samenwerkingsverband met Digtenne gesloten.

Per aan te sluiten televisie heeft de klant een digitale ontvanger, antenne en een smartcard nodig. De abonnementskosten per televisie bedragen €7,45 per maand. De eenmalige kosten voor de digitale ontvanger en aansluitkosten zijn €139,- en €29,95. Het eerste jaar betaald de klant dus €258,35 voor een abonnement voor één televisie. De jaren erop betaald de klant €89,40. Hiervoor krijgt de consument 23 televisie kanalen.

Op het eerste gezicht is het voor de consument op de langere termijn voordeliger om het abonnement af te sluiten bij Scarlet. De jaarlijkse kosten voor precies dezelfde



service zijn €18,- lager dan bij Digitenne en zelfs €78,- lager dan de kosten voor een KPN abonnement. Deze kosten gelden echter voor één televisie aansluiting per abonnement.

Zodra de klant voor meerdere toestellen digitale televisie wilt hebben is deze goedkoper uit bij KPN en Digitenne. De kosten per maand per extra televisie toestel zijn bij Scarlet €7,45, bij Digitenne €3,- en bij KPN zijn de extra aansluitingen zelfs gratis. Voor elke extra televisie toestel moet dan nog wel eenmalig een digitale ontvanger aangeschaft worden.

Het is voornamelijk voordelig om bij KPN digitale televisie te bestellen indien de klant reeds een telefoon- of internetaansluiting van deze maatschappij heeft. De maandelijkse kosten voor digitale televisie zakken dan met 6 euro naar €7,95.

3.2.2 Televisie via de kabel

Bij DVB - Cable (DVB-C), oftewel digitale televisie via de kabel, komt het digitale televisiesignaal via de kabel het huis binnen. Vervolgens wordt het digitale signaal in een ontvanger omgezet in beeld en geluid. Net als bij de ontvanger voor televisie via de ether zit er een smartcard in verwerkt. Deze houdt bij welke zenders de consument besteld heeft en of de consument betaald heeft.

Het voordeel van digitale televisie via de kabel is dat de ontvangst minder storingsgevoelig is dan bij digitale televisie via de ether. Doordat bij digitale televisie via de ether het signaal via de ether wordt verstuurd is de ontvangst nog wel eens storingsgevoelig. Voorbij rijdende trams, glas in loodramen, gesloten luxaflex en dergelijke kunnen de kwaliteit van het signaal beïnvloeden. Bij digitale televisie via de kabel komt dit niet ter sprake. Een ander voordeel van digitale televisie via de kabel is dat het gecombineerd kan worden met internet en telefonie.

Een nadeel van digitale televisie via de kabel is dat het aanbod en de kosten sterk afhangen van de aanbieder.

De belangrijkste aanbieders van digitale kabeltelevisie zijn TV HOME, Kabel Noord, CAIWAY, Multikabel, Casema, Delta en UPC. Tabel 3.3 geeft een overzicht van de abonnementen en tarieven van deze aanbieders.

Aanbieder	Abonnement	Kanalen	Startkosten (euro)	Prijs per maand	Decoder (v.a.)	Standaard Abonneeprijs RTV
@HOME	Basis	44	14,95	0,00	99,00	tussen 9,09 en 15,34
@HOME	Extra	94	14,95	7,95	99,00	tussen 9,09 en 15,34
Kabel Noord	Digitaal	45	14,95	0,00	99,00	tussen 14,34 en 15,35
CAIWAY	Basis	45	0,00	0,00	129,00	12,95
CAIWAY	Premium	91	19,90	9,90	129,00	12,95
Multikabel	Standaard	42	9,95	0,00	99,00	15,45
Multikabel	Plus	74	9,95	5,00	99,00	15,45
Multikabel	Plus Extra	80	9,95	9,95	99,00	15,45
Casema	Standaard	42	29,95	0,00	99,00	tussen 8,38 en 14,95
Casema	Plus	74	29,95	7,50	99,00	tussen 8,38 en 14,95
Delta	Basis	48	14,95	0,00	99,00	14,95
Delta	Pluspakket	75	0,00	7,95	99,00	14,95
UPC	Digital TV Pack	37	39,00	2,16	0,00	15,83
UPC	Digital TV extra	78	39,00	4,16	0,00	15,83

Tabel 3.3: Abonnementstarieven van aanbieders van digitale kabeltelevisie. Prijzen gelden voor één aansluiting per huishouden. RTV staat voor Radio & Televisie.

Bron: www.vergelijkdigitv.nl, april 2006

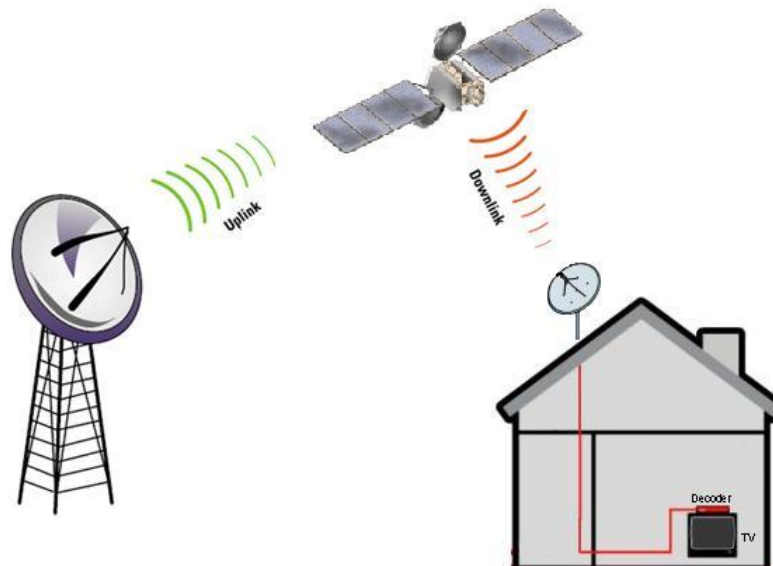


Wat opvalt is dat veel aanbieders adverteren met gratis digitale televisie via de kabel. Tussen de regels door valt echter te lezen dat het aanbod van digitale televisie alleen gratis is als er een standaard abonnement op radio en televisie bij de desbetreffende aanbieder wordt afgesloten. In Tabel 3.3 zijn daarom naast de startkosten, prijs per maand en de kosten voor de decoder ook de standaard abonneeprijs per maand voor radio en televisie meegenomen. De standaard abonneeprijs hangt sterk af van de gemeente waarin de consument woont. Zo kan de prijs voor een abonnement bij Casema variëren tussen €8,38 en €14,95 per maand. Overigens zijn niet alle aanbieders overal in Nederland beschikbaar. Kabel Noord is bijvoorbeeld alleen beschikbaar in de gemeenten Ameland, Dantumadeel, Dongeradeel, Kollumerland en Schiermonikoog.

3.2.3 Televisie via de satelliet

Op een afstand van ongeveer 37.000 kilometer van de aarde zweven er in de ruimte tientallen verschillende satellieten. Deze satellieten draaien in de baan van Clark om de aarde. Doordat de satellieten op een grote hoogte van de aarde verwijderd zijn lijkt het net alsof de hemellichamen stil staan. Met behulp van een schotel antenne is het mogelijk om digitale televisie via de satelliet (DVB-Satelliet) te ontvangen.

Digitale televisie via de satelliet werkt als volgt (Figuur 3.4). Vanuit een uplink-station worden signalen naar een satelliet gestuurd. De satelliet stuurt deze signalen weer terug naar de aarde waar het signaal vervolgens weer opgevangen wordt door een satelliet schotel. De satelliet schotel reflecteert het signaal naar het kopje van voor op de schotelantenne. Hier wordt het signaal vervolgens via de coax kabel verder gestuurd naar de satelliet ontvanger. De satelliet ontvanger vertaalt het signaal en stuurt het door naar het televisie toestel.



Figuur 3.4: Televisie via de satelliet

In principe was het in het verleden nodig om op elke televisie een satelliet ontvanger aan te sluiten. In een huishouden met meerdere televisies was het ook mogelijk om één enkele satelliet ontvanger te gebruiken, maar dan moesten alle televisies naar hetzelfde



kanaal kijken als de televisie waar de satelliet ontvanger op aangesloten was. Met de huidige satelliettechniek is het mogelijk om met één twin satelliet ontvanger op twee verschillende televisies naar verschillende zenders te kijken. Indien een harddisk aan het apparaat toegevoegd wordt is het zelfs mogelijk om tijdens het kijken vier satellietkanalen op te nemen.

De prijs van een satelliet verbinding is relatief goedkoop in vergelijking met de prijs van etherverbindingen. Door alleen een schotelset aan te schaffen heeft de kijker al toegang tot een aantal gratis kanalen. Voor een bedrag van €2,50 per maand beschikt de consument al over meer dan 100 buitenlandse zenders en de belangrijkste Nederlandse zenders. De eenmalige opstartkosten zijn echter hoger dan bij het afsluiten van een etherverbinding. Dit komt voornamelijk door de aanschaf van de schotelantenne.

Een nadeel van televisie via de satelliet is dat voor ontvangst een *line of sight* verbinding nodig is tussen de schotelantenne en de satelliet. De antenne moet op de satelliet gericht staan en de positie mag maar zes graden afwijken. Daarnaast mogen er geen gebouwen of andere obstakels in de weg staan zodat de antenne de satelliet ook kan "zien".

Een ander nadeel is dat het met televisie via de satelliet niet mogelijk is om interactieve televisie toe te passen.

CanalDigitaal is op dit moment de enige aanbieder van digitale televisie via de satelliet. De eenmalige startkosten voor een pakket bij CanalDigitaal bedragen €99,95. In dit bedrag zitten de inschrijfkosten en de kosten voor een smartcard verwerkt. Een decoder is te verkrijgen vanaf €100. CanalDigitaal biedt verschillende abonnementen aan, variërend van €2,50 per maand tot €21,95. Hiervoor kunnen 100 tot 180 zenders ontvangen worden.

Een abonnement bij CanalDigitaal is exclusief schotelantenne. Een schotelantenne inclusief smartcard kan aangeschaft worden voor een bedrag vanaf €269,-.

3.2.4 Televisie via vaste telefoonnetwerken

Door de digitalisering is het overbrengen van spraak en data niet meer te onderscheiden. Beeld, data, spraak: het kan allemaal via hetzelfde medium. Hierdoor vervagen de verschillen tussen het aanbod van de kabelmaatschappijen en de telefoonmaatschappijen. Door de digitalisering zijn beide partijen in staat om zowel telefonie, televisie als internet aan de consument te bieden.

Met de komst van de ADSL breedbandverbinding is het mogelijk geworden om via het telefoonnetwerk beeld en geluid materiaal op een snelle manier over te brengen naar de consument. ADSL staat voor Assymetric Digital Subscriber Line. Dankzij een breedband toegang wordt de verbinding via een vaste telefoonlijn supersnel en permanent. De term assymetric geeft aan dat de snelheden om data te downloaden en uploaden verschillend zijn. Met ADSL kan een maximale downloadsnelheid gehaald worden van 8 Mbit per seconde.

Telecommaatschappijen willen de consument voorzien van internet, telefonie en televisie. Om televisie via het vaste telefoonnetwerk aan te kunnen bieden is een downloadsnelheid van 4 tot 5 Mbit per seconde nodig. Indien televisie via het ADSL netwerk aangeboden wordt blijft er in het meest optimale geval een snelheid van 3



Mbit per seconde over voor internetgebruik. In de praktijk zal dit echter nog minder zijn doordat de meeste consumenten, door omstandigheden, nooit de optimale snelheid uit hun internetverbinding halen. Om toch digitale televisie aan te kunnen bieden is een nieuwe standaard ontwikkeld, genaamd ADSL2.

