

Haalbaarheid van dynamisch verkeersmanagement gebaseerd op gegevensuitwisseling tussen een verkeerscentrale en voertuigen

RA-MOW-2011-015

W. Vandenberghe, E. Vanhauwaert, J. De Mol, D. Carels

Onderzoekslijn Innovatie en technologie



DIEPENBEEK, 2013.
STEUNPUNT MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN
SPOOR VERKEERSVEILIGHEID

Documentbeschrijving

Rapportnummer: RA-MOW-2011-015

Titel: Haalbaarheid van dynamisch verkeersmanagement gebaseerd op gegevensuitwisseling tussen een verkeerscentrale en voertuigen

Auteur(s): W. Vandenberghe, E. Vanhauwaert, J. De Mol, D. Carels

Promotor: Prof. Ingrid Moerman, Prof. Piet Demeester, Prof. Georges Allaert

Onderzoekslijn: Innovatie en technologie

Partner: Universiteit Gent

Aantal pagina's: 77

Projectnummer Steunpunt: 4.1

Projectinhoud: projectinhoud steunpuntproject

Uitgave: Steunpunt Mobiliteit & Openbare Werken – Spoor Verkeersveiligheid, december 2011.

Steunpunt Mobiliteit & Openbare Werken
Spoor Verkeersveiligheid
Wetenschapspark 5
B 3590 Diepenbeek

T 011 26 91 12
F 011 26 91 99
E info@steunpuntmowverkeersveiligheid.be
I www.steunpuntmowverkeersveiligheid.be

Samenvatting

In theorie kunnen gegevens rechtstreeks afkomstig van voertuigen toegepast worden ter ondersteuning van dynamisch verkeerbeheer. Dit concept werd de voorbije 10 jaar in een groot aantal wetenschappelijke publicaties onderzocht onder de noemer Floating Car Data (FCD). Het grote voordeel van een FCD systeem is dat op korte tijd een veel groter gebied kan worden afgedekt dan bij de uitbreiding van de klassieke sensorinfrastructuur bestaande uit inductieve tellussen en videocamera's. Het nadeel is echter dat de FCD techniek minder matuur is dan deze klassieke infrastructuur. Het is onduidelijk of in de praktijk een FCD systeem effectief dezelfde services aan dezelfde kwaliteit kan afleveren als de bestaande systemen. Ook is er onzekerheid over wat de uitrol van een FCD systeem op het einde van de rit effectief zal kosten en hoe deze moet georganiseerd worden. Het is voor beleidsmakers dan ook moeilijk om in te schatten of men beter investeert in het uitbreiden van de huidige infrastructuur gebaseerd op inductieve tellussen en camera's, of dat men beter investeert in de uitrol van een FCD systeem.

Het doel van dit rapport is dan ook om op een gefundeerde manier een uitspraak te kunnen doen over de haalbaarheid van het gebruik van FCD binnen het kader van dynamisch verkeersbeheer. In tegenstelling tot vele bestaande studies zullen we hier geen bottom up maar een top down benadering voor toepassen. Binnen deze context moeten volgende belangrijke vragen beantwoord worden:

- Wat zijn de eisen die gesteld moeten worden aan FCD gegevens? Hoeveel voertuigen moeten uitgerust zijn met een FCD zender alvorens met over een nuttige verzameling gegevens beschikt? Welke data moeten deze doorsturen, en aan welke frequentie?
- Welke functionaliteit kan voorzien worden gebruik makende van deze gegevens? Is deze verschillend voor de verschillende types weg die van toepassing zijn binnen dynamisch verkeersbeheer (autosnelweg, gewestweg, bebouwde kom)?
- Wat is de betrouwbaarheid van een FCD systeem? Kunnen problemen verwacht worden wegens een mogelijke overbelasting van het mobiele datanetwerk bij hoge voertuigconcentraties?
- Wat zal de uitrol van een FCD systeem kosten?
- Hoe kan de uitrol van een FCD systeem het best georganiseerd worden?

Het beantwoorden van deze vragen begint in dit rapport met een uitgebreid literatuuronderzoek. Hieruit kunnen inschattingen worden gemaakt betreffende de antwoorden op de eerste twee groepen vragen, maar deze inschattingen zijn niet nauwkeurig genoeg. Om deze verder te verfijnen wordt gebruik gemaakt van een speciaal ontwikkeld platform gebaseerd op microscopische verkeerssimulatie. Betreffende de laatste drie groepen vragen (impact op het mobiele datanetwerk, kostprijs en organisatie) zijn geen bestaande studies voorhanden. Om deze verder te onderzoeken zullen we gebruik maken van respectievelijk een aangepast model voor belasting van mobiele datanetwerken uit vorig werk, een speciaal ontwikkeld kostenmodel en een speciaal ontwikkeld organisatorisch model (zogenaamde waardenetwerken).

Op grond van de behaalde resultaten kan er besloten worden dat er best gestreefd wordt naar een FCD configuratie met een uitrustingsgraad van 1% waarbij een FCD voertuig elke 10 seconden een monster neemt en lokaal opslaat. Dit monster bevat accurate informatie over de positie en snelheid van het voertuig, en het exacte tijdstip van bemonstering. Elke 30 seconden wordt dan een aggregaat van 3 monsters doorgestuurd naar de FCD server. Bij het opzetten van de verbinding wordt een optimalisatie binnen het beveiligingssysteem toegepast, de zogenaamde SSL restart handshake.

Een FCD systeem zoals hierboven beschreven zal op de autosnelweg in staat zijn om enerzijds per wegsegment een accurate inschatting te maken van de effectieve huidige snelheid en anderzijds om de locatie van een incident en een filestaart correct te bepalen. Op de gewestwegen en in een stadsomgeving zal dit FCD systeem niet in staat zijn om per wegsegment een accurate inschatting te maken van de effectieve huidige snelheid, maar het zal wel in staat zijn om de segmenten in te delen in twee categorieën: normaal verkeer en congestie. Daarnaast zal het systeem op dit soort wegen ook de locatie van een incident en een filestaart correct kunnen bepalen.

De invloed van het voorgestelde FCD systeem op het mobiele datanetwerk is te verwaarlozen. Er worden dan ook geen problemen met de betrouwbaarheid verwacht op basis van overbelasting van het netwerk. Elke FCD client zal per maand slechts ongeveer 1 MB data verzenden naar de server.

Op vlak van kostprijs is op korte en middellange termijn de meest aantrekkelijke optie om FCD data aan te kopen bij een externe partij. Verschillende bedrijven beschikken de dag van vandaag namelijk zelf over floating car data. We denken hierbij aan bedrijven als TomTom, Be-Mobile, Coyote Systems en Wikango. Merk op dat deze lijst zeker niet exhaustief is, een marktstudie zou moeten uitgevoerd worden om deze in detail vast te leggen. Dit valt echter buiten de scope van dit rapport. Een voorzichtige kosteninschatting werd gemaakt, een jaarlijkse kost van 160.000 euro lijkt een haalbare kaart. Dit moet echter geverifieerd worden door de overheid in bilaterale gesprekken met de bedrijven in kwestie.

Op organisatorisch vlak tenslotte is op korte en middellange termijn de meest aantrekkelijke optie ook het aankopen van FCD gegevens bij een externe partij. Het zelf opzetten van een FCD, zei het een open of een gesloten systeem, vereist de coördinatie van veel meer actoren dan bij het gewoonweg aankopen van de gegevens.

Gebaseerd op deze conclusies wordt de aanbeveling naar de overheid toe gemaakt om in een marktonderzoek de lijst van potentiële FCD aanbieders definitief vast te leggen, deze te contacteren en op basis van de verkregen feedback te beslissen of men tot een effectieve uitrol van een FCD system kan en wil overgaan.

English summary

Title: Feasibility of dynamic traffic management based on data exchange between a traffic centre and vehicles.

Abstract

In theory data originating from vehicles can be applied to support dynamic traffic management. This concept is called Floating Car Data (FCD), and has been extensively studied for the past decade. The main advantage of an FCD system is that it allows coverage of an extensive area in a short amount of time. This is in contradiction with the approach of extending the classical sensing infrastructure based on inductive loops and cameras. The downside is that the FCD technology is less mature than the classical infrastructure. It is not clear if in reality a FCD system will be able to effectively provide the same services with the same quality as existing systems. The final cost and organizational approach of an FCD roll-out is also uncertain. Hence policy makers face difficulties when deciding rather to invest in the further expansion of the classical infrastructure based on inductive loops and cameras, or to invest in the roll-out of an FCD system.

The goal of this report is therefore to provide well-founded insights in the feasibility of using FCD in the context of dynamic traffic management. In contradiction to many existing studies we will adopt a top down approach instead of a bottom up approach. Within this research context we aim to answer the following questions:

- What are the requirements for the FCD data? What is the required penetration rate? Which data should be part of the FCD samples? What is the sampling and transmission interval?
- Which functionality can be provided using this data? Are they different for the different types of roads (highway, arterial road, urban environment)?
- Are there reliability issues? What is the impact of the FCD system on the supporting mobile data network in case of high traffic concentrations?
- How much will the roll-out of an FCD system cost?
- How can the roll-out of an FCD system be organized best?

To define an answer to these questions the report starts with an extensive literature study. From this study estimations can be derived regarding the first two groups of questions. However, they are not accurate enough. To further refine them a specially developed platform is utilized. This platform is based on microscopic traffic simulation. Concerning the last three groups of questions (impact on the mobile data network, cost, organization), no existing studies could be found in literature. To further research these questions several techniques are applied: an adjusted model for the determination of the load on a mobile data network that was developed in previous work, a specially developed cost model and a specially developed organizational model (so-called value networks).

Based on the obtained results it can be concluded that it is best to aim for a FCD configuration with a penetration rate of 1% and a sampling rate of 10 seconds. Samples are first stored locally and contain accurate information regarding position and speed of the vehicle, and exact moment of sampling. Every 30 seconds an aggregate of 3 samples is then sent to the FCD server. During connection setup a security optimization is applied: the so-called SSL restart handshake.

An FCD system as described above will be able to make accurate speed estimations in a highway environment. In this environment it will also be able to accurately determine the location of an incident and the tail of a traffic jam. On arterial roads and in urban

environments the FCD system will not be able to make accurate speed estimations. It will however be able to classify road segments in two categories: normal or congested traffic. In this environment it will also be able to accurately determine the location of an incident and the tail of a traffic jam.

The impact of the proposed FCD system on the mobile data network can be neglected. Hence no reliability problems due to network overload are expected. Every month, an FCD client will transmit about 1 MB of data to the server.

Regarding cost the most feasible option on the short and medium long term is to buy the FCD data from an external party. Currently several companies possess their own FCD data. Examples are TomTom, Be-Mobile, Coyote Systems and Wikango. It should be mentioned that this list is not exhaustive, a market study should be performed to define it in more detail. This is however out of the scope of this report. A careful cost estimation was made, an annual cost of 160.000 euro seems feasible. However, this cost estimation should be further verified by the government in bilateral contacts with the different companies.

Regarding organizational aspects, the most feasible option on the short and medium long term again is to buy the FCD data from an external party. For the government to organize an FCD system themselves, either being an open or a closed system, requires the coordination of much more actors compared to the case of just buying the data.

Based on these conclusions it is recommended to the government to perform a market study to finalize the list of possible FCD data suppliers, to contact all of them and to decide based on the received feedback if the roll-out of an FCD system is desired and possible.

Inhoudsopgave

1.	INLEIDING	10
2.	LITERATUUR OVERZICHT	12
3.	GEBRUIK VAN EEN MICROSCOPISCHE VERKEERSSIMULATOR.....	19
3.1	Platform	19
3.2	Scenario's	22
4.	TOEPASBAARHEID FLOATING CAR DATA	26
4.1	Algoritme	26
4.2	Optimale waarde variabele <i>#monsters</i>	27
	4.2.1 Scenario: <i>snelweg</i>	27
	4.2.2 Scenario <i>gewestweg</i>	31
4.3	Bepaling snelheid per weg sectie	33
	4.3.1 <i>Autosnelweg</i>	34
	4.3.2 <i>Gewestweg</i>	34
4.4	Bepaling locatie filestaart	37
4.5	Bepaling locatie incident	39
4.6	Besluit	40
5.	RANDVOORWAARDEN GEBRUIKTE DATA	42
6.	IMPACT OP HET NETWERK.....	47
7.	KOSTEN ANALYSE.....	52
7.1	Kostscenario 1: een intelligent verkeerssysteem	52
7.2	Kostscenario 2: een specifieke hardware unit	53
	7.2.1 <i>Beschrijving</i>	53
	7.2.2 <i>Kostelementen</i>	53
	7.2.3 <i>Resultaten</i>	55
7.3	Kostscenario 3: smartphone applicatie	56
	7.3.1 <i>Beschrijving</i>	56
	7.3.2 <i>Kostelementen</i>	57
	7.3.3 <i>Resultaten</i>	58
7.4	Kostscenario 4: Aankopen van data	59
7.5	Vergelijking en conclusie	61
8.	WAARDENETWERK	63
8.1	Waardenetwerken	63
8.2	Scenario 1 – een volledige ITS	65
	8.2.1 <i>Rollen</i>	66
	8.2.2 <i>Actoren</i>	66
	8.2.3 <i>Mapping van actoren op rollen</i>	67

8.2.4	<i>Interacties tussen actoren</i>	68
8.3	Scenario 2 – een open informatiesysteem	70
8.3.1	<i>Rollen</i>	70
8.3.2	<i>Actoren</i>	71
8.3.3	<i>Mapping van actoren op rollen en hun interacties</i>	71
8.4	Scenario 3 – aankopen van Floating Car Data	72
8.5	Conclusies	73
9.	CONCLUSIES EN BELEIDSAANBEVELINGEN	74
10.	LITERATUURLIJST	75

VERKLARENDE WOORDENLIJST

ABS	ANTI-LOCK BRACKING SYSTEM
CAN	CONTROLLER AREA NETWORK
CSV	COMMA-SEPARATED VALUES
ESP	ELECTRONIC STABILITY PROGRAM
FCD	FLOATING CAR DATA
GPL	GNU GENERAL PUBLIC LICENSE
GPRS	GLOBAL PACKET RADIO SYSTEM
GPS	GLOBAL POSITIONING SYSTEM
ITS	INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEM
IVS	INTELLIGENT VERKEERSSTEEM
MVNO	MOBILE VIRTUAL NETWORK OPERATOR
UMTS	UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATIONS SYSTEM

1. INLEIDING

In theorie kunnen gegevens rechtstreeks afkomstig van voertuigen toegepast worden ter ondersteuning van dynamisch verkeerbeheer. Dit concept werd de voorbije 10 jaar in een groot aantal wetenschappelijke publicaties onderzocht. De term "Floating Car Data" (kortweg FCD) wordt in deze studies zo goed als altijd gebruikt om dit domein te identificeren¹. Het grote voordeel van een FCD systeem is dat op korte tijd een veel groter gebied kan worden afgedekt dan bij de uitbreiding van de klassieke sensorinfrastructuur bestaande uit inductieve tellussen en videocamera's. Het nadeel is echter dat de FCD techniek minder matuur is dan deze klassieke infrastructuur. Het is onduidelijk of in de praktijk een FCD systeem effectief dezelfde services aan dezelfde kwaliteit kan afleveren als de bestaande systemen. Ook is er onzekerheid over wat de uitrol van een FCD systeem op het einde van de rit effectief zal kosten. Het is voor beleidsmakers dan ook moeilijk om in te schatten of men beter investeert in het uitbreiden van de huidige infrastructuur gebaseerd op inductieve tellussen en camera's, of dat men beter investeert in de uitrol van een FCD systeem.

Het doel van dit rapport is om op een wetenschappelijke manier een uitspraak te kunnen doen over de haalbaarheid van het gebruik van FCD binnen het kader van dynamisch verkeersbeheer. In tegenstelling tot vele bestaande studies zullen we hier geen bottom up maar een top down benadering voor toepassen. Met andere woorden, het uitgangspunt is niet dat van een ingenieur die bepaalde technische problemen moet oplossen, maar dat van een beleidsmaker die moet beslissen of het op korte termijn mogelijk is om FCD toe te passen voor dynamisch verkeersbeheer. Binnen deze context moeten volgende belangrijke vragen beantwoord worden:

- Wat zijn de eisen die gesteld moeten worden aan FCD gegevens? Hoeveel voertuigen moeten uitgerust zijn met een FCD zender alvorens met over een nuttige verzameling gegevens beschikt? Welke data moeten deze doorsturen, en aan welke frequentie?
- Welke functionaliteit kan voorzien worden gebruik makende van deze gegevens? Is deze verschillend voor de verschillende types weg die van toepassing zijn binnen dynamisch verkeersbeheer (autosnelweg, gewestweg, bebouwde kom)?
- Wat is de betrouwbaarheid van een FCD systeem? Kunnen problemen verwacht worden wegens een mogelijke overbelasting van het mobiele datanetwerk bij hoge voertuigconcentraties?
- Wat zal de uitrol van een FCD systeem kosten?
- Hoe kan de uitrol van een FCD systeem het best georganiseerd worden?

Het beantwoorden van deze vragen begint in dit rapport met een uitgebreid literatuuronderzoek. Hieruit kunnen inschattingen worden gemaakt betreffende de antwoorden op de eerste twee groepen vragen, maar deze inschattingen zijn niet nauwkeurig genoeg. Bijvoorbeeld betreffende het minimaal aantal uit te rusten voertuigen zijn verschillende antwoorden te vinden in de literatuur. Op de autosnelweg wordt in verschillende studies gesproken over 1 tot 5% van het totale verkeer, in een stadsomgeving variëren de bestaande resultaten van 2 tot 10%. Deze resultaten geven wel al een idee over de grootteorde, maar zijn te vaag om de praktische haalbaarheid accuraat in te kunnen schatten. In België betekent een uitrustingsgraad van 1% namelijk het uitrusten van 60 000 voertuigen, wat haalbaar lijkt. Wanneer dit echter stijgt naar 5

¹Deze benaming is geïnspireerd door de analogie van het gegevens doorsturende voertuig met een kurk die meedrijft in een rivier.

en 10% spreken we al over 300 000 en 600 000 voertuigen, wat een stuk moeilijk wordt. Het is dan ook noodzakelijk dat we binnen dit steunpuntonderzoek deze randvoorwaarden verder zullen verfijnen. Een gelijkaardige opmerking kan gemaakt worden voor de toegepaste intervallen tussen bemonstering van GPS gegevens en transmissie van een reeks van deze gegevens naar de centrale server. In de literatuur zijn er studies te vinden die spreken over een paar seconden tussen elk nieuw genomen monster, terwijl anderen 30 seconden als aanvaardbare oplossing voorstellen. Dit verschil heeft echter een grote impact op de uiteindelijke hoeveelheid data die zal geproduceerd en gecommuniceerd worden. Het optimale interval tussen twee transmissies van een aantal monsters naar de centrale server werd in de literatuur met moeite onderzocht. De randvoorwaarden voor zowel het interval tussen bemonstering en het interval tussen transmissie moeten in dit rapport dan ook verder worden verfijnd.

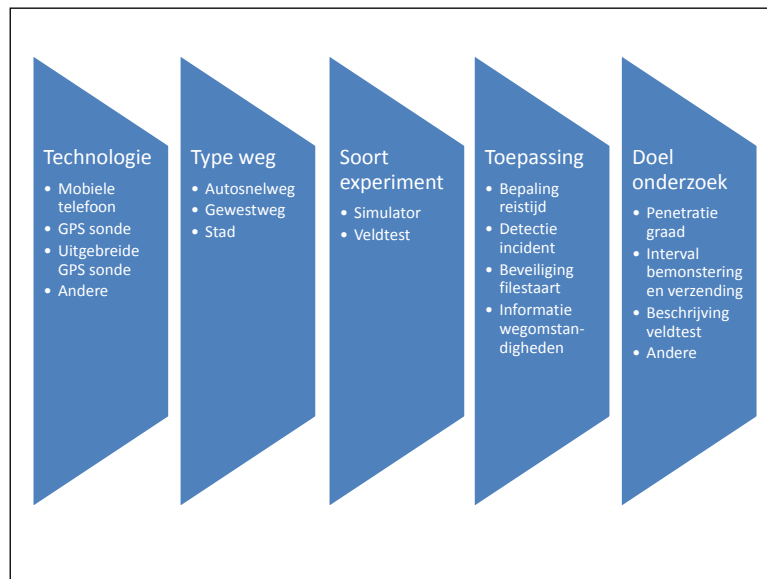
Om de hierboven vermeldde randvoorwaarden te kunnen onderzoeken wordt in deze studie gebruik gemaakt van een microscopische verkeerssimulator. Gebruik makende van deze simulator worden een aantal representatieve scenario's uitgewerkt. Hierbij komen de verschillende types weg aan bod: de autosnelweg, gewestweg en stadsomgeving. Tevens wordt rekening gehouden met verschillende intensiteiten van verkeer ('s nachts, gewoon verkeer, lichte congestie, zware congestie, incident). Op basis van deze scenario's wordt dan een FCD systeem gesimuleerd waarbij uitrustingsgraad, interval tussen bemonstering en interval tussen transmissie gevarieerd kunnen worden. Op basis hiervan kunnen dan voor de verschillende scenario's de gepaste minimale randvoorwaarden vastgelegd worden.

Deze minimale randvoorwaarden kunnen dan toegepast worden om de andere onderzoeksvragen te beantwoorden. In de literatuur zijn namelijk nog geen studies te vinden die deze reeds onderzochten. Mogelijke problemen door overbelasting van het mobiele datanetwerk worden bestudeerd aan de hand van een model dat de auteurs van dit rapport ontwikkelden in vorig werk. Dit model was origineel bedoeld om te kunnen inschatten wat de belasting op het netwerk is wanneer men zou overgaan tot de introductie van een GPS gebaseerde variabele wegenbelasting in België. Mits correcte aanpassing van de gebruikte parameters is het echter ook geschikt voor het inschatten van de belasting veroorzaakt door een FCD systeem.

Voor het inschatten van de kosten wordt binnen dit rapport een model ontwikkeld dat voor verschillende scenario's de kost kan bepalen. Aan de hand van wat men noemt waardenetwerken wordt tenslotte aangetoond wat de meest aantrekkelijke manier is om op korte termijn een FCD systeem te organiseren.

2. LITERATUUR OVERZICHT

Het gebruik van FCD werd de voorbije 10 jaar in een groot aantal wetenschappelijke publicaties onderzocht. Deze bestaande studies analyseerden verschillende aspecten betreffende FCD, en kunnen op verschillende manieren opgedeeld worden. Zoals weergegeven in Figuur 1 maken wij een onderscheid tussen de technologie die toegepast wordt, het soort weg waarover gegevens worden verzameld, het soort experiment dat werd uitgevoerd, de toepassing die gebruik maakt van de FCD en het eigenlijke wetenschappelijke doel van de publicatie.



Figuur 1: Opdeling bestaande literatuur

Op basis van **technologie** kunnen vier verschillende trends geïdentificeerd worden. De eerste is het gebruik van gegevens over de locaties van **mobiele telefoons** als informatiebron (Bar-Gera, 2007) (Avni, 2009) (Schäfer et al., 2009). Het voordeel van deze techniek is dat in elk voertuig wel één of meerdere mobiele telefoons aanwezig is. Geen aanpassingen aan de toestellen zijn vereist aangezien de plaatsbepaling centraal gebeurt door triangulatie t.o.v. de base stations van het netwerk. Nadeel is wel dat een toestel in gesprek moet zijn om relatief nauwkeurig gelokaliseerd te kunnen worden, en zelfs in dat geval is de nauwkeurigheid van deze plaatsbepaling een stuk lager dan bij GPS gebaseerde systemen. Dat maakt deze systemen dan ook het meest geschikt voor de autosnelweg, in stadsomgevingen wordt de nauwkeurigheid een probleem. Tevens moet het gesprek een aantal minuten duren omdat men eigenlijk alleen een nauwkeurige positiebepaling krijgt wanneer het voertuig de overgang maakt van de ene netwerkcel naar de andere. Door het bepalen van de afstand en tijdsverschil tussen deze verschillende punten kan dan een reistijd berekend worden. Aangezien een netwerkcel langs de autosnelweg gemiddeld in België 2.4 km lang is (Vandenberghe et al., 2009), moet een toestel toch een paar minuten in gesprek blijven om nuttige informatie te kunnen leveren.

