



# ***Mobile mobieljes***

***Hoe kan er worden omgegaan met  
mobiliteit binnen een GSM netwerk?***

**Chrétien Verhoef**

**BWI Werkstuk**  
**Bedrijfswiskunde en Informatica**  
**Vrije Universiteit Amsterdam**



Begeleider:  
Prof. dr. R.D. van der Mei

Vrije Universiteit  
Faculteit der Exacte  
Wetenschappen  
De Boelelaan 1081a  
1081 HV Amsterdam

Oktober 2007



## **Voorwoord**

Dit BWI werkstuk is een van de onderdelen van de afsluiting van mijn studie Bedrijfswiskunde en Informatica aan de Vrije Universiteit Amsterdam. In dit werkstuk wordt een (literatuur)onderzoek uitgevoerd omtrent een onderwerp wat in het verlengde van de drie deelgebieden van de studie BWI ligt.

Er wordt in dit werkstuk gekeken naar de mobiliteit binnen GSM netwerk, en mobiele telecommunicatie in het algemeen. Zelf vroeg ik mij altijd af hoe het mogelijk is dat je kunt blijven bellen met een mobiele telefoon terwijl je bijvoorbeeld in een trein zit. Hoe wordt dat geregeld? Welke ontwikkelingen zijn te verwachten? Dit en vele andere vragen met betrekking tot de mobiliteit bij mobiele telefonie probeer ik in dit werkstuk te beantwoorden.

Graag wil ik mijn begeleider Rob van der Mei bedanken voor alle hulp en het aanwakkeren van mijn interesse bij dit onderzoek.

Chrétien Verhoef  
Oktober 2007



## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>INLEIDING .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>GSM SYSTEEM .....</b>	<b>5</b>
2.1	GSM INTRODUCTIE .....	5
2.2	MOBIELE COMMUNICATIE ONTWIKKELINGEN .....	9
<b>3</b>	<b>NETWERK ARCHITECTUUR.....</b>	<b>15</b>
3.1	NETWERK ONDERDELEN .....	15
3.2	NETWERK ACTIES .....	16
3.3	HANOFF CONTROL .....	19
<b>4</b>	<b>MOBILITEIT MANAGEMENT .....</b>	<b>23</b>
4.1	MOBILITEIT .....	23
4.2	LOCATION MANAGEMENT .....	26
4.3	HANOFF MANAGEMENT .....	29
<b>5</b>	<b>MOBILITEIT MANAGEMENT OPLOSSINGEN.....</b>	<b>31</b>
5.1	LOCATION UPDATES.....	31
5.2	PAGING.....	35
5.3	LA CELKEUZE OPTIMALISATIE VOORBEELD .....	37
<b>6</b>	<b>CONCLUSIE EN SAMENVATTING .....</b>	<b>41</b>
	<b>BRONVERMELDING .....</b>	<b>43</b>



## 1 Inleiding

Was 10 jaar geleden een “mobieltje” nog iets speciaals, tegenwoordig kijkt niemand daar meer van op. Iedereen veronderstelt dat hij zijn mobieltje overal en te allen tijde kan gebruiken. Het aantal mobiele bellers is de laatste jaren sterk toegenomen. Ook wordt de mobiele telefoon steeds vaker gebruikt als thuistelefoon. Daardoor is het gebruik en het aantal mobiele telefoons aanzienlijk toegenomen. Ook kijken we er helemaal niet van op dat je jezelf gewoon kunt verplaatsen door Nederland, en dat je gesprek gewoon blijft doorgaan. Hoe kan dat?

Enige jaren geleden was het nog normaal om gewoon te bellen met een mobieltje. Wordt een telefoon nog wel gebruikt om te bellen? Bellen met een mobieltje is nu maar een van de vele functies van een mobieltje. Met een mobieltje kunnen e-mails worden verzonden, het laatste nieuws worden bekeken, muziek worden gedownload, internetpagina's worden bekeken. Daarnaast hoeft een mobieltje niet meer de vorm van een “mobieltje” te hebben. GSM verbindingen kunnen tegenwoordig worden ingebouwd in auto's of in kleine handzame computers. Via welke stappen heeft GSM zich zover ontwikkeld? Welke ontwikkelingen kunnen worden verwacht?

Bij het ontwerp van een GSM netwerk dienen er beslissingen te worden genomen over de inrichting van het netwerk, zodanig dat het netwerk overweg kan met de grote aantallen bellers. Daarnaast moet het netwerk ook rekening kunnen houden met de verplaatsing van de beller. Welke afwegingen moeten er bij de inrichting worden gemaakt? Hoe kan het netwerk rekening houden met deze “mobiliteit” van de bellers?

In het volgende hoofdstuk zal eerst worden beschreven welke ontwikkelingen GSM heeft doorgemaakt en welke belangrijke ontwikkelingen er hierbij binnenkort te verwachten zijn. Vervolgens zal in hoofdstuk 3 worden besproken hoe de huidige GSM netwerken zijn opgebouwd en hoe de belangrijkste GSM procedures werken. In hoofdstuk 4 zal worden uitgediept welke rol mobiliteit speelt bij de inrichting van een GSM netwerk en welke problemen hierdoor ontstaan. Tot slot zullen in hoofdstuk 5 verschillende methoden worden besproken, en een voorbeeld worden gegeven, die worden gebruikt bij de inrichting van GSM netwerken om met deze mobiliteit rekening te houden. In het laatste hoofdstuk zal een korte samenvatting worden gegeven.



## 2 GSM Systeem

In dit hoofdstuk zal de introductie en de daaropvolgende fasen van het GSM systeem worden besproken. Daarnaast zullen nieuwe ontwikkelingen en trends die worden verwacht bij de GSM systemen worden onderzocht.

### 2.1 GSM Introductie

Rond 1980 begon er een grote opmars te komen van bedrijven die analoge draadloze celgebaseerde telefoondiensten gingen aanbieden. Binnen Europa vond dit vooral plaats in de Scandinavische landen en Engeland. Elk land ontwikkelde een eigen standaard voor analoge telefonie. Hierdoor konden de mobiele telefoons van de verschillende landen niet in andere landen dan het eigen land worden gebruikt. Daarnaast moest de mobiele telecommunicatie apparatuur voor elk land apart ontwikkeld worden, zodat er een zeer kleine markt ontstond voor de aanbieders van deze dure apparatuur.

In 1982 werd de “Conference of European Posts and Telegraphs” gehouden. Op deze conferentie werd een studiegroep (“Groupe Special Mobile” (GSM)) opgericht om een Europees mobiel telecommunicatie systeem te ontwikkelen. Dit GSM systeem moest voldoen aan enkele voorwaarden, welke tot dan toe nog niet door andere systemen werden geïmplementeerd. De volgende voorwaarden werden gesteld:

- Goede spraak kwaliteit
- Gebruik maken van handsets
- Relatief lage kosten voor ontwikkeling van de terminal handset
- Provider en internationale roaming (gebruik maken van een ander thuis netwerk)
- Eenvoudig kunnen toevoegen van extra telefonie mogelijkheden
- Efficiënt gebruik maken van de beschikbare etherfrequenties
- ISDN compatibiliteit waarborgen

In 1991 begonnen de eerste publieke commerciële telecomproviders met het aanbieden van mobiele telefonie op basis van de GSM standaard. Al in 1993 waren er 36 GSM aanbieders in 22 landen, en al 25 andere landen waar GSM geïmplementeerd zou gaan worden [Scourias, 1996]. Tegenwoordig wordt GSM, wat nu voor ‘Global System for Mobile communications’ staat, wereldwijd gebruikt. In Noord-Amerika (PCS1900) en in Japan wordt daarentegen een eigen afgeleide variant van GSM gebruikt.

Tegenwoordig worden er naast de spraaktelefonie functie tal van andere diensten aangeboden via de mobiele netwerken. Hierbij valt te denken aan SMS, MMS (uitgebreide SMS met fotomogelijkheid) en internetten via WAP. Op dit moment worden er proeven uitgevoerd met "SMS cell-broadcast". Bij een SMS cell-broadcast krijgen alle terminals binnen bepaalde cellen een SMS bericht toegezonden. De Nederlandse overheid wil deze mogelijkheid gaan gebruiken om burgers in een rampgebied te gaan waarschuwen door middel van de mobiele netwerken. Vaak spreken we van "een GSM" voor het apparaat waarmee draadloze communicatie kan plaatsvinden. Hier wordt vaak een telefoon mee bedoeld. Een GSM verbinding kan, naast de gebruikelijke draadloze GSM telefoons of handsets, door gebruik te maken van de juiste apparatuur ook worden opgezet door laptops, handhelds en dergelijke. Er wordt daarom niet gesproken van "een GSM", maar van een terminal waarmee een GSM verbinding opgezet kan worden.

De ontwikkelingen in draadloze telefonie kan worden onderverdeeld in vier generaties [Vidyarthi, 2005] welke in de volgende deelparagrafen besproken zullen worden.

### **2.1.1 Eerste generatie**

Onder de eerste generatie mobiele telefonie worden de verschillende analoge draadloze telefonie systemen verstaan die vanaf 1981 werden gebruik zoals TACS, AMPS en NMT [Sun'02]. Er werd nog geen uniforme standaard gebruikt, en enkel spraak behoorde tot de mogelijkheden; Datacommunicatie was met dit systeem niet mogelijk.

### **2.1.2 Tweede generatie**

Bij de tweede generatie mobiele telefonie werden er gezamenlijke telefonie standaarden ontwikkeld (onder andere GSM), zodat het mogelijk ging worden om dezelfde telefoon te kunnen gebruiken in verschillende landen, en met verschillende telefonie providers. Bij deze tweede generatie telefonie is er overgestapt op volledig digitale technieken. Hierdoor konden de eerder genoemde GSM voorwaarden eenvoudiger worden bereikt dan met analoge techniek.

De standaarden in de tweede generatie zijn voornamelijk geoptimaliseerd voor spraak, en niet voor datacommunicatie. Desondanks was het met de nieuwe telefoniestandaarden ook mogelijk om, zij het op een zeer lage snelheid, data te verzenden in plaats van enkel spraakcommunicatie. Denk bij deze datacommunicatie aan het opvragen van file-informatie, het lezen van e-mail en het downloaden van ringtones. Ook ontstond de mogelijkheid om doormiddel van Wireless Application Protocol (WAP) Internet gebaseerde webdiensten aan te kunnen bieden via de mobiele telefoon. In 1999 introduceerde KPN deze dienst voor het eerst in Nederland onder de naam M-Info. Al diensten waren niet populair, omdat de datacommunicatiesnelheid zeer traag was.

### **2.1.3 GPRS (generatie 2.5)**

Doordat er steeds meer datatoepassingen ontstonden voor de GSM telefoon, ontstond er vraag naar hogere datacommunicatiesnelheden. Datacommunicatie vond bij de tweede

generatie tot dan toe enkel plaats via een in de telefoon ingebouwde modem waardoor een maximale datasnelheid van 9600 bit per seconde behaald kon worden. Er werd een nieuwe datacommunicatiemethode ontwikkeld om hogere snelheden aan te kunnen bieden. Door deze ontwikkeling gingen meerdere aanbieders, zoals in Nederland Vodafone en T-Mobile net als KPN, op WAP gebaseerde diensten aanbieden.

De nieuwe datacommunicatiemethode werd geïntroduceerd als ‘General Packet Radio Service’ (GPRS). Opmerkelijk is dat GPRS geen compleet nieuw netwerk nodig heeft, maar een techniek is die bestaat uit een uitbreiding bovenop het al bestaande GSM netwerk. Door enkele kleine veranderingen in het netwerk zelf, de GSM masten en de mobieltjes, werd GPRS gebruik mogelijk. GPRS behaalt, afhankelijk van de kwaliteit van ontvangst, tussen de 9 en 21,4 kB/s upload en 32 tot 40 kbit/s download. In de uitrolperiode was GPRS enkel op drukke locaties beschikbaar, tegenwoordig is de dekking volledig.

De voordelen van GPRS zijn onder andere:

- Mogelijkheid om op een snellere, efficiënte en goedkopere manier mobiele data te verzenden en te ontvangen in plaats van de eerder gebruikelijke modem techniek.
- De dataverbinding kan constant open blijven staan, waardoor gebruikers altijd online kunnen zijn.
- Dataverbruik wordt gefactureerd in plaats van de tot dan toe gebruikelijke methode om de tijd dat de gebruiker de dataverbinding op heeft staan te factureren. Hierdoor kan de gebruiker de dataverbinding oplaten als er geen gebruik van wordt gemaakt, terwijl hier minimale kosten aan verbonden zijn.
- Datacapaciteit wordt beter benut, omdat de dataverbinding enkel wordt gebruikt als deze daadwerkelijk wat verzendt of ontvangt. Hierdoor kan de totale zendcapaciteit beter worden benut en kan er meer data tegelijkertijd worden verzonden. GPRS verkeer wordt namelijk binnen het GSM netwerk packetswitched afgehandeld in tegenstelling tot het normale circuitswitched spraakverkeer.

Naast al deze voordelen zijn er ook enkele nadelen aan het gebruik van GPRS:

- Tegelijkertijd bellen en data versturen is meestal niet mogelijk, omdat GPRS de spraakkanalen van GSM gebruikt voor het opzetten van de datakanalen.
- Al hoewel de datasnelheid is toegenomen zal de downloadsn snelheid vaak maar hooguit 3 keer zo hoog zijn als de eerder gebruikte GSM modem. Dit komt voornamelijk doordat er bij GPRS gebruik wordt gemaakt van dezelfde modulatietechniek als bij normaal GSM spraakverkeer. Deze modulatie is specifiek gericht op spraak en het zo beperkt mogelijk houden van het zendvermogen zodat het batterijverbruik zo klein mogelijk is.
- De latency (vertraging in het netwerk) is relatief hoog (soms tot wel één seconde). Hierdoor ervaart de gebruiker alsnog een trage datacommunicatie bij een data-

aanvraag. Een van de oorzaken hiervan is de lagere prioriteit die GPRS dataverkeer krijgt toegewezen in het GSM netwerk ten opzichte van het spraakverkeer.

#### **2.1.4 EDGE (generatie 2.75)**

In de praktijk bleek het gebruik van GPRS tegen te vallen, mede doordat de optimale datasnelheid in veel situaties niet werd bereikt en daardoor geen grote stap vooruit maakte. Om toch snel vooruitgang te boeken werd de EDGE techniek ('Enhanced Data Rates for GSM Evolution') geïntroduceerd. EDGE is een uitbreiding op de GPRS techniek, waarbij vooral de snelheidsbeperkende GSM modulatietechniek werd aangepast. Hierdoor kan in theorie een download snelheid worden behaald van 384 Kbps. Veel sneller dan de onderliggende GPRS techniek. De overige nadelen van GPRS werden niet ontkracht. In Nederland is EDGE enkel door Telfort toegepast in het netwerk. De overige Nederlandse providers hebben gewacht op andere in opkomst zijnde technieken waarvan de specificaties beter waren.