ADSL2 lijkt erg op de huidige ADSL techniek, maar gebruikt efficiënte algoritmes voor signaalverwerking waardoor hogere snelheden mogelijk zijn en tegelijkertijd langere afstanden van de centrale naar het huisadres overbrugd kunnen worden. ADSL2 biedt een downloadsnelheid van 12 Mbit per seconde.

Een andere ontwikkeling is ADSL2+. ADSL2+ kan een overdrachtsnelheid van 24 Mbit per seconde bereiken. ADSL2+ is echter een tussenstation. Met de komst van VDSL (Very high-speed DSL) zijn downloadsnelheden van rond de 52 Mbit per seconde en uploadsnelheden tot aan 13 Mbit per seconde mogelijk. Het is nog niet zeker of providers over zullen stappen naar VDSL. ADSL verschilt namelijk wezenlijk van VDSL waardoor de infrastructuur in geheel Nederland zal moeten worden aangepast.

Via het ADSL2+ netwerk is het mogelijk om zeer data-intensieve toepassingen aan te bieden, zoals Video-on-Demand, IPTV, VoIP (Voice over IP) en internettoegang (eventueel in een Triple play pakket).

Tele2/Versatel en KPN zullen de eerste aanbieders van het volledige televisiezenderpakket via internet zijn. Aanbieders als Casema, XS4ALL en Wanadoo zijn nog aan het experimenteren met digitale televisie via internet.

Tele2/Versatel

Versatel is vanaf juli 2005 de eerste provider die begonnen is met het uitzenden van televisie via internet. Hiervoor is een speciaal ADSL2+ netwerk aangelegd. De naam Versatel is vanaf februari 2006 voor de consumentenmarkt gewijzigd in Tele2.

Voor €44,90 per maand kunnen klanten het Tele2 Compleet TV abonnement afsluiten. Hiervoor krijgt de klant 50 tv- en radiozenders, Tele2 videotheek, 20 Mb internet, telefonie en gratis alle eredivisiewedstrijden op televisie.

KPN

Vanaf 1 mei 2006 kunnen consumenten internettelevisie bestellen bij KPN. Naast de Nederlandse publieke en commerciële televisie- en radiozenders zullen er diverse aanvullende themakanalen aangeboden worden. IPTV van KPN zal standaard worden aangeboden in combinatie met een Personal Recorder, waardoor klanten tot 100 uur kunnen opnemen en live televisie kunnen pauzeren.

De prijsstelling van IPTV van KPN zullen pas bij de introductie bekend gemaakt worden.

Casema, XS4ALL, Wanadoo

Abonnees met een Casema Maxi of Mega pakket kunnen voorlopig gratis beschikken over breedband televisie. Via www.tvportal.nl kunnen de abonnees live naar 9 tv-zenders kijken. Deze service geldt ook voor Wanadoo Cable Premium en Power klanten.

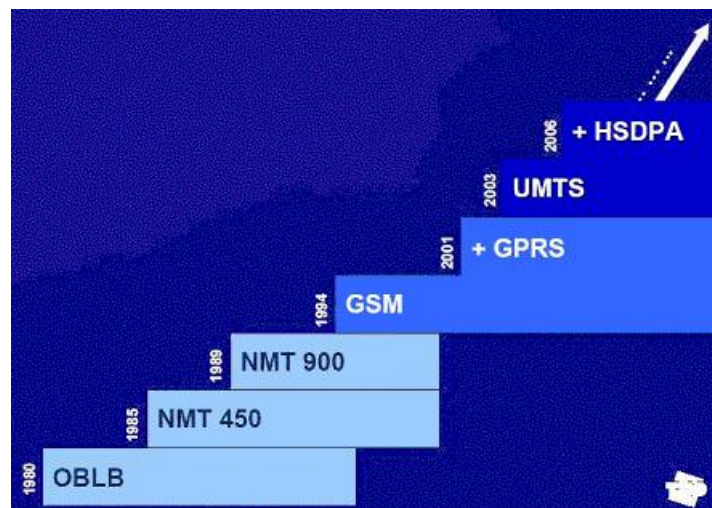


XS4ALL is op het moment van schrijven aan het experimenteren met DSL-tv. DSL-tv is beschikbaar in twee snelheden. Voor €3,95 per maand kunnen abonnees van XS4ALL beschikken over digitale televisie via het internet met een snelheid van 450 Kbps. Voor een snelheid van 1 Mbps betalen de abonnees €7,95 per maand. De kijker beschikt dan over 9 televisiekanalen.

Zoals misschien al duidelijk is geworden staat digitale televisie via de vaste telefoonnetwerken nog in de kinderschoenen. Een toekomstige aanbieder van tv via internet is Wanadoo. Wanadoo introduceert op dit moment de Wanadoo Live-box. Dit is een veelzijdig alles in één modem waarmee de consument over razendsnel internet en telefonie beschikt. In de toekomst zal het voor de consument mogelijk zijn om ook digitale televisie via de Live-box te ontvangen. Het is nog niet duidelijk wanneer Wanadoo dit zal introduceren en wat de kosten zullen zijn.

3.2.5 Televisie via mobiele telefoonnetwerken

De Nederlandse geschiedenis van de mobiele (tele)communicatie gaat terug naar de jaren dertig van de vorige eeuw. Eind 1939 wordt de eerste mobiele telefoon gepresenteerd door de Nederlandse Seintoestellen Fabriek in Hilversum. Mobiel betekende in deze tijd niet zozeer draagbaar, maar verplaatsbaar. De apparatuur was voornamelijk bedoeld voor inbouw in auto's. Anno 2006 is de mobiele telefoon niet meer weg te denken uit het dagelijkse leven. Inmiddels is Nederland alweer toe aan een uitbreiding van de 3^e generatie netwerken. Figuur 3.5 geeft een overzicht van de ontwikkeling van de mobiele netwerken.



Figuur 3.5: Ontwikkeling van standaarden voor mobiele telefoonnetwerken. Bron: TNO

1^e generatie

Er zijn enkele decennia voorbijgegaan voordat er sprake was van echte mobiele telefonie. In 1980 werd het eerste echte AutoTeleFoonnetwerk, het ATF-1 netwerk, in gebruik genomen. In 1985 werd overgestapt naar het NMT-450 netwerk. De capaciteit van het netwerk was in het begin ongeveer vier keer groter dan het oude ATF netwerk en de kwaliteit was een stuk beter. Het NMT-450 netwerk werkte op de 450 MHz band. De vraag naar mobiele telefonie bleek echter zo hoog dat het NMT-900 netwerk in gebruik genomen werd. Dit netwerk opereerde binnen de 900 MHz band.



2^e generatie

De ontwikkelingen bleven echter niet stil staan. In Europees verband werd inmiddels afgesproken om een digitale standaard voor mobiele telefonie te introduceren, Global System for Mobile communications (GSM). Het systeem diende volledig uitwisselbaar te zijn, zodat men overal kon bellen en gebeld worden, ongeacht het land waarin men zich zou bevinden. In 1994 werd het GSM netwerk in Nederland in gebruik genomen. Het GSM netwerk werkte aanvankelijk alleen op dezelfde frequentie als NMT-900, maar werkte uiteindelijk ook op 1800 MHz band.

In het begin was het de bedoeling om GSM ook geschikt te maken voor datatoepassingen, met snelheden vergelijkbaar met ISDN. Dit bleek echter niet haalbaar. Er werd wel voorzien in datatoepassingen, maar wel met een zeer beperkte doorvoersnelheid van 9,6 Kbps. Met Wireless Application Protocol (WAP) kan de gebruiker via het GSM netwerk beschikken over sub-internet toepassingen.

2,5^e generatie

General Packet Radio Services is een "packet switched" datacommunicatiedienst dat gebaseerd is op de GSM standaard. Hierbij wordt data in packets over gelijktijdig beschikbare tijdsloten verzonden. Met deze TDMA-techniek (Time Division Multiple Acces) kunnen er maximaal 8 tijdsloten gelijktijdig ingezet worden, waarbij een theoretische bandbreedte van 100 Kbps mogelijk is. De bandbreedte is echter afhankelijk van de gebruikte toestellen en het netwerkverkeer waardoor er in de praktijk hooguit een bandbreedte van 28 Kbps gehaald kan worden.

GPRS werkt volgens het "always on" principe. Dit houdt in dat de mobiele dataconnectie altijd online beschikbaar is. Dit betekent dat de gebruiker niet hoeft in te loggen om er gebruik van te kunnen maken. Dit is één van de grootste voordelen boven het mobiele internet dat via WAP over GSM geboden wordt.

Enhanced Data rates for GSM Evolution, EDGE, is een op GSM/GPRS gebaseerde technologie. Door een andere modulatiewijze dan bij GPRS te gebruiken kan er meer informatie per tijdslot verzonden worden. Door, net als bij GPRS, meerdere tijdsloten gelijktijdig in te zetten kan er een bandbreedte gehaald worden van 470 Kbps. Dit is echter alleen in theorie mogelijk, in de praktijk is een snelheid van 64 Kbps haalbaar. Door de grotere bandbreedte van EDGE is intensiever datatransport mogelijk dan wanneer GPRS gebruikt wordt.

3^e generatie

Het Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) is een nieuw type netwerk. UMTS is een nieuwe standaard voor Europa en Azië en zal in de loop der tijd de huidige GSM standaard gaan vervangen en overnemen.

UMTS netwerken kunnen hogere snelheden bieden dan GSM netwerken, terwijl de frequenties van een UMTS netwerk niet zo ver van het huidige GSM netwerk af liggen. De hogere snelheden kunnen aangeboden worden doordat de beschikbare capaciteit beter ingedeeld wordt door de UMTS standaard.

De GSM/GPRS standaard maakt gebruik van de TDMA techniek. Met deze techniek kunnen maximaal 8 tijdsloten gelijktijdig ingezet worden. Er kunnen dus maximaal 8 bellers tegelijk op één frequentie worden ingedeeld. Hierbij wordt gebruik gemaakt



van een frequentiebreedte van 200 kHz.

De UMTS standaard maakt gebruik van de W-CDMA techniek (Wideband Code Division Multiple Acces). Deze techniek kan in theorie een oneindig aantal gebruikers aan. Bij W-CDMA wordt geen gebruik gemaakt van strakke frequentie breedtes, maar de breedte van een frequentie wordt toegewezen aan de hoeveelheid dataverkeer die een gebruiker verbruikt. Wie niets zegt of verstuurt heeft geen ruimte nodig in de frequentiebreedte en wie veel praat of verzendt krijgt meer breedte.

Door de W-CDMA techniek wordt het mogelijk om met UMTS een bandbreedte van maximaal 384 Kbps te behalen. Hierdoor is de consument in staat om over steeds meer multimedia diensten te beschikken. Zo kan de consument onder andere e-mailen, video kijken en muziek downloaden via de mobiele telefoon.

Aanbieders

Vodafone is met het Vodafone Live! abonnement de eerste aanbieder van digitale televisie via UMTS. Met een UMTS-toestel en een Vodafone abonnement is het voor de consument mogelijk om altijd live televisie te kijken binnen het UMTS dekkingsgebied.

Vanaf 1 februari 2006 wordt het voor de Vodafone Live! abonnee mogelijk om vanaf 0,50 per tien minuten televisie te kijken. De consument beschikt dan over 18 kanalen.

De techniek achter Live TV van Vodafone Live! heet 'streaming'. Een computer zorgt voor het omzetten van het beeld en geluid naar een datastroom en via UMTS komt deze datastroom uit in het toestel. De mediaspeler in het toestel slaat de informatie enkele seconden op in een buffer voordat de programma's vertoond worden. Deze buffer vangt wisselingen in de datastroom op en dat zorgt voor vloeiend beeld en geluid. Als de buffer vol is, start de mediaspeler automatisch met het afspelen van de Live TV uitzending.

