



Floating car data voor DVM toepassingen

Dr.ir. N.J. van der Zijpp

DVM 2
Bijdrage aan de syllabus van de PAO cursus:

Dynamisch Verkeersmanagement
Delft
22-23 november 2005

Modelit
Elisabethdreef 5
4101 kn Culemborg
the Netherlands

info@modelit.nl
www.modelit.nl

Inhoud

1	Inleiding.....	1
2	Verkeerskundige eisen aan het inwinsysteem.....	1
2.1	Algemene doelen.....	1
2.2	Toepassingsgebieden van DVM.....	1
2.3	Karakteristieken van Floating Car Data.....	2
2.4	Voorbeeldcase.....	3
3	Technieken voor plaatsbepaling: een overzicht.....	4
3.1	Terminal Based plaatsbepalingstechnieken.....	4
3.2	Network Based plaatsbepalingstechnieken.....	6
3.3	Overzichtstabel.....	12
4	Introductiescenarios en kostenbatenstudies.....	13
5	Verkeerskundige Interpretatie van Floating Car Data.....	13
5.1	Measurement Reports.....	13
5.2	Map match algoritme.....	14
5.3	Reistijd schatter (schakelniveau).....	18
5.4	Reistijd schatter (HB-niveau).....	19
5.5	Intensiteitschatter.....	19
5.6	HB-schatter.....	20
6	Haalbaarheidsstudie: Case Rotterdam.....	20
6.1	Achtergrond.....	20
6.2	Het mapmatch proces.....	21
6.3	De geschatte reistijden op schakel niveau.....	23
6.4	De geschatte reistijden op route niveau.....	26
6.5	De geschatte intensiteiten.....	27
7	Slotopmerkingen.....	28
8	Bijlage: projecten op het gebied van Floating car data in Nederland.....	29

1 Inleiding

Floating Car Data (FCD) staat voor een waarnemingstechniek waarbij individuele voertuigen op hun reis gevolgd worden. Dit in tegenstelling tot road-side-based data collection, waarbij waarnemingsapparatuur op een vast punt langs de weg is opgesteld. Het inwinnen van verkeersinformatie door gebruik te maken van plaatsbepalinggegevens die ontleent zijn vormen van directe plaatsbepaling lijkt een welkome aanvulling op de huidige manier van dataverzameling die vooral gebruik maakt van wegkantsystemen. Dit geldt in het bijzonder als deze plaatsbepalinggegevens reeds aanwezig zijn als bijproduct van bestaande systemen zoals mobiele telefonie of voertuignavigatie. Deze bijdrage stelt de volgende onderwerpen aan de orde: de technieken voor plaatsbepaling; Introductiescenarios en kostenbatenstudies; Verkeerskundige Interpretatie van FCD en tot slot een voorbeeld van een haalbaarheidstudie.

2 Verkeerskundige eisen aan het inwinsysteem

2.1 Algemene doelen

De eisen die aan het inwinsysteem voor verkeersdata zijn uiteraard afgeleid van de eisen die we aan het verkeerssysteem zelf stellen. Deze zijn:

- *Veiligheid.* De maatschappelijke kosten van onveiligheid overtreffen nog steeds de maatschappelijke kosten van files.
- *Capaciteit.* Het aantal reizigers verplaatsingen dat kan worden mogelijk gemaakt.
- *Reistijdverlies.* Het aantal voertuigverliesuren dat daarbij optreedt
- *Reistijdbetrouwbaarheid.* De mate waarin de reistijd vooraf voor een reiziger is in te schatten
- *Comfort.* De mate waarin het gebruik van het systeem al dan niet een prettige/stressvolle ervaring is
- *Redundantie/kwetsbaarheid.* De mate waarin het systeem gevoel
- *Flexibiliteit/Reserve capaciteit.* De mate waarin de bovenstaande eigenschappen tussen elkaar kunnen worden uitgeruild wanneer de omstandigheden daarom vragen.
- *Kosten/Ruimtebeslag/Milieu.* Deze vormen doorgaans de randvoorwaarden waarbinnen een verkeerssysteem wordt ontworpen

De bruikbaarheid van een inwinsysteem voor verkeersgegevens (als onderdeel van het geheel van Dynamisch Verkeersmanagement) wordt afgemeten aan de mate waarin het aan de bovenstaande doelen bij kan dragen.

2.2 Toepassingsgebieden van DVM

Onder dynamisch verkeersmanagement worden alle in de tijd te variëren verkeersmaatregelen gerekend alsook de informatie verstrekking aan de reiziger. Het scala aan mogelijke DVM maatregelen komt elders in deze cursus aan bod. Hier beperken we ons tot enkele voorbeelden en een in deze context relevante indeling:

- Lokale detectie en regeling. Op basis van een lokale waarnemingen worden plaatselijke geregeld of gewaarschuwd, soms als afgeleide van een regionale regelstrategie. Voorbeelden op het HWN zijn toeritdosering, signalering en

beveiliging van spitstroken. De scope in plaats is enkele honderden meters tot enkele kilometers. De scope in tijd is enkele minuten

- Regionale detectie en regeling. De typische scope is enkele kilometers tot enkele tientallen kilometers. De instrumenten die kunnen worden ingezet zijn het al dan niet openstellen van de spitsstrook en het opleggen van maximumsnelheden. In de toekomst komen hier wellicht HOV/paylanes bij.
- Interregionale detectie en regeling. Het beïnvloeden van gekozen routes door DRIP's en verkeersinformatie.
- Evaluatie van maatregelen. Het verzamelen van performance indicatoren is essentieel om te komen tot toepassing van "best-practices" in DVM

2.3 Karakteristieken van Floating Car Data

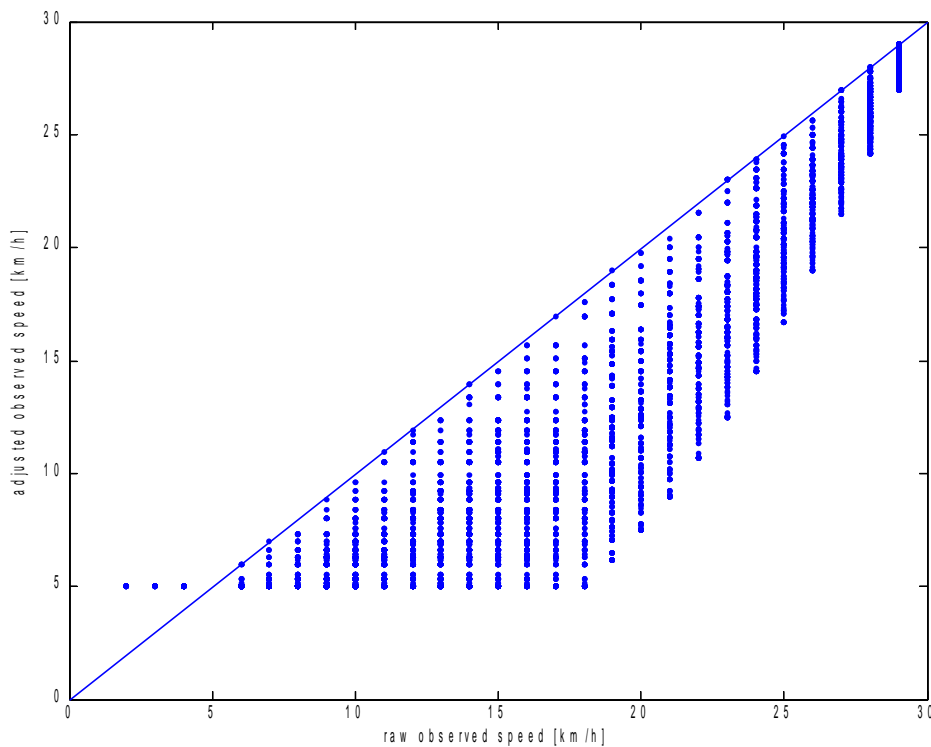
Om FCD te typeren vergelijken we dit type gegevens met de traditionele methode van inwinning:

Tabel 1: *Enkele karakteristieken van inwinsystemen*

Waar te nemen grootheden:	Road side based	Floating car
intensiteit	++	--
snelheid	+	--
dichtheid	-	--
snelheidsvariatie	+ / -	-
trajectorie	-	+
reistijd	-	+
routes, HB relaties	--	- / +
Kernmerken van de waarnemingen:		
resolutie in plaats	+	-
resolutie in tijd	+	--
scope van de waarneming	enkele meters	enkele kilometers
steekproefgrootte	100%	<<100%
onderscheid naar voertuigcategorie	beperkt	niet
onderscheid op basis van overige kenmerken	niet	niet
beschikbaarheid	HWN	HWN
Kosten structuur:		
gevoeligheid voor schaalgrootte	evenredig aan studiegebied	beperkt evenredig aan studiegebied
Investerende partij	Overheid	Overheid, Bedrijf en Particulier

Figuur 1 geeft aan de hand van een voorbeeld van road-side-based data weer wat het voordeel van FCD kan zijn. Bij stop-and-go traffic zijn de op een specifiek punt waargenomen snelheden nog nauwelijks maatgevend voor trajectreistijden. Vanwege deze reden wordt een correctie toegepast die inhoudt dat de harmonische gemiddelde snelheid wordt geschat op basis van het aantal voertuigpassages en de waargenomen snelheid. Figuur 1 geeft aan dat er een behoorlijke bandbreedte

rondom deze schatting bestaat. In het geval FCD worden reistijden direct waargenomen. Met name in file verkeer bestaat zodoende de zekerheid dat de reistijd voor de waargenomen steekproef accuraat bepaald is.



Figuur 1: Voorbeeld van een vereiste correctie die wordt toegepast op snelheden die met lusdetectie zijn waargenomen tijdens stop-and-go traffic bij de berekening van bereikbaarheids indicatoren. Bij FCD kan een dergelijke correctie achterwege blijven.

2.4 Voorbeeldcase

Op basis van de karakteristieke van FCD zijn een drietal concrete toepassingen geselecteerd die als voorbeeldtoepassing kunnen dienen. Aan de hand van deze toepassingen kunnen eventueel requirements worden afgeleid.

- *Dynamische reizigers informatie.* Deze toepassing behoeft nauwelijks toelichting. Het doel is om de reistijden zoals die (bijvoorbeeld) het laatste uur zijn gerealiseerd door te geven aan reizigers
- *Peak spreading door beprijzing.* Bij een gegeven vraag is er, naast het adequaat informeren van weggebruiker, slechts weinig dat kan worden gedaan om het aantal voertuigverliesuren te minimaliseren. Vraagbeïnvloeding heeft potentieel een veel grotere impact dan optimalisatie bij vaste vraag. De parameter waarop in de eerste plaats geregeld wordt is de trajectreistijd. Omdat beprijzing een lange termijn doelstelling nastreeft zal de regeling langzaam-adaptief kunnen zijn en worden geen hoge eisen aan de responstijd gesteld.
- *Regelen naar een gegarandeerd kwaliteitsniveau.* Wanneer iedere regeling ontbreekt zal de reistijd onbetrouwbaar voor met name het lange afstand verkeer cumuleren. Dit komt omdat korte afstandsverkeer in extreme gevallen de volledige capaciteit in beslag neemt. Stringente toeritdosering kan de

beschikbare capaciteit en daarmee de reistijdverdeling herverdelen. Ook in dit geval is primaire stuurparameter de reistijd over een langer traject en zou FCD een nuttige bijdrage moeten kunnen leveren.