De **GPS sonde** is de meest voorkomende techniek. In dit geval wordt in een aantal voertuigen een toestel geïnstalleerd dat dankzij een GPS ontvanger op regelmatige tijdstippen zijn positie en eventueel snelheid nauwkeurig kan bepalen. Gebruik makende van draadloze communicatie (typisch GPRS of UMTS) kunnen deze gegevens op regelmatige basis doorgezonden worden naar een centrale server die deze verder zal verwerken (de Fabritis et al., 2008) (Fang et al., 2009) (Körner, 2009) (Li, X. et al., 2009) (Wei et al., 2009) (Liu & Li, 2010) (Rahmani et al., 2010). Het grootste voordeel

van deze techniek is de nauwkeurigheid, waardoor deze zowel toepasbaar is op de autosnelweg als in een stadsomgeving. Het nadeel is echter dat de kostprijs hoger is dan de vorige techniek omdat enerzijds een specifiek FCD toestel in een relatief groot aantal voertuigen moet geïnstalleerd worden, en er aan elk toestel een maandelijkse communicatiekost verbonden is. Door het grote aantal uit te rusten voertuigen vereist het ook meer inspanningen om de uitrol van zo een systeem te coördineren.

Een derde gekende techniek is de **uitgebreide GPS sonde**. Deze vertrekt van de klassieke GPS sonde zoals hierboven beschreven, maar voegt daar informatie aan toe die afkomstig is van extra sensoren (Huber et al., 1999) (Breitenberger et al., 2004) (Sjölander, 2008) (Llorca et al., 2010). Typisch wordt hiervoor gebruik gemaakt van wat men noemt de CAN bus in het voertuig. Dit is een generieke databus die aanwezig is in alle moderne voertuigen, en gebruikt wordt voor de communicatie tussen de sensoren, controllers en actuatoren binnen het voertuig. Door een GPS sonde aan deze bus te koppelen (typisch via dezelfde aansluiting als degene die in de garage gebruikt wordt voor diagnose van de motor en andere elektronische systemen) kan interessante informatie verkregen worden. Denk hierbij aan informatie van de thermometer, de regensensor voor het aansturen van de ruitenwissers, de lichtsensoren voor het automatisch inschakelen van de koplampen of de status van de mistlampen. Deze gegevens kunnen gebruikt worden om weersomstandigheden en visibiliteitsinformatie af te leiden in het centrale systeem. Informatie van de ABS of ESP sensoren kan gebruikt worden om gladheid van het wegdek op te sporen. Het voordeel van deze techniek is dat er een aantal interessante extra gegevens kunnen gebruikt worden bij het dynamisch beheer van het verkeer. Het nadeel is dat de kost van het te installeren toestel hoger wordt doordat een koppeling naar de CAN bus moet gemaakt worden. Daarnaast is het formaat van deze gegevens op de CAN bus niet gestandaardiseerd, maar verschillend per wagenfabrikant. Daarnaast is dit formaat niet publiek gedocumenteerd. Dit is een uitdaging voor de praktische introductie van de uitgebreide GPS sonde.

Tenslotte zijn er nog een aantal publicaties te vinden die verkennen of **andere technieken** succesvol ingezet kunnen worden voor het verzamelen van FCD. Naumann (2009) maakt gebruik van een infrarood camera om vanuit een rijdend voertuig de snelheid te bepalen van de voertuigen in zijn onmiddellijke omgeving. Zodoende kan 1 sondevoertuig gegevens verzamelen en doorsturen over een veel groter aantal voertuigen. Het nadeel van deze techniek is de duurdere sensor module, en moeilijkere installatie omdat in dit geval de plaatsing van de camera heel belangrijk is. Hamedi (2009) toont aan dat Bluetooth scanners een valabel alternatief zijn voor inductieve tellussen. Deze scanners worden langs de kant van de weg geplaatst, en vangen het signaal op van mobiele telefoons waarvan de Bluetooth functie ingeschakeld is. In de praktijk blijkt deze techniek ongeveer 3,4% van het doorgaand verkeer accuraat en anoniem te kunnen traceren, wat voldoende bleek te zijn voor toepassing binnen dynamisch verkeersmanagement. Kathmann (2009) beschrijft het gebruik van wegkantinfrastuctuur die gebruik maakt van radar- en laser sensoren om automatisch het doorgaand verkeer te kunnen tellen en doorzenden naar een centrale server. Cho & Rice (2006) ontwikkelden een beeldverwerkingstechniek waardoor standaard lage-resolutie camera's gebruikt kunnen worden om op een autosnelweg de voertuigsnelheden accuraat in te schatten. Het grote voordeel van het werk van zowel Hamedi, Kathmann als Cho is dat er geen sensoren meer in het wegdek moeten geplaatst worden, in tegenstelling tot de momenteel veel toegepaste inductieve tellussen. Dit maakt de uitrol van deze systemen veel eenvoudiger. Het grootste nadeel van de beschreven technieken is echter dat je in tegenstelling tot andere FCD technieken niet direct een dekking hebt van het hele wegennetwerk, maar per gewenst wegsegment nog steeds nieuwe infrastructuur moet voorzien. Roy (2010) onderzocht het gebruik van identificatiemodules die gebruik maken van de IEEE 802.15.4 communicatietechnologie. Het voorstel is om in elk voertuig een zender aan te brengen die het unieke identificatienummer van het voertuig continu uitstuurt binnen zijn onmiddellijke omgeving. Op elk kruispunt wordt een ontvanger geplaatst, die aan de hand van alle binnenkomende berichten kan inschatten op welke wegsegmenten er congestie

plaatsvindt. Op grond van deze informatie kan de regeling van de verkeerslichten op het kruispunt dynamisch worden aangepast. Deze techniek lijkt minder praktisch haalbaar omdat er verwacht wordt dat elk voertuig uitgerust wordt met deze specifieke zender, en dat er op elk kruispunt een ontvanger en controller voor de verkeerslichten wordt voorzien.

Een ander onderscheid dat binnen de bestaande literatuur kan gemaakt worden is de indeling op basis van het **type weg** waarover FCD verzameld wordt. Een aantal publicaties richt zich uitsluitend op de **autosnelweg** (Chen & Chien, 2001), (Davidsson et al., 2002), (Nanthawichit et al., 2003), (de Fabritiis et al., 2008), een aantal anderen concentreren zich op een **stadsomgeving** (Hong et al., 2007), (Fang et al., 2009) (Körner, 2009), (Li, X. et al., 2009), (Liu et al., 2010) (Mu et al., 2010), terwijl sommigen een **combinatie** van beiden onderzoeken (Cheu et al., 2002), (Breitenberger et al., 2004), (Jiang et al., 2006). Wat in deze studies naar voren komt is dat er een belangrijk verschil is tussen autosnelwegen waar er geen verkeerslichten of kruispunten aanwezig zijn, en gewest- en stadswegen waar dit wel het geval is. Bij de eerste categorie verloopt het verkeer namelijk op een vrij statische manier, en is de kwaliteit van de ingeschatte reistijden op basis van FCD relatief hoog. Verkeerslichten veroorzaken echter een zeer hoge dynamiek in het verkeersbeeld, waarbij de ene voertuigen soms minutenlang voor een rood licht stilstaan terwijl andere direct kunnen doorrijden. Typisch zal het verkeer ook bewegen in blokken voertuigen, soms een peloton genoemd. Deze effecten zorgen ervoor dat het een stuk moeilijker is om een accurate inschatting te maken van de effectieve reistijd per wegsegment. Bijzondere aandacht voor dit probleem kan teruggevonden worden in de studies van Körner (2009) en Liu et al. (2010). Daarnaast kent de stadsomgeving nog een aantal andere uitdagingen zoals een slechtere GPS ontvangst door interferentie van hoogbouw, en problemen met de kwaliteit van de kaarten. Li, L. et al. (2010) toonden aan dat een gedetailleerde kaart het een stuk complexer maakt om de map matching op de server uit te voeren. Maar een gereduceerde kaart gebruiken waarop de minder belangrijke wegen zijn weggelaten levert ook problemen op omdat het voertuig dan routes kan gevolgd hebben die voor de server onbekend zijn. Bijgevolg wordt de ontvangen FCD toegepast op de verkeerde wegsegmenten. Ook kan het in de praktijk voorkomen dat wegsegmenten die op elkaar moeten aansluiten op de digitale kaart niet helemaal goed met elkaar verbonden zijn. Hierdoor berekent de server opnieuw verkeerde afgelegde routes, en wordt de FCD opnieuw op de verkeerde wegsegmenten toegepast. Een laatste probleem dat zich met de kaart kan voordoen is dat de aanwezigheid van verkeerslichten niet altijd goed wordt aangegeven op de digitale kaart. Voor de FCD server is deze informatie echter van vitaal belang, omdat hij anders de reeds beschreven hoge dynamiek rond verkeerslichten niet kan compenseren.

Op basis van het **soort experiment** kan men de bestaande literatuur ook gaan opdelen. Hier bestaan twee mogelijkheden. De eerste groep experimenten is gebaseerd op **simulaties**. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een bestaande beschrijving van een verkeerssituatie, typisch een groot bestand met daarin een groot aantal momentopnames waarin steeds een voertuigidentificatie, positie, tijdsaanduiding en optioneel huidige snelheid zijn opgenomen. Deze beschrijving kan enerzijds het resultaat zijn van een meting op een echte autoweg, typisch met bestaande inductieve tellussen. Anderzijds kan deze ook aangemaakt worden met een microscopische verkeerssimulator, waarbij voor een gegeven wegenkaart een realistische verkeerssimulatie kan worden uitgevoerd. Eens een beschrijving van een verkeerssituatie voorhanden is worden op deze gegevens dan een simulatie uitgevoerd van wat een centrale server met deze FCD zou kunnen aanvragen indien deze in ware tijd van de verschillende voertuigen naar de server zou verzonden worden. Denk hierbij aan het inschatten van reistijden, identificeren van incidenten, enz. Het voordeel van de aanpak gebaseerd op simulaties is het feit dat er slechts een beperkt budget voor deze vorm van onderzoek vereist is, dat

de experimenten makkelijk herhaalbaar zijn, en dat verschillende parameters (uitrustingsgraad, bemonsteringsinterval, etc.) heel eenvoudig met elkaar vergeleken kunnen worden. Nadeel is dat simulaties in het algemeen een vereenvoudigde voorstelling zijn van de werkelijkheid, en sommige onverwachte problemen pas aan het licht komen bij een effectieve veldtest. Een groot aantal van de bestaande literatuur maakt gebruik van simulators voor het uitvoeren van de experimenten (Chen & Chien, 2001), (Cheu et al., 2002), (Davidsson et al., 2002), (Nanthawichit et al., 2003), (Jiang et al., 2006), (Hong et al., 2007), (Christensson & Archer, 2009) (Ayala et al., 2010) (Mu et al., 2010).

De tweede vorm van experimenten die kan worden toegepast is de **veldtest**. Hierbij wordt een echte implementatie uitgewerkt, op kleine of grote schaal, en wordt er bepaald of FCD het effectief mogelijk maakt om reistijden accuraat in te schatten en incidenten tijdig op te sporen. In verschillende gevallen wordt gebruik gemaakt van een vloot taxi's binnen een stad die allemaal FCD naar een centrale server doorsturen (Fang et al., 2009), (Körner, 2009), (Li, X. et al., 2009), (Rahmani et al., 2010). Het grote voordeel bij het gebruik van taxi's is dat deze normaal gesproken reeds uitgerust zijn met een systeem voor geautomatiseerde dispatching, waarbij een module aan boord van de taxi om de 30-120 seconden zijn huidige locatie doorstuurt naar de dispatch. Er moet voor het experiment dus geen hardware in de voertuigen geïnstalleerd worden, het volstaat om het systeem van de dispatching te koppelen aan de experimentele FCD server. Daarnaast rijden taxi's in het algemeen heel de dag rond, wat veel meer nuttige data oplevert dan bij gewone voertuigen die veel minder intensief gebruikt worden. Een nadeel echter is het feit dat het interval tussen twee opeenvolgende metingen van een voertuig zo groot is, wat het moeilijk maakt om de effectief gereden route achteraf opnieuw te gaan reconstrueren. Dit is echter een noodzakelijke stap om reistijden te kunnen bepalen. Daarnaast is de dekking van autosnelwegen beperkter met taxi's, deze maken typisch meer gebruik van gewestwegen en stadswegen. Tevens is hun gedrag niet altijd een goede voorstelling van het andere verkeer: ze mogen gebruik maken van busstroken, vermijden soms drukke plaatsen door specifieke sluiproutes te volgen en wanneer ze op zoek zijn naar een klant rijden ze soms zonder reden uitzonderlijke traag of staan ze zelfs gewoon stil langs de weg. Het is dan ook niet verwonderlijk dat sommige auteurs de voorkeur geven aan het werken met gewone personenvoertuigen. Schäfer et al. (2009) maakt gebruik van gegevens afkomstig van personal navigation devices (PND) die via een mobiel netwerk verbonden zijn aan het internet. De Fabritiis et al. (2008) kon zeer mooie resultaten voorleggen gebruik makende van telematica toestellen die door verzekeringsmaatschappijen gebruikt worden voor verzekeringen op maat van de klant (pay as you drive, pay how you drive, etc.). Deze toestellen kenden in Italië in 2006 reeds een marktpenetratie van 1.7%, en in de buurt van Rome (waar het experiment op de autosnelweg werd uitgevoerd) 2.4%. Dit bleek voldoende voor een accurate inschatting van reistijden. Studies gebaseerd op het gebruik van gegevens over mobiele telefoons konden uiteraard ook gebruik maken van een groot aantal uitgerust voertuigen, dit is net één van de grote voordelen van deze techniek (Bar-Gera, 2007), (Avni, 2009). In de praktijk was duidelijk dat met deze techniek 1 tot 3 % van het doorgaand verkeer op autosnelwegen effectief getraceerd werd, voldoende voor een accurate inschatting van reistijden. Een aantal andere publicaties tenslotte installeerden specifiek voor hun experiment FCD zenders in een aantal voertuigen. De schaal van deze experimenten is dan ook een stuk kleiner, deze kunnen dan ook eerder gezien worden als een proof-of-concept dan als een echte veldtest (Huber et al., 1999), (Sjölander, 2008), (Hamaoka & Shikanai, 2009).

Een onderscheid kan ook gemaakt worden tussen de verschillende beoogde **toepassingen** die gebruik zullen maken van de aangeleverde FCD. In het overgrote aandeel van de publicaties is dit een inschatting van **reistijden per wegsegment**. Vaak wordt dit aangevuld met de **automatische detectie van incidenten en filestaarten**. Soms wordt ook een voorspelling op korte termijn van de verkeerssituatie nagestreefd, zoals vermeld door de Fabritiis (2008). In sommige gevallen wordt getracht om een

inschatting te maken van de **weersomstandigheden op de weg**, en bijhorende problemen met visibiliteit of gladheid. Niet toevallig zijn dit dezelfde publicaties als degene die zich concentreren op de uitgebreide GPS sonde (Huber et al., 1999) (Breitenberger et al., 2004) (Sjölander, 2008) (Llorca et al., 2010). In sommige gevallen wordt getracht om aan de hand van FCD automatisch maatregelen te laten nemen om de doorstroming te verbeteren. Zo passen Christensson & Archer (2009) automatisch de inhoud aan die op dynamische verkeersborden langs de weg weergegeven wordt (snelheidslimieten en informatieve boodschappen). Roy et al. (2010) past dan weer automatisch de cycli van verkeerslichten aan.

Tenslotte kunnen we de bestaande literatuur ook gaan opdelen volgens het **doel van het voorgestelde onderzoek**. Eén van de grote vraagstukken die al verschillende malen onderzocht werd is de vraag welke **minimale markt penetratiegraad** er vereist is voor het toepassen van FCD bij het accuraat bepalen van reistijden, incidenten en filestarten. Met andere woorden, hoeveel procent van het totaal aantal voertuigen moet er voorzien zijn van een FCD zender alvorens de verkregen dataset bruikbaar is? Veldtesten kunnen een indicatie geven over grootteordes van penetratiegraden die bruikbare resultaten opleveren. Ze kunnen echter geen eenduidige informatie geven betreffende de minimaal vereiste penetratiegraad. De reden hiervoor is dat ze de geteste uitrustingsgraad niet kunnen variëren, elk experiment vertrekt namelijk van een vaste hoeveelheid uitgerust FCD voertuigen, en kent dus dezelfde constante uitrustingsgraad gedurende het volledige experiment. Zo werd door Bar-Gera (2007) aangetoond dat op een autosnelweg een accurate inschatting van reistijden kan worden gemaakt met een penetratiegraad van 1 tot 3%. In een gelijkaardig scenario werden door Fabritiis (2008) mooie resultaten voorgesteld bij een penetratiegraad van 2.4%. Hetzelfde werd door Hamedi et al. (2009) aangetoond voor een penetratiegraad van 3.4%. De veldtesten die gebruik maakten van taxi's vermelden geen van allen de penetratiegraad die van toepassing, steeds wordt enkel het absoluut aantal taxi's gegeven zonder enige indicatie van de totale populatiegrootte. Dit geldt zowel voor de resultaten van Fank (2009), Körner (2009), Li, X. et al (2009) en Rahmani et al. die respectievelijk 3600, 500, 4000 en 1500 taxi's hadden uitgerust tijdens hun experiment. Naast deze veldtesten bestaan er verschillende studies die aan de hand van simulaties de minimale vereiste penetratiegraad trachten te bepalen. Kerner et al. (2005) presenteerden een specifieke techniek waarbij slechts een uitrustingsgraad van 1.5% vereist is. Deze techniek vraagt echter dat er naast de communicatie over een mobiel datanetwerk nog een tweede communicatiekanaal is: een broadcastkanaal van de server naar alle voertuigen. Dit maakt een effectieve uitrol minder praktisch. Chen & Chien (2001) onderzochten het snelwegscenario en concludeerden dat 1% de minimale penetratiegraad is. Davidsson et al. (2002) onderzocht ook het snelwegscenario, en kwam ook tot het besluit dat in dit geval een penetratiegraad van 1 % vereist is. Nanthawichit et al. (2003) had aandacht voor opnieuw hetzelfde scenario, maar bekwam een minimale penetratiegraad van 4 tot 5 %. Mu et al. (2010) concentreerde zich op de stadsomgeving, en kwam tot het besluit dat in dit geval een minimale penetratiegraad van 10% vereist is. Hong et al. (2007) nam ook de stadsomgeving onder de loep, maar vertoonde in de simulaties de eigenaardigheid dat alle wegen wel uit minimum twee rijvakken bestonden in elke rijrichting. Als minimale penetratiegraad werd 2% bekomen. Cheu et al (2002) simuleerde een gemengd scenario waarin zowel autosnelweg als bebouwde kom was opgenomen, in dit geval kwam men uit op een minimale vereiste penetratiegraad van 3 tot 6 %. Breitenberger et al. (2004) had ook aandacht voor de verschillende wegtypes, maar deed dit niet in één gemengd scenario. Tevens is deze auteur de enige die het probleem van de minimale vereiste penetratiegraad analytisch aanpakt. Het resultaat van deze analyse is dat op de autosnelweg de minimale penetratiegraad 2.4% is, op gewestwegen is deze 10% en in de stad is deze ook 10%.

Een andere belangrijke uitdaging die al in verschillende studies is aangehaald is het bepalen van de meest geschikte waarden voor zowel het interval van bemonstering van FCD als het interval tussen twee opeenvolgende transmissies van deze opgeslagen

monsters naar de centrale server. Deze waarden kunnen namelijk van cruciaal belang zijn voor de praktische haalbaarheid van de FCD oplossing: wanneer teveel monsters worden genomen en deze te snel worden doorgestuurd naar de server kan zowel het mobiele datanetwerk als de server overbelast worden. Wanneer er te weinig monsters worden genomen, of deze met te grote vertraging worden doorgestuurd kan de volledige dataset onbruikbaar worden. Nanthawichit et al. (2003) toonde aan dat op de autosnelweg er zo goed als geen verschil is tussen een **interval voor bemonstering** van 1 seconde of 10 seconden. Bij 30 seconden wordt een aanvaardbare fout geïntroduceerd, terwijl 60 en 180 seconden onbruikbare resultaten opleveren. In deze studie werd ook aangetoond dat er een verband bestaat tussen penetratiegraad en interval voor bemonstering: wanneer het interval groter wordt heb je een hogere penetratiegraad nodig, en omgekeerd. De studie besluit dat op de autosnelweg een penetratiegraad van 4 tot 5% in combinatie met een interval voor bemonstering van 10 tot 30 seconden voldoende is voor het bekomen van accurate resultaten. Wei et al. (2009) toonde aan de hand van een opgenomen set GPS metingen aan dat er een lineair verband is tussen bemonstering interval en relatieve fout bij relatief kleine intervallen (1 tot 11 seconden). Bij elke extra seconde in het interval krijgt men ongeveer 1 % extra afwijking t.o.v. de resultaten bij een interval van 1 seconde. Mu et al. (2010) onderzocht ook het interval van bemonstering, maar beperkte zich tot een stadsomgeving en een relatief klein bereik (0.5 tot 6.5 seconden). De conclusie is gelijkaardig aan de vorige studie: bij kleine intervallen voor bemonstering wordt slechts een kleine fout geïntroduceerd. Wel vermeldt deze studie ook dat er een kritisch punt is, waarna de fout niet meer lineair stijgt. Davidsson et al. (2002) vermeldt dat een **optimaal interval tussen twee transmissies** 15-30 seconden is, en past zijn minimale penetratiegraad aan deze eigenschap aan. De keuze voor dit interval wordt echter niet bepaald door het zoeken naar een optimaal evenwicht tussen vermindering van de communicatiekost en het tijdig beschikbaar zijn van de FCD gegevens voor de bovenliggende applicaties. Deze keuze wordt ingegeven door een compleet ander technisch aspect: in de studie wordt het gebruik van SMS voorgesteld om de FCD te versturen van het voertuig naar de centrale server. Aan een transmissie interval van 15-30 seconden wordt net voldoende data geaggregeerd om één SMS bericht volledig te benutten. In die tijdsgeest (de studie dateert van 2002) was dit de meest logische oplossing en een goede conclusie, maar de dag van vandaag zijn GPRS en UMTS netwerken overal beschikbaar en is dit besluit dan ook achterhaald. Ook de studie van Jiang et al. (2006) had aandacht voor het interval tussen twee transmissies van lokaal opgeslagen monsters. Het scenario was een stadsomgeving, de intervallen waren relatief groot: 5 minuten, 10 minuten en 15 minuten. Het besluit was dat zolang het interval voor bemonstering gelijk werd gehouden, er weinig verschil werd vastgesteld tussen de resultaten met verschillende intervallen voor transmissie. De studie beperkte zich echter tot verkeer zonder incidenten, en bepalen van reistijden voor specifieke segmenten. Het lijkt echter waarschijnlijk dat bij andere applicaties zoals filestaart beveiliging bij een plotse file (b.v. veroorzaakt door een incident) de vertraging tussen bemonstering en transmissie echter wel van groot belang zal zijn.