Dankzij streaming wordt er geen informatie in het geheugen van de telefoon opgeslagen. De geheugenbuffer wordt aan het eind van de uitzending gewoon leeggespeeld. Het toestelgeheugen kan gebruikt blijven worden voor foto's, games, ringtones, muziek, contacten, berichten etc.

Andere providers die internet via de mobiele telefoon aanbieden, maar nog geen live televisie, zijn KPN, T-Mobile en Telfort. Via UMTS en EDGE maken deze providers het voor de consument mogelijk om breedband te internetten.

Toekomst: uitbreiding 3^e generatie

HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access) is een nieuwe release in de 3^e generatie van telefoniestandaarden. De meest recente release van HSDPA propageert download-snelheden tot een maximum van 14,4 Mbps. In de praktijk ligt de haalbare snelheid per gebruiker in de range van 2 tot 3 Mbps, tegenover de huidige snelheid van UMTS van 384 Kbps. HSDPA is dus ongeveer vijf keer sneller dan op dit moment met UMTS haalbaar is. Hierdoor kunnen mobiele gebruikers zeer snel e-mails met grote bijlagen en videoclips downloaden en genieten van een zeer goede kwaliteit videostreaming op hun telefoons, laptops en PDA's.

Een ander voordeel is dat HSDPA de mobiele dekking in gebouwen enorm kan verbeteren. Het maakt diensten volledig beschikbaar in grote gebouwen, winkelcentra, metrolijnen en andere gebieden waar het moeilijk is een adequate dekking te bieden.



Naar verwachting zullen KPN, Vodafone en T-Mobile in de loop van 2006 HSDPA introduceren.

3.3 Ontwikkelingen

De introductie van internet en digitale televisie is het begin van een reeks technologische ontwikkelingen die de komende jaren nog doorgevoerd zullen worden. De telecombedrijven spelen nu in op het gemak van Triple play; dit is internet, telefonie en televisie via één aanbieder. De komende jaren zal de wens van de consument ook meer centraal staan. Met de komst van Video-on-Demand en IPTV bepaald de consument wat er op welk tijdstip gekeken gaat worden. De consument is niet langer afhankelijk van de tijdstippen waarop televisie zenders besluiten een programma te programmeren. In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van deze nieuwste ontwikkelingen.

3.3.1 Diensten

Triple play

Triple play staat voor telefonie, internet en digitale televisie of radio via één abonnement bij één aanbieder. Ook wel aangeduid met de term multi play of drie-in-één product. Door nieuwe technologieën is het mogelijk dat men via een supersnelle internetverbinding tegelijkertijd kan bellen, internetten en tv-kijken.

Op dit moment hebben de meeste consumenten te maken met een kabelaar, een telecomaandbieder en een internetprovider. Door de komst van Triple play kan de consument kiezen voor één leverancier. De consument krijgt vervolgens nog maar één rekening en kan profiteren van een bundelkorting. Bij eventueel ongemak weet de consument ook bij welke aanbieder de klacht ingediend moet worden.

De Triple play diensten maken de markt echter ondoorzichtig. Doordat de Triple play dienst tegen een vast bedrag per maand wordt aangeboden is het voor de consument niet meer transparant welk bedrag er voor welk product betaald wordt. Het wordt dus moeilijker om producten van verschillende aanbieders te vergelijken. Een vast bedrag per maand lijkt al snel voordelig, dit kan echter misleidend zijn. Voor consumenten die weinig internetten of nauwelijks bellen kan Triple play toch duurder uitvallen. Bovendien kan de afhankelijkheid van de consument van één aanbieder toenemen. Dit kan er toe leiden dat het in de toekomst moeilijker wordt om over te stappen op een andere aanbieder. Een contract wordt op dit moment voor minimaal een jaar afgesloten en automatisch verlengd. Dus zomaar overstappen naar een goedkopere of betere aanbieder is er dan niet bij.

De OPTA³ heeft aangekondigd dat Triple play diensten sterk in de gaten zullen worden gehouden. Het bevorderen van transparantie, toezichthouden op de tarieven en het wegnemen van onnodige overstapdrempels staat bij deze toezichthouder hoog op de agenda.

Triple play wordt zowel via de kabel als via ADSL2+ aangeboden. De aanbieders van Triple play via ADSL2+ zijn Versatel, Fiberworld, Scarlet, KPN. De aanbieders van Triple play via Kabel zijn UPC, Essent, Casema, Multikabel en CAIWAY.

³OPTA is de Onafhankelijke Post en Telecommunicatie Autoriteit, de toezichthouder op de post- en telecommunicatiemarkt in Nederland



Interactieve televisie

Interactieve televisie is een verzamelbegrip voor een aantal toepassingen. Momenteel zijn de volgende toepassingen te onderscheiden: Enhanced TV, Personal Video Recorder en Interactie TV.

Enhanced TV is een televisieprogramma dat extra gegevens bevat. Bij een sportwedstrijd kan dit bijvoorbeeld informatie zijn over de spelers, een samenvatting van de doelpunten, andere camerastanden en/of een chatpagina.

Een tweede vorm van interactieve televisie is de Personal Video Recorder. De settop-box bevat hierbij een grote harddisk waarmee tientallen uren video opgenomen kan worden. Aan de hand van een ingesteld gebruikersprofiel worden programma's automatisch vastgelegd op de harddisk. Voordeel boven de analoge videorecorder is dat het instellen niet meer zo lastig is. Met een druk op de knop kan automatisch een hele serie opgenomen worden. Daarnaast wordt het mogelijk om live televisieprogramma's te pauzeren.

Door de settop-box te voorzien van een retourkanaal (bijvoorbeeld een telefoonaansluiting of een kabelmodem) is "pulled-interactivity" mogelijk. Hierdoor ontstaan mogelijkheden als home-shopping, stemmen, meespelen met de favoriete televisiequizz en internet via de televisie. Door de transactiemogelijkheden wordt Video-on-Demand ook mogelijk.

Video-on-Demand

De aanbieders van digitale televisie zullen zich in de nabije toekomst ook gaan richten op Video-on-Demand. Video-on-Demand is het beste te vergelijken met een videotheek op de televisie. Met de afstandbediening kan de gebruiker kiezen uit een aanbod van films dat lijkt op het aanbod in een videotheek. De actuele films zijn tegen betaling te bekijken. De kabelbedrijven mogen de films pas enkele maanden na het verschijnen in de echte videotheek in hun assortiment opnemen.

Het principe van Video-on-Demand is vrij eenvoudig. Bij de gebruiker thuis, boven op de televisie, staat een settop-box, die via een afstandsbediening de gebruiker toelaat om een bepaald programma of service te kiezen. De bedoeling is om de settop-box een zo gebruiksvriendelijk mogelijke interface te geven naar de gebruiker toe. Het kunnen selecteren van de gewenste dienst of film moet eenvoudig door middel van een afstandsbediening mogelijk zijn.

De settop-box is via een netwerk verbonden met een service gateway. Dit is een soort tussenstation dat de gebruiker de keuze laat uit verschillende service-providers: Video-on-Demand, home shopping, interactieve games enzovoort. Deze service gateway is dan verbonden met elk van de service providers, die bijna allemaal bestaan uit een video server.

Een video server is een opslagplaats voor digitale informatie, bijvoorbeeld films, documentaires, nieuws, data, boeken, televisieprogramma's. Al deze informatie is gedigitaliseerd en opgeslagen, hetzij op harddisks of op conventionele tape. De bedoeling van de video server is om op verzoek van de gebruiker (via de service gateway) zo snel mogelijk de relevante informatie te zoeken en die dan te verspreiden naar de gebruiker



toe, weer via de service gateway.

IPTV

Internet Protocol Television (IPTV) is een datatoepassing waarbij consumenten via het internet televisie kunnen kijken. Door gebruik te maken van het snelle ADSL2+ netwerk wordt het mogelijk om interactieve televisie aan te bieden. Bij IPTV kunnen consumenten via een televisie-interface programma's en films bestellen, betalen en onmiddellijk bekijken. Hierbij kan de consument op elk gewenst moment de film stoppen, voor- en achteruit spoelen en pauzeren.

Met de Elektronische Programma Gids wordt het ook nog eens mogelijk om een direct overzicht van wat er op televisie is op te roepen.

De ontwikkelingen van IPTV en interactieve televisie zullen een flinke impact hebben op de marketingwereld. Commercials in de oude vorm zullen niet langer meer werken aangezien de consumenten de onderbrekingen in programma's direct door zullen spoelen. Door IPTV zullen de consumenten echter indentificeerbare eindgebruikers worden. Zoals online pc's een IP-nummer hebben zullen ook televisies straks unieke traceerbare adressen krijgen. Hierdoor kunnen er reclames getoond worden die speciaal zijn afgestemd op ouderen of op jonge gezinnen.

Met IPTV wordt het voor de adverteerders ook mogelijk om eigen programma's te ontwikkelen. Hierbij moet het voor de consument mogelijk zijn om met een 'rode knop' direct artikelen uit reclames of programma's te kunnen bestellen.

Adverteerders zullen in de toekomst dus een andere aanpak gaan hanteren om de aandacht van de consument te wekken. Door IPTV krijgt de adverteerder een beter inzicht in de consument en met deze kennis kunnen er passende commerciële aanbiedingen gedaan worden. Met de introductie van themakanalen en de zogenoemde 'rode knop' zou home-shopping een nieuwe impuls kunnen krijgen. Het wordt immers steeds makkelijker om iets te bestellen. De praktijk zal echter leren welke vorm van marketing voor de adverteerders het meest rendabel is.

3.3.2 Techniek - HDTV

HDTV is een nieuwe beeldtechniek waardoor het televisiebeeld wel zes keer scherper wordt dan we tot nu toe gewend zijn. HDTV staat voor High Definition Television. Dit is televisie met een hogere definitie, ofwel een hogere resolutie dan de huidige Europese PAL⁴ norm, waardoor de beeld- en geluidskwaliteit enorm verbetert.

Standaard PAL signalen hebben 720 punten per beeldlijn en 576 bruikbare beeldlijnen, oftewel, PAL heeft een resolutie van 720x576 beeldpunten. Voor kleinere televisietoestellen is deze resolutie prima, maar met name voor grote plasma of LCD televisies is de resolutie te laag om van een scherp beeld te spreken.

HDTV werkt met een resolutie van 1280x720 of 1920x1080 beeldpunten, beide in 16:9 breedbeeldformaat. Zie Figuur 3.6 voor het verschil tussen PAL en HDTV. Er geldt dat de 'lage' HDTV resolutie van 1280x720 beeldpunten altijd in non-interlaced, ofwel 'progressive-scan' modus wordt weergegeven, terwijl de hogere resolutie van 1920x1080 beeldpunten voorlopig interlaced wordt uitgezonden. De twee HDTV-normen worden

⁴PAL = Phase Alternation by Line



vaak aangeduid met de afkortingen '720p' en '1080i', waarbij 'p' en 'i' staan voor Progressive en Interlaced.



Figuur 3.6: Verschil PAL en HDTV

Bij Progressive scanning wordt heel het beeld in één keer weergegeven in plaats van om beurten de even en de oneven beeldlijnen, zoals het geval is in de interlaced modus. Het voordeel van progressive scanning is dat het beeld er veel rustiger en scherper uitziet, het nadeel is dat een progressive signaal twee maal zoveel bandbreedte nodig heeft als een interlaced signaal.