3 Technieken voor plaatsbepaling: een overzicht

De technieken die gebruikt kunnen worden voor het lokaliseren van verkeersdeelnemers worden onderverdeeld in Terminal Based oplossingen en Network Based oplossingen. In het onderstaande overzicht is in het bijzonder aandacht besteed aan het lokaliseren van telefonie gebruikers.

3.1 Terminal Based plaatsbepalingstechnieken

3.1.1 GPS/DGPS/Galileo

Kwaliteit van de data

De kwaliteit van de data is hoog in niet stedelijke gebieden. De afwijking tussen de gerapporteerde en de werkelijke positie is hooguit enkele meters in het geval van DGPS en enkele tientallen meters in het geval van GPS. Binnen stedelijke gebieden kunnen door reflecties grotere afwijkingen plaatsvinden. De methode is niet geschikt voor gebruiken binnen gebouwen.

Beschikbaarheid in tijd

De frequentie waarmee plaatsbepalingen kunnen plaatsvinden is zelfs voor goedkope systemen tenminste één per seconde. Waarnemingsfouten zijn echter wel serieel gecorreleerd, maar de reikwijdte van deze bedraagt niet meer dan 30 seconden (TU Delft (2002)). Hierdoor kunnen waarnemingen die meer dan 30 seconden uit elkaar liggen als onafhankelijk worden beschouwd.

Kosten

Nu al worden duurdere auto's standaard uitgerust met GPS gebaseerde navigatie apparatuur. Het aandeel van navigatie voorziene auto's zal de komende jaren snel stijgen. De volgende logische stap in deze ontwikkeling is dat bezitters van navigatie apparatuur een abonnement kunt afsluiten om verkeersinformatie te ontvangen. Deze informatie kan dan via radio signalen worden ontvangen zoals bij RDS/TMC of via een aparte GSM of GPRS verbinding. In dat laatste geval kunnen de abonnees ook gemakkelijk als data-donor worden ingezet.

3.1.2 A-GPS

Algemeen

Assisted GPS (A-GPS) is een systeem waarin DGPS plaatsbepaling in het toestel plaatsvindt, met hulp vanuit het GSM netwerk, zodat de snelheid van plaatsbepaling, de nauwkeurigheid en het energie verbruik verbeteren. De volgende gegevens worden namelijk vanuit het GSM netwerk naar de Handset gestuurd:

- Satelliet ephemeris: de afwijking tussen de in tabellen opgegeven satelliet positie en de werkelijke actuele positie. Door een satelliet een tijdje te volgen

kan deze berekend worden. Door de ephemeris via het GSM netwerk door te geven kan deze stap achterweg gelaten worden in de handset waardoor de plaatsbepaling versnelt wordt;

- Frequentie nauwkeurigheid. Het doorgeven van dit gegeven versneld eveneens de snelheid van plaatsbepaling in de handset;
- Geschatte locatie. Hiermee kan de plaatsbepalingberekening in de handset worden geïnitieerd;
- Differential GPS signaal. Hiermee wordt de nauwkeurigheid van plaatsbepaling belangrijk verbeterd;
- Tijd referentie. Hiermee wordt de snelheid van plaatsbepaling verbeterd en wordt de mogelijkheden van het systeem in omgeving met 'slechte' signaalomstandigheden verbeterd, waardoor het ook mogelijk wordt om binnenshuis en in stedelijke omgevingen goede plaatsbepalingen uit te voeren..

Kwaliteit van de data

De kwaliteit van plaatsbepaling is tenminste zo goed als in het geval DGPS. Bovendien werkt de methode goed in stedelijke omgeving en zelfs binnen gebouwen.

Beschikbaarheid in tijd

Hiervoor geldt hetzelfde als bij (D)GPS. Een belangrijk nadeel van A-GPS is dat het uitvoeren van een plaatsbepaling een zware belasting voor de batterij is en daardoor niet periodiek met korte tussen pauzes kan worden uitgevoerd, tenzij het toestel van een externe energiebron wordt voorzien.

Kosten

Voor het ondersteunen van plaatsbepaling met een nauwkeurigheid van 10 tot 20 meter is een netwerk investering nodig waarbij om de 300 kilometer een zogenaamde Location Measurement Unit (LMU) wordt toegepast. Om ook plaatsbepaling binnen gebouwen mogelijk te maken zijn aanzienlijk meer LMU's nodig (ongeveer 1 per drie Base Transceiver Systems, oftewel 1 LMU per zendmast).

Beschikbaarheid in Nederland (2003)

In Nederland is AGPS de komende jaren nog niet leverbaar.

3.1.3 E-OTD

Algemeen

Enhanced Observed Time Difference (E-OTD) komt er grof gezegd op neer dat het verschil in aankomsttijd van pakketjes data wordt berekend tussen signalen die van verschillende zendmasten (Base Transceiver Stations, BTS) worden ontvangen. Aan de hand hiervan het *verschil* in afstand naar deze twee zenders worden bepaald, waardoor een denkbeeldige lijn kan worden getrokken waarop de handset zich bevindt. Deze procedure dient voor tenminste drie paren van BTS'en te worden herhaald. Een complicatie is dat de signalen van verschillende BTS'en niet gesynchroniseerd zijn waardoor de bovenstaande berekening alleen kan worden uitgevoerd als ook informatie over het onderlinge faseverschil van de BTS'en (Relative Time Difference, RTD) bekend is. Ook moet de exacte locatie van de BTS'en bekend zijn om de berekening te kunnen maken. Samenhangende met de RTD en de BTS locatie bestaan er twee varianten van E-OTD:

- De network assisted variant, waarbij de BTS locatie en de RTD naar de handset worden verstuurd en de handset de plaatsbepalingsberekening uitvoert;
- De handset assisted variant, waarbij de handset de OTD naar het netwerk verstuurt en de berekeningen in het netwerk worden uitgevoerd.

Kwaliteit van de data

De nauwkeurigheid van E-OTD bedraagt volgens schattingen tussen de 60 en 200 meter.

Beschikbaarheid in tijd

De E-OTD plaatsbepalingstechniek wordt nu vooral toegepast in situaties waarin een eenmalige plaatsbepaling vereist is (bijvoorbeeld een noodoproep). De plaatsbepaling wordt binnen enkele secondes voltooid.

Kosten

Per netwerk worden de introductiekosten geraamd tussen de 10 en 100 M euro (afhankelijk van de grootte), waarin de kosten per aangepaste BTS 3200 euro zijn begrepen. Voor de kosten per handset variëren de schattingen van onder de 1 euro tot 25 euro.

Beschikbaarheid in Nederland

De geschatte marktpenetratie eind 2006 is volgens sommige operators 75-100%, volgens anderen groeit het marktaandeel langzamer: tussen 5 en 10% per jaar. Alle operators voorzien dat E-OTD slechts voor een gedeelte van het netwerk (bijvoorbeeld de verstedelijkte gebieden) beschikbaar zal zijn. In Nederland zal E-OTD voorzover bekend niet in de nabije toekomst beschikbaar komen.

Overige opmerkingen

Zowel Nokia als Ericsson bieden E-OTD oplossingen voor plaatsbepaling aan. Deze worden vooral toegepast in de Verenigde Staten (i.v.m. de E911 bepalingen) en het verre Oosten. De nauwkeurigheid bedraagt 60 meter in rurale gebieden tot 200 meter in stedelijke omgeving.

3.2 Network Based plaatsbepalingstechnieken

3.2.1 CGI

Algemeen

Cell Global Identity (CGI) is een plaatsbepalingmethode waarbij de handset wordt gelokaliseerd aan de hand van de zendmast (Base Transceiver Station) waarmee de handset communiceert. De handset meet voortdurend de signaalsterkte van verschillende zendmasten en selecteert vervolgens het sterkste signaal. Het gebied dat door één BTS bediend wordt, wordt aangeduid als een cel. Op deze wijze wordt een gebied in cellen onderverdeeld volgens een honigraatstructuur.

Kwaliteit van de data

Afhankelijk van de onderlinge afstand van zendmasten varieert de celstraal tussen de 100 meter en 35 kilometer. Omdat meestal drie zenders op één mast gecombineerd worden hebben cellen doorgaans de vorm van een sector (zie Figuur 2).

Beschikbaarheid in tijd

Omdat de Cell ID nodig is voor het in stand houden van de verbinding is deze continu beschikbaar zolang er sprake is van een verbinding. Er is sprake van een verbinding tijdens een in- of uitgaand gesprek of tijdens een zogenaamde location update.

Kosten

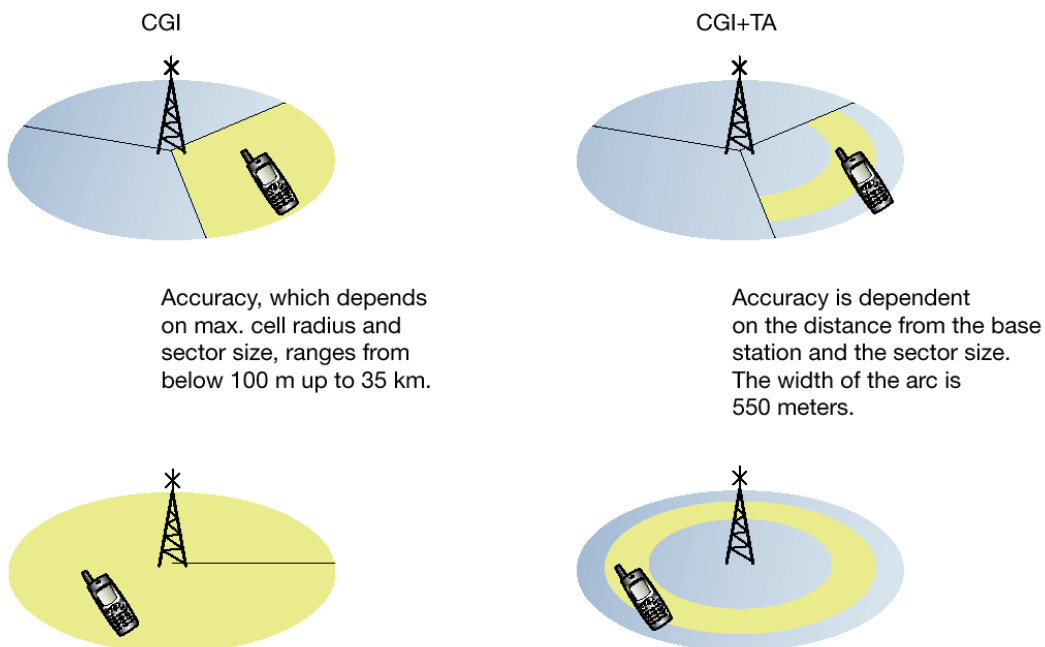
Plaatsbepaling op basis van CGI is reeds in de huidige implementatie van GSM aanwezig. Ten behoeve van het afrekenen worden de Cell ID's van gesprekken opgeslagen in de zogenaamde Call Detail Records (CDR's) en gedurende enkele maanden bewaard. Het gaat hier om de ID van de cel waar het gesprek begint en de ID van de cel waar het gesprek eindigt. Het beschikbaar maken van dit soort gegevens zou dus tegen betrekkelijk geringe kosten mogelijk moeten zijn. In diepere lagen van het systeem zijn tijdens communicatie met de handset veel meer cell ID observaties aanwezig, maar deze worden momenteel niet gelogd. Om ook deze gegevens beschikbaar te maken is een netwerk investering nodig van enkele duizenden euro's per BTS.