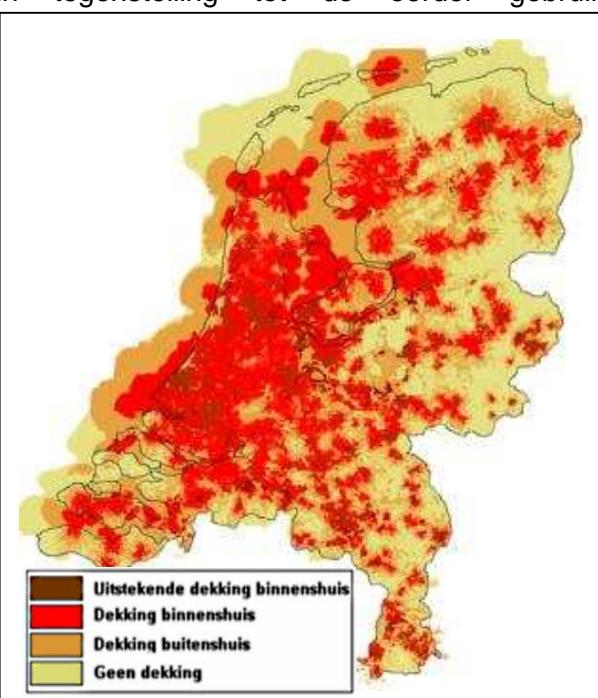
#### **2.1.5 Derde generatie**

Bij de derde generatie draadloze telefonie speelt de opkomst van digitale datadiensten een nog grotere rol. Bij deze diensten moet worden gedacht aan: connectie met internet via de mobiele telefoon, verzenden van complete bestanden (plaatjes, muziek), het bekijken van videobeelden vanaf het internet. De mobiele telefoons werden, naast een spraakfunctie, uitgebreid met mogelijkheden als een fotocamera en MP3-speler. Door deze uitbreidingen wordt er in plaats van de GS handset ook wel gesproken over 'Personal Communication Systems' (PCS).

Een grote doorbraak bij de ontwikkeling van de 3e generatie mobiele telefonie standaarden (3G) is de ontwikkeling van het gebruik van aparte transmissiekanalen voor datacommunicatie via mobiele telefonie in 2005. Dit in tegenstelling tot de eerder gebruikte datacommunicatiemiddelen waarbij voor datacommunicatie de spraakkanalen werden gebruikt.

#### **2.1.6 UMTS**

Universal Mobile Telephone System (UMTS) werd geïntroduceerd als de opvolger van GPRS. Doordat UMTS, naast het normale GSM spraakverkeer, andere frequenties gebruikt voor het dataverkeer moeten er voor de invoering van UMTS ingrijpende veranderingen plaatsvinden in de mobiele netwerken. Providers dienen (zeer dure) UMTS licenties aan te schaffen, en overal



Figuur 2-1 UMTS Dekking KPN 2007

nieuwe UMTS masten te plaatsen voor de UMTS dekking.

UMTS heeft ten opzichte van GPRS enkele grote voordelen:

- Transmissiesnelheid is aanzienlijk hoger; Zo'n 144 Kbps tijdens snelle verplaatsing (auto, trein), 384 Kbps tijdens langzame verplaatsing en maar liefst tot 2 Mbps op een vaste locatie.
- De latency is zeer sterk verlaagd.
- Tegelijkertijd bellen en data versturen is mogelijk, doordat er een apart datakanaal voor de dataverbinding wordt gebruikt.

Een (tijdelijk) nadeel van UMTS is de trage uitbreiding van het dekkingsgebied. Al zal dit in rap tempo worden vergroot. In Figuur 2-1 is de UMTS dekking van KPN per 16-01-2007 te zien. KPN is half 2004 begonnen met uitrol van UMTS en is tot op het moment van schrijven de enige provider die een redelijke landelijke dekking kan garanderen.

### **2.1.7 HSDPA (generatie 3.5)**

UMTS is nog niet volledig uitgerold of een nieuwe standaard is inmiddels al ontwikkeld. De High-Speed Downlink Packet Access (HSDPA) standaard moet voorzien in een download snelheid van 10 keer de 384 Kbps UMTS snelheid. Hierdoor kan HSDPA concurreren met een volwaardige (ADSL of kabel) breedband internetaansluiting. Implementatie van HSDPA is relatief eenvoudig omdat het een uitbreiding betreft op UMTS, een nieuw netwerk of plaatsing van nieuwe zendmasten zijn daarom niet nodig. Op dit moment bieden T-Mobile en Vodafone al in enkele grote plaatsen HSPDA aan. KPN heeft zijn totale UMTS netwerk inmiddels "HSDPA ready" gemaakt.

## **2.2 Mobiele communicatie ontwikkelingen**

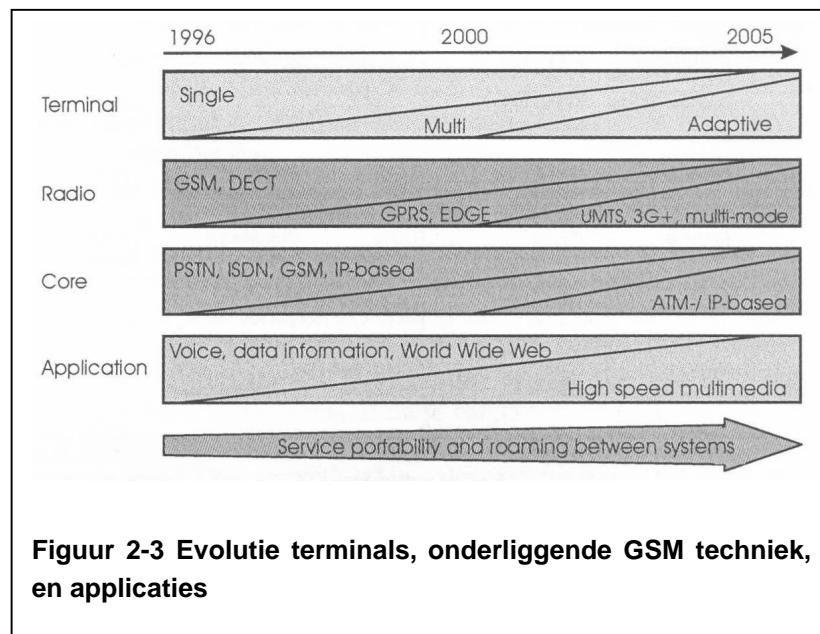
In deze paragraaf zullen opvallende mobiele communicatie trends worden besproken die op de korte termijn te verwachten zijn. In de voorgaande paragrafen zijn de verschillende GSM generaties besproken. De data overdrachtsnelheden zijn bij elke generatie opgevoerd.

In bovenstaand figuur zijn voor elke GSM techniek enkele voorbeelden gegeven waarmee deze snelheidsvoortgang goed is te zien. Hieruit kan de trend worden waargenomen dat datacommunicatie een steeds grotere rol kan gaan innemen in plaats van de spraakcommunicatie. In eerste instantie was er sprake van enkel een spraak communicatieverbinding in de terminal. Een generatie verder werd het mogelijk om deze spraakverbinding ook afwisselend te gebruiken voor (primitief) dataverkeer. Vervolgens kregen de terminals mogelijkheden om aparte snellere dataverbindingen op te zetten los van de spraakverbinding zelf. Een volgende logische stap is de integratie van spraakcommunicatie binnen de dataverbinding, zodat er enkel één datacommunicatieverbinding nodig is. De ontwikkelingen die hiermee samenhangen, zullen vooral plaatsvinden op de twee vlakken internetintegratie en netwerkintegratie.

Application											
	Page of text	e-mail	Picture on laptop	WDR web home page	30-pp simple colour presentation	e-mail + excel file	Book (300 pp text)	30-pp simple colour presentation w/images	Professional quality photograph	15 minute video	CD-ROM
Size in bytes	3,125	3,125	50,000	100,000	100,000	750,000	937,500	2,000,000	2,400,000	300,000,000	650,000,000
Book equiv's (300 pp)	1 page(s)	1 page(s)	16 page(s)	32 page(s)	32 page(s)	240 page(s)	1 book(s)	2.1 book(s)	2.6 book(s)	320 book(s)	693.3 book(s)
Size in bits	25,000	25,000	400,000	800,000	800,000	6,000,000	7,500,000	16,000,000	19,200,000	2,400,000,000	5,200,000,000
Size in mega/kbits	25 kbits	25 kbits	400 kbits	800 kbits	800 kbits	6 mbits	7.5 mbits	16 mbits	19.2 mbits	24 gbits	52 gbits
Technology	kbits	Time to transmit (secs)									
GSM today	9.6	2.6 secs	2.6 secs	41.7 secs	1.4 mins	1.4 mins	10.4 mins	13 mins	27.8 mins	33.3 mins	2.9 days
HSCSD	28.8	0.87 secs	0.87 secs	13.9 secs	27.8 secs	27.8 secs	3.5 mins	4.3 mins	9.3 mins	11.1 mins	23.1 hours
GPRS	115	0.22 secs	0.22 secs	3.5 secs	7 secs	7 secs	52.2 secs	1.1 mins	2.3 mins	2.8 mins	12.6 hours
EDGE	384	0.07 secs	0.07 secs	1 secs	2.1 secs	2.1 secs	15.6 secs	19.5 secs	41.7 secs	50 secs	5.8 hours
UMTS on the move	384	0.07 secs	0.07 secs	1 secs	2.1 secs	2.1 secs	15.6 secs	19.5 secs	41.7 secs	50 secs	1.7 hours
Stationary UMTS	2,000	0.01 secs	0.01 secs	0.2 secs	0.4 secs	0.4 secs	3 secs	3.8 secs	8 secs	9.6 secs	20 mins
											43.3 mins
Telecoms speeds are measured in bits per second but most items that are transmitted are measured in bytes (there being 8 bits to a byte)											
Bytes are measured in powers of $2 \cdot 2^{10}$ is 1,024, a kilobyte, where as a kilobyte is 1,000											
The indicative speeds are theoretical measures of raw bandwidth; effective bandwidth is inevitably slower given the performance of modems, switches and other network elements											

Figuur 2-2 Overdrachtsnelheden

In bovenstaand figuur is de evolutie van de verschillende bij de GSM generaties behorende technieken samenvattend weergegeven over de tijd. Te zien is dat de terminal van singleband, via multiband, nu adaptieve verbindingsselectie (Always Best Connected, zie netwerkintegratie) heeft gekregen. Daarnaast is te zien de het onderliggende GSM netwerk van "ouderwets" analoog PSTN, ISDN en GSM volledig op het internet protocol (IP) wordt gebaseerd. Door al deze evolutiestappen stijgt de portabiliteit van de GSM services en ontstaan er meerdere mogelijkheden om eenvoudig tussen verschillende verbindingssystemen over te schakelen.



## 2.2.1 Internetintegratie

Door de opkomende snellere draadloze always-on internetverbindingen voor mobiele terminals, zoals UMTS en HSPDA, zullen terminals op steeds meer plaatsen continu in contact kunnen staan met het internet. Daarnaast is de snelheid van deze draadloze verbindingen vergelijkbaar met breedbandverbindingen zoals ADSL en kabel. Deze internetintegratie is inmiddels zover dat het sinds kort het ook mogelijk is om bij enkele internetproviders (waaronder XS4ALL) een speciaal mobiletelefonie internetabonnement af te sluiten voor al het dataverkeer via de GSM. Het mobiele internetabonnement en de gateway naar het internet verloopt dan niet meer via de GSM aanbieder, maar direct via de internetprovider waardoor een transparante volledige internetverbinding ontstaat. Bij alle UMTS/HSPDA abonnementen betaal je maandelijks een vast bedrag voor een beperkt aantal MB aan dataverkeer, waarbij bijbetaling volgt als er meer dan deze limiet wordt "verbruikt". Door deze volwaardige internetkoppeling kan een terminal, naast zijn spraakfunctie, uitgebreid worden met ondenkbaar veel mogelijkheden. Alle mogelijkheden die de huidige thuis internetgebruiker kan gebruiken worden beschikbaar op een terminal (denk hierbij aan bijvoorbeeld e-mail, routeplanning en het bekijken van TV streams). Vier van deze internettoepassingen zijn dermate interessant dat deze hier besproken zullen worden.

### VoIP

De meest opvallende is de toepassing van Voice Over IP (VoIP). Bij VoIP wordt het Internet gebruikt om spraakverkeer te transporteren. Telefonie wordt hiermee mogelijk op datanetwerken en er ontstaat de mogelijkheid om de traditioneel gescheiden werelden van spraak en data communicatie samen te voegen. Doordat VoIP gesprekken in de meeste gevallen via het internet gerouteerd worden, naar bijvoorbeeld het buitenland, en er geen telefonienetwerk benodigd is, kunnen VoIP aanbieders tegen zeer lage kosten telefonie aanbieden. Gebruikers met een terminal die een spraakverbinding willen naar het buitenland kunnen er voor kiezen om de verbinding niet via hun eigen (dure) GSM telefonieaanbieder te laten verlopen, maar via een andere VoIP provider via de internetverbinding van de terminal. De spraakfunctie van de GSM terminal wordt in dit geval overgenomen door de internetconnectie, en de spraak en data functie van een GSM terminal kan hierdoor volledig worden samengevoegd!

### Instant messaging

Een tweede interessante toepassing is de opkomst van instant messaging. Instant messaging is een verzamelnaam voor technologieën waarbij berichten zo snel mogelijk worden overgebracht naar de ontvanger, en waarbij de ontvanger direct terug kan reageren. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld e-mail, waarbij de snelheid van overbrengen en de responsetijd minder belangrijk is. In tegenstelling tot het bij GSM gebruikelijke SMS kunnen de berichten groter zijn, is de response sneller, is het mogelijk om met meerdere mensen tegelijkertijd te communiceren en is de beschikbaarheid, huidige activiteit of plaats van de gebruiker zichtbaar. Instant messaging wordt veelvuldig gebruikt op thuiscomputers en lijkt e-mail al te hebben verstoten op het gebied van meest gebruikt communicatiemiddel via de computer. Inmiddels zijn er ook al instant messaging toepassingen beschikbaar voor mobiele terminals,

zodat deze manier van communicatie nu ook mobiel beschikbaar wordt, en het relatief dure SMS kan vervangen.

### **GSM paying**

Bijna iedereen is tegenwoordig in het bezit van een mobiele terminal, en draagt deze meestal bij zich. Het is de verwachting dat de terminal het betalen met passen zoals de chipknip gaat overnemen. Door een ingebouwde Near Field Communication chip (NFC) in de terminal kan de telefoon bij PIN apparatuur worden gehouden, zodat het PIN apparaat de bankgegevens van de betaler ontvangt. Voor de betaling kan worden gekozen om deze plaats te laten vinden zoals gebruikelijk is bij de huidige debitcards of er kan worden gekozen om het saldo eerst via mobiel internet op te laden net zoals bij de huidige chipknip. Naast betalen is het mogelijk om bijvoorbeeld winkel spaartegoeden bij te houden of statiegeld te ontvangen. De in Nederland in te voeren OV chipkaart maakt gebruik van dezelfde NFC technologie waardoor het op termijn mogelijk moet zijn om de terminal ook als OV chipkaart te gaan gebruiken.