Uitvoerige testen hebben uitgewezen dat voor goede kwaliteit bij een resolutie van 1920x1080 in progressive modus tussen de 35 en 60 Mbps aan bandbreedte nodig is [10]. Vanwege de hoeveelheid bandbreedte die nodig is om 1920x1080 uit te zenden is gekozen om dit formaat interlaced te verzenden. Hierdoor wordt de benodigde bandbreedte gehalveerd en wordt het mogelijk om HDTV-beelden in 1920x1080 formaat met een overdrachtsnelheid tussen de 18 en de 35 Mbps te verzenden.

Eind jaren tachtig werd HDTV al eerder aangekondigd, maar door de hoge prijzen van de toenmalige HD-televisietoestellen, de hoge prijzen van de benodigde bandbreedte voor het verzenden van het analoge signaal en door het gebrek aan ondersteuning door de overheid en tv-producenten is het toenmalige initiatief op niets uitgelopen. Doordat er bij het digitaliseren van de televisiebeelden gebruik gemaakt wordt van de MPEG2 beeldcompressie zijn er nieuwe perspectieven ontstaan voor de doorgave van HDTV signalen. Door de MPEG compressie nemen beeldsignalen namelijk veel minder bandbreedte in, waardoor het goedkoper wordt om HDTV signalen door te geven.

Toch is er bij de introductie van de digitalisering van televisiebeelden niet meteen begonnen met het uitzenden in HDTV formaat. Eind jaren negentig was er voor de consument nog geen mogelijkheid om een betaalbare televisie aan te schaffen die voordeel zou hebben van de hogere resolutie van HDTV signalen. HDTV signalen uitzenden naar de standaard televisietoestellen heeft geen zin, deze kunnen alleen signalen volgens de PAL norm weergeven.

Door de komst van betaalbare LCD en plasmaschermen is de interesse voor HDTV toch weer opgebloeid. Toch komt HDTV in Nederland nog niet echt van de grond. Doordat het overgrote deel van de huishoudens nog over een ouderwets televisietoestel



beschikt wachten de tv-stations af met het verzenden in HDTV formaat. De overstap naar HDTV kost immers veel geld; om met HDTV signalen om te gaan moet alles van camera's tot montagestations en beelddragers vervangen worden. Daarnaast zullen de transportkosten voor het verzenden van de signalen stijgen omdat een HDTV signaal nog altijd meer bandbreedte gebruikt dan een PAL signaal.

Toch wordt er inmiddels door de kabelmarkt naar HDTV gekeken. Zo zijn Philips en UPC een samenwerking aangegaan om HDTV in Nederland te promoten. De overeenkomst betekent dat Philips de decoder gaat leveren waarmee klanten van UPC HDTV signalen digitaal kunnen ontvangen. Hier staat tegenover dat UPC het gebruik van HDTV actief gaat promoten. Bij deze promotie speelt het komende WK voetbal een cruciale rol.



4 Capaciteitsplanning

Bij de huidige video broadcasting heeft de consument geen directe invloed op het tijdstip waarop de favoriete films en televisieprogramma's uitgezonden worden. De programmabazen beslissen wat er op elk tijdstip van de dag uitgezonden wordt en de consument is alleen in staat om in te schakelen op één van de tientallen zenders die aangeboden worden.

Door de digitalisering van de video- en televisiebeelden zijn diensten als Video on Demand mogelijk geworden. Het is nu de wel mogelijk om de consument uit te laten maken wanneer ze welk programma zal kijken. De consument kan nu op elk gewenst tijdstip afstemmen op het programma naar keuze. De ontwikkeling van deze diensten zal een zeer grote impact hebben op het dataverkeer binnen de telecomnetwerken.

Het dataverkeer binnen het netwerk is bij video broadcasting voor elk huishouden hetzelfde. Naar elk huishouden worden precies dezelfde signalen verstuurd en de consument stemt vervolgens af op de zender naar keuze.

Wanneer interactieve diensten als Video-on-Demand mogelijk worden verschillen de signalen die naar elk huishouden verstuurd worden. Het dataverkeer naar elk huishouden is niet langer meer hetzelfde. De keuze van het programma dat een consument op een bepaald tijdstip wilt zien bepaalt de datastroom binnen het netwerk. Dit betekent dat op een willekeurige avond er miljoenen verschillende programma's tegelijkertijd aangevraagd kunnen worden. Dit zal een veel grotere capaciteit van het netwerk vereisen!

Ter illustratie. Stel dat het huidige netwerk een bandbreedte van 1 Gbps heeft. Voor video broadcasting, waarbij elk huishouden dezelfde signalen van tientallen zenders ontvangt, is deze capaciteit groot genoeg.

Neem aan dat er voor het bekijken van een film of televisie programma een overdrachtsnelheid van 5 Mbps nodig is. Bij een totale bandbreedte van 1 Gbps zou dit betekenen dat er maximaal 200 verschillende films of programma's tegelijk via het netwerk verzonden kunnen worden. Het huidige netwerk zal dus overbelast raken!

Om te voorkomen dat een aanvraag voor een programma door een overbelast netwerk geblokkeerd wordt, en de consument dus een zwart beeld krijgt, zijn de aanbieders bezig om de capaciteit van hun netwerk aan te passen. Het grootste probleem dat hierbij komt kijken is:

Hoeveel bandbreedte moet er minstens in een netwerk beschikbaar zijn voor diensten als Video-on-Demand om met een zekere blokkeringskans aan de vraag van de consument te voldoen?

Aan de hand van een wiskundig model is het mogelijk om een inschatting te maken van de minimale benodigde capaciteit van een netwerk. In dit hoofdstuk wordt een model opgesteld dat voor een zeker aantal gebruikers en een blokkeringskans de vereiste bandbreedte van een netwerk berekent. Bij het uitvoeren van de berekeningen wordt de theorie van de wiskundigen Erlang, Kelly en Kaufman-Roberts toegepast.



4.1 Analyse

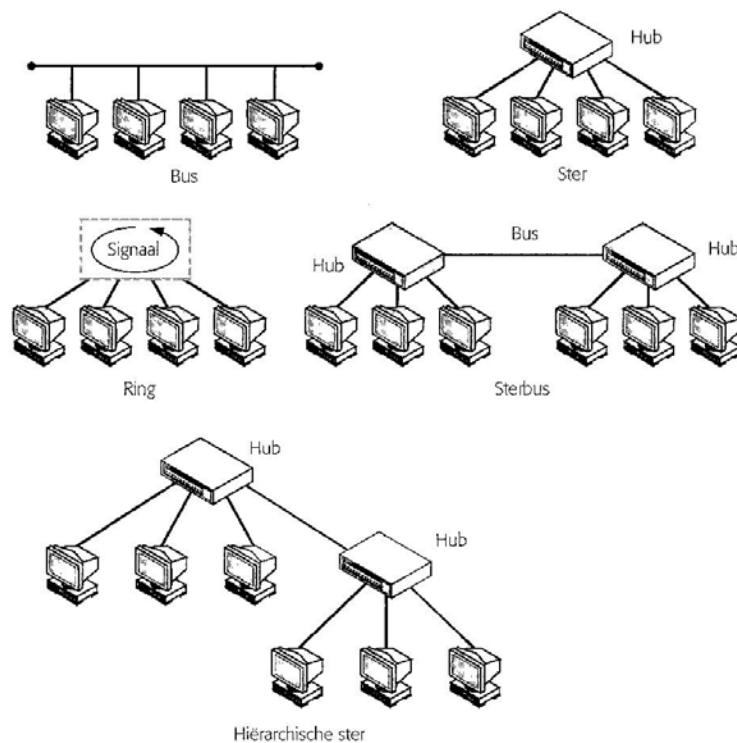
In deze paragraaf zullen we in detail de aanpak van de capaciteitsberekeningen bespreken. Allereerst zal een modelomschrijving gegeven worden. Daarna wordt de theorie besproken die gebruikt wordt om het model op te lossen.

4.1.1 Modelomschrijving

Netwerk model

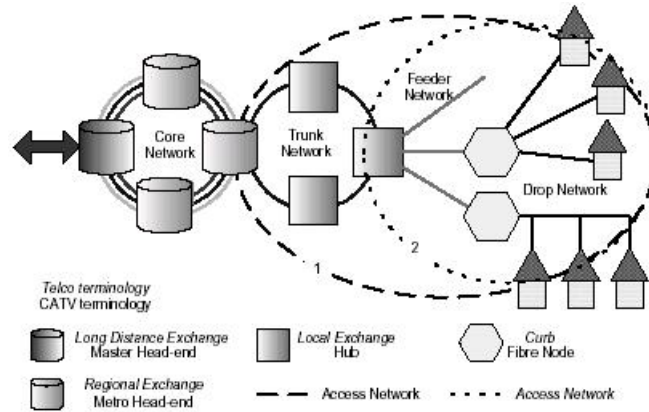
Eenvoudig gezegd is een netwerk een groep computers die met elkaar verbonden zijn via kabels of een ander medium zoals radiogolven of glasvezel. Een basisnetwerk is een netwerk waarin de kabel of een ander netwerkmedium slechts één enkel signaal tegelijk kan verwerken. Een breedbandnetwerk kan daarentegen meerdere signalen tegelijk verwerken en gebruikt voor elk signaal een afzonderlijk deel van de kabelbandbreedte. Een voorbeeld van een breedbandnetwerk is de kabelaansluiting voor de televisie. Hoewel er slechts één kabel naar de televisie loopt, biedt deze tientallen kanalen. Voor elk kanaal levert de kabel een apart signaal.

Netwerken kunnen volgens verschillende patronen, topologieën genoemd, opgezet worden. De meest gebruikte topologieën zijn: bus, ster, ring, sterbus, hiërarchische ster, zie Figuur 4.1.



Figuur 4.1: Veelgebruikte netwerktopologieën [5]

De hiërarchische stertopologie wordt vaak gebruikt om netwerken op te zetten. In Figuur 4.2 is een voorbeeld weergegeven van hoe een telecom- en/of kabelnetwerk volgens de hiërarchische stertopologie opgebouwd kan zijn.



Figuur 4.2: Communicatienetwerk volgens de hiërarchische stertopologie [4]

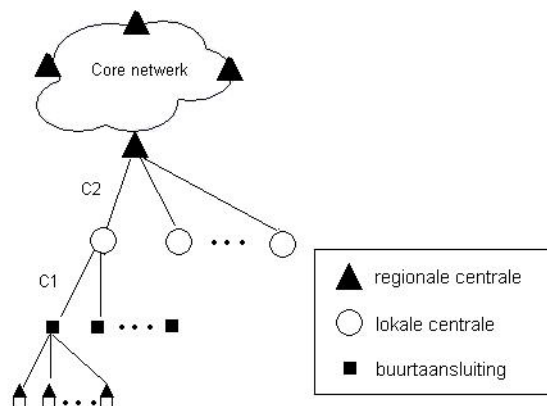
Het communicatienetwerk van Figuur 4.2 bestaat uit vier niveau's; het core netwerk, trunk netwerk, feeder netwerk en het drop netwerk.

Het core netwerk is de harde kern van het netwerk. Binnen dit deel van het netwerk worden een aantal regionale centrales, "regional and long distance exchanges", met elkaar verbonden. De regionale centrales zijn via het trunk netwerk verbonden met de lokale centrales, in de figuur aangegeven met "local exchange". Het trunk netwerk is vervolgens verbonden met het feeder netwerk. Hierin worden de lokale centrales verbonden met de curbs, letterlijk vertaald: de stoepen. Vanuit de curbs lopen de aansluitingen in het drop netwerk naar de huishoudens.

Het totale bereik vanaf de regionale centrales kan tot enkele honderduizenden huishoudens bevatten.

