

MASTER

Systeemaspekten van een lokaal radionetwerk voor datacommunicatie

Kortas, J.B.

Award date:
1985

[Link to publication](#)

Disclaimer

This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

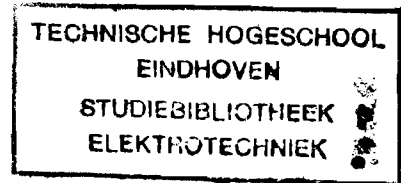
- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

4924

AFDELING DER ELEKTROTECHNIEK
TECHNISCHE HOGESCHOOL EINDHOVEN
VAKGROEP TELECOMMUNICATIE



SYSTEEMASPEKTEN VAN EEN
LOKAAL RADIONETWERK
VOOR DATACOMMUNICATIE

door: J.B. Kortas

Verslag van het afstudeerwerk
uitgevoerd van maart 1984 tot en met mei 1985
Afstudeerhoogleraar: Prof.dr. J.C. Arnbak
Begeleiders : ir. A.P. Verlijndonk
: ir. J.T.A. Neessen

De afdeling der elektrotechniek van de Technische Hogeschool Eindhoven
aanvaardt geen verantwoordelijkheid voor de inhoud van stage- en afstu-
deerverslagen.

INHOUDSOPGAVE

<u>VOORWOORD</u>	(IV)
<u>SAMENVATTING</u>	(V)
<u>LIJST VAN AFKORTINGEN EN SYMBOLEN</u>	(VI)
1. <u>INLEIDING</u>	1-1
2. <u>VERKEERSSTRUCTUUR</u>	2-1
2.1. Omschrijving van de gebruiker	2-1
2.1.1. Technische karakterisering	2-1
2.1.2. Het gedrag van de gebruikers	2-4
2.2. Modelvorming	2-6
3. <u>EISEN EN UITGANGSPUNTEN</u>	3-1
3.1. Algemene indeling	3-1
3.2. Capaciteit	3-1
3.3. De totale transmissiesnelheid	3-2
3.4. Kwaliteit	3-3
3.5. Functionele eisen	3-4
3.6. Overige eisen en uitgangspunten	3-4
4. <u>CONCEPT VAN HET PUNT-MULTIPUNT RADIOSYSTEEM</u>	4-1
4.1. Algemene opzet	4-1
4.2. Het basisstation	4-4
4.3. Het buitenstation	4-5
5. <u>HET DIGITALE RADIOTRANSMISSIESYSTEEM</u>	5-1
5.1. Inleiding	5-1
5.1.1. Draaggolffrequenties	5-1
5.1.2. De systeemvariabelen in het linkbudget	5-2
5.2. Statistische analyse propagatieverschijnselen	5-5
5.2.1. Effecten bij neerslag	5-5
5.2.2. Effecten bij meerweg(multipath)-propagatie	5-8
5.2.3. Signaal-scintillatie	5-10
5.2.4. Verzwakking ten gevolge van atmosferische gassen	5-10
5.2.5. Evaluatie van de propagatieverschijnselen	5-10

5.3.	Linkbudgetberekeningen	5-11
5.3.1.	Systeemversterking	5-11
5.3.2.	Keuze frequentieband	5-13
5.4.	Antennes en frequentiehergebruik	5-14
5.4.1.	Een enkel PMPS-radiosysteem	5-14
5.4.2.	Toepassing in een cellulaire structuur	5-21
5.5.	(De-)modulatiemethode	5-26
5.5.1.	Bandbreedtebeperkingen en -efficiëntie	5-26
5.5.2.	Vermogensbeperking en -efficiëntie	5-27
5.5.3.	Detectie en synchronisatie	5-28
5.5.4.	Complexiteit en oscillatorstabiliteit	5-30
5.5.5.	Interferentiegevoeligheid	5-31
5.5.6.	Evaluatie	5-32
5.6.	Evaluatie	5-33
6.	<u>MULTIPLE ACCESS VIA HET DA-TDMA SYSTEEM</u>	6-1
6.1.	Redenen toepassing DA-TDMA systeem	6-1
6.2.	Taken en functies	6-6
6.3.	Protocol	6-8
6.3.1.	Overwegingen	6-8
6.3.2.	Toewijzing van transmissiecapaciteit	6-11
6.3.3.	Het plan voor de datatijdsleuven en bursts	6-19
6.3.4.	Signalering	6-20
6.4.	Framestructuur	6-25
6.4.1.	Overwegingen bij het ontwerp van de framestructuur	6-25
6.4.2.	Keuze van framestructuur	6-30
7.	<u>SYSTEEMONTWERP</u>	7-1
7.1.	Het basisstation	7-1
7.2.	Het buitenstation	7-2
8.	<u>TOETSING VAN HET MODEL</u>	8-1
8.1.	Beoordelingscriteria en verkeersberekeningen	8-1
8.1.1.	De bovengrens van de throughput	8-1
8.1.2.	Berichtvertraging als functie van de throughput	8-5

8.1.3. Verbeteringsfactor	8-6
8.2. Evaluatie	8-8
9. <u>CONCLUSIES</u>	9-1
<u>LITERATUURLIJST</u>	
<u>APPENDIX A</u> : Voorspelling van verliezen door regenval en meerwegpropagatie	
<u>APPENDIX B</u> : Acquisitiemetingen aan een DQPSK-modem	
<u>APPENDIX C</u> : Flowdiagram van het toewijzingsprotocol	
<u>APPENDIX D</u> : Frame-efficiëntie	

VOORWOORD

Ter afsluiting van mijn studie Electrotechniek aan de Technische Hogeschool Eindhoven, beschrijft dit verslag de afstudeeropdracht. Deze opdracht heb ik vervuld bij de vakgroep der Telecommunicatie, onder begeleiding van Prof. dr. J.C. Arnbak, ir. A.P. Verlijdsdonk en ir. J.T.A. Neessen van het Dr. Neher Laboratorium (PTT).

Het onderwerp van dit onderzoek is naar voren gebracht door ir. J.T.A. Neessen, mede door de belangstelling van de zijde van de PTT. In het beginstadium van dit onderzoek heb ik veel gebruik gemaakt van zijn begeleiding, waardoor het mogelijk werd om praktische richtlijnen op het gebied van de radiotransmissie te hanteren.

Tijdens de bestudering van dit onderwerp zijn veel verschillende technische aspecten naar voren gekomen, zodat ik mij een goed beeld heb kunnen vormen van de problemen die ontstaan bij het opzetten van een radiosysteem. Tevens is mijn interesse voor de telecommunicatie verder toegenomen.

Voor de prettige samenwerking wil ik niet alleen de bovengenoemde begeleiders bedanken, maar ook alle andere medewerkers van de vakgroep der Telecommunicatie.

Tenslotte dank ik Carola voor haar onmisbare hulp bij het uittypen van dit verslag.

Eindhoven, mei 1985

Johan Kortas

SAMENVATTING

In dit verslag wordt een concept van een lokaal radiodistributienetwerk voor datacommunicatie met hoge bitsnelheden tot 2 Mbit/s gepresenteerd. Een Punt-MultiPunt (PMP) systeem met radioverbindingen tussen een knooppunt (basisstation) en zakelijke gebruikers wordt hierbij als oplossing gekozen.

Deze keuze is gebaseerd op de feiten dat een minimaal aantal fysische radioverbindingen nodig is en er gemakkelijk "multiple access" kan worden toegepast. Een gering aantal zakelijke gebruikers met een sterk variërend verkeersaanbod en willekeurig verspreid over een lokaal gebied (diameter tot ongeveer 16 km), kan worden aangesloten op dit PMP-radiosysteem.

Een aantal eisen en uitgangspunten wordt opgesteld waarop de conceptuele structuur van het PMP-systeem wordt gebaseerd. Belangrijk zijn de gekozen transmissiesnelheid van 8,448 Mbit/s, de opdeling van de totale transmissiesnelheidcapaciteit in standaardkanalen met ieder een datacapaciteit van 64 kbit/s en een maximaal aantal gebruikers van 50. Met aangenomen praktische waarden voor zendvermogen, antennewinsten en andere systeemvariabelen wordt een linkbudget opgesteld. Hieruit blijkt dat in de frequentieband van 17,7-19,7 GHz een bitfoutenkans $\leq 10^{-7}$ voor meer dan 99,95% van de tijd tot een radiopadafstand van 8 km theoretisch haalbaar is.

Het lokale gebied kan ruimtelijk uitgebreid worden door toepassing van een cellulaire structuur van aan elkaar grenzende PMP-systemen.

Afhankelijk van het toepassingsgebied wordt een aantal mogelijkheden voorgesteld en nader uitgewerkt.

Door toepassing van directionele antennes bij de gebruikers kunnen de belangrijkste interferenties, zoals onder andere co-channel-interferentie, beperkt blijven.

Verschillende modulatie technieken worden vergeleken, waaruit blijkt dat "binary phase shift keying" met differentiële detectie geprefereerd wordt bij toepassing in de 17,7-19,7 GHz band.

Een aantal multiple access systemen wordt, ieder met zijn eigen specifieke voor- en nadelen in een bepaalde toepassing, onderling vergeleken.

Omdat het "time division multiple access"-systeem in combinatie met "demand assignment" een sterke variatie in het verkeersaanbod toelaat, wordt deze combinatie nader uitgewerkt. Bovendien heeft dit systeem relatief weinig bandbreedte nodig en kan relatief goedkoop gerealiseerd worden. Hiervoor is een netwerkprotocol opgesteld dat de informatie- en datastromen in goede banen stuurt en dat de toewijzing van de gevraagde verbindingen regelt. Een systeemontwerp van het basisbandgedeelte van basis- en buitenstation wordt gepresenteerd door middel van enkele blokschema's.

Bij de toetsing van het systeemmodel blijkt dat het systeem een hoge verkeerscapaciteit met een zeer geringe blokkeringskans kan leveren. De vertragingstijd van het datatransport blijkt voornamelijk af te hangen van het verkeersaanbod.

De voornaamste conclusie die uit het verslag naar voren komt is dat het mogelijk moet zijn om met bestaande technieken, op korte termijn en tegen redelijke kosten het genoemde PMP-radiosysteem te ontwikkelen en te realiseren.

LIJST VAN AFKORTINGEN

ACB	Algemene Controle Burst
ARQ	Automatic Repeat Request
ASI	Asynchrone Synchrone Interface
BASK	Binary Amplitude Shift Keying
BCH	Bose - Chaudhuri - Hocquenghem
BER	Bit Error Rate
BFSK	Binary Frequency Shift Keying
BPF	Band Pass Filter
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BS	Burst Start Codewoord
CCIR	Comité Consultatif International de Radio
CCITT	Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique
CCU	Central Control Unit
CDMA	Code Division Multiple Access
CKG	Collectief van Individuele Kleine Gebruikers
CRC	Cyclic Redundancy Check
DAMA	Demand Assignment Multiple Access
DA-TDMA	Demand Assigned - Time Division Multiple Access
DBP	Data Basisband Poortmodule
DBPSK	Differential Binary Phase Shift Keying
DFSK	Differential Frequency Shift Keying
DNI	Digitaal Netwerk Interface
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying
ECS	European Communication Satellite
FEC	Forward Error Correction
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FT	Failure Time
GG	Grote Gebruiker
GTER	Grote Terminal
GTI	Gebruiker Terminal Interface
HDLCL	High Level Data Link Control

(VII)

IC	Identificatie Codewoord
IF	Intermediate Frequency
IGG	Individuele Grote Gebruiker
INT	Interlokale Aansluiting via DNI in het basisstation
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISO	International Organisation for Standardization
KG	Kleine Gebruiker
KTER	Kleine Terminal
LAN	Local Area Network
LPF	Low Pass Filter
MIC	Microwave Integrated Circuit
MTBF	Mean Time Between Failures
NCFSK	Non Coherent Frequency Shift Keying
OSI	Open Systems Interconnection
PAD	Packet Assembler Disassembler
PMP	Punt Multipunt radiosysteem
PMPC	Punt Multipunt Cel radiosysteem
PMPS	Punt Multipunt Sub radiosysteem
PRBS	Pseudo Random Bit Sequence
PSN	Packet Satellite Network
RB	Referentie Burst
RF	Radio Frequent
RX	Ontvang Gedeelte
SAI	Synchrone Asynchrone Interface
SDMA	Space Division Multiple Access
SMS	Satellite Multi Service
SSMA	Spread Spectrum Multiple Access
TBE	TDMA Base Equipment
TCB	Toewijzings Controle Burst
TCP	Terminal Control Processor
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
TER	Terminal
TTE	TDMA Terminal Equipment
TX	Zend Gedeelte
UW	Uniek Woord
VCB	Verzoek Controle Burst
XPD	Kruispolarisatie Discriminatie-factor

LIJST VAN SYMBOLEN

d	afstand in meters
d_h	minimale herhalingsafstand
f_b	bitfrequentie
h	hoogte boven de aarde van de antenne in meters
k	constante van Boltzmann
n_1	datasnelheid lokaal verkeer
n_2	datasnelheid interlokaal verkeer
n_i	datasnelheid afkomstig van interlokale bronnen
A_m	meerweg-propagatiedemping
A_r	regendemping
B	bandbreedte in Hz
C_t	totale transmissiecapaciteit
D	aantal 16-bits datawoorden in één datatijdsleuf
D_T	aantal datatijdsleuven
$D_{Tg}(d)$	aantal gevraagde datatijdsleuven in downstreamkanaal
$D_{Tg}(u)$	aantal gevraagde datatijdsleuven in upstreamkanaal
$D_{Tm}(d)$	maximaal aantal beschikbare datatijdsleuven in downstream- kanaal
$D_{Tm}(u)$	maximaal aantal beschikbare datatijdsleuven in upstream- kanaal
E_b	energie per bit
F	frame-efficiëntie
G	beschikbare systeemversterking
G_r	antennewinst ontvanger
G_t	antennewinst zender
L	lengte datatijdsleuf
$L_{a,r}$	antenneverliezen ontvanger
$L_{a,t}$	antenneverliezen zender
L_b	basis transmissieverlies
L_{bf}	vrije ruimte verlies
L_i	verliezen in de kabel ,filters en voeders
L_m	transmissiemedium verlies

(IX)

M_i	aantal actieve interlokale aansluitingen
N	totaal aantal aangesloten terminals
N_0	spectrale ruisdichtheid
N_1	aantal actieve terminals met een lokale bestemming
N_2	aantal actieve terminals met een interlokale bestemming
N_3	aantal niet-actieve terminals
P_b	bitfoutenkans
P_B	blokkeringskans
P_E	foutenkans van overgezonden blokken data
P_r	ontvangen vermogen
P_s	kans op succesvolle overdracht van data
P_t	uitgezonden vermogen
P_z	bezettingskans
Q	beschikbaarheidsfactor
R	genormaliseerd verkeersaanbod
\bar{R}	verkeersmatrix
R_b	transmissiesnelheid in bit/s
R_0	puntregenvalintensiteit
T	interaankomsttijd tussen de berichten
T_D	berichtvertraging
T_e	transmissie-efficiëntie
T_f	frameperiode
T_N	ruistemperatuur
T_s	wachttijd tot nieuw bursttijdplan
S	kanaalthroughput
X	totaal aantal aangesloten terminals en interlokale aansluitingen
α	roll-off factor
β	bursty factor
γ	de specifieke regendemping
δ	gemiddelde berichtvertraging
λ	golflengte in meters
θ	hoek ten opzichte van hoofdas aan de antenne in graden
τ_M	tijdsvertraging door meerwegpropagatie

1. INLEIDING

Recente ontwikkelingen in computertechnologie, automatisering en communicatietechnologie hebben ertoe geleid dat de verwerking en transmissie van gegevens steeds belangrijker worden in het industriële en commerciële leven. Er blijkt een toenemende behoefte te bestaan aan uitbreiding van het pakket telecommunicatiediensten dat op dit moment wordt aangeboden (lit. 1).

Diensten zoals teletex en facsimile kunnen volstaan met bestaande transmissiemiddelen, bijvoorbeeld kabelnetten. Andere diensten zoals "videoconferencing", "high-speed graphics", CAD/CAM of "computer-to-computer file transfer" ondervinden grote problemen bij het in Nederland geïnstalleerde lokale telefonienet. De transmissiefaciliteiten in dit net zijn immers primair ontwikkeld voor analoge spraakoverdracht. De eigenschappen van dit net leggen hierdoor aanzienlijke beperkingen op aan de transmissie van "high-speed" gedigitaliseerde informatie, met transmissiesnelheden van 64 kbit/s tot enkele Mbit/s. Snelheden groter dan 100 kbit/s zijn niet mogelijk over afstanden groter dan ongeveer 4 km.

Marktverkenning leert ons dat veel gebruikers in de zakelijke sfeer dringend een grotere transmissiecapaciteit behoeven dan de bestaande telefoon- of datanetwerken kunnen bieden. Met name communicatie tussen bedrijfs(interne) netwerken, waaronder Local Area Networks (LAN), wordt steeds belangrijker.

Kortom, in Nederland evenals in vele andere landen bestaan (nog) onvoldoende voorzieningen voor deze bijzondere en professionele gebruikers. Het gebruik van aangeboden diensten bij dit type gebruiker wordt in Tabel 1.1 geïllustreerd.

De kosten van infrastructuur, met name op telecommunicatiegebied, zijn in het algemeen zeer hoog. Dit vereist uiterst efficiënte gebruikmaking van collectieve verbindingen en centrales. Hierdoor is een kostenpatroon ontstaan waarin meer dan de helft van de totale investeringen benodigd is voor de individuele voorzieningen (abonneelijn, eindtoestellen). Een voorbeeld hiervan wordt gegeven in Tabel 1.2. Bovendien worden de individuele verbindingen in een telefoonnetwerk zeer weinig gebruikt (zo'n 1% van de tijd). Het lokale net (inclusief telefooncentrales) wordt dus bijzonder inefficiënt benut, terwijl dit bijna driekwart van de investering vergt. Het ligt voor de hand dat nieuwe "high-speed" diensten gemakkelijker geïntegreerd kunnen worden in het gemultiplexte trunk-netwerk dan in het lokale net.

Indien we deze diensten willen toepassen in het lokale net, zullen we een complementair communicatiesysteem nodig hebben. Hierbij dienen tegen minimale kosten zoveel mogelijk diensten via een lokale verbinding aan elke abonnee geleverd te kunnen worden. Dit betekent in de praktijk dat op flexibele wijze een door de gebruiker gewenste transmissiesnelheid in het systeem moet kunnen worden opgenomen.

Market segments		General ^{a)} private subscriber	General ^{a)} business subscriber	Special ^{b)} business customer	Special ^{c)} institutional customer
Example of service offerings		Major utilization			
Public services	Telephone	X	X	X	X
	Telex		X	X	X
	Telegraph	X	X		X
	Data services			X	X
	Facsimile		X	X	X
Special services	Wide area services		X	X	X
	Private line		X	X	X
	Private switched services			X	
	Digital data			X	X
	TV transit				X
	Radio transit				X
	Special customer applications			X	X

^{a)} Largely passive marketing effort.

^{b)} Active marketing effort.

^{c)} Related institutions (broadcasting corporations, government, etc.) negotiative marketing.

Tabel 1.1 : Verschillende gebruikersgroepen en hun gebruik van aangeboden telecommunicatiediensten
"Special business" en "institutional customers" worden als bijzondere gebruikers beschouwd. Overgenomen uit (lit. 2).

<i>Netgedeelte</i>	<i>Apparatuur</i>	<i>Percentage van de totale investering</i>
Individuele voorzieningen	Eindtoestellen (ca. 25 miljoen) incl. huiscentrales bij bedrijven	7
	Abonneelijn naar plaatselijke centrale (< 7 km)	46
Collectieve voorzieningen	Plaatselijke centrales	20
	Kabelverbindingen tussen centrales	7
	Straalverbindingen en internationale satellietverbindingen	4
	Knooppunt- en districtscentrales	9
	Proefapparatuur, onderhoudsvoorzieningen, enz.	7
Totale investering (60 miljard DM)		100

Tabel 1.2 : Een specificatie van de investeringen in het telefoonnetwerk van een hoog ontwikkeld land, in dit geval de Bondsrepubliek Duitsland (lit. 3).

Invoering van breedbandige glasvezel in het kader van het ISDN (lit. 1), kan in genoemde behoefte voorzien. Echter, gezien het langere termijnplan hiervoor, is het zinvol om te onderzoeken op welke wijze en met welke transmissiemiddelen men op kortere termijn een andere oplossing kan verkrijgen. Deze, waarschijnlijk tijdelijke, oplossing moet gezien worden als een aanvullende voorziening op het bestaande lokale net in de telecommunicatie-infrastructuur. Interfaces met het interlokale telefonienet of andere netwerken moeten daarom worden opgenomen, alsmede verbindingen met eventuele grondstations van satellietcommunicatiediensten. Bovendien dient het netwerk transparant te zijn voor de aangeboden informatie en een "bron-bestemming" dienst te leveren.

Laatstgenoemde diensten zijn geschikt voor datacommunicatie tussen verschillende geografisch ver uit elkaar liggende bedrijfsnetwerken, waaronder LAN's. Het probleem is echter dat gezien de hoge kosten en de frequentieschaarste, niet elk bedrijfsnetwerk of zakelijke gebruiker kan worden voorzien van een grondstation. Het is zeker efficiënter om het verkeer van een aantal van deze zakelijke gebruikers, gegroepeerd in een lokaal gebied, eerst via een geïntegreerd lokaal netwerk te concentreren. Dit is bijzonder gunstig als kan worden aangenomen dat de gewenste interconnectiviteit van de zakelijke gebruikers binnen het lokale gebied groter is dan naar buiten toe.

Een lokaal Punt-MultiPunt systeem (PMP) met radioverbindingen van en naar bijzondere gebruikers (Fig. 1.1) wordt in dit verslag voor toepassing in het lokale net overwogen.

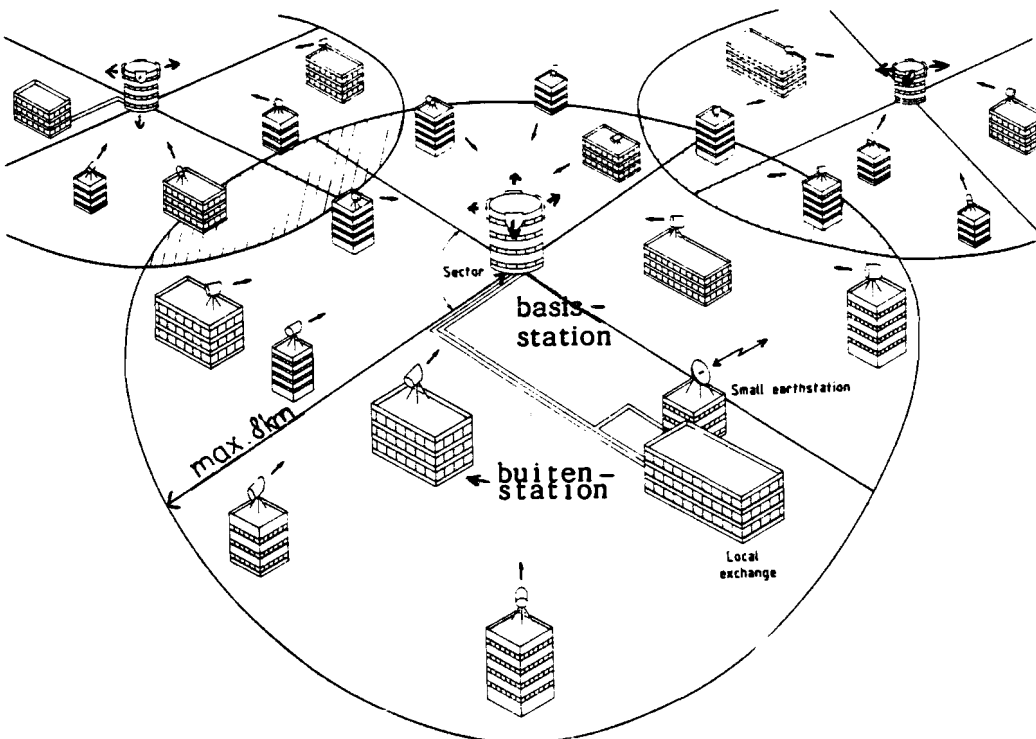


Fig. 1.1 : Configuratie van een lokaal PMP-radiosysteem

Een centraal basisstation fungeert hierbij als knooppunt voor een groot aantal, bij de gebruikers geïnstalleerde, terminals. De verschillende, geografisch binnen een lokaal gebied verspreide gebruikers, hebben toegang tot het gemeenschappelijke radiokanaal overeenkomstig een opgesteld protocol dat gebaseerd is op Time Division Multiple Access met Demand Assignment (DA-TDMA).

In Engeland en Japan zijn ontwikkelingen gaande op dit gebied. Hierbij zijn reeds enige experimenten uitgevoerd (lit. 5, 6, 8). Kostenbeheersing wordt daar belangrijker geacht dan optimalisatie van de technische karakteristieken. Vergroting van de beschikbare transmissiecapaciteit blijkt daarbij de eerste prioriteit te zijn (lit. 8).

Een groot aantal technische problemen is aanwezig bij het ontwerp. Er ontstaat een "trade-off" tussen verschillende factoren, zoals gewenste bandbreedte, geografische bedekking, spectrum-efficiëntie, interferentie, regulering, beschikbare frequentiebanden en dergelijke. In deze systeemstudie omtrent een geschikt PMP-radiosysteem worden verschillende oplossingen bekeken binnen het kader van kostenaspecten, efficiëntie, flexibiliteit, betrouwbaarheid en eenvoud van toepassing. Het accent van dit onderzoek wordt gelegd op een aantal deelonderwerpen, daar het veelomvattende karakter van dit onderzoek een volledige studie niet mogelijk maakt.

Om een karakterisering te geven van de bijzondere gebruikers is hoofdstuk 2 aan de verkeersstructuur gewijd. Daarna volgt in hoofdstuk 3 een aantal eisen en uitgangspunten, die vooraf moeten worden opgesteld om tot een systeemontwerp te kunnen komen. De conceptuele structuur van het overwogen communicatiesysteem dat geschikt geacht wordt, wordt in hoofdstuk 4 behandeld. Onderwerpen die bij radioverbindingen langs een direkt-zicht-pad belangrijk zijn zoals frequentiebenutting, linkbudget, interferentie, transmissie- en modulatietechnieken en dergelijke, worden in hoofdstuk 5 onderzocht. Een apart hoofdstuk (6) is gewijd aan de toegangsverlening. Hieruit blijkt dat een tijddelingsstructuur op basis van toewijzing op verzoek (demand assignment) te prefereren valt. Het algoritme voor de toewijzing van capaciteit en signalering, de protocolaire structuur en de frame-structuur zijn de belangrijkste onderwerpen hieruit. In hoofdstuk 7 wordt een systeemontwerp van terminal en basisstation in blokschema's gepresenteerd. In hoofdstuk 8 wordt het systeemmodel getoetst aan de hand van enkele konkrete verkeersberekeningen en kwaliteitscriteria, waarna de conclusies volgen.

2. VERKEERSSTRUCTUUR

In dit hoofdstuk wordt een omschrijving van de toekomstige gebruikers gegeven, waarna een modelvorming van het totale verkeersaanbod op zijn mogelijkheden wordt bekeken.

2.1. Omschrijving van de gebruiker

Kwantificeren van de vraag en behoefte naar nieuwe diensten bij zakelijke gebruikers is erg moeilijk. Wij zullen derhalve veronderstellingen en een omschrijving van de "typische gebruiker" moeten maken aan de hand van een globale marktverkenning.

Het karakter van een zakelijke gebruiker kan worden gedefinieerd op technisch gebied en aan de hand van zijn gedrag. Technisch gezien kunnen de gebruikers worden gekarakteriseerd door hun gewenste transmissiesnelheden, hun throughput of datasnelheid en door het gewenste type verbinding (simplex of duplex).

Het gedrag is moeilijker aan te geven.

Hiervoor is de interconnectiviteit tussen en de activiteit van de gebruikers van belang.

Anders gezegd: met wie willen de zakelijke gebruikers communiceren binnen en buiten het lokale gebied, hoe vaak en hoe lang? Bovendien dienen we een veronderstelling te maken omtrent het aantal aansluitingen in een lokaal gebied zodat het systeem economisch haalbaar kan zijn.

2.1.1. Technische karakterisering

De verschillende reeds aangesloten telecommunicatie-diensten die gebruikt worden door de zakelijke gebruikers werden in Tabel 1.1 gegeven.

We hebben echter ook sterk rekening te houden met de in hoofdstuk 1 genoemde nieuwe diensten zoals videoconferencing en CAD/CAM communicatie. Het voorspellen van deze verkeersvraag kan gebaseerd worden op extrapolaties van recente ontwikkelingen in de telecommunicatiesector. Economische, politieke en technologische factoren spelen hierbij een grote rol (lit. 1). Het valt echter buiten dit onderzoek om hierop in te gaan.

Gebaseerd op publicaties (lit. 1, 10, 11, 12, 13) kunnen we de potentiële gebruikers technisch karakteriseren door de verwachte vraag naar bepaalde transmissiesnelheden te postuleren in Fig. 2.1.

We kunnen hierbij een onderverdeling maken in vier categorieën of verkeersklassen (Tabel 2.1). Voor elke verkeersklasse wordt een richtwaarde van het verwachte relatieve aandeel in de totale vraag gegeven.

De categorieën A en B rekenen we tot de groep van zogenaamde "Kleine Gebruikers" (KG).

De categorieën C en D rekenen we daarentegen tot de groep van zogenaamde "Grote Gebruikers" (GG).

Met een KG bedoelen we in dit verband een zakelijke gebruiker die een transmissiesnelheid van maximaal 64 kbit/s nodig heeft. De transmissie-

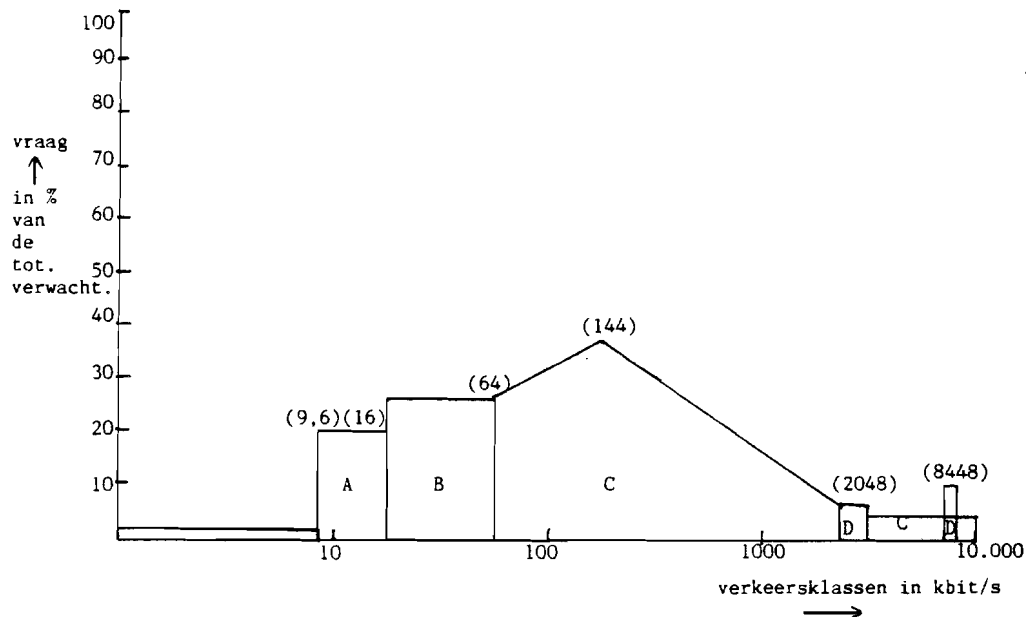


Fig. 2.1 : Voorgesteld scenario van de vraag naar de in aanmerking komende diensten, gemiddeld over de gebruikers en de drukste tijd in één lokaal gebied. De verkeersklassen worden in de categorieën A tot en met D onderverdeeld en gekarakteriseerd door hun bitsnelheden (zie Tabel 2.1).

Percentage	Categorie
15%	A: Conventionele "low/medium" speed datatoepassingen zoals voor dataprocesing voor handel en industrie, teletypes, keyboards ten behoeve van kantoorautomatisering e.d. (KG's met snelheden ≤ 16 kbit/s).
20%	B: Facsimile, elektronische post (teletex, videotex) e.d. Bitsnelheden vanaf 16 kbit/s tot 64 kbit/s (vaak 32 kbit/s).
60%	C: "High speed" datacommunicatie, bijvoorbeeld "high speed graphics" computer-to-computer file transfer, interconnectie van LAN's, CAD/CAM (GG's met snelheden vanaf 64 kbit/s tot enkele Mbit/s).
5%	D: "Face-to-face videoconferencing" met 2048 kbit/s (6,3 of 8 Mbit/s), "Still Picture TV" met audioconferencing valt hier duidelijk niet onder (realiseerbaar met 56-128 kbit/s).

Tabel 2.1 : Onderverdeling van het dienstenpakket

behoefte is over het algemeen kortstondig (bursty of stootsgewijs) waardoor de effectieve benutting of throughput van het transmissiekanaal gering is. Wanneer deze KG's deel uitmaken van een bedrijfs(intern) netwerk kan een collectief van individuele gebruikers aangesloten zijn op een dataconcentrator, die communicatie naar buiten mogelijk maakt. Ook kunnen dit gebruikers zijn, aangesloten op een mini-ster met Packet Assembler Disassembler (PAD) deulitmakend van een toekomstig kabeltelevisiesysteem bestemd voor tweeweg-datacommunicatie (lit. 14). Het bedrijfsnetwerk of een aantal samengevoegde PAD's hebben dan naar buiten toe meer het gezicht van een GG.

Met GG's bedoelen we zakelijke gebruikers die een zeer uiteenlopend bereik van transmissiesnelheden gedurende lange tijd behoeven. De totaal te transporteren hoeveelheid data is erg groot. Bitsnelheden van 64 kbit/s tot enkele Mbit/s zijn benodigd voor de gewenste diensten. De datastroom is minder stootsgewijs dan bij KG's, zodat de throughput groter kan zijn. Videoconferencing of CAD/CAM communicatie is hier een goed voorbeeld van.

In feite kunnen we dus twee soorten GG's technisch onderscheiden:

1. Individuele GG's (IGG) gezien als één directe "high-speed" gebruiker (videoconferencing of CAD/CAM).

2. Collectief van KG's (CKG). Hierbij zijn twee mogelijkheden te onderscheiden:

- een groep van individuele en onafhankelijke KG's deulitmakend van een LAN;
- een besloten en onafhankelijk bedrijfsnetwerk bestaande uit een aantal KG's.

We richten ons in het systeemontwerp voornamelijk op de GG's bestaande uit zakelijke gebruikers van de categoriën C en D.

Zowel kleine als grote gebruikers uit de categoriën A en C in Tabel 2.1 zullen veel computer-dataverkeer leveren.

Dataverkeer afkomstig van computer-communicatiesystemen wordt gekarakteriseerd door een grote variantie in de interaankomsttijden van berichten en in de lengte van deze berichten. Het verkeer is zogenaamd erg stootsgewijs. De mate waarin dit aanwezig is, kan worden aangegeven door de "bursty-factor" β (lit. 24).

Er geldt:

$$\beta = \frac{\delta}{T}$$

(2.1)

met:

δ : gemiddelde berichtduur

T: gemiddelde interaankomsttijd tussen berichten

Bursty verkeer geeft dus een kleine waarde van β . In hoofdstuk 6 wordt aangegeven dat de kanaal-throughput begrensd wordt door deze factor. Dit verkeer stelt daarom duidelijk andere transmissie-eisen dan het conventionele spraakverkeer uit de telefoniewereld. Er is in het dataverkeer, in tegenstelling tot telefonieverkeer, niet persé een duplex-verbinding nodig. Wel dient vanzelfsprekend een bevestiging

als antwoord gestuurd te worden bij het verzenden van "high-speed graphics" of files uit een data-bestand. De hoeveelheid benodigde data hiervoor is duidelijk minder dan in de andere richting. Videoconferencing behoeft natuurlijk wel een duplex-verbinding.

2.1.2. Het gedrag van de gebruikers

Hoe vaak en hoe lang een gebruiker toegang wil hebben tot het datacommunicatienetwerk is nauwelijks voorspelbaar. Dit is geheel afhankelijk van het type gebruiker en de gewenste verbinding. Wel kunnen we globaal stellen dat de potentiële GG's vaak gedurende lange tijd met maar één andere gebruiker communiceren. Met name bij videoconferencing, "computer-to-computer file transfer" en dergelijke. Snelheden tot enkele Mbit/s zijn hiermee gemoeid.

Daarnaast speelt de interconnectiviteit een belangrijke rol. Met andere woorden: met wie willen de gebruikers communiceren en hoeveel transmissiecapaciteit vergt dit?

In principe wordt uitgegaan van het feit dat iedere aangesloten gebruiker de mogelijkheid moet hebben met elke andere aangesloten gebruiker te kunnen communiceren.

Het connectiviteitsprobleem kunnen we in een eenvoudig theoretisch model weergeven (fig. 2.2).

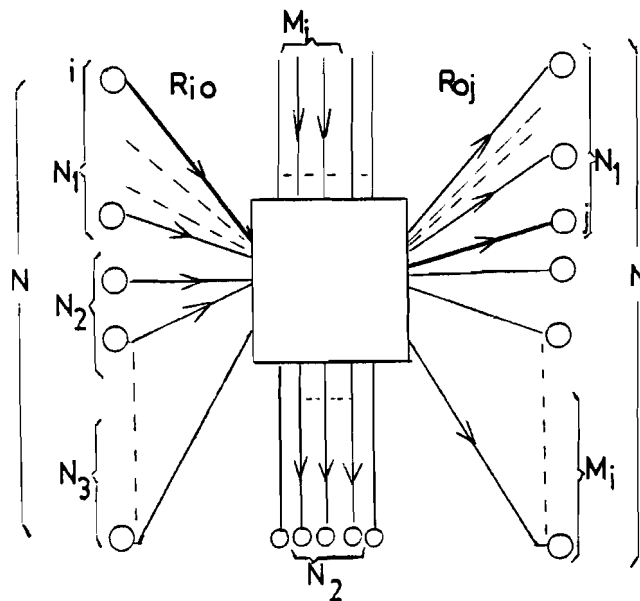


Fig. 2.2 : Theoretisch model van het connectiviteitsprobleem

N is hierbij het totaal aantal aangesloten GG's in het lokale datacommunicatiegebied.

N_1 is het aantal GG's dat data wil verzenden naar bestemmingen in hetzelfde lokale gebied.

N_2 is het aantal GG's dat data wil verzenden naar bestemmingen buiten het

lokale gebied, de zogenaamde interlokale bestemmingen.

N_3 is het aantal niet-zendende GG's

M_i is het aantal GG's in het lokale gebied, dat data ontvangt van interlokale bronnen.

Er geldt dus:

$$N_1 + N_2 + N_3 = N$$

We maken een voorzichtige prognose van de waarden van deze parameters aan de hand van een tweetal mogelijke toepassingsgebieden.

Het totale aantal potentiële gebruikers in één lokaal gebied (met een diameter van ongeveer 16 km) is voor een stedelijk gebied zoals het Botlekgebied groter dan voor een stad als Eindhoven. Het aantal bedrijfsnetwerken welke behoefte heeft aan onderlinge dus lokale communicatie, communicatie met een centraal computersysteem of interlokale communicatie (zusterbedrijven, filialen), zal in de regio Eindhoven tussen de 5 en 10 kunnen liggen. Inclusief het aantal CKG's aangesloten op een LAN wordt dit aantal tot 30 verhoogd. Indien we hierbij nog een aantal IGG's bij optellen, komen we waarschijnlijk op een totaal van 20 tot 50 GG's voor verkeersintensieve gebieden. Van die N GG's zal vermoedelijk slechts een klein aantal tegelijkertijd, zonder het van elkaar te weten, echt actief willen communiceren ($N_1 + N_2 + M_i$). Zoniet, dan kunnen door afspraken de activiteiten in een bepaalde tijdsvolgorde worden verwerkt (spitsuren). Dit betekent dat de totale beschikbare transmissiecapaciteit die gezamenlijk wordt gebruikt veel kleiner kan zijn dan die benodigd is bij een parallelle activiteit van alle gebruikers met maximale transmissiesnelheid (2 Mbit/s).

Een manier om de gewenste transmissiecapaciteit R_{ij} van een gebruiker i naar een gebruiker j op een bepaald moment aan te geven is de connectiviteitsmatrix \underline{R} , ook wel verkeersmatrix genoemd. In Fig. 2.2 wordt aangegeven dat een verbinding van gebruiker i naar gebruiker j via een knooppunt loopt, waardoor er twee verbindingen in serie ontstaan, gerepresenteerd door de elementen R_{i0} en R_{0j} ($R_{i0} = R_{0j} = R_{ij}$).

$$\underline{R} \triangleq \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1N} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2N} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ R_{N1} & & & R_{NN} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

De matrixelementen R_{ij} zijn hierbij functies van de tijd en worden bijvoorbeeld uitgedrukt in kbit/s.

2.2. Modelvorming

Een eventuele modelvorming van het totale verkeersaanbod wordt in deze paragraaf op zijn mogelijkheden getoetst. We kunnen een algemene indeling maken van verschillende typen lokale netwerken zoals die in de praktijk kunnen voorkomen, elk met zijn eigen specifieke toepassing:

1. Lokale netwerken met veel gebruikers waarbij ieder maar weinig verkeersbehoefte heeft. Voorbeelden hiervan zijn de publieke netwerken uit Tabel 1.1, het lokale telefonienetwerk, het ISDN of zelfs computersystemen. Hierbij is een grote connectiviteit gewenst bij het telefonienetwerk.

2. Lokale netwerken met een gering aantal gebruikers met ieder een variabele en hoge transmissiesnelheid. Voorbeelden hiervan zijn de speciale diensten uit Tabel 1.1 en de nieuwe genoemde diensten (videoconferencing, CAD/CAM).

3. Netwerken met een groot aantal gebruikers met ieder een grote transmissiebehoefte. Dit type netwerk komt praktisch nog niet voor.

4. Netwerken met een gering aantal gebruikers en met ieder een geringe transmissiebehoefte. Een voorbeeld hiervan is de telegrafie/telefonie in rurale gebieden in ontwikkelingslanden.

Het is duidelijk dat we een datacommunicatiesysteem willen ontwikkelen dat zich manifesteert volgens punt 2. We richten ons in dit onderzoek namelijk geheel op zakelijke gebruikers in een lokaal gebied. Het inwinnen van informatie omtrent zakelijke gebruikers wordt bemoeilijkt door het feit dat er slechts summiere gegevens door de belanghebbende instanties worden geformuleerd c.q. vrijgegeven.

Zoals bleek uit paragraaf 2.1., zijn de meeste gegevens afkomstig van computer-communicatiesystemen. Deze systemen vertegenwoordigen slechts een klein gedeelte van het totale verwachte verkeersaanbod.

Empirische resultaten zoals metingen aan bestaande zogenaamde "mixed-media"-netwerken, waarin een aantal verschillende diensten wordt aangeboden, kunnen van grote waarde zijn. Deze resultaten zijn echter bijzonder schaars.

Uit (lit. 10, 11) blijkt dat gebruikelijke aannamen voor "queueing" netwerken in de stationaire toestand zijn:

- Poisson-verdeelde aankomst- en vertrekprocessen;
- exponentiële "servicetime" verdeling.

Een Poisson-verdeling kan toegepast worden indien het aantal potentiële klanten groot is, terwijl voor elk van de klanten een constante kleine kans bestaat dat hij zich in een bepaald tijdsinterval bij de rij zal aansluiten. Het aankomstproces wordt daarbij als onafhankelijk van het totale aantal aangesloten gebruikers beschouwd. In deze toepassing wordt het aankomstproces wel als afhankelijk beschouwd van het aantal

gebruikers en de toestand van het systeem. Bovendien worden voor realistische "queueing" modellen voor datanetwerken betrouwbare schattingen van de verkeersstructuur en verkeersaanbod vereist. Dit vanwege de volgende punten:

1. De kwaliteit van het netwerk is sterk afhankelijk van het random gedrag van de gebruikers.
2. Karakteristieken van dataverkeer verschillen veel van die van telefoonverkeer vanwege de grote spreiding in aankomstsnelheden, berichtlengte, transmissiesnelheden, toepassingen etc..
3. Op dit moment is er een nieuwe klasse van kleine netwerkknooppunten in opmars met veel "processing"-functies, maar met een beperkt aantal terminals. Voor het "gepoolde" berichtenaankomstproces van zo'n klein terminalkluster geldt de algemene Poisson-aanname niet.
4. We hebben vaak te maken met extreem stootsgewijs verkeer in computer-communicatiesystemen.

In de praktijk is het hierdoor bijna onmogelijk een stochastisch model te vormen van het verkeersaanbod in mixed-media datanetwerken.

Uit een onderzoek naar de informatie- en communicatiebehoefte en het gedrag van een aantal gegroepeerde KG's (lit. 12) blijkt dat alleen kleine computersystemen een kortstondige en hoge verkeersintensiteit van maximaal 400 kbit/s geven.

Kluster aansluitingen van ongeveer 15 terminals geven maximaal 50 kbit/s, zodat dit type bedrijfsnetwerk alleen in aanmerking komt wanneer concentratie van datastromen plaatsvindt. Ook hierbij is van modelvorming moeilijk te spreken, omdat door de grote verscheidenheid van bitsnelheden een typische gebruiker niet te definiëren valt.

Concluderend mogen we aannemen dat het verkeersaanbod van de zakelijke gebruikers zich niet leent voor stochastische beschrijvingen, zoals Poisson-verdeelde aankomstprocessen. De reden hiervan is dat we te maken zullen krijgen met een gering aantal, met hoge en variërende bitsnelheden opererende gebruikers, die slechts incidenteel en dan wel langdurig toegang tot het transmissiekanaal wensen.

We kunnen het verkeersaanbod in een lokaal gebied echter wel op empirische wijze weergeven. We stellen daartoe het genormaliseerde gemiddelde verkeersaanbod \bar{R} :

$$\bar{R} = \frac{(\bar{N}_1 \cdot \bar{n}_1) + (\bar{N}_2 \cdot \bar{n}_2) + (\bar{M}_i \cdot \bar{n}_i)}{C_t} \quad (2.3)$$

met:

\bar{N}_1 is het gemiddelde aantal GG's dat gedurende het drukste uur data wil verzenden naar lokale bestemmingen.

\bar{n}_1 is de gemiddelde datasnelheid die (bij N_1) per GG gevraagd wordt, uitgedrukt in kbit/s.

\bar{N}_2 is het gemiddelde aantal GG's dat gedurende het drukste uur data wil verzenden naar interlokale bestemmingen.

\bar{n}_2 is de gemiddelde datasnelheid die (bij N_2) per GG gevraagd wordt, uitgedrukt in kbit/s.

\bar{M}_1 is het gemiddelde aantal GG's dat gedurende het drukste uur data ontvangt afkomstig van interlokale bronnen.

\bar{n}_1 is de gemiddelde datasnelheid, die (bij M_1) per GG gevraagd wordt, uitgedrukt in kbit/s.

C_t is de totale beschikbare verkeerscapaciteit voor het gehele lokale gebied uitgedrukt in kbit/s.