Beschikbaarheid in Nederland

Met de beperking dat alleen gegevens van uitgaande gesprekken worden opgeslagen is de methode reeds beschikbaar in Nederland.

Overige opmerkingen

Vanwege de grofmazigheid van deze waarnemingsmethode, is deze methode in de eerste instantie geschikt voor het verzamelen van geaggregeerde grootheden, zoals HB-matrices. Voor het bepalen van intensiteiten en reistijden op wegvakniveau lijkt deze methode niet geschikt.



Figuur 2: Het Cell Global Identity en het Timing Advance principe (Bron: Swedberg, 1999)

3.2.2 CGI+TA

Algemeen

De zogenaamde single cell timing -advance methode levert naast de cell ID (zie boven) ook de Timing Advance parameter

Kwaliteit van de data

Deze Timing Advance parameter wordt opgeslagen met stappen van 550 meter, in de range 0 tot en met 63. er is dus sprake van een vrij grove resolutie. Het is onbekend hoe groot de kans is dat de Timing Advance foutief gerapporteerd wordt.

Beschikbaarheid in tijd

Tijdens de periode dat er communicatie is met de handset wordt de Timing Advance parameter twee maal per seconde geüpdatet in de BTS.

Kosten

De timing Advance Parameter wordt niet gelogd en is dus alleen tijdelijk in de BTS beschikbaar. Om daadwerkelijk iets met de TA parameter te doen dient een infrastructuur te worden gebouwd voor het loggen en doorsturen van deze gegevens. Hiermee is een investering van enkele (tien)duizenden euro's per BTS vereist

Beschikbaarheid in Nederland

Op dit moment loopt als onderdeel van het Intermezzo project een proef om op basis van CGI+TA gegevens verkeersinformatie af te leiden. Indien deze proef technisch en commercieel succesvol blijkt zal een verdere uitrol over Nederland kunnen plaatsvinden. Rijkswaterstaat is, naast commerciële partijen, een van de beoogde afnemers en sponsort bovendien de huidige proef.

3.2.3 Enhanced CGI +TA

Algemeen

Door de CGI+TA plaatsbepaling te combineren met gegevens over signaal sterkte (de zogenaamde RX levels) kan de nauwkeurigheid verder verbeterd worden. Zolang een verbinding in stand is, is de signaalsterkte van de 6 sterkste BTS'en die de handset ontvangt alsmede het zendvermogen van de handset zelf bekend. Wanneer het toestel in een auto met car-kit wordt gebruikt, worden deze waarden daardoor beïnvloed. Mogelijk biedt dit zelfs een handvat om dergelijke toestellen te identificeren.

Kwaliteit van de data

De te behalen nauwkeurigheid wordt geschat tussen de 300 en 800 meter. Het betreft hier een methode die nog ontwikkeling is. Hierdoor zijn op dit moment nog geen harde getallen te geven.

Beschikbaarheid in tijd

De gegevens zijn met een voldoende grote frequentie beschikbaar, maar alleen tijdens de periode dat communicatie met de handset plaatsvindt.

Kosten

De kosten van deze oplossing zijn op de langere termijn vergelijkbaar met de CGI +TA methode. Er dient echter nog een bepaalde hoeveelheid research plaats te vinden voordat deze methode operationeel gemaakt kan worden.

Beschikbaarheid in Nederland

Op dit moment is de methode niet beschikbaar in Nederland. Mogelijkerwijs wordt er in het kader van het Intermezzo project onderzoek naar verricht.

Overige opmerkingen

Een methode die volgens hetzelfde principe werkt kan eventueel ook op de handset worden geïmplementeerd middels een applicatie die op de SIM kaart draait. In deze vorm is de methode vanwege het extra energie gebruik vooral geschikt voor eenmalige plaatsbepaling. Om de applicatie te laten werken moeten de SIM kaarten echter wel van software voorzien worden. Bij de huidige generatie SIM kaarten kan deze software via het netwerk op de SIM kaart worden geladen. Dit betekent dat na verloop van tijd het merendeel van de gebruikers beschikt over een toestel dat geschikt is voor de techniek.

Indien gebruikt gemaakt wordt van een naar eigen inzicht te ontwerpen applicatie op de SIM kaart, staan er een groot aantal opties open, bijvoorbeeld:

- De handset wordt geprogrammeerd om, in het geval van een verplaatsing coördinaten en tijdstippen op te slaan en periodiek te verzenden;
- Tijdens het voeren van een gesprek kunnen eerder verzamelde gegevens worden uitgewisseld.

Voorlopig zijn dit vooralsnog alleen theoretische mogelijkheden.

3.2.4 Uplink Time of Arrival (UL-TOA)

Algemeen

Bij uplink Time of Arrival wordt het tijdsverschil waarmee een signaal dat door een handset wordt uitgezonden aankomt in de omliggende zendmasten gemeten. Op basis van dit gegeven kan de positie van de handset worden getrianguleerd. Deze methode lijkt feitelijk veel op EOTD, alleen wordt nu het signaal van de handset gebruikt voor de plaatsbepaling.

Kwaliteit van de data

De nauwkeurigheid van deze methode varieert tussen de 50 meter in landelijke gebieden en 150 in sterk verstedelijkte omgevingen (Swedberg, 1999).

Beschikbaarheid in tijd

Plaatsbepalingsgegevens via deze methode zijn alleen beschikbaar op momenten dat een verbinding met de handset actief is.

Kosten

Over de kosten van deze methode is niets bekend

Beschikbaarheid in Nederland

Er zijn geen plannen bekend om de methode in Nederland toe te passen

3.2.5 Angle of Arrival

Algemeen

Bij deze methode wordt de hoek gemeten waarmee signalen van een handset op een bepaald punt binnenkomen.

Kwaliteit van de data

De theoretisch haalbare nauwkeurigheid is circa 125 m. Dit is vergelijkbaar met E-OTD, maar anders als bij E-OTD zijn voor Angle of Arrival toepassingen geen speciale handsets nodig.

Beschikbaarheid in tijd

Een vereiste voor plaatsbepaling is dat een verbinding met de handset bestaat

Kosten

De hardware die nodig is voor het toepassen van Angle of Arrival technieken is kostbaar. Van de kosten is alleen bekend dat ze 'hoog' zijn

Beschikbaarheid in Nederland

Er zijn in Nederland geen praktijktoepassingen van deze techniek voor het lokaliseren van GSM toestellen voorzien.

3.2.6 RadioCamera™

Algemeen

Een techniek die belangrijk verschilt van alle bovengenoemde technieken is een systeem dat is ontwikkeld door het inmiddels ter ziele US-Wireless (de bezittingen van dit bedrijf zijn overgegaan in trafficmaster inc.). Deze techniek is gebaseerd op patroonherkenning, waarbij het 'patroon' bestaat uit de tijdverschillen waarmee radio signalen van één handset de ontvanger bereiken. Door reflecties op o.a. gebouwen kan een signaal de ontvanger via verschillende paden bereiken. Iedere locatie wordt gekenmerkt door een specifiek patroon. Dit patroon kan niet anders worden bepaald dan door met behulp van een 'verkennend' voertuig een database op te bouwen.

Kwaliteit van de data

De plaatsbepaling is juist in stedelijke omgeving betrouwbaar. De geclaimde nauwkeurigheid is beter dan 100m in 67% van de gevallen

Beschikbaarheid in tijd

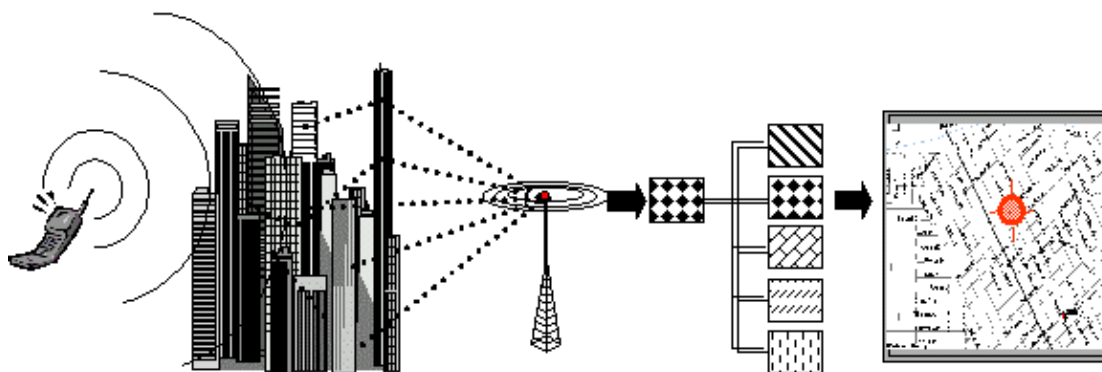
Het genereren van plaatsbepalinggegevens is alleen mogelijk voor toestellen die actief gebruikt worden

Kosten

Volgens opgave van US-Wireless [US-Wireless, 2001] bedragen de installatiekosten voor een regio circa \$1.400.000 met onderhoudskosten van \$216.000 per jaar.

Beschikbaarheid in Nederland

Niet beschikbaar



Figuur 3: *Plaatsbepaling door middel van patroonherkenning*

3.3 Overzichtstabel

De eigenschappen van de verschillende technieken, kunnen voorzover bekend, in de onderstaande tabel worden samengevat. De gegevens uit deze tabel zijn uit diverse bronnen overgenomen en hebben daarom de status van een subjectieve inschatting.

Tabel 2: *Subjectieve inschatting van de kenmerken van verschillende plaatsbepalingmethodes*

	terminal based			network based					
	GPS / DGPS	A-GPS	E-OTD	CGI	CGI + TA	Enhanced Cell ID	UL-TOA	Angle of Arrival	Radio Camera
Nauwkeurigheid [geschatte standaard afwijking in m]	10-50 m	10 – 20m	60 – 200m	100 m – 35 km	550 ¹ m	300 – 800m	50m – 120m	125m	100m
Beschikbaarheid	Na verzoek	Na verzoek	Na verzoek	Bij verbinding	Bij verbinding	Bij verbinding	Bij verbinding	Bij verbinding	Bij verbinding
Netwerk investering per operator (M euro)	0	<10	10 – 100	0	ca 10	ca 10	onbekend	hoog	>10
Kosten per handset (euro)	400	150	1 – 25	0	0	0	0	0	0
Marketing kosten	onbekend	onbekend	onbekend	0	0	0	0	0	0
Toegepast in Nederland	ja	nee	nee	ja	nee	nee	nee	nee	nee
Toepassing gepland Nederland	ja	misschien	nee	ja	ja	misschien	nee	nee	nee

¹ De afstand tot de BTS is met stappen van 550m bekend

4 Introductiescenarios en kostenbatenstudies

Kostenbaten overwegingen naar inwinsystemen voor verkeersdata vinden plaats tegen de achtergrond van een bestaande situatie. Ook geldt dat de kosten en de baten niet noodzakelijkerwijs aan dezelfde partij zijn toe te rekenen. Deze omstandigheden maken dat het vraagstuk van de meest efficiënte datainwinning niet een simpel “design and build” vraagstuk is, maar dat levensvatbaarheid van een concept voor een belangrijk deel afhangt van omstandigheden die met de kosten en de prestaties weinig te maken hebben.