Het core netwerk verbindt meerdere regionale centrales met elkaar. Elke regionale centrale kan honderdduizenden huishoudens van televisiebeelden voorzien. Om de structuur van het model makkelijk te houden nemen we aan dat de aftakkingen van het core netwerk ten hoogste van de regionale centrales identiek zijn. Dit hoeft in de praktijk echter niet zo te zijn!

Voor de analyse van de capaciteitsplanning zullen we het dataverkeer binnen één enkele aftakking, zoals weergegeven in Figuur 4.3, nader bekijken.



Figuur 4.3



Wiskundig model

De structuur van het netwerk zoals deze zojuist besproken is zal gebruikt worden om het wiskundig model op te zetten. Door het wiskundig model op te lossen willen we een antwoord geven op het probleem:

Hoeveel bandbreedte moet er minstens in een netwerk beschikbaar zijn voor diensten als Video-on-Demand om met een zekere blokkeringskans aan de vraag van de consument te kunnen voldoen?

We zijn geïnteresseerd in de minimale benodigde bandbreedte tussen de buurtaansluiting en de lokale centrale en de minimale benodigde bandbreedte tussen de lokale centrale en de regionale centrale in het netwerk. Voor de grootte van de bandbreedtes moet gelden dat de kans dat de consument een zwart beeld krijgt door overbelasting van het netwerk (blokkeringskans) zo klein mogelijk is. Hoe kleiner de blokkeringskans hoe meer huishoudens voorzien kunnen worden in hun vraag naar films en televisieprogramma's.

Definieer p als de blokkeringskans en C_1 , C_2 als de benodigde capaciteit tussen de buurtaansluiting en de lokale centrale en de benodigde capaciteit tussen de lokale centrale en de regionale centrale, respectievelijk.

We zijn dus voor een gegeven blokkeringskans p op zoek naar de minimale waarden voor C_1 en C_2 .

Laten we gemakshalve eerst aannemen dat het stochastisch proces ten hoogte van de buurtaansluiting niet van invloed is op het stochastische proces ten hoogte van de lokale centrale. Onze probleemstelling kan dan als volgt gedefinieerd worden:

Wat is de minimale capaciteit C_1 voor een gegeven blokkeringskans p en wat is de minimale capaciteit C_2 voor eenzelfde blokkeringskans p ?

Definieer voor $i \in \{1, 2\}$ en voor $t \geq 0$ de stochastische variabele $N_i(t)$ als

$$N_i(t) = \text{het aantal bezette lijnen op verbinding } i$$

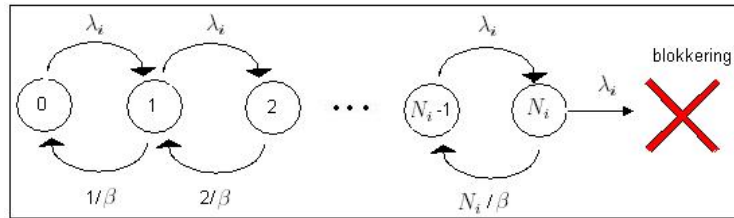
met

$$i = \begin{cases} 1 & \text{verbinding tussen de buurtaansluiting en de lokale centrale} \\ 2 & \text{verbinding tussen de lokale centrale en de regionale centrale} \end{cases}$$

Neem aan dat de tussenaankomsttijden van aanvragen voor Video-on-Demand exponentieel verdeeld zijn met intensiteit λ_i . Dit betekent dat de aanvragen van films volgens een Poisson proces binnenkomen.

Definieer β als de verwachte duur van een film in uren en r als de overdrachtsnelheid in Mbps waarmee de films door het netwerk verstuurd worden. Verder geldt $N_i = \lfloor \frac{C_i}{r} \rfloor$.

Het stochastische proces $\{N_i(t), t \geq 0, i = 1, 2\}$ is een continue-tijds Markov keten met toestandsruimte $S := \{0, 1, \dots, N_i\}$ en de toestandsovergangen zoals weergegeven in Figuur 4.4.



Figuur 4.4

4.1.2 De Erlang formule

Nu het wiskundig model opgezet is, kunnen we met behulp van de Erlang blokkeringsformule uitrekenen hoeveel bandbreedte (C_1 , C_2) we nodig denken te hebben om een zo laag mogelijke blokkeringskans te bereiken.

Erlang's blokkeringsformule is ontwikkeld door A.K. Erlang (1878-1929) in de beginjaren van de telefonie. De blokkeringsformule wordt gegeven door:

$$\pi_k = \frac{(\lambda_i \beta)^k / k!}{\sum_{j=0}^{N_i} (\lambda_i \beta)^j / j!} \text{ voor } k = 0, 1, \dots, N_i \quad (1)$$

Hierbij is de evenwichtkans π_k de fractie tijd op de lange duur waarbij k lijnen bezet zijn. In de wachttijdtheorie geldt dat bij een Poisson aankomstproces de fractie aankomsten die het systeem in een bepaalde toestand treffen gelijk is aan de fractie tijd dat het systeem in die toestand is. Dit resultaat "Poisson Arrivals See Time Averages (PASTA)" is algemeen geldig. Dit betekent dat de fractie aanvragen naar films en televisieprogramma's dat op de lange duur geblokkeerd wordt gelijk is aan π_{N_i} .

In onze analyse gaan we op zoek naar de waarden voor N_i waarvoor geldt dat $\pi_{N_i} \leq p$. We zijn dus op zoek naar het minimale aantal lijnen dat nodig om met een blokkeringskans van p aan de vraag te kunnen voldoen.

Zoals eerder vermeld worden honderdduizenden huishoudens vanaf de regionale centrale voorzien in digitale televisiebeelden. Deze beelden worden via de lokale centrales en buurtaansluitingen verstuurd.

Laten we aannemen dat er ongeveer 50 huishoudens op een buurtaansluiting aangesloten zijn. In een gemiddelde woonwijk zijn ongeveer 2000 huishoudens. Neem aan dat de lokale centrales opgesteld zijn ten hoogte van een woonwijk. Hieruit kunnen we afleiden dat er vanaf de lokale centrales ongeveer 40 aftakkingen richting de buurtcentrales gaan. Een regionale centrale bereikt honderdduizenden huishoudens. Laten we daarom aannemen dat er ongeveer 100 lokale centrales verbonden zijn met één regionale centrale.

De waarden van de aftakkingen die we hier gebruiken zijn allemaal aannames. De werkelijke aantallen zijn niet precies gelijk maar wel van dezelfde orde van grootte.

Uit het "Jaarrapport 2005" van de Stichting KijkOnderzoek [23] is gebleken dat ongeveer 45% van de huishoudens op het drukstte moment van de dag televisie kijkt. Neem aan dat de gemiddelde film twee uur duurt. Om een film te kunnen downloaden is een minimale overdrachtsnelheid van 5 Mbit per seconde nodig [10].

Laten we aan de hand van bovenstaande gegevens de waarden voor de inputparameters



als volgt instellen:

$\lambda_1 = 0,45 * 50 = 22,5$ aanvragen per uur bij de buurtaansluiting

$\lambda_2 = 22,5 * 40 = 900$ aanvragen per uur bij de lokale centrale

$\beta = 2$ uur

$r = 5$ Mbit per seconde

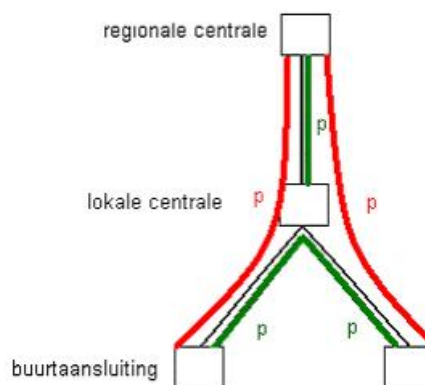
Er geldt $N_i = \lfloor \frac{C_i}{r} \rfloor$ met $i \in \{1,2\}$. De waarden voor N_i kunnen met de Erlang blokkeringsformule berekend worden. Deze formule is veelal geïmplementeerd in beslissingsondersteunende systemen. Voor de berekeningen in dit werkstuk is gebruik gemaakt van de Erlang calculator van de site <http://genlab.tudelft.nl/frits/Erlang.htm>

In paragraaf 4.2.1 zullen de resultaten van de berekeningen besproken worden. Allereerst zullen twee andere theorieën besproken worden die ook gebruikt kunnen worden om de benodigde bandbreedte binnen een netwerk te berekenen.

4.1.3 Kelly's verlies model

Bij de berekening van de benodigde capaciteit met behulp van de Erlang blokkeringsformule wordt per verbinding berekend wat de blokkeringskans is. De signalen voor televisiebeelden worden vanaf het core netwerk via de regionale centrale, de lokale centrale en de buurtaansluiting naar de huishoudens verstuurd. De theorie van Erlang neemt aan dat er tussen elke aansluiting en centrale een kans bestaat dat het signaal geblokkeerd wordt.

F.P. Kelly heeft een model opgesteld waarbij de benodigde capaciteit van de verbindingen wordt berekend aan de hand van de routes waarover de signalen verstuurd worden. Net al bij Erlang gebeurt dit aan de hand van blokkeringskansen. In plaats van de blokkeringskansen per verbinding te bepalen, gaat Kelly uit van de blokkeringskansen per route waarover het signaal verzonden wordt. Figuur 4.5 geeft het verschil aan in de beredenering omtrent de blokkeringskans van Erlang en van Kelly.



Figuur 4.5: Met Kelly's verlies model wordt de blokkeringskans (p) per route berekend (rode lijn). Met Erlangs blokkeringsformule wordt de blokkeringskans per verbinding berekend (groene lijn).

In het model van Kelly gaan we uit van een netwerk met J verbindingen, genummerd van $1, \dots, J$. Elke verbinding j bevat N_j lijnen. Een aanvraag voor een film



of televisieprogramma gebruikt A_{jr} lijnen van verbinding j . Laat R de verzameling van mogelijke routes zijn. In het bijzondere geval waarbij elk element van de matrix $A = (A_{jr}, j = 1, \dots, J, r \in R)$ gelijk is aan 0 of 1, kan r gedefinieerd worden als de deelverzameling van verbindingen $\{1, \dots, J\}$.

Laat $r = \{j : A_{jr} = 1\}$. Elke route maakt dus maar gebruik van één lijn per verbinding. Aanvragen voor televisiebeelden via route r arriveren volgens een Poisson proces met aankomstrate λ_r . Een aanvraag voor televisiebeelden via route r wordt geblokkeerd en raakt verloren als op een verbinding j , $j = 1, \dots, J$, minder dan A_{jr} lijnen vrij zijn. Indien voldoende lijnen beschikbaar zijn, zullen de televisiebeelden via de route verstuurd worden en worden A_{jr} lijnen bezet gehouden gedurende de tijd dat er televisie gekeken wordt.

De duur van de periode dat er in een huishouden televisie gekeken wordt is onafhankelijk van eerdere aanvragen voor televisie en de bijbehorende tijdsduur per sessie. De tijdsduur van de televisieprogramma's / films die via route r aangevraagd worden zijn identiek verdeeld met een gelijk gemiddelde.