De waarden van de genoemde parameters dienen te worden geschat of aangenomen om een concreet verkeersaanbod te kunnen vaststellen. Voor een vlotte afhandeling van het verkeersaanbod zal moeten gelden dat $R \ll 1$, zoals in de hoofdstukken 6 en 8 wordt toegelicht. In de beginfase van het te introduceren systeem wordt een verkeersaanbod van $0,2 \ll R \ll 0,6$ verwacht.

3. EISEN EN UITGANGSPUNTEN

In dit hoofdstuk worden de eisen en uitgangspunten behandeld die voor een algemeen systeemconcept noodzakelijk zijn.

3.1. Algemene indeling

Aan een digitaal communicatienetwerk voor "high-speed" dataverkeer worden hoge eisen gesteld in de praktijk. Het is belangrijk om deze eisen te verzamelen, te rangordenen en te analyseren alvorens een aanvang te maken met het ontwerp. We onderscheiden functionele en technische eisen. De functionele eisen komen direct voort uit de specifieke wensen van de gebruikers. Huishoudelijke taken zoals beheer van de kostentoerekening, onderhoud en controle vallen hier ook onder. Voorbeelden zijn:

- Een gebruiker wil in een zo kort mogelijke tijd een aangevraagde verbinding met een bepaalde transmissiecapaciteit gerealiseerd zien.
- Hij moet kunnen communiceren met alle gebruikers van een lokaal radiosysteem, echter ook daarbuiten via interfaces.
- Flexibiliteit in hoeveelheid transmissiecapaciteit die kan worden aangevraagd en beschikbaar gesteld.

De technische eisen zijn meer concreet. Deze hangen echter ook meer af van de werkelijke systeemstructuur die als oplossing gezien wordt. Er zijn echter ook eisen of aanbevelingen gesteld door CCITT/CCIR of PTT. Hieraan dient strikt de hand gehouden te worden. Daarnaast zijn er concrete aannamen of uitgangspunten die vooraf dienen te worden opgesteld. Beide soorten eisen en uitgangspunten komen in de volgende paragrafen naar voren.

3.2. Capaciteit

3.2.1. Aansluitcapaciteit

Het aantal aangesloten gebruikers in een lokaal gebied kan beduidend groter zijn dan het aantal beschikbare communicatiekanalen. De activiteit van elke gebruiker afzonderlijk stellen we duidelijk kleiner dan 100%. Het totale aanbod wordt voornamelijk beperkt door de acceptabele wachttijd voor toegang tot een kanaal.

Er zijn bovendien geen beperkingen gesteld door de PTT. In hoofdstuk 2 werd een richtwaarde voor N gegeven. Maximaal 50 GG's bleek een gerechtvaardigde aanname te zijn. Om echter een economisch verantwoord ontwerp te maken zal een benedengrens noodzakelijk zijn. De aansluitcapaciteit nemen we derhalve tussen 20 en 50 GG's.

3.2.2. Verkeersafwikkelingscapaciteit

De verkeersafwikkelingscapaciteit is de effectieve data transmissiecapaciteit die beschikbaar is voor alle gebruikers van één lokaal gebied tesamen. Deze is afhankelijk van de gewenste aansluitcapaciteit, de gemiddelde datasnelheid van de gebruiker en de totale transmissiesnelheid; kortom de verwachte verkeersdruk. Een eerste systeemontwerp wordt gebaseerd op een beschikbare transmissiecapaciteit van 6 tot 7 Mbit/s. In een later stadium kan de transmissiecapaciteit vergroot worden tot 13 à 14 Mbit/s.

Achtergrond van deze waarden is de aanname dat alle terminals op een willekeurig moment ieder minimaal één kanaal met standaardcapaciteit van 64 kbit/s kunnen hebben.

3.2.3. Standaard kanaalcapaciteit

De standaard kanaalcapaciteit is afhankelijk van de gemiddelde datasnelheid van de gebruiker. Gekozen wordt voor de standaard snelheid van 64 kbit/s. Een gebruiker kan dus een geheel aantal malen 64 kbit/s aan kanaalcapaciteit toegewezen krijgen. Bovendien wordt de hardware van het basisbandgedeelte hierdoor vereenvoudigd.

Een 64 kbit/s netwerk model (lit. 13 p. 242) is reeds uitgewerkt. Toepassing hiervan vindt in de toekomst plaats bij SMS-diensten en nu bij de satelliet-systemen ECS en Telecom I.

3.3. De Totale Transmissiesnelheid ("Aggregate bit-rate")

Aan de totale transmissiesnelheid wordt door de CCITT eisen gesteld. Uit CCITT Rec. G. 703 blijkt dat interfaces met de CCITT Europese 2e orde multiplex standaard bitrate van 8,448 Mbit/s geprefereerd worden.

Practisch en economisch gezien is de CCITT Europese 3e orde multiplex standaardbitsnelheid van 34,368 Mbit/s niet haalbaar, zodat de keuze valt op 8,448 Mbit/s.

Een aantal hardware beperkingen dient ook in acht te worden genomen (lit. 8):

- er is een economische noodzaak om binnen de mogelijkheden te blijven van "low-power" Transistor Transistor Logic (TTL) en Large Scale Integration (LSI) technologiën;
- de maximale throughput van 16-bit micro-processoren wordt bereikt bij 16-18 Mbit/s;
- propagatievertraging wordt storend bij hogere bitsnelheden dan 10 Mbit/s.

Andere belangrijke factoren zijn:

- de gewenste verkeersafwikkelingscapaciteit;
- het beschikbare frequentiespectrum. Radiokanalen worden door de ITU toegewezen en hebben onderling een vaste frequentieafstand;
- de spectrumefficiëntie van de toe te passen (goedkope) modulatietechniek. Gedacht wordt aan BFSK, BPSK of QPSK.

3.4. Kwaliteit

Aan de kwaliteit van het PMP-radiosysteem dienen strenge eisen te worden gesteld. De kwaliteitscriteria worden in de volgende subparagrafen behandeld.

3.4.1. Graad van dienstverlening

De wachttijd voor de data-overdracht (de verwerkingstijd en de transmissietijd) moet minimaal zijn zodat de gebruiker zo min mogelijk hinder ondervindt. Daarnaast is de blokkeringskans P_B van belang. Dit is de kans dat een verbinding niet kan worden opgezet vanwege een te geringe transmissiecapaciteit. Hierdoor kan instabiliteit optreden in een toewijzingsalgorithme. In telefoniesystemen is voor besturingsorganen het aantal oproepen per seconde van belang. In dit PMP-radiosysteem wordt geen congestie in de besturingsorganen toegestaan. In telefoniesystemen geldt voor lokaal intern verkeer een richtgetal voor de blokkeringskans van $P_B < 2 \cdot 10^{-2}$ bij normale belasting en een $P_B < 5 \cdot 10^{-2}$ bij overbelasting.

3.4.2. De operationele beschikbaarheid van het totale systeem

De beschikbaarheid is de kans dat het totale systeem volgens specificaties en voor een bepaald tijdspercentage goed werkt. Maatstaf hiervoor is de mean time between failures (MTBF) en de failure time (FT). De beschikbaarheid wordt gegeven door $Q = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{FT})$. Een voorspelling van de totale uitvaltijd van het systeem is gebaseerd op drie onafhankelijke componenten, namelijk apparatuuruitval, propagatieverschijnselen en interferentie. De eerste component is moeilijk te voorspellen. We nemen aan dat de uitvaltijd voornamelijk wordt bepaald door propagatieeffecten en interferenties. De kans op een succesvolle verbinding hangt dus af van deze uitvaltijd, de blokkeringskans en de kans dat de bestemming reeds bezet is.

De belangrijkste parameter die de kwaliteit van een digitale communicatieverbinding weergeeft is de bitfoutenkans (BER).

De door de CCIR opgestelde aanbevelingen ten aanzien van digitale straalverbindingssystemen zijn de volgende (Rec. 556, 594):

- higher BER performance : $< 0,05\%$ van elke maand is $\text{BER} > 10^{-3}$;
- lower BER performance : $< 1\%$ van elke maand is $\text{BER} > 10^{-7}$.

Eisen voor computerverkeer (Lit. 13 p. 141): BER van 10^{-6} tot 10^{-7} gedurende 99,9% van de tijd. Een $\text{BER} \leq 10^{-7}$ met een beschikbaarheid van 99,9 tot 99,99% gemiddeld over één jaar en tot een maximale padafstand van 8 km, wordt voor dit systeem als richtlijn gehanteerd. De uitvaltijd van een verbinding ten gevolge van propagatieverschijnselen dient hierbij $\leq 0,01\%$ van de tijd gemiddeld over één jaar te zijn (lit. 8).

3.4.3. Interferentie

Interferentie-storing in het PMP-radiosysteem wordt inbegrepen bij de beschikbaarheidsbepaling. Storing van bestaande diensten dient te

worden voorkomen. De keuze van de frequentiebanden dient hierop gebaseerd te worden.

3.5. Functionele eisen

Naast de primaire taken, zoals het tot stand brengen, bewaken en verbreken van verbindingen, heeft het PMP-radiosysteem een aantal huishoudelijke taken te verrichten:

- beheer van de administratie zoals kostentoerekening, gebruikerskenmerken en dergelijke. Overeenkomst met Stored Program Control-electronische centrales is duidelijk aanwezig. Door toepassing van micro-processoren kan deze taak verwezenlijkt worden.
- beheer van de status van het systeem, zoals capaciteitstoewijzing, status van de verbindingen en metingen van de kwaliteit van de informatie-overdracht.
- onderhoud en controle (Preventie, diagnose en herstellen van fouten).
- meetfunctie (Verkeersdrukregistratie).

3.6. Overige eisen en uitgangspunten

- Frequentieband

Het radiospectrum is onderverdeeld in negen frequentiebanden (Radio Regulations 1981, vastgesteld door de ITU). Band nr. 10 (3 tot 30 GHz) is van belang voor dit type radiosystemen in Europa (regio 1). De voor "Fixed Service" toegewezen frequentiebanden zijn de volgende:

- 10 GHz-band (10-10,5 GHz)
- 15 GHz-band (12,75-13,25; 14-15,35 GHz)
- 19 GHz-band (17,7-19,7GHz)
- 22 GHz-band (21-23 GHz)
- 26 GHz-band (25,25-27,5 GHz)
- 30 GHz-band (27,5-29,5; 31-31,3 GHz)

- Frequentietolerantie

De maximaal toegestane afwijking van de toegewezen draaggolffrequentie in de centrale frequentie van de gebruikte frequentieband is de frequentietolerantie (lit. CCIR, 1982, Report 785-1). Voor de in het PMP-radiosysteem geschikte frequentiebanden (>15 GHz) kunnen de aanbevolen frequentietoleranties, uitgedrukt in Hz, de in het systeem benodigde informatiebandbreedte overschrijden (Tabel 3.1). Wanneer bijvoorbeeld gebruik gemaakt wordt van de 26 GHz band zal de tolerantie corresponderen met 7,8 MHz. Deze waarde is echter erg groot in vergelijking met de bandbreedte benodigd voor een low-capacity

radiosysteem (5 tot 20 Mbit/s). Dit kan grote problemen geven, vooral wanneer de frequentie-afstanden tussen radiokanalen beperkt zijn. De frequentiestabiliteit van de draaggolfoscillator zal derhalve groter dan de aanbevolen frequentietolerantie dienen te zijn.

Frequency tolerances (in parts per million) for fixed stations

Frequency range (MHz)	Frequency tolerances adopted by the WARC-79
100- 470	20 (1)
470- 2 450	100
2 450-10 500	200
10 500-40 000	300

(1) For fixed stations operating at 50 W or less.

Tabel 3.1 : Aanbevolen frequentietoleranties uitgedrukt in eenheden per 10^6 , of in Hz, voor vaste draaggolfverbindingstations (100 MHz tot 40 GHz) (lit. CCIR, 1982, Report 785-1)

- Interfaces

Het PMP-radiosysteem dient interfaces te hebben met andere digitale netwerken conform bestaande protocollen (bijvoorbeeld de G, V en X-series volgens CCITT normen).

- Eenvoud van techniek

Door eenvoudige technieken te kiezen kunnen de kosten relatief laag gehouden worden. Het systeem hoeft in zijn totaliteit geen technisch geavanceerd ontwerp te worden.

De installatie moet snel plaats kunnen vinden. De mobiliteit wordt hierdoor verhoogd. Bovendien dient het systeem modulair te worden opgebouwd.

- Klimatologische eisen

Klimatologische invloeden op de buitengeplaatste RF-eenheid mogen geen merkbare invloed hebben op de kwaliteit van de data-overdracht. Voorbeelden hiervan zijn: invloeden als van sneeuw, luchtvervuiling, blikseminslag, temperatuurwisselingen en dergelijke.

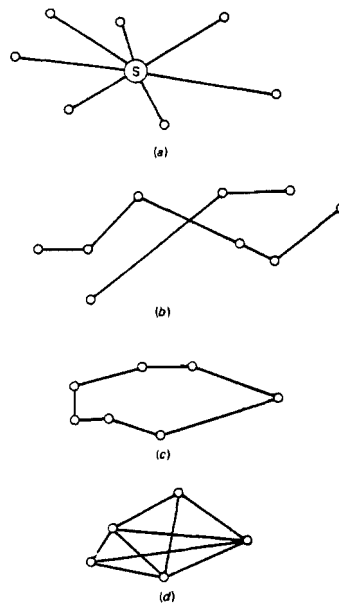
4. CONCEPT VAN HET PUNT-MULTIPUNT RADIOSYSTEEM

4.1. Algemene opzet

Gezien het tijdelijke karakter van een operationeel systeem en de gemakkelijke inpassing in de bestaande infrastructuur op telecommunicatiegebied in Nederland, verdient een lokaal datacommunicatienetwerk met radioverbindingen de voorkeur.

Een lokaal radiocommunicatiesysteem dat geografisch verspreide gebruikers met elkaar moet kunnen verbinden, kan op verschillende manieren worden samengesteld. Daarbij zijn diverse mogelijkheden in netwerktopologie te onderscheiden (Fig. 4.1):

- de sterstructuur;
- de ringstructuur;
- de kettingstructuur;
- de maasstructuur.



Some topologies in networks. (a) Star or hub; (b) linear or chain; (c) loop; (d) mesh, shown fully connected.

Fig. 4.1 : Mogelijkheden in netwerktopologie (lit. 22)

Voor een keuze hieruit zijn de volgende criteria van belang:

- het systeem moet een volledige connectiviteit kunnen geven tussen alle aangesloten gebruikers met een minimum aan benodigde totale transmissiecapaciteit en kosten. Bij N aangesloten GG's betekent dit dat er $N(N-1)$ eenweg verbindingen mogelijk moeten zijn.

- er dienen op relatief eenvoudige wijze interlokale verbindingen mogelijk te zijn.

- een door een gebruiker gewenste verbinding met een datasnelheid groter dan of gelijk aan 64 kbit/s, dient op verzoek nagenoeg direct mogelijk te zijn.

Een stervormig Punt-Multipunt (PMP) radiocommunicatiesysteem zoals in Fig. 4.2 is geschetst, wordt voor toepassing in het lokale gebied overwogen. Daarbij kan een lokaal gebied in sectoren worden verdeeld. Elke sector wordt voorzien van één subsysteem. We beschouwen in eerste instantie één subsysteem. Het lokale PMP sub (PMPS)-radiosysteem bestaat uit één basisstation met één sectorantenne (90° of 120°), of een in het horizontale vlak omnidirectionele antenne, en een aantal buitenstations die via terminals (TER's) verbonden zijn met de gebruikers.

Buitenstations bevinden zich niet verder dan een bepaalde afstand (8 km) van het basisstation en maken gebruik van directionele antennes gericht op het basisstation. Een verbinding loopt altijd via het basisstation. We veronderstellen daarbij het "upstream" verkeer van buitenstation naar basisstation en het "downstream" verkeer in tegenovergestelde richting. Elke richting maakt gebruik van een ander radiokanaal.

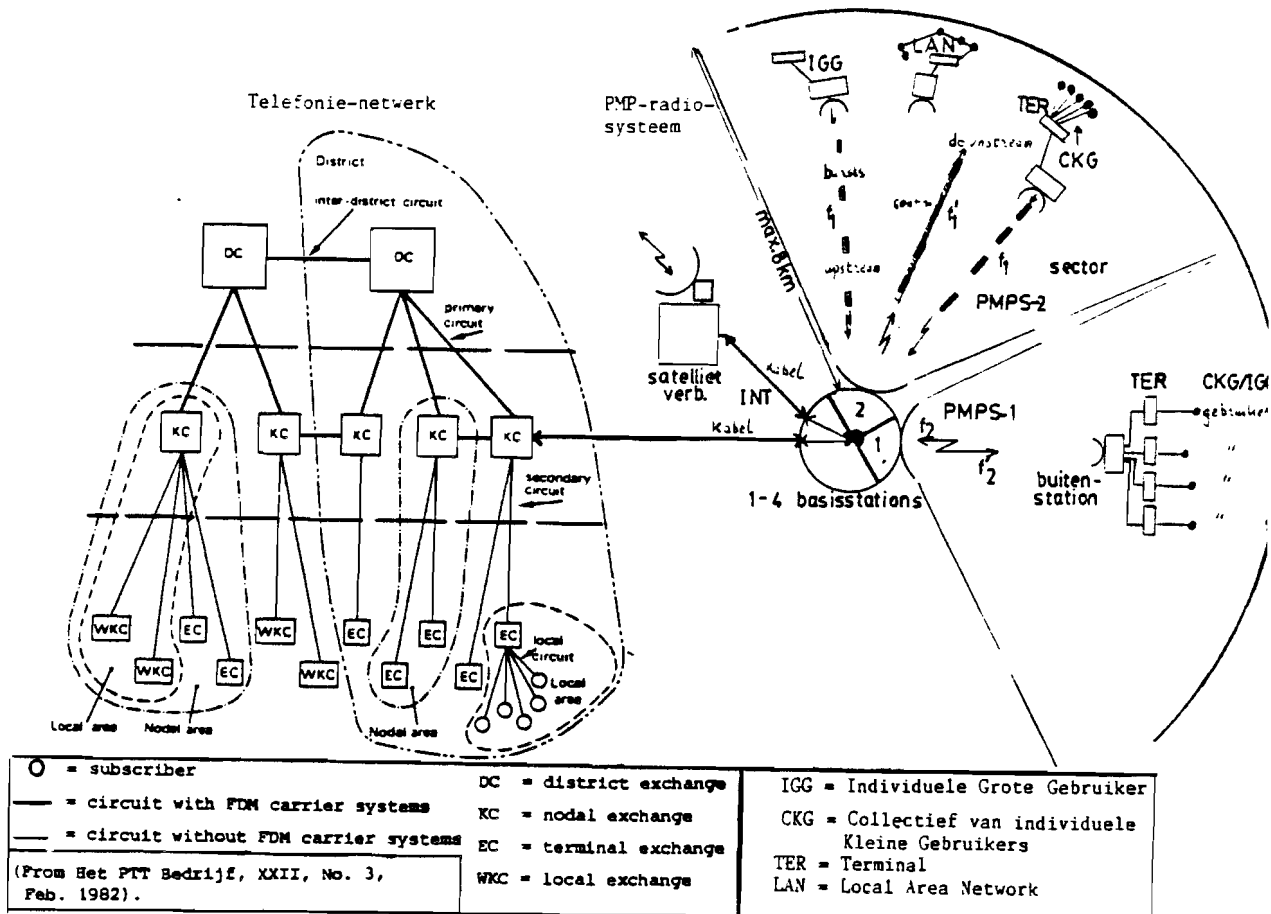


Fig. 4.2 : Algemene schets van het PMP-radiosysteem

Door de knooppuntconfiguratie zijn er voor een volledige connectiviteit in het netwerk slechts $2N$ fysische verbindingen noodzakelijk. Voor een maasvormige structuur zou dit aantal $N(N-1)$ zijn.

Het basisstation bevindt zich in het centrum van het stervormig netwerk indien een omnidirectionele dekking verkregen dient te worden. Deze ster-structuur maakt het wenselijk om multiple acces toe te passen. Het basisstation fungeert daarbij als knooppunt. Elke TER heeft toegang tot het PMPS-radiosysteem op basis van toewijzing op verzoek (Demand Assignment). Dit betekent dat bij een volledige connectiviteit de benodigde transmissiesnelheid en dus bandbreedte beperkt kan blijven, omdat de gebruikers hierbij een gemeenschappelijk radiokanaal delen. Overbezetting kan in principe optreden wanneer te veel gebruikers actief zijn. Doorgaans hebben TER's voldoende flexibiliteit in transmissiecapaciteit om te voldoen aan de, in de tijd variërende, verkeersbehoefte van de aangesloten gebruikers.

Datatransmissie in het upstreamkanaal vindt plaats in bursts, volgens het TDMA-principe (Time Division Multiple Acces). Een van de redenen waarom TDMA wordt overwogen is dat er op "realtime"-basis gewerkt kan worden. De verschillen in propagatietijden worden in de buitenstations bijgesteld, zodat alle bursts na elkaar binnen komen bij het basisstation. Datatransmissie in het downstreamkanaal wordt op basis van het TDM-principe (Time Division Multiplexing) overwogen.

Zowel lokale als interlokale verbindingen lopen via het basisstation. Interlokale verbindingen worden opgezet tussen TER's van het PMPS-radiosysteem, en interlokale aansluitingen (INT's). Dit kunnen TER's van andere PMPS-radiosystemen zijn of andere digitale netwerken. Lokale verbindingen kunnen bestaan tussen TER's onderling van één PMPS-radiosysteem. Het basisstation fungeert hierbij als een soort repeater in een satellietkanaal.

Er kan zowel eenweg als tweeweg datacommunicatie bedreven worden (bijvoorbeeld "broadcasting" resp. videoconferencing). Tweeweg datacommunicatie kan op "full duplex"-basis gerealiseerd worden door in de onafhankelijke up- en downstreamradiokanalen tegelijk te zenden en te ontvangen.

Door de starre netwerkstructuur (geen bewegende zender of ontvanger) is de tijdsynchronisatie in het PMPS-radiosysteem minder gecompliceerd dan in de satellietcommunicatie.

Ruimtelijke uitbreiding van het dienstengebied van het PMPS-radiosysteem kan verkregen worden door een aantal PMPS-radiosystemen aan elkaar te laten grenzen. Een cellulaire structuur zoals bij mobiele radiosystemen kan worden toegepast (lit. 4, 5, 6, 8). In een gebied zo groot als de Randstad of het Ruhrgebied is dit een oplossing. Hierbij zal een afweging gemaakt moeten worden tussen de grootte van één lokaal gebied en het aantal van dergelijke lokale gebieden nodig om een groot gebied te bedekken. Een frequentie hergebruik-schema dient in een cellulaire structuur toegepast te worden om een efficiënt gebruik van de beschikbare radiofrequenties mogelijk te maken. Indien frequenties hoger dan 20 GHz worden toegepast is dit probleem minder belangrijk. Het verdient aanbeveling om één polarisatierichting per PMPS-radiosysteem te gebruiken.

Buiten bovengenoemde grote gebieden zal volstaan kunnen worden met één of enkele PMPS-radiosystemen per stad. De meeste gebruikers zijn

gevestigd in grote steden. De straal van het gebied dat een stad bestrijkt is in Nederland zelden groter dan 8 km. De maximale lengte van de radioverbindingen kan daarom ongeveer 8 km genomen worden. Door de geografische verspreiding van de steden in Nederland dienen ook interlokale verbindingen tussen de PMPS-radiosystemen aanwezig te zijn. Aangezien in Nederland de infrastructuur op telecommunicatiegebied kwalitatief erg goed is, kunnen genoemde interlokale verbindingen gerealiseerd worden door de bestaande trunkverbindingen van het telefonienetwerk (Fig. 4.2).

Uitbreiding van de totale transmissiecapaciteit kan gerealiseerd worden door simpelweg een tweede PMPS-radiosysteem in hetzelfde lokale gebied op te stellen. Dit extra PMPS-radiosysteem werkt dan parallel aan en onafhankelijk van het eerste. Een andere set draaggolf-frequenties is dan wel noodzakelijk. Verbindingen tussen beide PMPS-radiosystemen gaan via de basisstations zoals bij interlokale verbindingen. Gezien het transportabele karakter van het radiosysteem kan (bijvoorbeeld na enige nuttige dienstjaren) het geheel naar elders verplaatst worden. De installatie moet daarom eenvoudig kunnen blijven. Toepassing in rurale gebieden in ontwikkelingslanden waar nog geen of beperkte transmissiemiddelen zijn, kan dan ook plaatsvinden.

4.2. Het basisstation

Het basisstation (Fig. 4.3) is via speciale interfaces, Digitaal Netwerk Interfaces (DNI), verbonden met andere digitale netwerken. Dit kunnen trunkverbindingen van het telefonienetwerk zijn, het Datanet I van de PTT, of satellietsystemen (SMS). Daartoe dient het basisstation in de nabijheid van een knooppunt- of districtcentrale geplaatst te worden. In Nederland is de afstand tot de dichtstbijzijnde telefooncentrale nog altijd kleiner dan ongeveer 8 km. Gestandaardiseerde transmissiesnelheden conform de CCITT Rec. G serie (G.703) kunnen dan worden aangeboden.

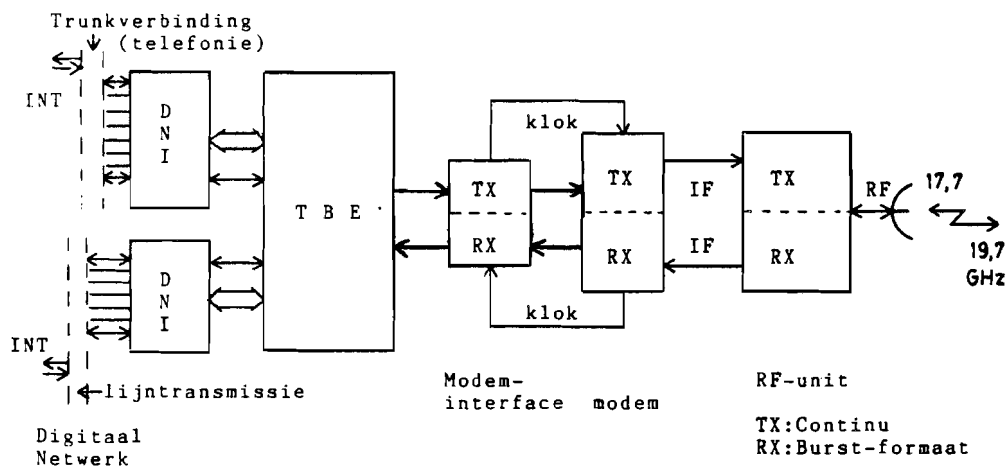


Fig. 4.3. : Blokschema van het basisstation

INT = Interlokale aansluiting
 DNI = Digitaal Netwerk Interface
 TBE = TDMA Base Equipment

Het basisstation regelt en coördineert vanuit de Centrale Controle Unit (CCU) in de TDMA Base Equipment (TBE) het gehele PMPS-systeem. Netwerkbeheersing, capaciteitstoewijzing, signalering, etc. behoren tot de taken. Data wordt van en naar TER's en INT's doorgeschakeld in de TBE. In de modem wordt het TDM basisbandsignaal gemoduleerd op de middenfrequent draaggolf (IF) en daarna doorgestuurd naar het radio frequente (RF) gedeelte waar het signaal frequentie-omzetting ondergaat. De RF-unit bevindt zich zo dicht mogelijk bij de antenne, zodat een compacte "outdoor-unit" ontstaat. De uitzending is in de continuous-mode terwijl de ontvangst in de burst-mode plaatsvindt. Bij toepassing in de 17,7-19,7 GHz band wordt door het basisstation uitgezonden met een frequentie van 19,7 GHz, omwille van vermogensbesparing voor de buitenstations, die daardoor op de frequenties met de laagste padverliezen kunnen werken (17,7 GHz).

4.3. Het buitenstation

Het buitenstation kan gezien worden als een klein radio-distributiepunt voor een gering aantal (maximaal 4) GG's. Ook hier bevindt de RF-unit zich zo dicht mogelijk bij de antenne en vindt samenstelling plaats tot een compacte outdoor-unit (Fig. 4.4).

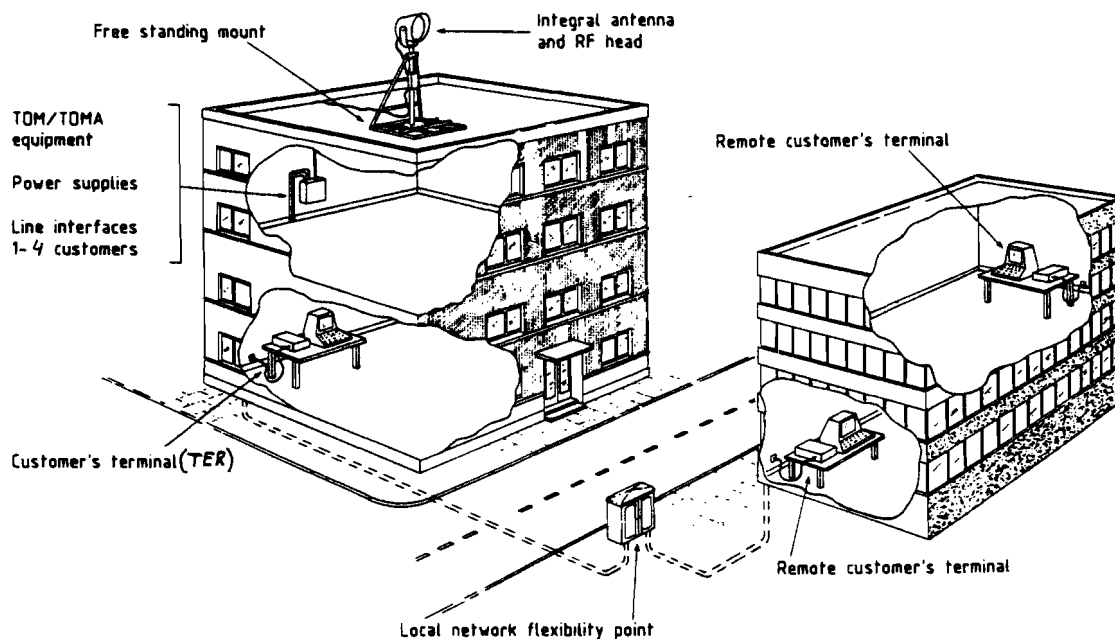


Fig. 4.4 : Het buitenstation gezien als een klein distributiepunt (lit. 8) voor maximaal 4 GG's

In Fig. 4.5 wordt het blokschema van het buitenstation in een algemene vorm weergegeven.

Een buitenstation bestaat onder andere uit de gemeenschappelijke RF zend- en ontvangunit. De modem-interface bevat een vertragingcircuit ten behoeve van alle aangesloten TER's ten einde de verschillen in radiopropagatie-afstand tussen de geografisch verspreide buitenstations te compenseren.

Op de modem-interface kunnen maximaal vier TER's aangesloten worden. Elke TER bestaat uit een TDMA Terminal Equipment (TTE) en een Gebruiker Terminal Interface (GTI).

Een TTE verzorgt de functies geassocieerd met het TDMA systeem zoals zend- en ontvangstiming (TX, RX-timing) signalering, (de)scrambling bijhouden van het bursttijdplan in geheugen, interactiviteit met de gebruikers met betrekking tot hun wensen, etc.

Dit alles wordt centraal gecoördineerd en geregeld door middel van de Terminal Controle Processor (TCP), een micro-processor.

Op deze wijze heeft elke TER een onafhankelijke TDMA -eenheid zodat elke TER afzonderlijk capaciteit kan aanvragen en kan communiceren. De bestemming en de datasnelheid kunnen dus in de tijd variëren. In principe is de TTE van een GTER (Grote Terminal met capaciteit tot 2048 kbit/s) dezelfde als die van een KTER (Kleine Terminal met een capaciteit tot 512 kbit/s). Deze keuze is gebaseerd op het verschil in verkeersaanbod per gebruiker, zodat een onderverdeling in twee typen terminals noodzakelijk is.

Dit verschil zit in het aantal aangesloten Data Basisband Poortmodule's (DBP) per GTI. Iedere DBP heeft een datacapaciteit van 64 kbit/s.

De GTI kan zijn aangesloten op een (coax)kabel die lijntransmissie mogelijk maakt naar één GG. Hierover kan ook de signalering plaatsvinden (verzoeken). De GG's zijn hierbij, zoals in hoofdstuk 2 reeds werd gesteld, onderverdeeld in IGG's en CKG's.

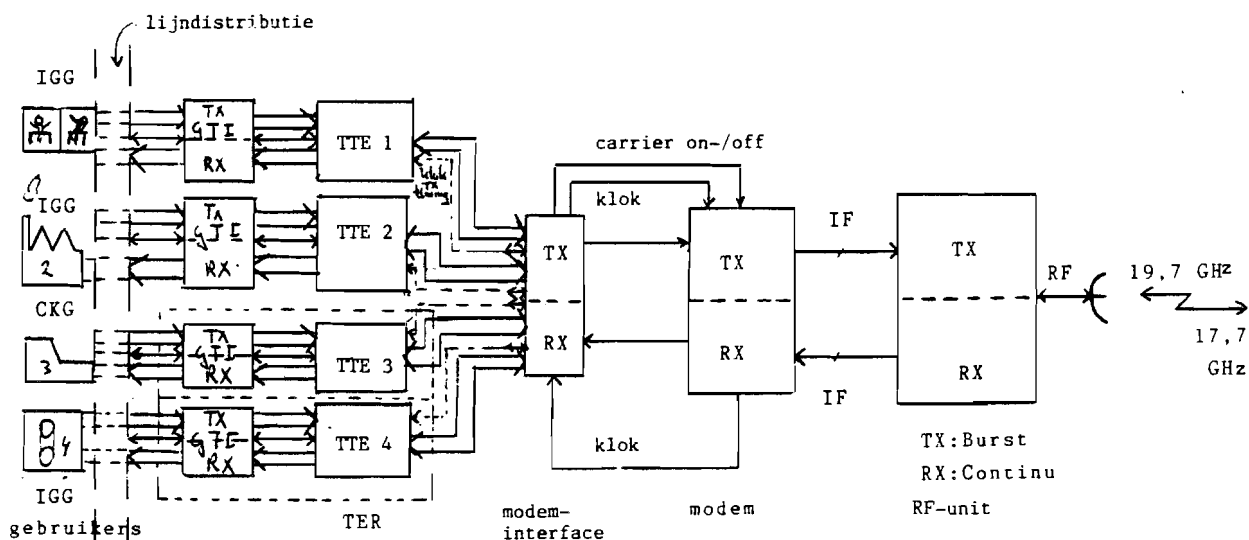


Fig. 4.5 : Blokschema van het buitenstation met maximaal 4 aangesloten TER's

GTI = Gebruiker Terminal Interface

TTE = TDMA Terminal Equipment

TER = Terminal

IGG = Individuele Grote Gebruiker

CKG = Collectief van individuele Kleine Gebruikers

5. HET DIGITALE RADIOTRANSMISSIESYSTEEM

Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van het digitale radiotransmissiegedeelte in het PMP-radiosysteem, waarin de volgende onderwerpen ter sprake zullen komen.

Om te beginnen de in aanmerking komende frequentiebanden, gevolgd door de relevante systeemvariabelen, waarmee een linkbudget kan worden opgesteld. Vervolgens een analyse van de relevante statistische propagatieverschijnselen die van invloed kunnen zijn op het direct-zicht radiopad.

Linkbudgetberekeningen, antennes, frequentie(her-)gebruik in ruimtelijke zin en (de-)modulatietechniek worden hierna behandeld.

Tenslotte volgt een evaluatie van het radiotransmissiegedeelte zoals in het PMP-radiosysteem kan worden toegepast.

5.1. Inleiding

Aardse straalverbindingen en satellietverbindingen worden toegepast voor openbare telefonie. Radiocommunicatie wordt in Nederland echter niet toegepast in lokale verbindingen, waar gebruik wordt gemaakt van lijncommunicatie. Microgolfverbindingen in het PMP-radiosysteem zullen derhalve specifiek voor dit systeem ontworpen, gerealiseerd en toegepast moeten worden. Veel overeenkomst valt waar te nemen met de bestaande straalverbindingen in het telefonienetwerk. Draaggolffrequenties tussen 1 en 20 GHz worden hiervoor gebruikt. Om tot een keuze van de frequentieband in het PMP-radiosysteem te komen, worden de frequentietoewijzingen van de ITU (Fixed Service, hoofdstuk 3) van belang geacht.

Daarnaast zijn de linkbudgetten van zowel het up- als het downstreamkanaal van belang.

De systeemvariabelen, deel uitmakend van deze linkbudgetten, dienen zodanig gekozen te worden, dat met minimale kosten voldaan wordt aan de kwaliteitseisen.

Fouten in het up- en downstreamkanaal kunnen worden tegengegaan door een goede keuze van (de-)modulatie-, zend- en ontvangtechnieken en eventueel door foutencontrole (detectie en correctie).

5.1.1. Draaggolffrequenties

Eerder gemaakte studies (lit. 4, 9) wezen uit dat een frequentieband boven 20 GHz kan worden aanbevolen. Hierbij werd vooral gelet op de grote bandbreedte (dus transmissiecapaciteit) die wordt vereist en op reeds in gebruik zijnde of gereserveerde frequentiebanden. De antennes kunnen hierbij erg compact zijn. Frequenties tussen 10 en 20 GHz blijken echter ook geschikt. De regendemping is daar duidelijk minder. De afmetingen van antennes zijn klein genoeg om ze te kunnen plaatsen bij de gebruikers. De apparatuur in deze lagere frequentiebanden is duidelijk goedkoper te

produceren en wordt al veel toegepast. Daar veel frequenties al toegepast worden in "trunk"-microgolfverbindingen, of gereserveerd zijn, blijven weinig frequentiebanden over voor toepassing in het lokale PMP-radiosysteem.

Het onderzoek naar een geschikte frequentieband beperkt zich dan ook tot de 15, 19, 22, 26 en 30 GHz band. De frequenties 17,7, 19,7 en 22,3 GHz hebben de voorkeur.

5.1.2. De systeemvariabelen in het linkbudget

Het verband tussen het uitgezonden (P_t) en ontvangen (P_r) vermogen in een radioverbinding wordt in vergelijking (5.1) weergegeven:

$$P_r = P_t - L_{a,t} - L_{a,r} + G_t + G_r - L_m - L_{bf} \text{ dBW} \quad (5.1)$$

Hierin worden P_t en P_r uitgedrukt in dBW. $L_{a,t}$ resp. $L_{a,r}$ is het antenneverlies in de zënd- resp. ontvangantenne in dB, G_t resp. G_r de antennewinst van de zënd- resp. ontvangantenne in dBi, L_{bf} het "vrije ruimte verlies" en L_m het "transmissiemediumverlies", beide in dB. De benaming van de onderscheiden verliezen is overeenkomstig de door de ITU (Internationale Telecommunicatie Unie) aanbevolen termen, die in fig. 5.1 worden toegelicht.

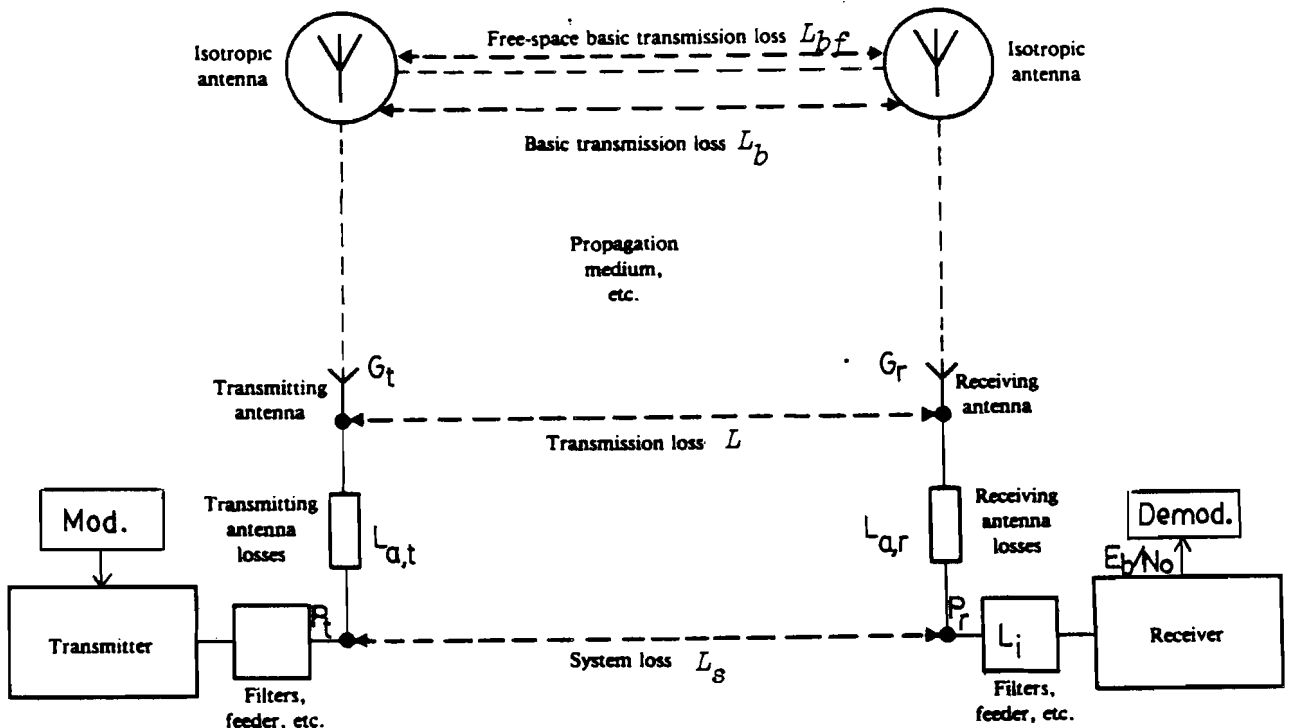


Fig. 5.1: Grafische beschrijving van de verliestermen gebruikt in formule (5.1) waarin:

$$L_b = L_m + L_{bf} \text{ dB};$$

$$L = L_b - (G_t + G_r) \text{ dB};$$

$$L_s = L + L_{a,t} + L_{a,r} \text{ dB}.$$

Het "vrije ruimteverlies" L_{bf} is een functie van de golflengte en de afstand d volgens:

$$L_{bf} = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \text{ dB} \quad (5.2)$$

Het "transmissiemediumverlies" L_m is veranderlijk met de tijd door de veranderende eigenschappen van de atmosfeer (regendemping, "multipath"-verliezen). Paragraaf 5.2. geeft daartoe een statistische beschouwing omtrent de verwachte numerieke waarden van L_m op het direct-zicht radiopad.

Straalverbindingen worden in het algemeen zodanig ontworpen dat optredende waarden van L_m tot ca. 40 dB niet tot een "niet-beschikbaarheid" of onaanvaardbare verslechtering van de transmissiekwaliteit leiden.

Als basis van vergelijking tussen digitale transmissiesystemen wordt onder andere de vermogensefficiëntie als criterium toegepast. Deze komt tot uiting in het verband tussen de bitfoutenkans en de (E_b/N_0) -verhouding voor een bepaalde (de-)modulatiemethode. Deze verhouding kan met (5.1) in de volgende vergelijking, het linkbudget, worden aangegeven:

$$\frac{E_b}{N_0} \triangleq P_t - L_{a,t} - L_{a,r} + G_t + G_r - L_m - L_{bf} - L_i - kT_N - R_b \text{ dB} \quad (5.3)$$

waarin:

L_i = de verliezen in kabels, filters, voeders etc. in dB,

k = de constante van Boltzmann : -228,6 dBJ/K,

T_N = de ruiltemperatuur van de ontvanger betrokken op de ingang van de demodulator in K,

R_b = totale transmissiesnelheid in dB.Hz,

E_b = hoeveelheid energie per bit aan de ingang van de demodulator in joule ,

N_0 = spectrale dichtheid van thermische ruis aan de ingang van de demodulator in joule.

Het linkbudget wordt voor het up- en downstream radiokanaal opgesteld zodat een keuze van de geschikte frequentieband en maximale padafstand mogelijk is.

De draaggolffrequenties in beide radiokanalen dienen hierbij voldoende frequentieafstand te hebben om ontvangen en zenden simultaan mogelijk te maken.

Aan de keuze van de systeemvariabelen in het radiotransmissiesysteem zijn restricties verbonden. Er wordt voorop gesteld dat de gebruikersapparatuur relatief eenvoudig en niet duur dient te zijn. Dit betekent dat we reële en reeds gebruikte technieken moeten toepassen. De kosten van het basisstation worden gedeeld, zodat deze relatief hoger mogen zijn. Hierdoor kan er met grotere zendvermogens en complexe apparatuur gewerkt worden. Het zendvermogen is namelijk sterk bepalend voor de hoogte van de kosten. Tabel 5.1 geeft derhalve een aantal restricties met betrekking tot de systeemvariabelen, gebaseerd op

practische overwegingen.

SYSTEEMVARIABLEN	COMMENTAAR
$50 \text{ mW} \leq P_t \leq 100 \text{ mW}$	Zendvermogen van een buitenstation.
$200 \text{ mW} \leq P_t \leq 500 \text{ mW}$	Zendvermogen van het basisstation.
$L_{a,t} + L_{a,r} + L_i \leq 3 \text{ dB}$	Deze verliezen kunnen beperkt blijven door een compacte opbouw van het radio-frequente gedeelte.
$15 \text{ dBi} \leq G_{t,r} \leq 20 \text{ dBi}$	Antennewinst van de basisstationantenne. Type antenne: sectorantenne(s) (90° of 120°)
$35 \text{ dBi} \leq G_{t,r} \leq 41 \text{ dBi}$	Antennewinst van de buitenstationantenne. Type antenne: parabolische reflector antenne met een grote directionaliteit. (smalle bundel) $G_{t,r} \approx 10 \log(\eta \frac{\pi^2 D^2}{\lambda^2}) \text{ dB}$ $D \approx 0,5 \text{ m}$ $\eta \approx 0,5$
$F_{\text{tot}} \leq 10 \text{ dB}$	Het totale ruisgetal van het radio-frequente gedeelte van de ontvanger kan door toepassing van Microwave Integrated Circuits beperkt blijven.
$kT_N \leq -193,6 \text{ dBJ}$	
$R_b = 69,3 \text{ dB Hz}$	De transmissiesnelheid is constant (8,448 Mbit/s).

Tabel 5.1 : Restricties gesteld aan de systeemvariabelen in het linkbudget

Binnen de in tabel 5.1 gestelde grenzen dienen de systeemvariabelen zodanig gekozen te worden dat aan de ontvangzijde de benodigde E_b/N_0 bereikt wordt met minimale systeemkosten.

Elke systeemvariabele heeft een andere kosteninvloed. Minimalisatie van de totale systeemkosten kan alleen worden gerealiseerd indien van elke "systeem-dB" in het linkbudget (formule (5.3)) de "kostprijs" bekend is. Stel de kosteninvloed van elke systeemvariabele bekend. Er kan worden afgeleid dat een minimale kostenoplossing bij gegeven, benodigde, E_b/N_0 alleen kan worden bereikt indien de verzameling systeemvariabelen zodanig wordt gekozen dat de kostentoeename voor een gegeven kwaliteitsverbetering dezelfde is voor alle systeemvariabelen ("balanced cost-effectiveness"). Dit betekent in feite dat elke dB in het linkbudget even zwaar geteld moet worden.