Er zijn vele inwinsystemen te bedenken die technisch haalbaar zijn, maar in de huidige omstandigheden niet levensvatbaar zijn. Over het algemeen geldt dat ieder denkbare systeem dermate duur is dat, zonder “katalysator” de introductie niet haalbaar is.

Inwinsysteem	Katalysator
Lusdetectoren op het HWN	Verkeerssignalering
Lusdetectoren op het OVN	Vraagafhankelijke verkeersregeling
GPS (Galileo)	Defensie/Luchtvaart In car navigatie
Baken	Anti diefstal Fleet management
Network based plaatsbepaling (GSM) Cell Global Identity (+Timing Advance)	GSM telefonie
Terminal based plaatsbepaling (GSM) AGPS, E_OTD	Location based services Enhanced 911 requirement
Radio Camera	Enhanced 911 requirement
Electronic vehicle tag	Rekening rijden Elektronische nummerplaat

Over het algemeen geldt dat de wet van de remmende voorsprong: bestaande systemen concurreren met nieuw te bouwen systemen. Zolang een bepaalde kritische massa niet kan worden bereikt zijn de nieuwe systemen niet rendabel.

De overheid probeert door middel van stimuleringsprogramma's marktpartijen te ondersteunen. Voorbeelden hiervan zijn het inmiddels afgesloten INTERMEZZO Project en het project ICT in bereikbaarheid in het stadsgewest Haaglanden.

5 Verkeerskundige Interpretatie van Floating Car Data

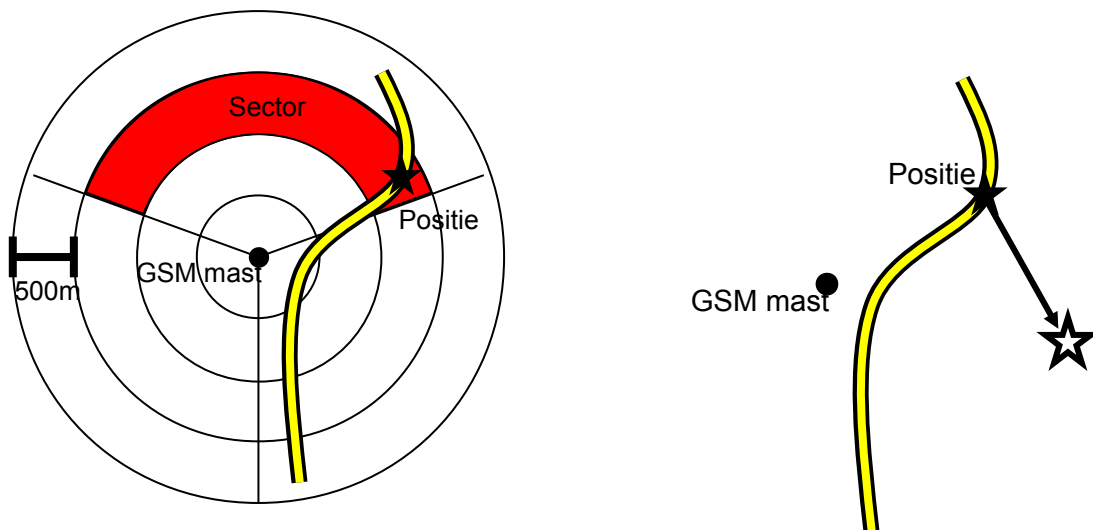
5.1 Measurement Reports

Voertuigen die op basis FCD worden waargenomen, produceren zogenaamde tijdreeksen van Measurement Reports (MRs). In deze MRs is de tijd en plaats (in meer of mindere mate nauwkeurig) opgeslagen. In de onderstaande tekst

beschouwen we MRs zoals deze kunnen worden afgeleid uit telefoonverkeer per GSM als voorbeeld.

Een Measurement Report bevat naast een herkenningscode voor het bellende toestel en het tijdstip ook een geografische aanduiding. De herkenningscode moet bij voorkeur per toestel en anders per gesprek uniek zijn. De inhoud van de geografische aanduiding hangt af van de waarnemingsmethode die wordt toegepast. De volgende waarnemingsmethodes worden beschouwd:

- De Area-based methode. In dit geval wordt de antenne, sector en Timing Advance parameter opgeslagen. De Area-based methode is kenmerkend voor wat op dit moment op basis van het GSM systeem met beperkte extra investeringen mogelijk is;
- De Point-based methode. In dit geval wordt de geschatte positie opgeslagen. Dit is kenmerkend voor systemen zoals GPS. Na extra investeringen is een dergelijke plaatsbepalingmethode ook in combinatie met GSM mogelijk.



Area-Based plaatsbepaling: de sector waarin het voertuig zich bevindt wordt gerapporteerd in het Measurement Report

Point-based plaatsbepaling: de werkelijke positie plus een stoorterm wordt gerapporteerd

Figuur 4: Illustratie van de Area-based en Point-based plaatsbepalingmethode

5.2 Map match algoritme

5.2.1 Discretisatie van het netwerk

Een Mapmatch algoritme koppelt ieder Measurement Report aan een positie op het netwerk. Hiertoe wordt iedere schakel van het netwerk onderverdeeld in korte schakelsegmentjes (zie Figuur 7). Ieder Measurement Report dient aan een segment-centrum te worden gekoppeld. Het aantal segmenten per schakel wordt zodanig bepaald dat de afstand tussen twee segment-centroides, de zogenaamde 'gap', niet groter is dan een vooraf opgegeven afstand (typisch zo'n 50 meter).

Een karakteristiek van GSM plaatsbepalinggegevens is dat het steeds gaat om betrekkelijk grove plaatsbepaling. In geval van Area-based plaatsbepaling wordt bijvoorbeeld de afstand tot de zendmast in stappen van 500 meter vastgelegd, terwijl de hoek op sectorniveau wordt vastgelegd, waarbij de meeste zendmasten drie sectoren hanteren. In dit geval is dus sprake van een lage *resolutie*. Daarnaast is eventueel ook nog sprake van een *meetfout*, die in dit geval inhoudt dat de verkeerde antenne, sector, of afstand tot de antenne wordt gerapporteerd. Bij de Point-based plaatsbepalingmethode vormt de resolutie geen beperking en is alleen sprake van een meetfout. Een typische waarde voor de standaardafwijking van deze fout is 400 meter.

5.2.2 Map match algoritmes

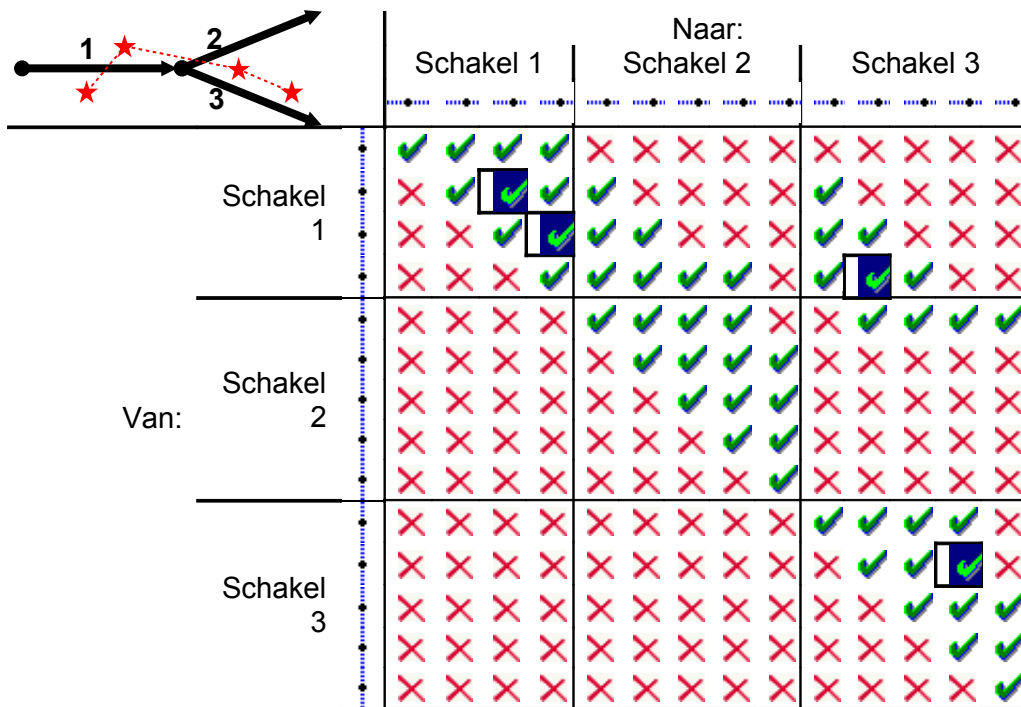
Om op basis van deze gegevens toch zinnige verkeersgegevens af te leiden, kan niet worden volstaan met een algoritme dat ieder Measurement Report simpelweg naar de dichtstbijzijnde positie op het netwerk projecteert, omdat in dit geval waarschijnlijk onzinnige trajecten en onrealistische reistijden resulteren. In plaats daarvan dienen alle Measurement Reports die binnen een rit worden gegenereerd gezamenlijk te worden beschouwd en moet bij het matchen van deze Measurement Reports kennis over mogelijke routes en haalbare snelheden worden toegepast.

Ten behoeve van het mapmatchen is daarom een speciaal algoritme nodig. Modelit heeft een dergelijk algoritme in de vorm van een Maximum Likelihood schatter geïmplementeerd. Dit algoritme kiest de gematchte posities zo dat de gezamenlijke kans van de geïmpliceerde meetfouten minimaal is. Hierbij worden de volgende randvoorwaarden toegepast:

- Het geïmpliceerde traject tussen twee opeenvolgende gematchte punten moet deel uitmaken van de verzameling vooraf geënumereerde routes. Hierdoor wordt een groot aantal niet realistische routes vooraf uitgesloten;
- De geïmpliceerde snelheden dienen te liggen in een vooraf te definiëren range die per schakel kan worden gedefinieerd. Het minimum van deze range is doorgaans 0 (complete stilstand) en het maximum is typisch 30% hoger dan de free-flow snelheid.

5.2.3 Constraints

Deze constraints kunnen worden samengevat in een zogenaamde transitie matrix, die voor iedere combinatie van twee schakelsegmenten aangeeft of de transitie tussen deze twee segmenten al dan niet mogelijk is. Voor een voorbeeldnetwerk met drie schakels is de situatie geschetst in Figuur 5. Deze matrix geeft aan welke transities wel, en welke transities niet mogelijk zijn binnen één tijdstap. In de figuur zijn vier cellen omljnd. Deze vier omljnde cellen representeren één van de vele mogelijkheden om vier Measurement Reports (aangegeven met rode sterretjes) te matchen zonder de randvoorwaarden te doorkruisen. Het mapmatch algoritme zoekt uit alle toegestane mogelijkheden de meest optimale.