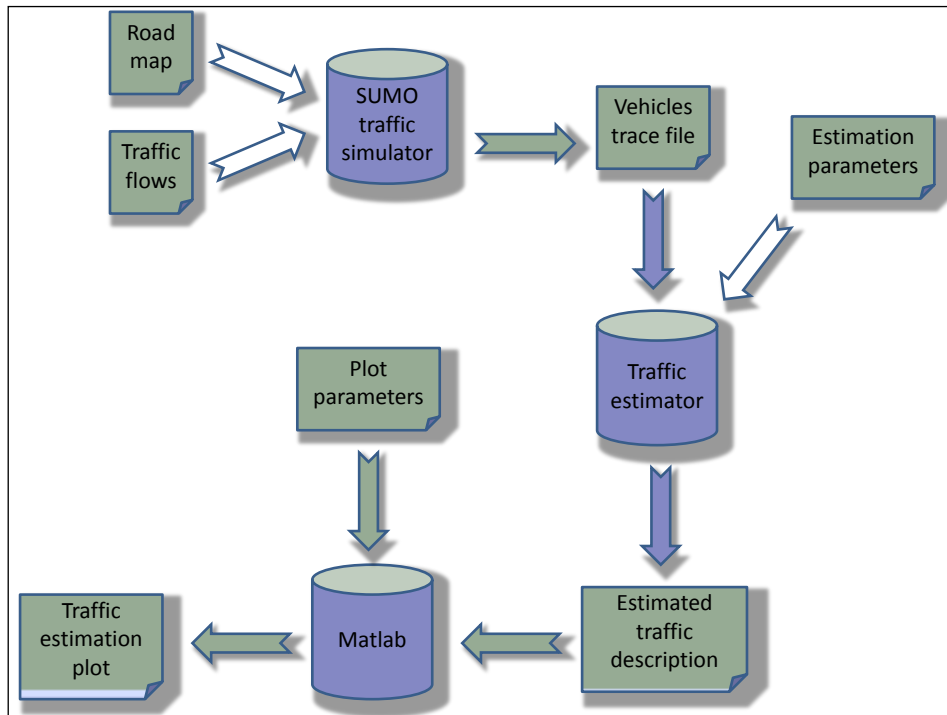
Een derde grote categorie van publicaties heeft als doel het **voorstellen van een uitgevoerde veldtest**, waarmee typisch wordt aangetoond dat in de praktijk FCD bruikbare informatie oplevert. Deze papers werden reeds toegelicht bij het bespreken van het onderscheid op basis van soort experiment.

Uit het voorgaande kan besloten worden dat de meeste publicaties in het domein van FCD zich ofwel concentreren op het bepalen van de minimale benodigde penetratiegraad, het optimaliseren van de intervallen voor bemonstering en transmissie, of het voorstellen van uitgevoerde veldtesten. Een klein aantal studies beschrijven echter nog **andere aspecten van FCD**, en we willen de lezer deze interessante resultaten zeker niet onthouden. De studie van Sziget et al. (2009) presenteert een techniek om de kwaliteit van verschillende FCD datasets te vergelijken, zonder dat de bijhorende digitale kaart voorhanden hoeft te zijn of er complexe berekening moeten worden uitgevoerd. Dit zorgt ervoor dat het algortime zeer snel datasets kan vergelijken. Bij deze vergelijking wordt

vooral uitgegaan van de sterke correlatie tussen de kwaliteit van de FCD gegevens en de dekking van de dataset op gebied van tijd en oppervlak. De techniek is dan ook vooral bruikbaar voor het vergelijken van uitgebreide datasets die opgemeten werden over een groot gebied en over een langere periode. Li, M. et al. (2010) ontwikkelden een techniek om het gebrek aan recente FCD voor bepaalde wegsegmenten op te vangen. Hiervoor wordt eerst een analyse gemaakt van historische data op basis van de gemiddelde verandering in snelheid. Op basis van deze analyse wordt een dag ingedeeld in verschillende tijdsegmenten. Voor elk van deze segmenten wordt een verschillende compensatiestrategie bepaald. Deze strategie bestaat enerzijds uit de compensatie drempel. Dit is de tijdspanne waarbinnen geen nieuwe FCD voor een wegsegment mag binnenkomen alvorens tot compensatie over te gaan. Het andere aspect van de strategie is de wijzigingsgraad van de snelheidskarakteristieken. Deze geeft weer of een grote snelheidswijziging verwacht kan worden tijdens het interval waarvoor FCD ontbreekt. Een compensatie zal slechts worden uitgevoerd als de compensatie drempel werd overschreden en als de wijzigingsgraad van de snelheidskarakteristieken klein is. De compensatie zelf is gebaseerd op de gegevens die ontvangen waren in het vorige tijdssegment.

3. GEBRUIK VAN EEN MICROSCOPISCHE VERKEERSSIMULATOR

3.1 Platform



Figuur 2: Simulatie platform FCD systeem

Zoals besproken in de inleiding zullen binnen dit rapport een aantal randvoorwaarden voor FCD gegevens verder verfijnd worden. Meer concreet zijn we geïnteresseerd in de minimale vereiste markt penetratie graad van FCD zenders, het bijhorende maximale interval tussen bemonstering van GPS gegevens en het maximale bijhorende interval tussen twee transmissies van opgeslagen monsters naar de centrale FCD server. Hiervoor werd in het kader van dit steunpunt onderzoek een specifiek simulatieplatform ontwikkeld. Zoals weergegeven in Figuur 2 is het opgebouwd uit drie software componenten:

- **SUMO microscopische verkeerssimulator²:** deze simulator werd ontwikkeld door het instituut voor transport systemen verbonden aan het Duitse ruimtevaartcentrum DLR. De simulator is open source beschikbaar onder de GPL licentie, en dus gratis in gebruik. De simulator verwacht twee verschillende inputs: een correct opgestelde digitale wegenkaart, en een beschrijving van de verkeersstromen die moeten gesimuleerd worden. Aan de hand van deze gegevens kan de simulator dan heel exact berekenen hoe het verkeer zal verlopen. Hiervoor wordt voor elk voertuig een realistisch bestuurdersmodel toegepast. Voor elke seconde die verloopt binnen de simulatie zal dan voor elk voertuig worden bepaald hoe het zal reageren, en wat zijn nieuwe positie en snelheid zal zijn. Hierbij worden concepten als voorrangregels, verkeerslichten, snelheidsprofielen, etc. in rekening gebracht. Het resultaat van deze simulatie kan

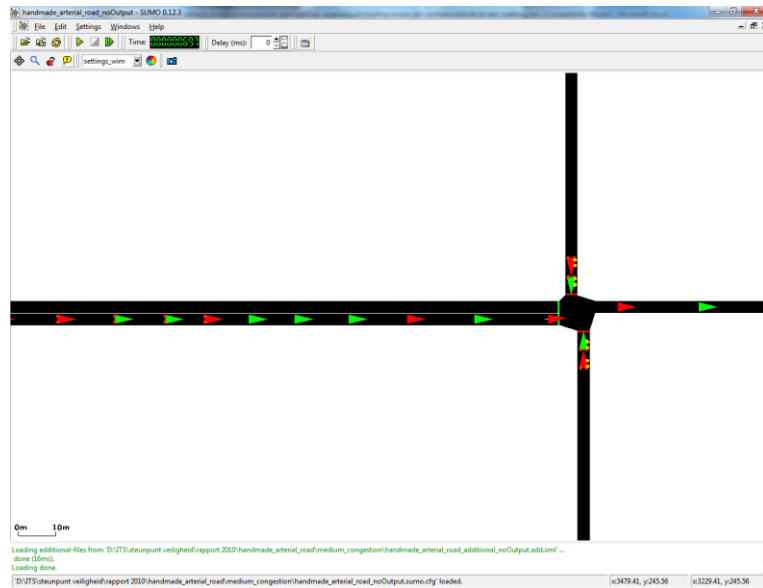
² <http://sumo.sourceforge.net/>

zowel visueel worden weergegeven zoals geïllustreerd in Figuur 3, maar ook in detail in een XML bestand (de zogenaamde trace file) worden opgeslagen. Deze trace file beschrijft voor elke seconde simulatietijd de positie en snelheid van elk voertuig binnen de simulatie.

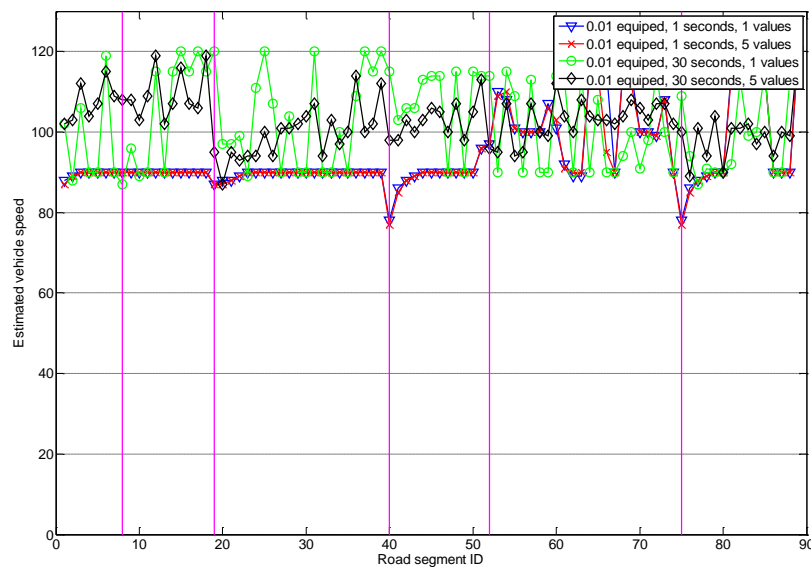
- **FCD inschatter verkeerssituatie:** dit is software die speciaal voor dit steunpuntonderzoek werd ontwikkeld. Deze neemt de SUMO trace file als input, en gaat aan de hand hiervan de SUMO simulatie opnieuw overlopen en tijdens elke stap van X seconden verlopen simulatietijd een inschatting van de verkeerssituatie maken. X is hier gelijk aan het interval voor bemonstering. Het algoritme dat voor de inschatting wordt toegepast wordt in detail uitgelegd in sectie 4.1 . Een aantal parameters voor deze FCD simulatie kan ingesteld worden. Zo kan de gebruiker instellen welke penetratiegraad er gebruikt moet worden. In het begin van de simulatie zal het programma aan de hand van deze parameter een aantal willekeurige voertuigen selecteren waarvan de gegevens gebruikt zullen worden als FCD data. Andere gegevens zullen worden genegeerd. Ook kan meegegeven worden welk interval voor bemonstering gebruikt moet worden. Ook kan de gebruiker bepalen hoeveel vorige monsters door het algoritme moeten gebruikt worden bij berekening van de huidige snelheid op een segment. Daarnaast kan ingesteld worden hoe lang het algoritme binnen de simulatie mag opwarmen alvorens resultaten weg te beginnen schrijven, en voor hoeveel simulatietijd die resultaten weggeschreven moeten worden. Deze resultaten worden opgeslagen in een makkelijk uitwisselbaar CSV bestand voor verdere verwerking.
- **Matlab³:** dit is commerciële software voor het uitvoeren van computationeel intensieve taken. Tevens heeft dit pakket een aantal krachtige voorzieningen om grafieken op basis van scripts te genereren. Zo werd in het kader van dit steunpuntonderzoek een script ontwikkeld dat voor een gegeven tijdstip de ingeschatte verkeerssituatie kan weergeven voor vier verschillende scenario's. Op de X-as wordt elk wegsegment uit de simulatie weergegeven, op de Y-as de bij dat segment horende reistijd die door de FCD inschatter werd berekend. Voor elk scenario kunnen drie parameters ingesteld worden: penetratiegraad, interval tussen bemonstering en aantal vorige monsters die door het algoritme zullen uitgemiddeld worden. Figuur 4 illustreert het bijhorende uiteindelijke resultaat. Merk op dat aan de hand van verticale, gekleurde lijnen speciale wegsegmenten aangeduid worden. In dit voorbeeld wordt een autosnelweg voorgesteld, en de speciale segmenten zijn opritten. Een tweede (gelijkaardig) script kan voor een aantal gegeven segmenten de evolutie van de ingeschatte verkeerssituatie tonen doorheen de tijd. Op de X-as wordt dan de tijd weergegeven, op de Y-as de snelheid die werd geschat voor het gegeven segment. Dezelfde parameters als in het vorige script kunnen ingesteld worden, maar die zijn dan wel gelijk voor elk weergegeven segment. Figuur 5 illustreert het bijhorende resultaat. Merk op dat in beide scripts de gegevens voor het opbouwen van de grafiek worden gehaald uit verschillende CSV bestanden die door de FCD inschatter werden gemaakt. Het is dus nodig dat voor de gewenste vier scenario's de FCD inschatter reeds de simulaties heeft uitgevoerd met de daarbijhorende specifieke parameter waarden. Om makkelijk verschillende parameters met elkaar te kunnen vergelijken werd in een voorbereidende fase voor elk scenario (autosnelweg of gewestweg, elk in combinatie met 5 verschillende verkeerssituaties, zie ook sectie 3.2) een groot aantal van deze simulaties op automatische wijze uitgevoerd. Voor penetratiegraad werden volgende waarden gekozen: 100%, 10%, 5%, 1%, 0.5% en 0.1%. Voor het interval tussen bemonstering werd gekozen voor 1, 10, 20, 30, 60, 120 en 240 seconden. Voor het aantal monsters dat uitgemiddeld wordt door

³ <http://www.mathworks.com/products/matlab/>

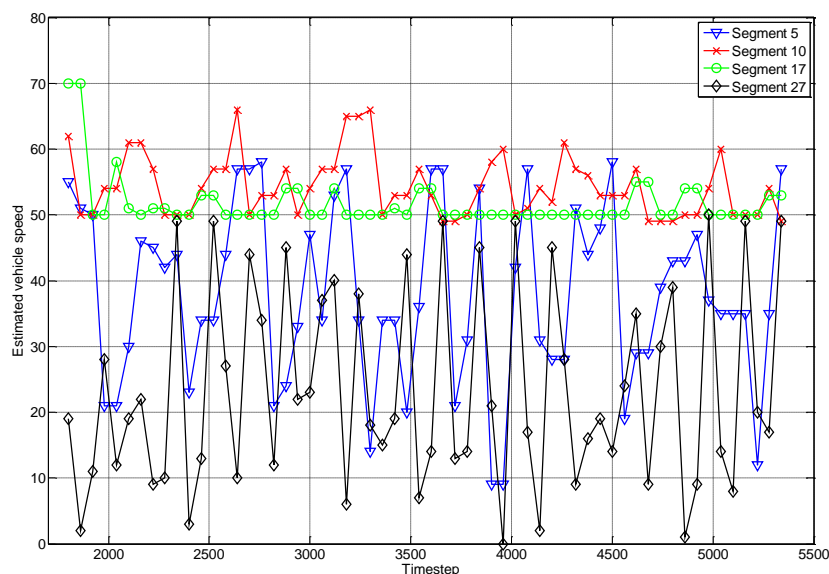
het algoritme (zie ook sectie 4.1) werd 1, 2, 3, 5 en 10 gekozen. Voor elke mogelijke combinatie van deze drie parameters werd een simulatie uitgevoerd.



Figuur 3: Screenshot visuele weergave SUMO simulator



Figuur 4: Matlab weergave verkeerssituatie voor een gegeven tijdstip



Figuur 5: Matlab weergave inschatting doorheen de tijd voor gegeven wegsegmenten

3.2 Scenario's

Zoals vermeld in de inleiding willen we bij de simulaties rekening houden met de verschillende types weg die binnen het dynamisch verkeersbeheer kunnen worden onderscheiden: de autosnelweg, gewestweg en stadsomgeving. Tevens willen we ook rekening houden met verschillende intensiteiten van verkeer ('s nachts, gewoon verkeer, lichte congestie, zware congestie, incident). Zoals vermeld in sectie 3.1 is het noodzakelijk om een digitale kaart in het juiste formaat te voorzien die door de SUMO simulator gebruikt kan worden. Hiervoor werden verschillende mogelijkheden onderzocht. Er werd gekeken of gebruik gemaakt kon worden van een digitale kaart beschikbaar gesteld door het Agentschap voor Geografische Informatie Vlaanderen⁴. Deze kaart is opgesteld in het shapefile bestandsformaat, en kan in theorie omgezet worden naar het SUMO formaat aan de hand van software die bij SUMO geleverd wordt. In de praktijk bleek dit echter niet goed te lukken omdat cruciale informatie zoals de maximaal toegelaten snelheid per wegsegment niet aanwezig bleek te zijn in de beschikbare kaart. Een tweede optie was het gebruik van gegevens afkomstig van OpenStreetMap⁵. Deze kaartinformatie is namelijk vrij beschikbaar, en kan ook omgezet worden aan de hand van software die bij SUMO geleverd wordt. In de praktijk bleek de kwaliteit van deze kaart niet goed genoeg te zijn voor toepassing binnen SUMO. De kaarten van OpenStreetMap worden namelijk opgesteld door vrijwilligers, en het kwam dikwijls voor dat twee wegsecties die met elkaar verbonden zouden moeten zijn twee verschillende eindpunten hadden die n t niet overeenkomen. Dit is niet duidelijk in de visuele weergave op de OpenStreetMap website, maar zorgde er wel voor dat binnen SUMO de wegen niet aan elkaar waren aangesloten, en het verkeer daar dus blokkeerde. Er werd bekeken of deze fouten niet manueel konden aangepast worden, maar dit bleek zeer arbeidsintensief.

Bij gebrek aan goede kaarten werd besloten om met de hand een aantal eenvoudige kaarten op te stellen die rechtstreeks in het SUMO formaat gecodeerd zijn. Hoewel dit ook relatief arbeidsintensief was bleek deze aanpak met voorsprong de meest werkbare oplossing te zijn. Eerst werd een stuk weg gekozen dat als scenario zou dienen, en dan

⁴ <http://www.agiv.be/gis/>

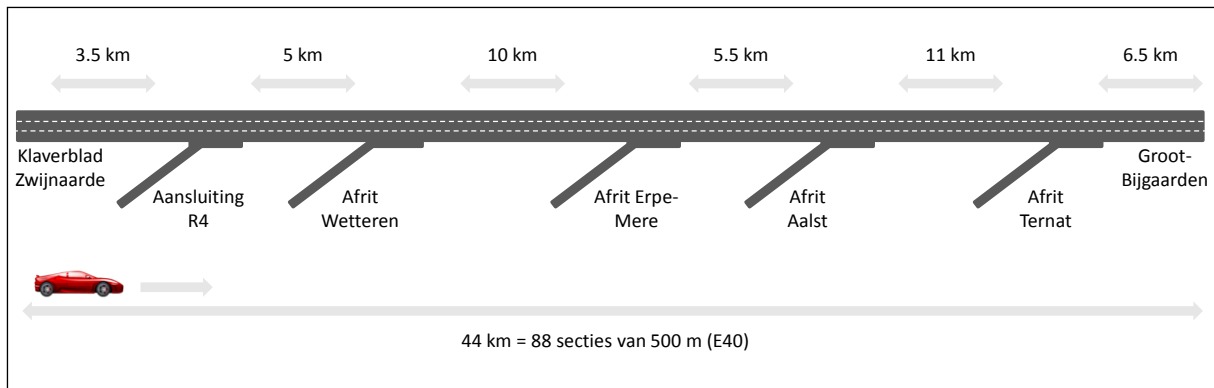
⁵ <http://www.openstreetmap.org/>

werd met de hand een logische voorstelling van deze weg gemaakt. Hierbij werden aantal rijvakken, snelheidslimieten, opritten, kruispunten en verkeerslichten gemodelleerd naar de werkelijke situatie. Voor het bepalen van de correcte afstanden tussen opritten en kruispunten werd een beroep gedaan op Google Earth⁶. Binnen deze applicatie kunnen namelijk makkelijk afstanden opgemeten worden tussen twee herkenbare punten op een gedetailleerd satellietbeeld. Om het manuele coderen van de kaart werkbaar te houden werd het exacte verloop van de weg niet voorgesteld. Met andere woorden bochten werden weggelaten, de volledige weg in de simulatie bevindt zich in één rechte lijn. Dit is echter niet van belang aangezien de gekozen scenario's geen van allen scherpe bochten bevatten, en deze vereenvoudigde voorstelling dus weinig zal verschillen van een meer gedetailleerde voorstelling.

Het snelwegscenario wordt weergegeven in Figuur 6. Er werd gekozen om de E40 richting Gent-Brussel te simuleren, tussen het klaverblad in Zwijnaarde en de aansluiting aan de ring in Groot-Bijgaarden. De lengte van het totale traject bedraagt 44 km. Deze werd opgedeeld in 88 secties van 500 meter. Voor elke sectie zal de FCD schatter dan een snelheid berekenen tijdens de simulaties. Vier types voertuigen werden voorzien in het scenario: vrachtwagens (maximum 90 km/u, trage acceleratie), trage wagens (maximum 100 km/u, trage acceleratie), gewone wagens (maximum 110 km/u, gewone acceleratie) en snelle wagens (maximum 120 km/u, snelle acceleratie). De verdeling binnen het verkeer was als volgt: 17% vrachtwagens, 17% trage wagens, 49% gewone wagens en 17% snelle wagens. Een vereenvoudigde voorstelling van het verkeer op de E40 richting Brussel werd toegepast: de bestemming van alle voertuigen was het einde van de gesimuleerde weg, Groot-Bijgaarden. Op het begin van de weg werd 35% van het totale verkeer geïnjecteerd om de verkeersstroom voor te stellen die reeds op de E40 aanwezig is. De rest van het verkeer werd evenredig verdeeld over de verschillende opritten, dus elk 13%. De eigenlijke totale hoeveelheid verkeer die per scenario nodig is ('s nachts, geen congestie, matige congestie, veel congestie) werd bepaald aan de hand van de publiek beschikbare telgegevens van het Agentschap Wegen en Verkeer⁷. Alleen voor het scenario "incident" werd een eigen inschatting gemaakt, er werd vertrokken van dezelfde hoeveelheid verkeer als in het scenario "geen congestie", maar er werd gedefinieerd dat tussen de afritten Aalst en Ternat zich een ongeval voordoet dat de twee rechter rijstroken verspert. Merk op dat deze gesimuleerde scenario's geen volledige realistische voorstelling vormen van de eigenlijke verkeerssituatie. In de realiteit zal er ook verkeer de snelweg via de andere afritten verlaten, en de intensiteit zal verschillen per oprit. Het doel van de simulaties is echter het correct nabootsen van de dynamiek in het verkeer welke men in de werkelijkheid kan verwachten. Denk hierbij aan filevorming tijdens de spits of na een ongeval, vlot stromend verkeer en bijna onbestaand verkeer. Er werd geverifieerd of toepassing van hierboven beschreven simulatie scenario's effectief het gewenste gedrag oplevert. Dit bleek steeds het geval te zijn.