Laat $n_r(t)$ het aantal bezette lijnen op tijdstip t op route r zijn. Definieer de vectoren $n(t) = (n_r(t), r \in \mathcal{R})$ en $N = (N_1, N_2, \dots, N_J)$. Het stochastische proces $(n(t), t \geq 0)$ heeft een unieke stationaire verdeling en er geldt dat $\pi(n) = \mathbb{P}\{n(t) = n\}$ gegeven wordt door

$$\pi(n) = G(N)^{-1} \prod_{r \in \mathcal{R}} \frac{\nu_r^{n_r}}{n_r!}, \quad n \in \mathcal{S}(N), \quad (2)$$

waarbij

$$\mathcal{S}(N) = \{n \in Z_+^{\mathcal{R}} : An \leq N\}, \quad (3)$$

en

$$G(N) = \left(\sum_{n \in \mathcal{S}(N)} \prod_{r \in \mathcal{R}} \frac{\nu_r^{n_r}}{n_r!} \right). \quad (4)$$

Laat L_r de stationaire kans zijn dat een aanvraag betreffende route r verloren gaat. Dan geldt dat $1 - L_r$ de stationaire kans is dat een aanvraag voor route r doorgelaten wordt. Dit is gelijk aan de kans dat verbinding j minstens A_{jr} lijnen beschikbaar heeft voor alle $j = 1, \dots, J$. Dit komt overeen met

$$1 - L_r = \sum_{n \in \mathcal{S}(N - Ae_r)} \pi(n) = G(N)^{-1} G(N - Ae_r). \quad (5)$$

met e_r de eenheidsvector die de verwerking van één aanvraag voor route r weergeeft.

Het aantal routes $|\mathcal{R}|$ groeit exponentieel met het aantal verbindingen J en voor de situatie $|\mathcal{R}| = J$ en $A = I$ wordt de toestandsruimte $|\mathcal{S}(N)| = \prod_{j=1}^J N_j$ met capaciteit N_1, N_2, \dots, N_J zeer groot. Dit maakt het lastig om G direct te berekenen voor grote, complexe netwerken.

Het is mogelijk om de waarde van $1 - L_r$ te benaderen met Erlang's blokkeringsformule. Het idee hierachter is als volgt.

Voor elke route r komt er een load $\nu = \lambda\beta$ aan aanvragen binnen. Stel dat deze ν_r voor elke verbinding $i \in r - \{j\}$ met een factor $1 - E_i$ afneemt voordat de aanvraag verbinding j bereikt. Stel dat de afname van de load onafhankelijk is voor elke individuele verbinding en voor alle routes die gebruik maken van verbinding j . Het verkeer



door verbinding j is dan Poisson verdeeld met rate ρ_j (8). De blokkeringskans voor verbinding j wordt kan dan gegeven worden door E_j (7) en de blokkeringskans voor route r komt dan overeen met (6).

$$1 - L_r = \prod_{j \in r} (1 - E_j), \quad r \in \mathcal{R} \quad (6)$$

met

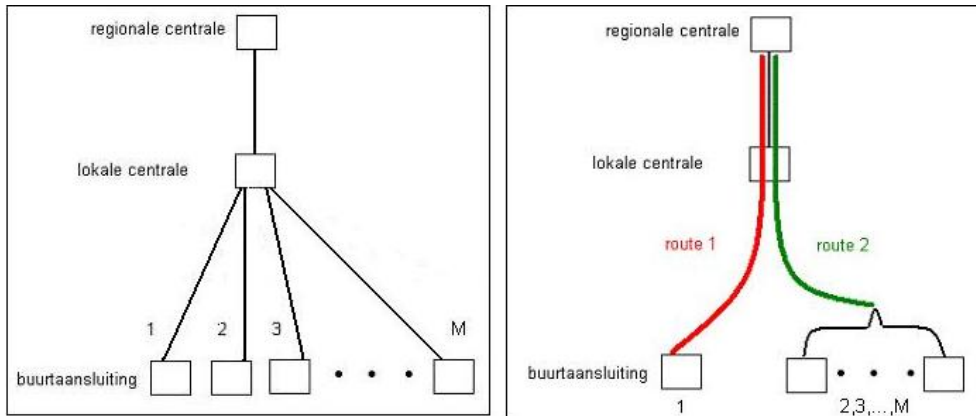
$$E_j = E(\rho_j, N_j), \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (7)$$

en

$$\rho_j = \sum_{r: j \in r} v_r \prod_{i \in r - \{j\}} (1 - E_i). \quad (8)$$

De functie E is Erlang's blokkeringsformule (1).

Het netwerkmodel dat voor onze analyses nader bekeken wordt heeft een honderdtal aftakkingen vanaf de regionale centrale en tientallen aftakkingen vanaf de lokale centrales en de buurtaansluitingen. Stel dat er aan één aftakking van de regionale centrale naar de lokale centrale M buurtaansluitingen verbonden zijn. Indien de capaciteit tussen de lokale centrale en de regionale centrale berekend zou worden aan de hand van vergelijking (2), zouden we te maken hebben met een toestandsruimte van M dimensies. De grootte van deze toestandsruimte maakt het lastig om de waarde van $G(N)$ te berekenen. Daarom zal de benadering van de blokkeringskans, vergelijking (6), gebruikt worden voor de berekening van de benodigde capaciteit.



Figuur 4.6

In het netwerkmodel zijn er M buurtaansluitingen verbonden met één lokale centrale, zie Figuur 4.6-links. Stel dat het netwerk symmetrisch opgesteld is en dat elke verbinding tussen de buurtaansluiting en de lokale centrale dezelfde vraag te verwerken heeft en dat de capaciteit van elke verbinding $1, \dots, M$ gelijk is.

Met de berekeningen willen we de benodigde capaciteit van één verbinding tussen de buurtaansluiting en de lokale centrale bepalen. Door de aanname dat het dataverkeer door de M verbindingen gelijk is, kunnen voor de berekening van de benodigde capaciteit van één verbinding de overige $M - 1$ verbindingen gebundeld worden. Het dataverkeer in het netwerk kan dan weergegeven worden als in Figuur 4.6-rechts.



Het complexe model is nu dus vereenvoudigd tot een model waarbij de aanvragen voor digitale televisie via twee routes kunnen lopen. Route 1 representeert de route die de aanvragen afkomstig van één buurtaansluiting moeten doorlopen en route 2 representeert het totaal aantal aanvragen die van de overige $M - 1$ buurtaansluitingen komen.

Het vereenvoudigde model omvat dus een netwerk met drie verbindingen, $J = 3$ en $j = 1, \dots, J$.

- Verbinding 1 is de verbinding tussen één buurtaansluiting en de lokale centrale.
- Verbinding 2 is de gebundelde verbinding tussen de $M - 1$ buurtaansluitingen en de lokale centrale, zie Figuur 4.6-rechts.
- Verbinding 3 is de verbinding tussen de lokale centrale en de regionale centrale.

Elke verbinding j bevat N_j lijnen. Een aanvraag voor een film of televisieprogramma gebruikt A_{jr} lijnen van verbinding j . \mathcal{R} is de verzameling van mogelijke routes. In totaal zijn er twee routes, $\mathcal{R} = \{1, 2\}$.

Een aanvraag voor een film die gebruik maakt van route 1 gebruikt één lijn van verbinding 1 en één lijn van verbinding 3. Een aanvraag voor een film die gebruik maakt van route 2 gebruikt één lijn van verbinding 2 en één lijn van verbinding 3. Matrix A ziet er dan als volgt uit:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$$

De aanvragen voor route r komen binnen volgens een Poisson proces met rate λ_r . Definieer β als de verwachte duur van een film en k als de overdrachtsnelheid in Mbps. De load per route r is gelijk aan $\nu_r := \lambda_r \beta$, met $r = 1, 2$.

Voor een zekere blokkeringskans $L_r \leq p$ willen we weten wat de benodigde capaciteit voor verbinding 1 en 3 is om aan de vraag van de consumenten te kunnen voldoen. Met behulp van vergelijking (6) kunnen we het benodigde aantal lijnen voor elk van de verbindingen berekenen. Er geldt $N_j = \lfloor \frac{C_j}{k} \rfloor$ voor $j = 1, 2, 3$. Indien het aantal benodigde lijnen bekend is weten we dus ook de benodigde capaciteit voor de verbindingen.

De aankomstrate van aanvragen voor films in verbinding 1, λ_1 krijgt dezelfde waarde als in paragraaf 4.1.2, $\lambda_1 = 22,5$ aanvragen per uur. Aankomstrate λ_2 vertegenwoordigt het aantal aanvragen per uur dat binnenkomt in de $(M - 1)$ buurtaansluitingen. We nemen aan dat er 40 buurtaansluitingen verbonden zijn met één lokale centrale, er geldt dus $\lambda_2 = 22,5 * 39 = 877,5$ aanvragen per uur. Verder geldt dat $\nu_1 = \lambda_1 * \beta = 45$ Erlang en $\nu_2 = \lambda_2 * \beta = 1755$ Erlang.

In paragraaf 4.2.2 zullen de resultaten van deze analyse besproken worden.



4.1.4 Kaufman-Roberts

In voorafgaande analyses werd er vanuit gegaan dat elk huishouden over standaard digitale televisie beschikt en dat elk huishouden eenzelfde kwaliteit van televisiebeelden ontvangt. Door de signalen van televisiebeelden te digitaliseren is de kwaliteit van de beelden beter geworden dan het geval was bij de ontvangst van analoge televisiebeelden. Door de ontwikkeling van het HDTV formaat is het echter mogelijk geworden om de digitale televisiebeelden met een hogere resolutie te versturen en dus van een nog hogere kwaliteit te laten zijn. Het doorgeven van het HDTV formaat vereist echter wel weer meer bandbreedte.

Indien het HDTV formaat interlaced verstuurd wordt is er een overdrachtsnelheid tussen de 18 en 35 Mbps nodig [10]. Wordt het HDTV formaat niet interlaced verzonden dan is er zelfs een overdrachtsnelheid tussen de 35 en 60 Mbps nodig. Dit is tien(!) keer zoveel als nodig is bij standaard digitale televisie.

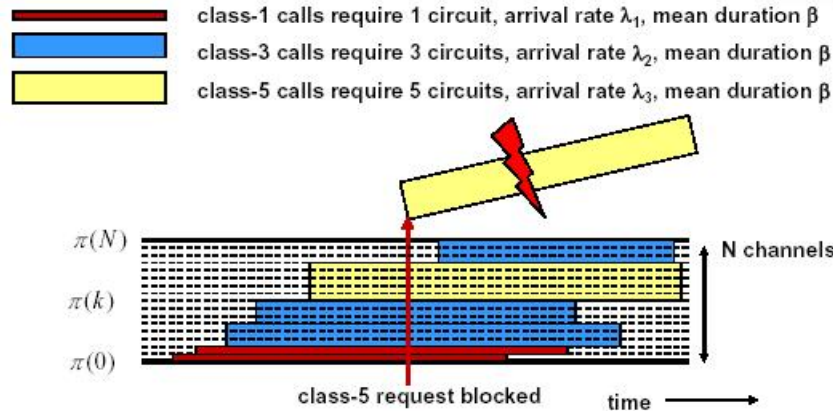
De komst van het HDTV formaat zal dus veel bandbreedte van het telecomnetwerk opeisen. Op het moment van schrijven (april 2006) staat de ontwikkeling van HDTV nog in de kinderschoenen. De verwachting is dan ook niet dat de consumenten massaal over zullen stappen op deze nieuwe dienst. Het is echter wel te verwachten dat een zeker percentage van de Nederlandse huishoudens gebruik zal gaan maken van HDTV. De beheerders van de telecomnetwerken zullen dus bij het inrichten van hun netwerken rekening moeten houden met de toekomstige vraag naar HDTV. Bij het inrichten van het netwerk moeten de aanbieders dus een antwoord zien te vinden op het volgende probleem:

Hoeveel bandbreedte moet er minstens in een netwerk beschikbaar zijn voor diensten als Video-on-Demand om met een zekere blokkeringskans aan de vraag van de consumenten zowel standaard digitale televisie als diensten als HDTV te kunnen voldoen?