Figuur 5: Toepassing van de transitie matrix op een netwerk met 3 schakels. ✗: transitie is niet mogelijk binnen één tijdstap. ✓: transitie is mogelijk binnen één tijdstap. De vier omliggende hokjes representeren één van de vele mogelijkheden om vier Measurement Reports (★) te matchen.

5.2.4 Doelfunctie

De optimale map-matching wordt bereikt indien aan alle constraints is voldaan en de kwadratische afstand tussen de waargenomen en de geschatte locatie zo klein mogelijk is:

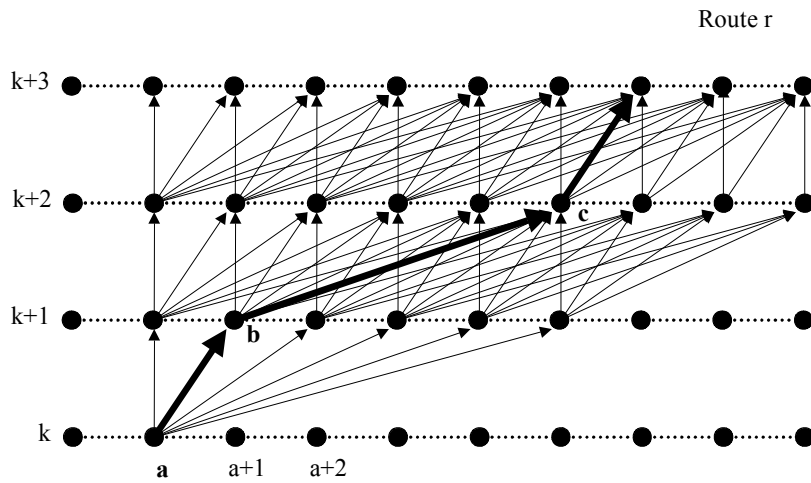
$$\text{Doelfunctie} = \sum_{\forall \text{ periodes } p} \|\text{geschatte locatie} - \text{waargenomen locatie}\|^2$$

5.2.5 Hypernetwerk benadering

Figuur 5 toont dat alleen bepaalde transitie aan de opgelegde route- en snelheidsconstraints voldoen. Alle geldige transitie vormen samen een zogenaamd hypernetwerk (zie Figuur 6). Iedere willekeurige route door dit netwerk die begint in de laag die correspondeert met de eerste periode en eindigt in de laag die correspondeert met de laatste periode voldoet aan alle constraints.

Door nu bij iedere schakel de kwadratische afstand van de wegpositie van het eindpunt naar de waargenomen positie in de corresponderende periode als kostenpost definiëren, komen de route kosten precies overeen met de doelfunctie.

Het kiezen van de kortste route en het optimaliseren van de doefunctie zijn dus een en hetzelfde probleem.



Figuur 6: Iedere geldige transitie correspondeert met een met een virtuele schakel in een zogenaamd hypernetwerk.

Omdat er meerdere routes mogelijk zijn moet deze procedure simultaan voor alle mogelijke routes worden herhaald (zie Figuur 7).

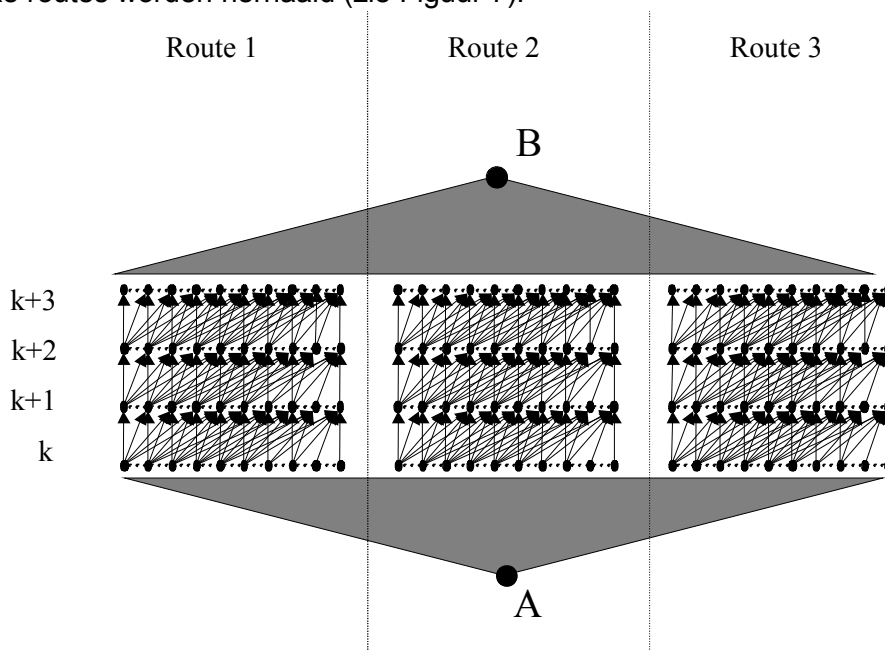


Figure 1: Hypernetwerk, uitgebreid met origin-connector A and bestemmings-connector B . De connector schakels vertegenwoordigen geen kosten.

-Algorithm-

- Define the hypernetwork nodes
- Define the hypernetwork links
- Define the corresponding costs
- Define the origin-centroid A and destination-centroid B
- Define the cost of the links to A and zero cost connector links to B
- Compute the shortest path between A and B

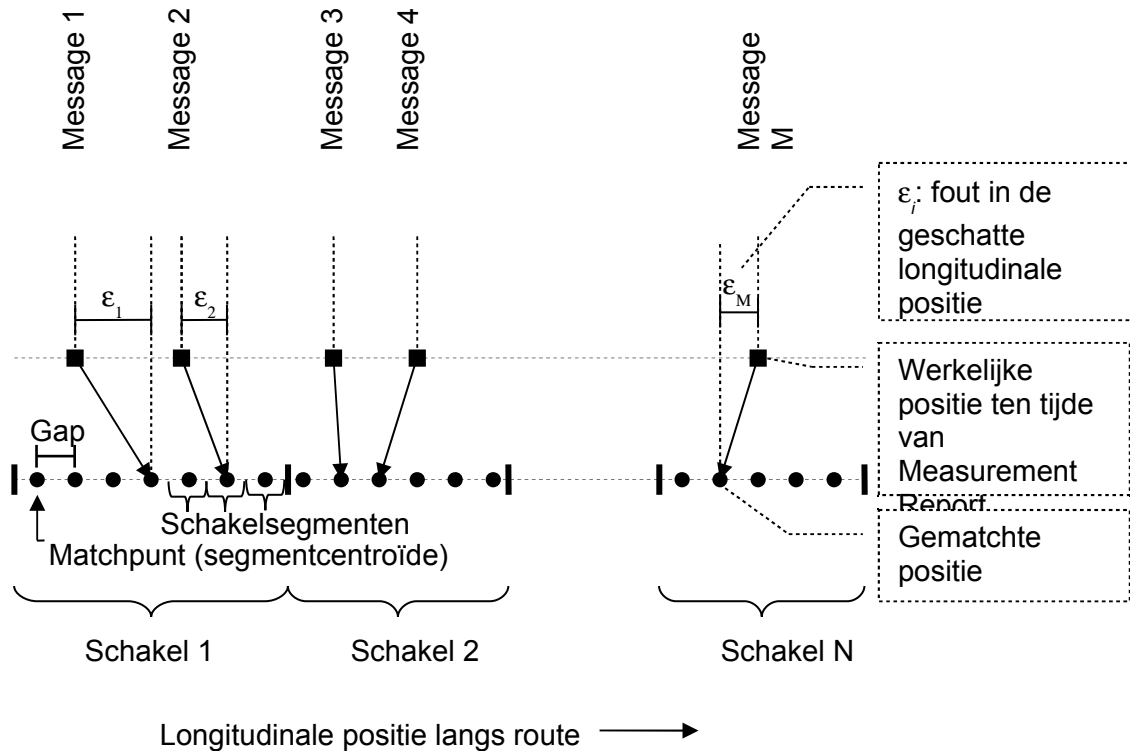
5.3 Reistijd schatter (schakelniveau)

Iedere paar van opeenvolgende gematchte Measurement Reports impliceert dat het tussenliggende traject, bestaande uit een combinatie van schakelsegmenten, in een bepaalde periode door een voertuig is afgelegd. Dit maakt het mogelijk om een vergelijking op te stellen met aan de linker kant een lineaire combinatie van schakelreistijden en aan de rechterkant het tijdsverloop tussen de twee Measurement Reports.

Door dit te herhalen voor alle opeenvolgende Measurement Reports ontstaat een uitgebreid stelsel van lineaire vergelijkingen met de schakelreistijden als onbekenden.

Bij elke vergelijking hoort een stoorterm die de mapmatch fouten representeert. Er zijn twee type mapmatch fouten. De ernstigste fout die kan optreden is dat de gematchte punten niet langs de werkelijk gereden route liggen. Deze fout treedt echter met een kleine kans op. Het type fout dat het meest frequent optreedt is dat de Measurement Reports naar de goede route verwijzen, maar naar de verkeerde longitudinale positie. In dit geval wordt er in de vergelijking met teveel of te weinig afgelegde weg rekening gehouden. Dit type fout is serieel gecorreleerd omdat de afgelegde weg waarmee in de ene vergelijking te weinig wordt gerekend in de volgende vergelijking als teveel wordt meegeteld (zie Figuur 7).

Door de seriële correlatie tussen de bovengenoemde stoortermen correct te modelleren, kunnen de waarnemingen die uit de gematchte Measurement Reports zijn afgeleid optimaal worden verwerkt. Dit gebeurt bij voorkeur met behulp van een Kalman filter.



Figuur 7: Elke combinatie van twee opeenvolgende Measurement Reports levert één meetvergelijking op. De meetfout in deze meetvergelijking bestaat uit twee plaatsbepalinggerelateerde componenten. Opeenvolgende meetfouten zijn negatief gecorreleerd, doordat ze een van de twee componenten (op het teken na) gemeenschappelijk hebben.

5.4 Reistijd schatter (HB-niveau)

De reistijd tussen herkomsten en bestemmingen wordt berekend als de gewogen som van de route-reistijden tussen deze herkomst en bestemming, waarbij de weegfactoren overeen komen met de route-aandelen zoals in de evenwichtstoedeling berekend. De route-reistijden worden berekend door voor iedere route de schakel-reistijden over de gebruikte schakels te sommeren.

5.5 Intensiteitschatter

Met het uitvoeren van de mapmatching worden ritten toegedeeld aan de trajecten tussen de gematchte punten. Hieruit kunnen 'pseudo teldata' worden afgeleid. In deze pseudo teldata wordt echter slechts een klein gedeelte van de voertuigen meegenomen in de zin dat deze voertuigen Measurement Reports genereren die vervolgens aan een route worden gekoppeld waarvan de beschouwde wegsectie deel uitmaakt. De 'pseudo teldata' moeten daarom worden opgehoogd met een nog te bepalen ophoogfactor. Bij de bepaling van de ophoogfactor dient de kans berekend te worden dat aan de volgende voorwaarden voldaan is:

- het voertuig moet een GSM aan boord hebben;
- er moet gebeld worden in de periode dat de wegsectie wordt gepasseerd;

- de gegenereerde Measurement Reports moeten worden geclassificeerd als 'niet-stationaire' beller;
- bij het matchen van de Measurement Reports moeten deze aan de goede wegsectie worden gekoppeld.