⁶ <http://www.google.com/intl/nl/earth/index.html>

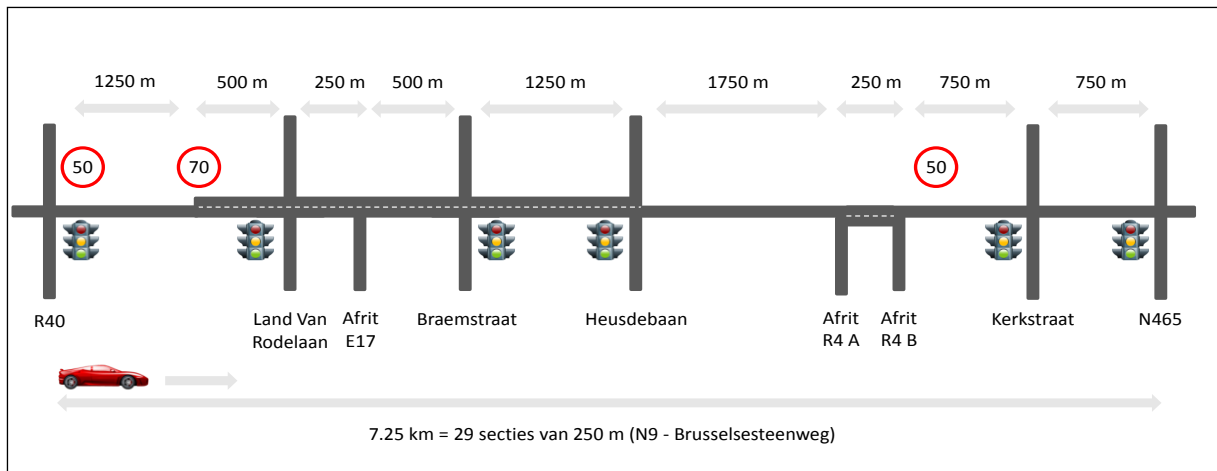
⁷ <http://www.wegenenverkeer.be/technische-documenten/category/verkeerstelligen.html>



Figuur 6: Scenario snelweg

Het scenario voor de gewestweg wordt weergegeven in Figuur 7. Er werd gekozen om de N9 (ook gekend als Brusselsesteenweg) richting Gent-Brussel te simuleren, tussen de aansluiting met de R40 en het kruispunt met de N465 in Melle. De lengte van het totale traject bedraagt 7.25 km. Deze werd opgedeeld in 29 secties van 250 meter. Voor elke sectie zal de FCD schatter dan een snelheid berekenen tijdens de simulaties. Dit traject werd uitgekozen omdat het een mooie voorstelling is van een gewestweg met veel lintbebouwing, zeer typisch voor het Belgische landschap. Daarnaast bevat het zowel segmenten met twee rijvakken als segmenten met een enkel rijvak. Ook zijn zowel kruispunten als afritten van autosnelwegen aanwezig. Tevens kent het traject twee verschillende snelheidslimieten, 50 km/u en 70 km/u. Op het traject werden twee types voertuigen voorzien in het scenario: trage wagens (maximum 50 km/u, trage acceleratie) en snelle wagens (maximum 70 km/u, snelle acceleratie). De twee types wagens kwamen exact evenveel voor in het verkeer. Om een typische avondspits van Gent naar Melle te kunnen simuleren was de bestemming van alle voertuigen het einde van de gesimuleerde weg. Op het begin van de weg werd 35% van het totale verkeer geïnjecteerd om de verkeersstroom voor te stellen die reeds op de N9 aanwezig is. De rest van het verkeer werd evenredig verdeeld over de verschillende kruispunten en opritten. De eigenlijke totale hoeveelheid verkeer die per scenario nodig is ('s nachts, geen congestie, matige congestie, veel congestie) kon niet bepaald worden aan de hand van de telgegevens omdat deze niet voorhanden waren. Er werd dan maar gevarieerd met deze parameter tot de simulaties effectief het gewenste gedrag vertoonden. Voor het scenario "incident" werd vertrokken van dezelfde hoeveelheid verkeer als in het scenario "geen congestie", maar er werd gedefinieerd dat tussen de afrit R4 B en het kruispunt met de Kerkstraat zich een ongeval voordoet dat de weg volledig verspert.

We willen de lezer erop attent maken dat dit scenario van een typisch Belgische gewestweg met veel lintbebouwing zeer sterke gelijkenissen vertoont met een stadsomgeving. Beide zijn namelijk gekenmerkt door veel dicht bij elkaar liggende conflictgebieden: kruispunten, opritten en verkeerslichten. De wegsecties waarbij het verkeer ongestoord kan stromen zijn beperkt, en door de continue bebouwing is de kans op conflict zelfs op deze secties relatief groot. Wagens willen parkeren of vertrekken, voetgangers en fietsers willen de weg oversteken, enz. Vanaf nu zullen we het scenario gewestweg en het scenario stadsomgeving dan ook beschouwen als gelijk. Gewestwegen in meer afgelegen gebieden waar er praktisch geen bebouwing of conflictsituaties zich voordoen zijn zeldzamer in België, maar natuurlijk niet onbestaande. Voor deze types weg verwijzen we vanaf nu naar het autosnelweg scenario, aangezien beide vooral een conflictvrije weg beschrijven. Merk op dat deze classificatie in twee types sterk aansluit bij het werk van Liu et al. (2010), welke ook een opdeling bespreekt op basis van wegen die geen conflicten of verkeersregeling kennen, en wegen met veel kruispunten, al dan niet uitgerust met verkeerslichten.



Figuur 7: Scenario gewestweg / stadsomgeving

4. TOEPASBAARHEID FLOATING CAR DATA

4.1 Algoritme

Het doel van deze studie is een inschatting te kunnen maken of het haalbaar is om ogenblikkelijk de uitrol van een FCD systeem te starten. We hebben er dan ook bewust voor gekozen om in onze simulaties een relatief eenvoudig algoritme toe te passen voor het inschatten van de huidige verkeerssituatie op basis van de ontvangen FCD data. Zodoende zijn we er zeker van dat de bekomen resultaten overeenstemmen met FCD technologie die ofwel reeds commercieel beschikbaar is ofwel makkelijk geïmplementeerd zou kunnen worden.

Het algoritme ziet er als volgt uit:

- De FCD voertuigen verzamelen op regelmatige basis monsters die de volgende gegevens bevatten: **huidige GPS coördinaten, huidige snelheid en huidige tijdstip**. Deze drie variabelen kunnen allen van de ingebouwde GPS ontvanger verkregen worden. Merk op dat door de tijdsindicatie via het GPS systeem te bepalen er een uitstekende tijdssynchronisatie plaatsvindt tussen alle floating cars. Hierdoor kan de centrale server makkelijk de binnenkomende berichten van de verschillende voertuigen exact sorteren op chronologische volgorde.
- De FCD server houdt **voor elk wegsegment een lijst bij van ontvangen snelheden voor dat segment**. Het aantal elementen dat in deze lijst wordt bijgehouden is constant en bepaald door de variabele $\#monsters$. De lijst voor een gegeven wegsegment X bestaat dus uit een aantal elementen $snelheid_X_i$, waarbij i een waarde is van 1 tot $\#monsters$. De waarde van deze variabele $\#monsters$ is dezelfde voor alle wegsegmenten binnen een enkele FCD simulatie, maar zoals vermeld in sectie 3.1 kan de waarde wel per simulatie door de gebruiker ingesteld worden. De lijst zelf wordt chronologisch opgesteld volgens het first in – first out principe (FIFO). Dit betekent dat wanneer een recenter element aan de lijst wordt toegevoegd, het eerste (en dus oudste) element wordt verwijderd, en de nieuwe waarde achteraan de rij wordt toegevoegd. Bij initialisatie van het algoritme worden alle waarden in de rij van een wegsegment gelijk gesteld aan de maximum snelheidslimiet die hoort bij dat segment. Door middel van eenvoudige map matching kunnen de GPS coördinaten verstuurd door het voertuig omgezet worden naar het juiste segment ID. Zodoende hoeft er op het voertuig geen digitale wegenkaart aanwezig te zijn, en blijft de verwerking op de FCD server beperkt tot een eenvoudige 1 op 1 omzetting van coördinaat naar segment ID. In tegenstelling tot sommige andere FCD algoritmen is het berekenen van mogelijke gevolgde routes tussen twee opeenvolgende verstuurd monsters hier dus geen vereiste. Samengevat kunnen we het volgende stellen:

$$lijst_X = snelheid_X_1, snelheid_X_2, \dots, snelheid_X_{\#monsters}$$

- Het **inschatten van de huidige effectieve snelheid op een gegeven wegsegment X** (we noemen deze $snelheid_X$) is dan gelijk aan het bepalen van de gemiddelde snelheid van alle waarden in de rij horende bij dat segment X . Met andere woorden:

$$snelheid_X = \frac{\sum_{i=1}^{\#monsters} snelheid_X_i}{\#monsters}$$

Het grote voordeel van dit algoritme is zijn eenvoud. Dit heeft een gunstige invloed op de schaalbaarheid, en is zoals vooropgesteld ook makkelijk te implementeren en te onderhouden.

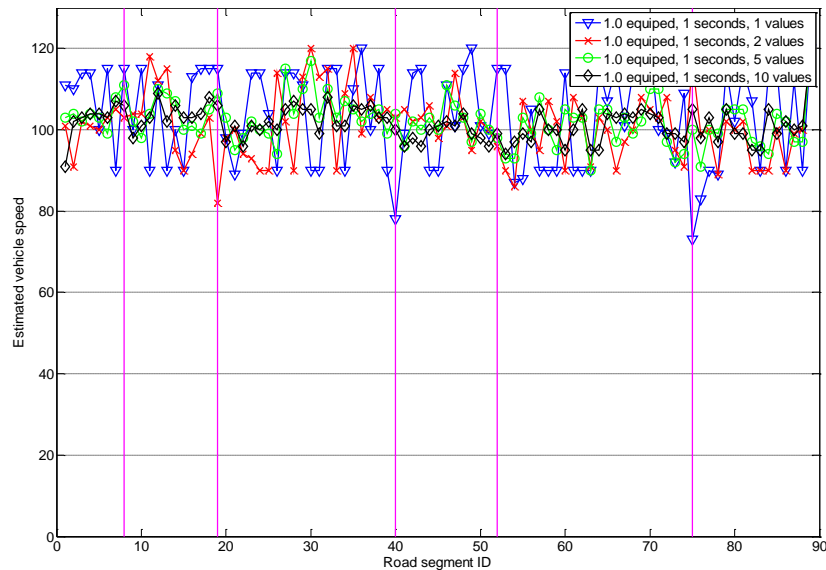
4.2 Optimale waarde variabele *#monsters*

Zoals vermeld in de vorige sectie is de variabele *#monsters* van groot belang binnen het gebruikte algoritme om FCD om te zetten in een inschatting van het effectieve verkeersbeeld. Immers, wanneer je deze te klein maakt zullen te weinig vroeger ontvangen metingen in rekening gebracht worden, en wordt de berekende snelheid teveel afhankelijk van de nieuwe gegevens van enkele voertuigen. Hierdoor kan het zijn dat zelfs bij een constante verkeersstroom er relatief grote fluctuaties optreden in de berekende huidige snelheden op de weg. Echter, wanneer je *#monsters* te groot maakt wordt er te lang rekening gehouden met de vorige waarden, en kan er een te grote vertraging optreden tussen het intreden van congestie en het detecteren ervan. Het bepalen van de meest geschikte waarde voor de variabele *#monsters* is dan ook een delicate maar belangrijke evenwichtsoefening. In de rest van deze sectie zullen we deze dan ook experimenteel bepalen voor alle beoogde scenario's.

4.2.1 Scenario: snelweg

Het eerste besproken scenario is dat van een snelwegomgeving met normaal verkeer zonder congestie. Het verkeersbeeld wordt steeds berekend voor seconde 3240 binnen een totale simulatietijd van 4800 seconden. Op dit tijdstip heeft zowel de verkeerssimulatie als het FCD algoritme voldoende tijd gehad om op te warmen. De verkeerssimulatie begint namelijk met een lege kaart waarop op uniforme wijze voertuigen op alle opritten worden geïnjecteerd aan een constante frequentie. In het begin van de simulatie heeft het dan ook even tijd nodig vooraleer op elke locatie de verkeersstroom zijn finale intensiteit heeft bereikt. Dit duurt ongeveer 1800 seconden. Dit komt overeen met de tijd die de traagste voertuigen (vrachtwagens) die helemaal links geïnjecteerd werden (klaverblad Zwijnaarde) nodig hebben om het einde van de gesimuleerde weg te bereiken (Groot-Bijgaarden). Omdat we met dit experiment trachten de variabele *#monsters* te optimaliseren kiezen we voor de andere parameters de optimale waarden: de penetratiegraad is 100% (aangeduid op de grafiek als 1.0), en het interval tussen bemonstering is 1 seconde. Voor de variabele *#monsters* werden de waarden 1, 2, 5 en 10 onderzocht.

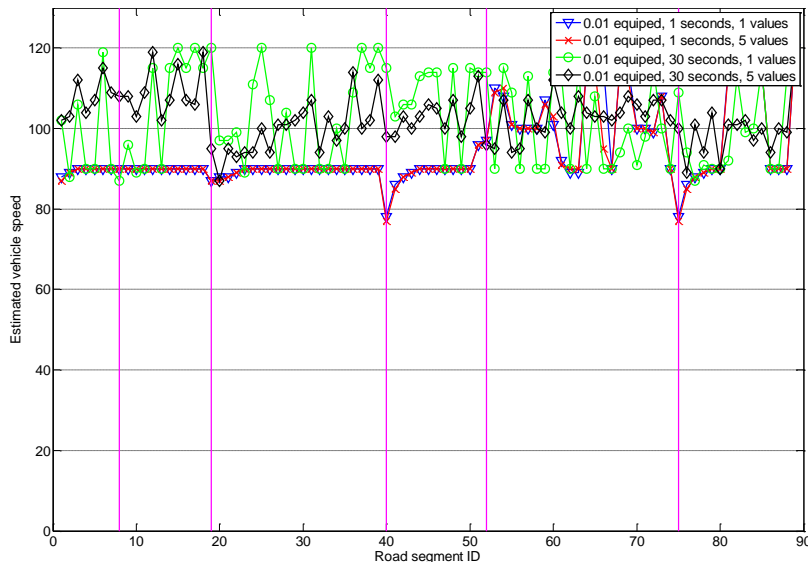
Het resultaat is weergegeven in Figuur 8. Het is duidelijk dat de waarden 1 en 2 te laag zijn. In deze constante, vlot stromende verkeersstroom zien we dat de grafiek relatief veel fluctueert. Met andere woorden, er treden relatief grote snelheidsverschillen op in de berekening van opeenvolgende wegsegmenten. Dit komt niet overeen met het feitelijke verkeersbeeld. Bij waarde 5 zien we dat dit effect al een stuk minder is, daar krijgen we een relatief constante snelheidsinschatting over alle segmenten van ongeveer 105 km/u. Zoals vermeld in sectie 3.2 is de verkeersstroom als volgt opgebouwd: 17% rijdt 90 km/u, 17% rijdt 100 km/u, 49% rijdt 110 km/u en 17% rijdt 120 km/u. De inschatting van 105 km/u zoals berekend door het FCD algoritme is dan ook een goede voorstelling van de effectieve gemiddelde snelheid in dit scenario. Wanneer we de waarde van *#monsters* verder optrekken naar 10 tenslotte zien we dat er praktisch geen verschil is tussen dit resultaat en het eerdere resultaat voor waarde 5. Het verhogen naar 10 heeft dus geen meerwaarde te bieden, maar zal bij het detecteren van congestie wel extra vertraging introduceren. Daarom besluiten we dat in dit scenario de optimale waarde voor de variabele *#monsters* gelijk is aan 5.



Figuur 8: Bepalen optimum #monsters op autosnelweg - geen congestie

Tijdens volgende experimenten werden opnieuw de waarden 1, 2, 5, en 10 vergeleken voor de variabele *#monsters*, werd de penetratiegraad ook constant gehouden op 100%, maar werd het interval tussen bemonstering gevarieerd. De onderzochte waarden hiervoor waren 30, 60, 120 en 240 seconden. In elk van deze gevallen werd hetzelfde effect gezien als beschreven bij het interval van 1 seconde: voor de variabele *#monsters* is 5 de optimale waarde.

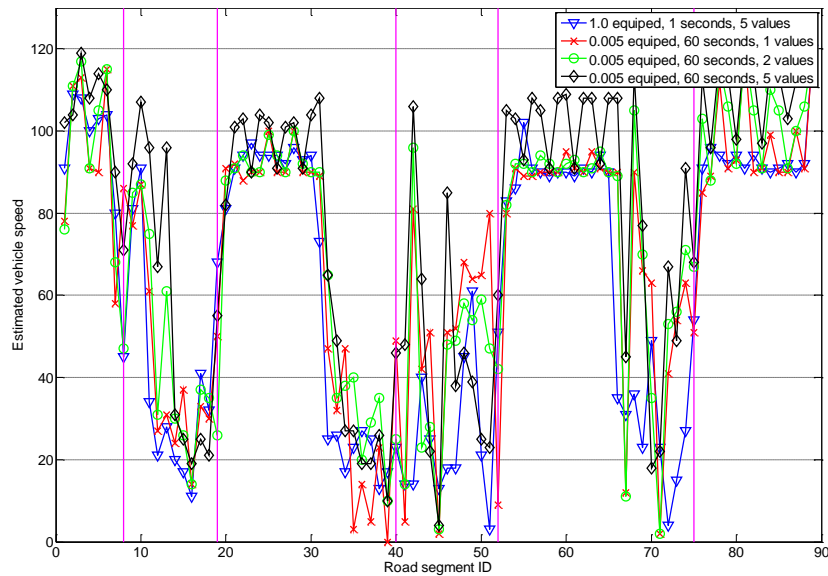
Wanneer de uitrustingsgraad ook werd gevarieerd werd een specifiek gedrag waargenomen: bij lagere uitrustingsgraden in combinatie met kleine intervallen voor bemonstering is de keuze van de waarden van de variabele *#monsters* van minder belang. Er treedt in dat geval namelijk praktisch geen verschil op tussen de resultaten berekend met waarde 1, 2, 5, of 10. Wanneer bij dezelfde uitrustingsgraad het interval wordt verhoogd (b.v. 30 seconden) treedt er wel weer een duidelijker verschil op, en is 5 opnieuw de optimale waarde voor de variabele *#monsters*. Dit gedrag is weergegeven in Figuur 9. We kunnen het als volgt verklaren: in dit scenario is de gemiddelde snelheid zoals hierboven reeds vermeld 105 km/h, of 29 m/s. Elk wegsegment is 500 meter lang. Dit betekent dat een voertuig zich gemiddeld 17 seconden op hetzelfde segment bevindt. Wanneer dit voertuig elke seconde zijn positie en snelheid doorgeeft aan het FCD algoritme, dan zal elke rij van vorige metingen die bij elk segment hoort volledig gevuld worden door de gegevens van dat ene voertuig. Dit zal zowel het geval zijn wanneer deze rij uit 1 of 5 monsters bestaat. Het berekende resultaat zal in beide gevallen dan ook identiek zijn, en gelijk zijn aan de snelheid van dat ene voertuig. Wanneer het interval van bemonstering echter wordt verhoogd naar 30 seconden, dan zal 1 voertuig niet eens op elk segment zijn snelheid doorsturen. De gegevens in de rij van vorige metingen die het algoritme zal gebruiken is dan ook afkomstig van verschillende voertuigen en dus ook veel meer divers. Hierdoor wint de keuze voor het aantal gegevens dat moet worden uitgemiddeld weer aan belang.



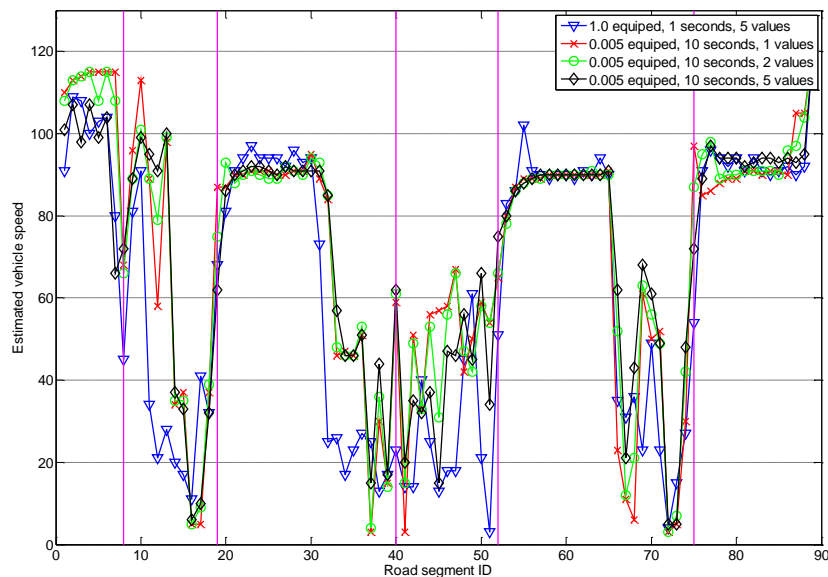
Figuur 9: Specifiek gedrag #monsters bij lage penetratiegraad en klein interval voor bemonstering

Alle experimenten zoals hierboven beschreven voor het scenario op de autosnelweg zonder congestie werden herhaald in het scenario op de autosnelweg met matige congestie. Exact dezelfde effecten als in het vorige scenario werden waargenomen.

Alle experimenten zoals hierboven beschreven voor het scenario op de autosnelweg zonder congestie werden ook herhaald in het scenario op de autosnelweg met zware congestie. De verschillen tussen de resultaten berekend voor de verschillende waarden van de variabele *#monsters* waren minder uitgesproken, maar dezelfde conclusies gelden als in het scenario zonder congestie. Wel werd er waargenomen dat hoe meer congestie er effectief is op een wegsegment, hoe minder verschil we zien in de berekende effectieve snelheid voor de verschillende waarden van de variabele *#monsters*. Dit effect werd ook waargenomen bij het scenario met matige congestie, maar was meer uitgesproken in het scenario met zware congestie. Een ander gedrag dat werd opgemerkt is het feit dat bij hele lage uitrustingsgraden (1% of lager) in combinatie met grotere intervallen (b.v. 60 seconden) 1 of 2 een betere keuze is dan 5 voor de variabele *#monsters*. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 10. We kunnen dit verklaren door het feit dat er in deze situatie heel weinig monsters worden ontvangen per segment. Wanneer er wordt uitgemiddeld over een groter aantal vorige monsters krijg je het effect dat oude waarden te lang een effect blijven uitoefenen op de berekende effectieve snelheid. Er treedt dan ook vertraging op in het detecteren van duidelijke wijzigingen in de effectieve snelheid op een gegeven wegsegment. In dit dynamische scenario waar door de hevige congestie zich duidelijk een file opbouwt is dit effect duidelijker te zien. Dit effect kan gemakkelijk opgevangen worden door het interval tussen bemonstering te verkleinen. De FCD server krijgt dan namelijk meer monsters binnen, waardoor oude data sneller wordt vervangen door nieuwe. Zo heeft het verlagen van het interval tussen bemonstering van 60 naar 10 seconden als resultaat dat 5 opnieuw een geschikte waarde is voor de variabele *#monsters*. Dit wordt weergegeven in Figuur 11.



Figuur 10: Optimale #monsters bij lage penetratiegraad en groot interval tussen bemonstering



Figuur 11: Gunstig effect van verlaging interval tussen bemonstering bij lage penetratiegraad

Alle experimenten zoals hierboven beschreven voor het scenario op de autosnelweg zonder congestie werden ook herhaald in het nachtelijke scenario op de autosnelweg. Exact dezelfde effecten werden waargenomen als beschreven bij de vorige scenario's.

Alle experimenten zoals hierboven beschreven voor het scenario op de autosnelweg zonder congestie werden ook herhaald in het scenario op de autosnelweg met plots incident. Exact dezelfde effecten werden waargenomen als beschreven bij de vorige scenario's.