### **Online T.V. en radio**

Tot slot wil ik de opkomst van online radio en tv noemen. Via het internet is het mogelijk om op de computer radio te beluisteren of T.V. te bekijken, waarbij enkel toegang tot internet nodig is. Voor radio is een ether FM-verbinding hierbij dus niet meer nodig. Veel thuis en kantoorgebruikers gebruiken dit inmiddels op hun computer. Op het moment van schrijven worden er ook online radio toepassingen ontwikkeld voor terminals, zodat het mogelijk wordt om via een terminal met CD kwaliteit naar radiozenders te luisteren. Hierbij is de keuze uit zenders vele malen groter dan de zenders die enkel in Nederland via de kabel beschikbaar zijn.

## **2.2.2 Netwerkintegratie**

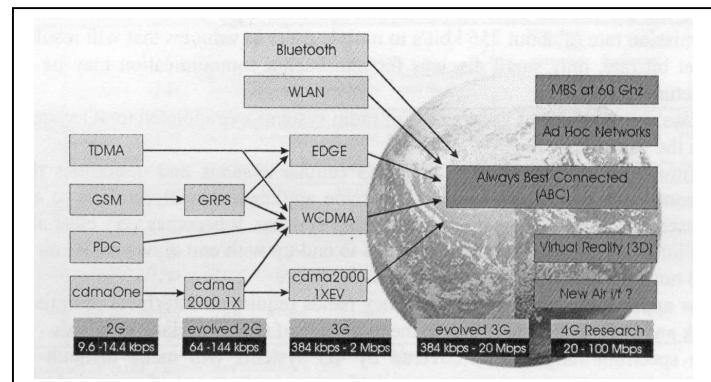
Een tweede ontwikkeling die plaatsvindt op het gebied van de mobiele communicatie is de integratie van verschillende soorten netwerken. De huidige 3e generatie GSM terminals kunnen spraakverkeer verwerken via het GSM signaal en data/internetverkeer via UMTS/HSPDA. Beide verkeersstromen lopen via het GSM netwerk. Inmiddels zijn er ook tal van andere mogelijkheden om een terminal draadloos te verbinden met het internet buiten het GSM netwerk om, en worden terminals voorzien van mogelijkheden om al deze verbindingsmogelijkheden te kunnen benutten.

Een veel gebruikte mogelijkheid om terminals draadloos te verbinden met het internet op een vaste locatie is Wireless-Fidelity (WiFi). Het voordeel van WiFi is de grote bandbreedte van de verbinding (momenteel tussen de 11 Mbps en 100 Mbps). Het nadeel is het beperkte bereik van een WiFi basisstation (maximaal bruikbaar bereik tussen de 30 en 200 meter) en het grote energieverbruik van een terminal die verbonden is via WiFi. Het bereik en de bandbreedte zijn zeer sterk afhankelijk van de soort bebouwing en het gebruik van andere apparatuur zoals magnetrons. WiFi is beschikbaar in verschillende standaarden met elk een verschillende bandbreedte en bereik. De nieuwste versies (WiMax), waarvan de frequenties midden 2008 door de Nederlandse overheid zullen worden geveild, zouden snelheden tot 540 Mbps moeten

aankunnen en een bereik kunnen hebben van enkele tientallen kilometers. Door de verbeterde accutechniek, waardoor terminals meer vermogen kunnen leveren, en de grote opkomst van WiFi basisstations is het mogelijk terminals uit te breiden met WiFi mogelijkheid. Sommige terminals zijn inmiddels standaard voorzien van deze mogelijkheid. Naast WiFi zijn er nog andere draadloze technieken zoals Bluetooth.

Onder netwerkintegratie wordt de integratie van verschillende soorten netwerken verstaan waarbij de gebruiker als het ware één type netwerk ervaart. Het maakt voor de gebruiker niet uit of deze verbonden is met het internet via GSM/UMTS of WiFi, zolang deze maar de beste verbinding tot zijn beschikking heeft. De terminal is hierdoor Always Best Connected (ABC). De terminal zal ervoor zorgen dat er continu wordt overgeschakeld naar de verbindingstechniek met best beschikbare verbindingsmogelijkheid. In onderstaand figuur is deze evolutie van 2G naar de 4<sup>e</sup> generatie met ABC van de verschillende data verbindingstechnieken

schematisch weergegeven. Het idee achter netwerkintegratie is om verschillende netwerk technologieën naadloos te integreren zodanig dat er optimaal profijt van de voordelen van de verschillende netwerken gebruik kan worden gemaakt. Zo kan een netwerk met een grote bandbreedte maar een klein bereik worden geïntegreerd met een netwerk van een lagere bandbreedte heeft maar daarentegen een veel groter bereik.



Figuur 2-4 Evolutie van 2G naar 4G

### Integratie voorbeeld

Een voorbeeld van netwerkintegratie: Een gebruiker is thuis en heeft daar een WiFi basisstation staan. De terminal herkent dat er een WiFi basisstation beschikbaar is en zal automatisch een verbinding met dit basisstation tot stand brengen. Het telefoon (VoIP) en internetverkeer verloopt nu via de WiFi verbinding. De gebruiker gaat vervolgens naar zijn werk toe en stapt in zijn auto. De WiFi verbinding verslechtert omdat de terminal nu buiten het bereik van het WiFi basisstation zal komen. De terminal herkent de verslechtering van de verbinding en zal automatisch opnieuw de beste verbinding kiezen. In dit geval blijkt UMTS beschikbaar en de terminal zal hiermee een verbinding maken. Tijdens zijn reis in de auto is de gebruiker dus via UMTS verbonden. Een deel van zijn autoreis verloopt via een heuvelachtig minder bebouwd gebied. UMTS is hier niet of slecht beschikbaar, maar de GSM basisstations zijn hier wel voorzien van GPRS. De terminal herkent het wegvalLEN van de UMTS verbinding en zal automatisch een GPRS verbinding tot stand brengen. Uiteindelijk

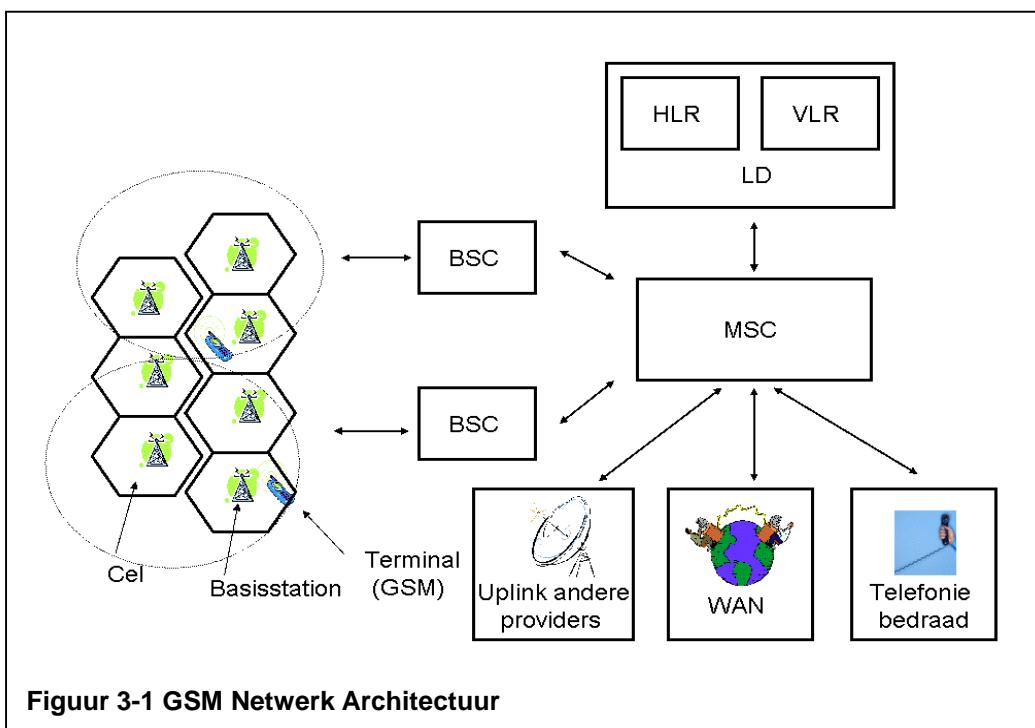
komt de gebruiker aan op zijn werk, waar weer WiFi beschikbaar. Zodat de terminal uiteindelijk weer een verbinding zal maken via WiFi.

Het mag uit bovenstaand voorbeeld duidelijk zijn dat de terminal op elk moment, zonder ingrijpen van de gebruiker, de beste verbindingsmogelijkheid kiest. De gebruiker ervaart één verbinding, die afhankelijk van de onderliggende echte verbinding, soms meer bandbreedte heeft dan op andere momenten. Dit omschakelen staat ook bekend onder de term ‘vertical handover’, in tegenstelling tot ‘horizontal handover’ (omschakeling binnen hetzelfde soort netwerk) (zie ook 3.3). Verschillende soorten netwerken zijn voor de gebruiker als het ware geïntegreerd tot één netwerk.

Op dit moment is het zo dat de meeste gebruikers thuis beschikbaar zijn via hun vaste telefoonaansluiting, waarbij een vast telefoonnummer hoort. Buitenshuis zijn zij via een mobiel telefoonnummer beschikbaar, via een terminal verbonden aan het GSM netwerk. Met de komst van netwerkintegratie kan een gebruiker kiezen voor één (zogenaamd nomadisch) telefoonnummer waarmee de gebruiker overal beschikbaar is: thuis, onderweg, op het werk, of aan de andere kant van de wereld op vakantie. Hoe de terminal verbonden is met het netwerk maakt dan niet meer uit. Bij verschillende internetproviders is het al mogelijk om nomadische telefoonnummers te verkrijgen en hiermee via VoIP te communiceren.

### 3 Netwerk Architectuur

In dit hoofdstuk zal de architectuur van GSM netwerken worden besproken. Er zal worden beschreven uit welke onderdelen een GSM netwerk bestaat. Daarnaast zullen de acties worden besproken die binnen het netwerk worden uitgevoerd bij het maken van verbindingen. In onderstaand figuur zijn de verschillende onderdelen van een GSM netwerk schematisch weergegeven. Al deze onderzelen zullen in dit hoofdstuk worden besproken.



Figuur 3-1 GSM Netwerk Architectuur

#### 3.1 Netwerk onderdelen

In deze paragraaf worden de verschillende onderdelen waaruit een GSM netwerk bestaat besproken.

##### Cel

De basis van het GSM netwerk wordt gevormd door cellen. Een cel is een kleine geografische oppervlakte die is toegewezen aan een GSM mast. Bij het GSM netwerkontwerp wordt meestal gebruik gemaakt van een hexagoon als representatie voor de vorm van een cel. In werkelijkheid heeft de celgrootte niet de vorm van een hexagoon, maar is deze afhankelijk van het soort terrein, bebouwing, glooiing van het landschap en dergelijke.

### **Basisstation**

Elke cel bevat een basisstation die via een zendmast de draadloze verbinding regelt met de terminals (onder andere de GSM telefoons, laptops, handhelds en dergelijke). Een basisstation gebruikt een of meerdere etherkanalen om verbinding te maken met de terminals. Per kanaal wordt gebruikt gemaakt van een ‘Time division multiple access’ (TDMA) algoritme om meerdere verbindingen per kanaal op te kunnen zetten, door het kanaal in meerdere timeslots te splitsen.

### **Base Station Controller**

Elke bij een cel behorend basisstation is gekoppeld aan een Base Station Controller (BSC). Elke BSC is daarnaast gekoppeld aan meerdere basisstations. De koppeling tussen een basisstation en BSC kan draadloos of via een dedicated lijn verlopen. De BSC regelt de toewijzing van frequenties van de verschillende masten en telefoons in zijn dekkingsgebied. Ook draagt het verbindingen over tussen de verschillende basisstations als de beller tussen de verschillende cellen beweegt.

### **Mobile Switching Center**

Alle BSC’s zijn gekoppeld aan het Mobile Switching Center (MSC). Het MSC handelt telefoongesprekken af tussen de GSM gebruikers en is gekoppeld aan het fysieke telefoonnet, en verbonden met andere telefonie providers waardoor verbindingen buiten het GSM net mogelijk worden gemaakt. In het kort handelt de MSC de registratie van nieuwe terminals af, voort de validatie van authenticiteit uit, update de locatiewijzigingen van de terminals, en beheert het opzetten en afhandelen van verbindingen. Ook kan het MSC in verbinding staan met een WAN netwerk, waarmee de internettoegang van de GPRS/UMTS gebruikers geregeld wordt. Het MSC is ook gekoppeld aan de Location Database (LD). In deze LD wordt bijgehouden wat de locatie is van elke terminal.

De LD bestaat uit het Home Location Register (HLR) en Visitor Location Register (VLR). De HLR is een database waarin alle informatie wordt bijgehouden van elke terminal die geregistreerd is bij de provider en bij welk netwerk een terminal zich bevindt. Bijvoorbeeld als een terminal bij een ander netwerk in het buitenland is. Dit wordt ook wel “roaming” genoemd. In het VLR wordt precies bijgehouden waar elke terminal zich in het huidige netwerk bevindt. De exacte celverwijzing wordt niet bijgehouden.

## **3.2 Netwerk acties**

In de volgende paragraaf zullen de drie belangrijkste GSM netwerk acties worden besproken: location registration, call-delivery en handoff control.

### **3.2.1 Location Registration**

Zodra een terminal aan wordt gezet of het GSM netwerk binnenkomt, zal moeten worden bijgehouden waar de terminal zich bevindt. Het netwerk zal immers moeten weten waar de terminal zich bevindt als er een binnenvloeiende verbinding arriveert voor de terminal. De

procedure van het bijhouden van de locatie van de terminal wordt 'Location Registration' genoemd. Deze procedure kan op twee manieren worden geïnitieerd. Ten eerste, zodra een terminal aan wordt gezet zal deze terminal deze procedure initiëren om zich aan te melden. Ten tweede als een terminal gebruik maakt of gaat maken van een basisstation van een andere dan de huidige LA (er vindt in deze situatie dus een location update plaats).

Een belangrijk begrip bij location registration is de Location Area (LA). Van een terminal wordt niet de precieze cellocatie bijgehouden, maar de LA waarin hij zich bevindt. Een LA is een groep aangrenzende cellen. Meestal worden de cellen die tot één LA horen gelijk gekozen aan de cellen die tot dezelfde BSC horen. Het kan echter ook voorkomen dat het handiger voor de provider is om een LA niet gelijk te nemen aan de cellen van een BSC.