Los hiervan kan het ook voorkomen dat ten onrechte voertuigen worden waargenomen, bijvoorbeeld doordat Measurement Reports die op een andere wegsectie zijn gegenereerd ten onrechte naar de beschouwde wegsectie worden gematcht.

De ophoogfactor wordt berekend als het product van de kans dat een GSM aan boord is ($P[\text{GSM aan boord}]$), de kans dat gebeld wordt in de beschouwde wegsectie ($P[\text{bellen in wegsectie}]$), en de kans dat het gesprek als niet-stationair wordt herkend ($P[\text{classificeren als niet stationair}]$). Deze factoren kunnen gedeeltelijk op basis van theoretische overwegingen worden bepaald en voor een ander gedeelte direct worden waargenomen in de praktijk, zie Tabel 3. De kans dat het gesprek als niet-stationair wordt herkend is echter op schakelniveau niet direct waarneembaar en evenmin gemakkelijk theoretisch af te leiden. In de huidige studie wordt daarom uitgegaan van de aanname dat deze kans voor alle wegsecties gelijk is, en wordt deze kans gelijk gesteld aan het overall percentage. In de praktijk zou dit overall percentage moeten worden afgeleid door het model te kalibreren op aantal schakels waarvoor telgegevens beschikbaar zijn.

Tabel 3: *Overzicht van de invloed, waarneembaarheid en afleidbaarheid van ophoogfactoren*

Factor	Variatie over wegsecties	Direct waarneembaar	Theoretisch afleidbaar
$P[\text{GSM aan boord}]$	Gering	Ja	Nee
$P[\text{bellen in wegsectie}]$	Groot	Nee	Ja
$P[\text{classificeren als niet-stationair}]$	Groot	Nee	Nee

5.6 HB-schatter

Het schatten van HB-relaties is aanmerkelijk complexer dan het schatten van schakel intensiteiten. De haalbaarheid ervan is nog niet aangetoond.

6 Haalbaarheidsstudie: Case Rotterdam

6.1 Achtergrond

Het inwinnen van verkeersinformatie door gebruik te maken van plaatsbepalinggegevens die ontleent zijn aan mobiele telefonie lijkt een welkome aanvulling op de huidige manier van dataverzameling die vooral gebruik maakt van wegkantsystemen. Door middel van een simulatiestudie heeft Modelit de haalbaarheid van een dergelijk systeem onderzocht.

Een analyse/simulatie model is ontwikkeld. Dit model bestaat uit de volgende onderdelen: een statisch verkeersmodel, een trajectoriën generator, een Measurement Report generator, een mapmatch algoritme, een reistijd schatter; een intensiteitschatter, een evaluatie module, en een grafische interface.

Met het model zijn twee netwerken doorgerekend: het gebied rondom Rotterdam, als voorbeeld van een stedelijk gebied en de regio Noord Brabant, als voorbeeld van een ruraal gebied.. We beschrijven hier de uitkomsten voor de regio Rotterdam.

6.2 Het mapmatch proces

Met een mapmatch algoritme zijn 32 verschillende varianten (in totaal ongeveer 500.000 gesimuleerde ritten) doorgerekend. Alle gematchte ritten kunnen visueel worden geïnspecteerd. De meerderheid van de ritten wordt op correcte manier gematcht, in de zin dat de rit naar de goede route wordt gematcht en dat de gematchte longitudinale positie van de Measurement Reports niet ernstig afwijkt van de positie waarop deze Measurement Reports zijn gegenereerd door het bellende voertuig. Tabel 4 vat een aantal kentallen van het mapmatch proces samen.

De relatieve residuele locatie fout geeft aan in hoeverre de fout in de geschatte locatie af is genomen na het mapmatchen ten opzichte van de gerapporteerde locatie en is een goede maat voor de kwaliteit van dit proces. Omdat bij de Area-based methode geen locatie wordt gerapporteerd is deze indicator alleen voor de Point-based methode te berekenen. De resultaten geven aan dat na het uitvoeren van het map matchen de locatiefout met een factor vier is afgenomen.

Tussen de 72 en 80 % van de Measurement Reports wordt naar de schakel gematcht waarop ze ook gegenereerd zijn. Tussen de 70 en 75 % van de ritten wordt naar een traject gematcht dat volledig deel uitmaakt van de gereden route. Voor de Point-based methode liggen de percentages iets gunstiger, maar daar staat tegenover dat slechts 33% van de ritten als niet stationair worden aangemerkt.

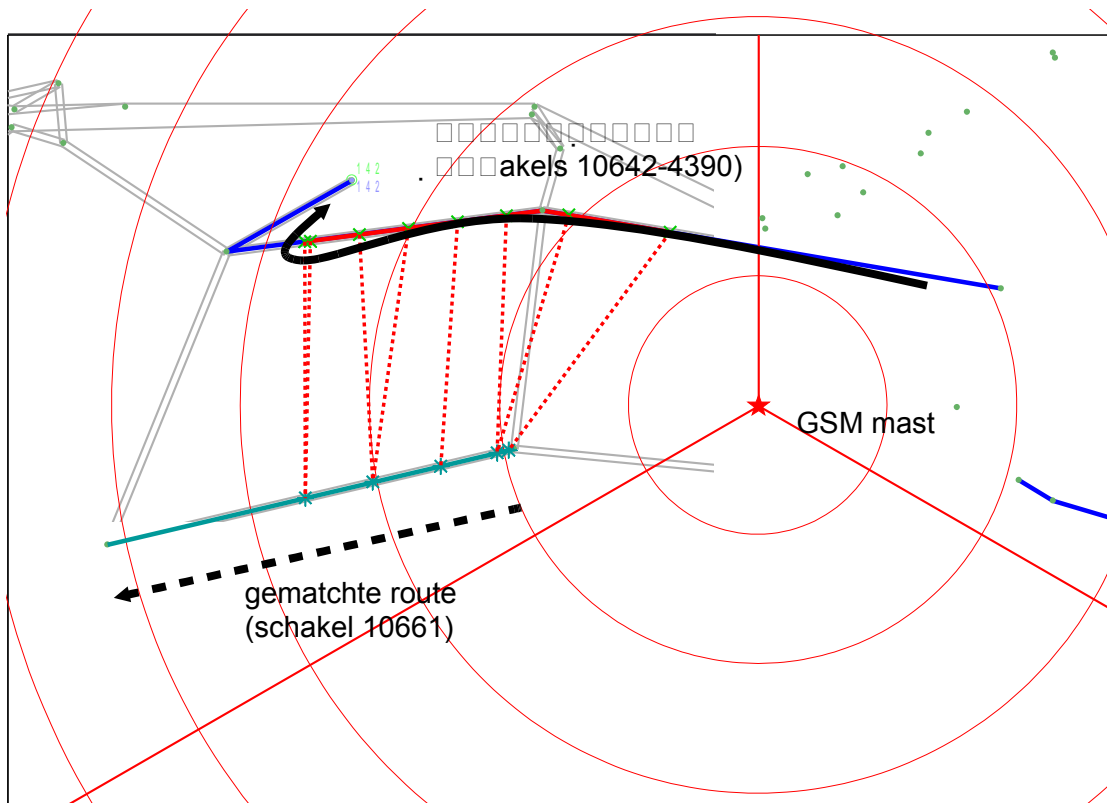
Tabel 4: *Kentallen van het mapmatch proces (case Rotterdam)*

	Area-based Methode (variant R_000)	Point-based Methode (variant R_013)
relatieve residuele locatie fout	-	0.24
% niet stationair	48.03	33.52
% MR naar correcte schakel	72.28	79.18
% ritten naar correcte route	70.18	74.49

De getallen in Tabel 4 hangen af van de karakteristieken van het netwerk, het belverkeer, de waarnemingsmethode en het mapmatch algoritme, maar zijn niet afhankelijk van het *aantal* te matchen ritten. Hoe beter deze indicatoren uitvallen, hoe beter de reistijd en intensiteitschatting zullen zijn. Het aantal gematchte ritten is echter de andere belangrijke factor in de kwaliteit van de reistijd en intensiteitschatter. Aannemende dat alle parameters vast liggen, met uitzondering van de waarneemperiode, zou men deze laatste moeten aanpassen aan de vereiste nauwkeurigheid van de schatting. De getallen in Tabel 4 bepalen in belangrijke mate hoe deze trade-off uitvalt.

Alhoewel het mapmatchen in de meeste gevallen goed verloopt zijn er ook een aantal typische situaties aan te geven waarin fouten optreden.

Een voorbeeld hiervan is in Figuur 8 te zien. In dit figuur is te zien dat er twee routes zijn, die op basis van de gerapporteerde sectoren niet van elkaar kunnen worden onderscheiden. Dit is een typische kwaal die kan optreden bij Area-based matching. Omdat als eis wordt toegepast dat een rit in tenminste in drie sectoren is waargenomen voordat deze als niet stationair wordt gekwalificeerd, is het aantal situaties waarin een fout zoals in Figuur 8 optreedt redelijk beperkt. Merk bijvoorbeeld op dat de fout niet zou zijn opgetreden indien het gesprek iets eerder zou zijn begonnen.

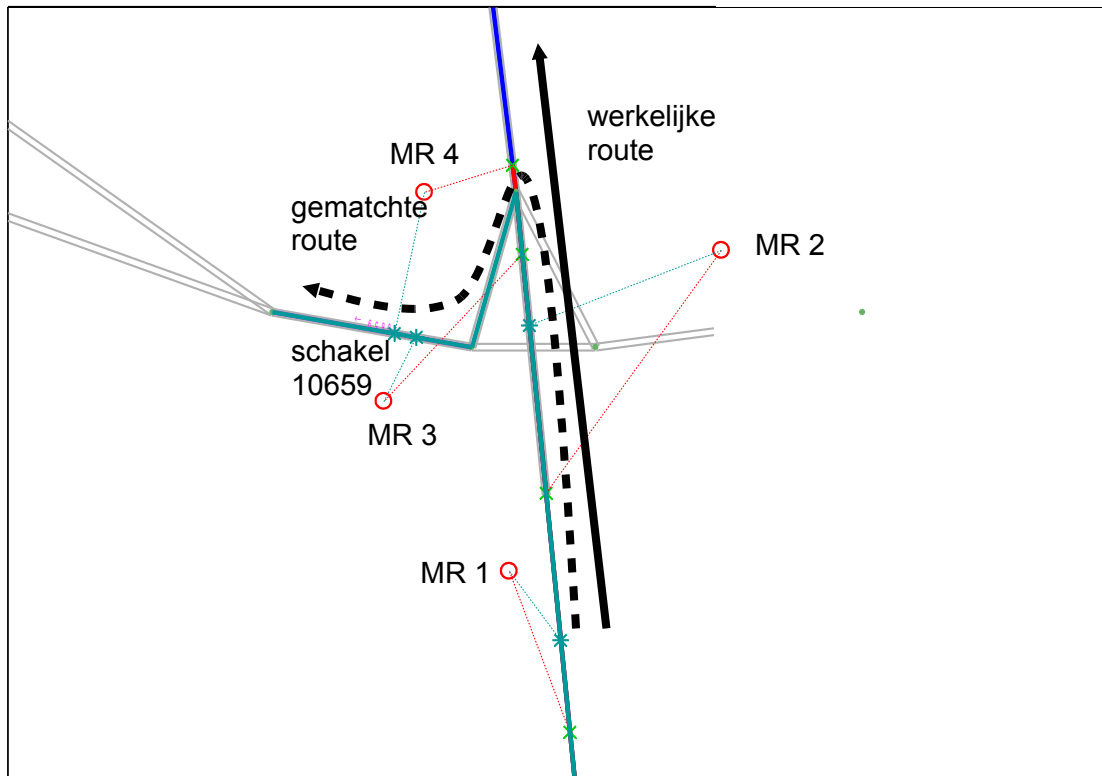


Figuur 8: Twee trajecten die op basis van Area-based matching niet van elkaar te onderscheiden zijn. De groene x symbolen representeren de werkelijke positie. De blauwe * symbolen representeren de gematchte positie.