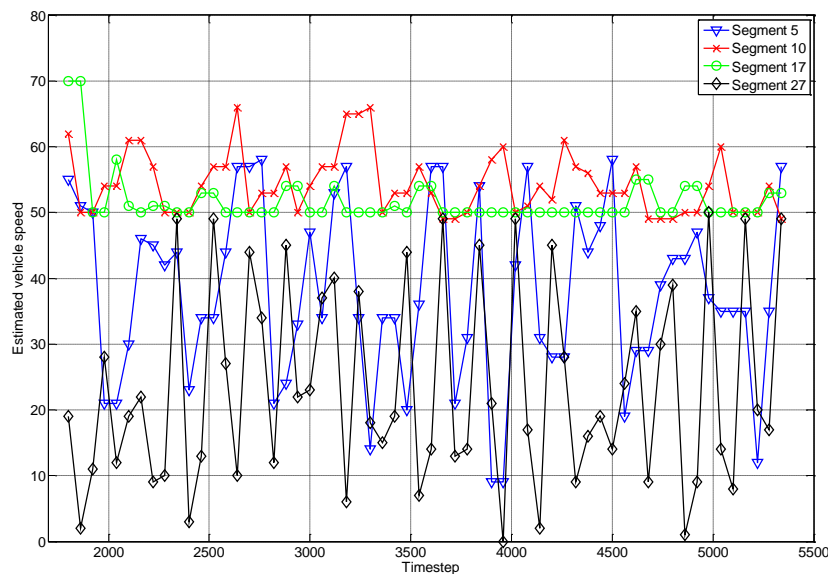
Gebaseerd op alle vermelde observaties kunnen we het volgende besluit formuleren: bij het gebruik van FCD afkomstig van autosnelwegen is de optimale waarde voor de variabele #monsters in het algemeen gelijk aan 5. Wanneer de uitrustingsgraad laag is moet wel steeds getracht worden om in de mate van het mogelijke de intervallen tussen updates klein te houden. Alleen wanneer er dan nog steeds niet genoeg monsters door

de FCD server worden ontvangen is het mogelijk dat de optimale waarde voor de variabele *#monsters* gelijk is aan 1 of 2.

4.2.2 Scenario gewestweg

Het eerste besproken scenario is dat van een gewestweg met normaal verkeer zonder congestie. Het verkeersbeeld wordt steeds berekend voor seconde 1920 binnen een totale simulatietijd van 4800 seconden. Op dit tijdstip heeft zowel de verkeerssimulatie als het FCD algoritme voldoende tijd gehad om op te warmen. De verkeerssimulatie begint namelijk met een lege kaart waarop op uniforme wijze voertuigen op alle kruispunten en opritten worden geïnjecteerd aan een constante frequentie. In het begin van de simulatie heeft het dan ook even tijd nodig vooraleer op elke locatie de verkeersstroom zijn finale intensiteit heeft bereikt. Dit duurt ongeveer 650 seconden. Dit komt overeen met de tijd die de traagste voertuigen (aan 50 km/h) die helemaal links geïnjecteerd werden (aansluiting R40) nodig hebben om het einde van de gesimuleerde weg te bereiken (kruispunt N465).

Een eerste belangrijk effect dat werd waargenomen is het feit dat de effectieve snelheid rond verkeerslichten op korte termijn zeer sterk kan fluctueren. Immers, in een periode van groen licht kan al het doorstromende verkeer gewoon doorrijden terwijl in een periode van rood licht al het doorstromend verkeer moet stoppen. Dit is weergegeven in Figuur 12. In de figuur is de evolutie over de tijd te zien van de onder optimale omstandigheden berekende effectieve snelheid voor 2 gewone segmenten (10 en 17) en twee segmenten die eindigen op een verkeerslicht (5 en 27).

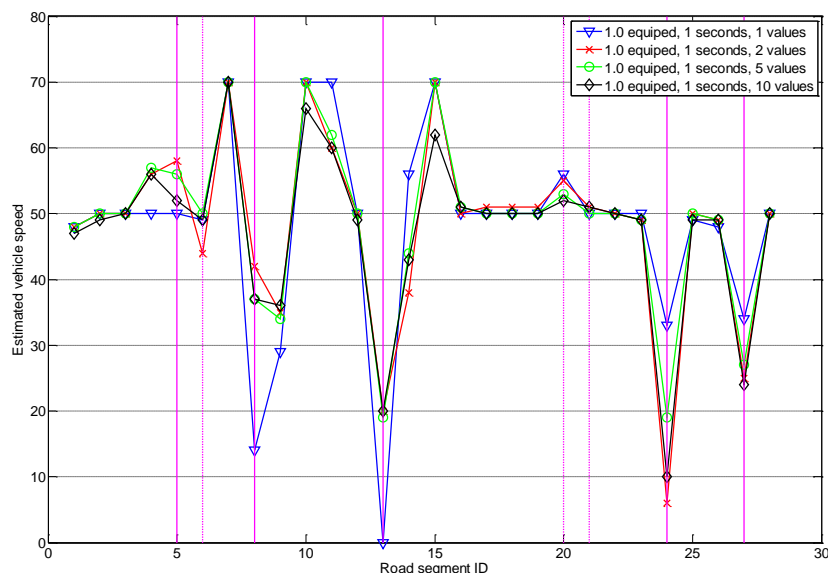


Figuur 12: Fluctuatie over de tijd rond verkeerslichten (5 en 27 zijn secties vlak voor verkeerslicht)

Gelijkaardige experimenten als in het snelwegscenario werden uitgevoerd, opnieuw met als doel het optimaliseren van de waarde voor de variabele *#monsters*. Daarom werden voor de andere parameters de optimale waarden genomen: de penetratiegraad is 100% (aangeduid op de grafiek als 1.0), en het interval tussen bemonstering is 1 seconde. Voor de variabele *#monsters* werden de waarden 1, 2, 5 en 10 onderzocht. Het resultaat is weergegeven in Figuur 13. De in deze figuur weergegeven inschattingen werden manueel vergeleken met de effectieve verkeerssituatie zoals die zich in de microscopische verkeerssimulatie voordoet op seconde 1920. Er werd besloten dat de waarden 1 en 2 te laag zijn. In deze gevallen wordt het berekende verkeersbeeld teveel

beïnvloed door de metingen afkomstig van 1 voertuig. Bij waarde 5 merkten we op dat dit effect minder is. Wanneer we de waarde van *#monsters* verder optrekken naar 10 zien we dat er praktisch geen verschil is tussen het resultaat voor waarde 5. Het verhogen naar 10 heeft dus geen meerwaarde te bieden, maar zal bij het detecteren van congestie wel extra vertraging introduceren. Wel wensen we op te merken dat in dit scenario het verschil tussen de verschillende waarden voor de variabele *#monsters* een stuk minder uitgesproken is dan in het scenario op de autosnelweg. In het algemeen kunnen we echter toch besluiten dat in dit scenario op de gewestweg zonder congestie de optimale waarde voor de variabele *#monsters* gelijk is aan 5.

Op Figuur 13 kan nog een ander effect worden waargenomen: op wegen met slechts een enkel rijvak in elke richting kan de gemiddelde snelheid een stuk lager liggen dan de maximum toegelaten snelheid. In dit geval mag er echter niet zomaar worden besloten dat dit een indicatie is voor congestie. Het traagste voertuig op de weg beïnvloed namelijk de snelheid van alle achterliggende voertuigen. Dit is duidelijk op de figuur waar segmenten 16 tot 21 uit een enkel rijvak bestaan met een maximumsnelheid van 70 km/u. Toch zien we dat de gemiddelde snelheid niet hoger komt dan 50 km/u. Dit wordt veroorzaakt door de tragere voertuigen binnen die sectie waarvan we hadden ingesteld dat deze nooit sneller rijden dan 50 km/u. Op vorige segmenten met 2 rijvakken, een maximumsnelheid van 70 km/u en verwijderd van verkeerslichten zien we een hoger gemiddelde snelheid, omdat de snellere voertuigen daar de tragere kunnen inhalen.

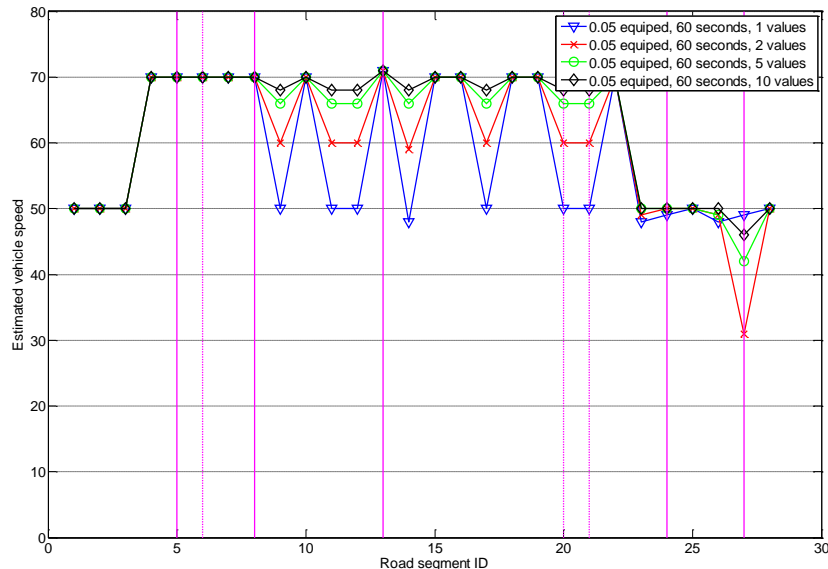


Figuur 13: Bepalen optimum #monsters op gewestweg - geen congestie

Tijdens volgende experimenten werden opnieuw de waarden 1, 2, 5, en 10 vergeleken voor de variabele *#monsters*, werd de penetratiegraad ook constant gehouden op 100%, maar werd het interval tussen bemonstering gevarieerd. De onderzochte waarden hiervoor waren 30, 60, 120 en 240 seconden. In elk van deze gevallen werd hetzelfde effect gezien als beschreven bij het interval van 1 seconde: voor de variabele *#monsters* is 5 de optimale waarde.

Wanneer de uitrustingsgraad ook werd gevarieerd werd eenzelfde specifiek gedrag waargenomen als op de autosnelweg: bij relatief lage uitrustingsgraden (op de gewestweg is dit reeds vanaf 10% of lager !) in combinatie met grotere intervallen (b.v. 60 seconden) is 1 of 2 een betere keuze dan 5 voor de variabele *#monsters*. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 14. Daarin is te zien dat voor de waarden 5 en 10 de berekende snelheden zo goed als allemaal gelijk zijn aan de maximum snelheidslimiet. Dit betekent dat in de rij vorige monsters van elk segment nog voornamelijk de initiële waarden staan

die bij het opstarten van het algoritme gelijk werden gesteld aan de toegelaten maximumsnelheid. Met andere woorden, er werd te weinig FCD data ontvangen om nuttige informatie te kunnen afleiden. Wanneer we de variabele *#monsters* instellen op de waarde 1 of 2 zien we dat er al meer wordt afgeweken van de maximumsnelheid, en dat de berekende waarden dus meer gebaseerd zijn op effectieve FCD data. Wel kunnen we opmerken dat zelfs dan het ingeschatte verkeersbeeld nog niet helemaal overeenkomt met de werkelijkheid. Het is dan ook beter bij waarneming van dit effect het interval tussen bemonstering te verkleinen.



Figuur 14: Optimale *#monsters* bij lage penetratiegraad en groot interval tussen bemonstering

Alle experimenten zoals hierboven beschreven voor het scenario op een gewestweg zonder congestie werden herhaald voor de andere scenario's op dat type weg: matige congestie, hevige congestie, plots incident en het nachtelijke scenario. In elk van deze gevallen werden dezelfde effecten waargenomen als hierboven beschreven bij het scenario zonder congestie.

Uit het voorgaande kan dus worden afgeleid dat het besluit dat werd genomen bij de analyse van het scenario op de autosnelweg ook van kracht is voor het scenario op de gewestweg. We kunnen het dan ook generaliseren: **bij het gebruik van FCD is de optimale waarde voor de variabele *#monsters* in het algemeen gelijk aan 5. Wanneer de uitrustingsgraad laag is moet wel steeds getracht worden om in de mate van het mogelijke het interval tussen bemonstering klein te houden. Alleen wanneer er dan nog steeds niet genoeg monsters door de FCD server worden ontvangen is het mogelijk dat de optimale waarde voor de variabele *#monsters* gelijk is aan 1 of 2.**

4.3 Bepaling snelheid per weg sectie

In de vorige sectie werd een vuistregel vastgelegd voor de optimale keuze van de parameter *#monsters*. Het toegepast FCD algoritme zal dan ook het beste presteren wanneer de penetratiegraad 100% is, het interval tussen bemonstering 1 seconde is en de waarde voor de variabele *#monsters* gelijk is aan 5. In deze en de volgende secties

willen we experimenteel aantonen dat onder deze optimale omstandigheden het FCD algoritme in staat is om op accurate wijze de drie vooropgestelde functionaliteiten te kunnen aanbieden. Deze zijn:

- Bepalen huidige snelheid op een wegsectie
- Bepalen locatie filestaart
- Bepalen locatie incident.

Meer specifiek nemen we in deze sectie het bepalen van de huidige snelheid op een wegsectie onder de loep.

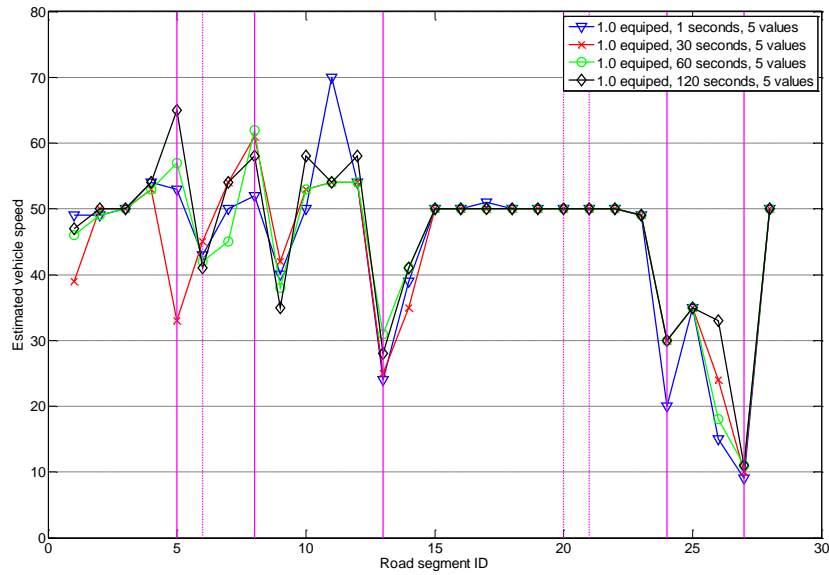
4.3.1 Autosnelweg

De experimenten uit de vorige sectie wekken de indruk dat het scenario van de autosnelweg wegens zijn meer statische karakter een geschikte kandidaat lijkt voor opvolging gebruik makende van floating car data. Om deze indruk te verifiëren werd voor elk van de 5 verschillende scenario's ('s nachts, geen congestie, matige congestie, intense congestie en plots incident) het berekende verkeersbeeld onder optimale omstandigheden manueel vergeleken met de feitelijke situatie op het zelfde moment in de microscopische verkeerssimulator. Steeds opnieuw was de berekende inschatting een nauwkeurige voorstelling van de werkelijkheid.

We kunnen aan de hand van deze experimenten het volgende besluit nemen: **op de autosnelweg kan floating car data in combinatie met het voorgestelde algoritme en optimale omstandigheden (penetratiegraad van 100%, interval tussen bemonstering van 1 seconde, waarde variabele #monsters gelijk aan 5) een nauwkeurige inschatting maken voor de reële snelheid op een weg sectie. Dit geldt onder alle voorgestelde scenario's.**

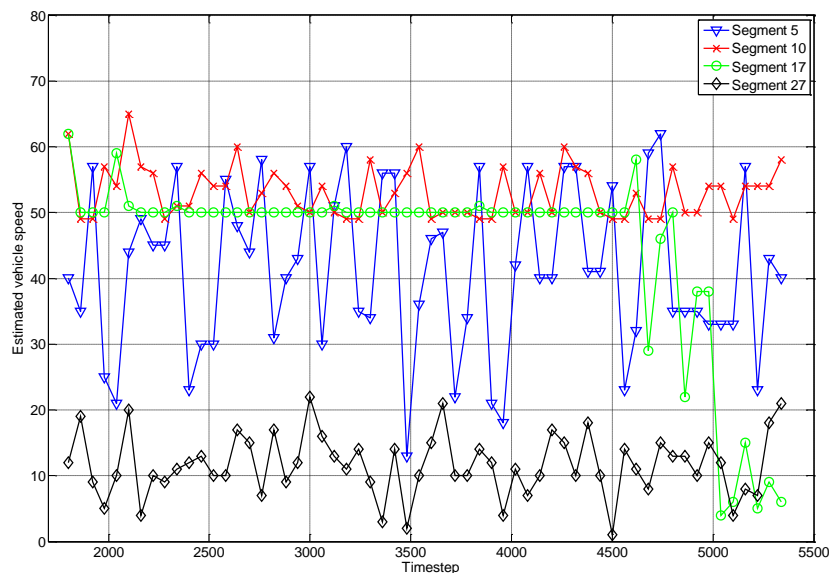
4.3.2 Gewestweg

Zoals reeds vermeld in sectie 4.2.2 wordt een gewestweg gekenmerkt door een hoge dynamiek rond de kruispunten met verkeerslichten. Dit maakt het een stuk uitdagender om voor alle wegsegmenten een accuraat verkeersbeeld op te bouwen. Bij nader onderzoek van deze dynamiek vielen nog een aantal andere zaken op. Zo is het opvallend dat ook bij grotere intervallen de dynamiek van de verkeerslichten duidelijk blijft af te lezen van de grafiek. Dit wordt geïllustreerd door Figuur 15. Dit voorbeeld werd gemaakt in het scenario met matige congestie (waarbij er een file ontstaat tussen de twee laatste verkeerslichten). Zelfs bij intervallen van 60 en 120 seconden is het duidelijk dat de waarden op de kruispunten met verkeerslichten (de verticale roze volle lijnen op de figuur) duidelijk afwijken van de waarden voor de segmenten er vlak voor of na.



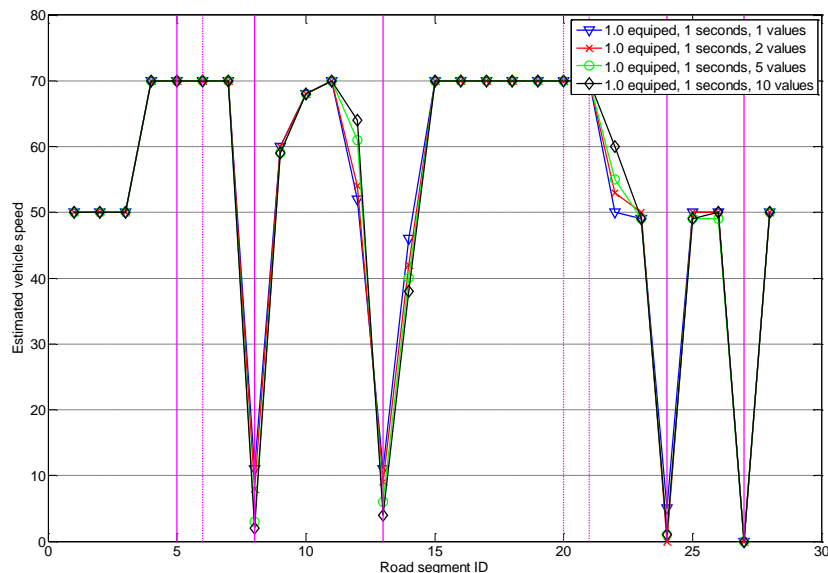
Figuur 15: Dynamiek rond verkeerslichten ook duidelijk bij grotere intervallen tussen bemonstering

Een ander nuttige eigenschap betreffende de dynamiek rond verkeerslichten is dat er een duidelijk verschil kan worden waargenomen tussen de grootteorde van de fluctuatie op een gewoon kruispunt en op een overbelast kruispunt. Dit wordt weergegeven in Figuur 16. Dit voorbeeld werd gemaakt in het scenario van hevige congestie, waar er zich een file vormt vanaf segment 20 tot aan het laatste kruispunt (segment 27). We zien op de figuur een duidelijk verschil in grootteorde van fluctuatie tussen een gewoon belast kruispunt (segment 5) en het overbelaste kruispunt (segment 27). Met andere woorden, wanneer van een segment geweten is dat deze een kruispunt is, dan kan aan de hand van de grootteorde van de fluctuatie bepaald worden of het kruispunt in congestie is of niet.



Figuur 16: Verschil fluctuatie gewoon kruispunt (segment 5) en overbelast kruispunt (segment 27)

Een laatste interessante eigenschap werd waargenomen tijdens het nachtelijke scenario. In dit scenario is er heel weinig verkeer. In combinatie met hogere uitrustingsgraden en hoge frequentie krijg je hele diepe pieken in de geschatte snelheden voor segmenten met verkeerslichten. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 17. Op vier van de vijf kruispunten is de ingeschatte snelheid ongeveer gelijk aan 0. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat een voertuig dat moest stoppen aan het rood licht elke seconde een nieuw monster voor die locatie met snelheid 0 doorstuurt naar de FCD server. Voor dat segment zal de rij met vorige monsters dan ook volledig door dat voertuig opgevuld worden met de waarde 0. Wanneer het licht op groen springt en het voertuig begint te rijden, dan bevindt het zich ogenblikkelijk op de volgende sectie. In onze simulatie staat het verkeerslicht namelijk steeds helemaal achteraan een bepaald segment. Dit betekent dat voor het segment met het verkeerslicht de waarden in de rij van vorige monsters 0 zal blijven tot er een volgend voertuig uitgerust met een FCD zender langs komt. Doordat er bijna geen verkeer is kan dit even duren. Tot dan blijft de geschatte waarde voor het segment met het kruispunt geblokkeerd op 0 km/h. Er kan besloten worden dat een zeer lage berekende snelheid op een kruispunt totaal geen indicatie is of er al dan niet congestie optreedt op dat kruispunt.



Figuur 17: Extreem lage geschatte snelheden bij weinig verkeer en klein interval tussen bemonstering

De voorgaande observaties kunnen als volgt worden samengevat: het bepalen van de effectieve snelheid per wegsegment op basis van FCD is op gewestwegen moeilijker dan op autosnelwegen. Op conflictvrije segmenten is het aantal rijvakken van belang, wanneer er slechts één rijvak is in elke richting kan het voorkomen dat de berekende snelheid beduidend onder de maximum toegelaten snelheid ligt. Hieruit kan echter niet worden afgeleid of er sprake is van beginnende congestie. Daarnaast is de bepaling van de effectieve snelheden op kruispunten zeer moeilijk. Deze heeft trouwens een beperkt nut door de hoge dynamiek op kruispunten. Wel kan een inschatting gemaakt worden of er enige vorm van congestie is op een kruispuntsegment. Hierbij is het van belang om zich niet te baseren op de absolute waarden van de berekende snelheid op het kruispunt. Een snelheid 0 is perfect mogelijk op kruispunten zonder enige congestie. Beter is om te kijken naar de grootteorde van de fluctuatie over de tijd. Bij een normaal belast kruispunt is het verschil tussen de grootste en de kleinste waarden relatief groot, terwijl deze bij een overbelast kruispunt relatief klein is. Wanneer men toch rekening wil houden met absolute waarden is het beter om hiervoor gebruik te maken van de inschattingen voor de segmenten vlak voor en na het segment met het kruispunt zelf.

Deze duidelijke karakteristieken van congestie op de gewestweg wijzen er op dat een geautomatiseerde inschatting van deze congestie mogelijk moet zijn. Er werd waargenomen dat rond kruispunten er veel kleinere snelheidsfluctuaties in de tijd voorvallen tijdens congestie, in vergelijking met gewoon verkeer. Deze eigenschap kan zeker geautomatiseerd gecontroleerd worden. Op conflictvrije segmenten op de gewestweg is de absolute waarde van de ingeschatte snelheid zelf een goede indicator. Dit kan opnieuw geautomatiseerd gecontroleerd worden. Het lijkt wel waarschijnlijk dat de drempelwaarden voor deze automatische inschattingen van groot belang zijn. Wanneer is het verschil in fluctuaties op een kruispunt groot genoeg om van congestie te spreken? Wat moet het verschil zijn tussen huidige snelheid en de snelheidslimiet om op een conflictvrij segment van congestie te spreken? In welke mate kan het gebruik van historische gemiddelden ipv snelheidslimiet deze inschatting verbeteren? Deze interessante vragen vereisen verder onderzoek, maar vallen buiten de scope van deze studie.