De location registration procedure wordt gegeven door de volgende stappen, zodra de procedure door de terminal wordt geïnitieerd:

1. De terminal verzendt zijn nieuwe locatie naar zijn basisstation.
2. Het basisstation stuurd de locatie update door naar het MSC. Het MSC stuurd de locatie update naar het VLR behorende bij de LA.
3. VLR wijzigt de locatie in de database.
4. Als de nieuwe LA niet tot dezelfde VLR behoort, dan wordt het HLR van de terminal bepaald en de registratie wordt doorgestuurd naar de HLR van de terminal. Dit komt meestal voor bij roaming. Behoort de LA wel tot dezelfde VLR dan is de location registration is voltooid.
5. De HLR van de terminal valideert de terminal en houdt de nieuwe VLR bij. Is de validatie succesvol, dan wordt dit doorgegeven aan de nieuwe VLR.
6. Is de terminal uiteindelijk succesvol geregistreerd bij de nieuwe VLR, dan stuurd de HLR een cancel boodschap naar de oude VLR van de terminal, zodat de terminal daar uit de locatie database gehaald kan worden.
7. De oude VLR verwijdert de terminal en stuurt een bericht aan de HLR als dit succesvol verloopt.

Verplaatst een terminal zich tussen cellen van dezelfde LA, dan vindt de location registration procedure niet plaats. De terminal meldt zich aan bij het nieuwe basisstation en meldt zich af bij zijn oude basisstation.

Sommige GSM netwerken stellen de terminals zo in dat deze ook tijdens uitschakeling een location update sturen met de melding dat hij wordt uitgeschakeld, zodat de locatie van de terminal uit de VLR verwijderd kan worden. Bij andere netwerken is dit niet het geval en blijft in de VLR de laatste, vaak dus onjuiste, locatie aanwezig. In dit geval zal pas bij

totstandbrenging van een verbinding met de terminal worden ontdekt door het netwerk dat de terminal niet aanwezig is.

Zolang een terminal binnen één en hetzelfde LA blijft vindt er geen location registration verkeer plaats in het GSM netwerk voor de terminal. Het mooie van een mobiele telefoon en terminal is natuurlijk dat deze “mobieltje” is. Terminals blijven vaak niet op een en dezelfde plaats. Door de continue verplaatsing van de terminals vindt er veel location registration verkeer plaats in het netwerk en mede door de grote hoeveelheid aan mobiele gebruikers binnen een netwerk neemt de location registration communicatie een groot deel van de netwerk en rekencapaciteit in. Door enkel location registration updates uit te voeren bij verandering van een LA, in plaats van bij elke cel, wordt het location registration dataverkeer aanzienlijk verminderd.

Neem als voorbeeld een trein vol mensen. De Nederlandse Spoorwegen hebben treinen waarbij de zitcapaciteit 1150 personen is. Het valt dus aan te nemen dat er in de spits een trein met ongeveer 1400 mensen rijdt. Rijdt deze trein van Amsterdam naar Utrecht, dan zal deze op zijn weg naar Utrecht door verschillende LA rijden. Met een snelheid van 130 km/u komen er ongeveer 1000 terminals in een nieuwe LA. Voor al deze terminals zal de Location Registration procedure doorlopen moeten worden. Het voordeel in deze geschatste situatie is dat de meeste terminals tot dezelfde HLR zullen behoren (de meeste forenzen zullen in Nederland wonen), waardoor de laatste drie stappen overgeslagen kunnen worden. Dit gaat echter niet op voor iemand die op vakantie is in het buitenland. Stel een Nederlander is op vakantie in New York. Elke keer dat de Nederlander zijn terminal aanzet of gebruik maakt van een ander GSM netwerk zal de MSC van het Amerikaanse netwerk de HLR van het thuisnetwerk van de terminal raadplegen. Voor elke locatie update zijn nu vier transatlantische netwerkberichten nodig!

### **3.2.2 Call Delivery**

Als een terminal een verbinding tot stand wil brengen voor bijvoorbeeld een gesprek zal de Call Delivery procedure worden uitgevoerd. Op de volgende pagina staan de stappen vermeld die gelden voor een call delivery tussen twee terminals.

In stap 4 wordt er een verbinding opgebouwd met de gebelde terminal. Hiervoor wordt uit de betreffende VLR de LA bepaald waarin de terminal zich bevindt. Echter, enkel de LA is bekend, niet de precieze cellocatie van de terminal. Dit is het nadeel van het gebruik van LA's in plaats van de daadwerkelijke cellocaties. Hierdoor is er nog een extra stap nodig om de cellocatie en daarmee het gebruikte basisstation van de terminal te bepalen. Om de cellocatie te bepalen zal er aan alle basisstations behorende bij de LA van de terminal een ‘paging’ bericht worden verzonden bestemd voor de betreffende terminal. Als de terminal een dergelijk paging bericht ontvangt reageert hij hierop door zich via zijn basisstation te melden bij het MSC, zodat het MSC de cellocatie te weten krijgt.

Tegenwoordig kunnen er in een LA vele honderden terminals aanwezig zijn (denk aan het voorbeeld met de trein, of aan een universiteit of kantoorpark). Elke keer dat een van al deze terminals een verbindingsaanvraag krijgt, zullen in alle cellen behorende bij het LA paging

berichten worden verzonden. Met de enorme groei van het aantal mobiele bellers nemen alle paging verzoeken een steeds groter deel in van de beschikbare bandbreedte in het netwerk, en in de beschikbaarheid van etherfrequenties van de basisstations.

1. De terminal zendt via zijn basisstation een call initieer bericht naar zijn huidige MSC.
2. De MSC bepaalt welke HLR bij de gebelde terminal hoort, en stuurt een aanvraag voor locatie van de gebelde terminal naar die HLR.
3. De HLR van de gebelde terminal bepaalt de huidige VLR van die terminal en vraagt aan die VLR een verbinding aan met de terminal. Deze VLR stuurt de verbindingaanvraag door naar de MSC van de gebelde terminal.
4. De MSC maakt verbinding met de terminal en stuurt deze benodigde informatie voor deze verbinding door naar de HLR.
5. De HLR stuurt de verbindinginformatie door naar de MSC van de bellende terminal.
6. Tenslotte zorgt deze MSC dat er een verbinding met de MSC van de gebelde terminal tot stand komt zodat de verbinding plaats kan vinden.

### 3.3 Handoff Control

Een andere belangrijke GSM netwerk procedure is Handoff Control, of Handover Control. Handoff Control is de meest technische en ingewikkelde GSM netwerk procedure. Zolang een terminal tijdens een verbinding in één cel blijft, of zonder actieve verbinding verplaatst door meerdere cellen, volstaan de Location Registration en Call Delivery procedures. Verplaatst een terminal zich echter met een actieve verbinding door meerdere cellen dan is de extra Handoff procedure nodig. De Handoff procedure zorgt ervoor dat een actieve verbinding ononderbroken kan plaatsvinden zodra een terminal zich verplaatst van de ene cel naar de andere cel en daarbij verbonden moet worden van het ene basisstation met het andere basisstation.

Er zijn verschillende type handovers, waarbij onderscheid wordt gemaakt op de manier hoe de handover verloopt.

#### Intra-cell / Inter-cell

Er is sprake van een inter-cell handover als de handover tussen twee verschillende basisstations plaatsvindt. In dit geval wordt de terminal verplaatst van de ene cel naar de andere. Bij inter-cell handover kan er worden gesproken van een bron-cel en een doel-cel. Deze cellen kunnen, maar hoeven echter niet, in dezelfde LA liggen. Bij een intra-cell handover is er daarentegen geen sprake van een bron en doel-cel. De handover vindt plaats binnen één en dezelfde cel. De terminal verandert dus niet van basisstation. Bij een intra-cell

handover wordt het frequentiekanaal waarmee de terminal verbinding heeft met het basisstation veranderd. Dit kan gebeuren als het huidige kanaal een slechtere ontvangst heeft dan een ander kanaal, of het huidige kanaal interfereert met een ander kanaal van bijvoorbeeld een buurcel.

### **Hard handover / Soft handover**

Naast het onderscheid tussen intra-cell en inter-cell handovers wordt er onderscheid gemaakt tussen hard en soft-handovers. Bij een hard handover wordt de verbinding tijdelijk zeer kort onderbroken op het moment dat handover plaatsvindt. De huidige verbinding wordt verbroken, en direct daarna wordt de nieuwe verbinding tot stand gebracht. Het is van belang dat deze handover zeer snel plaatsvindt, zodat de gebruiker van de terminal geen onderbreking ervaart. Bij een soft handover vindt juist geen onderbreking plaats. Voordat de verbinding wordt overgezet van de bron naar de doel-cel wordt, naast de huidige verbinding, een tweede verbinding opgezet tussen het basisstation van de doel-cel en de terminal. Tijdelijk heeft de terminal in deze situatie dus twee openstaande verbindingen. Er bestaat ook uitgebreidere soft handover variant, waarbij er meer dan één doel-cel wordt gebruikt. Bij deze variant zal de terminal waar mogelijk proberen meerdere (tot wel 4) doel-cellen kiezen en met alle overeenkomende basisstations een verbinding proberen te maken. Naast de huidige actieve verbinding van de terminal in zijn bron-cel, heeft de terminal in dit geval dus tot wel 4 andere verbindingen. De terminal kiest uit de nieuwe opgezette verbindingen de beste nieuwe verbinding (uit enkele vastgestelde criteria, zoals het aantal fouten per verzonden frame en de sterkte van het ontvangst signaal).

Het voordeel van een hard handover is de relatieve eenvoud van de handeling. Een terminal gebruikt tijdens de handover te allen tijde maar één verbindingssnelheid, en schakelt daarbij heel kort direct over van de ene verbinding naar de andere. Een groot nadeel van deze handover methode is de kwetsbaarheid van de verbinding. Als de handover procedure mislukt dan is de verbinding voor korte tijd verbroken of wordt deze in het geheel verbroken. Vooral bij de 1e en 2e GSM generatie terminals werd een verbinding vaak verbroken door het mislukken van de (hard) handover. Dit nadeel wordt nagenoeg opgeheven door de soft handover methode (gebruikt bij 3e generatie GSM diensten), aangezien hierbij de huidige verbinding pas wordt verbroken nadat er een goede nieuwe verbinding is opgezet. Daarnaast wordt, zoals eerder besproken, deze nieuwe verbinding gekozen als beste kandidaat-verbinding uit een aantal nieuwe verbindingen. De handover kan nu enkel mislukken als al deze verbindingen slechte verbindingen zijn. De kans dat al deze verbinding slecht zijn is erg klein aangezien alle verbindingen simultaan worden opgezet over verschillende kanalen naar verschillende basisstations. De kans dat er nu bijvoorbeeld tegelijkertijd interferentie optreedt bij al deze verbindingen is erg klein. De betrouwbaarheid van een soft handover is dus aanzienlijk groter ten opzichte van een hard handover. Aan een soft handover kleven wel twee nadelen. Ten eerste dient de terminal te worden voorzien van duurdere technologie om meerdere verbindingen te kunnen maken, en dient in het GSM netwerk deze duurdere geavanceerde handover methode te worden geïmplementeerd. Ten tweede gebruikte deze methode aanzienlijk meer verbindingssnelheden per handover. Al deze kanalen kunnen niet

(tijdelijk) niet gebruikt worden door andere terminals. De capaciteit van een GSM cel gaat hierdoor dus omlaag.

### **Initiatie**

De handover procedure kan zowel door het basisstation als de terminal worden geïnitieerd. De terminal zal de handover initiëren in de volgende situaties:

- Er moet worden overgegaan naar een andere cel, wegens verplaatsing van de terminal naar de andere cel.
- Er wordt overgegaan naar een andere cel, omdat een verbinding bij een andere cel een betere kwaliteit heeft dan de verbinding uit de huidige cel.
- Er wordt overgegaan naar een nieuwe verbinding binnen de huidige cel, omdat er een beter verbindingsskanaal beschikbaar is dan de huidige.

Het basisstation zal de handover initiëren in de volgende situaties:

- Het basisstation krijgt een verzoek van de bij het LA behorende BSC om de capaciteit te vergroten (zie onder).
- Het basisstation krijgt een verzoek van de bij het LA behorende BSC om de zogenaamde “near-far” interferentie, of overige vormen van interferentie, te verkleinen.

Het verzoek van de BSC zal plaatsvinden als de BSC bij een cel in zijn LA opmerkt dat de capaciteit van het basisstation volledig in gebruik is, of bijna volledig in gebruik gaat raken. De BSC zal proberen om, via de Handoff procedure, terminals met nieuwe of lopende verbindingen bij het te volle basisstation over te plaatsen van dit te volle basisstation naar een andere (overlappende) cel behorende bij de LA. Hierdoor kan er capaciteit bij het te volle basisstation worden vrijgemaakt.

De tweede mogelijkheid van het basisstation om de handover te initiëren op verzoek van het BSC zal gebeuren als de BSC via het basisstation opmerkt dat er sprake is van een onnodig near-far effect. Terminals die zich op een grote afstand van het basisstation bevinden zullen met meer vermogen zenden dan terminals die zich dichter bij het basisstation bevinden. In sommige situaties kan het grotere vermogen van een dergelijke terminal de verbinding van een andere minder sterke terminal gaan overstemmen. Deze situatie komt vooral voor als een grote cel naast een veel kleinere cel is gelegen. Om dit near-far effect te verhelpen zal de verbinding door de BSC worden overgezet naar een ander basisstation, ook al is dit voor de kwaliteit van de verbinding zelf niet nodig.

Potentiële bronnen van interferentie van zendfrequenties kunnen zijn:

- Co-Channel interferentie: Interferentie waarbij bij elkaar liggende basisstations dezelfde frequentie gebruiken.

- Adjacent Channel interferentie: Interferentie die wordt veroorzaakt door een combinatie van andere frequenties bij meerdere basisstations die met elkaar interfereren.
- Co-Site Channel interferentie: Interferentie tussen frequentiekanalen binnen dezelfde cel, doordat het frequentieverzil tussen de frequenties te klein wordt door de omgevingsfactoren in de cel.

## Procedure

Voordat de procedure in werking wordt gesteld dient eerst een eventuele Location Registration Update voltooid te zijn. Aangezien de precieze Handoff procedure zeer ingewikkeld verloopt, en afhankelijk is van zeer veel factoren, zullen hier enkel de basisstappen worden besproken. De precieze handover procedure is onder andere afhankelijk van de initiator en onderliggende reden, hard of soft handover en of er sprake is van een intra of inter-cell handover. Bij een intra-cell handover is tevens van belang of de handover plaats vindt tussen twee cellen binnen dezelfde LA, buiten de LA, of zelfs tussen verschillende MSC van een en dezelfde provider. Er wordt zelfs gewerkt aan het mogelijk maken van handovers tussen verschillende providers onderling (denk aan een toepassing bij grensverkeer).

De volgende globale stappen worden uitgevoerd bij de Handoff procedure:

1. Initiëren van de daadwerkelijke handoff.
2. Opzetten van een nieuwe verbinding naar het nieuwe basisstation, maar die nog niet verbonden is met de terminal. Als er bij de nieuwe verbinding sprake is van een grotere netwerkvertraging dan bij de huidige verbinding zal data over de nieuwe verbinding tijdelijk moeten worden gebufferd.
3. Overschakelen van de oude verbinding naar de nieuwe verbinding.