We hebben nu dus te maken met een multi-class model; er zijn twee verschillende soorten aanvragen, de vraag naar standaard digitale televisie en de vraag naar HDTV.

J.S.Kaufman en J.W.Roberts hebben tegelijkertijd een recursief algoritme ontwikkeld waarmee het mogelijk is om de blokkeringskansen voor verschillende type consumenten in een multi-class model te berekenen [1], [3].

In het model van Kaufman-Roberts worden k verschillende consumenten onderscheiden. Elk type consument heeft een vast aantal lijnen van een verbinding nodig. De blokkeringskans van een aanvraag hangt af van het benodigde aantal lijnen van het type aanvraag, zie Figuur 4.7.



Figuur 4.7

In deze figuur zijn er drie verschillende type aanvragen. Class 1 vereist één lijn van de verbinding, class 3 vereist drie lijnen en class 5 vereist vijf lijnen. De figuur laat het aantal bezette lijnen uitgezet tegen de tijd zien. Op het tijdstip ten hoogte van de pijl zijn er nog drie lijnen beschikbaar. Als op dat tijdstip een aanvraag van type class 5 binnenkomt wordt deze dus geblokkeerd, er zijn immers te weinig lijnen beschikbaar. De overige type aanvragen kunnen op dat tijdstip nog verwerkt worden. De kans dat een aanvraag geblokkeerd wordt hangt dus af van het type.

Kaufman-Roberts hebben een recursief algoritme ontwikkeld waarmee de blokkeringskansen voor elk type berekend kunnen worden en waarmee het dus ook mogelijk is om de benodigde capaciteit van de verbindingen te bepalen.

Model

Definieer p als de blokkeringskans en C_1 , C_2 als de benodigde capaciteit tussen de buurtaansluiting en de lokale centrale en de benodigde capaciteit tussen de lokale centrale en regionale centrale respectievelijk.

Neem aan dat het stochastische proces ten hoogte van de buurtaansluiting niet van invloed is op het stochastische proces ten hoogte van de lokale centrale. Het probleem kan dan als volgt gedefinieerd worden:

Wat is de minimale benodigde capaciteit C_1 voor een gegeven blokkeringskans p en wat is de minimale benodigde capaciteit C_2 voor eenzelfde blokkeringskans p wanneer verschillende type consumenten gebruik maken van het netwerk?

Definieer voor $j \in \{1, 2\}$ en voor $t \geq 0$ de stochastische variabele $N_j(t)$ als

$$N_j(t) = \text{het aantal bezette lijnen op verbinding } j$$

met

$$j = \begin{cases} 1 & \text{verbinding tussen de buurtaansluiting en de lokale centrale} \\ 2 & \text{verbinding tussen de lokale centrale en de regionale centrale} \end{cases}$$

Onderscheid k verschillende consumenten. Elk type consument heeft een zeker aantal lijnen van een verbinding nodig.



Neem aan dat de tussenaankomsttijden van de aanvragen voor Video-on-Demand exponentieel verdeeld zijn met intensiteit λ_{ij} . Hierbij geldt dat λ_{ij} gelijk is aan het aantal aanvragen per uur van een type i klant voor verbinding j , met $i = 1, \dots, k$ en $j = 1, 2$.

Definieer β als de verwachte duur van een film / televisieprogramma in uren, r_i als de overdrachtsnelheid in Mbps voor een type i klant en b_i als het benodigde aantal lijnen voor een type i klant. Laat α_i een activity factor zijn dat het percentage klanten van type i aangeeft. Er geldt dan dat $\lambda_{ij} = \alpha_i \lambda_j$ met λ_j het totaal aantal aanvragen per uur voor verbinding j .

Het stochastische proces $\{N_j(t), t \geq 0, j = 1, 2\}$ heeft een unieke stationaire verdeling en er geldt dat $\pi(n) := \mathbb{P}\{n \text{ lijnen bezet}\}$ gegeven wordt door

$$\pi(n) = \sum_{i=1}^k \frac{\rho_{ij} b_i}{n} \pi(n - b_i) \quad 1 \leq n \leq N_j \quad (9)$$

$$\pi(0) = \pi_0$$

met $\rho_{ij} = \lambda_{ij} \beta$, $i = 1, \dots, k$ en $j = 1, 2$.

De blokkeringskans voor een type i aanvraag wordt dan gegeven door (PASTA)

$$\mathbb{P}_{ij} = \sum_{n=N_j-b_i+1}^{N_j} \pi(n) \quad (10)$$

In onze analyse onderscheiden we twee verschillende type klanten (aanvragen), namelijk de aanvragen van huishoudens met standaard digitale televisie en de aanvragen van huishoudens die over HDTV beschikken. Voor ons model geldt dus dat $k = 2$ en $i = 1, 2$.

De overdrachtsnelheid voor standaard digitale televisie is 5 Mbps en voor interlaced HDTV is dit tussen de 18 en 35 Mbps, stel 25 Mbps. De benodigde bandbreedte voor interlaced HDTV is dus 5 keer zo groot als de benodigde bandbreedte voor standaard digitale televisie. De waarden voor b_i worden daarom $b_1 = 1$ en $b_2 = 5$ lijnen.

Zet, net als in paragraaf 4.1.2, de waarde voor λ_1 gelijk aan 22,5 aanvragen per uur en de waarde voor λ_2 gelijk aan 900 aanvragen per uur. Er geldt dat $\lambda_{i1} = \alpha_i \lambda_1$ en $\lambda_{i2} = \alpha_i \lambda_2$ met λ_1, λ_2 als hierboven aangegeven en α_i nader te bepalen. De verwachte duur van een film is twee uur ($\beta = 2$).

Er geldt $N_j = \lfloor \frac{C_j}{\alpha_i r_i} \rfloor$ met $i, j \in \{1, 2\}$. Door het model te implementeren in C++ is het mogelijk om de waarde van N_j voor verschillende waarden van α_i en de blokkeringskans p te berekenen. In paragraaf 4.2.3 zullen de resultaten voor N_j voor verschillende activity factors en blokkeringskansen besproken worden.



4.2 Resultaten

4.2.1 Erlang

In paragraaf 4.1.2 is Erlang's blokkeringsformule uitgelegd. Met deze formule is het mogelijk om voor verschillende waarden van de blokkeringskans p de minimale benodigde capaciteit tussen de buurtaansluiting en de lokale centrale (C_1) en de minimale benodigde capaciteit tussen de lokale centrale en de regionale centrale (C_2) te berekenen. Om de berekeningen uit te voeren hebben we gebruik gemaakt van de Erlang calculator van de site <http://genlab.tudelft.nl/frits/Erlang.htm>.

Tabel 4.1 geeft voor verschillende blokkeringskansen p de waarden voor N_1 , N_2 , C_1 en C_2 . Hierbij is N_1 het aantal benodigde lijnen voor de verbinding tussen de buurtaansluiting en de lokale centrale. N_2 staat voor het aantal benodigde lijnen voor de verbinding tussen de lokale centrale en de regionale centrale. C_1 en C_2 geven de bijbehorende benodigde bandbreedte in Mbps voor deze verbindingen.

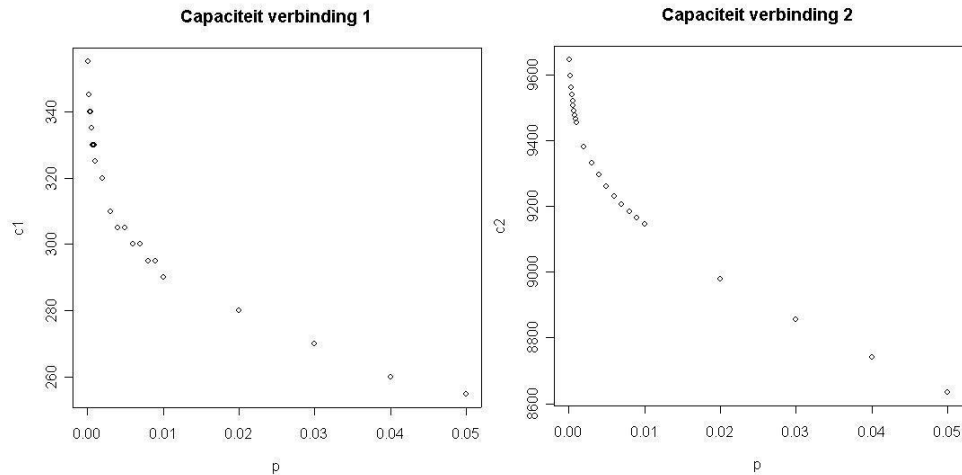
Service niveau	p	N_1	N_2	C_1	C_2
99,99%	0,0001	71	1929	355	9645
99,90%	0,001	65	1891	325	9455
99%	0,01	58	1829	290	9145
95%	0,05	51	1727	255	8635

Tabel 4.1: De benodigde capaciteit voor verschillende blokkeringskansen p . N_1 en N_2 zijn de benodigde lijnen tussen buurt en lokale centrale en lokale centrale en regionale centrale. C_1 , C_2 zijn de bijbehorende bandbreedtes in Mbps

Om het serviceniveau naar de consumenten zo hoog mogelijk te houden is het belangrijk dat de blokkeringskans zo klein mogelijk is. In de tabel kunnen we zien dat het veel extra bandbreedte vereist om kleine toenames in het serviceniveau te realiseren. Indien een serviceniveau van 95% gerealiseerd wordt, wat betekent dat 95% van de aanvragen direct verwerkt wordt, is er een bandbreedte van 255 Mbps nodig tussen de buurtaansluiting en de lokale centrale. Willen de telecomaandieners echter een serviceniveau van 99,99% realiseren dan zal er een bandbreedte van 355 Mbps tussen de buurtaansluiting en lokale centrale beschikbaar gesteld moeten worden. Om 5% serviceniveau te overbruggen moet er dus 100 Mbps aan extra bandbreedte geregeld worden. Tussen de lokale centrale en regionale centrale moet er zelfs 1 Gbps extra beschikbaar gesteld worden om een serviceniveau van 99,99% te behalen!

Figuur 4.8 laat eveneens de stijging in de benodigde bandbreedte voor lagere blokkeringskansen zien.

Over het algemeen is een serviceniveau tussen de 95% en 99% acceptabel. Dit betekent dat er tussen de buurtaansluiting en de lokale centrale een bandbreedte van ongeveer 260 Mbps gereserveerd moet worden om aan de vraag van de consumenten te voldoen en dat er tussen de lokale centrale en regionale centrale een bandbreedte van ongeveer 9 Gbps gereserveerd moet worden.



Figuur 4.8

4.2.2 Kelly

In de tweede analyse hebben we de benodigde bandbreedte tussen de buurtaansluiting en de lokale centrale en de benodigde bandbreedte tussen de lokale centrale en de regionale centrale met behulp van de theorie van Kelly nader bekeken. Het verschil in aanpak van Kelly en Erlang is dat Kelly uitgaat van een blokkeringskans over een complete route binnen het netwerk. Bij Erlang wordt de blokkeringskans per verbinding berekend.

Tabel 4.2 geeft de resultaten voor de benodigde capaciteiten voor verschillende blokkeringskansen. Hierbij is N_1 het aantal benodigde lijnen voor de verbinding tussen de buurtaansluiting en de lokale centrale. N_2 staat voor het aantal benodigde lijnen voor de verbinding tussen de lokale centrale en de regionale centrale. C_1 en C_2 geven de bijbehorende benodigde bandbreedte in Mbps voor deze verbindingen.