5.2. Statistische analyse propagatieverschijnselen

In deze paragraaf wordt nagegaan welke propagatieverschijnselen van invloed kunnen zijn op het ontwerp van een direct-zicht radioverbinding in het PMP-radiosysteem. De transmissie betrouwbaarheid is sterk afhankelijk van de statistische distributie van propagatie-effecten. De propagatie-effecten hangen af van de lokale karakteristieken van het propagatiemedium.

Het vermogensbudget (link-budget) gerepresenteerd door formule (5.3) bevat propagatieparameters met betrekking tot regen, meerweg(multipath)-propagatie en absorptie door gassen, verdisconteerd in L_m .

Er zijn echter meer propagatie-effecten die van invloed kunnen zijn. De belangrijkste effecten worden achtereenvolgens behandeld met betrekking tot de genoemde frequenties tussen 10 en 30 GHz.

5.2.1. Effecten bij neerslag

De dempingen op het propagatiepad ten gevolge van absorptie en verstrooiing door sneeuw en hagel (ijs) kunnen voor de frequenties (tussen 10 en 30 GHz) worden verwaarloosd, mits voorzieningen zijn getroffen om te voorkomen dat zich sneeuw of ijs kan verzamelen op de schotel of radome van de antennes.

De dempingen ten gevolge van regen en natte sneeuw zijn het belangrijkste en sterk afhankelijk van de frequentie.

In het algemeen kan de demping A_R ten gevolge van regen op een horizontaal radiopad worden uitgedrukt door:

$$A_R = \int_0^d \gamma(s) ds \text{ dB} \quad (5.4)$$

waarbij:

- s : de afstand langs het radiopad (km),
- $\gamma(s)$: de specifieke demping (dB/km), in het punt s
- d : de padlengte (km).

De specifieke demping hangt van de regenval-intensiteit $R(s)$ af volgens:

$$\gamma(s) = k \cdot R(s)^\alpha \text{ dB/km} \quad (5.5)$$

waarbij de waarden van k en α primair afhangen van de frequentie, polarisatie en de regendruppelomvang-distributie. Berekende waarden van k en α zijn beschikbaar (lit. CCIR, 1982, Report 721), waarbij de Laws en Parsons regendruppelomvang-distributie wordt aangenomen.

Voor de voorspelling van de regendemping wordt gebruik gemaakt van de lokale punt-regenvalintensiteitsstatistieken. In appendix A wordt een eenvoudige techniek beschreven om te komen tot een redelijke voorspelling wanneer gedetailleerde informatie omtrent de regenstructuur niet beschikbaar is (lit. CCIR, 1982, Report 338-4). Deze techniek is

gebaseerd op het "effectieve-padlengte-concept" en van toepassing voor frequenties boven de 10 GHz.

De gemiddelde cumulatieve distributie van de puntregenalintensiteit verkregen na 3 jaar meten, is volgens (lit. 15, pag.3) anders dan aangenomen door de CCIR voor de Nederlandse regenklimaatzone volgens (lit. CCIR, 1982, Report 563). Door de CCIR wordt aangenomen dat voor 0,01% van de tijd een regenvalintensiteit van 22 mm/uur wordt overschreden. Uit (lit. 15, fig.2) blijkt een regenvalintensiteit van 25 mm/uur voor hetzelfde tijdpercentage overschreden te worden voor lokaties in West-Nederland (fig. 5.2).

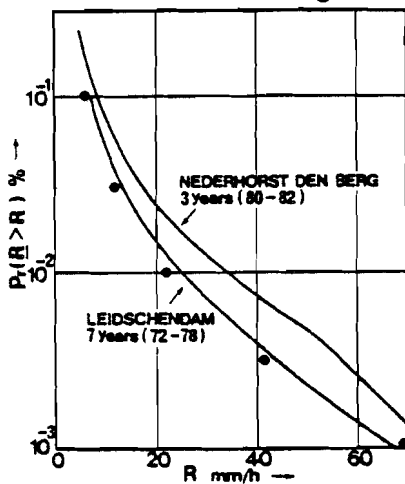


Fig. 5.2 : Gemiddelde cumulatieve distributie van de puntregenalintensiteit (lit. 15)

Aangenomen wordt derhalve een puntregenalintensiteit van $R_0 = 25$ mm/uur, die in 0,01% van de tijd overschreden wordt.

Met deze puntregenalintensiteit en volgens het effectieve-padlengte-concept worden in de figuren 5.3 tot en met 5.6 de cumulatieve verdelingen van de dempingen ten gevolge van regen voor verschillende frequenties uitgezet. Elk figuur heeft betrekking op een andere padafstand (5, 7, 8 en 10 km).

In Appendix A (Tabel A.1) wordt de regendemping als functie van de padafstand (tussen 5 en 12 km) en frequentie voor de tijdpercentages van 0,01% en 0,1% getabelleerd.

Behalve demping ten gevolge van regen heeft neerslag ook invloed op de polarisatie van de radiogolven.

Een belangrijk kwaliteitscriterium bij dual gepolariseerde systemen is de kruispolarisatie-diskriminatiefactor (XPD). De XPD-degradatie van een orthogonaal gepolariseerd signaal veroorzaakt door regen, heeft geen grote invloed op de beschikbaarheid van het radiosysteem. (lit. CCIR, 1982, Report 338-4). De XPD-degradatie treedt namelijk ongeveer tegelijkertijd op als sterke regendemping. In (lit. 15) wordt voor een 19 GHz radioverbinding met een lengte van 16 km geconcludeerd dat de additionele degradatie van de "fade margin" veroorzaakt door kruispolarisatie-effecten ten gevolge van regen klein is. In (lit. 6) blijkt dat over een 10 km lange radioverbinding met 10 GHz slechts een kleine degradatie van de XPD-factor ten gevolge van regen optreedt. Depolarisatie in één PMPS-radiosysteem met slechts één polarisatierichting kan dus verwaarloosd worden. Indien aangrenzende

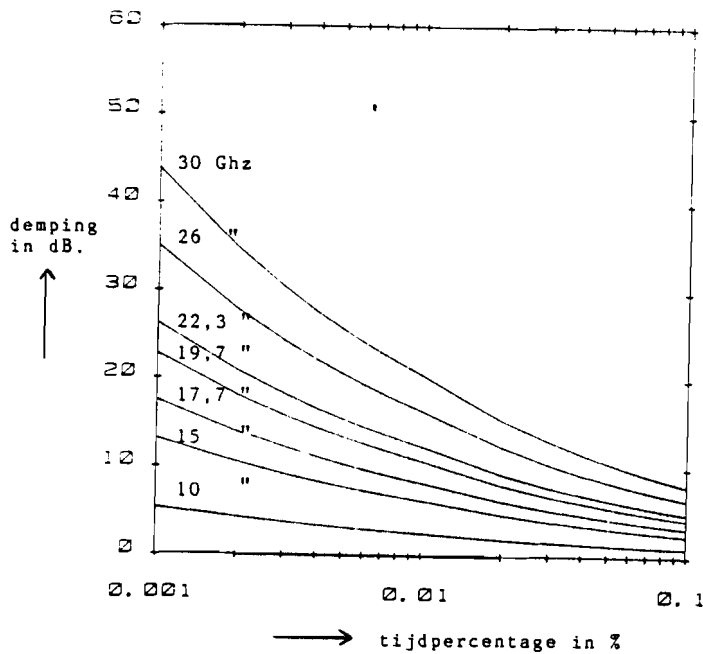


Fig.5.3: Padafstand is 5 km.

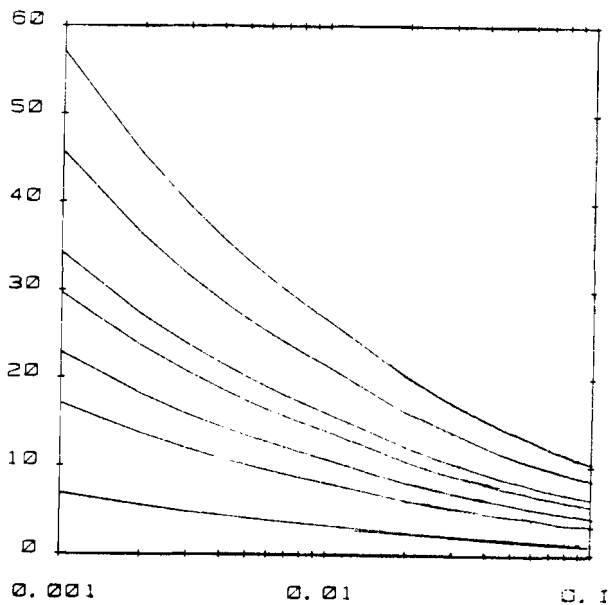


Fig.5.4: Padafstand is 7 km.

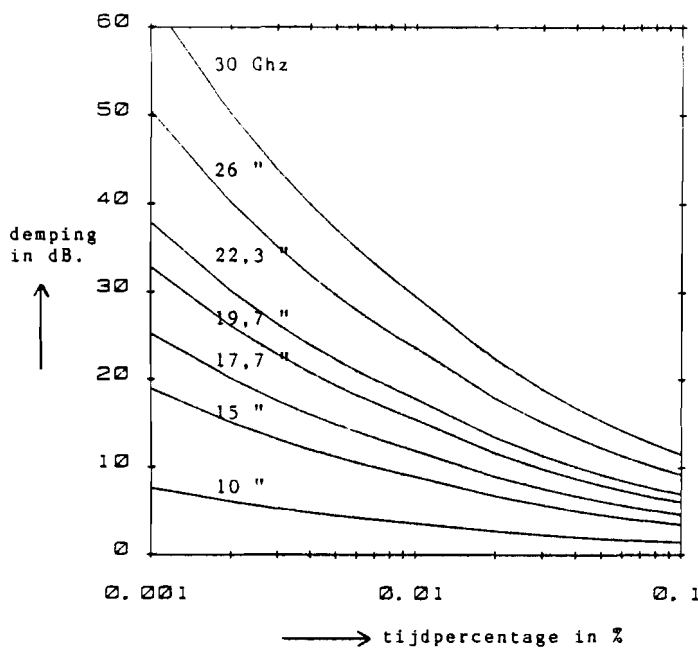


Fig.5.5: Padafstand is 8 km.

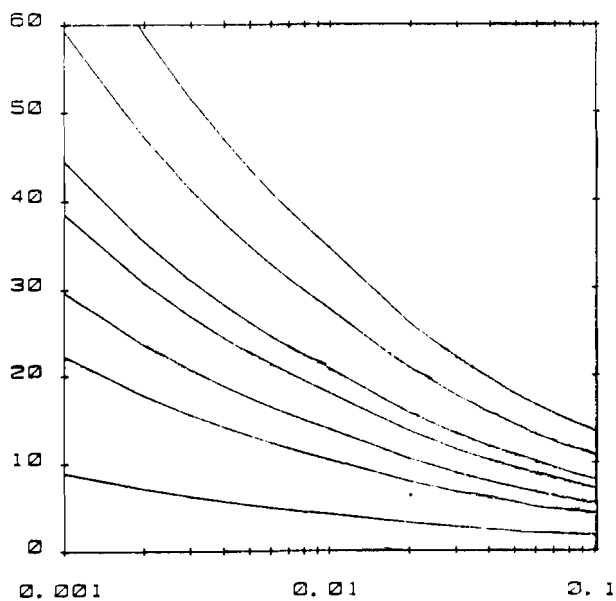


Fig.5.6: Padafstand is 10 km.

Fig . 5.3 tot en met 5.6 : Cumulatieve verdelingen van de dempingen ten gevolge van regen voor verschillende frequenties en padafstanden.

PMPS-radiosystemen een orthogonale polarisatierichting gebruiken, dient een numerieke schatting gemaakt te worden van de degradatie van de XPD om inzicht te verschaffen in deze interferentievorm.

5.2.2. Effecten bij meerweg(multipath)-propagatie

Het is algemeen bekend dat propagatiemodellen voor de voorspelling van demping en kruispolarisatie door bijzondere vormen van breking van de radiogolven (multipath, ducting) niet gebaseerd zijn op gedetailleerde lokale karakteristieken van het propagatiemedium en het terrein (lit. 15). De voorspelling van demping door meerweg-propagatie via de troposfeer is nog niet goed ontwikkeld. De CCIR geeft wel een aanbeveling in de vorm van de volgende vergelijking (lit. CCIR, 1982, Report 338):

$$p(A_m) = 1,4 \cdot 10^{-8} \cdot f \cdot d^{3,5} \cdot 10^{-A_m/10} \quad (5.6)$$

Deze vergelijking wordt aanbevolen als de voorspelling van de fractie van de tijd $p(A_m)$ dat gedurende de slechtste maand een bepaalde waarde van demping A_m (diepfading met $A_m > 10$ dB) wordt overschreden. Hierbij wordt de frequentie f in GHz en de padlengte in km uitgedrukt ($d > 5$ km).

Uit (lit. 15) blijkt de gemeten curve voor een 19 GHz radioverbinding te kloppen met de voorspelde curve volgens (5.5). Derhalve wordt deze formule ook in dit onderzoek toegepast en worden de tijdfractionen $p(A_m)$ in Appendix A, (Tabel A.2) getabelleerd voor verschillende frequenties en padafstanden (en gecorrigeerd tot een voorspelling op jaarbasis).

Reflecties

In een direct-zicht verbinding zoals in Fig. 5.7 is aangegeven kunnen gereflecteerde golven aanleiding geven tot demping van het ontvangen signaal. Het weglengteverschil tussen de directe en de gereflecteerde golf kan zodanig zijn dat deze golven in tegenfase zijn bij de ontvangst. Een direct-zicht verbinding bestaat wanneer een zendantenne en een ontvangantenne zodanig geplaatst zijn dat bij heldere weersomstandigheden de twee antennes elkaar kunnen zien.

Meerweg-propagatiedemping veroorzaakt door grondreflecties is waarschijnlijk niet belangrijk in het PMPS-radiosysteem. De omgeving waarin het systeem operationeel zal zijn (stad) bevat namelijk veel (hoge) gebouwen en obstakels zodat aan de grond gereflecteerde golven nauwelijks bij de ontvangantenne kunnen komen. Bovendien kan het aardoppervlak als sterk onregelmatig beschouwd worden hetgeen de coherente reflectiecoëfficiënt reduceert (lit. 34). De bijdrage van de coherente component van het gereflecteerde vermogen vergeleken met het totale ontvangen vermogen kan hierdoor worden verwaarloosd. De incoherente component kan ook worden verwaarloosd omdat voor het bedoelde radiopad de diffuse reflectiecoëfficiënt erg klein is.

Meerweg-propagatiedemping ten gevolge van reflecties aan gebouwen en obstakels kan op het eerste gezicht grote problemen geven. Ook hierbij kan de oppervlakte van de obstakels als onregelmatig beschouwd worden

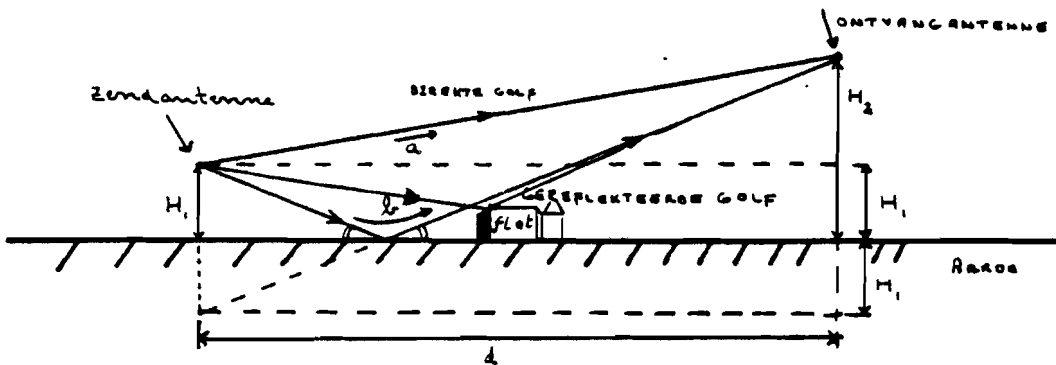


Fig. 5.7 : Het tweestralenmodel met een directe en een gereflecteerde golf

hetgeen de coherente reflectiecoëfficiënt reduceert. De obstakels beslaan slechts een klein gedeelte van de eerste Fresnel-zone, zodat de coherente component klein is. Mede door toepassing van een directionele antenne met een zeer nauwe bundelbreedte, zowel in het horizontale als in het verticale vlak bij het buitenstation, is het ontvangen gereflecteerde signaalvermogen erg klein en kunnen we dit verwaarlozen ten opzichte van het signaalvermogen uit de hoofdrichting. Dit bleek uit metingen, verricht in een experimenteel netwerk (lit. 7).

In de praktijk dient het radiopad tussen het basis- en buitenstation zodanig vrij te zijn van obstakels dat geen gereflecteerde golven binnen de bundelbreedte van de buitenstationantenne kunnen optreden.

Gedurende meerweg-condities is de overdrachtsfunctie van het propagatiemedium afhankelijk van de frequentie. De amplitude-en fase-relaties van de frequentiecomponenten in het uitgezonden signaal zijn frequentieafhankelijk. Voor breedbandige digitale systemen veroorzaakt dit effect een kwaliteitsdegradatie door de vervorming van het signaal. Intersymbool-interferentie kan door de onstane fase-dispersie sterk toenemen met als gevolg een vergrote bitfoutenkans. Voor de maximale tijdsvertraging τ_m geeft de volgende uitdrukking een schatting (lit. 15):

$$\tau_m = 1,1 \cdot 10^{-4} \cdot d^3 \text{ ns} \quad (5.7)$$

In dit geval met $d < 10$ km en bitrate van 8,448 Mbit/s is er een maximale tijdsvertraging van 0,11 ns en een bittijd van 118 ns. Er is dus weinig dispersie voor de toegepaste snelheid.

Verschillend gereflecteerde, orthogonaal gepolariseerde golven komen via de zijlobben van de ontvangantenne binnen en leveren depolarisatie van het gewenste signaal. In (lit. 15) zijn metingen verricht en wordt geconcludeerd dat het depolarisatie-effect ten gevolge van meerweg-propagatie sterk afhankelijk is van de karakteristieken van de

geïnstalleerde antennes. Een hoge directionaliteit van de antenne is daarom wenselijk.

5.2.3. Signaal-scintillatie

Door troposferische turbulentie ontstaan snelle variaties in de brekingsindexwaarde waardoor amplitude-en fase-fluctuaties optreden. Dit kan problemen geven in de draaggolfterugwinning en synchronisatie bij TDMA-systemen. Hier wordt bij de keuze van de modulatie-techniek rekening mee gehouden. Voor korte afstanden (<10 km) is dit effect te verwaarlozen (hoogstens een paar dB piek-piekwaarde, (lit. CCIR, 1982, Report 338-4)).

5.2.4. Verzwakking ten gevolge van atmosferische gassen

De absorptie ten gevolge van zuurstof is tot 60 GHz te verwaarlozen. De waterdamp-absorptie is bij 22,3 GHz niet te verwaarlozen. De specifieke demping hierbij is 0,2 dB/km (lit. CCIR, 1982, Report 719). Mist-absorptie is te verwaarlozen bij de relevante pad-afstand (<10 km). In verband met frequentiehergebruik is een frequentie van 22,3 GHz interessant.

5.2.5. Evaluatie van de propagatieverschijnselen

Omdat een klein lokaal gebied beschouwd wordt, mogen we aannemen dat de invloed van de propagatieverschijnselen op het up- en downstreamkanaal dezelfde is. Het transmissiemedium verlies L_m wordt gezien de conclusies van deze paragraaf alleen bepaald door regen- en meerweg-propagatieverliezen.

Omdat meerweg-propagatie voornamelijk opreedt wanneer de atmosfeer gelaagd is ("clear air" effect) en er geen noemenswaardige regen valt, mogen we aannemen dat beide propagatie-effecten niet tegelijkertijd optreden. De tijdpercentages corresponderend met een zelfde waarde van de regen- en meerweg-demping kunnen dus worden opgeteld (lit. CCIR, 1982, Report 338).

Uit de figuren 5.3 tot en met 5.6 en de Tabellen A1 en A2 uit Appendix A blijkt dat voor frequenties groter of gelijk aan 17 GHz en afstanden kleiner dan 10 km de tijdpercentages waarvoor een bepaalde waarde van de regendemping wordt overschreden, veel groter zijn dan de corresponderende tijdpercentages voor meerweg-propagatie-demping ("deep fading"). Belangrijke meerweg-propagatie-demping is dus niet waarschijnlijk,

5.3. Linkbudgetberekeningen

In deze paragraaf wordt de beschikbare (E_b/N_0) -verhouding aan de ingang van de demodulator afgeleid voor verschillende frequenties en padafstanden. Hierop wordt een keuze van de geschikte frequentieband en de maximale padafstand gebaseerd.

5.3.1. Systeemversterking

De som van de verliezen L_{bf} en L_m uit vergelijking (5.3) geeft voor een bepaald tijdpercentage en voor gekozen frequentie en padafstand het basistransmissieverlies L_b . Zoals in paragraaf 5.2. werd geconcludeerd wordt het verlies L_m voornamelijk door de regendemping bepaald voor frequenties groter dan 17 GHz en afstand kleiner dan 10 km. Meerweg-propagatiedemping kan onder deze restricties verwaarloosd worden. Voor 15 GHz dient wel een extra demping van 1 tot 2 dB voor L_m ten gevolge van meerweg-propagatie te worden berekend. Het basistransmissieverlies wordt in Fig. 5.8a voor 0,01% van de tijd (uitvalcriterium) als functie van de padafstand en voor verschillende frequenties weergegeven. Hierbij wordt uitgegaan van één polarisatie-richting (verticaal). Het "vrije ruimte"-verlies L_{bf} wordt berekend volgens formule (5.2) en het transmissiemediumverlies L_m bestaat uit de regendemping berekend volgens de methode in Appendix A. In Fig. 5.8b wordt L_b op dezelfde wijze weergegeven, echter nu voor 0,1% van de tijd in een gemiddeld jaar.

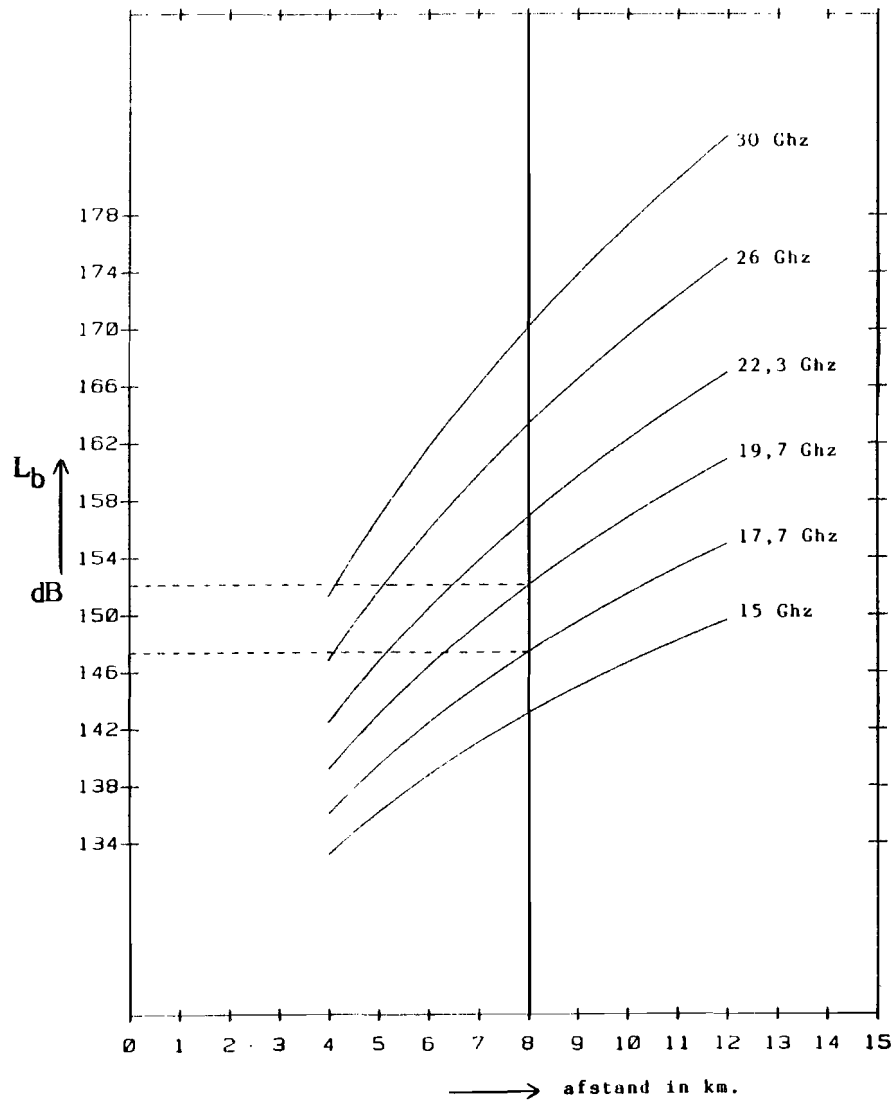
De beschikbare systeemversterking G wordt verkregen door de bovengrenzen van de aan restricties gebonden systeemvariabelen uit Tabel 5.1 te substitueren in vergelijking (5.3) zonder de verliezen L_m en L_{bf} erbij te betrekken.

Er geldt:

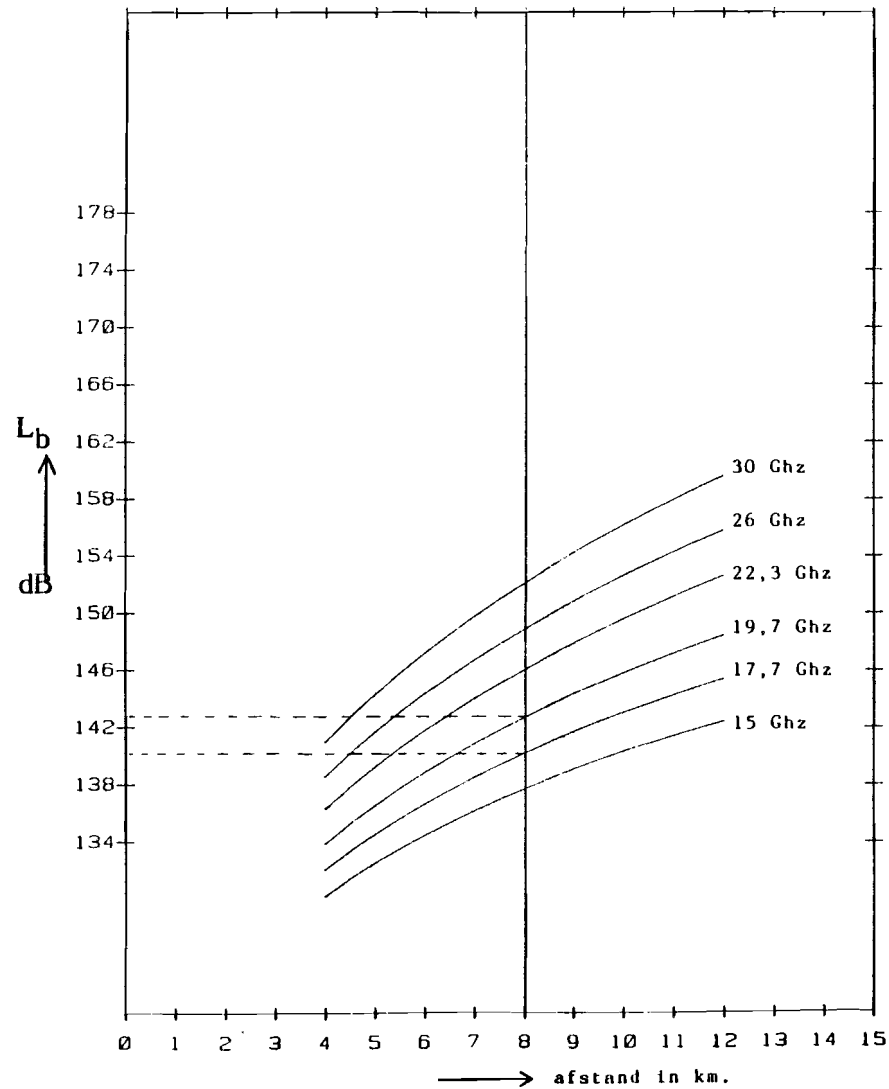
$$G \triangleq P_t - L_{a,t} - L_{a,r} + G_t + G_r - L_i - kT_N - R_b = E_b/N_0 + L_m + L_{bf} \text{ dB} \quad (5.8)$$

In Tabel 5.2 wordt G voor het up- en downstream kanaal en voor verschillende frequenties berekend.

Voor een goede kwaliteit van de datatransmissie moet gelden dat het verschil tussen de beschikbare systeemversterking en het basistransmissieverlies groter moet zijn dan de benodigde (E_b/N_0) -verhouding bij een $BER < 10^{-7}$ plus een marge om implementatiedegradaties en antennerichtfouten te voorzien. Deze marge wordt in de praktijk op 2-3 dB gehouden.



a. theoretische krommes voor 0,01% van de tijd in een gemiddeld jaar



b. theoretische krommes voor 0,1% van de tijd in een gemiddeld jaar

Fig. 5.8 : Basistransmissieverlies L_b als functie van de afstand voor verschillende frequenties.

Frequentie		$G_{t,r}$ buitenstation	$G_{t,r}$ basisstation	G upstream $P_t = -10$ dBW	G downstream $P_t = -7$ dBW
15	GHz	35 dB	18 dB	164 dB	167 dB
17,7	"	36 "	19 "	166 "	169 "
19,7	"	37 "	20 "	168 "	171 "
22,3	"	38 "	20 "	169 "	172 "
26	"	40 "	20 "	171 "	174 "
30	"	41 "	20 "	172 "	175 "

Tabel 5.2: Beschikbare systeemversterking voor het up- en downstream kanaal en voor verschillende frequenties volgens vergelijking (5.8). De waarden van de systeemvariabelen zijn conform de restricties en formules voor G_t en G_r in Tabel 5.1.

5.3.2. Keuze frequentieband

Bij de keuze van de (de)-modulatiemethode in paragraaf 5.5. wordt het theoretisch verband tussen de bitfoutenkans en de (E_b/N_0) -verhouding voor verschillende modulatie-methoden gegeven (lit. 20, pag. 416). Een richtwaarde van de benodigde (E_b/N_0) -verhouding voor de in aanmerking komende modulatie-methoden (BPSK, BFSK) wordt hierop gebaseerd. Hieruit blijkt dat 12-15 dB voor de benodigde (E_b/N_0) -verhouding voldoende is, inclusief de marge voor implementatie degradaties etc. betekent dit dat er minimaal 15-18 dB verschil nodig is tussen de beschikbare systeemversterking en het basistransmissieverlies.

We gaan uit van dezelfde modems in up- en downstream kanaal, zodat de richtwaarde voor beide richtingen geldt.

Indien we de maximale padafstand van de radioverbindingen kleiner dan of gelijk aan 8 km stellen, dan volgt uit Tabel 5.2 en fig. 5.8 dat om te voldoen aan het 0,01% uitval criterium alleen de frequentiebanden 15, 17,7 en 19,7 GHz in aanmerking komen. Omdat de beschikbare systeemversterking in het downstream kanaal hoger ligt (groter zendvermogen) kan 19,7 GHz het beste in dit kanaal worden gebruikt. De buitenstations kunnen dan uitzenden in de 17,7 GHz band. De 15 GHz band wordt verder buiten beschouwing gelaten gezien het aantal diensten dat reeds gebruik maakt van deze band.

5.4. Antennes en frequentiehergebruik

In deze paragraaf wordt onder andere een overzicht gegeven van de mogelijke ruimtelijke configuraties van het PMP-radiosysteem. Zowel een enkel PMPS-radiosysteem alsmede een cellulaire structuur van aan elkaar grenzende PMPS-radiosystemen behoren tot de mogelijkheden. Daarnaast en direct verband houdend met de ruimtelijke configuratie, komt het frequentie(her)gebruik van de draaggolffrequenties ter sprake. De antennes bij het basisstation en bij de gebruikers (buitenstations) zullen bepaalde eigenschappen nodig hebben om goed te kunnen functioneren in het totale radiosysteem. Daartoe wordt een beschouwing over het stralingsdiagram van beide type antennes noodzakelijk geacht.

5.4.1. Een enkel PMPS-radiosysteem

De oppervlakte van het gebied dat één enkel PMPS-radiosysteem dient te bestrijken is afhankelijk van de geografische bestemming en de verkeersbehoefte aldaar. Met name in Nederland mogen we aannemen dat zakelijke gebieden in steden, zoals Eindhoven of Utrecht, met één of enkele PMPS-radiosystemen met maximale padafstand van 3 km kunnen volstaan.

In principe zijn er twee mogelijke configuraties voor een enkel PMPS-radiosysteem dat geen deel uitmaakt van een frequentiehergebruik schema:

1. Met één paar draaggolffrequenties wordt vanuit het centraal gelegen basisstation een omnidirectionele dekking van het lokale gebied verkregen. Hiertoe wordt een samengesteld antennesysteem bestaande uit drie of vier sectorantennes met ieder 120° of 90° bundelbreedte in het basisstation geplaatst. Op deze wijze wordt een relatief grote en uniforme verdeling van de antennewinst verkregen (18-20 dB).
2. Met één paar draaggolffrequenties wordt vanuit het basisstation slechts een 90° of 120° sector van het lokale gebied rondom bestreken. Hiervoor is slechts één sectorantenne noodzakelijk.

Mogelijkheid 1 (Fig. 5.9a) is van toepassing indien aan ieder onderstaand punt voldaan wordt:

- de verkeersbehoefte van het lokale gebied kan worden verzorgd door één 8.448 Mbit/s radiosysteem;
- er geen rekening gehouden wordt met andere op afstand gelegen PMPS-radiosystemen;
- de verdeling van de gebruikers over de oppervlakte van het dekkingsgebied uniform is;
- het basisstation op een centrale plaats in het lokale gebied kan worden geplaatst.

Mogelijkheid 2 (Fig. 5.9b) is van toepassing indien de zakelijke gebruikers sterk geconcentreerd zijn in één sector of als het lokale

gebied rondom een zodanige verkeersdrukte geeft dat niet volstaan kan worden met slechts één basisstation met 8,448 Mbit/s transmissiesnelheid. Om dit lokale gebied te voorzien zijn dus meer PMPS-radiosystemen nodig. Deze vormen een PMP-cel of PMPC-radiosysteem. Hierbij wordt slechts één polarisatierichting per PMPS- of PMPC-radiosysteem aanbevolen omdat antennes die met twee orthogonaal gepolariseerde draaggolven werken moeilijk en duur te vervaardigen zijn.

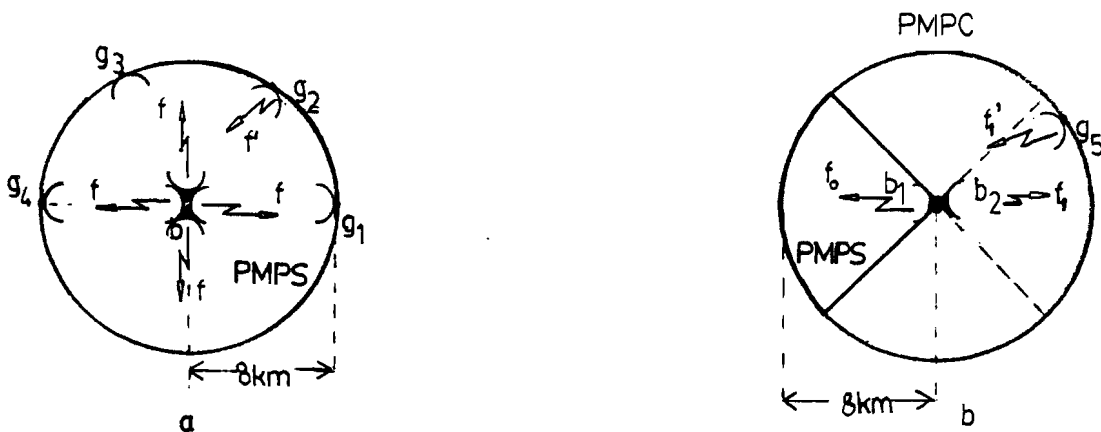


Fig. 5.9:

- Configuratie van een PMPS-radiosysteem met omnidirectionele dekking van het lokale gebied.
- Idem, echter slechts met een sectoriële dekking.
 - basisstation; g: buitenstation.

Bij toepassing in de 17,7-19,7 GHz band kunnen draaggolf frequenties toegewezen worden in elk van de "high-capacity" kanalen, zonder restricties met betrekking tot de selectie van up- en downstream kanalen (lit. CCIR, 1982, Rec. 595).

Een voorstel voor een frequentietoewijzingsplan zoals in fig. 5.10 wordt weergegeven (lit. 8) leidt tot een opsplitsing van de beschikbare bandbreedte van 2×165 MHz in een aantal (bijvoorbeeld 4 of 8) kanaalparen. Omdat het frequentieverschil tussen beide "narrowband multipoint"-gebieden vrij groot is kunnen we een zend- en ontvangfrequentiescheiding benutten van bijna 2 GHz. Hierdoor is de radiofrequente apparatuur gemakkelijker en goedkoper te fabriceren.

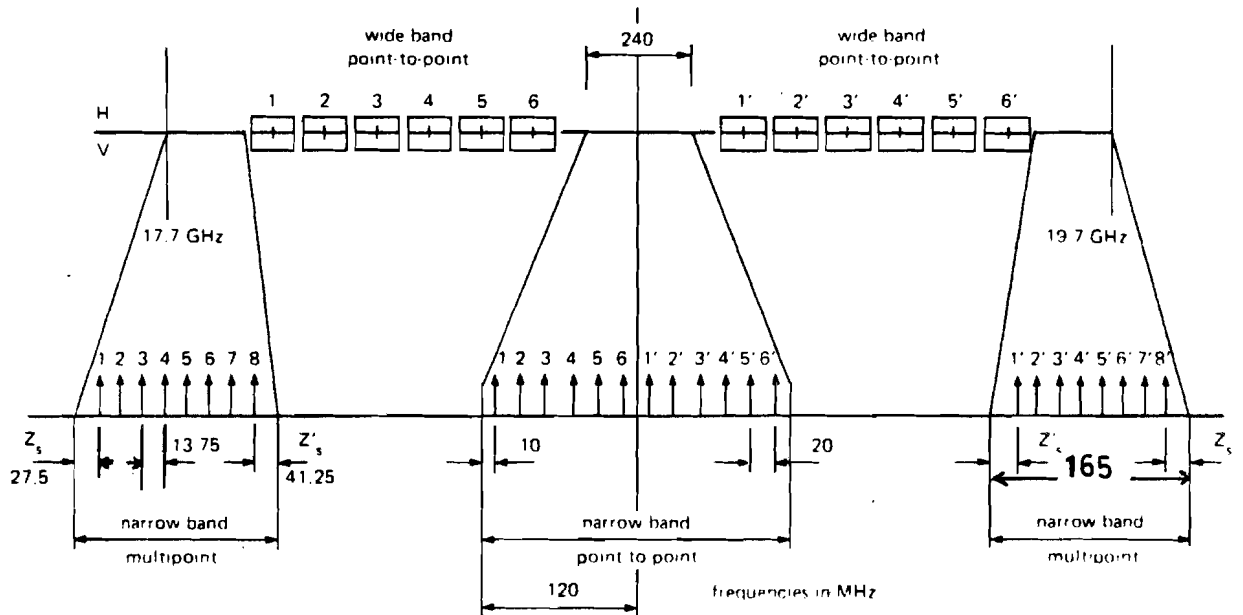


Fig. 5.10: het 17,7-19,7 GHz frequentieplan (Lit. 8)

De keuze van draaggolffrequenties voor uiteenliggende lokale PMPS-radiosystemen (die elk één stedelijk gebied bestrijken) is afhankelijk van de onderlinge afstand, de antennes, het te tolereren interferentieniveau en de grootte van de lokale gebieden.

Interferenties

Storing kan veroorzaakt worden door radiosystemen die in een aangrenzende frequentieband zenden (adjacent-channel interference) of die gebruik maken van dezelfde frequentieband (co-channel interference). Het eerste ontstaat wanneer de gemoduleerde draaggolven niet volledig van elkaar gescheiden zijn door bijvoorbeeld slechte filtering. Omdat we aan elkaar grenzende radiokanalen gebruiken dienen we hier rekening mee te houden. De filtering wordt vereenvoudigd door het grote frequentieverschil tussen het up- en downstreamkanaal.

Omdat het basisstation een of meer antennes dient te bezitten met een grote bundelbreedte, wordt de ontvanger blootgesteld aan verschillende vormen van co-channel interferentie. De waarschijnlijk belangrijkste co-channel interferentie, is afkomstig van uiteenliggende of veraf gelegen andere lokale PMPS-radiosystemen. Interferenties ten gevolge van systemen buiten de band en ten gevolge van "scattering" laten we buiten beschouwing.

Het is dus belangrijk de afstand tussen twee lokale PMPS-radiosystemen met dezelfde draaggolffrequenties te bepalen waarbij net geen storende invloed meer te verwachten is. Deze afstand wordt de minimale herhalingsafstand d_h genoemd. "Co-channel"-interferentie ten gevolge van duaal gepolariseerde radiosystemen wordt buiten beschouwing gelaten.

(S/I)-verhouding

Het kwaliteitscriterium voor interferentie-verschijnselen is de verhouding van gewenst signaal- en ongewenst interferentieniveau, de zogenaamde (S/I)-verhouding. Aangenomen wordt dat een (S/I)-waarde van ongeveer 20 dB voldoende garantie biedt op een storingsvrije ontvangst. In feite is het ook afhankelijk van de (de)-modulatietechniek welke waarde van de (S/I)-verhouding getolereerd kan worden, zodat geen noemenswaardige degradatie van de signaal/ruisvermogen en bitfoutenkans-karakteristiek optreedt (zie paragraaf 5.5.). Het samengestelde signaalniveau afkomstig van verschillende interferentiebronnen is moeilijk te bepalen, omdat deze afhankelijk is van de onderlinge correlatie. We beschouwen daartoe alleen interferenties afkomstig van één stoorzender. Inzicht in de mogelijke interferentiesituatie is noodzakelijk om de (S/I)-verhouding bij de ontvanger te kunnen bepalen voor frequentiehergebruik. Een illustratie van interfererende lokale PMPS-radiosystemen, wordt in Fig. 5.11 gegeven.

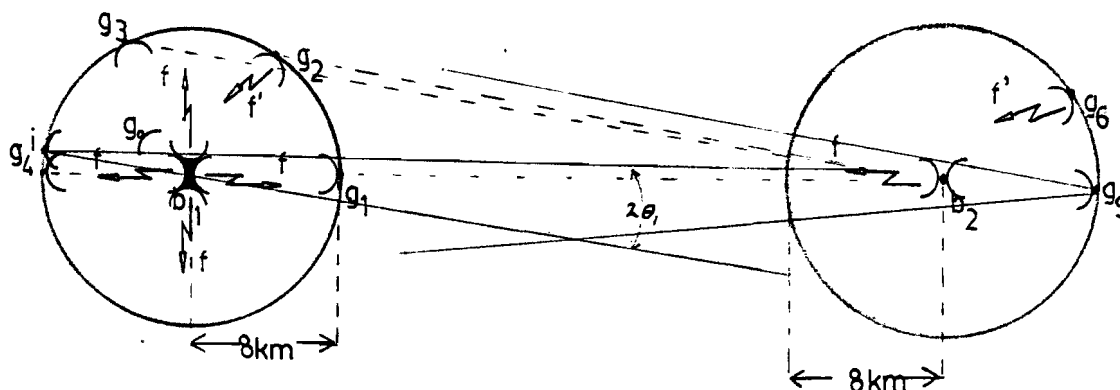


Fig. 5.11: Configuratie waarin twee nabijgelegen lokale PMPS-radiosystemen elkaar kunnen interfereren. In het punt i op de cirkel kan nog net de transmissiedraaggolf afkomstig van b_2 binnen de eerste ($2\theta_1$) zijlusbreedte ontvangen worden.

Antennes

Uit Fig. 5.11 blijkt dat de gevoeligheid voor co-channel interferentie bij de gebruikers g_0 tot en met g_4 verschillend is. De interferentie wordt sterk gereduceerd door toepassing van directionele parabolische reflectorantennes bij de buitenstations. Deze antennes hebben een kleine bundelbreedte (bijvoorbeeld 3°) en een stralingsdiagram dat erop gericht is om een zo groot mogelijke antennewinst in één bepaalde richting te geven.

Dergelijke antennes worden veel toegepast in straalverbindingen en dergelijke. Zoals in Tabel 5.1 reeds werd aangenomen kan een antennewinst van 35 tot 41 dB, afhankelijk van de frequentie, bij dit type antennes met een diameter D van ongeveer 0,5 m en rendement van 0,5 als richtwaarde aangenomen worden. Het stralingsdiagram is evenals de apertuurbelichting circulair symmetrisch, bekend uit de antennetheorie. Omdat het werkelijke stralingsdiagram van de directionele circulaire antennes niet exact bekend is en te veel details met zich meebrengt, wordt een referentiestralingsdiagram met een vereenvoudigde weergave van de zijlusomhullende volgens (lit. CCIR, 1982, Report 614-2) gegeven. Het omhullende zijlundiagram kan worden gerepresenteerd door:

$$G' = 52 - 10\log(D/\lambda) - 25\log \theta \text{ dB} \quad (5.9)$$

met:

D: diameter van de parabolische reflector in meters;

λ : golflengte in meters;

θ : hoek ten opzichte van hoofdas in graden.

Deze formule geldt voor $\theta_1 < \theta < \theta_2$

De hoek θ correspondeert met de positie van de eerste zijlus en wordt benaderd door de uitdrukking:

$$\theta_1 = 100/D\lambda$$

θ_2 geeft de hoek waarbuiten het niveau van de zijlussen niet lager wordt.

Uit (5.9) en Tabel 1 uit (lit. CCIR, 1982, Report 614-2) blijkt dat voor de frequentieband van 17,7-19,7 GHz $\theta_1 = 3^\circ$ tot $3,5^\circ$ en $\theta_2 \approx 30^\circ$.

Met $\theta_1 = 3^\circ$ en 19,7 GHz wordt uitdrukking (5.9) $G' = 25$ dB, zodat het verschil in antennewinst in de hoofdrichting (37 tot 38 dB) en de eerste zijlus ongeveer 13 dB bedraagt.

Er zijn verschillende apertuurbelichtingen mogelijk. Bij uniforme belichting van de reflector is het eerste zijlusniveau 17,6 dB lager dan de hoofdlus uit het stralingsdiagram. In werkelijkheid hebben we te maken met een minder uniforme belichting. Een belangrijk voorbeeld van een klasse van belichtingsfuncties wordt gegeven door:

$$F(r) = (1 - (2r/D)^2)^p ; p = 0, 1, 2, \dots \quad (5.10)$$

De positie van de eerste zijlus kan worden afgeleid uit de formules (5.11) en (5.12).

$$U = (\pi D / \lambda) \cdot \sin \theta \quad (5.11)$$

met:

U: variabele die de positie in het stralingsdiagram weergeeft.

$$\theta = \sin^{-1} \cdot (k\lambda / D) \quad (5.12)$$

met k : constante afhankelijk van de belichting door de feed.