## 4 Mobiliteit Management

In de vorige hoofdstukken is beschreven uit welke belangrijke onderdelen een GSM netwerk is opgebouwd, en welke belangrijke acties er binnen een netwerk plaatsvinden. In dit hoofdstuk zal worden beschreven welke belangrijke optimalisatieproblemen er spelen bij de inrichting van een GSM netwerk. Mobiliteit van de terminals speelt bij deze problemen een grote rol.

Met betrekking tot het ontwerp, de inrichting en het gebruik van een GSM netwerk dienen veel beslissingen te worden genomen. Als leidraad voor het identificeren van deze beslissingen en problemen kunnen de onderdelen van GSM 'Mobiliteit Management' worden gebruikt. Onder mobiliteit management wordt de inrichting van een netwerk verstaan zodanig dat terminals binnen een netwerk optimaal gevonden kunnen worden voor call delivery en de procedure voor het behouden van verbindingen zodra terminals zich verplaatsen optimaal verloopt. Kortom, mobiliteit management zorgt ervoor dat het netwerk zo wordt ingericht dat terminals zich binnen het eigen of gast netwerk kunnen verplaatsen en tegelijkertijd verbindingen kunnen ontvangen, opzetten of behouden op een optimale manier. Optimaal kan in deze situatie veel betekenen: zo laag mogelijke kosten voor de provider, zo hoog mogelijke performance voor de gebruiker, zo veel mogelijk capaciteit op het netwerk of juist een mix van factoren. Voor elk probleem en provider is een andere mix van deze factoren relevant.

Mobiliteit management is onder te verdelen in location management en handoff management. Beide onderdelen zullen in dit hoofdstuk worden besproken. In de volgende paragraaf zal echter eerst worden besproken wat mobiliteit inhoudt en welke soorten mobiliteit er onderscheiden kunnen worden, vervolgens zullen de beide mobiliteits management onderdelen volgen.

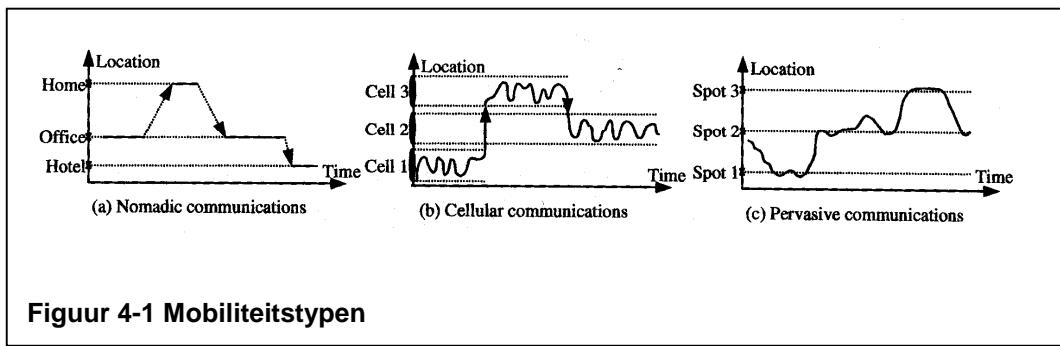
### 4.1 Mobiliteit

De mobiliteit van de terminals speelt een zeer grote rol bij het ontwerp en inrichting van een GSM netwerk. Voordat er dieper op mobiliteits management wordt ingegaan zal eerst worden besproken wat mobiliteit in een GSM netwerk inhoudt.

Het komt vaak voor dat een mobiele beller zich tijdens zijn verbinding verplaatst, bijvoorbeeld als de gebruiker in een auto of trein zit. Tijdens deze verplaatsing kan het voorkomen dat een gebruiker buiten het bereik van het basisstation komt waarbij de terminal is aangemeld en de terminal zal moeten worden overgenomen door een ander basisstation waarbij ontvangst wel haalbaar is. Bij deze omschakeling van basisstation mag de verbinding natuurlijk niet verloren gaan.

#### 4.1.1 Mobiliteitstypen

Om duidelijk te maken met wat voor type mobiliteit we te maken hebben bij een GSM netwerk wordt er onderscheid gemaakt tussen drie basisvormen van communicatie en bijbehorende mobiliteit, zoals weergegeven in onderstaand figuur. Het onderscheid van mobiliteit wordt hierbij gemaakt op de manier waarop de terminal zich ruimtelijk verplaatst binnen een netwerk en daarbij zijn verbinding opzet met het netwerk.



#### Nomadische communicatie

Het kenmerk van een nomadische communicatievorm is dat er geen verbinding is tijdens verplaatsing. Er is enkel verbinding op een vaste locatie. Bij verplaatsing, van de ene locatie naar een andere locatie, zal pas op de nieuwe locatie een nieuwe verbinding tot stand worden gebracht. Zie Figuur 4-1 (a) voor een voorbeeld. Een gebruiker bevindt zich eerst thuis en heeft daar verbinding via bijvoorbeeld zijn thuistelefoon. Vervolgens reist deze naar zijn werk en heeft daar verbinding via het bedrijfsnetwerk wat in verbinding staat met het internet. Tot slot gaat de gebruiker naar een hotel waar deze verbinding heeft via het GSM netwerk (zie het voorbeeld in paragraaf 2.2.2).

#### Celgebaseerde communicatie

Bij celgebaseerde communicatie is een netwerk ingedeeld in een celstructuur. Als een gebruiker zich verplaatst tussen enkele cellen wordt de verbinding niet verbroken, maar overgedragen naar de andere cel. Zie Figuur 4-1 (b) voor een voorbeeld. Een gebruiker bevindt zich in cel 1 en start een verbinding. De gebruiker wandelt rond in het celgebied en verplaatst zich van cel 1 naar cel 3, loopt daar enige tijd rond en verplaatst zich tot slot naar cel 3.

#### Ad-Hoc communicatie

Bij Ad-Hoc communicatie is het mogelijk dat een gebruiker in verbinding staat met meerdere basisstations. Er zijn geen gebieden of cellen gedefinieerd, een terminal zal verbinding proberen te maken met alle basisstations die binnen zijn bereik vallen. Figuur 4-1 (c) geeft een voorbeeld van het verloop van de communicatie binnen een Ad-Hoc netwerk. De gebruiker bevindt zich in de buurt van locatie 2 en laat zijn terminal verbinding maken met alle locaties.

Vervolgens wandelt de gebruiker door een gebied en zal daarbij in de buurt van locatie 1 en 3 komen. De gebruiker heeft in de meeste gevallen de hoogste verbindingssnelheid met de dichtstbijzijnde locatie en het minst met de locatie die verder ligt. In deze situatie is er geen voor gedefinieerd netwerk en wordt het netwerk "on-the-fly" opgezet.

Bij een GSM netwerk is er sprake van celgebaseerde communicatie. Door de trend naar een "Always Best Connected" netwerk (zie 2.2.2), waarbij integratie van verschillende soorten netwerken plaatsvindt, zal de communicatie via de terminals veel vaker gebruik maken van een mix van bovenstaande mobiliteitstypen en zal daardoor steeds minder te typeren zijn als pure celgebaseerde communicatie. Bij de netwerkintegratie zal de terminal zowel binnen een type netwerk roamen (horizontale roaming) als tussen verschillende soorten netwerken (verticale roaming). Mobiliteit kan daarom ook worden onderverdeeld op de gradatie van roaming.

- Mega-mobiliteit: roaming vindt plaats tussen verschillende soorten netwerk technologieën (verticale roaming)
- Macro-mobiliteit: roaming tussen verschillende providers, maar binnen hetzelfde soort netwerk (horizontale roaming)
- Micro-mobiliteit: roaming tussen verschillende Location Areas van hetzelfde netwerk en dezelfde provider
- Mini-mobiliteit: roaming tussen verschillende access points (basisstations) binnen een Location Area van dezelfde provider en hetzelfde soort netwerk
- Pico-mobiliteit: roaming tussen verschillende access points (basisstations) binnen het bereik van een-en-hetzelfde access point, dezelfde provider en soort netwerk
- Nano-mobiliteit: geen roaming, maar connectiviteit met een-en-hetzelfde basisstation  
(Let op: nano-mobiliteit geeft geen indicatie over het bereik van het basisstation. Nano-mobiliteit kan plaatsvinden bij bijvoorbeeld satelliet, maar ook bij WiFi.)

De verschillende gradaties van mobiliteit hebben invloed op de invulling van de mobiliteit management voor het netwerk.

#### **4.1.2 Cel eigenschappen**

Een belangrijk aspect bij mobiliteit in een netwerk zijn de eigenschappen van de cellen waaruit een netwerk bestaat. Celgebaseerde communicatie is onder te verdelen in vijf verschillende soorten, waarbij onderscheid wordt gemaakt in de grootte van de cellen, en daarmee het maximale bereik. In onderstaande tabel zijn verschillende type cellen omschreven, met het maximale haalbare bereik, de maximale snelheid van de terminal waarbij verbinding nog mogelijk is en de meest gebruikte techniek.

Cel type	Max. bereik	Max. snelheid	Communicatie techniek
Mega cel	+/- 1.000km	>200km/u vliegtuig	Satelliet
Macro cel	1-10km	20-200km/u auto/trein	2 <sup>e</sup> ,3 <sup>e</sup> generatie GSM
Micro cel	100m-1km	10-50km/u auto	WiFi
Pico cel	10m-100m	10km/u lopen	WiFi, Bluetooth
Nano cel	1m-10m	< 1km/u stilstaan	Bluetooth, Infrarood

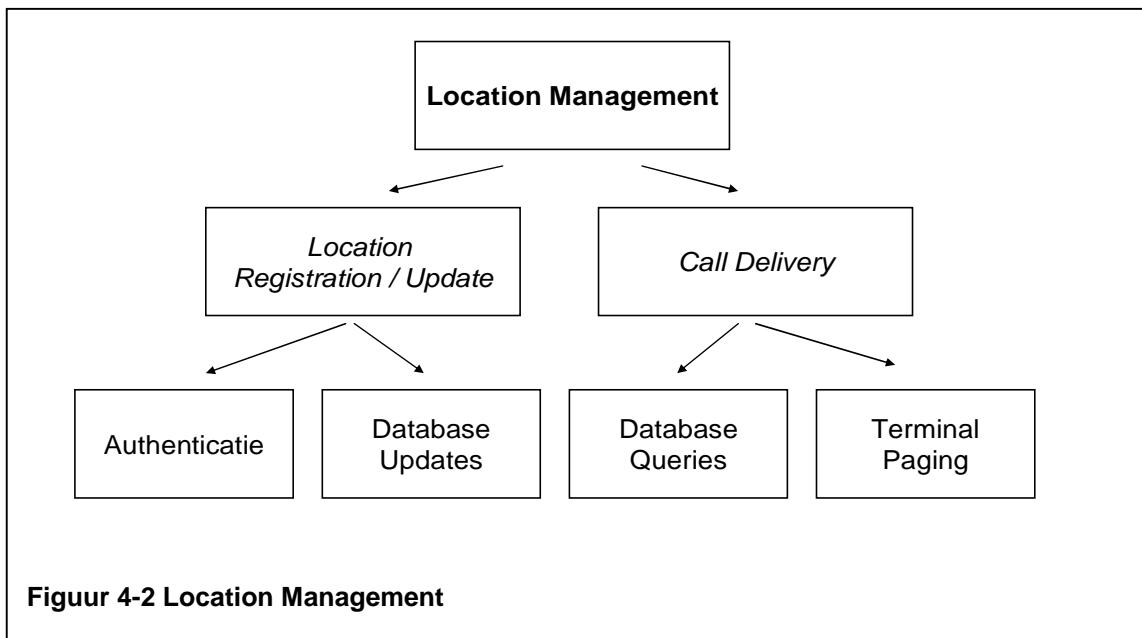
Tabel 4-1 Cel Eigenschappen

GSM cellen behoren meestal tot Macrocellen. De basisstations kunnen een bereik hebben van maximaal 1 tot 10 km afhankelijk van omgevingsfactoren, zoals bebouwing. In bebouwde gebieden worden cellen kleiner gemaakt en dus meer basisstations geplaatst omdat het bereik van zendmasten in bebouwde omgeving veel slechter is. Tevens is de ontvangst in bebouwing slecht als de terminal zich aan de randen van een cel bevindt. Een standaard (niet UMTS) basisstation kan tussen de 99 en 135 verbindingen opzetten. Hierbij moet worden opgemerkt dat een basisstation meestal is opgedeeld in 3 delen die elk 120 graden (van de 360) afhandelen. In een dergelijk gebied van 120 graden kunnen maximaal tussen de 33 en 35 verbindingen worden opgezet. In drukbebouwde gebieden wordt, om de bovenstaande redenen, vaak een celgrootte aangehouden van maximaal 500 meter en zijn er dus effectief meer cellen op eenzelfde gebiedsgrootte dan buiten druk bebouwde gebieden. Kortom, celverkleining heeft twee voordelen. Ten eerste zal de kwaliteit van de verbindingen toenemen (bereik in bebouwing), ten tweede wordt het basisstation minder belast doordat er in een kleinere cel minder terminals zullen bevinden.

Een mogelijkheid welke ook vaak wordt toegepast bij drukke cellen is het uitbreiden van de terminalcapaciteit zelf van het basisstation. Door plaatsing van extra antennes kunnen er meer verbindingen worden opgezet door het basisstation. Deze mogelijkheid is echter beperkt omdat er een limiet zit aan het aantal etherfrequenties dat door een basisstation gebruikt kan worden. Het etherfrequentiespectrum toegewezen voor GSM is immers eindig. Daarnaast is er bij kleine cellen een grote kans dat de gebruikte frequenties door een basisstation gaan interfereren met de basisstations van naburige cellen.

## 4.2 Location Management

Location management, een van de twee onderdelen van mobiliteit management, is het proces dat zich bezighoudt met de GSM procedures location registration, location updates en call delivery. De werking van deze drie procedures zijn eerder in hoofdstuk 3 besproken. Onderstaand figuur geeft een overzicht van alle bij Location Management bijbehorende taken.



#### 4.2.1 Location Registration en Update

Bij location registration en location updates spelen de voornamelijk de taken authenticatie en database updates een belangrijke rol.

##### Authenticatie

Door middel van een authenticatieprocedure wordt de identiteit van de terminal, die zijn locatie in het netwerk registreert of update geregistreerd en gevalideerd. Door deze validatie kan worden bepaald of de terminal toegang tot het netwerk wordt gegeven. De authenticatiecodes worden gevormd door de IMEI code van de terminal zelf, en de bij de SIM-kaart behorende IMSI code. Zie [Ersel99] voor meer informatie met betrekking tot authenticatie methoden bij GSM netwerken.