Serviceniveau	p	N1	N2	C1	C2
99,99%	0,0001	72	1939	360	9695
99,90%	0,001	67	1903	335	9515
99%	0,01	60	1843	300	9215
95%	0,05	53	1739	265	8695

Tabel 4.2: De benodigde capaciteit voor verschillende blokkeringskansen p . N_1 en N_2 zijn de benodigde lijnen tussen buurt en lokale centrale en lokale centrale en regionale centrale. C_1 , C_2 zijn de bijbehorende bandbreedtes in Mbps

Zoals in de tabel te zien is komen de resultaten overeen met de resultaten van de analyse van Erlang. Het verschil in benadering van het berekenen van de blokkeringskans heeft voor ons model niet veel invloed op de resultaten. Dit zal te maken hebben met de complexiteit van ons netwerk model. We hebben voor een hiërarchische ster-topologie gekozen waarbij we de benodigde capaciteit van twee verbindingen wilden berekenen. Het model bestaat dus uit twee niveau's. Het effect van de gereduceerde load, waar de theorie van Kelly op gebaseerd is, is niet genoeg aanwezig om een verschil aan te kunnen tonen met Erlang. Indien we uit zouden zijn gegaan van een complex netwerk met meer niveau's dan zou er naar verwachting een groter verschil



in de resultaten van Kelly en Erlang zitten.

Wat wederom in de resultaten opvalt is dat het extra reserveren van bandbreedte een kleine verbetering oplevert in het serviceniveau. Om een serviceniveau boven de 99% te realiseren moet er ruim 150 Mbps extra beschikbaar gesteld worden tussen de lokale centrale en de regionale centrale.

Uit de analyses van Erlang en Kelly kan geconcludeerd worden dat de aanbieders ervoor moeten zorgen dat er een bandbreedte beschikbaar is van orde grootte 10 Gbps ten hoogte van de regionale centrale en een bandbreedte van orde grootte 300 Mbps ten hoogte van de lokale centrale.

Let op! Dit geldt voor een netwerkmodel zoals wij deze in paragraaf 4.1.1 beschreven hebben, waarbij we uit zijn gegaan dat er 50 huishoudens aangesloten zijn op een buurtaansluiting en dat er 40 buurtaansluitingen aan een lokale centrale verbonden zijn. Indien deze aantallen in werkelijkheid hoger zijn zal de benodigde bandbreedte dus hoger zijn, maar nog steeds van eenzelfde orde grootte.

4.2.3 Kaufman-Roberts

In voorgaande analyses is alleen gekeken naar de benodigde bandbreedte in het netwerk indien er één type consument was. In deze analyses is aangenomen dat elk huishouden over standaard digitale televisie bezit. Door de digitalisering is het mogelijk geworden om de televisiebeelden met een nog hogere kwaliteit naar de consumenten te versturen door middel van het HDTV formaat. We kunnen nu dus twee type consumenten onderscheiden, de consumenten met standaard digitale televisie en met HDTV. In de laatste analyse hebben we gekeken wat het invloed op de benodigde bandbreedte is als een zeker percentage van de huishoudens over HDTV beschikt. Hiervoor hebben we de theorie van Kaufman-Roberts gebruikt.

We hebben een C++ programma geschreven om het recursief algoritme van Kaufman-Roberts uit te voeren. Het was de bedoeling om net als in voorgaande analyses de benodigde bandbreedte tussen de buurtaansluiting en de lokale centrale en de bandbreedte tussen de lokale centrale en de regionale centrale te berekenen. Het is helaas niet mogelijk gebleken om de benodigde bandbreedte tussen de lokale centrale en de regionale centrale te berekenen doordat de recursie voor ons model naar oneindig gaat. Daarom staan in Tabel 4.3 alleen de resultaten voor de verbinding tussen de buurtaansluiting en de lokale centrale.

Tabel 4.3 geeft de resultaten voor de benodigde capaciteit voor verschillende blokkeringskansen en activity factors α . Hierbij is N_1 het aantal benodigde lijnen voor de verbinding tussen de buurtaansluiting en de lokale centrale en C_1 de bijbehorende benodigde bandbreedte in Mbps. De waarde van α geeft het percentage van de Nederlandse huishoudens aan dat over HDTV beschikt. De waarden voor dit percentage zijn gezet op 10%, 20%, 30% en 40% aangezien HDTV dit jaar (2006) pas echt door zal breken en de verwachting is dat niet iedereen massaal zal overstappen.

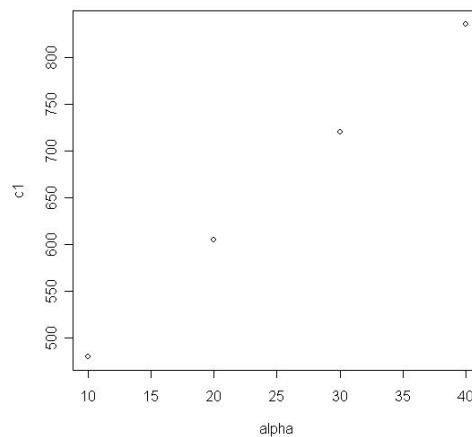


Serviceniveau	p	alpha	N_1	C_1
99,90%	0,001	10%	109	545
99%	0,01	10%	96	480
95%	0,05	10%	84	420
99,90%	0,001	20%	138	690
99%	0,01	20%	121	605
95%	0,05	20%	105	525
99,90%	0,001	30%	165	825
99%	0,01	30%	144	720
95%	0,05	30%	125	625
99,90%	0,001	40%	190	950
99%	0,01	40%	167	835
95%	0,05	40%	144	720

Tabel 4.3: De benodigde capaciteit voor verschillende blokkeringskansen p en activity factor α . N_1 is het benodigde aantal lijnen tussen buurt en lokale centrale en C_1 is de bijbehorende bandbreedte in Mbps

In de vorige analyses hebben we gezien dat voor een serviceniveau van 99% een capaciteit van 300 Mbps voldoende was om aan de vraag te voldoen. In de tabel zien we dat als 10% van de huishoudens HDTV zou gebruiken de benodigde capaciteit te kort schiet. Er moet minstens 480 Mbps aan bandbreedte gerealiseerd worden om 99% van de vraag naar digitale televisie te kunnen verwerken.

In de tabel is te zien dat de benodigde capaciteit tussen de buurtaansluiting en de lokale centrale sterk toeneemt naarmate er meer huishoudens over HDTV beschikken. De grafiek in Figuur 4.9 laat zien dat deze toename van de benodigde bandbreedte lineair is.



Figuur 4.9

De aanbieders zullen de bandbreedte in hun netwerken moeten verhogen om de consumenten ook televisie in HDTV formaat te kunnen bieden. Zodra de helft van de Nederlandse huishoudens besluit om HDTV te willen ontvangen moet de capaciteit tussen de buurtaansluiting en de lokale centrale zeker van ordegrootte 1 Gbps zijn. Een capaciteit van ordegrootte 10 Gbps tussen de lokale centrale en regionale centrale zal dan naar verwachting ook niet meer toereikend zijn.



5 Conclusie

Aanbod digitale televisie

In hoofdstuk 3 hebben we gezien dat televisie via vijf verschillende media ontvangen kan worden; via de ether, satelliet, kabel, vaste en mobiele telefoonnetwerken. Voor elk medium hebben we de belangrijkste aanbieders en hun aanbod besproken. Er valt te concluderen dat de maandelijkse kosten voor televisie via de satelliet het laagst zijn. De opstartkosten zijn echter veel hoger. De kosten voor televisie via de overige media ontlopen elkaar niet veel. Hierbij zit het voordeel voornamelijk in de combinatiepakketten.

Capaciteitsplanning

In hoofdstuk 4 hebben we laten zien dat de ontwikkeling van diensten als Video-on-Demand meer bandbreedte van een telecomnetwerk vereist dan video broadcasting. Hiervoor hebben we enkele analyses uitgevoerd met behulp van de theorie van Erlang, Kelly en Kaufman-Roberts.

De analyses aan de hand van de theorie van Erlang en Kelly hebben laten zien dat er een minimale bandbreedte van orde grootte 300 Mbps tussen de buurtaansluiting en de lokale centrale nodig is en een minimale bandbreedte van orde grootte 9 Gbps tussen de lokale centrale en regionale centrale om 99% van de vraag van de consumenten goed te kunnen verwerken.

De theorie van Kaufman-Roberts is gebruikt om onderscheid te kunnen maken tussen twee verschillende type gebruikers; gebruikers met standaard digitale televisie en gebruikers met HDTV. Deze analyse heeft laten zien dat de capaciteit van de verbinding tussen de buurtaansluiting en lokale centrale alleen al met 180 Mbps naar orde grootte 480 Mbps uitgebreid moet worden als 10% van de huishoudens over HDTV beschikt en de aanbieder een serviceniveau van 99% wil halen.

Als 40% van de huishoudens over HDTV beschikt moet de capaciteit tussen de buurtaansluiting en de lokale centrale uitgebreid worden tot ongeveer orde grootte 850 Mbps om een serviceniveau van 99% te kunnen behalen.

Om de analyses uit te kunnen voeren zijn meerdere aannames gedaan met name over hoe het netwerk opgezet is. De waarde voor de benodigde bandbreedte zal dus enigszins verschillen indien het netwerk een andere structuur heeft. Desalniettemin kunnen de resultaten van hoofdstuk 4 als een goede richtlijn gebruikt worden.



6 Literatuurlijst

- [1] J.S. Kaufman, "Blocking in a shared resource environment", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 29, pp. 1474-1481, 1981.
- [2] F.P. Kelly, "Loss Networks", *The Annals of Applied Probability*, vol. 1, no. 3, pp. 319-378, 1991
- [3] J.W. Roberts, "A service system with heterogeneous user requirements", *Performance of Data Communication Systems and their Applications*, pp. 423-431, 1981
- [4] W.A.M. Snijders, H.P.A. van den Boom, P. van Wijk en C.M. de Jong, "Access in the Netherlands 2002".
- [5] C. Zacker, "Het Complete Naslagwerk Netwerken", Academic Service, 2002.

Websites

- [6] <http://www.alcatel.nl/local/over/geschiedenis.html>
- [7] <http://www.artivisuals.nl/articles/InteractieveTV12-01.pdf>
- [8] <http://www.atcommunications.nl>
- [9] <http://www.auditel.nl/>
- [10] <http://www.beamer.nl>
- [11] <http://www.broadbandtvnews.com>
- [12] <http://www.canaldigitaal.nl>
- [13] <http://www.digitelevisie.nl>
- [14] <http://www.dvd.nl>
- [15] <http://www.emerce.nl>
- [16] <http://www.examedia.nl/computerx/modules/news>
- [17] <http://www.futuretechnology.nl>
- [18] <http://www.gsmhelpdesk.nl>
- [19] <http://www.hdtvinfo.nl>
- [20] <http://www.interactivetvweb.org/tutorial/dtv-intro/dtv-intro.shtml>
- [21] <http://www.internetten.nl>
- [22] <http://www.kabeltelevisie.com>
- [23] <http://www.kijkonderzoek.nl>
- [24] <http://www.kpn.com>
- [25] <http://www.kpn.tv>
- [26] <http://www.macgroep.nl/macread/nwenapp.html>
- [27] <http://www.mediaplaza.nl>
- [28] <http://www.msat.nl>
- [29] <http://www.nob.nl>
- [30] <http://www.nozema.nl>
- [31] <http://www.satplaza.com/versatelwatch/artikel1.html>
- [32] <http://www.scarlet.nl>
- [33] <http://www.tele2.nl>
- [34] <http://www.telecompaper.com>
- [35] <http://www.telecomwereld.nl>
- [36] <http://www.televisiedigitaal.nl>
- [37] <http://www.vecai.nl>
- [38] <http://www.vodafone.nl>
- [39] <http://www.wanadoo.nl>
- [40] <http://www.wikipedia.nl>