Enige voorbeelden staan vermeld in Tabel 5.3. Een praktische richtwaarde voor het apertuurrendement is 0,5. Voor 19,7 GHz is de positie van de eerste zijlus bij een apertuurrendement van 0,56 en diameter van 0,5 meter gelijk aan $3,5^\circ$. In een praktische toepassing zal het eerste zijlusniveau dus zeker lager liggen dan -17,6 dB. Dit is gunstig om de interferentie te beperken. Meerweginterferentie ten gevolge van reflecties aan obstakels kan hierdoor verwaarloosd worden.

p	apertuur rendement	3dB bundelbreedte	positie 1e zijlus	niveau 1e zijlus t.o.v. hoofdlus dB
0	1.00	$1.02 \lambda/D$	$\sin^{-1} \frac{1.22\lambda}{D}$	-17.6
1	0.75	$1.27 \lambda/D$	$\sin^{-1} \frac{1.63\lambda}{D}$	-24.6
2	0.56	$1.47 \lambda/D$	$\sin^{-1} \frac{2.03\lambda}{D}$	-30.6

Tabel 5.3 : Karakteristieke gegevens van het stralingspatroon van cirkelvormige apertuurantennes voor verschillende apertuurbelichtingen volgens formule (5.10).

Daarbij gaan we uit van een tweede en hogere zijlusniveau's die lager liggen dan het eerste zijlusniveau. Dit impliceert dat zolang de interfererende radiogolven afkomstig van het basisstation b_2 in Fig. 5.11 niet binnen de eerste zijlusbundelbreedte van de directionele antennes voorkomen en het verschil in afstand tussen de gewenste en ongewenste zender ongeveer een factor twee is, dan is de desbetreffende (S/I)-waarde voldoende laag. (Bijvoorbeeld een factor 7 dB door verschil in afstand en een factor 13 dB door de directionaliteit van de antenne levert 20 dB (S/I)-verhouding.)

De meest ongunstige situatie waarin de co-channel interferentie storend kan zijn is die in de sector begrensd door de punten g_4, i en het basisstation (Fig. 5.11). Er is weinig directionaliteit van de antenne zodat om een (S/I)-waarde van ongeveer 20 dB te waarborgen bij gebruiker g_4 , het basisstation b_2 ongeveer 10 maal zo ver geplaatst dient te zijn dan de afstand tussen g_4 en het basisstation b_1 . De afstand tussen beide basisstations dient dus minimaal 72 km te zijn. Dit is in de praktijk niet nodig omdat we dan al ver over de horizon zitten. Beschouw daartoe de situatie dat de straal net over de horizon kijkt. Het raakpunt aan de aarde ligt op afstand d van de antenne en wordt gegeven door :

$$d = \sqrt{h \cdot 2R} = \sqrt{h \cdot 12,74} \text{ km} \quad (5.13)$$

met

h: de hoogte van de antenne in meters;
 R: de aardstraal met gemiddelde waarde van 6370 km;
 d: de afstand in km.

Indien de antennehoogte 30 meter is geeft dit $d = 19,5$ km.

Indien de antennehoogte 60 meter is geeft dit $d = 27,6$ km.

De invloed van de troposfeer wordt hierbij geheel verwaarloosd zodat in de praktijk afwijkingen van deze waarde kunnen optreden. De maximale direct-zicht afstand die overbrugd kan worden bij gelijke antennehoogte van 30 meter bedraagt dus 39 km. Dit is tevens de afstand tussen basisstation b_2 en buitenstation g_0 waarbij nog net storende interferentie is waar te nemen. De afstand tussen b_1 en g_0 is hierbij 3,9 km. De minimale herhalingsafstand tussen twee basisstations is dus $39 - 3,9$ km = 35,1 km.

Hierbij wordt uitgegaan van een geschikt antennehoogte-patroon en een obstakelvrije eerste Fresnelzone. Dit laatste is geïdealiseerd omdat de radiogolven langs het oppervlak op halve afstand "scheren". Indien de maximale hoogte van de basisstationantenne op ongeveer 60 meter ligt en die van de buitenstationantenne op 30 meter, is de minimale herhalingsafstand ongeveer gelijk aan 42,5 km.

In de upstreamrichting bevat niet gebruikte transmissietijd geen transmissiedraaggolf zodat gedurende die tijd geen gewenst signaal bij het basisstation binnenkomt. Buitenstations geplaatst in interfererende lokale PMPS-radiosystemen (bijvoorbeeld gebruiker g_5 , Fig. 5.11) kunnen bursts verzonden hebben die gedurende die transmissietijd bij basisstation b_1 ontvangen worden. Deze 'storing' kan alleen beperkt blijven door de afstand tussen b_1 en b_2 groter dan de maximale direct-zicht afstand te nemen (achter de horizon). Het basisstation heeft echter kennis van de niet gebruikte transmissietijd zodat er op basisbandniveau géén storing zal optreden. Gezien het grote verschil in afstand tussen buiten- en basisstation en de 15-20 dB regendempingsmarge dient een groot dynamisch bereik van hetingangssignaal mogelijk te zijn. Hierdoor is een drempelniveau waaronder signalen niet meer worden gedetecteerd in de praktijk niet erg zinvol.

Propagatieverschijnselen kunnen toch een rol spelen in de (S/I)-waarde. Indien lokale PMPS-radiosystemen op voldoende afstand ($d > d_h$) van elkaar geplaatst zijn, kan er door meerweg-propagatie of ducting toch nog een storende interferentie optreden ((S/I)-waarde kleiner dan 20 dB). Echter, er is bijna geen ducting mogelijk bij heftige regenval omdat er te veel demping op het propagatiepad veroorzaakt wordt en er geen gelaagde atmosfeer ontstaat.

De waarde van de (S/I)-verhouding neemt hierdoor meer toe naarmate de regendemping toeneemt (zie Fig. 5.12). We gaan er vanuit dat een gelaagde atmosfeer zelden voorkomt in Nederland zodat dit binnen de uitvalkans kan vallen. Bovenstaande geldt indien we de regenval, meerweg-propagatie en ducting over het gehele betreffende gebied gelijk nemen.

Regenbuien zullen vaak lokaal zijn, zodat men toch rekenschap dient te geven van dit probleem bij een uiteindelijke realisatie.

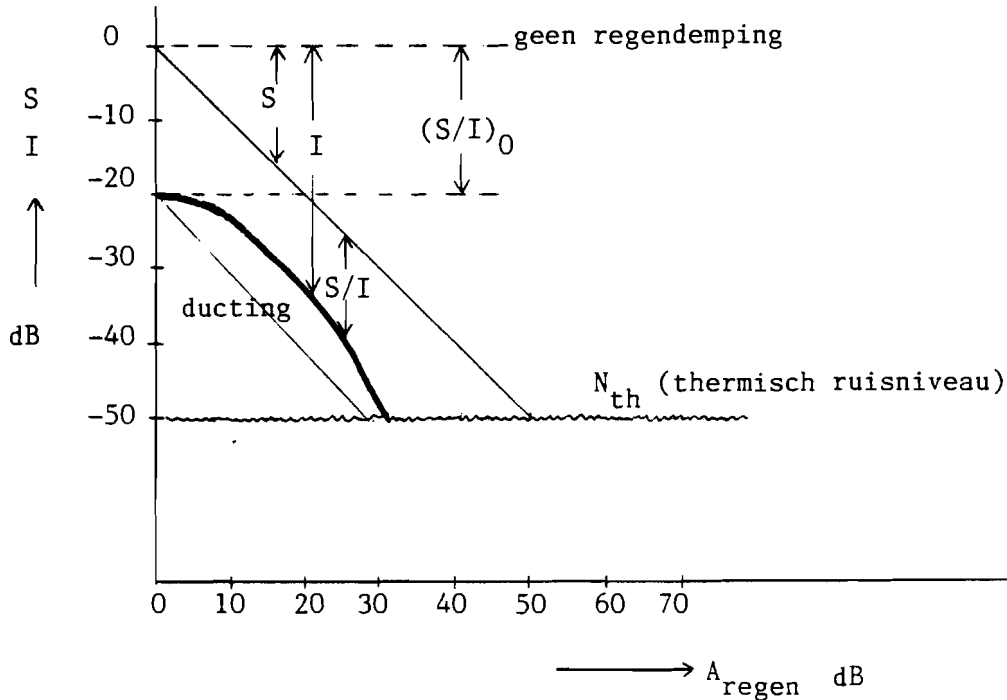


Fig. 5.12 : Ontvangen signaalniveau's als functie van de regendemping op het gewenste propagatie pad.

S: gewenste ontvangen signaalniveau ten opzichte van geen regendemping;
 I: ongewenste ontvangen signaalniveau ten opzichte van de situatie zonder regendemping en extra pad verliezen (vrije ruimte verlies is groter).

Ducting wordt hierbij verondersteld.

$(S/I)_0$: Deze waarde is in te stellen door de herhalingsafstand te variëren.

5.4.2. Toepassing in een cellulaire structuur

Indien het PMP-radiosysteem dienst moet verlenen binnen een geografisch gebied dat vele malen groter is dan het lokale gebied uit paragraaf 5.4.1. met straal 8 km, is het noodzakelijk een cellulaire structuur van aan elkaar grenzende kleine PMPC-radiosystemen toe te passen, zoals in de mobiele radiocommunicatie (lit. 16, 17).

Om te voorkomen dat deze elkaar interfereren is het noodzakelijk dat deze verschillende frequentieparen krijgen toegewezen.

Co-channel-interferentie is een belemmerende factor voor het frequentiehergebruik. De mate waarin co-channel-interferentie kan voorkomen bij de ontvangers hangt af van onder andere de onderlinge

afstand van cellen met dezelfde frequenties en de te tolereren (S/I)-waarde (20 dB is aangenomen). Het is wenselijk om de afstand tussen deze cellen te minimaliseren, omdat dit het aantal verschillende kanaalparen, benodigd voor het gehele gebied, beperkt.

De minimale herhalingsafstand d_r hangt af van de maximale reikwijdte die een basisstation in een PMPC-radiosysteem heeft, de directionaliteit van de antennes bij het buiten- en basisstation en het aantal verschillende sectoren in één PMPC-radiosysteem. De directionaliteit kan afgeleid worden uit het stralingsdiagram van de antenne zoals in paragraaf 5.4.1. is aangegeven.

Hoe kleiner de PMP-cellen zijn, des te kleiner kan ook de minimale herhalingsafstand zijn. Dit resulteert in een beter frequentiehergebruik, echter ook in een groter aantal basisstations. Het effect van de co-channel-interferentie kan worden gereduceerd door speciale en duurdere ontvangers in te zetten. Echter, zinvoller kan het zijn om een efficiënt frequentiehergebruik-schema op te stellen waarbij uitgegaan wordt van ontvangers met een bepaalde drempel voor de te tolereren (S/I)-waarde.

Een optimaal frequentiehergebruik van de vier of acht beschikbare kanaalparen in de 17,7-19,7 GHz band, leidt al snel tot het gebruik van drie of vier verschillende draaggolffparen per PMPC-radiosysteem (lit. 5, 6, 8). Dit betekent dat het lokale gebied van een cel wordt opgedeeld in drie of vier sectoren elk met een verschillend paar draaggolffrequenties en één basisstation. De basisstation-antennes hebben daarbij een stralingsdiagram dat zo veel mogelijk overeenkomt met het te bedekken gebied. Voor de hogere frequentiebanden (22,3 of 26 GHz) is de noodzaak van een frequentiehergebruik-schema toegepast in de cellulaire structuur, minder (voldoende bandbreedte).

Bij kleinere afstanden (bijvoorbeeld 5 km) is volgens Fig. 5.8 en Tabel 5.2 het linkbudget zodanig dat 22,3 GHz mogelijk wordt voor toepassing.

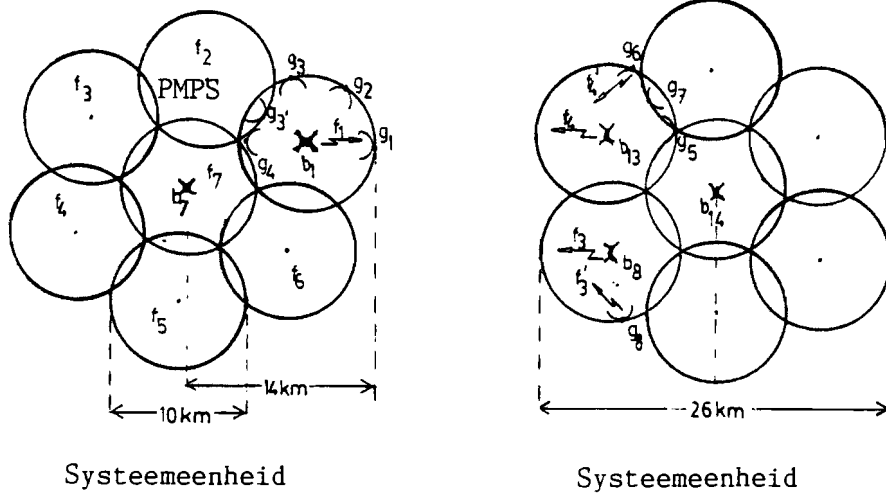
De niet te verwaarlozen gasdemping bij 22,3 GHz (0,2 dB/km) zal d_r doen verkleinen. Nadeel is echter dat de radiofrequente apparatuur bij hogere frequenties duurder wordt.

Een economisch verantwoord ontwerp van een samengesteld PMP-radiosysteem vereist primair een juiste afweging van de celgrootte, de frequentieband, het aantal benodigde frequentieparen in die band om het gehele gebied te bestrijken zonder storende interferentie, het aantal PMP-systemen, het aantal sector antennes bij het basisstation etc..

Hierdoor is het aantal basisstations (met elk 8,448 Mbit/s) per PMP-radiosysteem en het aantal gebruikers per basisstation sterk kosten bepalend.

Derhalve wordt in de figuren 5.13 tot en met 5.15 een drie-tal systeemconfiguraties aangegeven, elk geschikt voor een specifieke toepassing. In deze configuraties heeft een basisstation resp. een omnidirectionele, een 120° sector of een 90° sector dekking.

In Tabel 5.4 worden de karakteristieken van deze systeemconfiguraties vermeld. Hieruit blijkt dat een keuze van een geschikt systeem afhangt van de verkeersstructuur, het verkeersaanbod en de kosten.



Systeemeenheid

Systeemeenheid

Fig. 5.13 : Cellulaire PMP-systeemconfiguratie.

Gebaseerd op zeven cellen per gebied met in iedere cel een verschillend paar draaggolf frequenties.

Als voorbeeld wordt de diameter 10 km genomen zodat 22 GHz of 17,7-19,7 GHz toegepast kan worden.

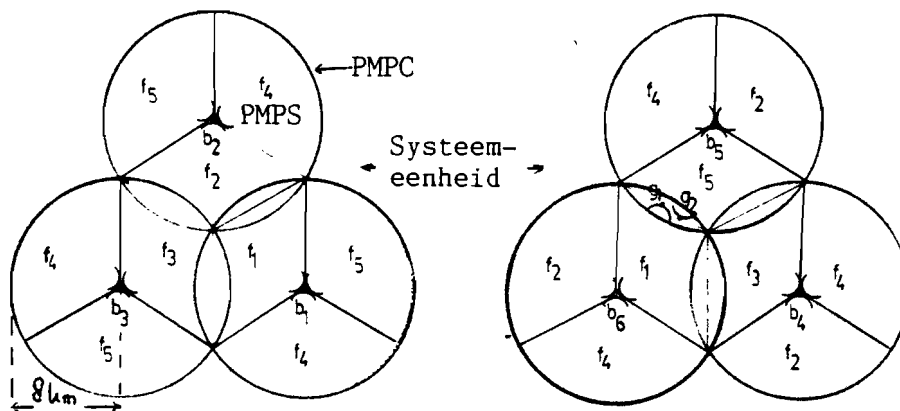


Fig. 5.14 : Cellulaire PMP-systeemconfiguratie.

Gebaseerd op drie cellen per gebied met in iedere cel drie verschillende sectoren.

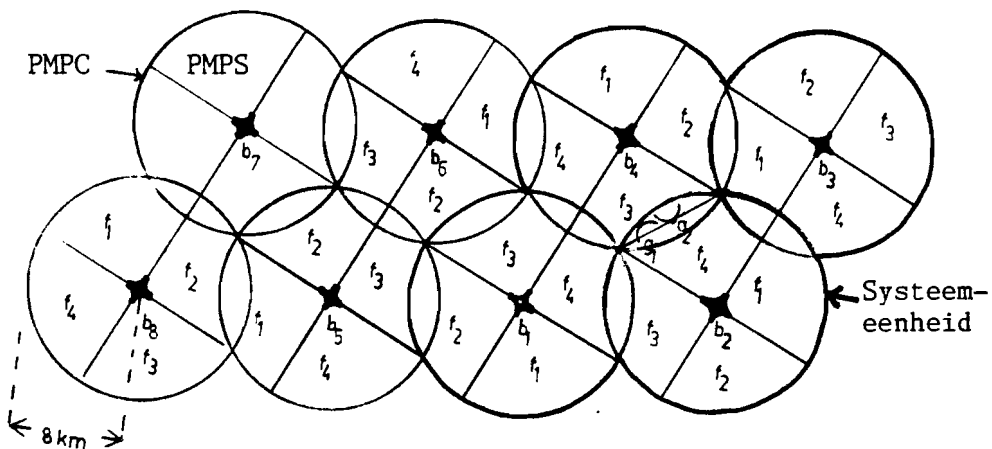


Fig. 5.15 : Cellulaire PMP-systeemconfiguratie.

Gebaseerd op een rechthoekige sectorindeling van het totale te bestrijken gebied. Vier cellen per systeemeenheid, vier sectoren per cel, totaal vier verschillende draaggolfparen.

Systeemconfiguratie	Fig. 5.13	Fig. 5.14	Fig. 5.15
celgrootte (diameter)	10 km	16 km	16 km
frequentieband	17,7-19,7 GHz of 22 GHz	17,7-19,7 GHz	17,7-19,7 GHz
aantal cellen per systeem-eenheid	7	3	4
aantal PMPS-radio-systemen per systeem-eenheid	7	9	16
dekkingsgebied van 1 PMPS-radiosysteem	omnidirectioneel (4 90°-antennes)	120° sector	90° sector
totaal aantal paren draaggolffrequenties per systeem-eenheid	7	5	4
benodigde afstand tussen de systeem-eenheden	nagenoeg aan elkaar grenzend	nagenoeg aan elkaar grenzend	geheel aansluitende systeem-eenheden mogelijk
voordelen	slechts 1 basisstation per cel	beperkt aantal draaggolffrequenties	efficiënt bandbreedte gebruik, grote capaciteit p.cel
nadelen	inefficiënt bandbreedte gebruik, geringe capaciteit p.cel	veel PMPS-radiosystemen, lage antennewinst (basisst.)	veel PMPS-radio-systemen per systeem-eenheid
toepassingen	lokale gebieden met lage verkeersdichtheid. Beginfase van het PMP-radiosysteem	lokale gebieden met hoge verkeersdichtheid	cellulaire structuur van een groot gebied met zeer grote verkeersdichtheid

Tabel 5.4 : Karakteristieke gegevens van een drietal systeemconfiguraties. Een systeem-eenheid bestaat uit een groep elkaar overlappende PMPC-radiosystemen met een bepaald frequentiehergebruik patroon.

De zeven cellen in Fig. 5.13 (lit. 18) hebben verschillende frequentieparen zodat de belangrijkste interferentie oorzaak andere binnen de minimale herhalingsafstand geplaatste samengestelde PMP-radiosystemen ("systeemeenheid") zijn.

Vanwege de omnidirectionele dekking per cel is dit te vergelijken met Fig. 5.11, waar een gebied van één lokaal PMP-radiosysteem kan worden voorzien.

De herhalingsafstand tussen de samengestelde cellulaire structuren kan verkleind worden door, afhankelijk van de geografische situatie, de zeven frequentieparen optimaal te verdelen (per cellulair systeem). Door gebruiker-antennes (zoals g_7) in de overlappingsgebieden te laten richten van mogelijke andere cellulaire structuren af, kan door de directionaliteit van de buitenstation antennes de afstand tussen b_7 en b_{14} worden verkleind (onafhankelijk van de direct-zicht afstand). Door overlappingsgebieden groter te maken wordt dit versterkt en tevens verbetert dit de mogelijkheden om padblokkerings-problemen te voorkomen.

In Fig. 5.14 wordt elke PMP-cel onderverdeeld in drie sectoren, elk met een apart basisstation en frequentiepaar. Er zijn totaal vijf verschillende frequentieparen benodigd om interferenties te beperken. Er ontstaat in deze configuratie een driehoeksstructuur (drie cellen per systeemeenheid). Interferentie tussen de verschillende sectoren in één cel wordt verwaarloosbaar geacht indien de filterkarakteristiek van de ontvangers voldoende scherp is (ruimtelijke scheiding antennes). De interferentie tussen de cellen is voldoende klein door de directionaliteit van de sector-antennes bij het basisstation en de parabolische antenne bij het buitenstation (en de pad-afstand). Gezien de overlappende structuur van de cellen kunnen ook hierdoor bepaalde padblokkerings-problemen voorkomen worden (gebruikers g_1 en g_2).

Hierbij geldt dus weer dat afhankelijk van de geografische situatie, de vijf verschillende frequentieparen optimaal verdeeld kunnen worden over het driehoekige gebied zodat geen inter-systeem-interferentie optreedt van enig belang. De twee PMP-radiosysteem-structuren kunnen praktisch aan elkaar grenzen.

In Fig. 5.15 kan op basis van een rechthoekige sectorindeling van het totale te bestrijken gebied volstaan worden met vier verschillende frequentieparen (lit. 5, 8). Elke PMP-cel wordt opgedeeld in vier 90° sectoren waarbij vier cellen één aparte systeemeenheid (donkere rand) vormen. De frequentietoewijzing wordt per systeemeenheid periodiek herhaald. Hierdoor worden de interferenties (met name de inter-systeem-interferentie) door dezelfde factoren als bij Fig. 5.14 beperkt.

5.5. (De-)modulatiemethode

De selectie van een digitaal (de-)modulatiesysteem is belangrijk voor het ontwerp van een radio datatransmissiesysteem, in het bijzonder wanneer de toegangsverlening volgens het TDMA-principe wordt gekozen. Primair uitgangspunt is dat de modem (modulator en de demodulator) eenvoudig en goedkoop dient te zijn. Op grond hiervan en van de (ruime) bandbreedte die ter beschikking staat in de 17,7-19,7 GHz band en 22,3 GHz band kunnen in de praktijk binaire modulatie technieken worden toegepast, zoals BPSK, BFSK of BASK (Binary Phase-, Frequency, Amplitude,- Shift Keying) (lit. 19, 20, 21, 22).

Om tot een keuze te kunnen komen werden de volgende factoren van belang geacht:

1. bandbreedtebeperkingen en -efficiëntie;
2. vermogensbeperkingen en -efficiëntie;
3. coherente of niet-coherente detectie;
4. synchronisatie van de datatijd klok;
5. complexiteit van de modem;
6. oscillatorstabiliteit;
7. interferentiegevoeligheid.

5.5.1. Bandbreedtebeperkingen en -efficiëntie

De bandbreedtebeperking komt direct voort uit de aanbevolen frequentieafstand tussen radiokanalen in de 17,7-19,7 GHz band. Voor de 22 GHz band en hogere banden zijn de frequentieafstanden tussen radiokanalen niet of nauwelijks aanbevolen (CCIR, 1982, Report 936). De bandbreedte- of spectrumefficiëntie, uitgedrukt in (bit/s)/Hz, bepaalt de bandbreedte B die een systeem benodigt bij een bepaalde bitfrequentie f_b . Uit Fig. 5.10 blijkt dat 165 MHz aan bandbreedte beschikbaar is. Met 8 radiokanalen wordt per kanaal 13,75 MHz aanbevolen (lit. 8), terwijl er ongeveer 20 MHz beschikbaar is. De benodigde spectrumefficiëntie hierbij is dus minimaal:

$$\frac{f_b}{B} = \frac{8,448 \cdot 10^6 \text{ Mbit/s}}{13,75 \cdot 10^6 \text{ Hz}} \approx 0,61 \text{ (bit/s)/Hz} \quad (5.14)$$

Door een efficiënt frequentiehergebruik-schema met 4 paar radiokanalen (Fig. 5.15) kan de beschikbare bandbreedte per radiokanaal verdubbeld worden tot 27,5 MHz. Het PMP-radiosysteem wordt echter flexibel gehouden zodat alle verschillende systeemconfiguraties (Tabel 5.4) ook toegepast kunnen worden. Bovendien zijn extra radiokanalen nodig voor uitbreiding van de transmissiecapaciteit, door plaatsing van een tweede parallel PMPS-radiosysteem. Een bandbreedtebeperking van minimaal 13,75 MHz wordt hierdoor toch als uitgangspunt genomen voor de 17,7-19,7 GHz band. De theoretische spectrumefficiëntie van BPSK modems is 1 bit/s/Hz, zoals uit Fig. 5.16a blijkt. Met gebruikmaking van praktische filters wordt een spectrumefficiëntie van 0,77 bit/s/Hz bereikt, zoals uit Fig. 5.16b blijkt ($\alpha = 0,3$ roll-off karakteristiek (lit. 21)). BPSK- en BASKmethoden hebben in de praktijk ongeveer dezelfde

spectrumefficiëntie 0,5-0,8 bit/s/Hz, terwijl BFSK een lagere spectrumefficiëntie heeft (lit. 20). Hierdoor voldoet BFSK niet aan de bandbreedtebeperking gesteld voor de 17,7-19,7 GHz band.

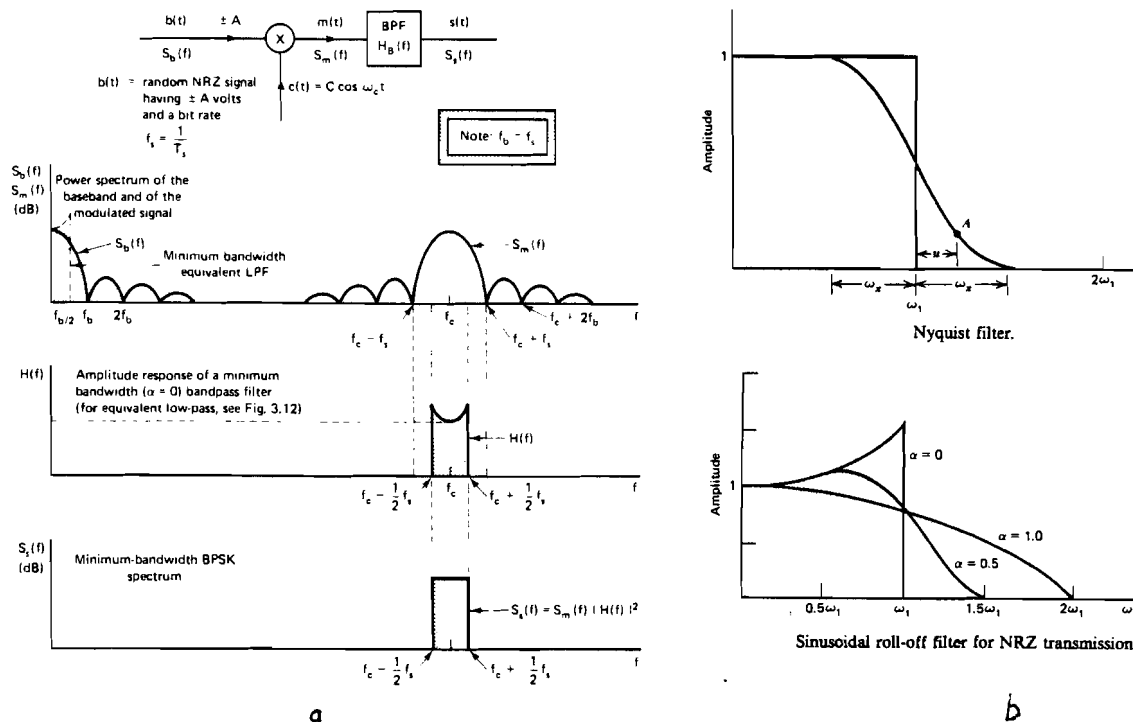


Fig. 5.16a : Spectrum van ongefilterd en gefilterd BPSK (lit.21)
 Fig. 5.16b : Nyquist-filter en sinusoidaal roll-off filter voor Non Return Zero (NRZ) transmissie (lit. 22)

5.5.2. Vermogensbeperking en -efficiëntie

De vermogensbeperking wordt gegeven door de maximaal beschikbare (E_b/N_0) -verhouding in het linkbudget volgens (5.3). De vermogensefficiëntie van een (de-)modulatiemethode komt tot uiting in het verband tussen de bitfoutenkans en de (E_b/N_0) -verhouding. In Fig. 5.17 worden derhalve voor verschillende binaire (digitale) modulatiemethoden de theoretische bitfoutenkans (BER)-krommen gegeven. De aangenomen richtwaarde voor het verschil tussen beschikbare en benodigde systeemversterking in paragraaf 5.3. werd hierop gebaseerd.

Uitgaande van een bitfoutenkans van 10^{-7} en de maximaal beschikbare (E_b/N_0) -verhouding, kan een keuze van de modulatiemethode worden gemaakt. Met 17,7 GHz in het upstreamkanaal is, volgens Fig. 5.8 en Tabel 5.2 in paragraaf 5.3 tot een afstand van 8 km een (E_b/N_0) -verhouding van minimaal 16 dB beschikbaar. Met 19,7 GHz in het downstreamkanaal is dit ook ongeveer 16 dB. Voor de 22 GHz band is tot een afstand van 5 km in het upstreamkanaal minimaal 18 dB en in het downstreamkanaal minimaal 21 dB beschikbaar.

Uit Fig. 5.17 blijkt dat alle aangegeven modulatiemethoden behalve niet-

coherente ASK, voldoen aan genoemde vermogensbeperkingen.

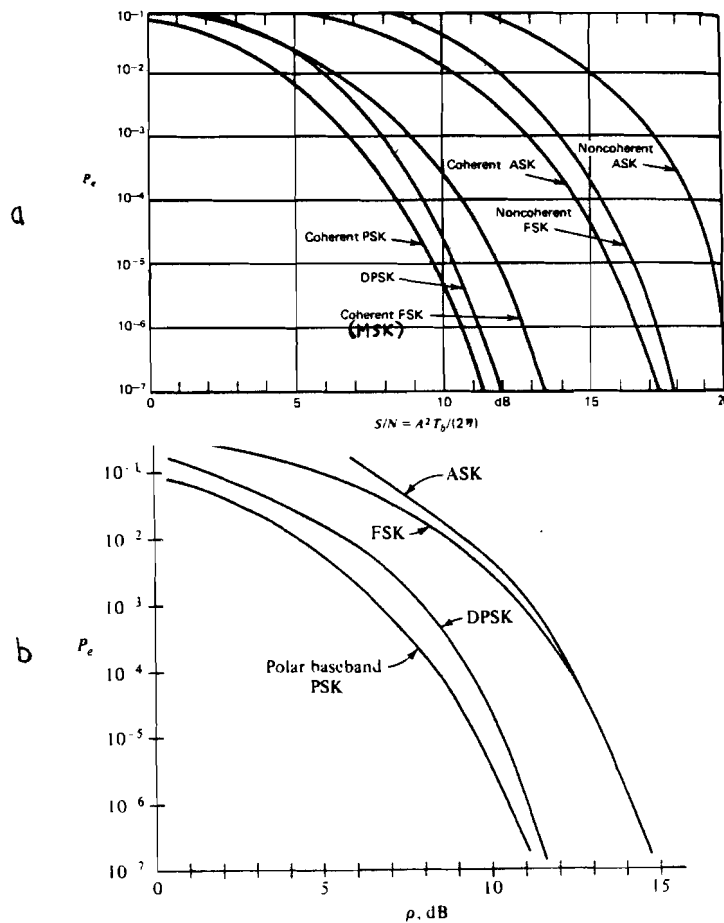


Fig. 5.17 : Theoretische bitfoutenkans als functie van de ontvangen
a. signaalruisverhouding aan de ingang van de beslissingsdetector
(Lit. 20);

b. (E_b/N_0) -verhouding (ρ)

voor verschillende binaire modulatie technieken (lit. 19).

Gemiddeld signaalvermogen voor ASK: $A^2/4$,

$S/N = 2 E_b/N_0$ voor NCFSK en $S/N = E_b/N_0$ voor DPSK.

T_b : bittijd; η : ruisdichtheid

DPSK: differentieel-coherente PSK

5.5.3. Detectie en synchronisatie

Zoals in hoofdstuk 4. werd vermeld vindt de transmissie van de buitenstations naar het basisstation plaats in de "burst-mode". De in het basisstation binnenkomende draaggolven zijn dus niet onderling coherent. Bij toepassing van coherente detectie in het basisstation is een trage en gecompliceerde draaggolfterugwinning (Phase Locked Loop, PLL) noodzakelijk zodat een relatief lange tijdsduur per burst voor het in vergrendeling geraken van de demodulator aanwezig is. Een snelle en goedkope burst-mode generator kan worden verwezenlijkt door

differentieel-coherente detectie of niet-coherente detectie toe te passen. Eerstgenoemde detectiemethode wordt bij PSK-systemen toegepast (zoals in Fig. 5.18 voor DPSK) terwijl de tweede methode bij ASK en FSK systemen gebruikt wordt (Fig. 5.19).

Een differentieel binair digitaal FSK-systeem met "Partial Response Detection" zoals in (lit. 7) is aangegeven kan een beter alternatief zijn voor ASK in de frequentiebanden van 22 GHz of hoger. Dit modulatiesysteem is optimaal voor bursttransmissie. De degradatie in de kwaliteit ten gevolge van frequentie- en amplitudevariaties wordt in dit systeem door de differentiële codering gecompenseerd. Dit systeem is echter gecompliceerder dan de ASK-techniek en voldoet niet aan de gestelde bandbreedtebeperking voor de 17,7-19,7 GHz band.

Omdat geen draaggolf teruggewonnen hoeft te worden treedt het "in fase locken" binnen zeer korte tijd op. De klokterugwinning kan ook in een redelijke korte tijd (bijvoorbeeld 2 bytes) geschieden. In Appendix B wordt daartoe voor een DQPSK (de-)modulatie systeem een richtwaarde van de acquisitietijd gegeven gebaseerd op verrichte metingen (ongeveer 10 bits). Dit betekent dat de bandbreedte-efficiëntie kan worden vergroot ten opzichte van coherente detectiemethoden.

Omdat de fasecontrole niet bij de buitenstations maar bij het basisstation gebeurt, kunnen de kosten per buitenstation worden gereduceerd. Nadelig is echter de 1 à 3 dB degradatie in de BER- (E_b/N_0) -karakteristiek ten opzichte van coherente detectie.

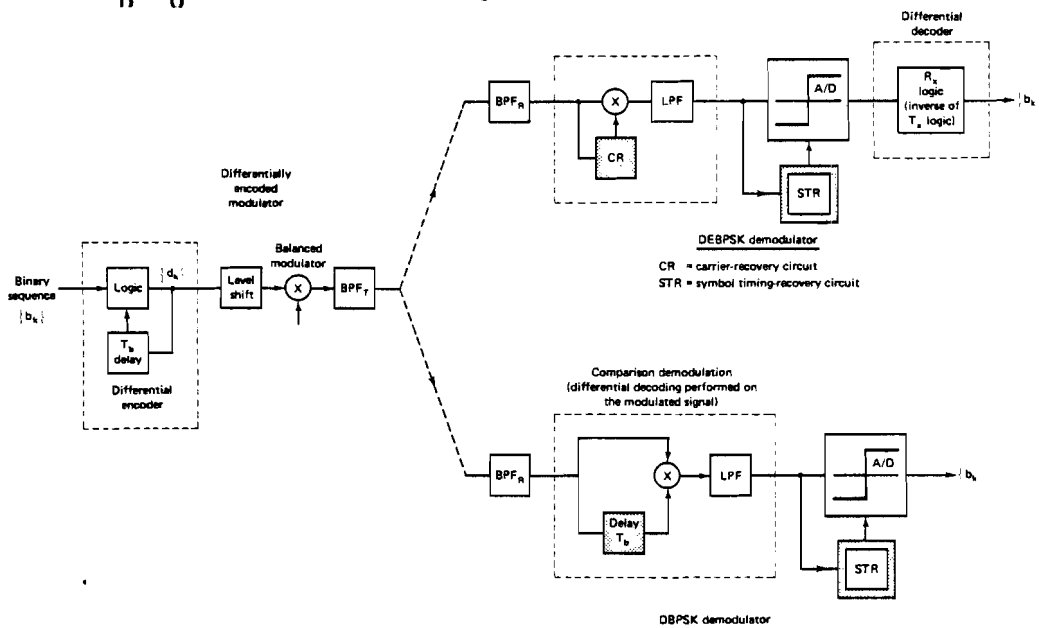


Fig. 5.18 : Differentieel gecodeerde BPSK modulator gevolgd door coherente en differentieële detectie (DBPSK) uit (lit. 21) •

Hierbij wordt de datastroom differentieel gecodeerd, zodat alleen het verschil tussen twee opeenvolgende ontvangen bits van belang is en niet de waarde van deze bits. Het faseprobleem in de teruggewonnen draaggolf wordt hiermee vermeden.

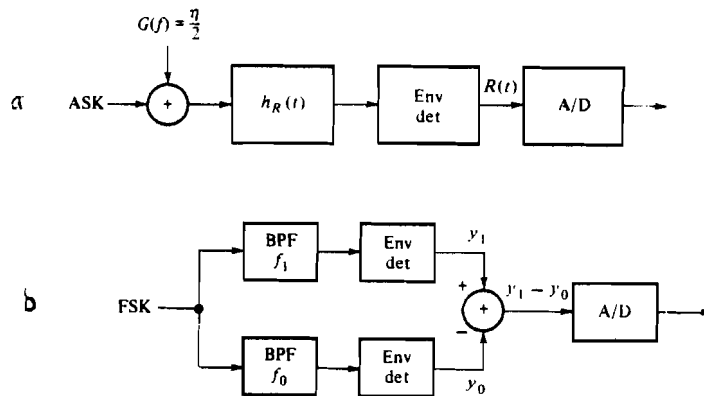


Fig. 5.19 a,b : Niet-coherente detectie van BASK resp. BFSK (lit. 19)

Transmissie van het basisstation naar de buitenstations wordt op andere wijze voorgesteld, namelijk op basis van één continue draaggolf met TTM. Burstsynchronisatie is erg belangrijk in het TDMA-systeem. De timing van de uit te zenden bursts bij het buitenstation kan centraal of decentraal gesynchroniseerd worden. Laatstgenoemde methode vereist bij elk buitenstation uiterst nauwkeurige en dure tijdapparatuur. Voorgesteld wordt om de netwerksynchronisatie door één klokoscillator van het basisstation te verzorgen. Dit betekent dat elk buitenstation een synchroon signaal moet ontvangen waarmee de zendtiming verzorgd wordt (referentie burst). Ook klokintegriteit dient behouden te blijven in de datastroom in de downstream richting om de ontvangen data snel te kunnen inlezen. Hierdoor kan het kloksignaal door middel van een conventionele regenerator teruggewonnen worden (zelf-synchronisatie). De eenvoudigste manier om dit te bereiken is een continu TDM-signaal vanuit het basisstation naar alle buitenstations te verzenden. Elk buitenstation ontvangt alle signalen en accepteert en decodeert alleen de aan hem geadresseerde datatijdsleuven. Het buitenstation kan dus in principe coherente detectie toepassen. Gezien de grotere complexiteit (draaggolf-terugwinning) hiervan en de gewenste uniformiteit van de modems in het up- en downstreamkanaal wordt coherente detectie echter niet overwogen.

5.5.4. Complexiteit en oscillatorstabiliteit

Bij hoge microgolf frequenties (>10 GHz) wordt de prijs van een buitenstation voornamelijk bepaald door het radiofrequente deel (RF-unit). Toepassing van een geïntegreerde microgolftechniek is economisch gezien zeer geschikt. De omvang van de apparatuur wordt gereduceerd door het gebruik van "Microwave Integrated Circuit" (MIC)-technologie in alle radiofrequente onderdelen zoals mixer, modulator, circulator, oscillator.

Oscillatorstabiliteit is een belangrijk criterium voor modems. De hoogste relatieve stabiliteit in beschikbare MIC-oscillatoren is ongeveer 10^{-4}

(voor 5° C - 60° C) in een 26 GHz band (lit. 5, 9). Een normale standaardwaarde voor de frequentiestabiliteit tot 1 GHz met standaard quartz kristallen is ongeveer $2 - 5 \cdot 10^{-5}$ over een -30° C tot +60° C temperatuurbereik (CCIR, 1982, Report 785-1).

Een frequentiestabiliteit van $5 \cdot 10^{-5}$ in de 17,7-19,7 GHz band kan worden bereikt door gebruikmaking van goedkope Gunn-effect microgolfbronnen, lokaal gestabiliseerd door een frequentiereferentie-circuit (lit. 8). Bij 20 GHz geeft dit een absolute frequentieafwijking van ongeveer 1 MHz. Gezien de frequentie-afstand tussen de radiokanalen van 13,75 MHz en de spectrumefficiëntie van ongeveer 0,77 bit/s/Hz kan een afwijking van 1 MHz getolereerd worden.

Indien MIC-technologie wordt toegepast bij frequenties hoger dan 20 GHz, dan is de haalbare frequentiestabiliteit voor BPSK en BFSK ontoereikend (lit. 5). BASK vereist hierbij een lagere frequentiestabiliteit zodat deze op grond hiervan zou kunnen worden toegepast. BASK werd echter reeds vanwege de vermogensbeperking niet geschikt bevonden.

5.5.5. Interferentiegevoeligheid

Zoals in paragraaf 5.4. werd vermeld kan door een goed frequentiehergebruik patroon en juiste positionering van de buitenstationantennes, co-channel-interferentie beperkt blijven. Co-channel-interferentie heeft invloed op de BER-karakteristieken en modems. De hierdoor geïntroduceerde degradatie in de BER-karakteristiek voor een DBPSK modem is kleiner dan 1 dB bij een (S/I)-verhouding van 20 dB en een BER van 10^{-7} (Fig. 5.20) en is dus niet erg van belang.

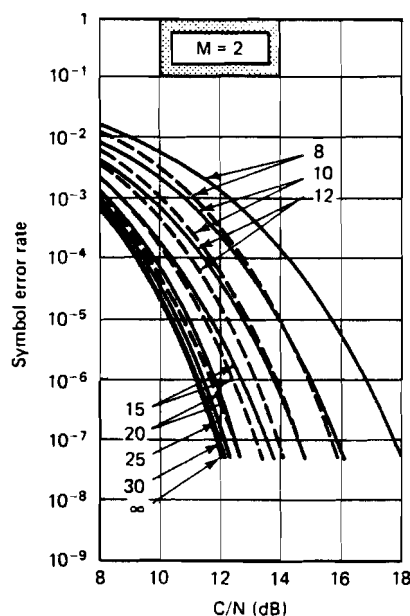


Fig. 5.20 : BER-kromme voor een DBPSK modem met de (S/I)-verhouding als parameter (lit. 21). Het gewenste signaal wordt gestoord door gausische ruis en interferentie. De interferentie is hierbij afkomstig van één sinusvormig signaal en wordt gekarakteriseerd door de piekwaarde van de interfererende omhullende. Vergelijk Fig. 5.17a.

5.5.6. Evaluatie

Een vergelijking van binaire modulatiemethoden wordt in Tabel 5.5 gegeven. Met de gegevens hieruit en de voorgaande behandelde punten kunnen we vier mogelijkheden afbakenen voor een keuze van een geschikte modulatiemethode.

Bij toepassing van de economische MIC-technologie wordt DBPSK in de 17,7-19,7 GHz band als beste oplossing gezien. Nyquist-filtering kan worden toegepast in de demodulator zoals in Fig. 5.18 (LPF) is aangegeven. Voor het bandpassfilter in de (de-)modulator (BPF) kan een $\alpha = 0,3$ roll-off filter worden toegepast. In de 22 GHz band kan DFSK toegepast worden.

Bij toepassing van conventionele microgolftechnieken wordt DBPSK in de 17,7-19,7 GHz band ook als oplossing gezien. In de 22 GHz band wordt in deze situatie BFSK met niet coherente detectie geschikt geacht. Basisband (pre-modulatie en post-modulatie) filtering met eenvoudige (vijf elements) lowpass filters kan hier bij gebruikt worden.

Scheme	$s_1(t), s_2(t)$	BW	P_e	S/N for $P_e = 10^{-4}$ (dB)	Equipment complexity	Comments
Coherent ASK	$s_1(t) = A \cos \omega_c t$ $s_2(t) = 0$ $\omega_c = k 2\pi r_b$ k -integer	$\approx 2r_b$	$Q\left(\sqrt{\frac{A^2 T_b}{4\eta}}\right)$	14.45	Moderate	Rarely used $T_{\#} = A^2 T_b / 4$
Noncoh. ASK	Same as above	$\approx 2r_b$	$\frac{1}{2} \exp\left\{-\frac{A^2 T_b}{16\eta}\right\}$	18.33	Minor	$T_{\#} = A/2$ $P_{e0} \neq P_{e1}$
Coherent FSK (MSK)	$s_1(t) = A \cos(\omega_c - \omega_d)t$ $s_2(t) = A \cos(\omega_c + \omega_d)t$ $2\omega_d = 1.5\pi r_b$	$> 2r_b$	$Q\left(\sqrt{\frac{0.61 A^2 T_b}{\eta}}\right)$	10.6	Major	Seldom used; performance does not justify complexity $T_{\#} = 0$
Noncoh. FSK	Same as above $2\omega_d = (k 2\pi) r_b$	$> 2r_b$	$\frac{1}{2} \exp\left\{-\frac{A^2 T_b}{8\eta}\right\}$	15.33	Minor	Used for slow speed data transmission; poor utilization of power and bandwidth $T_{\#} = 0$.
Coherent PSK	$s_1(t) = A \cos \omega_c t$ $s_2(t) = -A \cos \omega_c t$ $\omega_c = k 2\pi r_b$	$\approx 2r_b$	$Q\left(\sqrt{\frac{A^2 T_b}{\eta}}\right)$	8.45	Major	Used for high speed data transmission. $T_{\#} = 0$; best overall performance, but requires complex equipment
DPSK	Same as above with differential coding	$\approx 2r_b$	$\frac{1}{2} \exp\left(-\frac{A^2 T_b}{2\eta}\right)$	9.30	Moderate	Most commonly used in medium speed data transmission. $T_{\#} = 0$; errors tend to occur in pairs

P_e —Prob. of error; A —carrier amplitude at receiver input; $\eta/2$ —two-sided noise psd; T_b —bit duration; r_b —bit rate; $f_c = \omega_c/2\pi$ —carrier frequency; $T_{\#}$ —threshold setting; $S/N = A^2/2\eta r_b$; $P_{e0} = P(\text{error}|0 \text{ sent})$; $P_{e1} = P(\text{error}|1 \text{ sent})$.

Tabel 5.5 : Vergelijking van binaire digitale modulatiemethoden (lit. 20)

5.6. Evaluatie

In onderstaande tabel wordt een kort overzicht gegeven van de in dit hoofdstuk belangrijkste uitgangspunten, aangevuld met enige algemene gegevens van het PMP(S)-radiosysteem.