Het belangrijkste vraagstuk met betrekking tot deze authenticatie stappen is de invulling van de beveiliging van de authenticatie. Hoe kan de authenticatie van de terminal worden beveiligd, zodanig dat de te valideren codes veilig over het GSM netwerk verzonden kunnen worden van het basisstation naar de Location Database en de identiteit van de terminal kan worden verzekerd? Deze beveiliging en identiteitbepaling is cruciaal aangezien de beschreven codes, naast het verlenen van toegang tot het netwerk, ook gebruikt worden voor de facturatie van de verbindingenkosten van de terminal door de GSM provider.

##### Database Updates

Zodra er een location registration of location update wordt uitgevoerd door de terminal zal de nieuwe LA moeten worden opgeslagen in de database van de VLR. In het geval dat de

terminal zich niet in zijn thuisnetwerk bevindt zal tevens de locatie van deze VLR in de HLR van de provider van de “roamende” terminal worden opgeslagen.

Hoe kunnen deze database updates het best worden uitgevoerd? Bij het uitvoeren van deze database updates spelen twee randvoorwaarden. Ten eerste krijgt de locatie database zeer veel database updates te verwerken. Elke keer als een terminal wordt aangezet of zich binnen het netwerk verplaatst dient er immers een database update te worden gemaakt. Deze database dient zo te worden ingericht dat deze vele duizenden database updates kan verwerken in een zeer kort tijdsbestek. De tweede samenhangende randvoorwaarde is de responsetijd van de database. Een location registration of update, en daarmee de beschikbaarheid van de terminal voor gebruik, is pas voltooid zodra de terminal response heeft gehad van het succesvol voltooien van de database update. De tijd tussen het verzoek van de update en de response dient daarom zo kort mogelijk te zijn. Deze voorwaarde speelt des te meer bij roaming terminals, aangezien daar bij een location registration ook nog een database update plaats moet vinden in de HLR van de eigen provider.

Een tweede probleem is de eventuele prioriteit die gegeven kan worden aan verschillende soorten database updates. Zo kan het bijvoorbeeld gunstiger zijn om prioriteit te geven aan een location update boven location registration. Voor een aanmeldende terminal accepteren gebruikers een langere registration wachttijd, dan voor een terminal die al in gebruik is bij het netwerk.

Tot slot is een ander belangrijk vraagstuk wanneer een location registration update van de terminal en daarmee een database update plaats moet vinden. Geeft een terminal vaak zijn locatie door dan is terminal paging eenvoudiger, omdat het netwerk informatie heeft over de precieze locatie waar de terminal zich bevindt. Een terminal paging kan hierdoor gelijk aan het juiste basisstation worden doorgegeven. Het nadeel van het vaak doorgeven van de terminal locatie is het netwerkverkeer en capaciteitsbeslag op de basisstations wat deze update met zich meebrengt. Tegenovergesteld kunnen de location registration updates ook juist worden beperkt, zodat deze updates geen groot beslag leggen op de capaciteit maar er een grotere kans is dat het juiste basisstation niet overeenkomt met de in de location database opgeslagen locatie. Bij location registration updates moet er daarom een trade-off worden gemaakt tussen enerzijds veel updates en een eenvoudige terminal paging en weinig updates en een grotere terminal paging. In het volgende hoofdstuk zullen verschillende location registration methoden worden besproken.

#### **4.2.2 Call Delivery**

Het Call Delivery proces is hoofdzakelijk onder te verdelen in een Database Query en een Terminal Paging taak.

##### **Database Queries**

Tijdens de eerder beschreven Call Delivery procedure worden er zeer veel database queries uitgevoerd. Antwoorden op deze queries zijn weer nodig voor opvolgende queries. Hoe kunnen de verschillende databases in het GSM netwerk zo worden ingericht dat deze

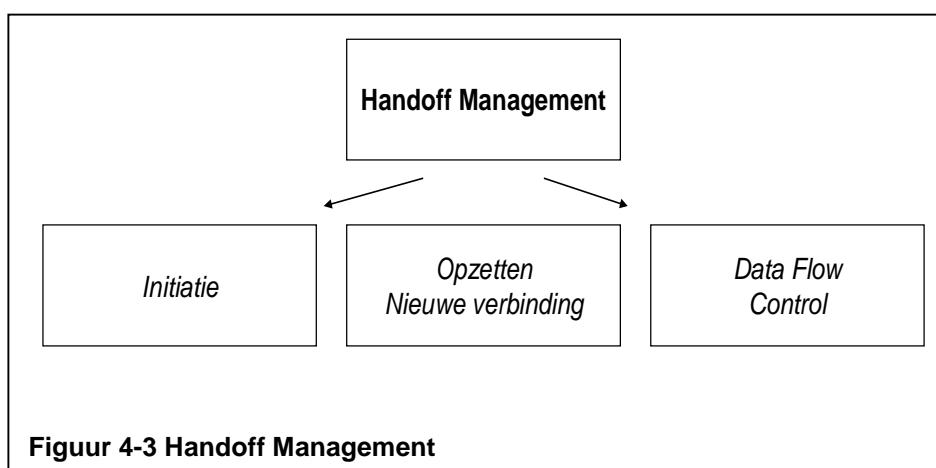
database schaalbaar is en de queries snel verwerkt kunnen worden? Hierbij kan bijvoorbeeld een afweging worden gemaakt tussen een gecentraliseerde of gedecentraliseerde database architectuur.

### Terminal Paging

Zoals eerder beschreven wordt de exacte locatie van de terminal niet opgeslagen, maar enkel de LA waar de terminal zich in bevindt. De locatie van de terminal wordt bepaald door de terminal op te roepen (paging). Deze oproep wordt door de basisstations door de gehele LA verzonden. Hoe dient de grootte en de vorm van deze LA's te worden gekozen? Deze vraag staat direct in relatie met de wijze hoe location registration updates moeten worden uitgevoerd. Bij de keuze voor een grote LA zullen er weinig location registration updates plaatsvinden, maar zullen er juist meer basisstations en een groter gebied worden betrokken bij een call delivery en daardoor veel terminals worden gepaged. Andersom zorgt een kleinere LA voor een exactere locatie bepaling van de terminal en hoeft er een kleiner gebied te worden gepaged, daarentegen zullen er meer location updates moeten plaatsvinden. Het ontwerp van de LA's is daardoor een afweging. In het volgende hoofdstuk zullen verschillende paging methoden worden besproken.

### 4.3 Handoff management

Handoff management is het proces dat zich bezighoudt met alle taken van de uitvoering van de handover procedure binnen het GSM netwerk. De werking van deze GSM procedure is eerder in 3.3 besproken. Figuur 4-3 geeft een overzicht van de verschillende onderdelen van de handover procedures waarbij inrichtingsbeslissingen genomen moeten worden en optimalisatievragen spelen.



#### Initiatie

Het eerste onderdeel van Handoff Management is de Initiatie van de handover. Zie paragraaf 3.3 voor precieze details van deze initiatie. Een belangrijke optimalisatiebeslissing hierbij is de keuze van het algoritme waarmee de initiatie tot stand wordt gebracht. Daarnaast speelt de

vraag of deze initiatie uiteindelijk door de terminal, door de basisstations of door een combinatie van beiden wordt geïnitieerd? Hoe vindt de afweging plaats om intracell en/of intercell handovers te initiëren?

### **Opzetten nieuwe verbinding**

Zodra de initiatie is uitgevoerd dient de nieuwe verbinding opgezet te worden. Naar welke cel dient deze nieuwe verbinding te worden opgezet? Welke frequenties kunnen hierbij het best worden gebruikt? Wat is de beste routering in het GSM systeem naar het basisstation van deze nieuwe cel? Worden netwerk capaciteitsbelastende soft handovers, of juist minder belastende hard handovers toegepast?

### **Data Flow Control**

Als de nieuwe verbinding is opgezet wordt de oude verbinding overgezet naar deze nieuwe verbinding. Bij deze overschakeling moet de datastream van de nieuwe verbinding worden gebufferd, zodat bij de omschakeling de verbindingskwaliteit gehandhaafd kan blijven en de gebruiker niets van deze omschakeling merkt. Hoe kan de verbinding het best worden gebufferd en hoe groot dienen de buffers te zijn zodat de afgesproken kwaliteit gehandhaafd blijft?

## 5 Mobiliteit Management oplossingen

Zoals in het vorige hoofdstuk is besproken spelen de GSM procedures Location Updates en Terminal Paging een grote rol binnen mobiliteit management van GSM netwerken. Beide procedures leggen beslag op de capaciteit van het netwerk, die anders gebruikt kan worden voor de verbindingen met terminals. Het streven is daarom om het beslag van deze procedures te minimaliseren. Zoals eerder besproken is er hierbij sprake van een trade-off. Verlaging van terminal paging netwerkverkeer zal er over het algemeen voor zorgen dat er meer cellen gepaged moeten worden, en het verkleinen van het aantal cellen dat gepaged gaat worden zal er juist vaak voor zorgen dat er vaker location updates moeten plaatsvinden.

In dit hoofdstuk zullen de meest gebruikte location update en paging methoden worden besproken en de veranderingen die hebben plaatsgevonden om het netwerkcapaciteitsbeslag van de genoemde methoden te verlagen. Als eerste zullen location update methoden worden besproken, vervolgens de meest bekende paging methoden. Tot slot zal een voorbeeld van een optimaliseringmethode worden besproken waarmee het aantal location updates kan worden geoptimaliseerd. De vermeldingen in de bronvermelding geven een overzicht van de hier beschreven methoden.

### 5.1 Location Updates

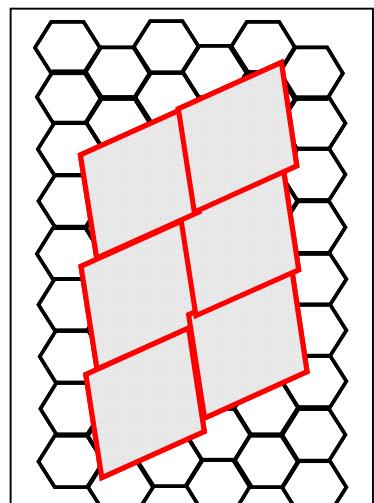
Bij de location update methoden kan er kan onderscheid worden gemaakt tussen statische en dynamische location update procedures. Beide soorten methodes zullen in deze paragraaf worden besproken.

#### 5.1.1 Statische LA

Bij een statische procedure zijn de grootte en precieze vormen van alle LA's vooraf bepaald en vastgesteld. Voor alle terminals gelden dezelfde LA's. In het Home Location Register wordt voor elke terminal hierbij enkel de huidige LA opgeslagen en zal bij een verbindingsverzoek de precieze cel waarin de terminal zich bevindt gevonden moeten worden.

##### Zone-based

Bij zone-based location updates worden alle cellen toegewezen aan een LA. Een location update vindt daarbij plaats zodra een terminal verbinding moet maken met een basisstation van een andere LA dan de huidige. Kortom, de grenzen van de LA bepalen wanneer een location update plaats moet vinden. Bij paging worden de cellen binnen de LA

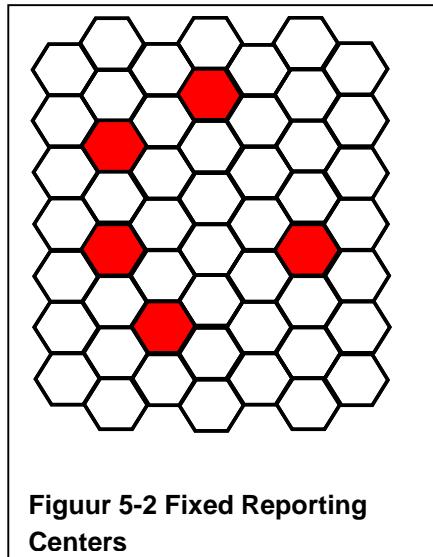


Figuur 5-1 Zone-base LA

gebruikt. Een groot nadeel van vooraf vastgestelde LA's is zeer grote aantal location updates wat plaatsvindt als een terminal zich op de grens van twee LA's bevindt (het zogenaamde pingpong effect). Het grote voordeel is de zeer simpele werking van deze methode. Er zijn tegenwoordig veel uiteenlopende methoden beschikbaar (Markov Chains, simulated annealing, LP, genetische algoritmen, heuristieken en dergelijke), rekening houdend met de mobiliteit van de terminals, om de LA's en alle cellen zodanig te selecteren dat er een juiste afweging tussen paging en terminal update verkeer gemaakt kan worden. Een van deze methodes is de traffic based static location area design methode om de vorm van de LA's voor een vaste LA grootte te bepalen.

### Fixed Reporting Center-based

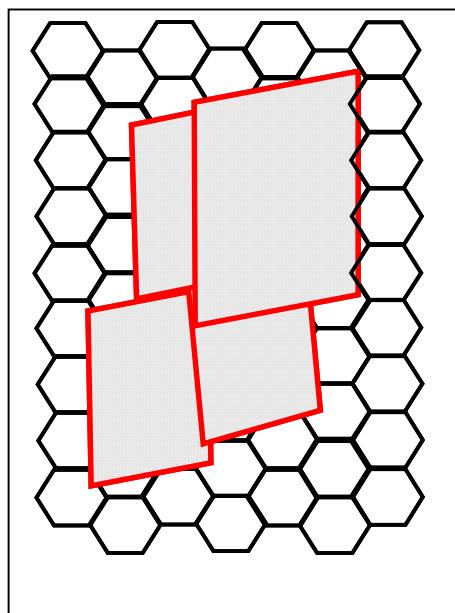
Bij deze location update methode worden geen zones gedefinieerd, maar worden er daarentegen juist cellen benoemd waarbij de location updates plaatsvinden. Zodra een terminal in een cel komt die is toegewezen als reporting center, zal de location update plaatsvinden. In theorie is het hierbij mogelijk dat een terminal een route alegt waarbij deze geen reporting center tegenkomt en de locatie daaroor niet wordt bijgewerkt. Bij paging worden de cellen rondom het paging center gebruikt als LA. Wordt de terminal niet gevonden dan wordt het paginggebied uitgebreid. Het is bij deze methode van groot belang op de juiste reporting center cellen te selecteren, bijvoorkeur cellen waarvan er een grote waarschijnlijkheid is dat een terminal zich daar doorheen gaat verplaatsen (denk aan snelweg knooppunten en stations).



Figuur 5-2 Fixed Reporting Centers

### Dynamic Overlapping-based

Bij een "overlapping LA" is het mogelijk dat een aantal cellen aan de rand van de LA overlappen met een naburige LA. Het is daardoor mogelijk dat er cellen zijn die tot meerdere LA's behoren. Door het laten overlappen van LA's kan het aantal cellen en daarmee het bereik van een LA worden, zodat het aantal handoffs wordt verkleind, terwijl het aantal terminals wat wordt bediend door een LA hetzelfde blijft als in de niet overlappende situatie zodat de pagingkosten niet toenemen. Na een vastgestelde tijdsperiode worden de LA's met overlap opnieuw ingedeeld rekening houdend



Figuur 5-3 Dynamic Overlapping

met de mobiliteit van de terminals door de handovers tussen alle naburige cellen bij te houden.