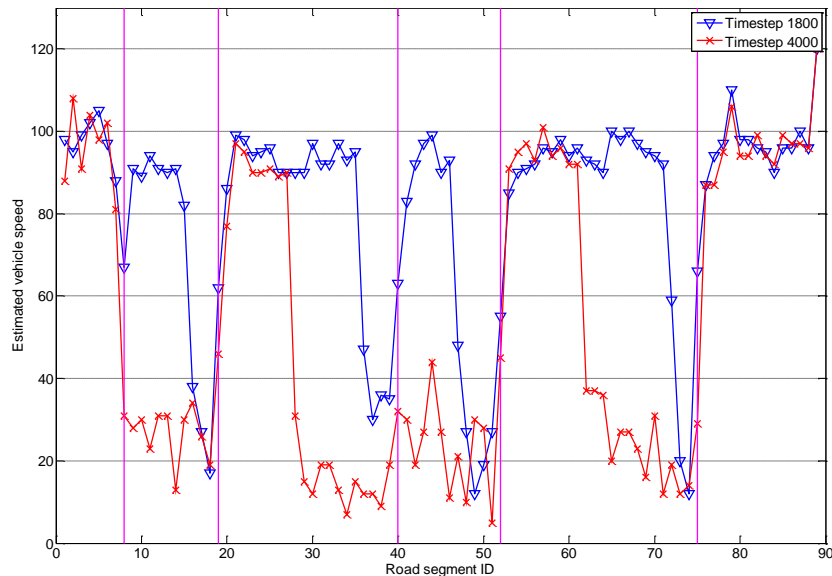
Op basis van deze samenvatting kan het volgende besluit genomen worden: **op de gewestweg zijn zelfs onder optimale omstandigheden de absolute waarden van de ingeschatte effectieve snelheden geen accurate voorstelling van de werkelijke situatie. Wel kan aan de hand van deze gegevens accuraat afgeleid worden of er per segment normaal verkeer of congestie plaats vindt.**

4.4 Bepaling locatie filestaart

In deze sectie willen we experimenteel aantonen dat onder optimale omstandigheden het FCD algoritme in staat is om op accurate wijze de locatie van een filestaart te bepalen.

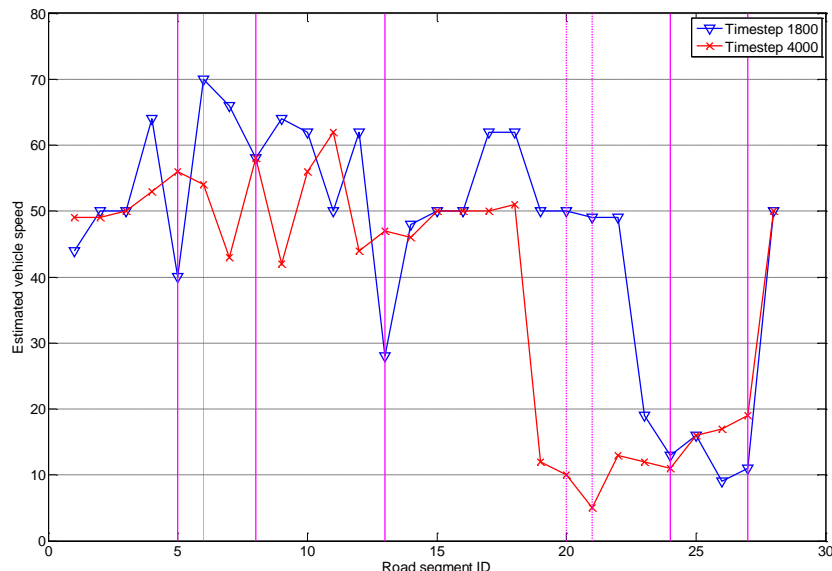
Hiervoor werden de twee scenario's met hevige congestie in nader detail bekeken (autosnelweg en gewestweg). Deze keuze wordt ingegeven door het feit dat in deze scenario's er duidelijk filevorming optreedt en de locatie van de filestaart in de microscopische verkeerssimulator accuraat met de hand kan geïdentificeerd worden. Als optimale omstandigheden definiëren we opnieuw: penetratiegraad 100%, interval tussen bemonstering 1 seconde en de waarde van de variabele *#monsters* gelijk aan 5. Voor beide scenario's werd op verschillende tijdstippen manueel vergeleken of het berekende FCD verkeersbeeld nauwkeurig overeenkomt met de feitelijke situatie in de microscopische verkeerssimulator. Dit bleek steeds het geval te zijn.

Een illustratie van het onderzochte scenario op de autosnelweg is gegeven in Figuur 18. Daarop is duidelijk te zien dat de staart van de file duidelijk gekenmerkt wordt door een heel sterk verval in berekende snelheid op zeer korte afstand. Met andere woorden de grafiek maakt een sterke verticale val aan de filestaart. Er kan op de figuur worden afgelezen dat tijdens de simulatie op seconde 1800 er een kleine file is ontstaan voor elk van de vier laatste opritte (verticale roze lijnen), en dat na elke oprit het verkeer terug herneemt. Op seconde 4000 zien we dan dat de eerst en de laatste file elk een stuk langer zijn geworden, en dat de twee middelste files zijn samengevoegd tot één lange file. Dit gedrag en de locatie van de filestaart op de verschillende tijdstippen komt exact overeen met de feitelijke situatie in de microscopische verkeerssimulator.



Figuur 18: Bepalen filestaart autosnelweg - hevige congestie

Een illustratie van het onderzochte scenario op de gewestweg is gegeven in Figuur 19. Daarop is net zoals in het vorige scenario te zien dat de staart van de file duidelijk gekenmerkt wordt door een heel sterk verval in berekende snelheid op zeer korte afstand. Met andere woorden de grafiek maakt een sterke verticale val aan de filestaart. Er kan op de figuur worden afgelezen dat tijdens de simulatie op seconde 1800 er een file is ontstaan die loopt van het laatste kruispunt (segment 27) tot iets voor het voorlaatste kruispunt (segment 23). Op seconde 4000 zien we dan dat deze file een stuk langer is geworden, tot voorbij de twee afritten van de R4 (segment 18). Dit gedrag en de locatie van de filestaart op de verschillende tijdstippen komt exact overeen met de feitelijke situatie in de microscopische verkeerssimulator.



Figuur 19: Bepalen filestaart gewestweg - hevige congestie

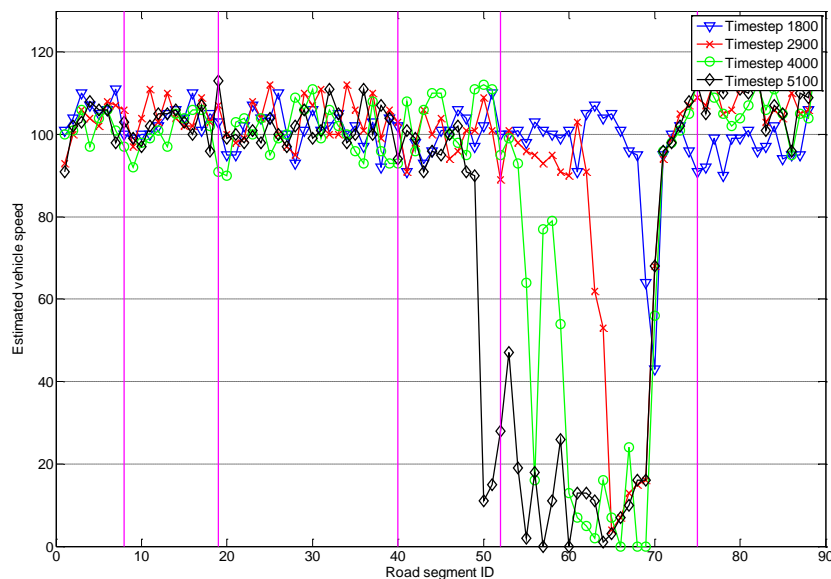
Uit het voorgaande kan het volgende besloten worden: **zowel op de autosnelweg als op de gewestweg kan onder optimale FCD omstandigheden zeer duidelijk en accuraat de locatie van een filestaart afgeleid worden.**

4.5 Bepaling locatie incident

In deze sectie willen we experimenteel aantonen dat onder optimale omstandigheden het FCD algoritme in staat is om op accurate wijze de locatie van een incident te kunnen bepalen.

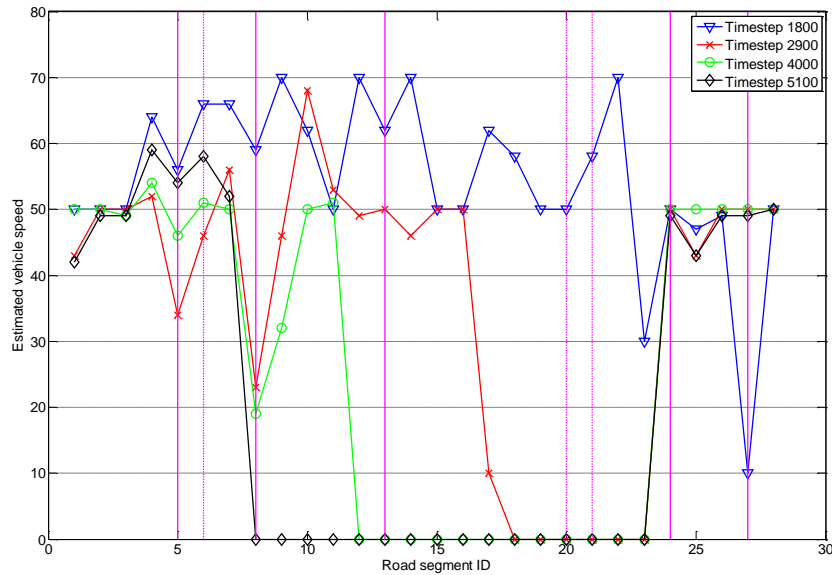
Hiervoor werden de twee scenario's waarin een incident plaats heeft in nader detail bekeken. Op de autosnelweg zal er zich bij normaal verkeer op segment 70 een ongeval voordoen waardoor de twee rechter rijstroken worden versperd. Op de gewestweg zal er zich bij normaal verkeer op segment 23 een ongeval voordoen waardoor dit segment (dat slechts uit 1 rijvak bestaat) volledig zal worden versperd. Als optimale FCD omstandigheden definiëren we opnieuw: penetratiegraad 100%, interval tussen bemonstering 1 seconde en de waarde van de variabele *#monsters* gelijk aan 5. Voor beide scenario's werd op verschillende tijdstippen manueel vergeleken of het berekende FCD verkeersbeeld nauwkeurig overeenkomt met de feitelijke situatie in de microscopische verkeerssimulator. Dit bleek steeds het geval te zijn

Een illustratie van het onderzochte scenario op de autosnelweg is gegeven in Figuur 20. Daarop is duidelijk te zien hoe het incident een file veroorzaakt die doorheen de tijd langer en langer wordt. Zoals reeds besproken in de vorige sectie wordt de filestart gekenmerkt door een duidelijk en steil verticaal verval van de grafiek. Het omgekeerde geldt voor de locatie van het incident zelf: deze wordt gekenmerkt door een duidelijke en steile stijging van de grafiek. De locatie hiervan blijft ook zeer constant doorheen de tijd, en is exact gelijk aan de locatie waarop het incident zich had voorgedaan in de microscopische verkeerssimulator.



Figuur 20: Bepalen locatie incident op de autosnelweg

Een illustratie van het onderzochte scenario op de gewestweg is gegeven in Figuur 21. Daarop is duidelijk te zien hoe het incident een file veroorzaakt die doorheen de tijd langer en langer wordt. Opnieuw wordt de filestart gekenmerkt door een duidelijk en steil verticaal verval van de grafiek. En opnieuw geldt het omgekeerde voor de locatie van het incident zelf: deze wordt gekenmerkt door een duidelijke en steile stijging van de grafiek. De locatie hiervan blijft ook zeer constant doorheen de tijd, en is exact gelijk aan de locatie waarop het incident zich had voorgedaan in de microscopische verkeerssimulator.



Figuur 21: Bepalen locatie incident op de gewestweg

Uit het voorgaande kan het volgende besloten worden: **zowel op de autosnelweg als op de gewestweg kan onder optimale FCD omstandigheden zeer duidelijk en accuraat de locatie van een incident afgeleid worden**

4.6 Besluit

In dit hoofdstuk werd een eigen algoritme voorgesteld voor het schatten van effectieve huidige snelheden op basis van FCD gegevens. Het grote voordeel van dit algoritme is dat er geen digitale wegenkaart nodig is in het voertuig en dat er op de server geen traject moeten berekend worden tussen twee opeenvolgende punten om voor de verschillende segmenten ertussen de snelheid te kunnen bepalen. Het is dus een eenvoudige techniek, wat goed is voor de schaalbaarheid, maar zoals vooropgesteld ook makkelijker te implementeren en te onderhouden is.

Dit algoritme wordt gekenmerkt door een variabele *#monsters*. Deze bepaalt hoeveel vroeger ontvangen monsters er worden uitgemiddeld bij het inschatten van de huidige snelheid voor een wegsegment. Bij het gebruik van FCD is de optimale waarde voor deze variabele *#monsters* in het algemeen gelijk aan 5. Wanneer de uitrustingsgraad laag is moet wel steeds getracht worden om in de mate van het mogelijke de intervallen tussen bemonstering klein te houden. Alleen wanneer er dan nog steeds niet genoeg monsters door de FCD server worden ontvangen is het mogelijk dat de optimale waarde voor de variabele *#monsters* gelijk is aan 1 of 2.

Gebaseerd op deze stelling kan afgeleid worden dat het toegepast FCD algoritme het beste zal presteren wanneer de penetratiegraad 100% is, het interval tussen bemonstering 1 seconde is en de waarde voor de variabele *#monsters* gelijk is aan 5. Er werd experimenteel onderzocht of onder deze optimale omstandigheden het FCD algoritme in staat is om op accurate wijze de drie vooropgestelde functionaliteiten te kunnen aanbieden:

- Bepalen huidige snelheid op een wegsectie
- Bepalen locatie filestaart
- Bepalen locatie incident.

Er kon besloten worden dat op de autosnelweg floating car data in combinatie met het voorgestelde algoritme en optimale FCD omstandigheden een nauwkeurige inschatting kan maken van de reële snelheid op een wegsegment. Dit geldt onder alle voorgestelde scenario's. Op de gewestweg zijn zelfs onder optimale FCD omstandigheden de absolute waarden van de ingeschatte snelheden geen accurate voorstelling van de werkelijke situatie. Wel kan aan de hand van deze gegevens accuraat afgeleid worden of er per segment normaal verkeer of congestie plaats vindt.

Ook kon worden aangetoond dat zowel op de autosnelweg als op de gewestweg onder optimale FCD omstandigheden zeer accuraat de locatie van een filestaart of incident kan afgeleid worden.

5. RANDVOORWAARDEN GEBRUIKTE DATA

In het vorige hoofdstuk werd aangetoond welke prestaties van het voorgesteld FCD algoritme kunnen verwacht worden onder optimale omstandigheden. Deze omstandigheden waren een uitrustingsgraad van 100%, een interval tussen bemonstering van 1 seconde en een waarde voor de variabele *#monsters* die gelijk is aan 5. Deze omstandigheden zullen in de praktijk echter niet gehaald kunnen worden. Zo is een uitrustingsgraad van 100% zelfs op lange termijn moeilijk realiseerbaar. Een interval van 1 seconde tussen bemonstering heeft op zijn beurt tot gevolg dat er grote hoeveelheden data moeten gecommuniceerd en verwerkt worden.

Het doel van deze studie is het onderzoeken van de praktische haalbaarheid van een hedendaagse introductie van een FCD systeem. Daarom zullen we in dit hoofdstuk bepalen wat de minimale vereisten zijn waarbinnen het FCD systeem even goed blijft presteren als in het optimale geval. Concreet willen we de uitrustingsgraad minimaliseren en het interval tussen bemonstering maximaliseren. Indien nodig wensen we de waarde van de variabele *#monsters* aan te passen aan deze waarden. Er werd namelijk aangetoond in sectie 4.2 dat bij lage penetratiegraden en grote intervallen tussen bemonstering soms betere resultaten behaald worden wanneer *#monsters* gelijk is aan 1 of 2 i.p.v. de standaard waarde 5.

Het optimaliseren van deze drie parameters kan echter niet los van elkaar gebeuren. Elk van hen heeft een directe invloed op de nauwkeurigheid van het FCD algoritme, maar hun effecten zijn echter ook inherent aan elkaar verbonden. Bijvoorbeeld als je de penetratiegraad verkleint verlaag je de nauwkeurigheid, maar dit kan je opvangen door het interval tussen bemonstering ook te verkleinen. Echter, het interval tussen bemonstering kan ook niet onzorgvuldig aangepast worden. Wanneer teveel monsters per voertuig worden genomen kan zowel het mobiele datanetwerk als de server overbelast worden. Wanneer er te weinig monsters worden genomen kan de volledige dataset onbruikbaar worden. Wanneer een lage penetratiegraad gecombineerd wordt met een lang interval kan het ook mogelijk zijn dat de waarde van *#monsters* moet worden verlaagd om een hogere nauwkeurigheid te bekomen.

Voor het bepalen van de optimale configuratie van deze drie parameters werd volgende **optimalisatiestrategie** toegepast:

1. Het voornaamste doel is het minimaliseren van de penetratiegraad. Het behalen van een hoge penetratiegraad kan in een effectieve uitrol namelijk één van de grootste uitdagingen zijn. In de eerste stap wordt dus het interval tussen bemonstering constant gehouden op 1 seconde, en wordt gradueel gezocht naar de minimale penetratiegraad waarbij het FCD algoritme even goed blijft presteren als in hoofdstuk 4.
2. In de volgende stap wordt de minimale penetratiegraad uit stap 1 aangehouden, en wordt het interval tussen bemonstering gradueel groter gemaakt tot men het maximale interval heeft bepaald waarvoor de FCD resultaten even goed zijn als in optimale omstandigheden.
3. Tenslotte wordt gekeken of de waarden bekomen in stap 1 en 2 als gevolg hebben dat de waarde voor de variabele *#monsters* moet worden aangepast. Indien ja wordt de optimale waarde experimenteel vastgelegd.

Merk op dat in de bestaande literatuur geen gelijkaardige optimalisatie kon worden gevonden. Penetratiegraad en interval tussen bemonstering wordt in verschillende publicaties onderzocht (zie ook hoofdstuk 2.), maar in het algemeen gebeurt dit onafhankelijk van elkaar. Alleen Nanthawichit et al. (2003) nam ook de interactie tussen penetratiegraad en interval tussen bemonstering in rekening. Deze studie beperkte zich echter tot de autosnelweg; gewestwegen en stadsomgevingen kwamen niet aan bod. Daarnaast kwam deze studie tot het besluit dat de minimale penetratiegraad 4 tot 5% is

bij een interval van 10 tot 30 seconden. Verschillende andere studies spreken op de autosnelweg echter van lagere minima, tot 1 %. Dit betekent toch een groot verschil naar de praktische haalbaarheid toe. Het is dus zeker interessant om in deze studie de optimalisatieoefening zelf te maken voor zowel de gewestweg als de autosnelweg.

In totaal werden er dan ook tien verschillende scenario's bestudeerd: de twee types wegen aan de vijf verschillende intensiteiten. In elk scenario werd de beschreven optimalisatiestrategie gevolgd. Als representatie van de eigenlijke verkeerssituatie werd het FCD resultaat onder optimale omstandigheden gebruikt. Aan de hand van deze basis werd steeds met de hand gecontroleerd of de resultaten van een specifieke FCD configuratie een accurate voorstelling zijn van de eigenlijke verkeerssituatie. Dit gebeurde aan de hand van figuren waarvan Figuur 22 tot Figuur 26 voorbeelden zijn. De blauwe lijn met de driehoekjes stelt steeds de effectieve verkeerssituatie voor, de andere lijnen zijn de onderzochte configuraties. Wanneer een configuratie op een aantal segmenten afwijkt van de effectieve situatie wordt deze beschouwd als niet accuraat. Alleen de waarde van de segmenten met verkeerslichten werden hierbij genegeerd (de verticale, volle roze lijnen op Figuur 24 - Figuur 26). Reden hiervoor is dat de absolute waarde van de resultaten op kruispunten met verkeerslichten niet van belang is (zie sectie 4.3.2). Een overzicht van de optimale configuraties voor de verschillende scenario's is samengevat in Tabel 1.

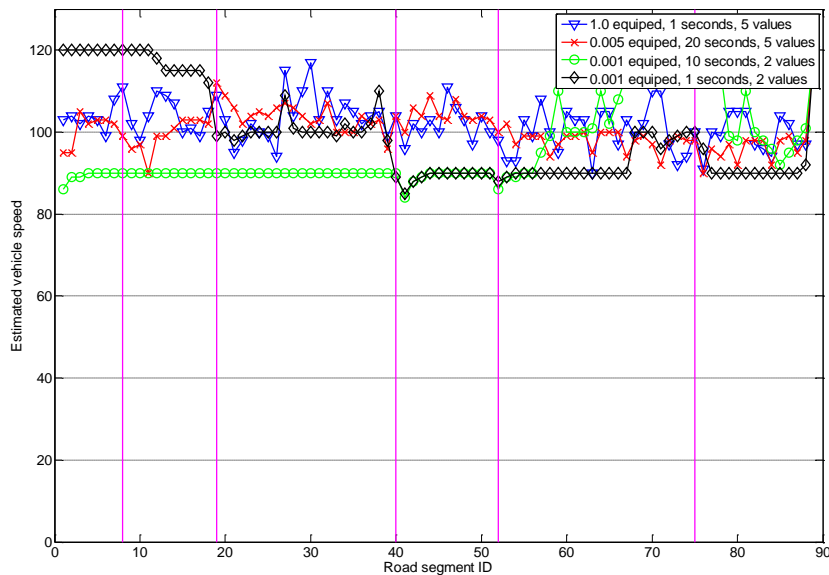
Wanneer we deze gegevens in detail bekijken kunnen we besluiten dat een FCD systeem op de autosnelweg zowel in staat is om per sectie een accurate inschatting te maken van de effectieve snelheid als om de locatie van een incident en een filestaart correct te bepalen. Hiervoor hebben we een minimale penetratiegraad nodig van 1%, en neemt een FCD voertuig best elke 10 seconden een monster (we nemen een conservatieve marge op 20 seconden zoals vermeld in de tabel).

Op een gewestweg is een FCD systeem alleen in staat om per sectie een accurate inschatting van de effectieve snelheid te maken bij secties die last hebben van lichte congestie (wegens te hoge dynamiek rond verkeerslichten en kruispunten bij gewoon verkeer). Hiervoor hebben we een minimale penetratiegraad nodig van 10%, en neemt een FCD voertuig best elke seconde een monster. Dit is echter in de praktijk moeilijk haalbaar, zo zullen in België 600 000 voertuigen met een FCD zender moeten worden uitgerust. Dit is een grote uitdaging. Daarnaast zal het zeer kleine interval tussen bemonstering ervoor zorgen dat het mobiele datanetwerk en de FCD server zwaar belast worden. Als oplossing stellen we voor om in het geval van de gewestweg de aangeboden FCD functionaliteit te beperken tot het alleen bepalen van de locatie van versperringen en filestaarten en het detecteren van zware congestie. In dit geval hebben we een penetratiegraad nodig van 1%, met een meting elke 10 seconden.