	Commentaar	Gegevens : 2 verschillende configuraties	
Frequentie-band	upstream	17,7 GHz	21-22 (21,3) GHz
	downstream	19,7 GHz	22-23 (22,3) GHz
Reikwijdte	straal van PMP-cel is maximaal	8 km	5 km
Toepassing	waar	lokaal gebied enkele stad	groot stedelijk gebied d.m.v. cellulaire structuur van PMP-cellen te bedekken
	aantal PMP-cellen per lok. gebied	1-3	
	verkeersaanbod	gering ($R=0,2-0,6E$)	groot ($R=0,6-1,0 E$)
	wanneer	beginfase van het radiosysteem	later stadium
	oppervlakte	cirkel met straal 8 km tot 25x25 km ² (3 cellen)	25x25 km ² (7 cellen) tot onbeperkt (4 PMPS per PMPC)
Uitbreiding van transm. cap. door:	1. opdelen van PMP-cel gebied in sectoren 2. extra PMPS-systeem in sektor of cel (parallel)	1. en 2.: het max. aantal radiokanalen in de 17,7-19,7 GHz band is 8 (x 2)	1. en 2.: gemakkelijk door grote bandbreedte in de 22 GHz band; veel radiokanalen beschikbaar
Aantal PMPS-radiosystemen per PMP-cel	het dekkingsgebied per PMPS-syst. varieert van 90° tot 360°	1-3	1-4
(De-)modulatie methode	modem is hetzelfde in up- en downstreamkanaal	DBPSK (differentiële detectie)	1. DFSK (differentiële detectie) 2. BFSK (niet coherent)
MIC-technologie		ja	1. ja (DFSK) 2. nee (BFSK)
Kwaliteit van dataoverdr.	gebaseerd op linkbudget	$BER < 10^{-7}$ zonder foutencontrole, voor 99,99% van de tijd dat een verbinding "in" is	

6. MULTIPLE ACCESS VIA HET DA-TDMA SYSTEEM

Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van de multiple access-methode die voor toepassing in het PMPS-radiosysteem geschikt is. Allereerst worden de redenen voor toepassing van een TDMA systeem met toewijzing op verzoek aangeduid. Vervolgens worden de taken en functies van dit systeem gegeven waarna een beschrijving van het algemene netwerkprotocol volgt. Hierin worden onder andere de toewijzing van transmissiecapaciteit aan de gebruikers en de signalering in het systeem behandeld. Tenslotte wordt de opbouw van de frames in het TDMA en het TDM basisbandsignaal besproken.

6.1. Redenen toepassing DA-TDMA systeem

Wanneer een aantal gebruikers op verzoek gebruik kan maken van hetzelfde transmissiekanaal, dan spreekt men van Multiple Access met Demand Assignment (DAMA). Dit betekent dat de totale benodigde transmissiecapaciteit beperkt kan blijven, omdat de gebruikers het gemeenschappelijke kanaal delen.

Het verkeersaanbod en de gewenste connectiviteit (hoofdstuk 2) geven aanleiding tot toepassing van een DAMA systeem, omdat de gewenste datasnelheden en connectiviteit aanzienlijk fluctueren in de tijd. De keuze van de totale transmissiecapaciteit en dus ook van de transmissiesnelheid was hierop gebaseerd zodat bij een verkeersaanbod van $R < 1$ een goede dienstverlening verwacht kan worden. Bovendien noodzaakt de bandbreedtebeperking in de 17,7-19,7 GHz band (13,75 MHz per radiokanaal) ons om de totale transmissiesnelheid beperkt te houden. Bij toepassing van de 22 GHz band is de noodzaak van een DAMA systeem minder, gezien de grote bandbreedte. Hier kan zelfs waarschijnlijk met een vaste toewijzing van transmissiecapaciteit volstaan worden. Hierdoor kan het grote nadeel van DAMA systemen, de erg grote discipline en complexiteit, vermeden worden. Echter met het oog op de behoefte naar steeds hogere frequentiebanden dient ook hier de benodigde bandbreedte beperkt te blijven.

Dataverkeer kan in een DAMA systeem worden geschakeld met een efficiëntie die mede bepaald wordt door het gebruik van de gemeenschappelijke "pool" van transmissiekanalen. Er wordt vanuit gegaan dat de efficiëntie van de afzonderlijke verbindingen door DAMA systemen toe te passen alleen kan worden vergroot indien wordt aangenomen dat bij vast toegewezen transmissiecapaciteit deze verbindingen gering bezet zouden zijn (ongeveer 0,1 Erlang). Indien de vast toegewezen kanalen druk bezet zouden zijn (ongeveer 0,9 Erlang) dan is een evenredige en dus vaste verdeling van de totale capaciteit de enige oplossing (lit. 24).

Aangenomen wordt dat we in dit systeem te maken hebben met de eerstgenoemde situatie.

Er is een aantal principieel verschillende MA systemen, ieder met zijn specifieke voordelen in een bepaalde toepassing (Tabel 6.1), al dan niet in combinatie met demand assignment.

	Multiplexing	Examples of communication systems
Pre-assignment (PA) multiple access	Timed system	Pre-assigned according to predicted traffic for various times of the day
	Space-division system	Use of separate satellite spot beams
	Frequency-division system	PA-FDM/FDMA, PA-SCPC/FDMA
	Time-division system	PA-TDMA
	Code-division system (spread spectrum system)	PA-CDMA, PA-SSMA
Demand assignment multiple access (DAMA)	Space-division system	Switching of satellite spot beams (e.g. SS/TDMA)
	Frequency-division system	DA-FDMA, DA-SCPC/FDMA
	Time-division system	DA/TDMA, DA-TDMA with frequency hopping
	Code-division system (spread spectrum system)	DA-SSMA
	Packet switching satellite system	
Random access (RA) multiple access	Code-division system (spread spectrum system)	SSRA, SSMA
	Packet switching satellite system	(e.g. ALOHA, Slotted ALOHA)

Tabel 6.1 : Overzicht van multiple access-systemen toegepast in de satellietcommunicatie (lit. 1)

Veel toegepaste DAMA systemen zijn de kanaalreserveringstechnieken onderverdeeld in DA-Frequency Division Multiple Access (FDMA) en DA-TDMA. In het DA-FDMA systeem krijgt iedere gebruiker op verzoek een frequentieband van het radiokanaal toegewezen en in het DA-TDMA systeem krijgt iedere gebruiker op verzoek periodiek het gehele radiokanaal voor een bepaalde tijdsduur toegewezen.

Beide systemen worden gekenmerkt door een grote discipline en complexiteit in tegenstelling tot Random Access technieken, zoals ALOHA. Echter de blokkeringskans en de daarmee gepaard gaande vertragingtijden zijn bij laatst genoemde technieken veel groter (lit. 24). Bovendien is de maximale throughput van ALOHA te laag voor dit systeem. Daarnaast kunnen we Code Division Multiple Access (CDMA) onderscheiden waarbij verschillende verbindingen tegelijkertijd van hetzelfde frequentiespectrum gebruik maken door ongecorreleerde codes toe te passen voor iedere verbinding. Spreiding van het frequentiespectrum is hiervan het gevolg net als bij Spread Spectrum Multiple Access (SSMA), met "frequency hopping" of "direct sequence".

Deze multiple access techniek vraagt teveel bandbreedte, laat betrekkelijk weinig gebruikers toe en is bovendien complex. In Fig. 6.1 wordt een presentatie in diagramvorm gegeven van FDMA, TDMA en CDMA. Space Division Multiple Access (SDMA) maakt gebruik van sector- en spotbeamantennes die gericht zijn op de specifieke gebruikers. Een microgolf-schakelmatr in het knooppunt is hierbij noodzakelijk. Packet Satellite Networks (PSN) kunnen het beste worden toegepast wanneer een groot aantal gebruikers af en toe gebruik wil maken van het netwerk en waarbij een starre discipline niet wenselijk is.

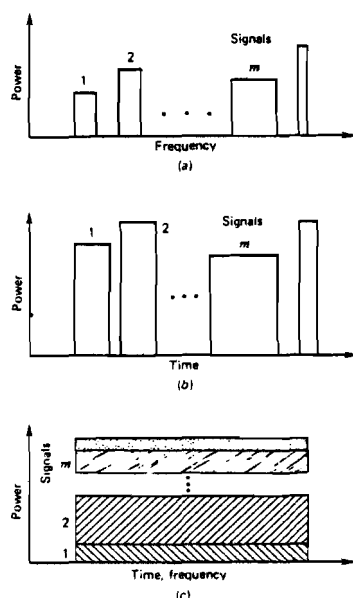


Fig. 6.1 : Presentatie in diagramvorm van: a. FDMA; b. TDMA; c. CDMA (lit. 22)

De keuze van een multiple access-methode wordt niet alleen gebaseerd op pure technische gronden, maar ook op een juiste afweging van de gebruikers eisen en de reële beperkingen (hard-ware) waarmee men te maken heeft. Kosten, technische uitvoerbaarheid en systeem-efficiëntie zijn hierbij belangrijke factoren. Tabel 6.2 geeft enige voorbeelden van praktische toepassingen tesamen met de gebruikte modulatie- en MA-technieken.

Service application	Baseband	Modulation	Satellite access technique
Telephony Heavy route	FDM TDM	FM PSK	FDMA TDMA
Telephony Thin route	Analogue PCM Delta modulation	FM PSK PSK	FDMA (SCPC) FDMA (SCPC) FDMA (SCPC)
TV Point to multipoint	Video	FM	FDMA
Data High usage, low connectivity network	TDM	PSK	FDMA
Data Variable usage, high connectivity network	TDM	PSK	TDMA

Tabel 6.2 : Voorbeelden van praktische toepassingen van gebruikte MA-technieken (lit. 1)

Hieruit blijkt dat voor het dataverkeer in een netwerk met grote connectiviteit en variabel gebruik van de kanalen TDM in combinatie met TDMA vaak wordt toegepast.

TDMA (Fig. 6.2) is een veel toegepaste multiple access techniek die uitstekend te combineren is met toewijzing op verzoek omdat TDMA systemen geprogrammeerd en veranderd kunnen worden op real-time basis. De digitale informatie van elke gebruiker wordt tijdelijk gebufferd, gemultiplexed en op het juiste tijdstip verzonden in een korte "high-bitrate burst". De tijd van transmissie wordt gecontroleerd zodat de burst van elke TDMA terminal op de voorgeschreven tijd na een referentie-burst binnenkomen bij het basisstation. TDMA biedt voordelen ten aanzien van transmissiecapaciteit, operationele flexibiliteit en kostprijs, doordat digitale systemen steeds goedkoper kunnen worden aangeboden.

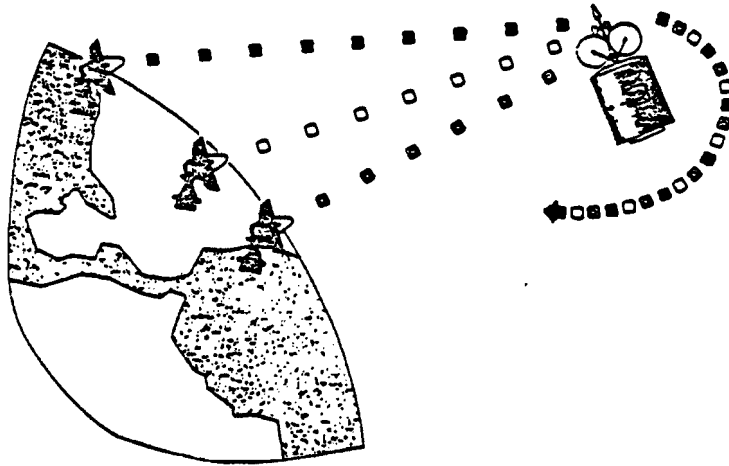


Fig. 6.2 : TDMA toegepast in een satellietcommunicatiesysteem (lit. 21)

Een grotere throughput kan bereikt worden met TDMA in vergelijking met FDMA en CDMA (Fig. 6.3).

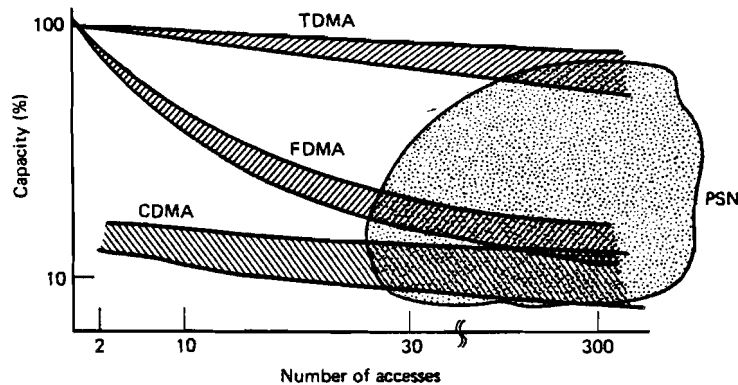


Fig. 6.3 : Vergelijking van de throughput als functie van het aantal oproepen in een bepaald netwerk voor verschillende MA-technieken (lit. 22)

Een vergelijking van TDMA met FDMA en SSMA op het gebied van spectrumgebruik en apparatuurkosten in het lokale PMP-radiosysteem maakt duidelijk dat TDMA het meest geschikt is voor toepassing, vooral wanneer de gebruikers verschillende bitsnelheden hebben (lit. 4).

Omdat we te maken hebben met geringe vertragingstijden op het radiopad (ongeveer 33 microsec op 10 km) in het PMP-radiosysteem mogen we de toewijzing- en afbreek- overheadtijd verwaarlozen ten opzichte van de werkelijke connectietijd voor een verbinding. Toewijzing op verzoek voor elke op te zetten verbinding tussen twee gebruikers wordt hierdoor aantrekkelijk (DA/session). Voor grote gebruikers die vaak gedurende lange tijd continu met maar één andere gebruiker communiceren is dit erg geschikt. De kanaal throughput voor een stootsgewijs verkeersaanbod afkomstig van kleine gebruikers is minder dan voor het continue data-aanbod.

In (lit. 24) wordt afgeleid dat bij vast toegewezen kanalen en bij DA/session technieken de throughput van het toegewezen kanaal begrensd wordt door de bursty-factor van de gegeven verkeersbron.

$$S = R \cdot P_s \leq \beta = \delta/T \quad (6.1)$$

met:

S: kanaalthroughput (succesvol kanaalverkeer)

R: genormaliseerde kanaal data-aanbod

P_s : de kans op een succesvolle overdracht van de data

β en δ zijn zoals aangegeven in hoofdstuk 2 .

Het is dus van belang de bovengrens van de kanaalthroughput van kleine gebruikers te verhogen. Dit werd reeds in hoofdstuk 2 aangegeven, zodat een oplossing van dit probleem door middel van een dataconcentrator gerealiseerd kan worden die is aangesloten op een collectief van individuele kleine gebruikers (CKG). Hierdoor worden de onregelmatige bursts gebundeld tot een continue datastroom. De bursty-factoren afkomstig van de individuele bronnen kunnen worden opgeteld. De extra kosten benodigd voor een dergelijke dataconcentrator worden gecompenseerd door het feit dat slechts één gemeenschappelijke DA-TDMA terminal nodig is voor het CKG. Een bijkomend voordeel is dat door de bundeling van databursts minder tijd verloren gaat voor het vergrendelen van de ontvanger in het basisstation.

De ware throughput van het DAMA systeem zal waarschijnlijk kleiner zijn vanwege de wachttijden en het feit dat transmissiesnelheden alleen veelvoud van 64 kbit/s kunnen zijn.

6.2. Taken en functies

Een gestructureerde aanpak van het DA-TDMA systeem kan geschieden volgens een gelaagde architectuur. De "International Organisation for Standardization" (ISO) heeft een model ontwikkeld dat fungeert als standaard voor koppeling tussen systemen in uiteenlopende communicatienetwerken (lit. 27). Door middel van protocollen verzorgt men koppelingen. Dit "Open Systems Interconnection" (OSI)-model onderscheidt naast het fysische transmissiemedium (in dit geval de radioverbindingsmiddelen) nog zeven verschillende lagen in architectuur. Deze lagen zijn weergegeven in Fig. 6.4.

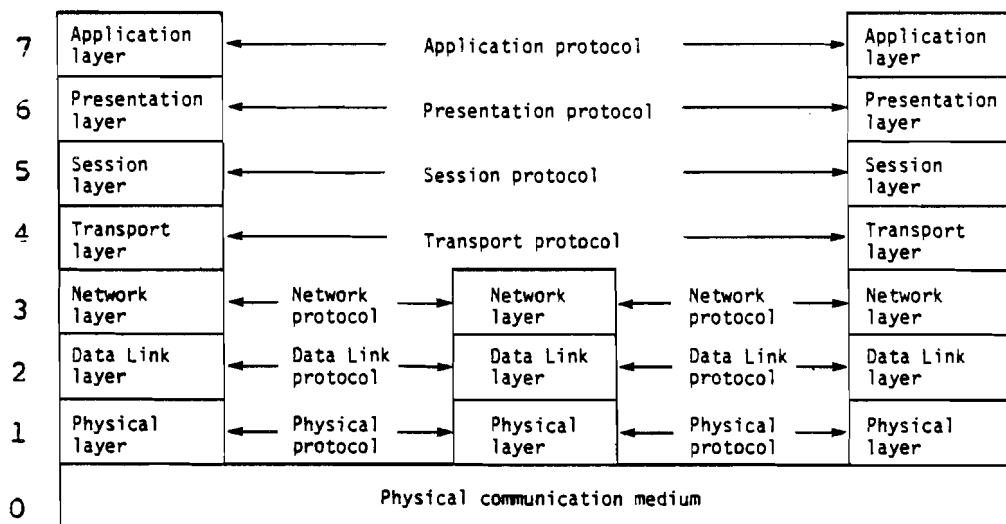


Fig. 6.4 : Verdeling van de functies over de 7 verschillende lagen van het OSI-model (lit. 27)

Hierbij hebben de lagen verschillende functies zodat een functie-indeling in groepen binnen een systeem ontstaat. De vraag is of de onderverdeling in protocollen en lagen volgens het OSI-model ook toegepast kan worden in het DA-TDMA systeem zonder dat de architectuur onoverzichtelijk wordt. De functies van de diverse lagen kunnen als volgt globaal worden beschreven, waarbij gelet wordt op toepassingen in het DA-TDMA systeem.

Physical Layer: deze zorgt voor de instandhouding van een fysische verbinding tussen twee netwerkeenheden (TER/buitenstation, basisstation) en de overdracht van een datastroom. Hieronder vallen de modems en radiofrequente apparatuur.

Datalink Layer: deze dient de betrouwbare overdracht van data die daartoe in frames gerangschikt wordt tesamen met foutencorrigerende of -detecterende informatie. De data wordt in de daartoe bestemde tijdsleuven verpakt in databursts.

Network Layer: deze voegt controle-informatie toe aan de data en frames ten behoeve van de signalering, alarmering en adressering.

Transport Layer: deze verzorgt de algehele controle van het datatransport van bron tot bestemming. Tevens dient deze een optimale toewijzing van de transmissiecapaciteit uit te voeren.

Session Layer: deze voorziet in de controle van de dialoog/monoloog, de onderlinge- en netwerksynchronisatie en de initialisatie van de op te zetten verbindingen. Dataverwerking en dergelijke valt hier buiten.

Het DA-TDMA systeem bevat dus functies uit deze lagen behalve de Physical Layer. De Application en Presentation Layer zijn niet van toepassing voor dit systeem.

Een gecentraliseerd DAMA systeem wordt in het PMPS-radiosysteem geprefereerd op grond van het als knooppunt fungerende basisstation en de vereenvoudiging van de TDMA Terminal apparatuur. Bij gedecentraliseerde systemen bevindt de toewijzings-software zich in elk buitenstation (lit. 24).

In het gecentraliseerde DA-TDMA systeem wordt de controle, het onderhoud en de administratie uitgevoerd door het basisstation. Hierdoor wordt veel intelligentie vanuit de buitenstations naar het basisstation gebracht en zijn de TER's dus eenvoudiger. Nadelig is echter dat het gehele PMPS-radiosysteem afhangt van het basisstation. Hierbij rijst de vraag op om eventueel een stand-by basisstation te plaatsen, teneinde de betrouwbaarheid te vergroten (dupliceren van functies).

Een tweede nadeel is dat relatief veel tijd benodigd is om een verbinding op te starten doordat alle huishoudelijke berichten door het basisstation gelezen en geanalyseerd worden.

De volgende faciliteiten zijn nodig om enkele van de genoemde taken te kunnen uitvoeren:

- frame- en tijdsleuvsynchronisatie;
- datascrambling en -descrambling;
- geheugens voor de statustabel (transmissiecapaciteit);
- microprocessor-gestuurde CCU in basisstation en buitenstation;
- buffergeheugens en (de-)multiplexers;
- Pseudo-Random Bit-Sequence (PRBS) generator bij het basisstation om de klokintegriteit te behouden gedurende de tijd dat geen berichten worden verzonden in het downstreamkanaal.

6.3 Protocol

6.3.1. Overwegingen

Een eerste aanzet tot het ontwerp van het DA-TDMA systeem is het opstellen en definiëren van een algeheel dynamisch netwerkprotocol. Er dienen afspraken te komen die de informatiestromen op de juiste wijze door het systeem doen leiden. Daartoe kunnen we een onderverdeling maken in een aantal functies die over de verschillende lagen van het OSI-model verdeeld zijn:

- opbouw van de datarepresentatie;
- bepaling van de datasnelheden;
- controle en alarmering;
- signalering;
- adressering;
- routing;
- toewijzing van transmissiecapaciteit;
- timing (bursttijdplan);
- foutencontrole en eventueel foutenherstel.

Aangezien er legio mogelijkheden zijn om bovenstaande functies in de praktijk te realiseren is een keuze hiervan noodzakelijk. In concreto betekent dit dat uitgegaan wordt van de volgende punten:

1. Door de aangenomen centralisatie van het PMPS-radiosysteem (paragraaf 6.2.) vindt de toewijzingsprocedure (en bijbehorende berekening) in het basisstation plaats. De toewijzing op verzoek vindt plaats voor elke gewenste eenwegverbinding met slechts één bestemming. Dit geldt voor zowel het up- als voor het downstreamkanaal (DA/session met "single destination concept"). Hierdoor is slechts één eenwegverbinding in zowel up- als downstreamkanaal per TER of INT mogelijk. Dit wordt in eerste instantie voorgesteld waarop later eventueel een "multidestination concept" kan volgen. De redenen hiervoor zijn dat door deze restrictie de totale benodigde capaciteit kan worden gereduceerd zodat blokkering minder snel optreedt, en dat de signalering en (de-)multiplexing bij een TER en bij het basisstation eenvoudig kunnen blijven.

Gebaseerd op capaciteitsverzoeken van actieve TER's en INT's zal een in de tijd variërende capaciteits- en bestemmingstoewijzing gerealiseerd kunnen worden.

2. De hoeveelheid transmissiecapaciteit die per TER of INT kan worden aangevraagd of toegewezen is een geheel veelvoud van 64 kbit/s met een maximum van 2,048 Mbit/s voor INT's en GTER's, en 512 kbit/s voor KTER's. De totale transmissiecapaciteit (8,448 Mbit/s) wordt onderverdeeld in datatijdsleuven met ieder 64 kbit/s aan data.

3. Databursts met een lokale bestemming (N_1) worden in dezelfde tijdsvolgorde opnieuw uitgezonden, zoals bij een repeater in een satellietkanaal. Databursts met een interlokale bestemming (N_2) worden via een demultiplexer en een snelheidsconverter in het basisstation, naar

een circuit- of tijdgeschakelde Digitale Netwerk Interface (DNI) gestuurd. Deze worden dus niet opnieuw uitgezonden.

4. De elektrische en logische verbindingen op het Datalinkniveau en de andere relevante lagen uit het OSI-model, tussen het PMPS-radiosysteem en andere digitale netwerken (satellietnetwerken, ISDN, andere PMPS-radiosystemen, en dergelijke) bevinden zich in en bij het basisstation. Door de configuratie met datatijdsleuven dient bij voorkeur het standaard 30-kanaals CCITT 2,048 Mbit/s signaalformaat aangeboden te worden. Daartoe worden speciale interfaces (DNI's) conform de CCITT Rec. G703 in het basisstation geplaatst.

Er zijn twee verschillende mogelijkheden die, gezien de reeds gemaakte afspraken, in aanmerking komen om de ontvangen databursts in het basisstation door te sturen of te routeren. Deze worden geïllustreerd aan de hand van Fig. 6.5a en Fig. 6.5b met het "repeaterprincipe" respectievelijk het "verdeelpincipe".

Het repeaterprincipe is gebaseerd op het simpelweg rechtstreeks doorsturen en heruitzenden van alle ontvangen databursts in dezelfde tijdsvolgorde als waarin deze worden aangeboden. Hierbij is dus geen schakelnetwerk of groot buffergeheugen nodig.

De DNI-aansluiting maakt hierbij deel uit van het bursttijdplan, zodat deze in feite ook transmissiecapaciteit in het upstreamkanaal inneemt wanneer deze een databurst wil versturen naar een TER. Hierdoor verschuift ook de nodige intelligentie naar de DNI-aansluiting. Een behoorlijke tijdwinst en een verlichting van de taak van de CCU in het basisstation kan hierdoor ontstaan.

Indien het lokale verkeersaanbod ongeveer even groot is als het interlokale verkeersaanbod dan wordt dit principe inefficiënt omdat veel transmissiecapaciteit wordt gereserveerd die in feite niet nodig is (M_1 in het upstreamkanaal en N_2 in het downstreamkanaal).

Efficiënter is het om de databursts in het basisstation te splitsen in N_1 lokale, N_2 en M_1 interlokale bursts door middel van demultiplexing en buffers onder besturing van de CCU. Dit principe noemen we het "verdeelpincipe". De belasting van de CCU neemt hierdoor toe doordat meer stuursignalen (stuureenheden) en een dubbele statustabel met toewijzing voor het up- en downstreamkanaal, nodig zijn (zie Fig. 6.5). De DNI bevat echter minder intelligentie en zend- en ontvangapparatuur. Een extra signaleringsunit (calls) dient geplaatst te worden. Afhankelijk van het verkeersaanbod moet een afweging plaatsvinden tussen transmissie-efficiëntie en apparatuurcomplexiteit (kosten).

Een vergelijking van beide principes op grond van de benodigde transmissiecapaciteit in up- en downstreamkanaal bij verschillend verkeersaanbod wordt in Tabel 6.3 gegeven. Hieruit blijkt dat het verschil in benodigde transmissiecapaciteit voor enkele praktische waarden van het totale verkeersaanbod (0,6 en 0,8 Erlang) nogal uiteenloopt voor de twee verschillende principes.

Het verdeelpincipe wordt op grond van het verkeersaanbod voor toepassing in het PMPS-radiosysteem geschikt bevonden.

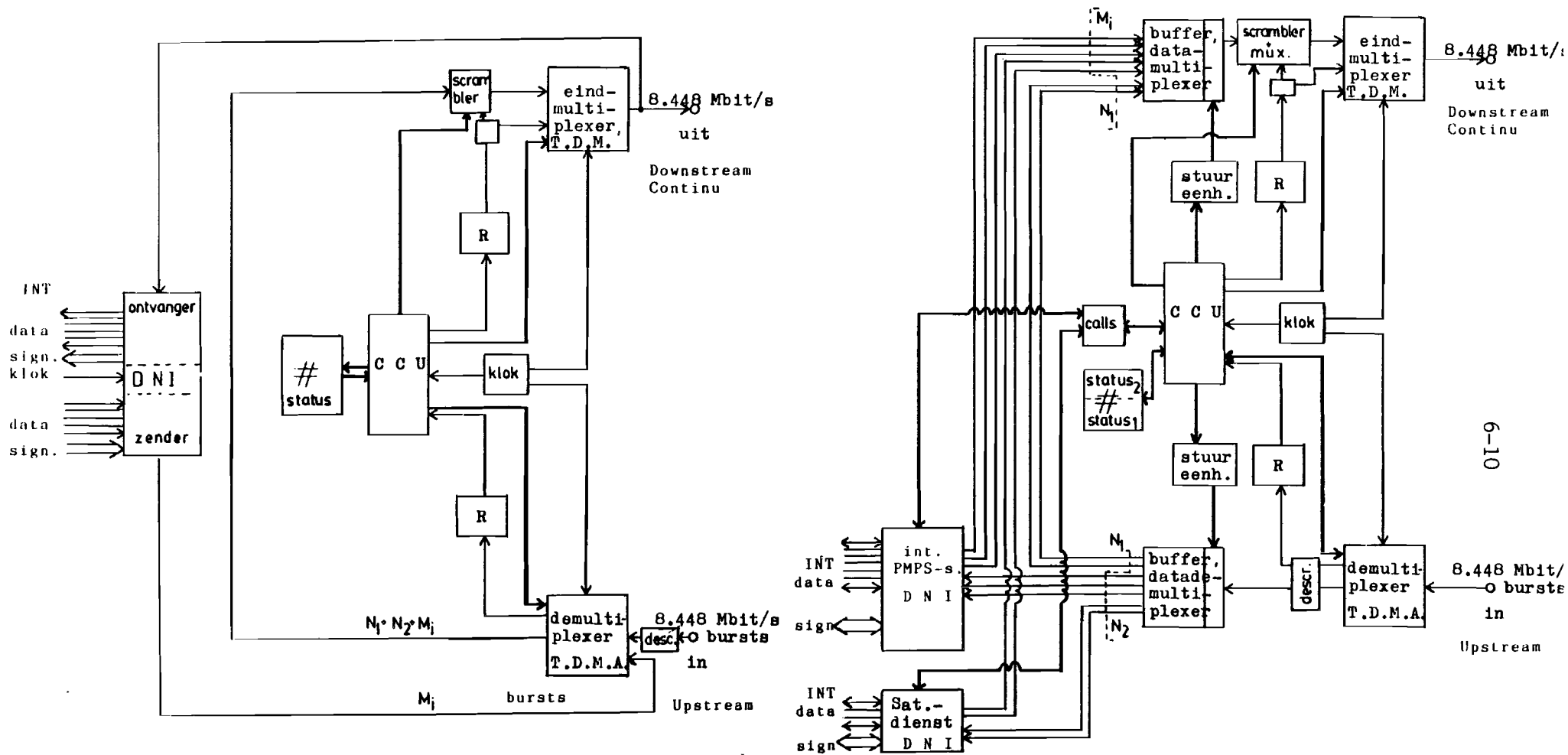


Fig. 6.5a: DA-TDMA systeem in het basissstation volgens het "repeaterprincipe".

DNI : Digitaal Netwerk Interface
 CCU : Central Control Unit
 R : Snelheidsconversie van de controle-signalen

Fig. 6.5b: DA-TDMA systeem volgens het "verdeelprincipe"

Totaal gemiddeld aangeboden kanaalverkeer (Erlang)		Benodigde Transmissiecapaciteit (Erlang)					
		opgesplitst in:		repeaterprincipe		verdeelprincipe	
				upstream	downstream	upstream	downstream
categorie volgens (6.2)	0,6	$N_1 = 0,5$ $N_2 = 0,05$ $M_i = 0,05$	0,6	0,6	0,55	0,55	
	0,82	$N_1 = 0,8$ $N_2 = 0,01$ $M_i = 0,01$	0,82	0,82	0,81	0,81	
categorie volgens (6.3)	0,6	$N_1 = 0,3$ $N_2 = 0,2$ $M_i = 0,1$	0,6	0,6	0,5	0,4	
	0,82	$N_1 = 0,4$ $N_2 = 0,26$ $M_i = 0,16$	0,82	0,82	0,66	0,56	

Tabel 6.3 : Vergelijking van beide routeringsprincipes op grond van de benodigde transmissiecapaciteit in het up- en downstreamkanaal, voor verschillend aangeboden kanaalverkeer.

met:

N_1 : verkeer met een lokale bestemming

N_2 : verkeer met een interlokale bestemming

M_i : verkeer afkomstig van interlokale bronnen (INT's)

6.3.2. Toewijzing van transmissiecapaciteit

In het DA-TDMA systeem wordt gestreefd naar een snelle en efficiënte wijze waarop benodigde capaciteit aan de gebruikers kan worden toegewezen. In deze paragraaf wordt daartoe een algoritme voor de toewijzing van transmissiecapaciteit gegeven.

De gemeenschappelijke transmissiecapaciteit is verdeeld in een constant of variabel aantal datatijdsleuven. Elke datatijdsleuf bevat een hoeveelheid databits overeenkomstig een datasnelheid van 64 kbit/s wanneer deze met de frame-frequentie wordt verzonden. Indien de frame-periode (zie paragraaf 6.4.) T_f seconden is dan is het aantal databits in de datatijdsleuf:

$$16D = 64 \cdot 10^3 \cdot T_f \text{ bits}$$

met:

D: het aantal 16bits datawoorden in een datatijdsleuf

Meer datatijdsleuven kunnen worden toegewezen aan één TER of INT indien hogere bitsnelheden dan 64 kbit/s worden gevraagd voor een verbinding. Deze vormen dan tesamen een databurst.

Stel het geval dat er N TER's zijn aangesloten in het PMPS-radiosysteem. Zoals in hoofdstuk 2 reeds werd aangegeven nemen we daarvan $N_1 + N_2$

TER's actief op een bepaald moment. Een actieve GTER(i) levert gemiddeld $n_g(i) \cdot 64$ kbit/s, terwijl een actieve KTER(j) bijvoorbeeld een gemiddelde bitsnelheid van $n_k(j) \cdot 64$ kbit/s geeft. Dan volgt voor het totale gemiddeld aangeboden verkeer in het upstreamkanaal (gedurende het drukste uur) uitgedrukt in het aantal benodigde datatijdsleuven:

$$\bar{D}_{Tg}(u) = \sum_{l=1}^{\bar{N}_{1k}} \bar{n}_k(l) + \sum_{i=1}^{\bar{N}_{1g}} \bar{n}_g(i) + \sum_{j=1}^{\bar{N}_{2k}} \bar{n}_k(j) + \sum_{k=1}^{\bar{N}_{2g}} \bar{n}_g(k) \quad (6.2)$$

met:

\bar{N}_{1k} : het gemiddelde aantal actieve KTER's die een lokale verbinding willen gedurende het drukste uur

\bar{N}_{2k} : idem, echter met een interlokale verbinding

\bar{N}_{1g} : het gemiddeld aantal actieve GTER'S die een lokale verbinding willen gedurende het drukste uur

\bar{N}_{2g} : idem, echter met een interlokale verbinding

Voor het totale gemiddeld aangeboden downstreamverkeer geldt een soortgelijke uitdrukking als (6.2):

$$\bar{D}_{Tg}(d) = \sum_{j=1}^{\bar{M}_k} n_k(j) + \sum_{i=1}^{\bar{M}_g} n_g(i) + \sum_{a=1}^{\bar{M}_i} n_i(a) \quad (6.3)$$

Met:

\bar{M}_i : het gemiddeld aantal actieve INT's gedurende het drukste uur

$n_i(a)$: het gemiddeld aantal datatijdsleuven dat gebruiker a te verzenden heeft gedurende het drukste uur

De verkeersmatrix R volgens (2.2) is afhankelijk van de gewenste interconnectiviteit en het verkeersaanbod op een bepaald moment. Indien we stellen dat op dit moment de terminals TER(1) tot en met TER($N_1 + N_2$) actief zijn in het upstreamkanaal en er $N_{1k} + N_{1g} + M_1$ TER's en INT's actief zijn in het downstreamkanaal, dan kan de verkeersmatrix er als volgt uitzien:

$$R = \begin{bmatrix} \begin{array}{ccc|ccc} \circ & \circ & \dots & \circ & n(i) & \circ \\ n(k) & \circ & & & & \\ \circ & \circ & & & & \\ \circ & & & & & \\ \circ & n(x) & & n(i) & & \circ \\ \hline & \circ & & \circ & & \\ & & & \circ & & \\ & n(a) & & & & \\ \hline & & & n(b) & & \\ & & & & \circ & \\ & & & & & \circ \\ \hline & & & & & \circ \end{array} & \begin{array}{l} 1 \\ \\ \\ \\ \\ N_1 + N_2 \\ N \\ x \end{array} \end{bmatrix} \quad (6.4)$$

Per TER wordt slechts één databurst verzonden of ontvangen, zodat per kolom en per rij van R maar één matrixelement $R_{ij} \neq 0$ mag zijn. Elk matrixelement wordt uitgedrukt in $n(i)$ datatijdsleuven. De zendende TER's en INT's worden door de rijen en de ontvangende TER's en INT's door de kolommen gerepresenteerd. De waarde van X wordt bepaald door het totale aantal lokale en interlokale aansluitingen.

De matrixelementen R_{ij} voor $i, j > N$ zijn gelijk aan 0, omdat er geen verbindingen worden opgebouwd tussen INT's onderling. De diagonaal-elementen zijn eveneens gelijk aan 0.

Een efficiënte verdeling van de beschikbare datatijdsleuven leidt tot een toewijzing zodat aan de beperkingen van het netwerk en de terminals voldaan kan worden. De beperkingen kunnen als volgt worden uitgedrukt:

$$D_{Tg}(u) = \sum_{i=1}^{M_r M_t} n(i) \leq D_{Tm}(u) \quad \text{voor alle zendende TER's in het upstream- kanaal} \quad (6.5)$$

$$D_{Tg}(d) = \sum_{a=1}^{M_i} n(a) + \sum_{i=1}^{M_l} n(i) \leq D_{Tm}(d) \quad \text{voor alle ontvangende TER's in het downstreamkanaal} \quad (6.6)$$

$$n_g(i) \leq 32 \quad \text{voor een GTER geldt een maximale capaciteit van 2,048 Mbit/s} \quad (6.7)$$

$$n_k(i) \leq 8 \quad \text{voor een KTER geldt een maximale capaciteit van 512 kbit/s} \quad (6.8)$$

met $D_{Tm}(u)$ en $D_{Tm}(d)$ het maximale aantal datatijdsleuven dat in het up- en downstreamkanaal per frame mogelijk is.

We dienen ervoor te zorgen dat het maximale aantal TER's en INT's zodanig wordt gekozen dat voldaan kan worden aan de beperkingen (6.5) en (6.6) en dat geldt:

$$\bar{D}_{Tg}(u) < D_{Tm}(u) \quad (6.9)$$

$$\bar{D}_{Tg}(d) < D_{Tm}(d) \quad (6.10)$$

Indien hier niet aan voldaan wordt, is het systeem slecht gedimensioneerd en is de blokkeringskans groot.

Het is moeilijk een schatting te geven van $D_{Tg}(u)$ en $D_{Tg}(d)$. In eerste instantie hebben we aangenomen dat de maximale waarde van N tussen de 20 en 50 mag liggen, waarbij het aantal KTER's \gg dan het aantal GTER's.

Er is geen unieke toewijzingsprocedure te bedenken die geen nadelen heeft. Bij een te groot verkeersaanbod zal er zeker blokkering of wachttijd worden geïntroduceerd voor bepaalde oproepende TER'S. Gezocht wordt naar een oplossing waarbij bepaalde prioriteiten gehanteerd worden en geen bestaande verbindingen worden gestoord of verbroken, wanneer nieuwe verbindingen worden opgestart, verbroken of geblokkeerd. In (lit. 28) wordt afgeleid dat voor een DA-TDMA-blokkerend systeem bedoeld voor telefonieverkeer de blokkeringskans nagenoeg ongevoelig is voor het gebruikte toewijzingsalgorithme. Verwacht wordt dat dit voor dataverkeer niet zo is.

Inzicht in deze toewijzingsproblematiek wordt verschaft door Fig. 6.6 waarin schetsmatig de aangevraagde verbindingen door middel van een signaalflow-schema worden gerepresenteerd. Een pool van beschikbare datatijdsleuven voor zowel het up- als downstreamkanaal, bevindt zich in een geheugen in het basisstation zoals in Fig. 6.5 reeds werd aangegeven. Fig. 6.7 geeft de signaalflow tussen twee TER's gedetailleerd weer op terminalniveau. De maximale transmissiecapaciteit is afhankelijk van het aantal DBP's dat aangesloten is. De datatijdsleuven worden hierbij ononderbroken samengevoegd tot één databurst. Een andere mogelijkheid is dat de databurst willekeurig opgedeeld wordt in een aantal verspreidliggende datatijdsleuven.

De toewijzingsprocedure, die in het basisstation (CCU) wordt uitgevoerd, dient te worden voorafgegaan door capaciteitsverzoeken die door de TER's en DNI's berekend zijn. Deze mogen de eenmaal toegewezen transmissiecapaciteit niet overschrijden, totdat een nieuwe toewijzing volgt. Nieuwe verzoeken worden bij een TER in een wachtrij (queue) gezet. Het toewijzingsprotocol bestaat uit een groot aantal stappen die in een flowdiagram in Appendix C zijn ondergebracht.

Belangrijk voor het toewijzingsprotocol is de wijze waarop de frames in het up-en downstreamkanaal kunnen worden onderverdeeld in de datatijdsleuven. De volgende twee methoden worden overwogen:

Methode A:

Deze methode gaat uit van variabele $D_{T_m}(u)$ en $D_{T_m}(d)$, afhankelijk van het verkeersaanbod (overhead alleen vooraan in de burst).

Methode B:

Deze methode gaat uit van een constante waarde van $D_{T_m}(u)$ en $D_{T_m}(d)$.

Er zijn twee mogelijkheden om de statustabel met de pool van datatijdsleuven of transmissietijd af te zoeken naar voldoende datatijdsleuven. Bij beide methoden wordt bij een lokale bron en bestemming vanaf datatijdsleuf (1) tot datatijdsleuf ($D_{T_m}(u)$) gescand zodat de bursts zoveel mogelijk aan het begin van het frame (dataveld 1) geplaatst worden. Hierdoor kunnen de bursts meestal dezelfde datatijdsleufnummers in zowel het up- als het downstreamkanaal beslaan. Dit bespaart rekentijd. Interlokale bursts worden in omgekeerde datatijdsleuf-volgorde (vanaf $D_{T_m}(u)$ of $D_{T_m}(d)$ tot nr. 1) geplaatst (Fig. 6.8).

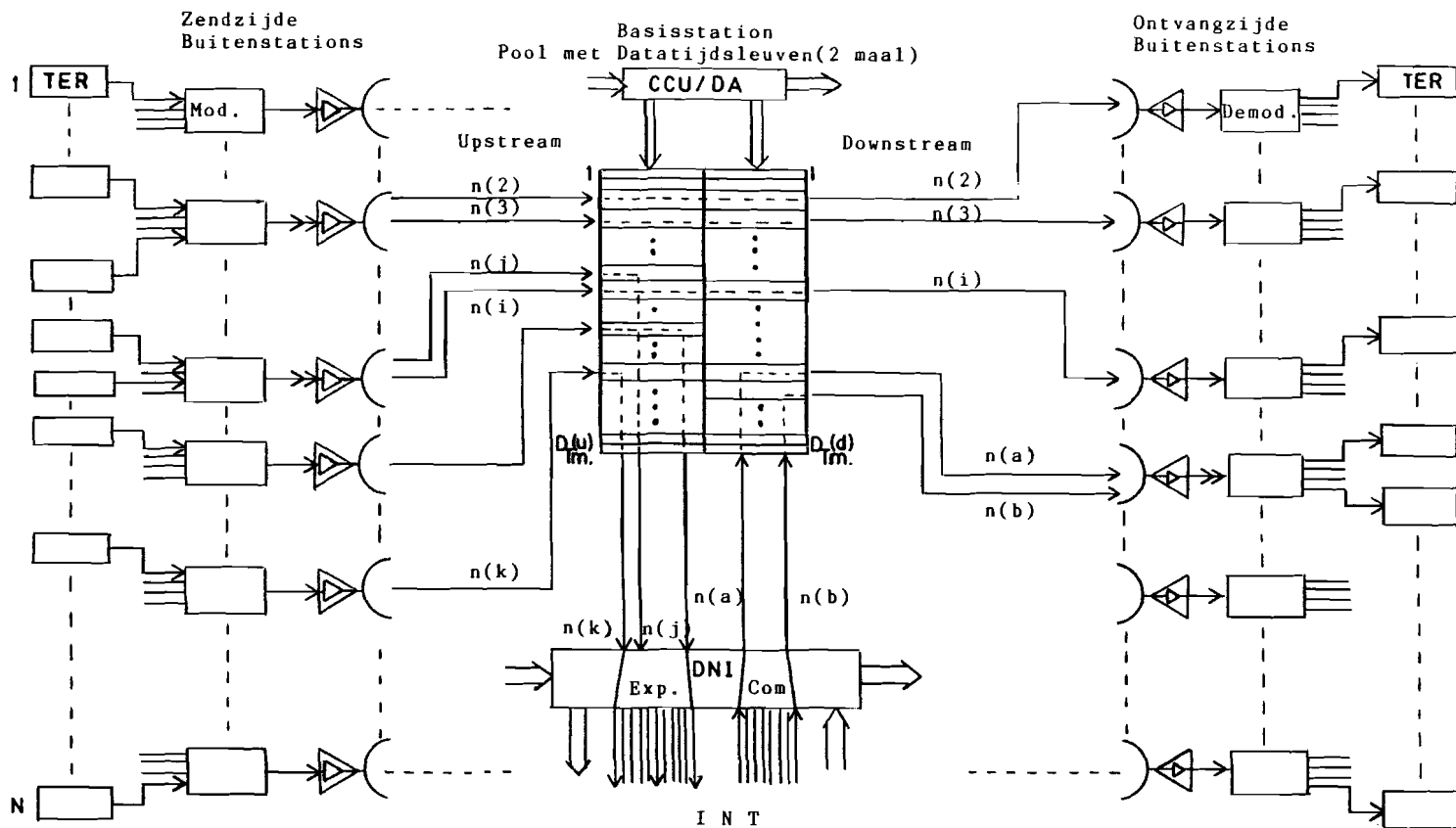
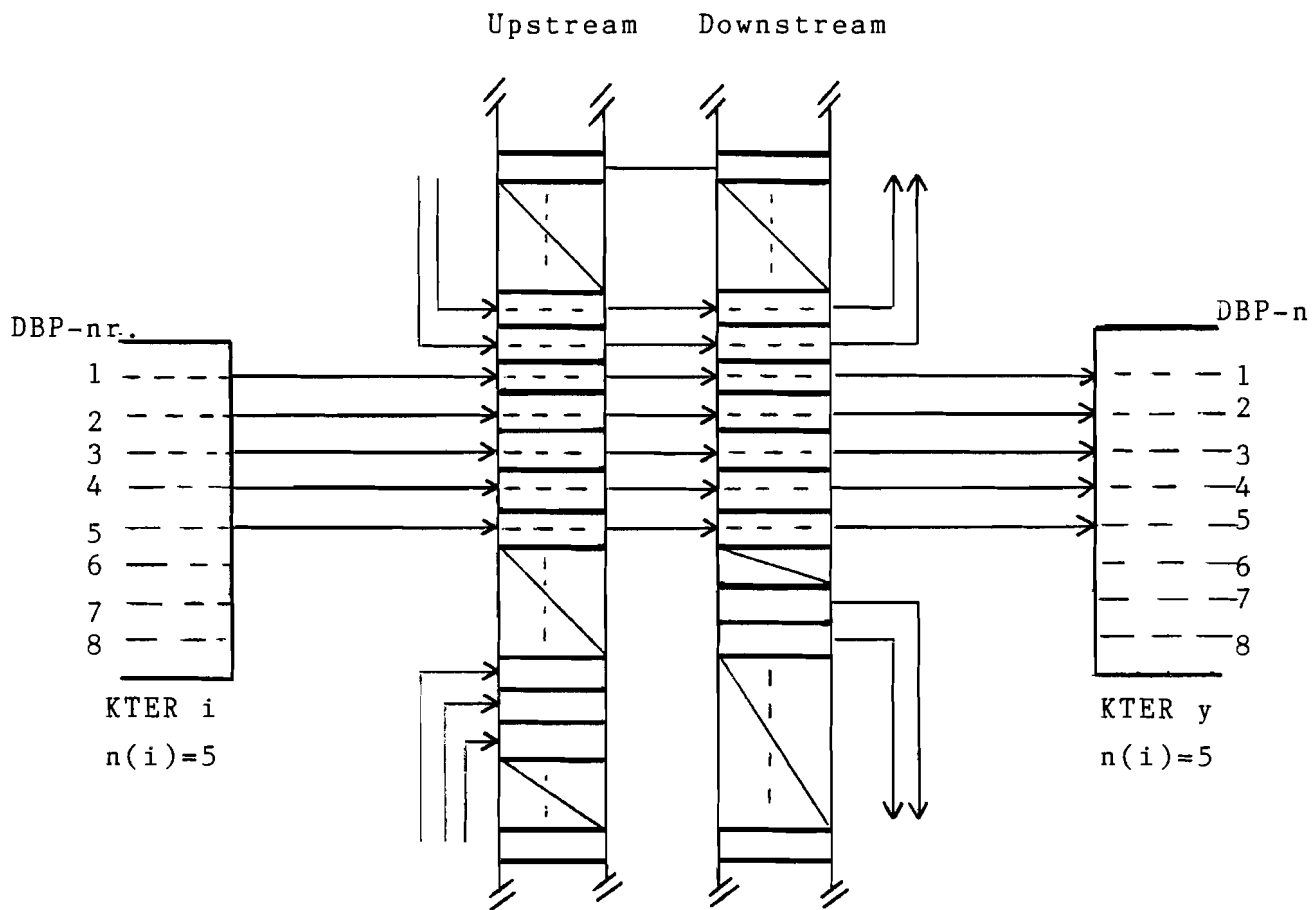


Fig. 6.6 : Dataflow in het PMPS-radiosysteem
 met:
 n: het aantal datatijdsleuven voor de betreffende verbinding



Pool van beschikbare Datatijdsleuven:
 Non-blocking Timeswitch in het Basisstation.