Een ander voorbeeld is te zien in Figuur 9. Dit is een illustratie van Point-based map matching. Door een ongelukkige samenloop van omstandigheden suggereren de laatste twee Measurement Reports dat het voertuig de afslag heeft genomen terwijl dit niet zo is. Ook nu geldt dat de fout waarschijnlijk niet zou zijn opgetreden indien het gesprek iets langer of iets korter zou hebben geduurd.

Mapmatch fouten zoals te zien in Figuur 8 en Figuur 9 hebben over het algemeen niet zo veel invloed omdat tegenover iedere foutief gematchte rit vele correct gematchte ritten staan. Dit gaat echter niet altijd op. Wanneer een schakel van zichzelf een lage belasting heeft worden op deze schakels weinig Measurement Reports gegenereerd. In dit geval kan het voorkomen dat het grootste deel van de Measurement Reports die naar deze schakel gematcht worden op een andere

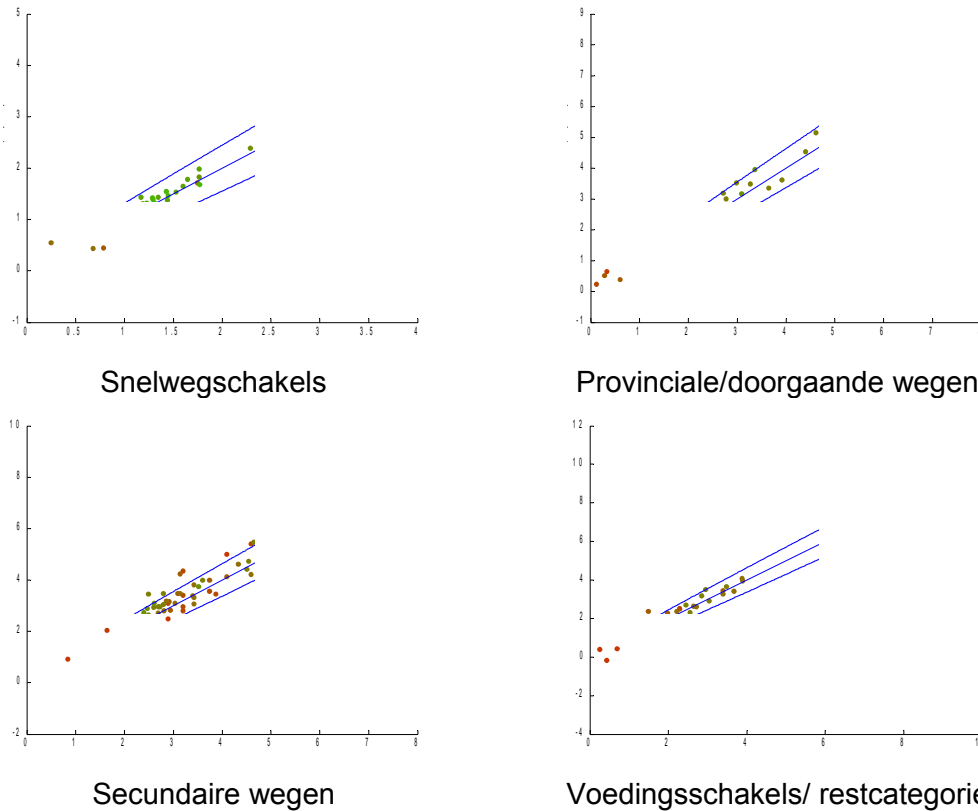
schakel zijn gegeneerd, waardoor grote fouten ontstaan. Een typisch voorbeeld van een dergelijke situatie is als een snelweg een parallel weg heeft.



Figuur 9: Voorbeeld van een typische fout bij Point-based map matching. De laatste twee Measurement Reports suggereren dat het voertuig de afslag heeft genomen terwijl dit niet zo is.

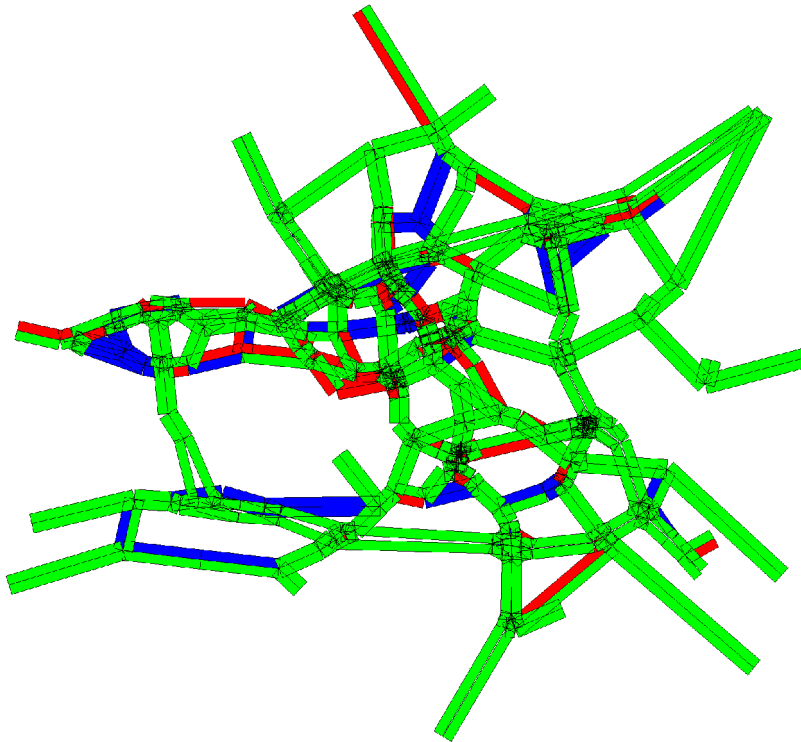
6.3 De geschatte reistijden op schakel niveau

De onderstaande grafieken geven de geschatte versus de werkelijke reistijd weer voor het studiegebied Rotterdam en de Area-based methode. In deze grafieken representeert ieder punt een schakel. Met behulp van een kleurcode die varieert van groen naar rood is het aantal ritten weergegeven waarop de schatting is gebaseerd (groen → veel waarnemingen, rood → enkele waarnemingen)



Figuur 10: *Geschatte versus waargenomen reistijden op schakelniveau, uitgesplitst naar wegtype*

Uit de grafieken blijkt dat voor de categorie ‘snelwegen’ de schattingen uitstekend zijn en dat de kwaliteit iets afneemt naarmate dat de orde van de weg afneemt. De blauwe parabolen komen overeen met de punten waarin de kwadratische fout per minuut reistijd 10% bedraagt. Dit wordt als een acceptabele waarde gezien. Wanneer we alle schakels die buiten de parabool vallen afkeuren, en alle schakels waarvoor onvoldoende waarnemingen beschikbaar zijn beschouwen als niet waargenomen, kan de situatie voor het studiegebied Rotterdam grafisch worden weergegeven. Dit is te zien in Figuur 11.



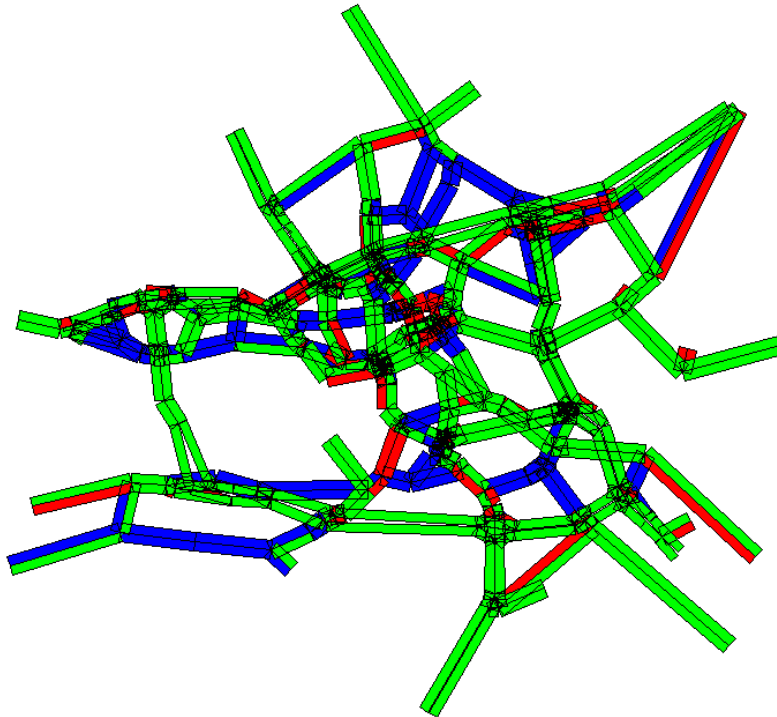
Figuur 11: *Overzicht van de geaccepteerde(groen), verworpen (rood) en niet waargenomen schakels(blauw) voor de basisvariant van het studiegebied Rotterdam. GSM penetratie: 80%.*

Figuur 11 representeert echter voor wat betreft penetratiegraad wel het meest optimistische scenario omdat is uitgegaan van een aandeel van 80% automobilisten met een GSM in de stand-by stand aan boord. Wanneer we uit gaan van de situatie waarin slechts één telecom aanbieder GSM data beschikbaar stelt, en we rekenen deze aanbieder een marktaandeel van 20% toe, dan daalt de penetratie tot 16%. In dit geval verdubbelt het aantal niet waargenomen schakels van 25 tot 50% en neemt de gemiddelde kwadratische fout per minuut reistijd toe van 10 tot 14%. Het resultaat is te zien in Figuur 12.

In beide gevallen kan de reistijd op de snelwegen met een voldoende nauwkeurigheid worden bepaald. Voor het onderliggende netwerk geldt dat de resultaten in belangrijke mate van de GSM penetratie afhangen.

Figuur 11 en Figuur 12 representeren de basisvariant. De kwaliteit van de reistijdschatting neemt toe of af wanneer met de parameters wordt gevarieerd. De Point-based methode levert, niet onverwacht, over de hele linie betere schattingsresultaten op dan de Area-based methode. De Area-based methode blijkt met name gevoelig voor de nauwkeurigheid waarmee de correcte area wordt gerapporteerd. Het huidige mapmatch algoritme gaat er van uit dat het Measurement Report altijd de correcte 'area' rapporteert. Wanneer dit niet gebeurt, lopen de fouten sterk op. Verreweg de duidelijkste verbetering van de reistijd schatting is te zien wanneer extra voorwaarden worden opgelegd met betrekking tot de minimum snelheid. Hierdoor worden alle transitie uitgesloten die impliceren dat de snelheid onder 50% van de free-flow snelheid daalt. In het gesimuleerde netwerk komen dergelijke situaties nauwelijks voor, maar in de praktijk kan het waarnemen van dergelijke situaties echter juist een expliciet doel zijn.