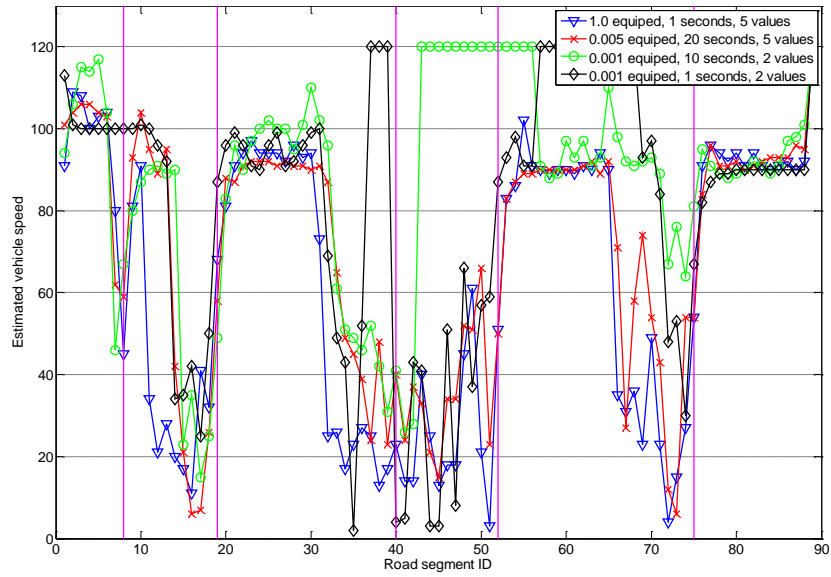
We stellen op grond van het voorgaande voor dat er best gestreefd wordt naar een FCD configuratie met een uitrustingsgraad van 1% waarbij een FCD voertuig elke 10 seconden een monster neemt. Dit systeem zal op de autosnelweg zowel in staat zijn om per sectie een accurate inschatting te maken van de effectieve snelheid als om de locatie van een incident en een filestaart correct te bepalen. Op de gewestwegen en in een stadsomgeving zal dit FCD systeem niet in staat zijn om per sectie een accurate inschatting te maken van de effectieve snelheid, maar het zal wel in staat zijn om de secties in te delen in twee categorieën: normaal verkeer en congestie. Daarnaast zal het systeem op gewestwegen ook de locatie van een incident en een filestaart correct kunnen bepalen.

Environment	Traffic density	Minimum penetration rate	Update interval (s)	Number of values for traffic algorithm
Highway	No congestion	0.5%	20	5
Highway	Medium congestion	0.5%	30	5
Highway	Heavy congestion	0.5%	20	5
Highway	Nighttime	1%	20	5
Highway	Breakdown	1%	20	5
Arterial	No congestion	10%	1	5
Arterial	Medium congestion	10%	1	2
Arterial	Heavy congestion	1%	30	2
Arterial	Nighttime	10%	1	2
Arterial	Breakdown	5%	30	2

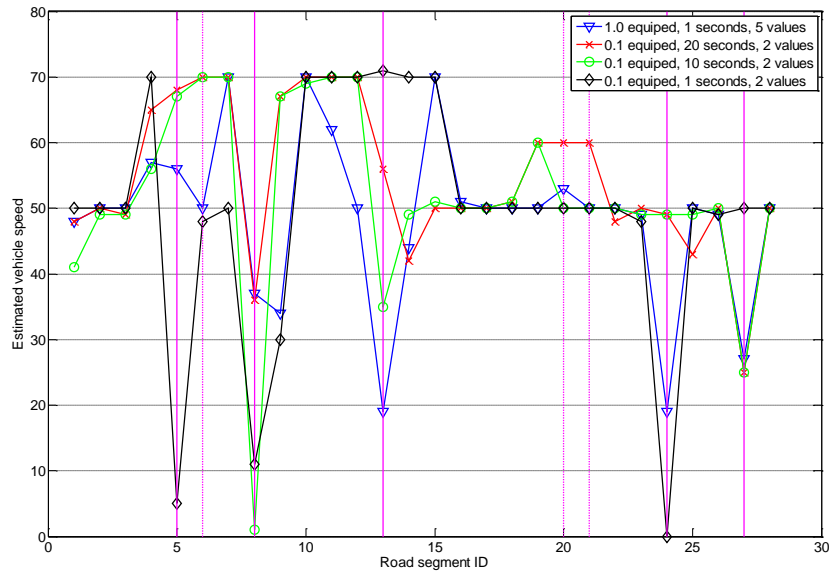
Tabel 1: Optimale FCD configuraties



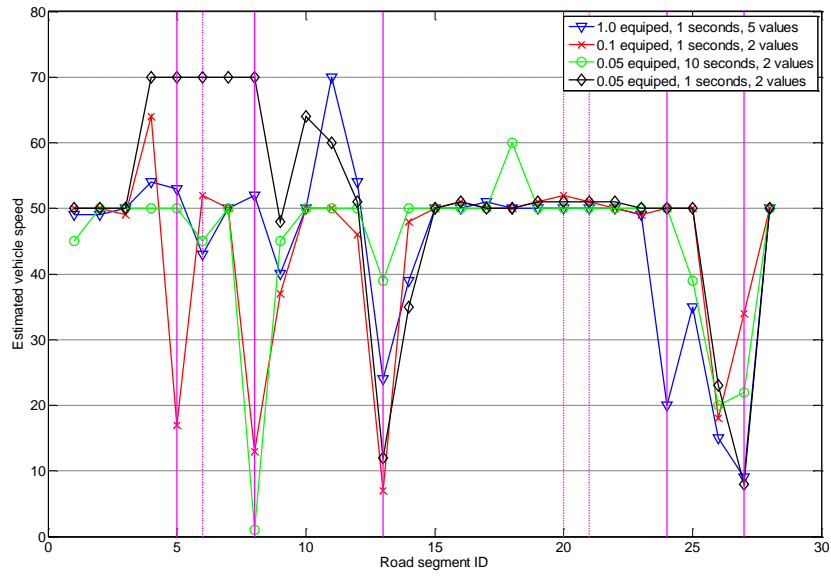
Figuur 22: optimale FCD configuratie autosnelweg – geen congestie



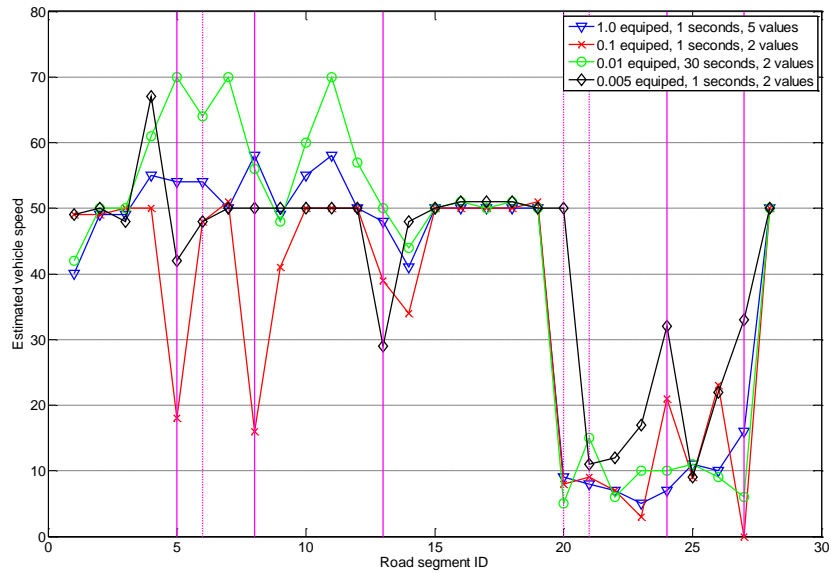
Figuur 23: optimale FCD configuratie autosnelweg - hevige congestie



Figuur 24: optimale FCD configuratie gewestweg – geen congestie



Figuur 25: optimale FCD configuratie gewestweg – matige congestie



Figuur 26: optimale FCD configuratie gewestweg – hevige congestie

6. IMPACT OP HET NETWERK

Voor beleidsnemers die de uitrol van een FCD systeem overwegen is de betrouwbaarheid van het gehele systeem een belangrijk punt. Eén van de grote onderzoeksvragen in dit domein is of er problemen kunnen verwacht worden wegens een mogelijke overbelasting van het mobiele datanetwerk bij hoge voertuigconcentraties? In dit hoofdstuk wordt deze vraag onderzocht.

Hiervoor kunnen we gebruik maken van een model dat de auteurs van dit rapport ontwikkelden in vorig werk (Vandenberghe et al., 2009). Dit model was origineel bedoeld om te kunnen inschatten wat de belasting op het netwerk is wanneer men zou overgaan tot de introductie van een GPS gebaseerde variabele wegenbelasting in België. De analogie met het scenario van floating car data is dan ook duidelijk: in beide gevallen verzamelen voertuigen op regelmatige basis gegevens over hun huidige positie en sturen deze door naar een centrale server. Mits correcte aanpassing van de gebruikte parameters is het model dan ook geschikt voor het inschatten van de belasting veroorzaakt door een FCD systeem. Voor een gedetailleerde beschrijving van dit model verwijzen we de lezer naar de originele publicatie (Vandenberghe et al., 2009). Hieronder vatten we de essentie samen.

Het model maakt gebruik van een aantal parameters:

- U_c : het totaal aantal connecties dat binnen 1 netwerkcel per uur naar de server gemaakt wordt.
- D_c : de totale hoeveelheid data die binnen 1 netwerkcel per uur naar de server verzonden wordt.
- i : intensiteit van het doorgaand verkeer binnen de netwerkcel, uitgedrukt in voertuigen per uur.
- l : de gemiddelde doorsnede van een netwerkcel langs de autosnelweg. In België is dit 2.4 km.
- d : de afstand tussen twee transmissies van opgeslagen monsters naar de server.
- p : percentage van het totale verkeer dat uitgerust is met een GPS zender voor variabele wegenbelasting. Uitgedrukt als een getal tussen 0 en 1.
- m : marge om de meest drukke dagen te kunnen ondersteunen. Hierbij wordt er van uit gegaan dat de waarden voor i gemiddelden voorstellen wat door m gecompenseerd zal worden. In België is de meest geschikte waarde voor m 1.35.
- co : compensatiefactor voor het gebruik van oudere data voor het voorstellen van recentere scenario's. In het model wordt een dataset van verkeerstellingen in Vlaanderen gebruikt die publiekelijk toegankelijk is op de website van het agentschap Wegen en Verkeer⁸. Deze dataset wordt gebruikt om voor locaties in heel Vlaanderen realistische inputwaarden te hebben voor de parameter i . Deze dataset omvat het jaar 2007 en is dus relatief recent. Er is dan ook geen nood aan een compensatie, de beste waarde voor de variabele co is dan ook 1.
- O : overhead voor het opzetten van een connectie met de server, uitgedrukt in bytes. Bij een SSL connectie is dit 5000 bytes.
- c : de afstand tussen het opnemen van twee monsters
- b : de bytesize van één monster. Wanneer het monster positie en tijdstip bevat is b gelijk aan 37. In het geval van FCD systemen zal huidige snelheid nog worden toegevoegd, en wordt b gelijk aan 50.

⁸ <http://www.wegenenverkeer.be/technische-documenten/category/verkeerstellingen.html>

- z : zip factor, indicatie van hoe goed de data kan gecomprimeerd worden. Wordt voorgesteld als een getal tussen 0 en 1, deze is gelijk aan de grootte van de gecomprimeerde data gedeeld door de grootte van de originele data. In het scenario van GPS gebaseerde wegenbelasting is het toegestaan dat de gegevens lang in het voertuig worden opgeslagen om dan in één keer naar de server te worden verzonden. In Vandenberghe et al. (2009) stelden we als optimaal interval tussen twee transmissies een afstand van 200 km voor. Dit zou voor FCD toepassingen compleet onaanvaardbaar zijn. We wensen dan ook in het FCD scenario een aggregatie van monsters bij verzending te ondersteunen, maar met de beperking dat er slechts een zeer klein aantal monsters kan geaggregeerd worden. In dat geval zal er dus weinig data zijn om te comprimeren, en is het effect van compressie te verwaarlozen. In het geval van FCD zullen we de waarde voor de parameter z dan ook gelijk stellen aan 1.

Nu alle variabelen werden geïntroduceerd kunnen we de twee formules geven waarop het model is gebaseerd:

$$U_c = i * (l / d) * p * m * co \text{ connecties/uur}$$

$$D_c = (i * (l / d) * p * m * co) * (O + ((d / c) * b * z)) \text{ byte/hour.}$$

Zoals reeds toegelicht bij de introductie van de parameters is de implementatie van het model gebaseerd op een bestaande dataset van verkeersmetingen. Deze metingen vormen de input voor de parameter i , en laten het toe om voor een groot aantal locaties langs Belgische autosnelwegen de plaatselijke belasting op het datanetwerk te berekenen. De waarden van de andere parameters worden door de gebruiker ingegeven. Sommige waarden liggen vast (bv. de gemiddelde diameter van een netwerkcel, de datagrootte van één monster, de marge voor het ondersteunen van de drukste dagen, enz.). Andere waarden kunnen worden gevarieerd om zo het optimale scenario te kunnen bepalen (afstand tussen bemonstering, afstand tussen transmissie en uitrustingsgraad zijn de voornaamste).

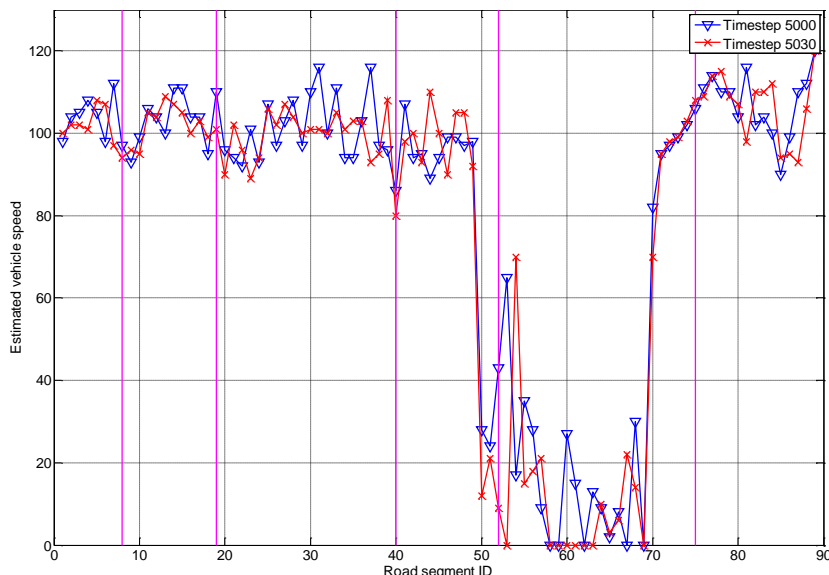
Om dit model nu toe te kunnen passen op het scenario van floating car data moeten de waarden van een aantal variabelen aangepast worden. Denk hierbij aan de parameters b en z waarvoor de gepaste nieuwe waarde reeds werd besproken. De waarde voor p moet gelijkgesteld worden aan de minimale FCD penetratiegraad van 1 % zoals voorgesteld in hoofdstuk 5. Met andere woorden p moet gelijk gesteld worden aan 0.01. Voor de parameter c moeten we een omvorming maken van een eenheid in tijd naar een eenheid in afstand. Als interval tussen bemonstering werd namelijk 10 seconden vastgelegd in hoofdstuk 5. Parameter c wordt echter voorgesteld in afstand. Aangezien het gebruikte model alleen van toepassing is op autosnelwegen kunnen we deze omvorming eenvoudig uitvoeren aan de hand van de gemiddelde snelheid. Deze was in het normaal stromende verkeer ongeveer gelijk aan 105 km/u. Een bemonstering om de 10 seconden komt in dat geval ongeveer overeen met een bemonstering om de 300 meter. De waarde voor c wordt dan ook 0.3 km.

Nu we de correcte parameter waarden kennen voor toepassing van dit model in het FCD scenario kunnen we voor een aantal verschillende scenario's de belasting op het mobiele datanetwerk vergelijken. We zien namelijk nog twee mogelijkheden om de belasting te optimaliseren:

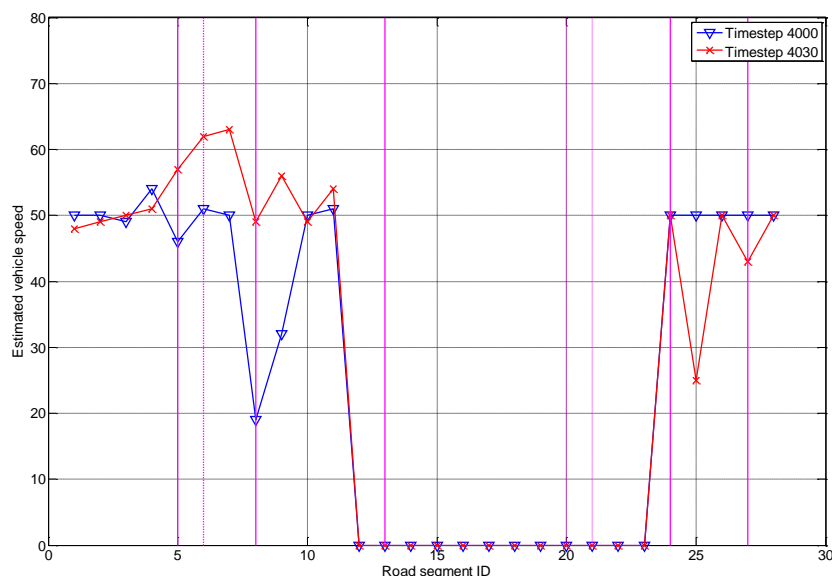
- We kunnen trachten om de overhead van het opzetten van de connectie naar de server te verminderen. Deze is namelijk 5000 bytes, wat zeer groot is in

vergelijking met de zeer beperkte hoeveelheid data die per verbinding wordt doorgestuurd. Hiervoor kunnen we gebruik maken van de zogenaamde restart SSL handshake. In dit concept komt het erop neer dat de client bij het opzetten van de verbinding met de server niet steeds opnieuw een volledige procedure moet doorlopen waarbij verschillende veiligheidscertificaten worden uitgewisseld. Die certificaten zijn namelijk verantwoordelijk voor het grootste gedeelte van de overhead. In de plaats daarvan zal slechts één maal om de paar dagen een volledige SSL handshake worden uitgevoerd waarbinnen certificaten worden uitgewisseld die geldig blijven tot aan de volgende full SSL handshake. Bij alle andere verbindingen met de server wordt dan een restart SSL handshake uitgevoerd waarbij gebruik wordt gemaakt van de opgeslagen certificaten. De overhead bij een restart handshake is dan ook veel kleiner, namelijk 350 bytes.

- We kunnen proberen de hoeveelheid nuttige data per connectie te vergroten. Dit doen we in analogie met het scenario voor GPS variabele wegenbelasting door een aantal monsters eerst te bewaren vooraleer deze in één geaggregeerd bericht te verzenden. Zoals reeds vermeld bij bespreking van de parameter z mogen er slechts een beperkt aantal monsters geaggregeerd worden voor transmissie. Een FCD systeem is namelijk veel gevoeliger voor vertraging tussen bemonstering en verzending naar de server. We stellen voor om steeds 3 monsters samen te nemen. Met andere woorden, bij een interval tussen bemonstering van 10 seconden is het interval tussen transmissie dan gelijk aan 30 seconden. De correcte waarde voor de parameter d wordt dan 900 meter, of 0.9 km. Om zeker te zijn dat de voorgestelde aggregatie geen problematische vertraging oplevert voor het FCD algoritme werd bestudeerd of het verkeersbeeld sterk kan variëren op 30 seconden tijd. Hiervoor bekeken we de twee scenario's met de snelst groeiende file: het incident op autosnelweg en gewestweg. Onder optimale FCD omstandigheden werd het verkeersbeeld bepaald voor twee tijdstippen die 30 seconden van elkaar verwijderd liggen. Zoals weergegeven op Figuur 27 en Figuur 28 is het verschil in positie van de file verwaarloosbaar.



Figuur 27: Invloed 30 seconden vertraging - Autosnelweg, incident



Figuur 28: Invloed 30 seconden vertraging - Gewestweg, incident

Aan de hand van het voorgestelde model werden vier verschillende scenario's verder onderzocht:

1. direct doorsturen nieuw monster met full SSL handshake
2. direct doorsturen nieuw monster met restart SSL handshake
3. geaggregeerd doorsturen van 3 monsters elke 30 seconden met full SSL handshake
4. geaggregeerd doorsturen van 3 monsters elke 30 seconden met restart SSL handshake

De specifieke parameters per scenario worden weergegeven in Tabel 2:

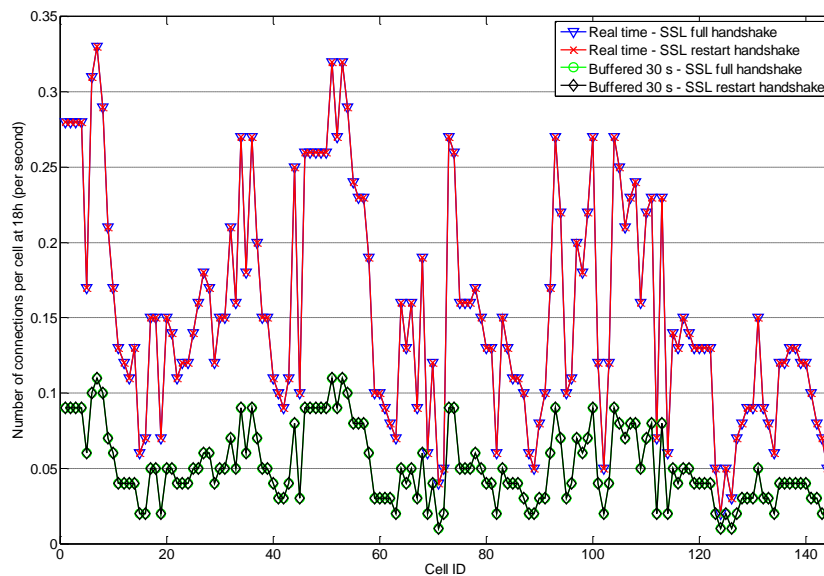
Scenario	<i>l</i>	<i>d</i>	<i>c</i>	<i>b</i>	<i>O</i>	<i>p</i>	<i>z</i>	<i>co</i>	<i>m</i>
1	2.4	0.3	0.3	50	5000	0.01	1	1	1.35
2	2.4	0.3	0.3	50	350	0.01	1	1	1.35
3	2.4	0.9	0.3	50	5000	0.01	1	1	1.35
4	2.4	0.9	0.3	50	350	0.01	1	1	1.35

Tabel 2: geschikte parameterwaarden onderzochte scenario's

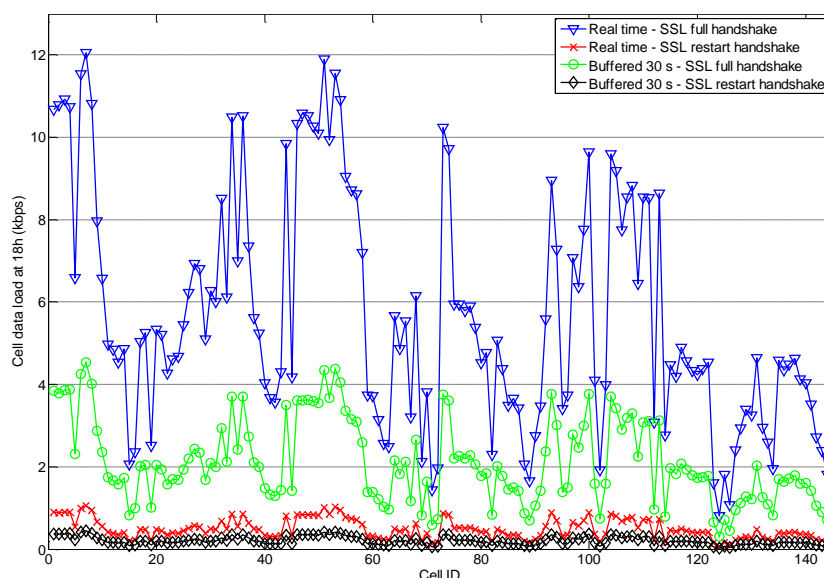
De resultaten van het inladen van de 4 scenario's in het model is weergegeven in Figuur 29 en Figuur 30. Ze tonen aan dat in elk van de scenario's de belasting van de netwerkcellen door het FCD systeem steeds te verwaarlozen is. Zelfs op de drukste locaties in België zal op het piekmoment van de dag namelijk slechts 0.3 verbindingen per seconde worden opgezet in één netwerkcel, met een totale belasting van 12 kilobit per seconde. Wel werd waargenomen dat het toepassen van de SSL restart handshake in combinatie met het aggregeren van 3 monsters per transmissie wel een duidelijke positieve invloed heeft op de hoeveelheid data die tussen client en server moet gecommuniceerd worden. Dit is van ondergeschikt belang in deze analyse betreffende betrouwbaarheid wegens het verwaarloosbare karakter van de vier scenario's, maar is

wel interessante informatie voor het bepalen van de maandelijks getransfereerde hoeveelheid data en bijhorende kost (zoals uitgewerkt in sectie 7.2 , daar komt men in dat geval uit op een verbruik van ongeveer 1 MByte per maand per client).