Fig. 6.7 : Dataflow tussen twee KTER's met ieder 8 DBP's,
 waarvan er 5 actief zijn.
 met:
 DBP: Digitale Basisband Poortmodule

Methode C:

Volgens de zoekrichting in Fig. 6.8 beschreven, wordt geverifieerd of er voldoende (n) vrije datatijdsleuven ononderbroken achter elkaar beschikbaar zijn. In Fig. 6.7 is dit toegepast.

Methode D:

Volgens dezelfde zoekrichting worden de vrije datasleuven op willekeurige plaatsen (dus niet per sé direct achter elkaar) direct toebedeeld aan het lopende capaciteitsverzoek. Een burst wordt dus als het ware uitgesmeerd over vrije datatijdsleuven. De toewijzing vindt hierbij direct en onder alle omstandigheden plaats.

Met het oog op een eenvoudige praktische realisatie worden de combinaties (A + C) of (B + D) aanbevolen. De combinatie (A + C) levert een basisbandsignaalstructuur zoals in Fig. 6.9 wordt weergegeven. Een keuze van een van de twee combinaties is afhankelijk van de opbouw van de frames (overhead en dataveld in datatijdsleuven/bursts) en de wijze waarop de bursttiming plaatsvindt. Methode D leidt tot een kleinere blokkeringskans, omdat de eis van opeenvolgende sleuven niet gesteld wordt.

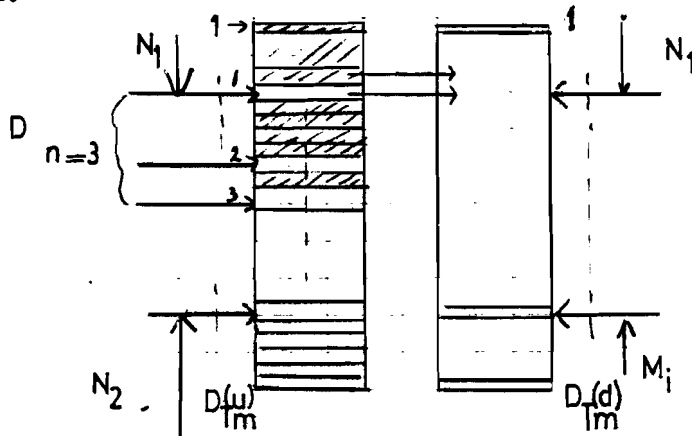


Fig. 6.8 : Zoekrichtingen voor de drie soorten databursts. Methode D verdeelt de aangevraagde capaciteit in verspreid liggende vrije datatijdsleuven (ontstaan door opzeggingen).

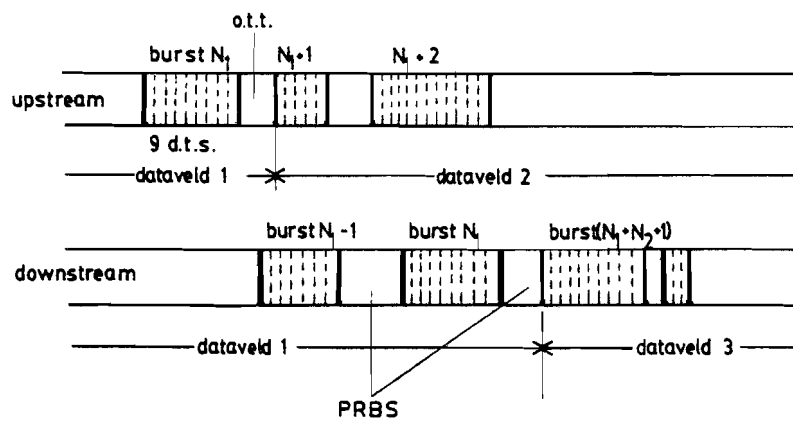


Fig. 6.9 : Globale weergave van de signaalstructuur van beide radiokanalen op basisbandniveau volgens methode (A + C).
 Een databurst bestaat uit opeenvolgende datablokken in opeenvolgende datatijdsleuven.
 o.t.t.: ongebruikte transmissietijd (geen draaggolf)
 PRBS: Pseudo Random Bit Sequence ten behoeve van continuïteit in het downstreamkanaal.
 d.t.s.: datatijdsleuven

6.3.3. Het plan voor de datatijdsleuven en bursts

De bursttiming dient te geschieden conform het bursttijdplan. Het bursttijdplan hangt direct samen met de netwerktiming en synchronisatie en controleert de relatieve posities van de bursts in het frame. Bursts dienen op zodanige tijdstippen te worden verzonden door de TER's, dat deze na elkaar bij het basisstation worden ontvangen. Dit vereist een nauwgezette timing bij de geografisch verspreid liggende TER's. In het downstreamkanaal is de timing bij de zendkant geheel in handen van het basisstation zodat dit eenvoudiger kan zijn. Bij de ontvangzijde worden op grond van voorkennis van de bursttijden via de signalering de juiste data geselecteerd uit de continue stroom datatijdsleuven (TDM-signaal). Idem dito kan dit bij de ontvangzijde van het basisstation.

In principe zijn er twee mogelijkheden voor de datatijdsleuven:

1. Het TDM(A)-frame is onderverdeeld in tijdseenheden. Hierdoor is een burst te identificeren door twee getallen die het begin en einde van de burst in de tijd aangeven (lit. 25). Dit wordt via de signalering naar bron en bestemming gestuurd. In dit geval is de combinatie A + C (variabele $D_{T_m}(u)$ en $D_{T_m}(d)$ met een ononderbroken serie datapakketjes in datatijdsleuven) praktisch realiseerbaar.

Voordeel: de frame-efficiëntie is hoog in het upstreamkanaal, doordat per burst slechts één preambule nodig is (paragraaf 6.4.).

Nadeel: de blokkeringskans is groter omdat de burst volgens toewijzingsprocedure C slechts kan worden toegewezen indien er n vrije datatijdsleuven achter elkaar zijn. In de statustabellen dient de totale transmissietijd bijgehouden te worden.

Een oplossing voor het probleem met toewijzingsprocedure C kan zijn om periodiek het bursttijdplan te herzien zodat tussenliggende vrije datatijdsleuven geëlimineerd kunnen worden. Dit is echter bijzonder complex omdat de bestaande verbindingen bij verandering van het bursttijdplan niet verstoord mogen worden.

2. Het TDM(A)-frame is onderverdeeld in een vast aantal datatijdsleuven die ieder een apart datatijdsleufnummer hebben. Via de signalering worden simpelweg deze nummers naar bron en bestemming gestuurd. Hierop wordt de timing van uitzenden en ontvangen ingesteld. De combinatie B + D is hierbij van toepassing.

Voordeel: de blokkeringskans is kleiner en de timingcontrole is eenvoudiger.

Nadeel: de signaleringsberichten zijn langer (het aantal nummers van de datatijdsleuven kan groot zijn, maximaal 32), de frame-efficiëntie is lager (met name bij databursts bestaande uit een groot aantal datatijdsleuven). Per datatijdsleuf zijn meer hard-ware en soft-ware bewerkingen nodig.

In Appendix D worden de methoden A, B vergeleken en hieruit blijkt dat de maximale frame-efficiëntie voor praktische waarden van de frame parameters en een optimaal verkeersaanbod, hoogstens 8% verschilt. In hoofdstuk 8 volgt uit de "throughput-verkeersaanbod" karakteristieken dat methode B + D sneller de bovengrens van de throughput bereikt. Voor $R \ll 1$ is de blokkeringskans gelijk aan 0.

Uitgaande van een eenvoudiger realisatie van het bursttijdplan en een lagere blokkeringskans wordt de combinatie B + D geprefereerd.

De implementatie van een gewijzigd of nieuw bursttijdplan kan zich dus voordoen in de volgende situaties:

- de activatie van een niet-actieve TER of INT;
 - de uitbreiding van transmissiecapaciteit van een reeds bestaande verbinding;
 - het afsluiten (stopzetten) van een verbinding;
 - het (aangekondigd) veranderen van het bursttijdplan teneinde tegemoet te kunnen komen aan prioriteiten op een bepaald moment.
- Hieronder vallen ook reserveringen en verzoeken voor langdurige verbindingen met hoge bitsnelheden.

De wijze waarop bovenstaande situaties gemeld en gedetecteerd worden, valt onder de signalering (paragraaf 6.3.4.).

De TER's en het basisstation (interlokale verbindingen) slaan de gegevens omtrent het nieuwe bursttijdplan op in de daartoe bestemde "stand-by" geheugens van hun TDMA-processoren. Deze geheugens blijven "stand-by" totdat het commando "verander plan" gegeven wordt, waardoor dit geheugen gelezen wordt door de Burst Timing Control en het nieuwe bursttijdplan permanent in het statusgeheugen komt.

6.3.4. Signalering

In deze paragraaf wordt globaal aangegeven op welke wijze de noodzakelijke controle- en signaleringsberichten door het PMPS-radiosysteem gerouteerd worden en met welke snelheid of herhalingsfrequentie dit dient te gebeuren.

Er wordt voortdurend informatie uitgewisseld op het gebied van de netwerkbeheersing. We hebben dus te maken met functies uit de Network-Layer en Transport-Layer van het OSI-model (paragraaf 6.2.).

Uitgangspunten:

1. Er mag geen congestie optreden in de besturingsorganen en signalering. Ten alle tijden moet een verzoek of bericht verstuurd en beantwoord kunnen worden. Dit impliceert direct dat alle aangesloten TER's een apart "stukje" transmissietijd vergen. We verwachten namelijk een groot en steeds veranderend verkeersaanbod en daardoor ook een hoge signaleringsactiviteit. Een "random access"-signaleringskanaal wordt daarom niet zinvol geacht (de kans op botsingen van berichten is te groot (lit. 24)). Bovendien kan door een vaste toewijzing van signaleringsbursts aan de TER's in up- en downstreamkanaal de TDM(A) apparatuur eenvoudig blijven

(lit. 5). Derhalve wordt een speciaal gemeenschappelijk controleveld in up- en downstreamkanaal voor de signalering bestemd ("Common Channel Signalling", zie Fig. 6.10). Hierin wordt tevens controle- en alarmeringsinformatie verzonden.

Nadelig is echter wel een vermindering van de nuttige datatransmissiecapaciteit ten opzichte van het "random access"-signaleringskanaal. Dit effect kunnen we verminderen door de signalerings-frequentie lager te maken dan de frame-frequentie, zodat multiframing noodzakelijk is. "Channel Associated Signalling" wordt niet geschikt bevonden, vanwege de lagere frame-efficiëntie (geen multiframing voor de signalering zonder dat de datatransmissiecapaciteit per datatijdsleuf verandert), en het feit dat er geen kanaal is toegewezen bij geen activiteit.

2. Het signaleringssysteem behorende tot een enkel PMPS-radiosysteem wordt centraal gecoördineerd en gecontroleerd door de CCU van het basisstation. De toewijzings- en afbreektijden zullen waarschijnlijk slechts een gering aandeel zijn in de totale sessietijd, zeker in het geval van video-conferencing of CAD/CAM verbindingen. Hierdoor wordt het belangrijkste nadeel van een gecentraliseerd signaleringssysteem, de relatief lange tijdsduur benodigd voor het opzetten van de verbinding, minder ernstig.

We onderscheiden voor de duidelijkheid in het upstreamkanaal een Verzoek Controle Burst (VCB), in het downstreamkanaal een Toewijzings Controle Burst (TCB) en een Algemene Controle Burst (ACB).

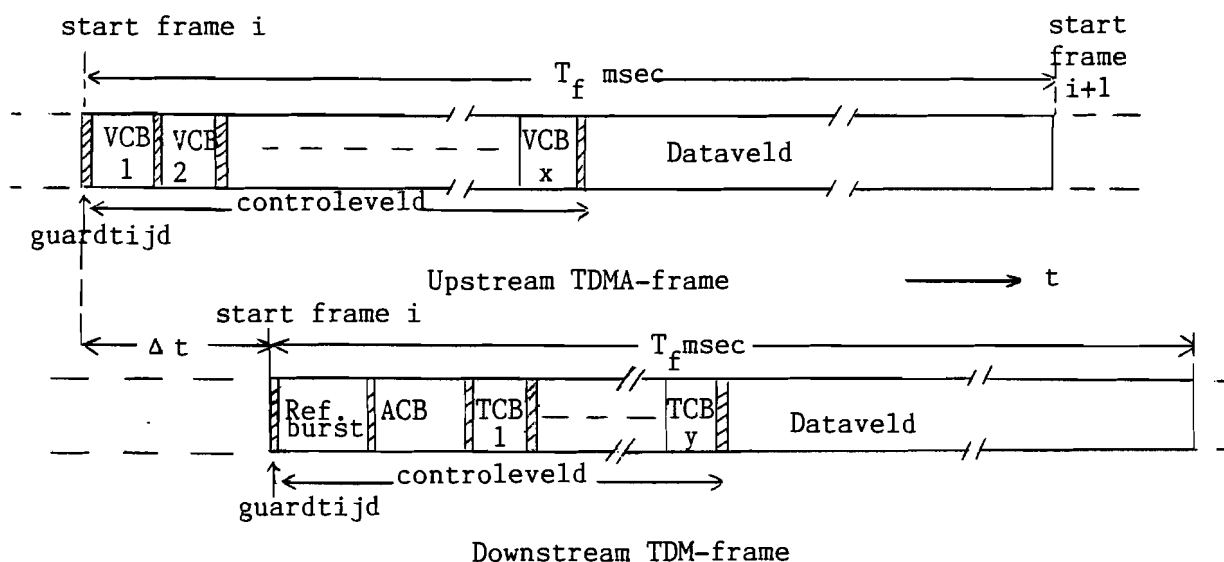


Fig. 6.10 : "Common Channel Signalling" in het up- en downstreamkanaal door middel van een gemeenschappelijk signaleringsveld (controleveld) vooraan in het frame.

T_f : Frame-periode

Δt : tijdsduur waarmee het up- en downstreamframe ten opzichte van elkaar in de tijd zijn verschoven ($T_f/2$).

Noodzakelijke informatie in signaleringsberichten

In de VCB bevindt zich onder andere informatie omtrent de bestemming, de hoeveelheid capaciteit die gevraagd wordt, wanneer deze nodig is, of er wel of geen foutencontrole nodig is bij de ontvanger, alarmcondities zoals hard-ware uitval of "high BER-alarm", status van de radioverbinding vóór een sessie, etc..

In het downstreamkanaal bevat een TCB informatie omtrent de capaciteitstoewijzing, de bursttiming in het TDM- en TDMA-frame voor de desbetreffende TER, prioriteiten, de eventuele reservering van de kanaalcapaciteit, huishoudelijke zaken, alarmcondities, status van de radioverbinding voor en tijdens een sessie, etc..

In de ACB wordt de actuele queue-grootte doorgegeven, evenals algemene informatie. Boven een bepaalde queue-grootte verzenden de TER's geen verzoeken.

De frequentie waarmee dergelijke informatie verzonden dient te worden is afhankelijk van het gestelde doel om een dynamisch netwerkprotocol op te stellen waardoor het mogelijk is snel en met geringe vertragingstijden gebruikers te kunnen voorzien van de nodige kanaalcapaciteit.

Het streven is om verschillende malen per minuut, gedurende het drukste uur, een herziening van de capaciteitstoewijzing c.q. verdeling te kunnen toestaan. Dit zal zich zeker in de praktijk voordoen (lit. 29). Gedurende een periode van lage verkeersintensiteit zal de tijdsduur tussen twee herindelingen enkele minuten of uren kunnen bedragen. Om snel te kunnen inspelen op veranderingen stellen we als eis dat CB's enkele malen per sec door iedere TER worden verzonden. De blokkeringskans willen we voor alle gebruikers gelijkstellen, zodat elke TER even frequent een CB mag verzenden en ontvangen. Bovendien noodzaakt deze eis om regelmatig nieuwe/aangepaste capaciteitsindelingen te maken voor bestaande dataverbindingen en verzoeken in de wachtrij (zie Fig. C.1, Appendix C).

De controle- en signaleringsinformatie kan worden gemultiplexed over een multiframe bestaande uit een aantal frames, zodat slechts een gering aantal bits per CB nodig kan zijn. Bijvoorbeeld een 16 bits controlewoord kan over 8 frames verzonden worden met 2 bits per frame. In het upstreamkanaal is dit gezien de nodige overhead voor synchronisatie per controleburst, niet efficiënt. Hierdoor zal de lengte van de controleburst in principe zoveel mogelijk moeten worden aangepast aan de lengte van de controle- en signalerings-codewoorden. Bovendien komt dit de signalerings- en alarmeringssnelheid ten goede.

Alarmerings- en controleberichten hebben betrekking op de lopende datastromen en dienen derhalve zeker frequenter voor te komen dan toewijzingsberichten. In Fig. 6.11 wordt een timing-diagram van de signalering gegeven.

De transmissietijd is opgedeeld in frames en multiframe. Een TER krijgt één CB toegewezen per multiframe bestaande uit M frames (in paragraaf 6.4. wordt M=4 genomen). Op tijdstip $t = t_1$ ontstaat bij een TER de

behoefte aan transmissiecapaciteit. In de eerste daarop volgende upstream-signaleringscyclus (start T_0) wordt in de toegewezen VCB een bericht of verzoek hiertoe naar het basisstation verstuurd ($t = t_2$). Ten behoeve van de betrouwbaarheid, op basis van bijvoorbeeld een majority beslissing, wordt de VCB in Y opeenvolgende multiframes herhaald uitgezonden. Op tijdstip $t = t_4$ zijn alle VCB's van alle TER's ontvangen en kan de toewijzingscyclus (zie Fig. C.1, Appendix C) beginnen. Voor het begin van een nieuwe downstream-signaleringscyclus (start T_0') is het nieuwe of aangepaste bursttijdplan berekend, zodat dit plan direct hierin samen met alle andere relevante signaleringsinformatie in de juiste ACB's en TCB's verzonden wordt. Omwille van betrouwbaarheid en spreiding van de berichten over meer multiframes bestaat de downstream-signaleringscyclus uit $4Y$ multiframes.

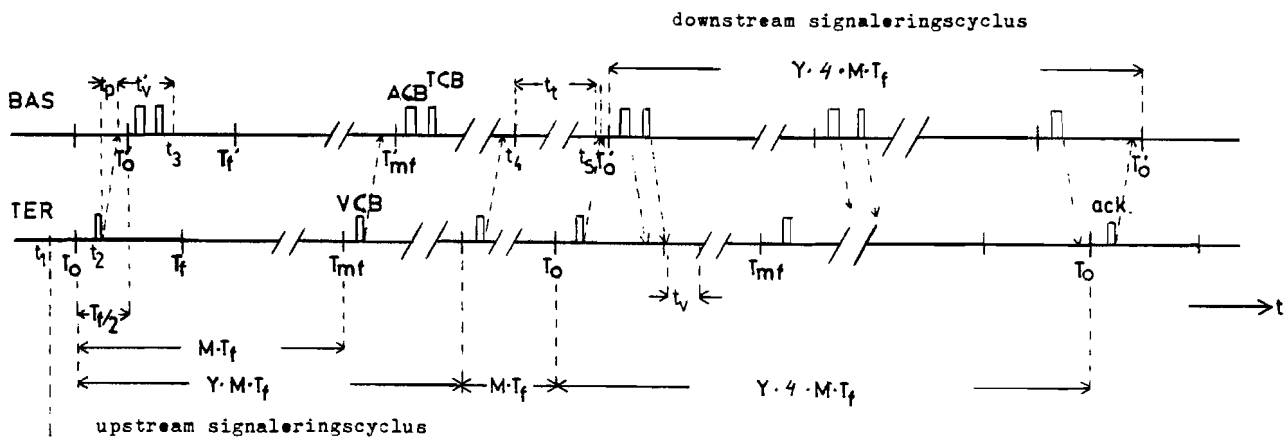


Fig. 6.11 : Timing diagram van de signalering

T_f : frameperiode

t_p : propagatietijd langs het radiopad

t_v : verwerkingstijd van één VCB in het basisstation

T_0 : start upstream-signaleringscyclus

T_0' : start downstream-signaleringscyclus

t_t : Toewijzingscyclus

Met de geringe radiopropagatietijd, t_p , die bij 8 km maximaal 26 microsec bedraagt, en de onderlinge tijdsverschuiving kan het downstream-controleleveld bij alle TER's ontvangen worden voor het begin van een nieuw upstream-multiframe. Hierna kan het gewijzigde of nieuwe bursttijdplan opgeslagen worden bij de desbetreffende TER's. Deze TER's sturen eerst een bevestiging (ack) in de nieuwe upstream-signaleringscyclus naar het basisstation terug indien ze klaar zijn.

Indien het basisstation heeft geverifieerd of alle TER's klaar zijn wordt via het downstreamkanaal (in de ACB gedurende één multiframe) de definitieve start van het nieuwe bursttijdplan gegeven.

De totale tijdsduur tussen het verzoek op tijdstip $t = t_2$ en de daadwerkelijke verandering van het bursttijdplan kunnen we als volgt aangeven:

$$T_s = T_f/2 + (6Y + 2) M \cdot T_f \text{ msec} \quad (6.11)$$

Met $M = 4$, $Y = 3$ en $T_f = 7,5$ msec geeft dit T_s ongeveer 0,6 sec. Deze waarden worden in paragraaf 6.4. aangenomen.

6.4. Framestructuur

Radiotransmissie in het upstreamkanaal is verschillend van die in het downstreamkanaal, zodat voor beide kanalen een aparte beschouwing van het basisbandsignaal noodzakelijk is.

De protocollen met betrekking tot de verschillende verbindingen in het OSI-model komen hierbij naar voren. Met name het Data link-protocol hangt nauw samen met de framestructuur.

Het is gebruikelijk om in TDMA- en TDM-systemen de beschikbare tijd te verdelen in (multi)frames (lit. 21, 22, 25). De (multi)frames in het TDMA-systeem worden onderverdeeld in datatijdsleuven, toegewezen aan de verschillende TER's en INT's.

De keuze van de framestructuur hangt af van de manier waarop de genoemde protokolfuncties uit paragraaf 6.3.1. eenvoudig, betrouwbaar en efficiënt gerealiseerd kunnen worden.

Een aantal criteria wordt hierbij van belang geacht:

1. bitfoutenkans;
2. frame-efficiëntie;
3. transmissie-efficiëntie;
4. complexiteit van de TDMA/TDM-hardware;
5. grootte van de noodzakelijke buffergeheugens;
6. verkeersaanbod (karakter en hoeveelheid);
7. signaleringssnelheid;
8. alarmeringssnelheid.

6.4.1. Overwegingen bij het ontwerp van de framestructuur

1. De bitfoutenkans

De bitfoutenkans is afhankelijk van de (E_b/N_0) -verhouding in de ontvanger waarop atmosferische condities van het direct-zicht radiopad een directe invloed hebben. Omdat volgens het opgestelde link-budget een bitfoutenkans van ongeveer 10^{-7} voor 99,99% van de tijd theoretisch mogelijk moet zijn in het up- en downstreamkanaal, zou foutendetectie of foutencorrectie niet noodzakelijk behoeven te zijn. Onvoorziene storingen, extra dempingen en interferenties kunnen de kwaliteit van de datatransmissie zodanig verlagen ($P_b > 10^{-7}$) dat men maatregelen dient te treffen door middel van foutencontrole. Foutencontrole-codering toegepast in digitale communicatienetwerken kan worden bereikt door Forward Error Correction (FEC), Automatic Repeat Request (ARQ) of door een combinatie van FEC en ARQ (lit. 21, 22).

Foutenherstel door interpolatie van goed ontvangen naburige datablokken zoals bij gesampelde audiosignalen in PTT verbindingen, is vanzelfsprekend niet mogelijk. De datablokken zijn immers ongecorreleerd in deze toepassing.

Uit (lit. 21, 22) blijkt dat foutendetectie gevolgd door hertransmissie, toegepast in het PMPS-radiosysteem, geen goede oplossing is omdat we in feite te maken hebben met éénweg verbindingen. De signalering met betrekking tot hertransmissie in het ARQ-systeem kost veel tijd en buffergeheugenruimte. Foutencorrigerende codes in FEC-technieken behoeven geen terugkoppeling (geen tweeweg communicatie) of een controleerbare databron en introduceren geen interrupties of vertragingen in de datastroom van en naar de gebruikers. Hierdoor is behalve voor codering en decodering niet veel buffering (zoals bij ARQ) nodig en levert FEC een constante throughput (lit. 22).

Nadelig is dat in het algemeen in FEC-systemen meer redundante symbolen vereist zijn, zodat de frame-efficiëntie, afhankelijk van de gewenste kwaliteit, verlaagd wordt.

Voorstel

Een simpele manier van foutencontrole is om de signaalkwaliteit continue te kunnen meten en te bewaken. Er kan hierbij worden volstaan met een simpele pariteitscontrole per datablok. Om ook burstfouten te kunnen detecteren is een 16-bits CCITT-Cyclic Redundancy Check (CRC) checkwoord toegevoegd aan elk datablok ruimschoots voldoende.

Daarnaast wordt de mogelijkheid geïmplementeerd om bepaalde gebruikers een kwalitatief hoogwaardiger verbinding te kunnen geven. Voorgesteld wordt om daarom FEC met een convolutie- of BCH-code toe te passen op elk datablok in een datatijdsleuf. De coders en decoders worden in enkele DBP's geplaatst of na een aantal gemultiplexte DBP's behorende tot de desbetreffende TER. Bij behandeling van de Gebruiker Terminal Interface (GTI) in hoofdstuk 7 wordt dit nader geïllustreerd. BCH-codes zijn cyclische codes, zodat codering en decodering kan worden uitgevoerd door middel van eenvoudige schuifregister-circuits (lit. 21). De dubbel-foutencorrigerende (127, 113) of de (511, 493) BCH-code kunnen een redelijke kwaliteitsverbetering garanderen. Een vergelijking van coderingstechnieken wordt in Fig. 6.12 gegeven. Door de codering zal een lagere effectieve datasnelheid per datatijdsleuf behaald worden.

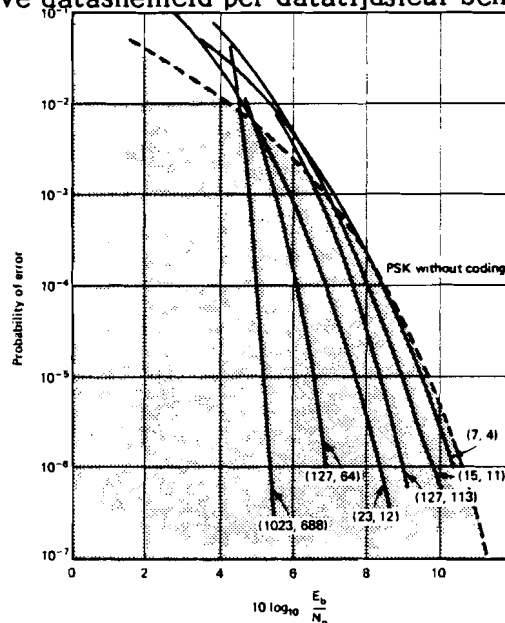


Fig. 6.12 : Een vergelijking van BCH-coderings-technieken ten behoeve van foutencontrole (lit. 21)

2. Frame-efficiëntie

De frame-efficiëntie F is een maat voor de hoeveelheid gebruikersdata die in de totale informatiestroom kan worden verzonden. Deze wordt gegeven door de volgende uitdrukking:

$$F = \frac{R_F \cdot T_f - M_B O_B - (M_B + K) O_G - K \cdot K_B - D_T \cdot O_D - B_R}{R_F \cdot T_f} \cdot 100\% \quad (6.12)$$

met:

R_F : 8.448 Mbit/s

T_f : frameperiode in msec.

M_B : aantal databursts in één frame

O_B : aantal overheadbits per databurst in de preamble

O_G : aantal guardbits waarmee de guardtijd kan worden aangegeven

K : aantal controlebursts per frame

K_B : aantal bits per controleburst

D_T : aantal datatijdsleuven in een frame

O_D : aantal bits aan overhead en foutencontrole per datatijdsleuf

B_R : referentieburstlengte

Duidelijk is te zien dat lange frames direct leiden tot een hoge frame-efficiëntie. We kunnen uitdrukking (6.12) ook herschrijven tot:

$$F = \frac{D_T \cdot 16D}{R_F \cdot T_f} \cdot 100\% = \frac{D_T}{132} \cdot 100\% \quad (6.13)$$

Met:

D : het aantal 16 bits datawoorden in één datatijdsleuf,

$D \cdot 16 / T_f = 64 \text{ kbit/s}$

De maximale hoeveelheid gebruikersdata die per frame kan worden verzonden, volgens combinatie A + C is afhankelijk van het verkeersaanbod. De reden hiervan is dat door samenvoegen van de datatijdsleuven tot een ononderbroken databurst de totale overhead per databurst kleiner kan zijn dan bij verspreide datatijdsleuven volgens combinatie B en D. Indien veel databursts een gering aantal datatijdsleuven bevatten betekent dit een lagere frame-efficiëntie dan bij een gering aantal lange databursts.

Omdat het frame bij beide combinaties wordt onderverdeeld in een discreet aantal datatijdsleuven met ieder een vaste lengte, zal een klein gedeelte van de transmissietijd in het frame ongebruikt blijven. Indien alle beschikbare transmissiecapaciteit ook benut wordt dienen (6.12) en (6.13) dezelfde waarde van F te geven.

Uitdrukking (6.13) geeft echter in alle situaties de actuele frame-efficiëntie, zodat in het verdere verloop deze uitdrukking gehanteerd wordt. De frame-efficiëntie wordt naar boven toe begrensd door het maximale aantal datatijdsleuven per frame. Voor de frame-efficiëntie van het TDM-frame in de down-stream richting kan dezelfde uitdrukking (6.13) gebruikt worden. Omdat hierbij minder overhead nodig is voor guardtijden en klokterugwinning, zal F groter zijn dan bij het TDMA-frame. F groter dan 80% wordt haalbaar geacht in dit systeem.

3. Transmissie-efficiëntie

Indien geen FEC wordt toegepast in een TER is het van belang niet alleen de frame-efficiëntie maar ook de transmissie-efficiëntie te beschouwen. Er is dan namelijk slechts foutendetectie en eventuele stopzetting van de datatransmissie. De foutenkans P_E voor overgezonden datablokken is afhankelijk van de bitfoutenkans P_b en de databloklengte $D \cdot 16$ in bits, volgens:

$$P_E = 1 - (1 - P_b)^{D \cdot 16} = 1 - P_s$$

Hierbij wordt aangenomen dat de fouten niet in groepjes voorkomen. De transmissie-efficiëntie wordt nu samen met (6.13):

$$T_e = \frac{D_T (1 - P_E)}{132} \cdot 100\% \quad (6.14)$$

Databursts verzonden met een lokale bestemming doorlopen het upstream- en downstreamkanaal waardoor de kans op succesvolle overdracht van een datablok kleiner wordt volgens:

$$P_s = (1 - P_b)^{32 D} \quad (6.15)$$

Voor verschillende waarden van P_b en D wordt T_e in Appendix C nader berekend. Een korte frame-periode met kleine waarde van D is bij een relatief grote bitfoutenkans te prefereren.

4. Complexiteit en buffergeheugens

Gesteld wordt dat uit kostenoverwegingen de benodigde geheugencapaciteit in de TER's klein dient te zijn. FEC-technieken toegepast in elke DBP van een TER kunnen de kosten hiervan sterk verhogen. Flexibiliteit in de foutencontrole moet worden afgewogen tegen de hogere kosten door complexiteit. Een gedeelde FEC-codec na (voor) de (de-)multiplexer verlaagt de flexibiliteit maar ook de kosten.

De belasting van de Centrale Controle Unit (CCU) in het basisstation en de Terminal Controle Processor (TCP) in een TER, neemt toe bij kortere datatijdsleuven en kortere frames. Het aantal te verzenden/ontvangen/routeren datablokken, overhead en frames per seconde neemt immers toe. De benodigde signalering en controle is hieraan evenredig. Er dient dus een optimum gevonden te worden tussen de transmissie-efficiëntie T_e en de belasting van de micro-processoren. Dit optimum is afhankelijk van de toe te passen micro-processoren in CCU en TCP. Uit (lit. 32, hoofdstuk 15 en 18) blijkt dat de Z 8000 en Intel 8086 met 16 bit datastructuur, als mogelijkheid geopperd kunnen worden. De grootte van de compressie/expansie buffers is afhankelijk van de gewenste waarde van D .

5. Verkeersaanbod

Overeenkomstig het uitgangspunt (hoofdstuk 3) is het aantal aangesloten GG's 20 tot 50, zodat het aantal datatijdsleuven per frame hierop afgestemd wordt.

6. Signalerings- en alarmerings-snelheid

Multi-framing voor de signalering, controle en alarmerings-berichten werd in paragraaf 6.3. voorgesteld. Daarentegen is multiframing voor de datatransmissie niet nodig omdat de te verwachten gebruikersbitsnelheid hoger ligt dan de te kiezen frame-frequentie ($1/T_f$).

T_f heeft directe invloed op de totale tijdsduur van een up en downstream-signaleringscyclus. Met $10 \gg M \gg 4$ en $8 \gg Y \gg 3$ dient $T_f \ll 10$ msec te zijn opdat $T_s \ll 5$ sec (formule 6.11).

Voor toewijzing op verzoek wordt een grotere frame-lengte dan bij permanente toewijzing aanbevolen door (lit. 21), waarden van 2 msec tot 25 msec worden hierbij gehanteerd.

De frame-periode dient ook voldoende kort te zijn om in een spraak(duplex)-verbinding een echo ten gevolge van niet-ideale voorschakelingen en dergelijke, niet als hinderlijk te ervaren. Bovenstaande punten in acht genomen dient de frame-periode T_f te voldoen aan:

$$2 \text{ msec} \ll T_f \ll 10 \text{ msec}$$

6.4.2. Keuze van framestructuur

Het frame in het up- en downstreamkanaal wordt opgebouwd conform een 8 bit geïntegreerd protocol. De frame-periode wordt voor beide kanalen 7,5 msec genomen. Het frame bestaat uit twee verschillende velden:

1. het controleveld;
2. het dataveld.

Upstreamkanaal TDMA (Fig. 6.13)

1. Het controleveld is bedoeld voor signalerings- en controleberichten afkomstig van de TER's en is opgebouwd uit 12 VCB's. Deze bevatten een preamble ten behoeve van klok- en fasesynchronisatie (16 bits), een identificatiecodewoord (IC) met 256 adresserings mogelijkheden, een uniek woord als Burst Start (BS) en het eigenlijke informatieveld. Een guard-tijd overeenkomstig 8 bits moet overlappende VCB's voorkomen. De eisen gesteld aan de nauwkeurigheid van de bursttiming worden hiermee haalbaar geacht ($\Delta T \approx 0,95$ microsec). Het informatieveld bestaat uit 64 bits. Het signaleringsmultiframe bestaat uit 4 frames. De lengte van het controleveld is constant (1344 bits).

De timing van de uitzending van VCB'S alsmede de databursts wordt afgeleid uit een frame-referentieburst in het TDM-frame en uit het bursttijdplan.

2. Het dataveld bevat de databursts afkomstig van de TER's. Deze worden volgens het bursttijdplan dat op dat moment geldig is verdeeld over het frame. Een guardtijd van 8 bits tussen de datatijdsleuven wordt gehanteerd. Elke datatijdsleuf bevat dezelfde preamble als vermeld bij de VCB. In feite hebben we hierdoor een dubbele controle bij ontvangst: volgens het bursttijdplan, het BS- en het IC-woord. Er zijn totaal 110 datatijdsleuven in het dataveld. Elke datatijdsleuf bevat totaal 32 bits aan overhead:

- minimaal 16 bits voor foutendetectie (of -correctie);
- 2 tot 4 bits voor kloksynchronisatie in het TDM-frame;
- 0 tot 12 bits voor bestemmingsadres en extra pariteits bits voor FEC-foutencontrole en zelfs eventueel adressering binnen een TER.

Het eigenlijke dataveld bevat 480 databits per datatijdsleuf. De totale lengte van een datatijdsleuf is constant (552 bits) conform methode B en heeft een vaste positie in het frame. Een vergelijking voor verschillende dataveldlengtes ($D \cdot 16$) per datatijdsleuf voor methode A en B wordt in Appendix D gegeven.

Downstreamkanaal TDM (Fig. 6.14)

1. Het controleveld is opgebouwd uit maximaal 48 TCB's (40 bits) en één ACB (40 bits) onderling gescheiden door 4 guardbits. Per TER één TCB.

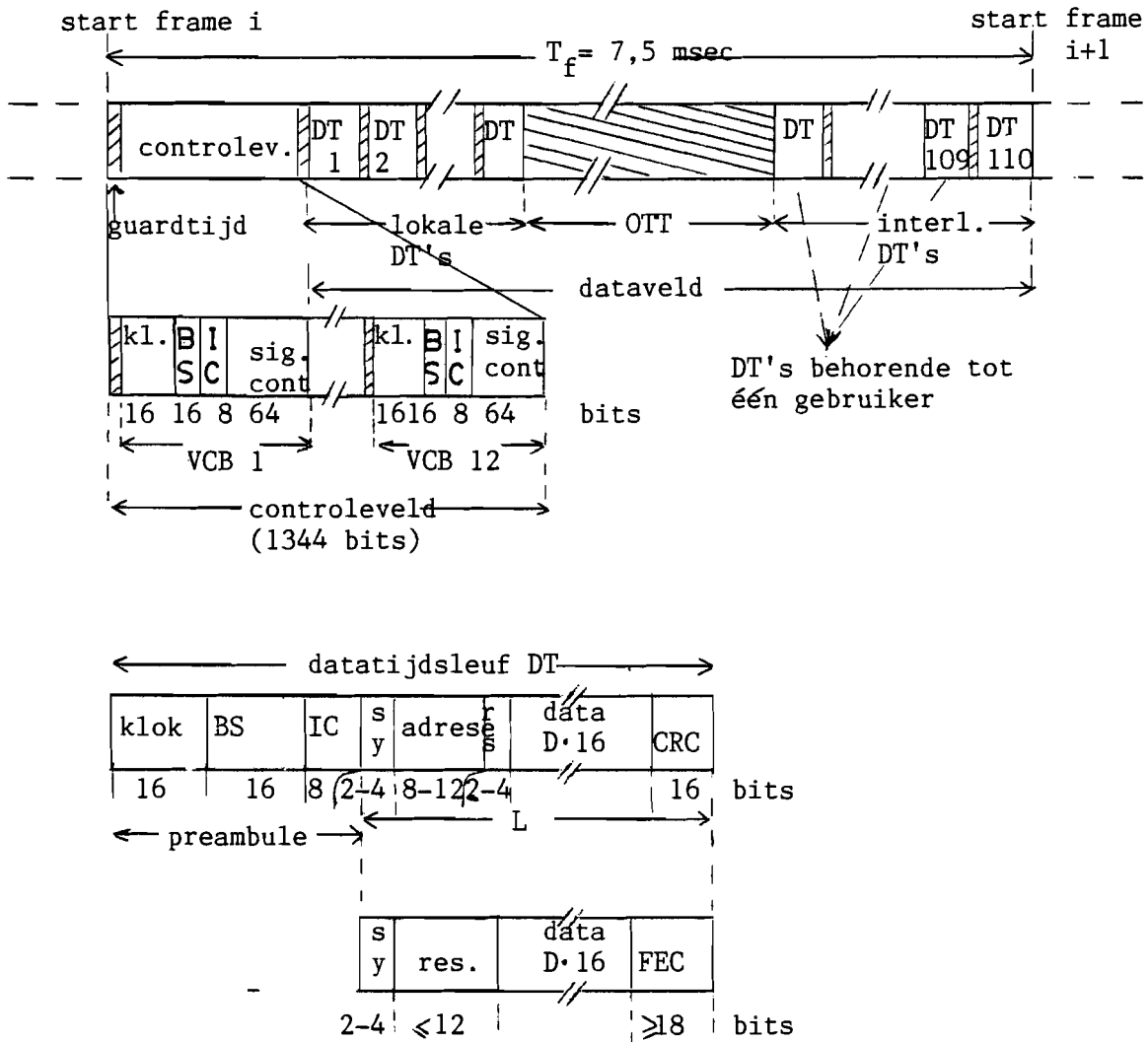


Fig. 6.13 : Het TDMA-frame in het upstreamkanaal

L= 512 , D =30

BS = Burst Start Codewoord

CRC = Cyclic Redundancy Check

IC = Identificatie Codewoord

FEC = Forward Error Correction

DT = Datatijdsleuf

OTT = Ongebruikte Transmissietijd

sy = synchronisatietijd (in het downstreamkanaal)

res = reservebits ten behoeve van foutencontrole en/of adressering

Het signaleringsmultiframe bestaat uit 16 frames. Een begin- en eindvlag markeren het controleveld. In iedere TCB zijn 32 bits aanwezig om de datatijdsleufnummers van een databurst in het up- en downstreamkanaal door te sturen naar de bursttiming controle van de TER. Per signaleringsmultiframe kunnen dus maximaal 32 nummers per kanaal doorgegeven worden.

Voor het controleveld bevinden zich twee referentiebursts voor frame- en netwerksynchronisatie. De totale lengte van het controleveld is constant (2168 bits).

2. Het dataveld bevat vooraan zoveel mogelijk lokale datatijdsleuven en achteraan in het frame zoveel mogelijk interlokale datatijdsleuven. Het enige verschil met het upstream-dataveld is dat geen guardtijden, klokterugwinning, BS- en IC-codewoorden nodig zijn. Het aantal datatijdsleuven (119) is daardoor ook groter (Appendix D).

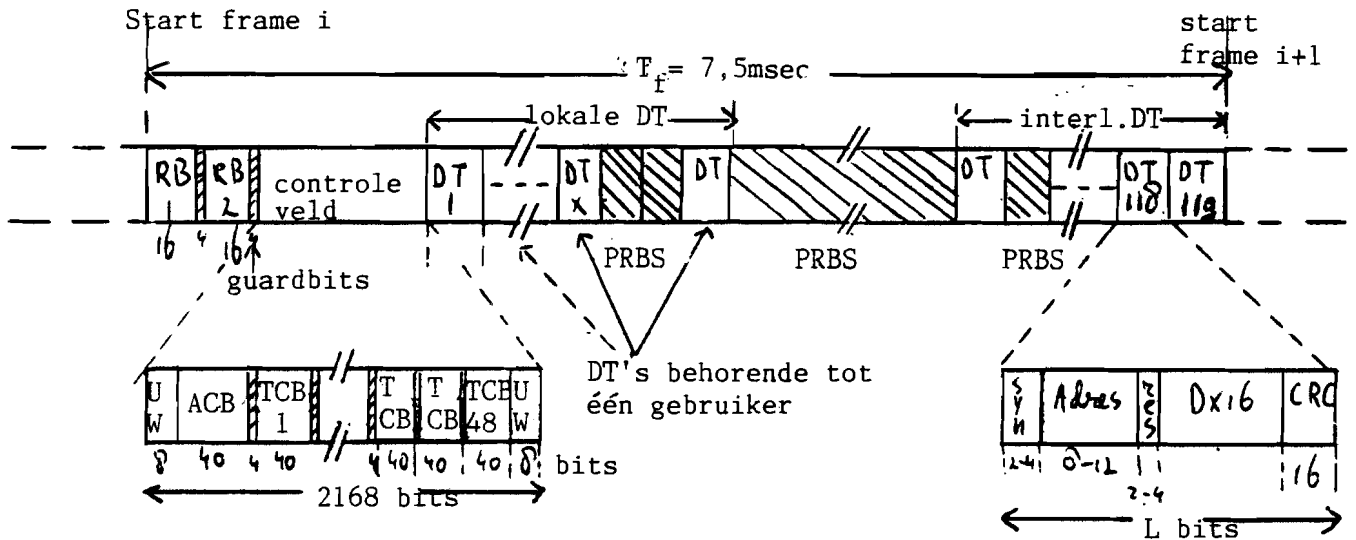


Fig. 6.14 : TDM-frame in het downstreamkanaal
 $L = 512, D = 30$

- RB = Referentie Burst
- UW = Uniek woord
- ACB= Algemene Controle Burst
- TCB= Toewijzings Controle Burst
- PRBS = Pseudo Random Bit Sequence
- DT = Datatijdsleuf

7. SYSTEEMONTWERP

In dit hoofdstuk wordt in grote lijnen het hardware gedeelte op basisband-niveau van het basisstation, het buitenstation en een TER aan de hand van blokschema's behandeld.

7.1. Het basisstation

Het basisstation in zijn algemene vorm werd reeds in hoofdstuk 4 behandeld.

In de RF-unit wordt het middenfrequente-sigitaal (70 of 118 MHz) gemengd tot de draaggolffrequentie en via de antenne(s) verzonden. Deze RF-unit bevindt zich zo dicht mogelijk bij de antenne zodat een compacte "outdoor-unit" ontstaat. De outdoor-unit laten we verder buiten beschouwing (lit. 8). Het basisstation regelt en coördineert vanuit de TBE (Fig. 7.1) het gehele PMPS-radiosysteem.