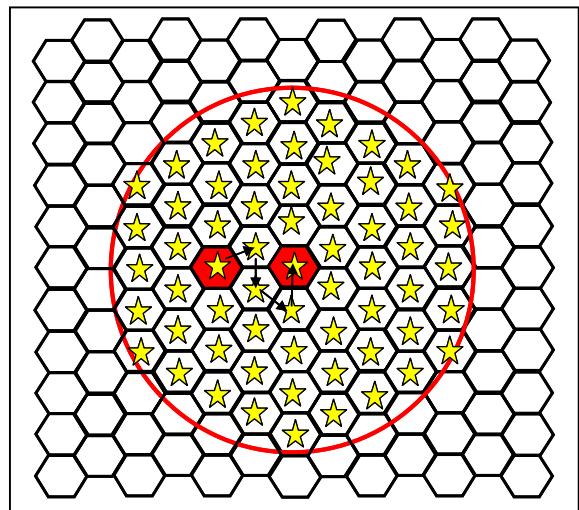
Overlapping geeft voornamelijk voordelen als de mobiliteit van de terminals een 1-of-2 dimensionale random walk beschrijft. Zodra de mobiliteit een duidelijke richting heeft, bijvoorbeeld bij een snelweg, biedt deze methode geen voordelen

### 5.1.2 Dynamische LA

Dynamische location update algoritmen proberen de problemen van de statische location update algoritmen te verminderen door het location update moment per terminal aan te passen. Elke terminal heeft daardoor vaak een eigen LA waarbij rekening gehouden kan worden met veranderingen in de mobiliteit en het verbindingsgedrag van de terminals.

#### Movement-based

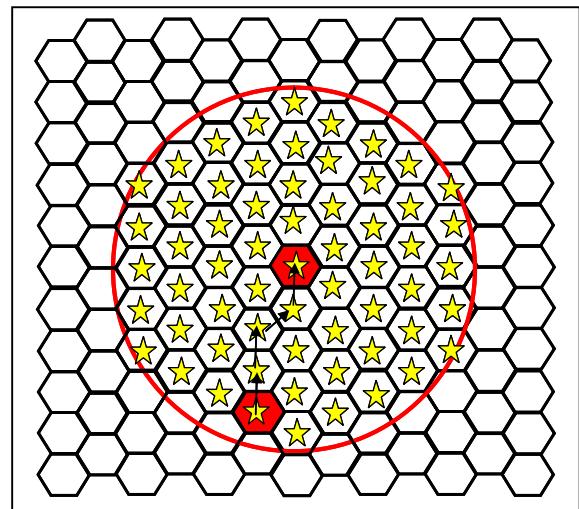
Het aantal cel verplaatsingen van een terminal wordt bijgehouden. Zodra een terminal  $d$  verplaatsingen heeft gemaakt wordt de location update uitgevoerd en de huidige cel opgeslagen. Bij paging wordt er in het gebied bestaande uit alle cellen die op een afstand van  $d$  cellen van de laatst bekende cel liggen gepaged. De variabele  $d$  wordt de movementthreshold genoemd. In Figuur 5-4 is een voorbeeld te zien met  $d=4$ .



Figuur 5-4 Movement-based LA

#### Time-based

Bij time-based location update schema's vindt er elke  $t$  tijdseenheden een location update plaats. De grootte van het gebied dat bij eventuele paging moet worden gepaged wordt hierbij variabel opgebouwd. Er wordt begonnen met een kleine groep cellen rondom de laatst opgeslagen locatie. Bij geen succes wordt het paging gebied uitgebreid door elke keer een ring cellen rondom de eerst genoemd groep cellen te pagelen.



Figuur 5-5 Distance-based LA

### **Distance-based**

Bij distance-based location update wordt er per terminal één cel bijgehouden. Een location update (waarbij deze cel wordt aangepast) wordt uitgevoerd zodra de afstand, in termen van aantal cellen, tussen de huidige cel en de laatst opgeslagen cel groter of gelijk is aan een threshold d. In feite wordt de LA, en de cellen die gepaged zullen worden, hierbij dus gevormd door een groep cellen die met een afstand d rond de laatst opgeslagen cel liggen. In Figuur 5-5 is een voorbeeld weergegeven met d=4.

Bij een vergelijking tussen de relatief simpele Movement, Time, en Distance-based update procedures blijkt dat de Distance-based methode de meest efficiënte methode is in het minimaliseren van het Location Update netwerkverkeer bij gelijke kosten voor paging. Een probleem waar bovenstaande methoden geen rekening mee houden is dat de mobiliteit van een terminal meestal niet overeenkomt met een random-walk, aangezien terminals vaak worden gebruikt in de auto en het openbaarvervoer. De volgende methoden houden wel rekening met deze mobiliteit van de terminals.

### **Adaptive Distance-based**

De Adaptive Distance-based location update methode is een verbetering op de simpele Distance-based methode. In plaats van het gebruik van een vaste threshold waarde d die voor alle terminals wordt gebruikt, wordt er hierbij gebruikt gemaakt van een variabele threshold d. Deze variabele threshold is een functie gebaseerd op de huidige celpositie, de laatst opgeslagen bekende cel positie en de mobiliteit van de terminal rekeninghoudend met het tijdstip. De LA wordt hierdoor per terminal bepaald en ook hier wordt de LA, en de cellen die gepaged zullen worden, dus gevormd door een groep cellen die met een afstand gebaseerd op de threshold functie d rond de laatst opgeslagen cel liggen.

### **Predictive Distance-based**

De predictive distance methode lijkt in eerst instantie geheel op de adaptive distance method. Ook in deze methode wordt er een threshold gebruikt voor de afstand om de grenzen van de LA te bepalen. Bij adaptive distance wordt de afstand berekend tussen de laatst bekende opgeslagen cel en de huidige cel waarin de terminal zich bevindt. Bij de predictive distance methode wordt op basis van enkel de snelheid en de richting van de terminal in de laatste LA en de laatst bekende cellocatie een voorspelling gedaan in welke cel de terminal zich zal gaan bevinden na een vast aantal tijdseenheden. De terminal zal elke keer als het vaste aantal tijdseenheden is verstreken bepalen of er een locatie update moet worden uitgevoerd. De update wordt uitgevoerd als de terminal zich meer dan een bepaalde threshold afstand van de voorspelde cel bevindt. Deze celvoorspelling wordt hierbij ook gebruikt in combinatie met een bijbehorende intelligent pagingmethode (zie 5.2).

### **Adaptive PLA-based**

Bij deze methode staat de Personal Location Area (PLA) centraal. Deze methode maakt gebruik van de mobiliteit en call arrivalrate van elke individuele terminal, in plaats van geaggregeerde data van alle terminals. Zodra een terminal een nieuwe LA binnengaat wordt

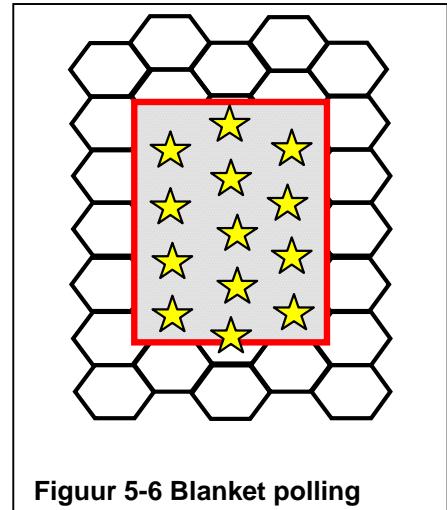
de grootte van deze LA aangepast aan de eigenschappen van de terminal. Heeft de terminal veel inkomende verbindingen dat zal de PLA klein gekozen worden, anders zal er voor de terminal teveel paging verkeer gegenereerd moeten worden. Is de terminal erg mobiel dan zal de PLA groot gekozen worden, anders zullen er teveel location updates plaats moeten vinden. Bij de keuze van de PLA moet daarom een afweging gemaakt tussen de mobiliteit en de call arrivalrate van de terminal voor de bepaling van de grootte van de PLA.

## 5.2 Paging

In de vorige paragraaf is besproken welke belangrijkste location update algoritmen er bestaan. De verschillende paging strategieën zijn onder te verdelen in drie hoofdmethoden die in deze paragraaf besproken zullen worden.

### Blanket polling

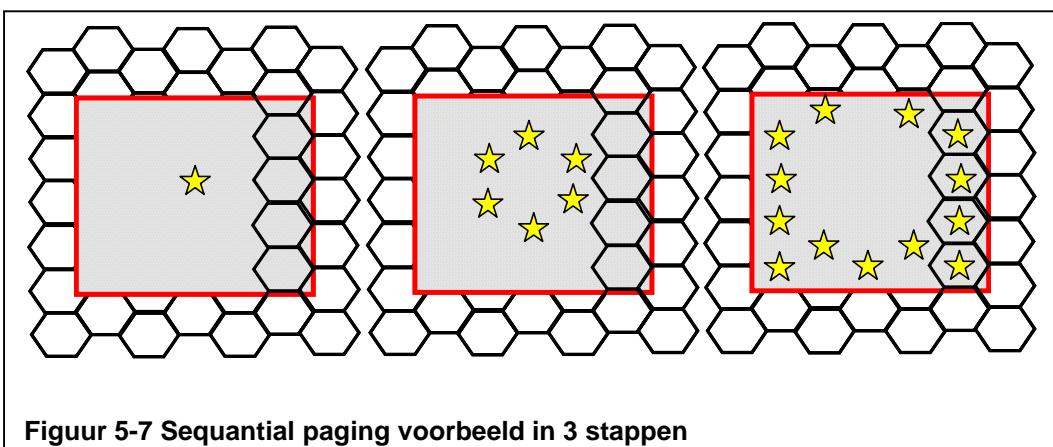
Bij blanket polling wordt er binnen alle cellen van een LA tegelijkertijd gepaged. Het grote voordeel is dat een terminal zeker direct gevonden wordt. Het grote nadeel daarentegen is dat deze methode een zeer grote belasting op het netwerk met zich meebrengt. Doordat deze methode zeer simpel is wordt deze methode desondanks het meest gebruikt.



Figuur 5-6 Blanket polling

### Sequential paging

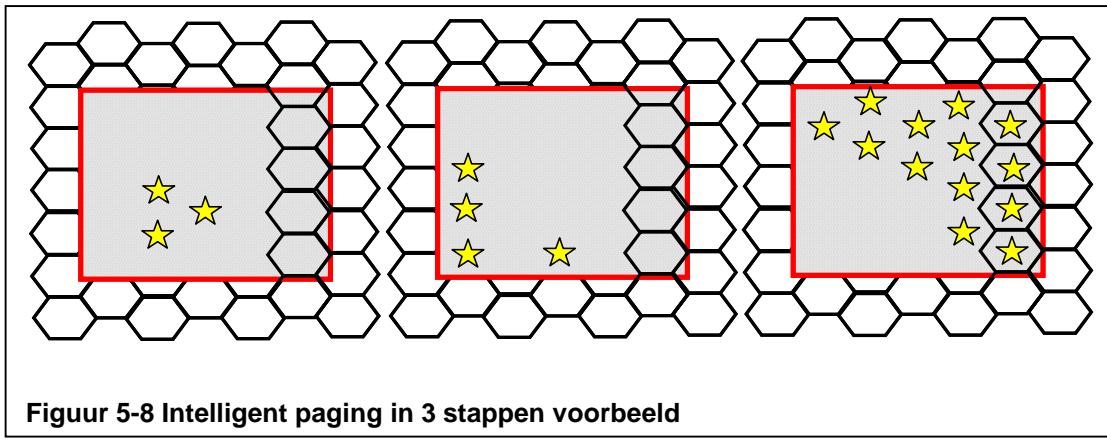
Om de grote belasting op het netwerk van blanket polling te verlagen en toch een simpele methode te behouden is de sequential paging methode geïntroduceerd. Hierbij wordt er met paginaan enkel in de middelste cel van de LA gestart. Vervolgens wordt er van binnen naar buiten toe elke keer een aantal cellen extra gepaged.



Figuur 5-7 Sequential paging voorbeeld in 3 stappen

### Intelligent / selective paging

Bij de intelligent paging methode wordt er geprobeerd om terminals binnen een LA op een zodanige manier te pagen dat het verwachte aantal cellen waarin gepaged dient te worden zo klein mogelijk is. Deze methode gebruikt in tegenstelling tot de voorgaande methoden

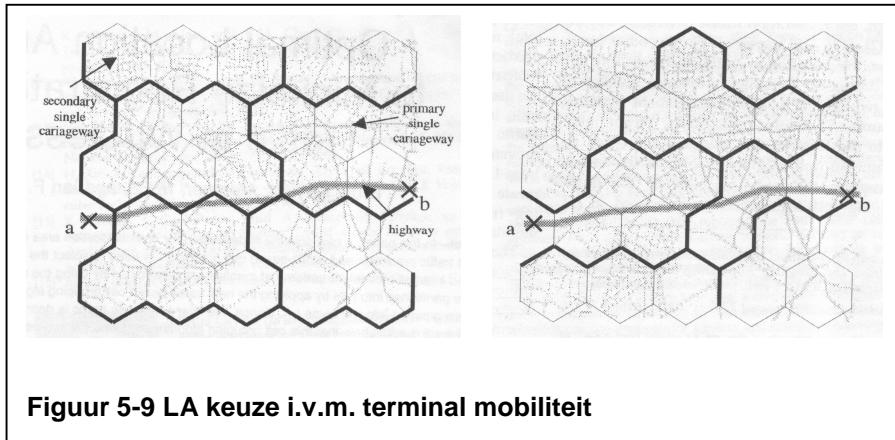


informatie van de terminals of de cellen om dit mogelijk te maken. Deze methode werkt door van alle cellen in de LA een aantal cellen te selecteren zodanig dat de kans dat een terminal zich in een van deze geselecteerde cellen bevindt te minste een bepaalde waarde. Deze cellen kunnen aan de hand van verschillende factoren worden bepaald, zoals het verwachte aantal terminals in een cel (denk aan ligging van sporen, wegen of winkelcentra binnen een cel) of een individuele terminal locatiehistorie. Wordt een terminal bij de eerste paging ronde niet gevonden, dan wordt de volgende groep cellen geselecteerd binnen de LA waarvan het de waarschijnlijkheid het hoogst is dat de terminal zich in een van die cellen bevindt. Het grote voordeel van intelligent paging is het aantal cellen van de LA's kan worden vergroot omdat paging via deze methode een kleinere belasting op het netwerk uitoefent. Door de vergroting van de LA's kan ook het aantal location updates afnemen. In Figuur 5-8 is een voorbeeld weergegeven waar in de eerste paging ronde 3 cellen zijn geselecteerd waarin de terminal zich met de grootste kans bevindt. Vervolgens is de terminal niet gevonden en worden de volgende cellen gepaged die vervolgens de grootste kans hebben dat de terminal zich daar in bevindt.