Omdat lage intensiteit en sterk gereduceerde snelheden meestal niet samen optreden ligt een verbetering van het mapmatch algoritme voor de hand, waarbij men de te hanteren minimum snelheid laat afhangen van het aantal waargenomen voertuigen. In dit geval wordt voor snelwegen geen minimum snelheid toegepast en op schaars bereden wegen wel. Deze variant van de methode is echter niet in de huidige studie beproefd

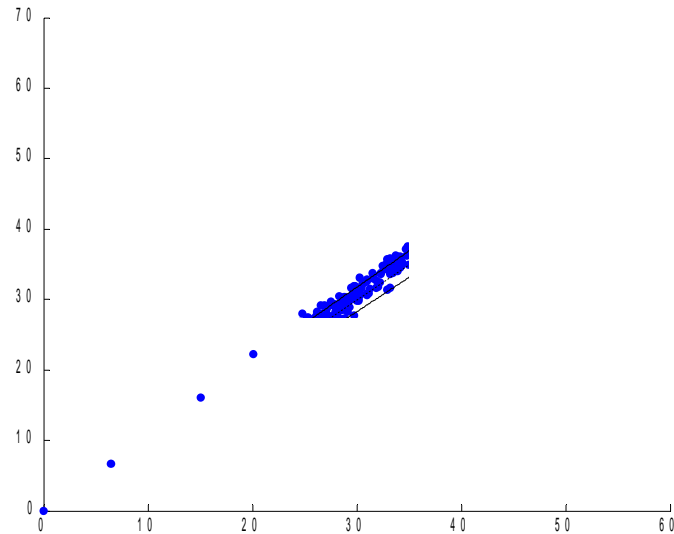


Figuur 12: *Idem als vorig figuur. GSM penetratie: 16%.*

6.4 De geschatte reistijden op route niveau

De reistijden op routeniveau worden getoond in Figuur 13. Iedere stip in dit figuur representeert één relatie. Ook relaties die nauwelijks verkeer genereren zijn in het figuur opgenomen (en zijn verantwoordelijk voor de grootste afwijkingen). Omdat schattingsfouten die op schakelniveau optreden elkaar op routeniveau gedeeltelijk compenseren zijn de relatieve fouten op routeniveau betrekkelijk gering.

Er lijkt sprake te zijn van een lichte bias naar boven. Dit zou kunnen samenhangen met het feit dat ritten waarop langzaam gereden wordt, een iets grotere kans met zich meebrengen dat tijdens de rit twee keer gebeld wordt. Dit zou kunnen leiden tot een oververtegenwoordiging van langzame ritten in de steekproef. Ook de kans dat ten minste één maal gebeld wordt is voor langzame ritten groter, maar de opzet van het simulatie model houdt hier geen rekening mee.



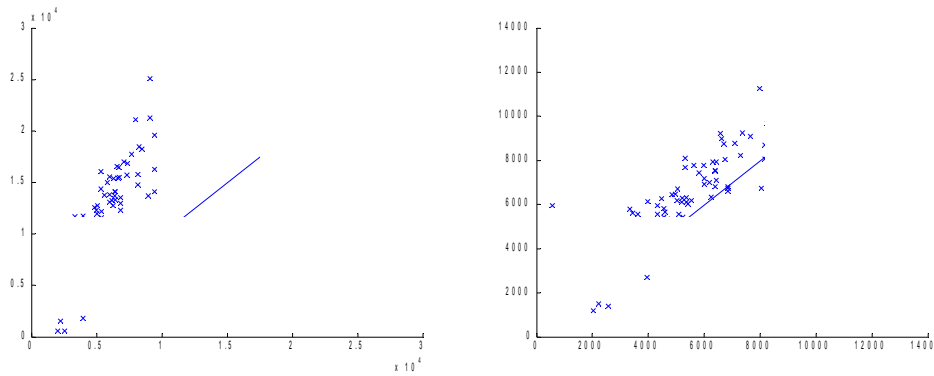
Figuur 13: *Geschatte versus waargenomen reistijd voor de basis variant van het studiegebied Rotterdam (Area-based methode)*

6.5 De geschatte intensiteiten

Het matchen van Measurement Reports naar het netwerk impliceert een aantal 'virtuele' tellingen. Deze tellingen worden opgehoogd met ophoogfactoren zoals besproken in sectie Fout: Bron van verwijzing niet gevonden. De opgehoogde tellingen kunnen vervolgens weer worden uitgezet tegen de werkelijke intensiteiten. Het resultaat is te zien in Figuur 14, links. Uit dit figuur blijkt dat de intensiteit behoorlijk wordt overschat. Na enig experimenteren blijkt dat de vertekening alleen optreedt indien een selectie ten behoeve van het identificeren van niet-stationaire bellers wordt toegepast. Wanneer deze selectie achterwege blijft treedt de systematische vertekening niet op, zie Figuur 14, rechts.

Het negeren van bellers die in minder dan het vereiste aantal sectoren zijn waargenomen wordt in de huidige schatter door een enkele ophoogfactor gecompenseerd. Deze ophoogfactor wordt berekend als het totaal aantal bellers gedeeld door het geaccepteerde aantal bellers (met andere woorden: het aantal bellers dat als niet-stationair is aangemerkt). Omdat alleen bellers worden geaccepteerd die in meerdere sectoren zijn waargenomen wordt echter een steekproef gecreëerd waarin de lange ritten oververtegenwoordigd zijn. Omdat lange ritten op meer schakels bijdragen aan de intensiteit ontstaat een overschatting.

Voor schakels waar stationaire bellers geen rol spelen zou men de intensiteiten kunnen schatten op basis van alle ritten. Ook in dit geval blijven de resultaten echter matig tot slecht. Hier komt nog bij dat in de huidige studie verstoringen, zoals fluctuaties in belduur en belfrequentie niet zijn meegenomen. Ook is de invloed van de verkeerssituatie op het belgedrag niet gemodelleerd, terwijl in de praktijk vermoedelijk een correlatie bestaat tussen congestie en belgedrag. Wellicht zijn verdere model verbeteringen nog mogelijk, maar voorlopig is de conclusie dat GSM data zich niet lenen voor het schatten van intensiteiten, ongeacht het wegtype.



Figuur 14: *Geschatte versus waargenomen intensiteiten. Basis variant, Area-based matching, Rotterdam. Links: Er zijn alleen ritten gematcht die in tenminste drie sectoren zijn waargenomen. Rechts: alle ritten zijn gematcht.*

7 Slotopmerkingen

Floating car data zijn vooral een geschikt middel om reistijden in verkeersnetwerken te bepalen. Het feit dat op het HWN in Nederland op veel plaatsen het Monica systeem beschikbaar is vormt een remmende factor. Op trajecten met een lage verkeersintensiteit laat de responstijd van FCD te wensen over. De meest veelbelovende toepassingsgebieden lijken daarom qua geografie te liggen op de meer intensief gebruikte gedeeltes van het OVN en de niet gemonitorde gedeeltes van het HWN en qua dynamiek op toepassingen waarbij zuiverheid van de geschatte reistijden belangrijker is dan responstijd.

Voor het inwinnen van gegevens over intensiteiten of het signaleren van incidenten is FCD minder geschikt.

De kwaliteit van de gegevens die FCD leveren data hangt in de eerste plaats af van het aantal waargenomen voertuigen per tijdseenheid, en niet zozeer van het percentage van verkeer dat als probe voertuig fungeert.

Kansen voor Floating car data ontstaan indien tegen geringe kosten een aanzienlijk gedeelte van de voertuigvloot als probe voertuig kan worden uitgerust. Dit kan gerealiseerd worden door het GSM systeem te gebruiken. Op de langere termijn bieden het terugkoppelen van gegevens van voertuignavigatie en de invoering van de elektronische kentekenplaat kansen voor het FCD concept.

8 Bijlage: projecten op het gebied van Floating car data in Nederland

In de Nederlandse context kunnen de volgende projecten vermeld worden:

- Socrates (consortium bestaande uit o.a. Philips). Het Socrates project bouwde voort op het in-car route guidance systeem CARIN. Bij CARIN vond plaatsbepaling plaats op basis van deadreckoning en map-matching. De aldus te reconstrueren schakel reistijden werden via een GSM uplink naar een centrale computer doorgeseind. Met deze experimenten werd in 1989 begonnen, in 1992 en 1993 werden grootschaliger projecten uitgevoerd;
- Prelude (Rijkswaterstaat). Het principe van Prelude is gelijk aan dat van het Socrates project, alleen werd bij Prelude gebruikgemaakt van GPS als plaatsbepalingstechniek; Net als bij Socrates, wordt een GSM verbinding gebruikt om de plaatsbepalinggegevens naar de centrale te versturen;
- M. Westerman (1995) Real Time Traffic Data collection for Transportation Telematics, Proefschrift, TU Delft, 1995
- Ten behoeve van het inwinnen van de statistiek van het verplaatsingsgedrag die het CBS in Nederland uitvoert zijn in het verleden experimenten gedaan waarbij de verplaatsingen van proefpersonen via GPS plaatsbepaling werden vastgelegd;
- Diverse inventarisaties en toekomstverkenningen in opdracht van het Directoraat-Generaal Telecommunicatie en Post van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Specifiek op de GSM techniek gericht is de studie: "Verkeersinformatie via GSM, haalbaarheidsonderzoek";
- "Traffic monitoring using handheld GSM phones", deze studie is door de TU Delft uitgevoerd in opdracht van Syntack, een samenwerking van Libertel en Ericsson; Het betreft een gecombineerde literatuur- en simulatiestudie. In de simulatiestudie worden enkele eenvoudige situaties, zoals kruisende en parallelle trajecten, geanalyseerd;
- Bepaling steekproefgrootte FCD data (Goudappel i.o.v. Rijkswaterstaat). Dit is een onderzoek dat parallel aan het huidige onderzoek wordt verricht en tot doel heeft om te bepalen welke aantallen voertuigen met GPS apparatuur moeten worden uitgerust om op een zinnige wijze verkeersinformatie te kunnen inwinnen via dit systeem;
- Intermezzo. Dit betreft een veldtest waaraan door de Meetdienst van Rijkswaterstaat via een stimuleringssubsidie wordt bijgedragen. De test wordt door het consortium Siemens-CMG wordt uitgevoerd. In dit project wordt zowel GPS als GSM als inwintechiek toegepast (de technieken worden vooralsnog apart toegepast).
- GSM als informatiebron voor Verkeersbeleid (Modelit i.o.v. Rijkswaterstaat). Een simulatiestudie naar de mogelijkheid om GSM data te gebruiken om bereikbaarheidsindicatoren te berekenen.
- ICT in bereikbaarheid (i.o.v. het stadsgewest Haaglanden, de provincie Zuid-Holland, Rijkswaterstaat en het ministerie van Verkeer en Waterstaat). Lopend project. Deur tot deur reisinformatie en advies met alle mogelijke vervoermiddelen. Inwinning onder andere met behulp van Floating car-data.