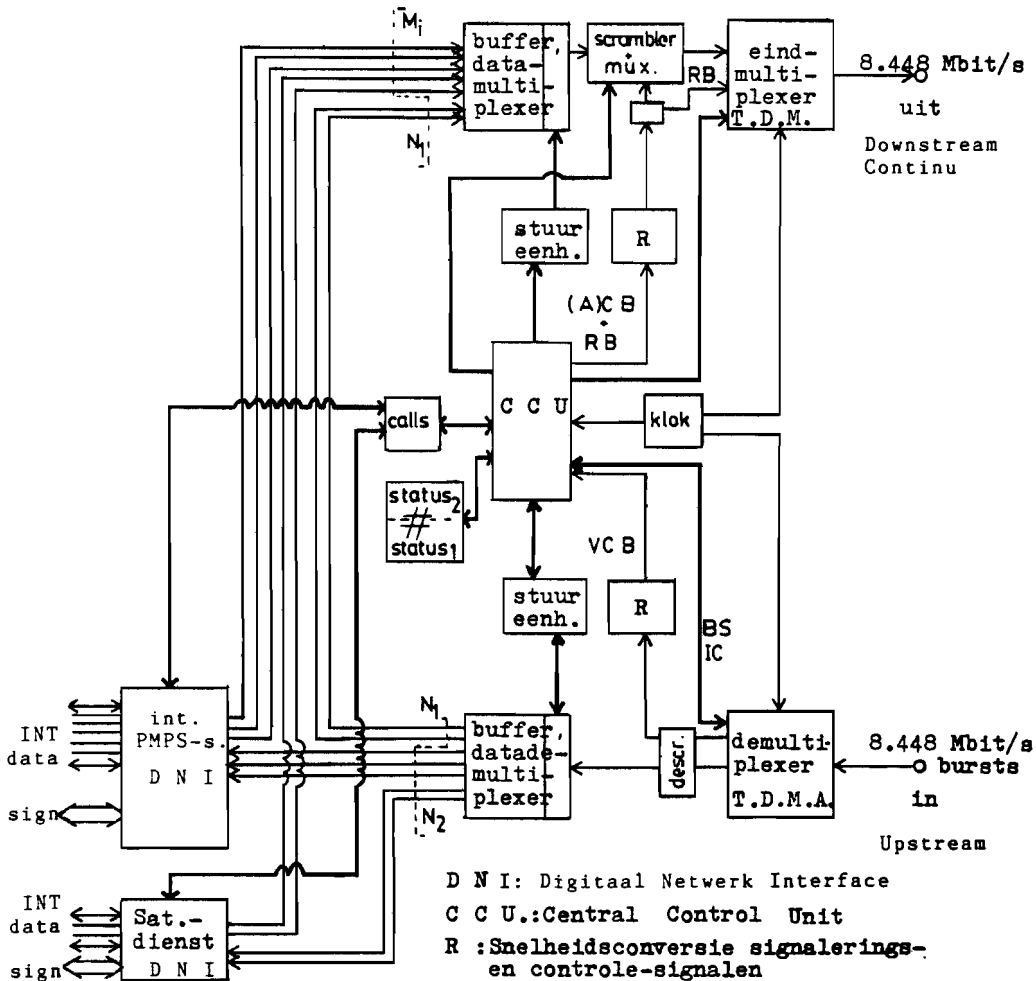


Fig. 7.1 : Blokschema van de TDMA Base Equipment (TBE)

De wijze waarop de data van en naar TER's en INT's in de TBE wordt

doorgeschakeld geschiedt volgens het verdeelprincipe (hoofdstuk 6). Het hart van de TBE, de CCU, zorgt voor de capaciteitstoewijzing en berekening, de netwerkbeheersing, signalering, etc.. Het toewijzingsalgoritme is hier in soft-ware geïmplementeerd. Oproepen en verzoeken afkomstig van INT's worden via de betreffende DNI, naar het "calls"-circuit gestuurd. Deze stuurt ze op de juiste wijze naar de CCU zodat de berichten kunnen worden geselecteerd en in een toewijzingscyclus (Appendix C) worden gebracht. Afhankelijk van de aansluitingen met andere digitale netwerken worden verschillende interface-eisen gesteld. Deze zijn daarbij conform de CCITT Rec. G703 aanbevelingen of andere protocollen (X-25 of X-21).

De VCB's worden gedetecteerd en ondergaan een snelheidsconversie zodat deze in een CCU verwerkt kunnen worden. In de zendrichting worden de TCB's en ACB's via een buffer gemultiplexed en in het upstream-controlelevel geplaatst (eindmultiplexer). De scrambler telt een Pseudo Random Bit Sequence (PRBS) op bij de data in de datatijdsleuven en in de ACB's en TCB's. Op deze wijze blijft de klokintegriteit behouden gedurende de tijd dat geen berichten worden verzonden in het downstreamkanaal en wordt het uitgezonden frequentiespectrum gefatsoeneerd (Energy Dispersal).

De invloed van een soortgelijke PRBS in het upstreamkanaal wordt geëlimineerd door een descrambler.

De PRBS kan gegenereerd worden met behulp van een teruggekoppeld schuifregister, identiek voor de scrambler en descrambler in hetzelfde radiokanaal. Omdat de preambule in een datatijdsleuf in het upstreamkanaal bestaat uit een klokterugwinnings-bitreeks en een uniek woord (BS) ten behoeve van de burstsynchronisatie, kunnen deze niet gescrambled worden. Descrambling vindt dus plaats na detectie van het BS-woord. Hetzelfde geldt voor de referentiebursts in het downstreamkanaal (RB). De datablokken en de overhead in de datatijdsleuven worden in de datademultiplexer gescheiden door middel van de Data Basisband Poortmodules (DBP) op dezelfde wijze als in een TER, beschreven in paragraaf 7.2.

7.2. Het buitenstation

Het buitenstation kan gezien worden als een klein radio-distributiepunt voor een gering aantal (maximaal 4) GG's. Ook hier bevindt de RF-unit zich zo dicht mogelijk bij de antenne en vindt samenstelling plaats tot een compacte outdoor-unit. Het vertragingcircuit (hoofdstuk 4) in de gemeenschappelijke modem-interface en de bursttiming controle zorgen ervoor dat de bursts elkaar niet overlappen bij ontvangst in het basisstation. Het maximale tijdsverschil tussen binnenkomende bursts ten gevolge van de verschillen in afstand tussen de verspreide buitenstations is ongeveer 27 microsec (227 bits) en dient derhalve gecompenseerd te worden. Hierbij wordt uitgegaan van een minimale afstand tussen buiten- en basisstation van 100 m en een maximale afstand van 8 km.

Elke TER stuurt een "TX Timing Control"-signaal naar de modem-interface die het weer doorstuurt naar de modem (carrier on/off). Elke TER bestaat uit een TDMA Terminal Equipment (TTE) en een Gebruiker Terminal Interface (GTI); deze worden resp. in Fig. 7.2 en Fig. 7.3 geschetst.

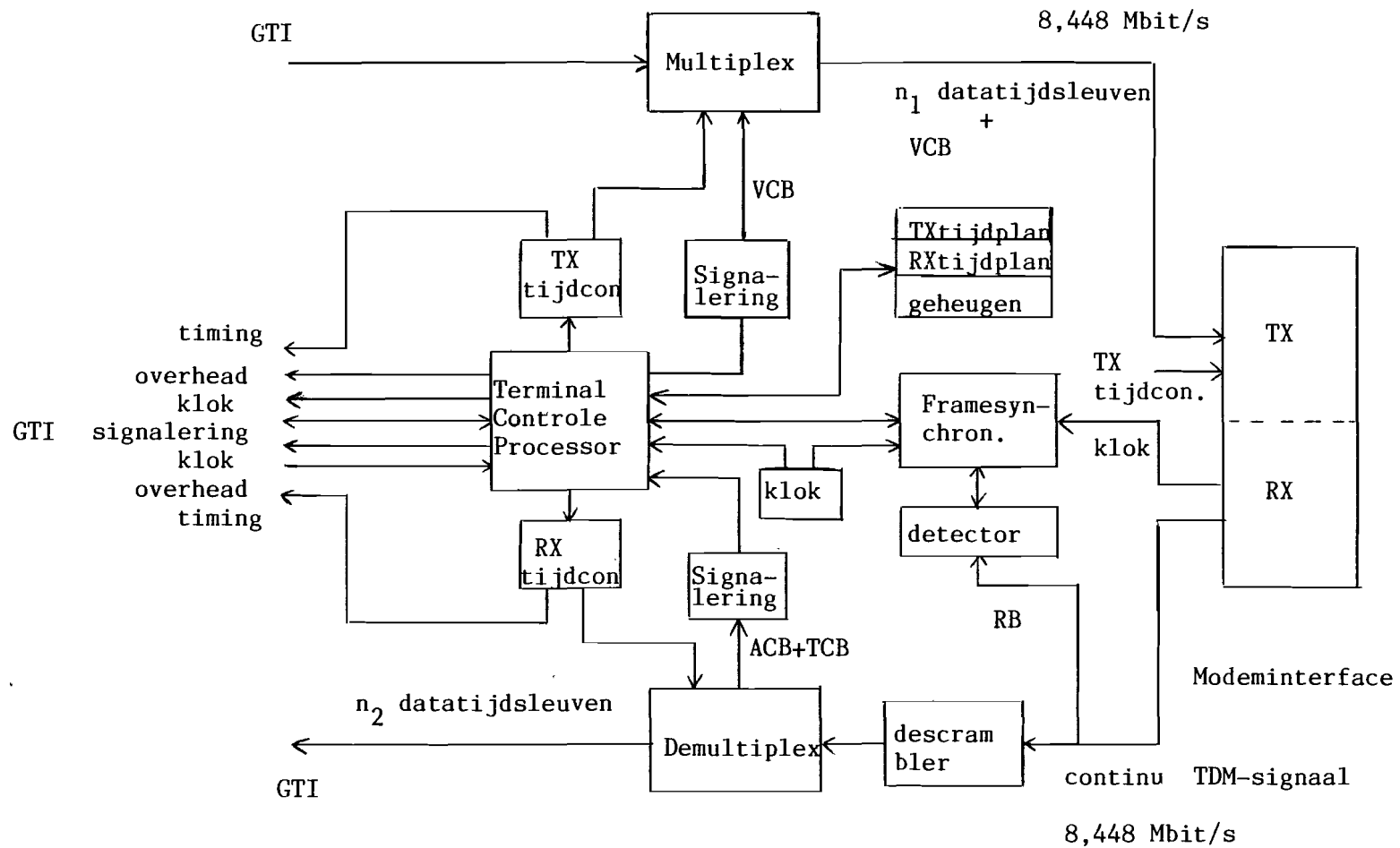


Fig. 7.2 : Blokschema van de TDMA Terminal Equipment (TTE)

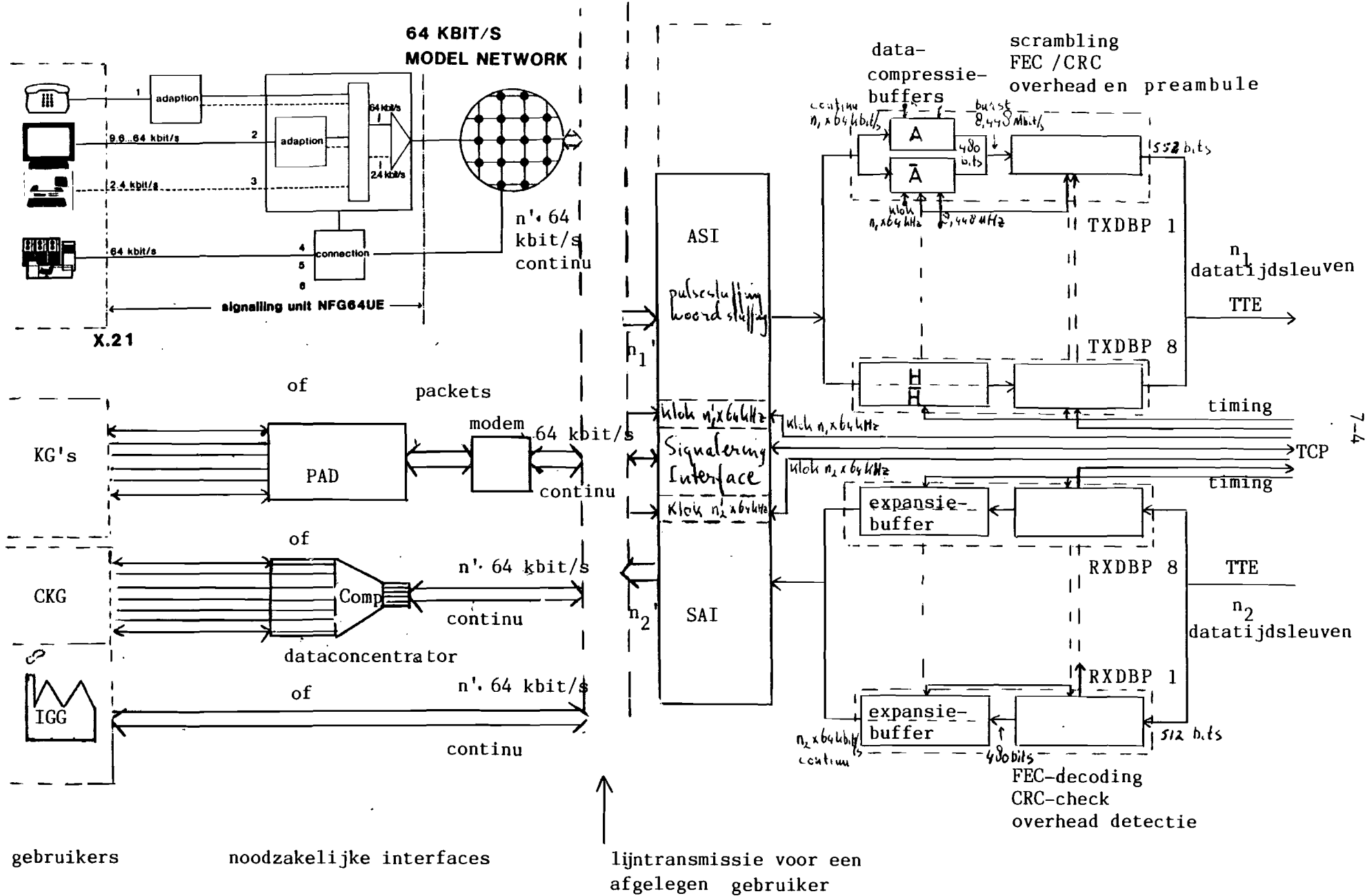


Fig. 7.3 : Blokschema van de Gebruiker Terminal Interface (GTI) van een KTER (max. 512 kbit/s)

Een TTE verzorgt de functies geassocieerd met het TDMA-systeem zoals TX, RX-timing, signalering, (de-)scrambling, bijhouden van het bursttijdplan in geheugen, interactiviteit met de gebruikers met betrekking tot hun wensen, etc.. Dit alles wordt centraal gecoördineerd en geregeld door middel van de Terminal Control Processor (TCP).

De GTI verzorgt de koppeling tussen een aangesloten GG en de TER en is opgebouwd uit een aantal DBP's, de A synchrone-Synchrone Interface (ASI) en de Synchrone-A synchrone Interface (SAI).

De DBP's worden onderscheiden in TXDBP's en RXDBP's (in up- en downstream richting).

Een TXDBP bevat een compressiebuffer die de snelheidsconversie van een continu low speed ($n_1 \cdot 64$ kbit/s) naar de high speed burstnelheid bewerkstelligt. Dit zijn in feite twee dynamische schuifregisters die ieder om het andere frame een blok van 480 databits langzaam inlezen. De signaalstructuur voor en na de compressiebuffers wordt in Fig. 7.4 weergegeven. Daar waar bij TER's een FEC-codec geeist wordt, zal deze in plaats van de CRC-foutdetectie komen. De overhead en data in een datatijdsleuf worden gecodeerd en na scrambling doorgestuurd naar de TTE. Scrambling wordt niet toegepast op het BS-codewoord en de klokterugwinning-bitreeks. De TXDBP staat onder besturing van de TCP, de TX Burst Timing Control en krijgt twee kloksignalen toegevoerd (één 8.448 MHz klok en een instelbare klok met $n_1 \cdot 64$ kHz).

Een RXDBP voert in feite de inverse bewerking uit.

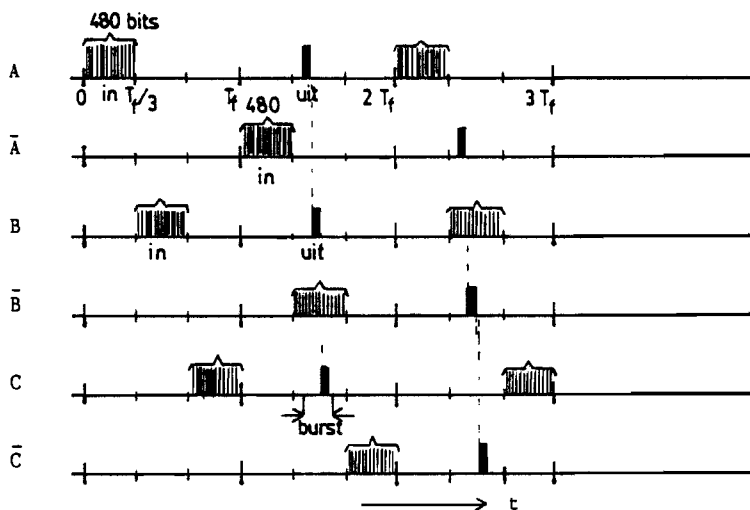


Fig. 7.4 : Signaalstructuur voor en na compressiebuffers zoals aangegeven in Fig. 7.3

Gewenste datasnelheid is $3 \cdot 64$ kbit/s.

De ASI en SAI zijn bedoeld om het dataformaat afkomstig van en naar de gebruiker aan te passen aan het gewenste signaal in de TER. Dit kan

geschieden door middel van woord- en/of puls- stuffing. Er is een aantal verschillende typen ASI's/SAI's mogelijk, afhankelijk van de specifieke gebruiker. De GTI is aangesloten op een geschikt kabelsysteem dat lijntransmissie mogelijk maakt naar een op afstand gelegen GG.

Een CKG wordt eerst aangesloten op een dataconcentrator om de stootsgewijze signaalstructuur om te zetten in een continu signaal. Eventueel kan een PAD volgens (lit. 14) via een 64 kbit/s continu modem worden aangesloten. Het datapakket conform het HDLC-protocol wordt in zijn geheel in een datatijdsleuf geplaatst. Het informatieveld in dit pakket dient hierop afgestemd te worden. KG's kunnen eventueel in een later stadium via het 64 kbit/s modelnetwerk (lit. 13) en conform het X-21 (of V-36, V-37 protocol) worden aangesloten.

8. TOETSING VAN MODEL

In dit hoofdstuk wordt aan de hand van bepaalde beoordelingscriteria een toetsing van het voorgestelde systeemmodel uitgevoerd. De belangrijkste systeemparameters worden daarna in een kort overzicht geplaatst en er volgt dan een evaluatie.

8.1. Beoordelingscriteria en verkeersberekeningen

8.1.1. De bovengrens van de throughput

De totale throughput S als functie van het verkeersaanbod R wordt berekend omdat hierin de efficiëntie van het toewijzingsprotocol inbegrepen is. De throughput per TER wordt buiten beschouwing gelaten. De throughput per datatijdsleuf wordt begrensd door de bursty-factor van de gegeven verkeersbron (TER of INT) (Formule 6.1). Up- en downstreamthroughput worden gescheiden bij lokaal verkeer. Er geldt voor de totale effectieve upstreamkanaal-throughput met (formule 6.1):

$$S_e(u) = R(u) \cdot P_s(u) \quad \text{erlang} \quad (8.1)$$

en voor de totale effectieve downstreamkanaal-throughput:

$$S_e(d) = R(d) \cdot P_s(d) \quad \text{erlang} \quad (8.2)$$

$$\text{met } R(u) = \frac{D_{Tg}(u) \cdot 64 \cdot 10^3 \cdot 100}{8,448 \cdot 10^3 \cdot F_{\max}} = \frac{D_{Tg}(u)}{D_{Tm}(u)} \quad \text{erlang} \quad (8.3)$$

$$\text{en } R(d) = \frac{D_{Tg}(d)}{D_{Tm}(d)} \quad \text{erlang} \quad (8.4)$$

Hierbij zijn $D_{Tg}(u)$, $D_{Tg}(d)$, $D_{Tm}(u)$ en $D_{Tm}(d)$ grootheden die reeds gedefinieerd waren bij formules (6.2), (6.3), (6.5) en (6.6) in hoofdstuk 6.

De transmissie-efficiëntie T_e wordt buiten beschouwing gelaten. De fouten worden wel gedetecteerd, echter stopzetting van de data-overdracht is niet nodig (vanwege een voldoende kleine bitfoutenkans, $P_b \ll 10^{-7}$) of er vindt FEC-foutencorrectie plaats.

$P(u)$ en $P(d)$ geven de kans op succesvol verkeer aan in het up- en downstreamkanaal. Hiermee wordt bedoeld de kans dat een verbinding op verzoek direct kan worden opgestart. Dit is nadat in de toewijzingscyclus volgend op de upstream-signaleringscyclus (paragraaf 6.3.4.) waarin het verzoek verstuurd werd, het verzoek positief is beoordeeld. Er is in dat geval geen blokkering of wachttijd. De radioverbinding is van voldoende kwaliteit en de bestemming is dus niet bezet.

In formule levert dit:

$$P_s(u) = (1 - P_B(u))(1 - P_z(u)) \cdot Q(u) \quad (8.5)$$

en

$$P_s(d) = (1 - P_B(d))(1 - P_z(d)) \cdot Q(d) \quad (8.6)$$

met:

P_B : de kans op blokkering van de verzoeken in de eerste toewijzingscyclus na de upstream-signaleringscyclus. Er zijn in dat geval onvoldoende vrije datatijdsleuven om de benodigde capaciteit direct te leveren. Het verzoek wordt in de queue geplaatst.

P_z : de kans dat de bestemming reeds bezet is (afhankelijk van R).

Q: de beschikbaarheidsfactor (hoofdstuk 3). Q(u) en Q(d) stellen we gelijk.

$P_B = P(R > 1)$ in het ideale geval. P_B kunnen we ook beschrijven als de kans op een verlate afhandeling van het verzoek.

De bezettingskans voor oproepende gebruikers (INT's) in het downstreamkanaal is afhankelijk van het aantal reeds toegewezen en actieve TER's en INT's (N_1 en M_1) volgens:

$$P_z(d) = \frac{N_1 + M_1}{N} \quad (8.7)$$

Voor de totale gemiddelde bezettingskans voor alle aangesloten INT's geldt:

$$\bar{P}_z(d) = \frac{1}{N_1 + M_1} \sum_{j=1}^{N_1 + M_1} \frac{j-1}{N} \quad (8.8)$$

De bezettingskans voor oproepende gebruikers GG's in het upstreamkanaal is afhankelijk van het aantal reeds toegewezen en actieve TER's en INT's (N_1, M_1, N_2), het aantal actieve, van interlokale bronnen ontvangende, INT's (M_{11}) en het totaal aantal aangesloten TER's en INT's (X), volgens:

$$P_z(u) = \frac{(N_1 + M_1) + (N_2 + M_{11})}{X - 1} = \frac{M}{X - 1} \quad (8.9)$$

en

$$\bar{P}_z(u) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \frac{j-1}{X-1} \quad (8.10)$$

Indien een TER een lokale verbinding wil opstarten (met een andere lokale TER), dan wordt de effectieve up- en downstreamthroughput:

$$S_e(u + d) = \frac{D_{Tg}(u) + D_{Tg}(d)}{D_{Tmax}(u) + D_{Tmax}(d)} \cdot (1 - P_B(u))(1 - P_B(d))(1 - P_z) Q^2 \quad \text{erlang} \quad (8.11)$$

Theoretische curves van de throughput $S_e(d)$ als functie van R bij gegeven

verkeersparameters worden in Fig. 8.1 geschetst.

Voor de combinatie B + D geldt dat de bovengrens van de throughput bereikt wordt voor $R > 1$, omdat van het totaal aantal verzoeken bij $R > 1$ een gedeelte toch kan worden toegewezen. De betreffende aangevraagde bestemmingen zijn nog niet bezet. Omdat de throughput-karakteristiek geheel afhankelijk is van een aantal verschillende verkeersparameters is slechts voor een tweetal situaties een curve geschetst. In de eerste situatie geldt dat $N_1 + M_1$ klein is en R evenredig is met de bitsnelheden van de gebruikers. De bezettingskans neemt weinig toe bij vergroting van R zodat de bovengrens van $S_e(d)$ relatief snel bereikt wordt. In de tweede situatie is R evenredig met $N_1 + M_1$ indien we veronderstellen dat de bitsnelheid per gebruiker constant blijft. Hierdoor neemt de bezettingskans sterk toe en zal de bovengrens van $S_e(d)$ langzaam worden bereikt ($R \gg 1$). Voor de combinatie A + C geldt dat naast bovengenoemde bezettingskans de blokkeringskans ook toeneemt als functie van het reeds bestaande en nieuwe verkeersaanbod. Een mogelijk verloop van de curve, in de situatie dat een aantal opzeggingen is ontstaan, wordt daartoe geschetst.

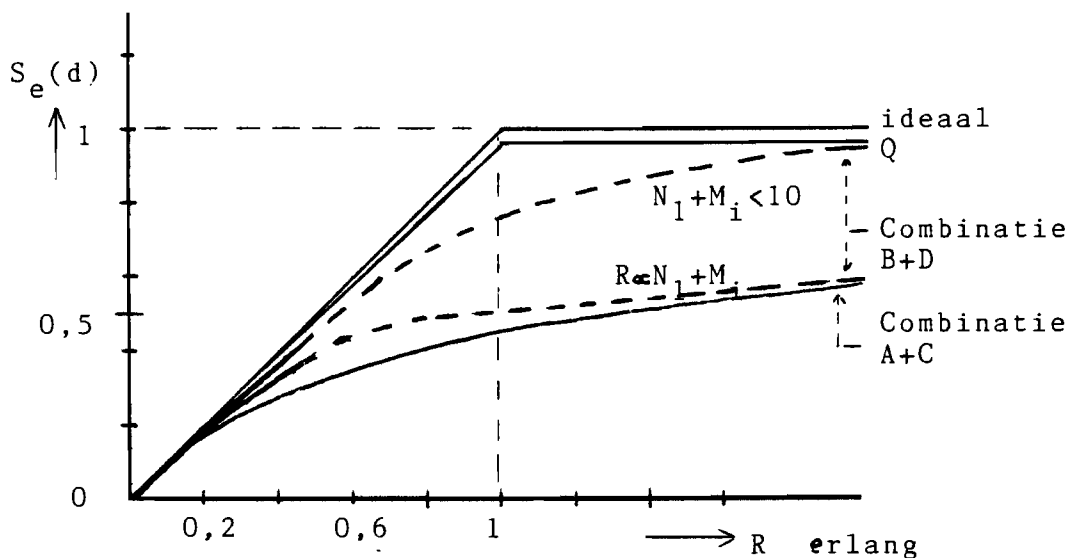


Fig. 8.1 : Verwachte theoretische curves van de throughput als functie van het verkeersaanbod

Voor het ideale geval geldt:

$$Q = 1, P_z = 0$$

$$P_B = 1 - (1/R) \text{ voor } R > 1$$

$$P_B = 0 \quad \text{voor } R \leq 1$$

Toewijzingsalgoritme volgens combinatie B + D:

$$Q < 1, P_z = g(R)$$

$$P_B = 1 - (1/R) = 1 - (D_{Tm}/D_{Tg}) \text{ voor } R > 1$$

$$P_B = 0 \quad \text{voor } R \ll 1$$

Zonder prioriteiten in de queue.

Toewijzingsalgoritme volgens combinatie A + C:
 $Q < 1, P_z = g(R)$

$$P_B \neq 1 - (1/R) = 1 - (D_{Tm}/D_{Tg}) \quad \text{voor } R > 1$$

$$P_B \neq 0 \quad \text{voor } R \ll 1$$

Zonder prioriteiten in de queue.

Er wordt in de karakteristieken uitgegaan van het feit dat geen afwijzing van een verzoek ontstaat ten gevolge van het niet voldoen aan de vereiste gebruikerskenmerken.

Uit Fig. 8.1 is af te leiden dat het systeem efficiënt werkt indien slechts een beperkt aantal verbindingen met hoge bitsnelheden wordt opgezet.

In Tabel 8.1 wordt voor een aantal discrete waarden van $\bar{N}_1, \bar{N}_2, \bar{M}_1, \bar{N}, \bar{n}_1(a), \bar{n}_k(i), \bar{n}_g(i)$ voor de combinatie B + D in het up- en downstreamkanaal de gemiddelde waarde van $S_e(u)$ en $S_e(d)$ berekend. Hierbij ondervindt het verkeersaanbod geen hinder van reeds bezette verbindingen ($P_z = 0$).

\bar{N}_{1k}	\bar{N}_{1g}	\bar{N}_{2k}	\bar{N}_{2g}	\bar{M}_1	$\bar{n}_k(i)$	$\bar{n}_g(i)$	$\bar{n}_1(a)$	$S_e(d)$	$S_e(u)$
4	1	4	1	5	4	8	4	0,37	0,44
8	2	8	2	5	4	8	4	0,57	0,87
12	3	12	3	5	4	8	4	0,77	1
16	4	16	4	5	4	8	4	0,97	1

$$\bar{N}_1 = \bar{N}_{1k} + \bar{N}_{1g}$$

k:dataverkeer afkomstig van een KTER

g:dataverkeer afkomstig van een GTER

$$\bar{N}_2 = \bar{N}_{2k} + \bar{N}_{2g}$$

Tabel 8.1 : Bepaling van de gemiddelde totale effectieve up- en downstreamkanaalthroughput voor een aantal discrete verkeersparameters.

8.1.2. Berichtvertraging als functie van de throughput

De berichtvertraging geeft een goede indruk van de kwaliteit van de dienstverlening, met name voor packet switching-netwerken (lit. 24). Voor het DA-TDMA systeem waarbij datatijdsleuven met constante tijdsduur worden toegewezen aan gebruikers, kunnen we de vertraging als volgt definiëren:

$$T_D = D_t + T_p + 2T_v + T_t \quad (8.12)$$

met:

$D_t = (T_s + (T_0 - t_1) + W)$: de tijdsduur tussen het op $t = t_1$ ontstane verzoek en de werkelijke verandering van het bursttijdplan (paragraaf 6.3.4.).

W : wachttijd in de queue voor hernieuwde toewijzingscycli

T_p : propagatietijd (enkelkanaal, maximaal 26 microsec)

T_v : verwerkingstijd in basisstation of TER

T_t : transmissietijd van een datatijdsleuf (ongeveer 65 microsec)

Voor een reeds opgezette verbinding is T_D de tijd tussen start en succesvolle beëindiging van de transmissie van een datatijdsleuf. T_D is hierbij in de orde van grootte van enkele msec indien T_v klein kan blijven (Fig. 8.2).

De enige zinvolle vertragingstijd om de kwaliteit van dit systeem te kunnen uitdrukken is derhalve in de situatie waarbij er wachtenden zijn in de queue en niet direct capaciteit kan worden toegewezen. Deze vertragingstijd is dus strikt gekoppeld aan de kans op succesvol verkeer P_s . Een lange queue veroorzaakt een hoge throughput, echter een grote vertraging.

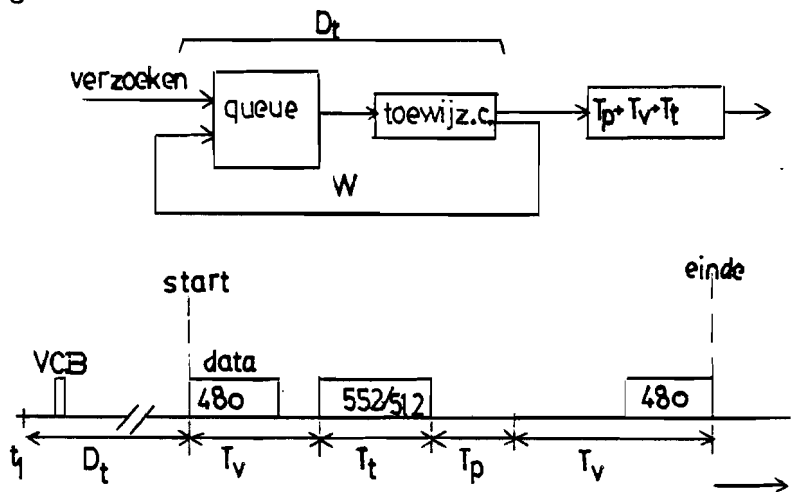


Fig. 8.2 : Vertragingstijd in het up- of downstreamtransmissiekanaal

Voor het doorlopen van het up- en downstreamkanaal wordt $T_p' = 2T_p$ en $T_v' = 3T_v$.

De verwachte gemiddelde vertraging-throughput karakteristiek voor de situatie dat de verbindingen niet direct kunnen worden opgestart, is in Fig. 8.3 aangegeven (sit.1). Deze verloopt anders dan in de situatie waarbij de verbindingen direct kunnen worden opgestart (sit.2).

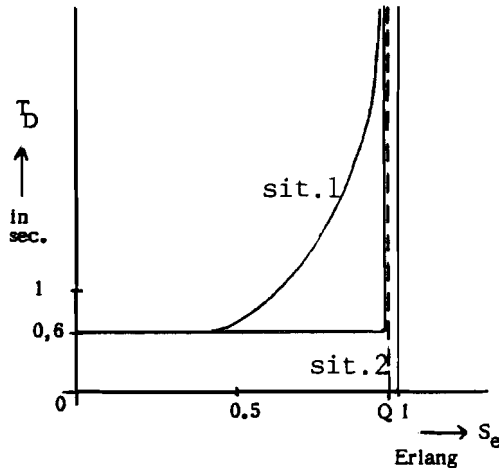


Fig. 8.3 : Vertraging als functie van de throughput

$W = 0$: dan $D_{\bar{t}} \approx 0,6$ sec (paragraaf 6.3.4.)

8.1.3. Verbeteringsfactor

De verbeteringsfactor is een graadmeter voor de efficiëntie van het gebruik van de pool van gemeenschappelijke datatijdsleuven. Het is de verhouding van de in een starre discipline vast en het aantal op verzoek toegewezen datatijdsleuven in het systeem voor een bepaald verkeersaanbod (lit. 33).

$$I = n_{PA} / n_{DA} \quad (8.13)$$

met:

I: verbeteringsfactor

n_{PA} : aantal vast toegewezen datatijdsleuven

n_{DA} : aantal op verzoek toegewezen datatijdsleuven

In Tabel 8.2 wordt I bepaald voor verschillende verkeersparameters voor het upstreamkanaal.

Uit (lit. 33) blijkt dat een relatieve verbeteringsfactor van 2 tot 6 bereikt wordt voor demand-assigned circuits om in telefonieverbindingen met een lage verkeersintensiteit te voorzien. In Fig. 8.4 wordt een voorbeeld van een parametrische weergave van de verbeteringsfactor gegeven.

N	N _k	N _g	n _{PA}	I				
				R=0,2	R=0,4	R=0,6	R=0.8	R=1
20	18	2	208	9,5	4,7	3,2	2,4	1,9
20	15	5	280	12,7	6,4	4,2	3,2	2,5
30	28	2	288	13,1	6,5	4,3	3,3	2,6
30	25	5	360	16,4	8,2	5,5	4,1	3,3
40	35	5	440	20	10	6,7	5	4
48	43	5	504	22,9	11,5	7,6	5,8	4,6

Tabel 8.2 : Verbeteringsfactor voor een verschillend verkeersaanbod in het upstreamkanaal

N_k : het aantal KTER's

N_g : het aantal GTER's

DT_{max}(u) = 110 (hoofdstuk 6.)

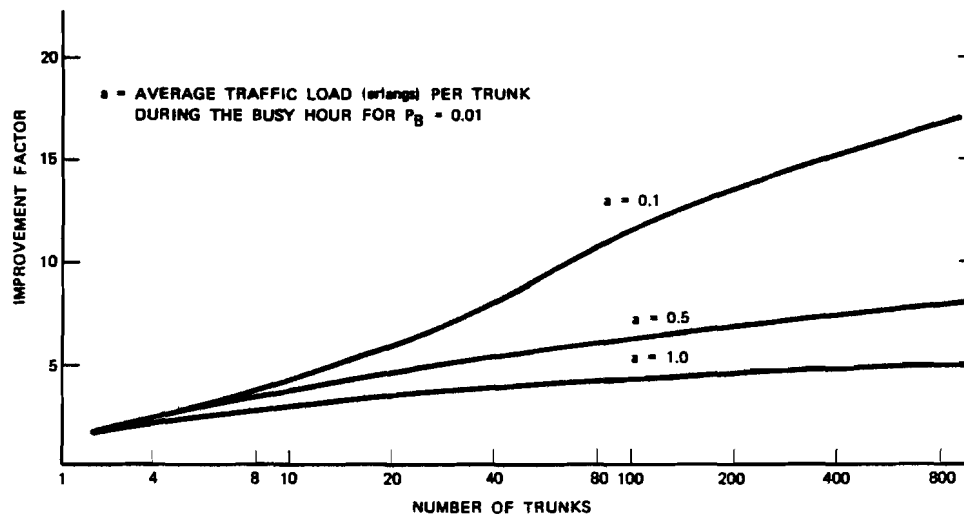


Fig. 8.4 : Parametrische weergave van de verbeteringsfactor voor demand-assignment operatie (Lit. 33)

8.2. Evaluatie

In Tabel 8.3. worden de belangrijkste uitgangspunten van het DA-TDMA systeem in een kort overzicht weergegeven.

transmissiesnelheid	8,448 Mbit/s
frameperiode T_f	7,5 msec
aantal datatijdsleuven per frame	upstream: 110 downstream: 119
frame-efficiëntie F	upstream: 83,3% downstream: 90,2%
maximale transmissiecapaciteit	KTER: 8 x 64 kbit/s (512 kbit/s) GTER: 32 x 64 kbit/s (2,048 Mbit/s)
minimale transmissiecapaciteit	64 kbit/s
maximaal aantal aangesloten TER's (= aantal VCB's in een multiframe van de signalering)	totaal: 48 GTER: 10 KTER: 38
verwacht verkeersaanbod	$0,2 < \bar{R} < 0,6$ beginfase $0,4 < \bar{R} < 0,9$ later stadium
blokkeringskans P_B	0 voor $R < 1$ $1 - 1/R$ voor $R > 1$
wachttijd tot inwilliging van verzoek	$D_t \gg 0,6$ sec
verbeteringsfactor I	$\gg 3$ bij $\bar{R} = 0,6$ $\ll 22$ bij $\bar{R} = 0,2$

Tabel 8.3 : Kort overzicht van de belangrijkste uitgangspunten met betrekking tot het DA-TDMA systeem

Een vergelijking met een elders reeds ontwikkeld PMP-radiosysteem volgens (lit. 8) maakt duidelijk dat deze alleen door hardware-aanpassing (andere poortmodules ,DBP) andere bitsnelheden van en naar de gebruikers kan verwerken (144, 78 kbit/s etc.). Bovendien is daar de beschikbare transmissiecapaciteit per gebruiker nog erg gering (<144 kbit/s). De signalering geschiedt door middel van een combinatie van "common-channel-signalling" en "channel-associated-signalling" waardoor een complex geheel ontstaat. De toegang tot het gemeenschappelijke signaleringskanaal vindt plaats op random-access basis, zodat blokkering van de oproepen kan optreden. DA-TDMA/TDM in combinatie met een BFSK modem wordt hier toegepast in de 17,7-19,7 GHz band.

In (lit. 6) vindt toewijzing van capaciteit per gebruiker op semi-permanente basis plaats, zodat de systeemefficiëntie alleen hoog kan zijn bij een continu en weinig variërend verkeersaanbod. Co-channel-interferenties afkomstig van bestaande diensten spelen hier een grotere rol door toepassing in de 10 GHz band. Een hoge spectrumefficiëntie van de modulatietechniek is gewenst gezien de bandbreedtebeperkingen (een DQPSK modem wordt derhalve toegepast). In (lit. 5) wordt een relatief eenvoudig TDMA/TDM systeem met een BASK modem toegepast in de 26 GHz band zodat veel zendvermogen nodig is en de RF apparatuur duurder is dan bij toepassing in de lagere frequentiebanden.

9. CONCLUSIES

De voornaamste conclusie die uit mijn afstudeeronderzoek naar voren komt is dat het mogelijk moet zijn om met bestaande technieken en op korte termijn, tegen redelijke kosten, een lokaal radiodistributienetwerk voor datacommunicatietoepassingen te ontwikkelen en te realiseren.

De voordelen van het PMPS-radiosysteem zijn:

1. grote flexibiliteit in bitsnelheden (64 kbit/s - 2 Mbit/s) door een snelle en dynamische toewijzing op verzoek van transmissiecapaciteit;
2. volledige connectiviteit tussen aangesloten gebruikers;
3. geringe blokkeringskans in het netwerk voor oproepende gebruikers;
4. eenvoudige integratie in de telecommunicatie-infrastructuur door toepassing van hoge frequenties en plaatsing van het basisstation bij een districtscentrale van het telefonienetwerk;
5. gemakkelijke ruimtelijke uitbreiding door middel van een cellulaire structuur met voldoende radiokanalen in de 17,7-19,7 of 22 GHz band;
6. eenvoudige uitbreiding van transmissiecapaciteit door opsplitsing van het lokale gebied in meer PMPS-radiosystemen of plaatsing van een extra PMPS-radiosysteem in een sector van het lokale gebied.

Nadelen van het PMPS-radiosysteem zijn onder andere:

1. de strenge tijddisCIPLINE in het TDMA netwerk zodat relatief dure oscillatoren en dataklokken nodig kunnen zijn;
2. de relatief hoge kosten, per gebruiker die aangesloten is op een buitenstation, in het beginstadium;
3. een complex en dus duur signaleringssysteem;
4. de relatief grote bezettingskans van een bestemming omdat slechts één verbinding per gebruiker op een bepaald moment kan worden opgestart;
5. het aantal actieve GTER's dient gering te zijn vanwege de beperkte transmissiecapaciteit.

Door de grote flexibiliteit in bitsnelheden, de grote connectiviteit tussen de gebruikers, de beperkte bandbreedte en de gemakkelijke integratie in de bestaande telecommunicatie-infrastructuur, is het voorgestelde PMP-radiosysteem met radiotransmissie in de 17,7-19,7 GHz band en gebaseerd op het DA-TDMA principe uitermate geschikt voor toepassing. De maximale padafstand van 8 km tussen het knooppunt en de gebruikers is voldoende om een lokaal gebied te kunnen bedekken. Gezien de veronderstellingen en uitgangspunten in dit onderzoek zal het mogelijk zijn om dit PMP-radiosysteem in een praktische realisatie economisch haalbaar te maken. Belangrijk is de toepassing van MIC-technieken voor het RF-gedeelte van zowel het basis- als het buitenstation. Omdat het aantal zakelijke gebruikers van het PMP-radiosysteem beperkt zal zijn en iedere gebruiker een aparte DA-TDMA/TDM eenheid nodig heeft, zal de prijs per gebruikersterminal vrij hoog zijn.

Het afstudeeronderzoek bestond uit een groot aantal deelaspecten die op hoofdzaken geanalyseerd en uitgewerkt zijn. Hierdoor kan het onderzoek nog worden voortgezet op de volgende punten:

- onderzoek naar en metingen aan co-channel-interferenties in een cellulaire structuur zoals is voorgesteld in stedelijke gebieden;
- onderzoek naar de technische realisatie van het DA-TDMA systeem;
- ontwikkeling van software voor de beheersfuncties en signalering;
- onderzoek naar de kosten van een basis-, buitenstation en terminal;
- een goed opgezet marktonderzoek naar de behoefte aan een dergelijk systeem.

LITERATUURLIJST

1. "Definition and analysis of requirements",
Economic and technical impact of implementing a regional satellite network,
Geneva: CCITT, 1983.
2. Market factors affecting telecommunications demand.
Geneva: CCITT, 1982.
3. W.A. Kaiser,
"New services and their introduction into existing networks",
IEEE Communications magazine, Vol. 17, No. 4, pp.4-12, July 1979.
4. "A digital Point-to-Multipoint communication system",
Documents CCIR Study Groups, 1978-1982.
5. S. Shindo,
"Radio local distribution system for high speed digital communications",
IEEE Journal on selected areas in communication, Vol. SAC-1,
No. 4, pp. 609-614, Sept. 1983.
6. M. Murakami,
"A multiple access digital microwave radio system for local subscribers",
IEEE Int. Conf. on Communications, Boston, Vol. 1,
pp. 380-386, June 1983.
7. S. Shindo,
"TDMA for radio local distribution systems",
IEEE Int. Conf. on Communications, Boston, Vol. 1,
pp. 370-374, June 1983.
8. J.W. Ballance, M.T. Hewitt, R.P. Scott,
"A low cost 19 GHz radio sub-system for Point-to-Multipoint radio applications",
Br. Telecom Technol J, Vol. 2, No. 2/ 3, pp. 19-24/ 50-55,
April/ July 1984.
9. "Point-to-Multipoint systems",
CCIR 1982, Vol. IX, Report 940, pp. 306-309.
10. P.F. Pawlita,
"Traffic measurements in data networks, recent measurement results, and some implications",
IEEE Tr. o. Comm., Vol. Com 29, No. 4, pp. 525-535, April 1981

- 11.) L. Kleinrock,
Queueing Systems, Vol. II: Computer Applications,
New York: John Wiley & Sons, 1976
12. "THE Net",
"Een onderzoek naar de informatie- en communicatiebehoefte van de
THE en de realisatiemogelijkheden van een PTT onafhankelijk lokaal
netwerk",
Computing Centre Note 13,
Eindhoven University of Technology, Dec. 1982
13. J. Majus,
Data Networks with Satellites,
GI/NIG Working Conference, Keulen, Sept. 1982.
14. G.J. Vos,
"Het ontwerp van een Packet Assembler Disassembler voor tweeweg
datacommunicatie op kabeltelevisienetten",
Afstudeerverslag THE, Vakgroep EC, Dec. 1983.
15. L. van der Hoek, A. Mawira, J. Neessen,
"The impact of propagation effects on the design of high capacity
digital microwave links in the 18 GHz frequency band",
AGARD Conf., Athene, June 1984
16. J.S. Engel,
"The effects of co-channel interference on the parameters of a
small-cell mobile telephone system",
IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. VT18, No. 3,
pp. 110-118, Nov. 1969.
17. Y.S. Yeh, J.C. Wilson, S.C. Schwartz,
"Outage probability in mobile telephony with directive antennas
and macrodiversity",
IEEE Journal on selected areas in communication, Vol. SAC-2,
No. 4, pp. 507-511, July 1984.
18. "Cell arrangement and frequency plan for a digital radio concentrator
system",
CCIR 1982, Vol. IX, Report 380-1, Annex I, pp.301-302.
19. A.B. Carlson,
Communication systems, Second edition,
Tokyo: Mc.Graw-Hill, 1975.
20. K. Sam Shanmugam,
Digital and analog communication systems,
Wiley, New York, 1979.
21. K. Feher,
Digital Communications, Satellite/Earth station engineering,
Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New York, 1983.