Wil deze methode werken dan moeten de cellen binnen een LA wel duidelijk andere waarden voor de door de methode gebruikte factoren hebben. Anders kan het onderscheidenvermogen tussen de cellen te klein worden waardoor er alsnog in zeer veel cellen tegelijkertijd gepaged moet worden. Intelligent paging wordt ook gebruikt in samenwerking met de Predictive Distance-based location update procedure.

### 5.3 LA celkeuze optimalisatie voorbeeld

Zoals in paragraaf 5.1 beschreven is de meest eenvoudige, en daardoor ook de meest



gebruikte, location update methode de zone-based methode waarbij de LA's vooraf worden bepaald. In deze paragraaf zal een voorbeeld worden gegeven van een onderzoek naar een zeer eenvoudig maar doeltreffend algoritme [Cayirci'03] om de cellen geoptimaliseerd toe te wijzen aan LA's, waarbij een afweging gemaakt wordt tussen paging en location update verkeer.

#### Terminal verkeer

Centraal in deze methode staat het verwachte aantal terminal bewegingen tussen twee cellen. Cellen waartussen veel terminal bewegingen plaatsvinden, dienen bij voorkeur tot dezelfde LA te behoren. Onnodige location updates worden hierdoor voorkomen. In Figuur 5-9 wordt dit verduidelijkt. In het figuur is de geografische data, zoals wegen, afgebeeld samen met de cellen en de LA's. In Figuur 5-9 Links is te zien dat een belangrijke snelweg dwars door verschillende LA's loopt. Hierdoor zijn er zeer veel location updates nodig. In Figuur 5-9 Rechts is hetzelfde gebied met cellen te zien, enkel zijn nu de LA's zo ingedeeld dat de snelweg binnen de LA's valt en er hierdoor minder location updates nodig zijn.

Doormiddel van het gebruik van de locatie en verloop van wegen en sporen kunnen de verwachte bewegingen van terminals worden benaderd. Het verloop van wegen en spoorverbindingen zal uit geografische data kunnen worden bepaald. Er zit verschil tussen soorten wegen; Van een snelweg zullen meer mensen gebruik maken dan van een B-weg, en daardoor zal ook het aantal te verwachte terminals op de snelweg hoger zijn dan op de B-weg. Hetzelfde geldt voor snelwegen in drukke provincies of juist in minder drukke provincies. Door gebruik te maken van een verkeersdichtheidsfactor (zie Figuur 5-10) kan dit verschil in wegen en regio's worden opgevangen terwijl enkel de grafische data nodig is.

Type \ Surface	Surface	Loose Surface	All Weather	Asphalt	Concrete
Footpath	-	0.016	-	-	-
Sea Route	-	0.2	-	-	-
Railroad	-	5	-	-	-
Single Carriageway	0.033	0.2	6	6	
Dual Carriageway	5	20	20	20	
Highway	5	30	30	30	

**Figuur 5-10 Verkeersdichtheidfactor**

Definieer het verwachte terminal verkeer tussen de cellen  $i$  en  $j$  van LA  $k$  als:

$$t_{kij} = \sum_{z=1}^{r_{kij}} d_{kijz} \quad (1)$$

Hierbij is  $r_{kij}$  het aantal wegen of spoorverbindingen tussen cel  $i$  en  $j$  in LA  $k$ , en  $d_{kijz}$  de verkeersdichtheid. De verkeersdichtheid wordt gegeven door:

$$d_{kijz} = m_{kijz} \cdot s_{kijz} \quad (2)$$

Hierbij is  $m_{kijz}$  de verkeersdichtheidsfactor en  $s_{kijz}$  het aantal rijbanen of sporen van verbinding  $z$ .

### LP Probleem

Het optimalisatieprobleem kan nu worden opgelost door het verwachte aantal terminal bewegingen binnen een LA te maximaliseren voor alle LA's. Het verwachte aantal terminal bewegingen kan worden geformuleerd door:

$$\varphi_t = \sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^{\eta_k} \sum_{j \in S_k} t_{kij} \quad (3)$$

Hierbij is  $S_k$  de verzameling cellen behorende bij LA  $k$ ,  $\eta_k$  het aantal cellen van LA  $k$  en  $l$  het totale aantal LA's.

Als er een limiet ( $\eta_{\max}$ ) wordt gesteld op het maximale aantal cellen wat tot een LA mag gaan behoren om de pagingkosten te beperken, dan kan dit optimaliseringprobleem worden geformuleerd als het volgende mathematische programmeringprobleem:

$$\max_{1 \leq \eta_k \leq \eta_{\max} \quad k = 1, \dots, l} \varphi_t \quad (4)$$

### Benaderingsalgoritme

Aangezien het bovenstaande probleem in sommige situaties moeilijk oplosbaar kan zijn is er een onderstaand benaderingsalgoritme beschikbaar wat één voor één LA's genereert op basis van de cellen waartussen het hoogste intracel terminal verkeer plaatsvindt. Uit experimenten blijkt dit algoritme in de meeste situaties de optimale oplossing vindt en in het geval waar dit niet gebeurd hooguit rond de 10% slechter presteert.

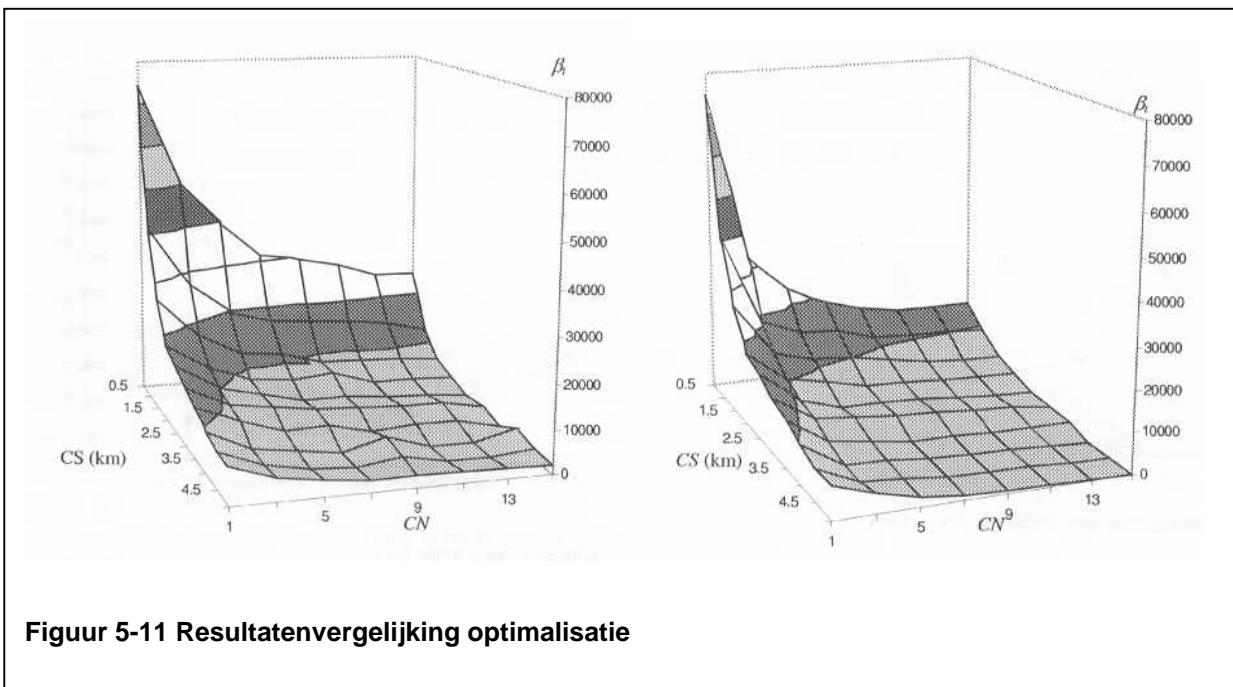
#### LA samenstelling algoritme

1. Maak voor elke cel een lijst met buurcellen en sorteert deze lijst van laag naar hoog op intracel terminal verkeer tussen de cel en aanliggende cel.
2. Maak een lijst L met alle cellen gesorteerd van hoog naar laag op het hoogste intracel terminal verkeer van elke cel met zijn buurcellen. Kortom de eerste cel van de lijst met buurcellen voor elke cel.
3. Maak een lijst met alle cellen, en label elke cel als "niet toegevoegd".
4. Laat  $i = 1$ .
5. Zolang er een cel is die "niet toegevoegd" is:
  - a. Maak een nieuwe LA i.
  - b. Voeg de hoogste cel uit lijst L toe aan LA i.
  - c. Label de toegevoegde cel als "toegevoegd".
  - d. Zolang er voor de toegevoegde cel nog cellen uit zijn lijst met buurcellen zijn die "niet toegevoegd" zijn en LA i de maximum LA grootte niet heeft bereikt:
    - i. Voeg de hoogste "niet toegevoegd" cel uit de lijsten van buurcellen van alle toe nu toe aan LA i toegevoegde cellen toe aan LA i.
    - ii. Label de toegevoegde cel als "toegevoegd".

## Resultaten

Bovenstaand algoritme is in het beschreven onderzoek uitgevoerd op verschillende datasets en blijkt LA's te genereren waardoor er sprake is van gemiddeld 27 tot 36 procent minder location registration update verkeer ten opzichte normale LA cel toewijzing waarbij alle cellen volgens een vast patroon aan LA's worden toegewezen.

In onderstaand figuur is een voorbeeld van de resultaten van dit algoritme te zien. Op de verticale as is het intra LA-terminal verkeer weergegeven, op de CN as het maximale aantal cellen per LA, en op de CS as de grootte van de cellen in kilometers. De onderzoekers hebben een dataset gebruikt van een middelgrote stad en LA's gegenereerd volgens een vast vierkant patroon (linker figuur) en vervolgens via het benaderingsalgoritme de LA's ingedeeld (rechter figuur). In het figuur is duidelijk te verminderen van het LA-terminal verkeer te zien door gebruik van het algoritme. Zodra de gemiddelde celgrootte groter is dan 2 km en het gemiddelde aantal cellen binnen een LA groter is dan 9 vermindert het algoritme het LA-terminal verkeer aanmerkelijk.



## 6 Conclusie en samenvatting

In hoofdstuk 2 hebben we gezien hoe het GSM netwerk is ontstaan en is onderzocht hoe mobiele telefonie zich heeft ontwikkeld in de laatste jaren. Bij deze ontwikkeling zijn duidelijke fasen te herkennen. Bovendien is beschreven welke ontwikkelingen er op de korte termijn te verwachten zijn. Mobiele telefonie blijkt zich voornamelijk in twee richtingen te ontwikkelen: internetintegratie en netwerkintegratie. Mobiele telefonie zal zich ontwikkelen naar een "Always Best Connected" netwerk.

De werking en indeling van de verschillende deelsystemen van een GSM netwerk is beschreven in hoofdstuk 3. De belangrijkste acties binnen een GSM netwerk zijn: Location Registration, Call Delivery en Hand-off Control. Location Registration is nodig om een beller (of terminal) in het netwerk op te kunnen nemen onafhankelijk van de plek waar de beller zich bevindt. Call Delivery is de methode waarbij op een efficiënte manier wordt geprobeerd een terminal binnen een netwerk te vinden. Hand-off Control zorgt ervoor dat een gesprek gevoerd kan blijven als een terminal zich verplaatst. Al deze acties zijn nodig om de mobiliteit van een mobiele "beller" binnen het netwerk op te kunnen vangen.

Mobiliteit Management, besproken in hoofdstuk 4, houdt zich bezig met alle facetten van de inrichting van een GSM netwerk waarbij rekening gehouden moet worden met de mobiliteit van de beller. Door gebruik te maken van de mobiliteit management onderdelen location management en hand-off management kan worden ingezien welke facetten hierbij belangrijk zijn. Er blijken verschillende soorten mobiliteit te kunnen worden onderscheiden. Mobiliteit zorgt binnen een GSM netwerk voor een trade-off tussen enerzijds het optimaliseren van het zo snel mogelijk vinden van de mobieltjes in het netwerk en anderzijds de belasting op het netwerk doordat mobieltjes elke keer moeten doorgeven waar zij zich bevinden.

In hoofdstuk 5 is tot slot een overzicht gegeven van de verschillende methoden om bovenstaande trade-off tussen handover verkeer en location registration verkeer te kunnen maken bij de inrichting van het GSM netwerk. Er is tevens een voorbeeld gegeven van een eenvoudige methode, waarbij gebruik wordt gemaakt van gegeven infrastructuur (wegen en sporen), om de mobiliteit van de mobiele bellers in te schatten en daarmee het netwerk zodanig in te richten dat het location registration verkeer kan worden beperkt.



## Bronvermelding

- Abutaleb, A., 1997, *Location update optimization in personal communication systems*, Wireless Networks 3, Baltazar A.G.
- Akyildiz, I., 1999, *Mobility Management in Next-Generation Wireless Systems*, Proceedings of the IEEE, Vol. 87, No. 8.
- Bullee, A., 2006, *GSM heeft langste tijd gehad*, Telecommagazine 1.
- Cayirci, E., 2003, *Optimal Location Area Design to Minimize Registration Signaling Traffic In Wireless Systems*, IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 2, No. 1, IEEE Computer Society.
- Eersel, C. van, 1999, *GSM Beveiliging*, <http://infolab.uvt.nl/~remijn/telematica/scripties98/groep17/script1.html>
- Gondim, P., 1996, *Genetic Algorithms and the Location Area Partitioning Problem in Cellular Networks*, Rio de Janeiro.
- Li, J., 2000, *Optimal Dynamic Mobility Management for PCS Networks*, ACM Transactions on networking, Vol. 8, No. 3, IEEE Computer Society.
- Liang, B., 1999, *Predictive Distance-Based Mobility Management for PCS Networks*, IEEE Infocom '99, New York.
- Lyberopoulos, G., 1995, *Intelligent Paging Strategies for Third Generation Mobile Telecommunication Systems*, IEEE Transactions on Vehicular Technology.
- Park, K., 2002, *User Defined Location Area for Registration and Paging*, ICOIN 2002, Springer-Verlag, Berlin.
- Scourias, J., 1996, *Overview of GSM: The Global System for Mobile Communications*, University of Waterloo, Waterloo.
- Sun, J., 2002, *Mobility and Mobility Management: A conceptual framework*, ICON 2002.
- Versamopoulos, G., 1999, *On Dynamically Adapting Registration Areas to User Mobility Patterns in PCS Networks*, ICPP '99, IEEE Computer Society, Washington DC.
- Vidyarthi, G., 2005, *Combinatorial Evolutionary Methods in Wireless Mobile Computing*, Kluwer Academic Publishers.
- Wang, T., 1998, *Registration area planning for PCS networks using Genetic Algorithms*, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 47, No. 3.
- Walke, H., 2001, *On the Importance of WLANs for 3G Cellular Radio to become a success*, *Mobile Radio Networks*, Networking Protocols and Traffic Performance, 2nd edition, Wiley & Sons, Chichester.