22. V.K. Bhargava,
Digital Communications by satellite,
Wiley, New York, 1981.
23. J. Dijk, J.L. Manders, E. Siefken, A.P. Verlijdsdonk,
"Digital Videophone Experiments via Satellite in the
14/11 GHz band",
IEEE Trans. on Consumer Elec., Vol. CE-30, No. 4, Nov. 1984
24. H. van Trees,
"Demand Assignment , Multiple Access",
Satellite Communications, subsection 3.6.5,
IEEE-Press, 1979.
25. J. Spilker jr.,
Digital Communication by Satellite,
New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1977.
26. K. Sreenath, K. Feher,
"Comparison of SCPC and TDMA systems",
IEEE Proc. Int. Conf. on Communications- ICC 84,
Amsterdam, Vol. 1, pp. 595-598, May 1984
27. A.S. Tanenbaum,
Computer Networks,
London: Prentice-Hall Inc., 1981.
28. S.M. Barta,
"Analysis of a Demand Assignment TDMA Blocking system",
AT&T Bell Labs. Techn. J., Vol. 63, No. 1, Jan. 1984.
29. B. Goode,
"Demand Assignment as part of the SBS TDMA Satellite Communications
system",
IEEE Proc. EASCON, Washington, pp. 335-339, April 1978.
30. J. Boag,
"Some Considerations in the design and operation of a Demand
Assignment Signalling and Switching sub-system (DASSS)",
Proc. 1969, Intelsat /IEE Int. Conf. on Digital Satellite
Communication,
London, pp. 272-283.
31. G. Dill,
"Signalling and switching for demand assigned satellite
communications",
Proc. 1969, Intelsat/IEE Int. Conf. on Digital Satellite
Communication,
London, pp. 297-307.
32. J.F. Wakerly,
Microcomputer Architecture and Programming,
Wiley, New York, 1981.

33. G.D. Dill,
"Comparison of circuit call capacity of demand assignment
and pre-assignment operation",
Comsat Tech. Rev.,
Vol. 2, No. 1, pp. 243-256, Spring 1972.
34. M.H.A.J. Herben,
The influence of tropospheric irregularities on the dynamic
behaviour of microwave radio systems,
Diss. Eindhoven University of Technology, Febr. 1984.
35. J. Puente,
"Multiple Access Techniques for Commercial Satellites",
Proc. of the IEEE, Vol. 59, No. 2, pp. 218-229,
February 1971.

APPENDIX A

Voorspelling van verliezen door regenval en meerwegpropagatie

De CCIR geeft de volgende simpele techniek aan om te komen tot een redelijke voorspelling van de regendemping wanneer gedetailleerde informatie omtrent de regenstructuur niet beschikbaar is (CCIR, 1982, Report 338-4). Deze techniek is gebaseerd op het "effectieve padlengte"-concept. De methode is van toepassing voor frequenties boven de 10 GHz en bestaat uit de volgende stappen:

1. Verkrijg de regenvalintensiteit R_0 die voor meer dan of gelijk aan 0,01% van de tijd overschreden wordt (integratietijd: 1 minuut). Dit kan uit (CCIR, 1982, Report 563) of andere gemeten cumulatieve distributies verkregen worden.

2. Bij bekende frequentie en polarisatie kan de specifieke demping (dB/km) voor de betreffende regenvalintensiteit R_0 verkregen worden uit (CIR, 1982, Report 721, Fig 1). Hierbij is de Laws en Parsons regendruppelomvangdistributie aangenomen.

$$Y_{R_0} = K \cdot R_0^\alpha \quad (\text{A.1})$$

3. De effectieve padlengte L_{eff} van de radioverbinding wordt verkregen uit:

$$L_{\text{eff}} = r \cdot L \quad (\text{A.2})$$

met:

L: de actuele padlengte (km)

r: reductiefactor met schatting $r = 90/(90+4L)$

4. De demping die overschreden wordt voor 0,01% van de tijd wordt nu gevonden uit:

$$A_{0,01; R} = Y_{R_0} \cdot L_{\text{eff}} \quad (\text{A.3})$$

Dit is een geschikte modificatie van vergelijking (5.4) uit hoofdstuk 5.

5. De demping die overschreden wordt voor andere percentages P wordt afgeleid uit de volgende "power law":

$$A_P = A_{0,01; R} (P/0,01)^{-a} \quad (\text{A.4})$$

De coëfficiënt a wordt gegeven door:

$a = 0,33$ voor $0,001\% \leq P < 0,01\%$

$a = 0,41$ voor $0,01\% \leq P < 0,1\%$

Dempingen voor andere tijdpercentages kunnen ook berekend worden door bij stap 1 een andere punt-regenvalintensiteit (R_0) te hanteren, behorende

tot de betreffende tijdpercentages (zie Fig. 5.2 of Report 563). Bovenstaande methode geeft een schatting van de lange termijn statistieken van de regendemping zoals de gemiddelde jaarlijkse statistieken. Voor computerverkeer (lit. 13) dient gedurende 99,9% van de tijd in de slechtste maand een gewenste bitfoutenkans van 10^{-6} niet overschreden te worden. Daartoe kan uit de gemiddelde jaarlijkse statistieken de slechtste maand voorspelling afgeleid worden volgens (CCIR, 1982, Report 723):

$$P = 0,29 P_w^{1,15} \quad (\text{A.5})$$

met:

P_w : het tijdpercentage dat een bepaalde demping wordt overschreden in de slechtste maand

P : het tijdpercentage dat een bepaalde demping wordt overschreden in een jaar

Bijvoorbeeld: een bepaalde bitfoutenkans behaald voor 99,9% van de tijd in de slechtste maand, wordt behaald voor 99,98% van de tijd gedurende één jaar.

In Tabel A.1 wordt de regendemping gegeven als functie van de padafstand en frequentie, die wordt overschreden voor 0,01% en 0,1% van de tijd in een gemiddeld jaar. De gebruikte lange termijn statistieken zijn volgens het "effectieve padlengte"-concept. Een vergelijking van deze methode met die uit (lit. 15) waar een andere effectieve padlengte volgens:

$$r_{\text{eff}} \approx r_{\text{av}} \left(240 / (R_0 d) \right) \cdot \ln(1 + (R_0 d / 240))$$

toegepast wordt, maakt duidelijk dat geen noemenswaardige verschillen optreden in de berekende waarden.

Tabel A.2 geeft een voorspelling van de fractie van de tijd dat een bepaalde waarde van de meerwegpropagatie-demping A_m wordt overschreden als functie van de frequentie en padafstand. Hierbij wordt formule (5.6) volgens (CCIR, 1982, Report 338) toegepast waarbij aanpassing voor een gemiddeld jaar plaatsvindt volgens formule (A.5).

grootheid dimensie	f GHz	% tijd %	YR dB/km	max. padafstand							
				5 km	6 km	7 km	8 km	9 km	10 km	11 km	12 km
10	0,01	0,6	2,5	2,8	3,2	3,5	3,9	4,2	4,4	4,7	
	0,1	(0,1)	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	
15	0,01	1,5	6,1	7,1	8,0	8,9	9,6	10,4	11,1	11,7	
	0,1	(0,3)	2,4	2,8	3,1	3,4	3,8	4,0	4,3	4,6	
17	0,01	2,0	8,2	9,5	10,7	11,8	12,9	13,8	14,8	15,7	
	0,1	(0,4)	3,2	3,7	4,2	4,6	5,0	5,4	5,7	6,1	
19	0,01	2,6	10,6	12,3	13,9	15,3	16,7	18,0	19,2	20,3	
	0,1	(0,5)	4,1	4,8	5,4	6,0	6,5	7,0	7,5	7,9	
22	0,01	3,0	12,3	14,2	16,0	17,7	19,3	20,8	22,2	23,5	
	0,1	(0,7)	4,8	5,5	6,2	6,9	7,5	8,1	8,6	9,1	
26	0,01	4,0	16,4	18,9	21,4	23,6	25,7	27,7	29,6	31,3	
	0,1	(0,8)	6,4	7,4	8,3	9,2	10,0	10,8	11,5	12,2	
30	0,01	5,0	20,5	23,7	26,7	29,5	32,1	34,6	36,9	39,1	
	0,1	(1,2)	8,0	9,2	10,4	11,5	12,5	13,5	14,4	15,2	

Tabel A.1 : Regendemping voor enige waarden van de padafstand en de frequentie voor 0,01% en 0,1% van de tijd.

afstand demping (dB)	5 km			7 km			8 km			10 km		
	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30
frequentie in GHz	$\times 10^{-7}$	$\times 10^{-8}$	$\times 10^{-9}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-7}$	$\times 10^{-8}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-7}$	$\times 10^{-8}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-7}$	$\times 10^{-8}$
10	1,7	1,2	0,85	0,7	0,5	0,4	1,1	0,8	0,6	2,8	2	1,4
15	2,8	2	1,4	1,1	0,8	0,6	1,8	1,3	0,9	4,5	3,1	2,2
17,7	3,2	2,2	1,6	1,3	0,9	0,7	2,1	1,5	1,1	5,2	3,7	2,6
19,7	3,6	2,5	1,7	1,4	1	0,7	2,5	1,7	1,3	6	4,2	3
22,3	4,4	3,1	2,2	1,7	1,2	0,9	2,9	2,1	1,5	7,1	5	3,5
26	5,3	3,7	2,6	2	1,4	1	3,5	2,5	1,8	8,4	5,9	4,2
30	6,2	4,3	3	2,4	1,7	1,2	4,1	2,9	2,1	10	7,1	5

Tabel A.2 : Voorspelling van de fractie van de tijd dat gedurende een gemiddeld jaar een bepaalde waarde van de meerwegpropagatiedemping wordt overschreden, voor enige waarden van de frequentie en de padafstand.

APPENDIX B

Acquisitiemetingen aan een DQPSK-modem

Inleiding

In deze Appendix worden de resultaten weergegeven van metingen die zijn verricht aan de DQPSK-modem, ontwikkeld en gebouwd door de vakgroep EC van de Technische Hogeschool Eindhoven (lit. 23).

Deze metingen zijn bedoeld om een indruk te krijgen van de (re)acquisitietijd(en) van een in de burst-mode bedreven differentieel-coherent QPSK-(de-)modulatiesysteem. Het is belangrijk, omwille van de frame-efficiëntie, dat draaggolf- en klokterugwinning zo snel mogelijk plaatsvindt. Theoretisch heeft een differentieel-coherent detectiesysteem geen coherente draaggolfterugwinning nodig, zodat een kleine acquisitietijd (lock-in tijd) gewaarborgd kan zijn (lit. 21).

Modem implementatie

De DQPSK-modem bestaat uit een standaard differentieel gecodeerde 4-fase modulator en een differentieel-coherente demodulator (Fig. B.1).

Voordelen van een DQPSK-modem zijn:

1. een relatief grote bandbreedte- en vermogensefficiëntie;
2. een geringe gevoeligheid voor niet-lineaire kanaalkarakteristieken;
3. lage modemkosten vanwege het feit dat geen geavanceerd draaggolfterugwinningsysteem nodig is.

Het grootste nadeel van een DQPSK-modem is dat het ongeveer een 2,3 dB hogere E_b/N_0 -waarde vereist dan een coherente QPSK-modem voor dezelfde BER.

Werking van de modem

Zoals blijkt uit het blokdiagram van Fig. B.1, wordt het principe van quadrature modulatie en demodulatie toegepast. Het 8,448 Mbit/s ingangsdatasignaal wordt opgesplitst in 2 Non Return to Zero (NRZ) datasignalen van elk 4,224 Mbit/s die differentieel gecodeerd worden om de informatie in de opeenvolgende faseverschillen om te zetten in het gemoduleerde signaal.

In de modulator is de toegepaste voor-filtering en na-filtering niet erg scherp. Derhalve wordt Nyquist-filtering uitgevoerd in de demodulator; dat resulteert in slechts 0,1 dB degradatie ten opzichte van de maximaal mogelijke kwaliteit. Het ingangsfILTER van de demodulator elimineert de buiten de band gelegen ruis voor demodulatie. De gemeten BER als functie van (E_b/N_0) voor de DQPSK-modem in de continue mode wordt in Fig. B.2 gegeven.

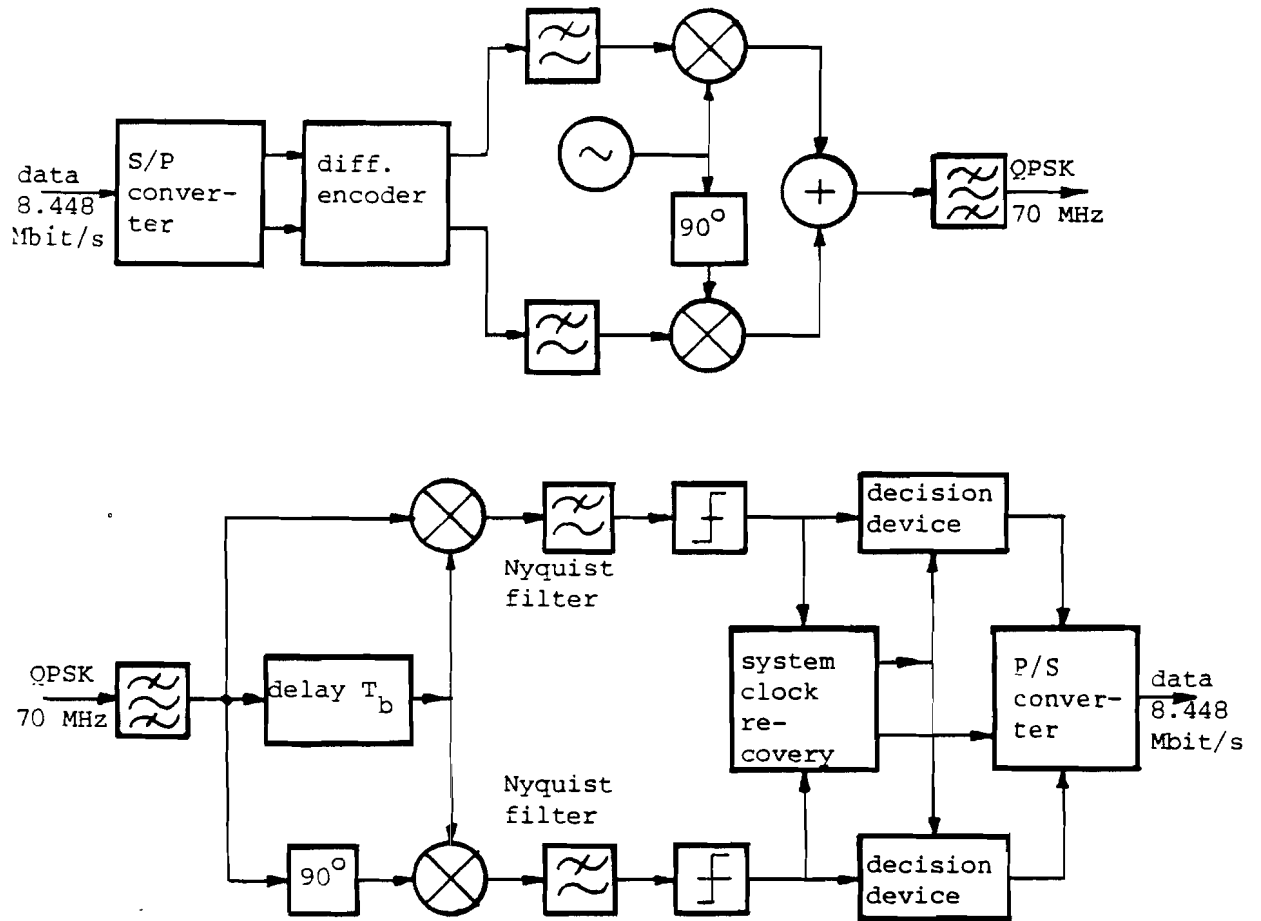


Fig. B.1 : Blokdiagram van de DQPSK-modem

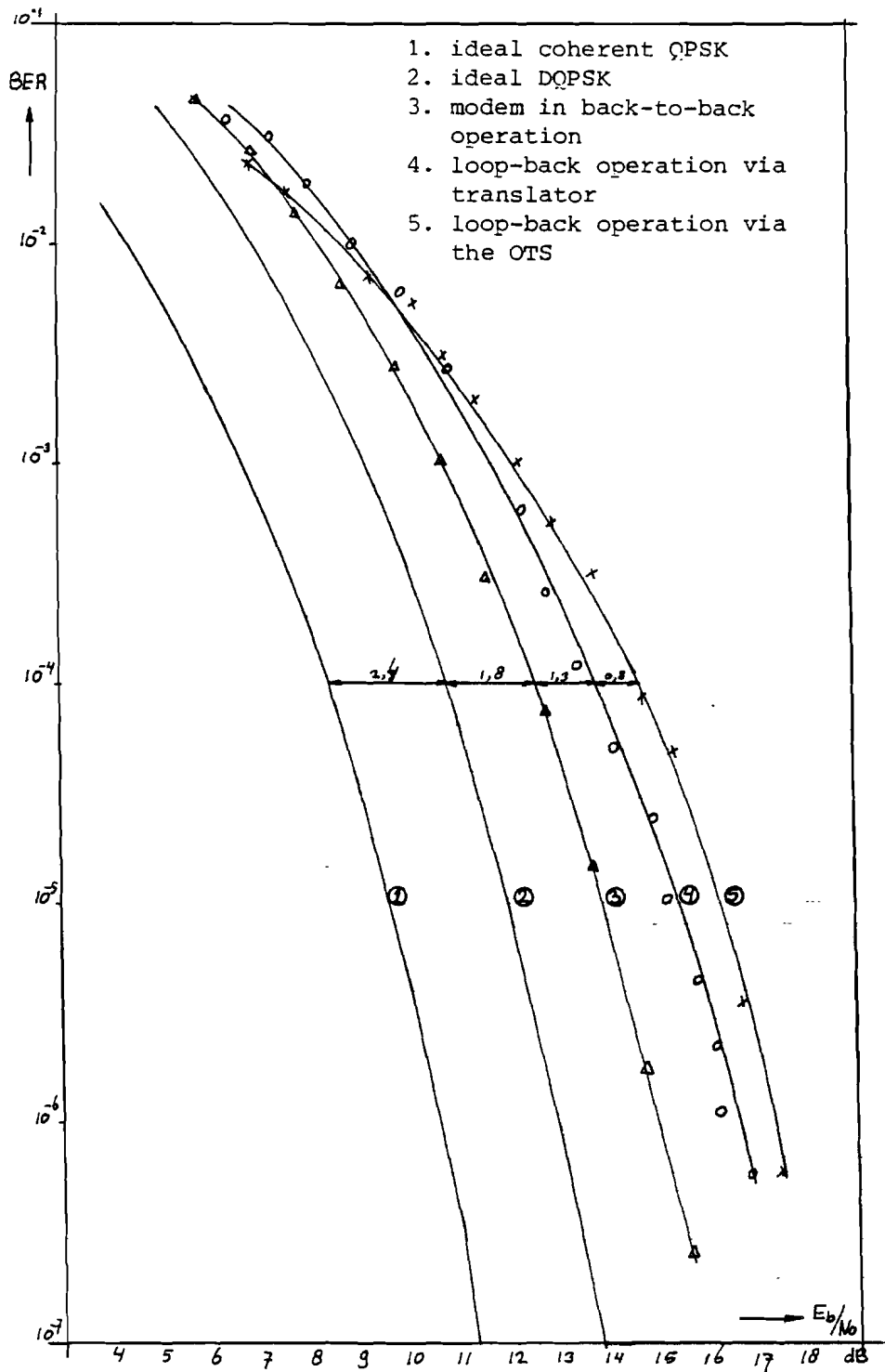


Fig. B.2 : Gemeten BER als functie van (E_b/N_0) voor de DQPSK-modem

Van groot belang in burstcommunicatietoepassingen is de snelheid waarmee de demodulator gesynchroniseerd (in lock) raakt en de terugwinning van de bitklok geschiedt.

Een zinvolle kwaliteitskarakteristiek van een in de burst-mode bedreven demodulator is de bitfoutenkans als functie van de tijd vanaf het begin van de burst met parametrische variatie van (E_b/N_0) . Een voorbeeld hiervan is in Fig. B.3 weergegeven, waarbij de transmissiesnelheid 50 Mbit/s bedraagt. Om deze karakteristiek daadwerkelijk te meten, is een complexe meetprocedure noodzakelijk. Er is een groot aantal metingen nodig om een statistisch gemiddelde van de fout aan het begin van de burst te verkrijgen. Dit was voor ons doel een te complexe methode. Er is derhalve volstaan met een grovere methode om een schatting te geven van het aantal bits waarna, bij een bepaalde (E_b/N_0) -verhouding, geen fouten meer optraden. Hiertoe werden met behulp van een Logic State Analyzer en een Computing Counter metingen verricht.

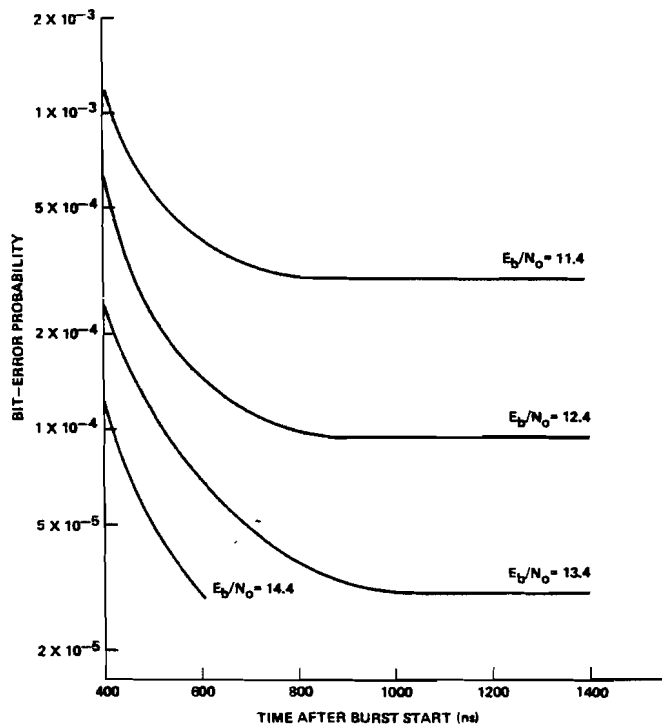


Fig. B.3 : Acquisitie-karakteristiek van een burst-bedreven modem (lit. 35)

Meetmethode

We beschouwen daartoe de modem in de back-to-back operatie en geplaatst in de meetopstelling zoals in Fig. B.4 is weergegeven.

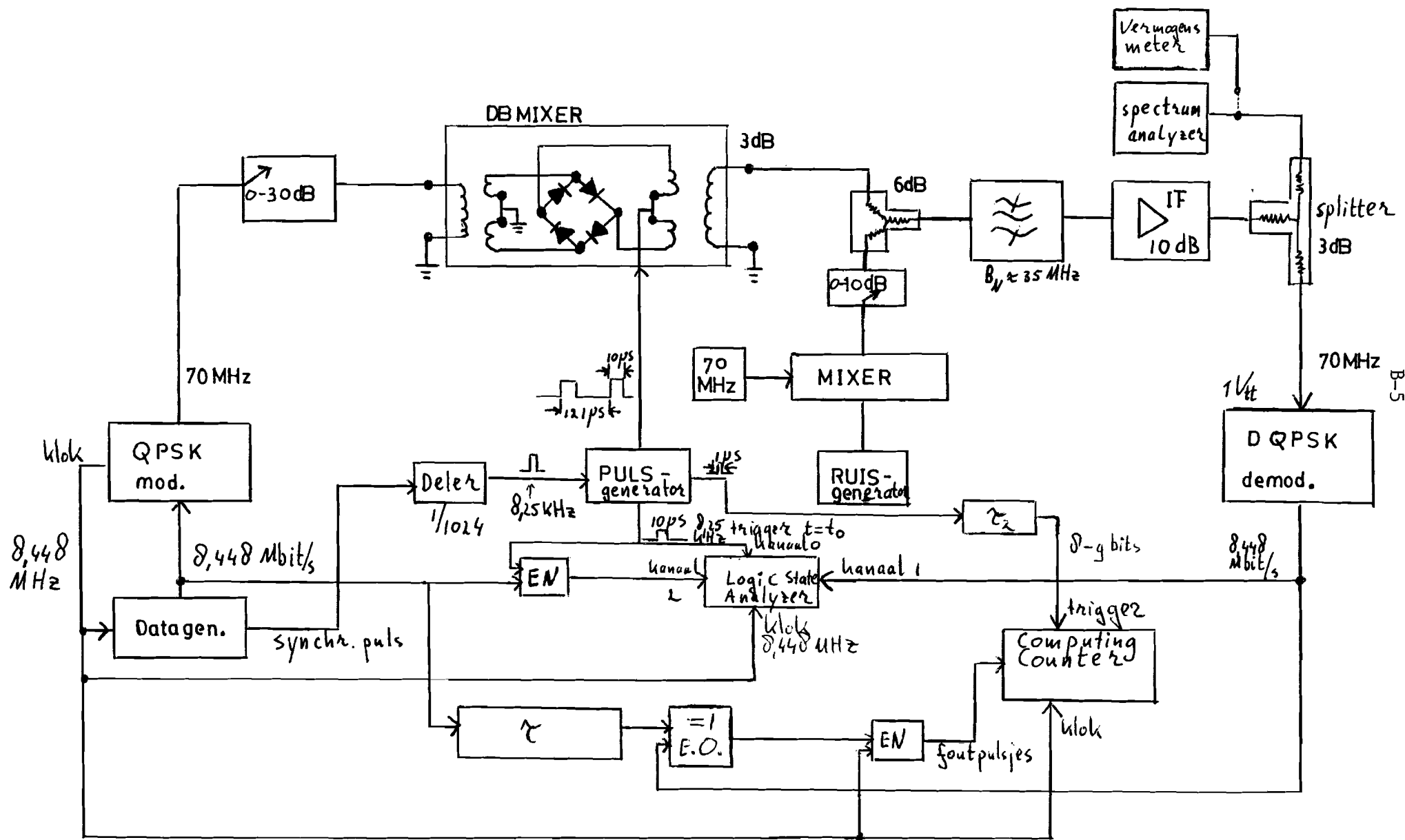


Fig. B.4 : De meetopstelling

De QPSK-modulator levert het kloksignaal van 8,448 Mbit/s aan de datagenerator (de klok was reeds ingebouwd in de modulatorapparatuur). De datagenerator levert een in te stellen bitreeks van 32 bits, die telkens herhaald wordt. De datastroom heeft een snelheid van 8,448 Mbit/s en wordt toegevoerd aan de modulator. De modulator levert een gefilterd QPSK-signaal met een draaggolffrequentie van 70 MHz. De pulsgenerator levert met een herhalingsfrequentie van 8,25 kHz een puls af met een tijdsduur van 10 microsec. Deze puls schakelt het continue 70 MHz signaal afkomstig van de QPSK-modulator. Dit geschiedt door middel van een Double Balanced Mixer (MCLSBL-1). Hierdoor ontstaan bursts met een lengte van ongeveer 85 bits. Bij het stootsgewijze QPSK-signaal kan ruis toegevoegd worden, zodanig dat aan de demodulatoringang de E_b/N_0 -verhouding gevarieerd kan worden.

De E_b/N_0 -verhouding wordt bepaald door de C/N-verhouding na het meetfilter en de middenfrequent versterker ($B_N = 35$ MHz) te meten en om te rekenen volgens:

$$(E_b/N_0) = (C/N) \cdot (B_N/R_b) = (C/N) \cdot 4,14 \quad (\text{B.1})$$

$$(E_b/N_0)_{\text{dB}} = (C/N)_{\text{dB}} + 6,2 \text{ dB}$$

De C/N-verhouding wordt gemeten bij een ongemoduleerde continue draaggolf. Dit vermogen ligt iets hoger dan het vermogen van de gemoduleerde draaggolf, die de demodulator aangeboden krijgt, waarbij vermogensverlies door de afgefilterde zijlobben van het QPSK-spectrum optreedt.

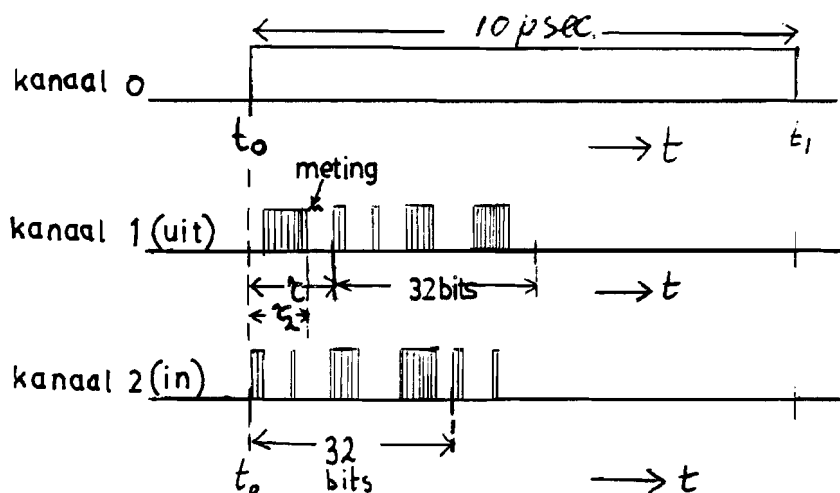


Fig. B.5 : Tijddiagram van in- en uitgangssignaal van de DQPSK-modem. De datagenerator levert een at random bitreeks van 32 bits.

Kanaal 1 : gedemoduleerd signaal

Kanaal 2 : aan modulator toegevoerde bitreeks

De looptijden τ_2 en τ worden gemeten door middel van de Logic State Analyzer waarmee tijdsverschillen tussen het verzonden signaal (kanaal 2) en het ontvangen signaal (kanaal 1) zichtbaar gemaakt kunnen worden (Fig. B.5). τ is de totale looptijd door de modem en bedraagt ongeveer 10 bitperioden. τ_2 is ongeveer 6 bitperioden.

De Computing Counter telt na triggering door de pulsgenerator via de tijdsvertraging τ_2 het aantal foutpulsjes dat gegenereerd wordt wanneer de ontvangen databits niet corresponderen met de verzonden databits. De verzonden databits worden via het tijdvertragingselement τ naar een exclusive-or-poort gestuurd waar vergelijking plaatsvindt met de ontvangen bits. Deze telling vindt plaats gedurende een tijdsinterval van 1 microsec (8 á 9 bitperioden).

Door τ_2 in te stellen kunnen we het tijdsinterval waarin gemeten wordt verplaatsen. De bedoeling was om alleen het eerste en tweede tijdsinterval van 1 microsec na $t = t_0$ (zie Fig. B.5) te meten op bitfouten, omdat een snelle klokterugwinning werd verwacht. Er werden daartoe 3 verschillende bitreeksen (lengte 32 bits) toegepast.

1. 32 "1";
2. 32 "0";
3. 32 "at random bits".

Per bitreeks werden 20 metingen verricht waarvan het gemiddeld aantal foutieve bits werd bepaald.

Resultaten:

E_b/N_0	gemiddeld aantal foutieve bits in de eerste 9 bits		
	32 "1"	32 "0"	32 "at random bits"
10 dB	5	3	2
13 dB	3	2	2
16 dB	2	2	3
19 dB	2	1	2

In het tweede tijdsinterval van 1 microsec, traden voor $(E_b/N_0) \geq 16$ dB nagenoeg geen fouten meer op.

Conclusie:

Een klokterugwinningstijd van maximaal 8-9 bitperioden voor burstbedrijf van de DQPSK modem lijkt gerechtvaardigd.

APPENDIX C

Flowdiagram Toewijzingsprotocol

De toewijzing van de datatijdsleuven aan oproepende TER's en INT's vindt plaats volgens de procedure zoals in Fig. C.1 is weergegeven en is in een aantal stappen onderverdeeld.

Stap 1 tot en met 4

Via de signalering worden de noodzakelijke gegevens in het verzoek of bericht gedetecteerd. Hierin zijn onder andere opgenomen: het bestemmingsadres, de hoeveelheid gewenste capaciteit ($n(n)$), bij een capaciteitsverzoek en het aantal datatijdsleuven ($n(p)$) dat kan worden opgezegd bij een afsluiting van een bestaande verbinding. Alleen wijzigingen in de status van verbindingen zijn belangrijk. Opzeggingen worden direct doorgegeven aan het geheugen met de verdeling en status van de beschikbare datatijdsleuven (updating). Dit wordt uitgevoerd voordat de toewijzingscyclus start (stap 6).

Stap 5

Verificatie van de gebruikerskenmerken en beperkingen (6.7) en (6.8), van zowel de ontvanger als van de zender. Indien dit vooronderzoek negatief is bevonden wordt dit teruggemeld via de signalering en worden geen verdere stappen gemaakt. Gebruikerskenmerken kunnen zijn op het gebied van prioriteit, encryptie, FEC, etc.. Deze zaken worden op soft-ware basis geverifieerd en staan in een achtergrondgeheugen van de CCU. Prioriteiten kunnen eventueel per dag veranderen.

Stap 6

De verzoeken worden in een wachtrij (queue) opgenomen. Het doel hiervan is tweeledig. Ten eerste worden de verzoeken in de upstream-signaleringscyclus gebufferd zodat deze na elkaar met een bepaalde regelmaat de toewijzingscyclus kunnen doorlopen. Ten tweede kan hierdoor op basis van prioriteit een selectie plaatsvinden en de volgorde van de behandeling bepaald worden. Normaal gesproken wordt het FIFO-principe gehanteerd, echter dit kan leiden tot grote vertragingen voor veel KTER's indien de transmissiecapaciteit wordt toebedeeld aan slechts enkele GTER's. Reserveringen voor GTER's zijn derhalve wenselijk.

Stap 7

Zoals in het telefonie-systeem wordt geverifieerd of de aangevraagde bestemming onbezet is. Voor een interlokale verbinding via een DNI dient geverifieerd te worden of er voldoende interlokale lijnen vrij zijn. Bij bezetting wordt het verzoek achteraan in de queue geplaatst om in de volgende toewijzingscyclus opnieuw bekeken te worden.

Stap 8 tot en met 12

Nadat alle opzeggingen zijn bijgewerkt en de andere stappen zijn geverifieerd kan de eigenlijke toewijzingsberekening plaatsvinden. Indien een lokale bestemming wordt geadresseerd wordt allereerst geverifieerd of er voldoende vrije datatijdsleuven in het downstream-frame aanwezig zijn voor $n(n)$. Zoniet, dan wordt het verzoek achteraan de queue geplaatst. Stap 12 kan worden overgeslagen indien geen gebruik van het upstreamkanaal gemaakt hoeft te worden (INT's via een DNI). Indien stap 9 uitwijst dat een interlokale bestemming wordt gevraagd kan direct het upstream-frame geverifieerd worden op $n(n)$ vrije datatijdsleuven.

Stap 13

Uitgaande van voldoende vrije datatijdsleuven wordt iedere statustabel afzonderlijk afgezocht volgens methode D (of methode C).

Stap 14

Een bevestiging van stap 13 (bij methode D is dat altijd) leidt slechts tot een aanvulling van het bestaande bursttijdplan. Op deze wijze zal een minimale verandering van het bursttijdplan de TDMA-netwerkoperatie niet onderbreken en geen extra signaleringsactiviteit met zich meebrengen voor bestaande verbindingen.

Stap 15

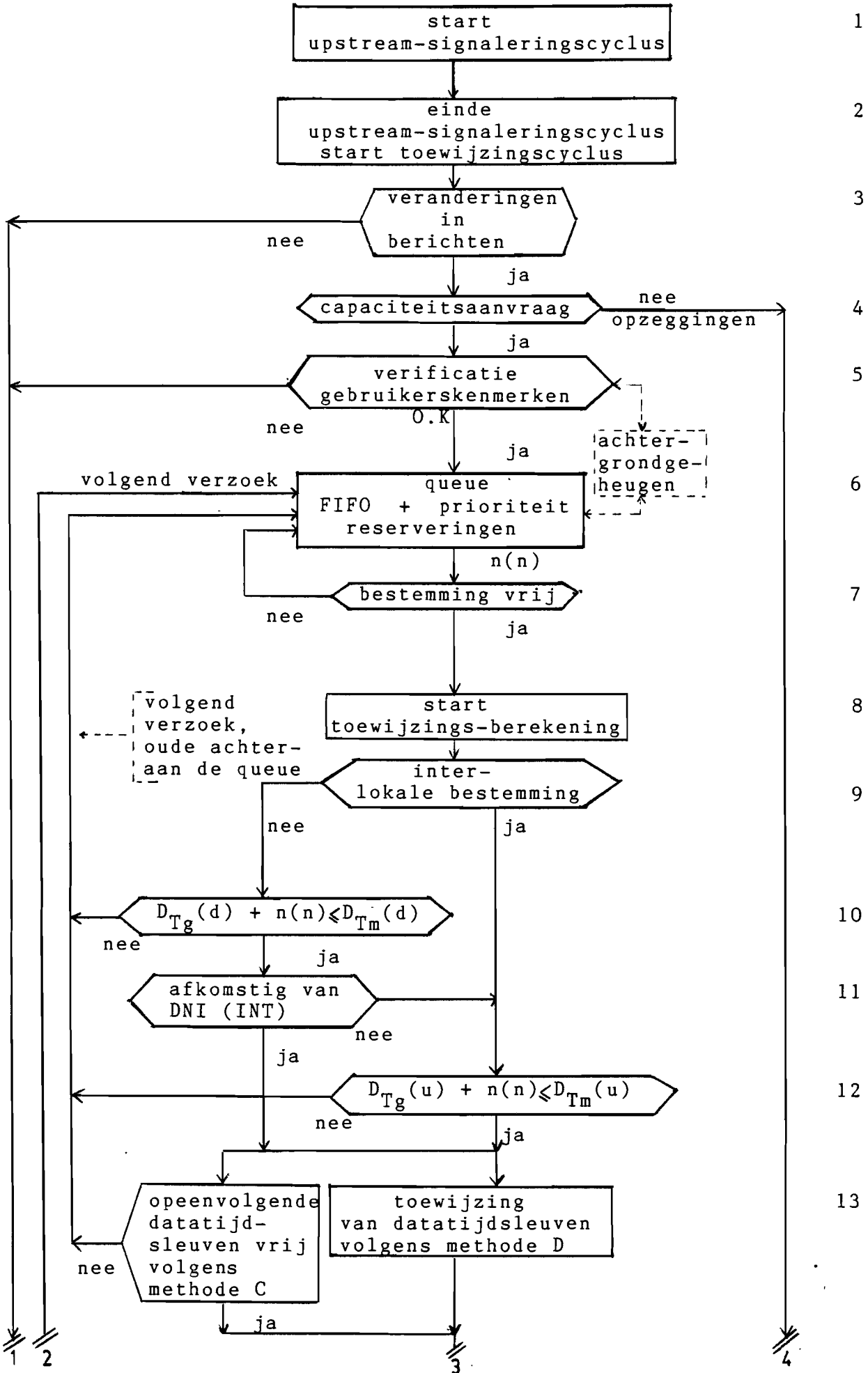
Na iedere afhandeling van een verzoek of opzegging in de toewijzingscyclus worden de statustabellen bijgewerkt.

Stap 16 tot en met 18

Zolang er nog verzoeken zijn in de queue die niet zijn behandeld, wordt het volgende verzoek uit de queue in de cyclus gebracht. Zodra de stopzetting van het toewijzingsalgoritme een feit is, worden alleen de wijzigingen in de statustabellen omgezet in nieuwe bursttijden.

Stap 19 en 20

De nieuwe bursttijden worden via de signalering naar de aanvragers en bestemmingen gestuurd. Niet toegewezen of afgekeurde verzoeken worden ook teruggemeld (nack). De bestaande verbindingen krijgen een "continueer"-bericht. De interne bursttiming controle van het basisstation wordt bijgewerkt.



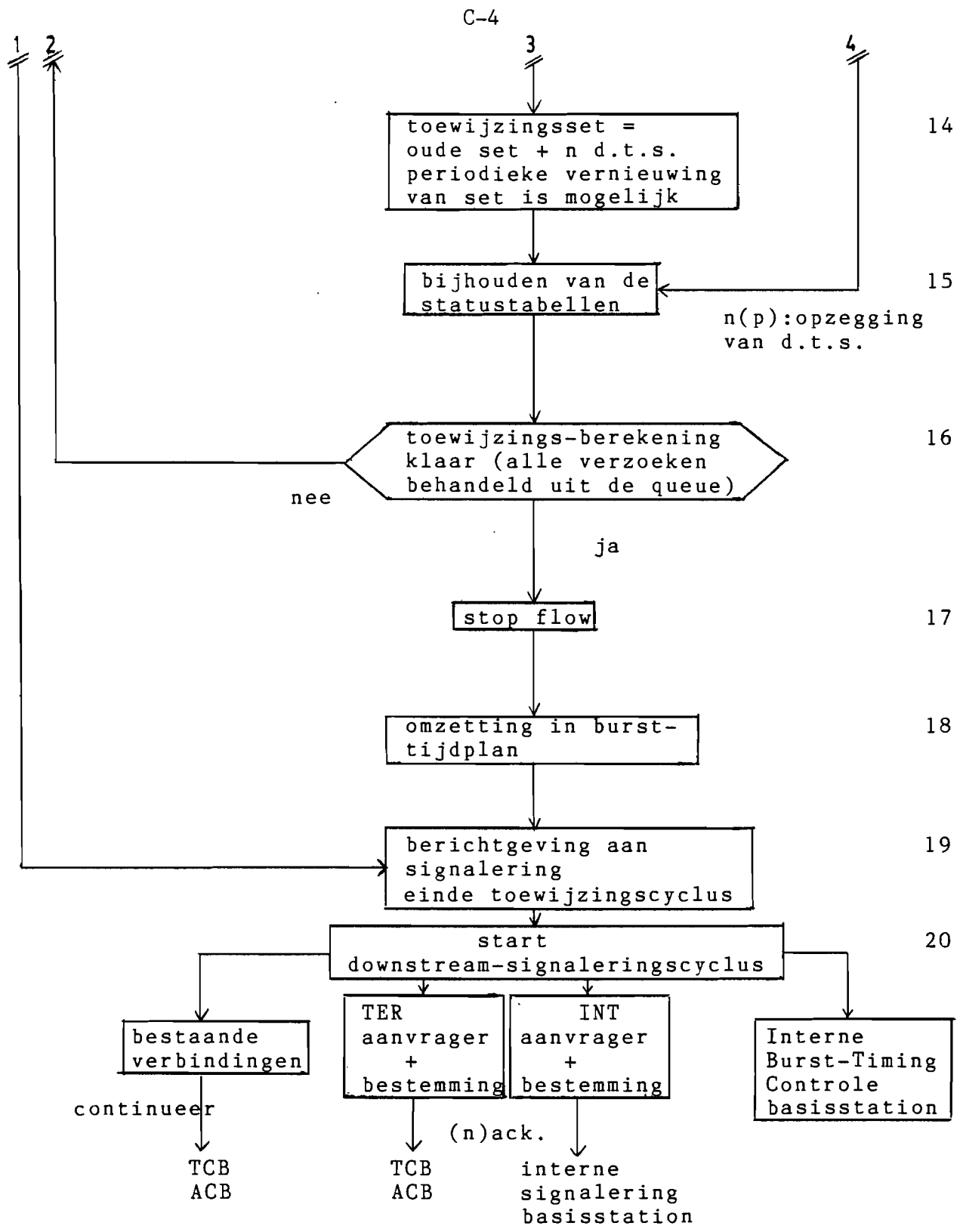


Fig. C.1 : Flowdiagram van het toewijzingsprotocol

$n(n)$: verzoek in flow , n datatijdsleuven gevraagd
 $n(p)$: opzegging van een bestaande verbinding ,
 p datatijdsleuven .

APPENDIX D

Frame-efficiëntie

In Tabel D.1 wordt de frame- F en de transmissie-efficiëntie T_e , volgens methode B, voor verschillende waarden van de frameperiode T_f , het aantal 16-bits datawoorden D en de bitfoutenkans P_b met constante overhead en preamble in de datatijdsleuf, berekend volgens formule (6.13) en (6.14). De framestructuur is zoals geschetst in Fig. 6.13 (upstreamkanaal).

L	D	T_f	DT_{\max}	F_{\max}	T_e met $P_b=10^{-4}$	T_e met $P_b=10^{-5}$
128	6	1,5 msec	64	48,5%	48,0%	48,5%
160	8	2 "	74	56,1%	55,3%	56,0%
256	14	3,5 "	92	69,7%	68,2%	69,5%
288	16	4 "	96	72,7%	70,9%	72,5%
512	30	7,5 "	110	83,3%	79,4%	82,9%
544	32	8 "	111	84,1%	79,9%	83,7%
1024	62	15,5 "	120	90,9%	82,3%	90,0%
1056	64	16 "	121	91,7%	82,7%	90,8%
1536	94	23,5 "	124	93,9%	80,8%	92,5%
1568	96	24 "	124	93,9%	80,8%	92,5%

Tabel D.1 : Frame- en transmissie-efficiëntie voor verschillende frameparameters volgens methode B in het upstreamkanaal

met:

L: lengte van een datatijdsleuf zonder preamble $L = 32 + 16D$

Voor het downstreamkanaal gelden de volgende waarden:

$L = 512$; $DT_{\max} = 119$; $F_{\max} = 90,2\%$; T_e (met $P_b = 10^{-4}$) = 85,9% ;
 T_e (met $P_b = 10^{-5}$) = 89,8%.

T_f en D zijn onderling afhankelijk volgens:

$$16D / T_f = 64 \text{ kbit/s}$$

Het aantal datatijdsleuven dat maximaal mogelijk is in deze framestructuur wordt gegeven door:

$$DT_{\max} = \left\lfloor \frac{R_F \cdot T_f - K(O_G + K_B)}{O_B + O_G + O_D + 16D} \right\rfloor \quad (\text{D.1})$$

met:

$\lfloor \rfloor$: afronding op een geheel getal naar beneden en de symbolen zoals vermeld in paragraaf 6.4.

In Tabel D.2 wordt de maximale frame- en transmissie-efficiëntie volgens methode A berekend, zoals in hoofdstuk 6 is beschreven (variabel aantal datatijdsleuven afhankelijk van het verkeersaanbod). De datablokken behorende tot één gebruiker worden in opeenvolgende datatijdsleuven geplaatst, die tesamen een databurst vormen. De databurst heeft één preamble (zoals de preamble in Fig. 6.13). De structuur van een datatijdsleuf blijft hetzelfde. Het aantal datatijdsleuven dat maximaal mogelijk is in deze (upstream) framestructuur wordt gegeven door:

$$DT_{\max} = \left\lfloor \frac{R_F \cdot T_f - M_B(O_B + O_G) - K(O_G + K_B)}{O_D + 16D} \right\rfloor \quad (D.2)$$

met:

$\lfloor \rfloor$: afronding op een geheel getal naar beneden en de symbolen zoals vermeld in paragraaf 6.4.

L	D	T _f	D T _{max}	F _{max}	T _e , P _b =10 ⁻⁴	T _e , P _b =10 ⁻⁵
128	6	1,5 msec	87	65,9%	63,3%	65,8%
256	14	3,5 "	109	82,6%	80,7%	82,4%
512	30	7,5 "	120	90,9%	86,6%	90,5%
544	32	8 "	121	91,7%	87,1%	91,2%
1024	64	15,5 "	126	95,5%	86,4%	94,5%
1536	94	23,5 "	128	97 %	83,4%	95,5%

Tabel D.2 : Frame- en transmissie-efficiëntie voor verschillende frameparameters volgens methode A in het upstreamkanaal