We kunnen besluiten dat zelfs zonder optimalisaties het voorgestelde FCD systeem met een penetratiegraad van 1% en een interval tussen bemonstering van 10 seconden een verwaarloosbare invloed heeft op het mobiele datanetwerk. Wel kan de hoeveelheid maandelijks gecommuniceerde data sterk verminderd worden door gebruik te maken van een optimalisatie bij het opzetten van de beveiligde verbinding naar de server (de zogenaamde SSL restart handshake) in combinatie met een aggregatie van 3 monsters per transmissie naar de server.



Figuur 29: Aantal verbindingen naar de server per uur voor de verschillende netwerkcellen (piekmoment van de dag)



Figuur 30: Hoeveelheid data verzonden naar de server per uur voor de verschillende netwerkcellen (piekmoment van de dag)

7. KOSTEN ANALYSE

In hoofdstuk 5. werd een analyse uitgevoerd om te bepalen hoeveel procent van de (vracht)wagens getracked moeten worden om een accuraat verkeersbeeld op te kunnen bouwen op basis van gegevens afkomstig van het voertuig. Hier zullen we dit koppelen aan een kostinschatting, die erop gericht is om een aantal implementatiemogelijkheden te vergelijken door een grootteorde van de bijhorende kosten te bepalen. Een eerste mogelijkheid gaat uit van een generiek Intelligent Verkeerssysteem (IVS - Intelligent Transportation System of ITS in het Engels), zoals besproken in vorig werk van de auteurs, het Steunpunt rapport 2009 (De Mol et al., 2009). Hierbij is Floating Car Data dan simpelweg een van de vele applicaties op het platform. Dit scenario noemen we verder IVS. Een tweede optie vertrekt van een toegewijde hardwarematige unit die specifiek voor het genereren van floating car data in de wagens wordt geïnstalleerd, dus los van andere mogelijke applicaties. Dit scenario noemen we verder HW unit. Een derde optie is om de tracking uit te voeren via een applicatie op smartphones, en we verwijzen hiernaar als het scenario met smartphone applicatie. Ten slotte kan er ook gekeken worden naar bedrijven die al over data beschikken en deze data aankopen. Hierbij is het niet mogelijk om accurate inschattingen te maken, maar we zullen de eerste twee scenario's gebruiken om aan te geven wat de financiële waarde is van deze data en vanaf welk punt het beter is om over te schakelen naar een eigen oplossing. Naar dit scenario verwijzen we verder als het aankoopscenario.

Deze scenario's vertellen iets over mogelijke technische en organisatorische elementen vereist om Floating Car Data aan te bieden. De concrete invulling hiervan door bepaalde bedrijven of individuen kan ook nog op verschillende manieren gebeuren. Dit bekijken we in detail in het volgende hoofdstuk rond waardenetwerken.

7.1 Kostscenario 1: een intelligent verkeerssysteem

Dit scenario werd uitgewerkt in het Steunpunt rapport 2009 (De Mol et al., 2009). We vermelden kort de kernlijnen. Het systeem is een algemeen platform, in eerste instantie gericht op informatieve en veiligheidsapplicaties, maar kan ook uitgebreid worden naar recreatieve applicaties. Zowel het netwerk als de On-Board Units zijn toegewijd aan het systeem en in eigen beheer. Dit maakt het systeem enerzijds erg duur, maar anderzijds zeer flexibel en uitbreidbaar. Bemerkt dat we met de flexibiliteit en uitbreidbaarheid niet bedoelen dat het systeem volledig open is, integendeel: door de focus op en het belang van veiligheid, lijkt het net aangewezen om het systeem vrij strikt te beheren en geen honderden verschillen partijen in het project te betrekken. Dit bespreken we in meer detail in het volgende hoofdstuk over het Value Network.

De kostprijs voor het volledig systeem werd berekend in verschillende scenario's en met verschillende technologieën. Hier vermelden we ter referentie enkel de grootteorde van de kost: die varieert afhankelijk van het geval van 700 miljoen al snel tot 1 miljard euro, bekeken op 10 jaar (met een discount rate van 5% - zo gekozen omdat we enkel de kosten bekijken). Dit zal uiteraard de duurste optie zijn, maar omwille van de extra applicaties zullen gebruikers mogelijks ook bereid zijn zelf mee te betalen voor dit systeem (dit is niet of veel minder het geval voor de andere scenario's). Het is echter heel moeilijk om een vrijwillige adoptie van het systeem in te schatten, en ook de prijszetting van een opgelegd systeem is aan veel factoren onderhevig. Daarom laten we dit hier verder buiten beschouwing. In de studie werd uiteindelijk uitgegaan van een vrijwillige adoptie die uiteindelijk terecht komt op ongeveer 60% marktpenetratie, maar in de eerste tien jaar evolueert van 4% tot ongeveer 20% in jaar 10. Dit is, zoals bestudeerd in hoofdstuk 5. , voldoende om via Floating Car Data een zicht te krijgen op congesties op autosnelwegen en toegangswegen. De bijhorende kost per wagen per jaar bedraagt ongeveer 350EUR.

7.2 Kostenscenario 2: een specifieke hardware unit

7.2.1 Beschrijving

Voor het ontwerpen van eigen hardware, specifiek voor het genereren van floating car data, moeten keuzes gemaakt worden naar functionaliteit toe. Indien we gaan voor een systeem met volledige flexibiliteit en uitbreidbaarheid, zitten we min of meer in het vorige geval, wat we hier buiten beschouwing laten (temeer omdat de netwerkkost i.v.m. de OBU kost vrij klein bleek in het vorige rapport (De Mol et al., 2009)). We bekijken dus een minimalistische versie die zo goedkoop mogelijk de basisfunctionaliteit levert: het tracken van de auto op de gewest- of autosnelweg. (Een beperkt aantal informatieve applicaties, zoals snelheidsmeting, zou evenwel wellicht kunnen toegevoegd worden voor een beperkte meerkost.)

We onderstellen dat de overheid de vragende partij is en de lancering kan organiseren zoals dit het beste (goedkoopste) uitkomt. Aangezien er geen registratie gebeurt van de persoonlijke identiteit zou dit qua privacygevoeligheden beperkt moeten zijn. Eventueel kan ervoor geopteerd worden om een eenmalig voordeel te geven. Dit kan een algemene belastingskorting zijn, een korting op de autokeuring, of een andere vorm van financiële compensatie. Aangezien de exacte vorm hier niet relevant is, rekenen we simpelweg een kost per gebruiker aan.

7.2.2 Kostelementen

Uiteraard is de hardware een belangrijk element. Het apparaat is echter wel erg beperkt: het bestaat uit een GPS-module, een controller en een GPRS/UMTS/3G- module en een plastic omhulsel. De controller signaleert periodisch de positie die hij ontvangt van de GPS ontvanger naar de centrale server, via de GPRS/UMTS/3G-antenne. Een SIM-kaart met abonnement is ook noodzakelijk voor de lopende kosten van de communicatie. Het apparaat moet ook geïnstalleerd worden in de wagen (waarbij het aan de binnenkant van het chassis wordt bevestigd en stroom van de wagen wordt afgetapt) en er moet een centrale server zijn die de informatie verzamelt en verwerkt.

Voor de hardware bekijken we componentprijzen⁹ en schatten de rechtstreekse kost op een 100 à 150EUR voor een enkele unit, maar wegens grote volumes van aankoop kan dit wellicht aanzienlijk verlaagd worden. Daarnaast moeten we ook een integratiemarge aanrekenen voor de productie om het geheel in elkaar te steken. Aangezien opnieuw het volume vrij groot is, kan dit wellicht vrij efficiënt gebeuren. Alles samen schatten we daarom de kost van het apparaat op 75EUR. De installatie kan snel gebeuren, want vereist slechts fysisch koppelen aan het chassis (wellicht aan de onderkant van de wagen, voor een betere communicatie naar buiten toe) en een koppeling voorzien met de interne stroom van de wagen. De installatie kan gebeuren in een garage, of – indien dit wettelijk toegelaten is – eventueel op de autokeuring. We houden rekening met een conservatieve installatieduur van een uur, met een kost van 45EUR – of dus een totaal kost van 120EUR per unit. We onderstellen een levensduur van 5 jaar voor het apparaat, en een verwaarloosbaar percentage aan vroegere falingen.

Het ontwerp van het apparaat lijkt, in zijn eenvoudigste vorm, weinig complex; er gebeurt immers niets meer dan periodiek de GPS coördinaten opvragen en deze doorsturen. We schatten dat een ingenieur dit apparaat op zes maanden kan ontwerpen, aan een loon van 5.000EUR per maand. Verder moeten wel enkele contacten gelegd worden voor massaproductie van het apparaat, hiervoor rekenen we opnieuw zes maand werk voor een ervaren commerciële medewerker, bijgestaan door een technisch persoon,

⁹ Gespecialiseerde sites zoals: www.farnell.com

beide aan een loon van 4.000EUR. Bijhorende onkosten schatten we op 20.000EUR. Dit levert een totale kost van 98.000EUR voor ontwerp en pre-productie van de hardware.

Voor de connectiekosten merken we op dat het geen gesprekken betreft, maar gewoon machine to machine communicatie. Hiervoor bestaan gespecialiseerde (goedkope) abonnementen, waarvan de prijsinformatie echter niet publiekelijk beschikbaar is. Vanuit ervaringen en contacten in andere onderzoeksprojecten kunnen we wel een grootteorde inschatting maken. Het dataverbruik bepalen we op basis van de technische analyse in hoofdstuk 6. Er wordt een bericht van 500 bytes (350 bytes overhead + 3 monsters van elk 50 bytes) gestuurd elke 30 seconden. Volgens mobielvlaanderen.be bedroeg de gemiddelde afstand per dag en per voertuig in 2008 ongeveer 42km. Het BIVV¹⁰ heeft cijfers gepubliceerd over de gemiddelde snelheid, maar deze omvatten de autosnelwegen niet en zijn bovendien opgesplitst over de verschillende maximumsnelheden op de weg, wat aggregatie onmogelijk maakt (aangezien er niet geweten is hoeveel tijd er gemiddeld op welk type weg gereden wordt). De FOD statistiek¹¹ heeft wel informatie over de afgelegde afstand op autosnelwegen en gewestwegen, namelijk respectievelijk 500miljoen en 750miljoen kilometer. We schatten de gemiddelde snelheid op respectievelijk 90km/h en 60km/h, en het gewogen gemiddelde bedraagt dus ongeveer 70km/h. Dit leidt tot een gemiddelde duur in de wagen van 220 uur per jaar, of ruim 18 uur per maand. Dit komt neer op ongeveer 1080kB per maand aan data. De kost voor SIM-kaart met een abonnement voor 1MB per maand, bedraagt in de buurt van 2 à 3 EUR per maand; we hanteren hier 2.5EUR. Gezien de snelle evolutie in de mobiele markt, hanteren we hier bovendien een jaarlijkse prijsdaling van 5%.

Centraal voorzien we twee servers om alle data te registreren en bij te houden. Hiervoor hanteren we dezelfde kost als in onze kostenstudie van vorig jaar, namelijk 1.500EUR per server per jaar.

Er is een meldingspunt voorzien waar mensen naar kunnen bellen bij problemen. Aangezien de gebruiker de unit niet zelf dient te gebruiken of aan te sturen, verwachten we dat deze erg weinig gebruikt zal worden, namelijk eenmaal per jaar door 25% van de bestuurders. De kost van een telefoontje schatten we als volgt in (ook analoog aan de kostenstudie): een callcenter medewerker kost 35.000EUR per jaar en levert daarvoor 1.760 minuten dienst. We schatten dat 66% hiervan worden ingevuld voor gesprekken en het afhandelen daarvan. Een enkel telefoongesprek neemt ongeveer 15 minuten in beslag. Dit levert in totaal een kost van ongeveer 7.5EUR per gesprek.

Om de bestuurder te vergoeden voor de installatie van een FCD toestel in zijn voertuig wordt een beloning voorzien. Hoewel deze allerlei vormen en maten kan aannemen (cash, korting op de verkeersbelasting, waardebons, product, enz), wordt de specifieke vorm niet gespecificeerd, omdat dit voor de kostenberekening irrelevant is. Er wordt gewoon uit gegaan van een eenmalige kost van 25 EUR per geïnstalleerd FCD toestel. Deze kost noemt men ook wel de incentive kost.

Voor het aantal wagens gaan we niet uit van dezelfde 20% uit het voorgaande scenario, omdat dit nu eenmaal niet noodzakelijk is indien er gefocust wordt op Floating Car Data. In feite volstaat 1% van het wagenpark. Ter vergelijking beschouwen we daarnaast echter ook nog eens hetzelfde scenario, maar waarbij de installatiegraad lineair toeneemt van 4 tot 20%, in analogie met het voorgaande scenario.

In Tabel 3 geven we een overzicht van alle kosten.

¹⁰ http://bivvweb.ipower.be/Observ/NL/snelheid_nl_lowres.pdf

¹¹ <http://statbel.fgov.be/nl/statistieken/cijfers/>

Kostelement	Kost (EUR)	Frequentie
HW unit	75	Eenmaal per 5 jaar per wagen
Installatie	45	Eenmaal per 5 jaar per wagen
Ontwikkelkost	98.000	Eenmalig
Communicatiekost	30	Jaarlijks per wagen
Servers	3.000	Jaarlijks
Helpdesk	7,5	25% van de wagens per jaar
Incentive	25	Eenmaal per wagen

Tabel 3: Kostenoverzicht scenario met HW unit

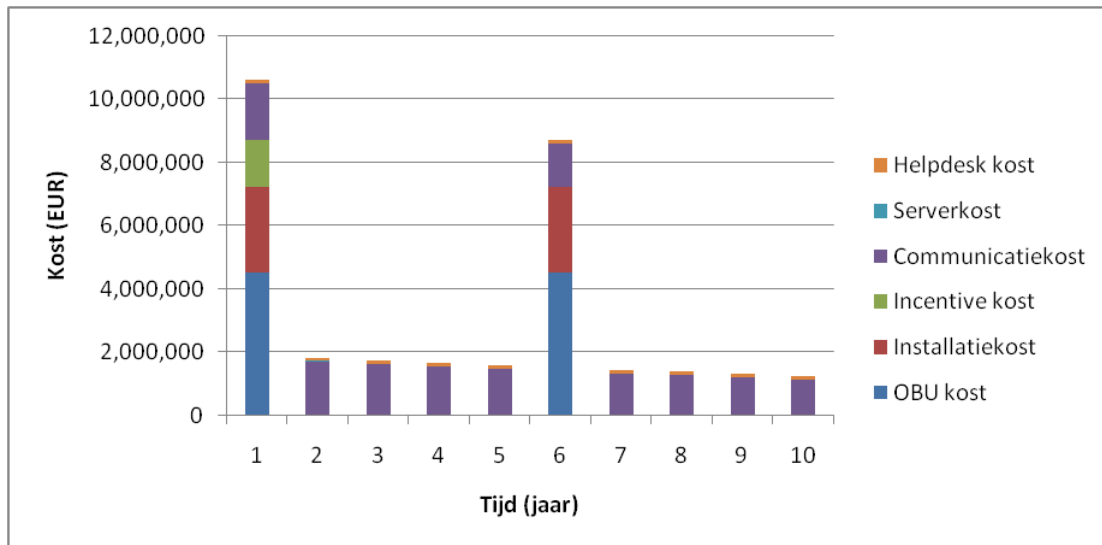
7.2.3 Resultaten

De totale (Net Present¹²) kost bedraagt 27.3 miljoen euro in geval van constant installatiegraad op 1%. Bij lineair stijgende installatiegraad stijgt de kost heel sterk tot 627.5 miljoen euro, wat neerkomt op een kost van respectievelijk 56.2EUR en 63.2 EUR per uitgeruste wagen per jaar. De kostenopsplitsing en evolutie worden weergegeven in Figuur 31 en Figuur 32. Het lijkt op het eerste zicht verrassend dat de kost per wagen hoger is bij een grotere uitrustingsgraad (aangezien de vaste kosten dan uitgespreid worden over meer wagens), maar dit valt te verklaren doordat de hardware- en installatiekosten per wagen gespreid worden over 5 jaar en er in het geval van lineair stijgende uitrustingsgraad er dus een hoop uitgeruste wagens zijn die nog "restwaarde" hebben aan hardware die nog niet versleten is, maar wel al volledig werd ingerekend.

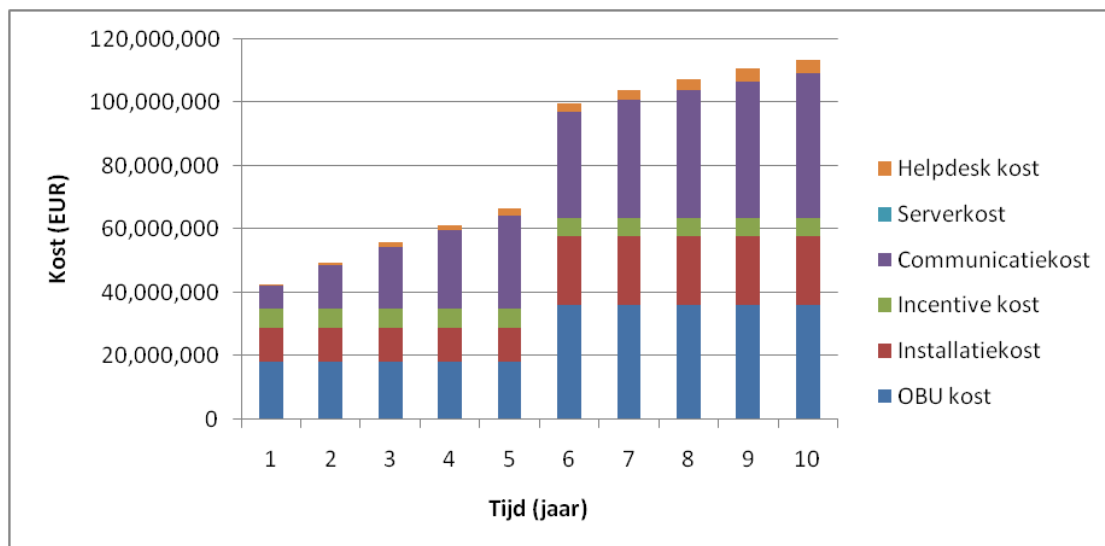
¹² De totale kost wordt voor de verschillende scenario's in dit rapport steeds gegeven als een totale Net Present Value (NPV) over 10 jaar, met een discount rate van 5%. Het idee hierachter is het volgende: de kostelementen per scenario worden allemaal bepaald aan de hand van prijzen die geldig zijn op dit moment. Echter, een bepaald bedrag vandaag heeft niet dezelfde waarde binnen tien jaar, maar zal dan minder waard zijn door inflatie. NPV houdt hier rekening mee, en gebruikt de discount rate om budgetten van de volgende jaren om te zetten naar een correcte waarde op de dag van vandaag. Als voorbeeld nemen we de installatiekost voor de hardware unit bij een vaste penetratiegraad van 1 % en een levensduur van vijf jaar. Dit betekent dat op jaar 1 en jaar 6 er telkens 60.000 voertuigen uitgerust moeten worden met een OBU waarvan we de kostprijs vandaag inschatten op 75 euro. Dat betekent dat uitgedrukt in huidige waarde, de installatie op jaar 1 60.000 x 75EUR is, of 4.5 miljoen EUR. Wanneer op jaar 6 opnieuw OBU geïnstalleerd moeten worden, dan kunnen we de kost op dat moment van 75 EUR vergelijken met een huidige waarde van 58.8 EUR, aangezien de waarde van 75 EUR elk jaar met 5% (de discount rate) is gezakt. Uitgedrukt in huidige waarde kost de installatie op jaar 6 dan 60.000 x 58.8 EUR, of 3.5 miljoen EUR. De NPV hardwarekost over 10 jaar, dus de volledige kost uitgedrukt in huidige waarde, bedraagt dan 8 miljoen EUR. Alle kostenelementen werden op dergelijke wijze bepaald, samengeteld resulteren die in een totale NPV kost van het project.

Daarnaast wordt ook gesproken over de kost per wagen per jaar, dit is het vast bedrag over de volledige looptijd van het project dat elk jaar per uitgerust voertuig moet aangerekend worden om aan de totale NPV kost te komen. In het voorbeeld van de vaste penetratiegraad van 1% (dus 60.000 voertuigen) is de totale NPV kost 27.2 miljoen EUR. Wanneer elk jaar opnieuw voor elk voertuig 56.2 euro betaald wordt, dan komt de som van de gediscoteerde bedragen voor elk jaar overeen met deze NPV van 27.2 miljoen

Restwaarden worden hier echter niet in rekening gebracht, omdat de waardering ervan erg onzeker is.



Figuur 31: Kostenverloop voor scenario HW unit bij constante installatiegraad



Figuur 32: Kostenverloop voor scenario HW unit bij oplopende installatiegraad

Hoewel lager dan het voorgaande scenario, is de kost nog steeds aanzienlijk. Daarenboven is de meerwaarde voor de gebruiker zelf veel lager en is het systeem minder flexibel en uitbreidbaar.

7.3 Kostenscenario 3: smartphone applicatie

7.3.1 Beschrijving

In dit scenario concentreren we ons op het feit dat specifieke hardware, een directe verbinding met de wagen zelf en een eigen netwerk waarop steeds gecommuniceerd kan worden met de hoogste prioriteit niet noodzakelijk zijn voor een Floating Car toepassing. Daarom zou een applicatie op een smartphone die communiceert over het bestaand

mobiel netwerk al kunnen volstaan. Intuïtief lijkt dit een veel goedkopere en efficiëntere optie, al merken we op dat ze minder uitbreidbaar is dan een generiek ITS. Ook technisch is deze implementatie in principe een stuk eenvoudiger dan de voorgaande optie, maar ze heeft enkele praktisch nadelen. De applicatie moet door de gebruiker gedownload worden én ze moet op de juiste momenten aan- en afstaan (wanneer de gebruiker wel/niet in de wagen is). Het is onrealistisch dat de gebruiker dit uit zichzelf consequent correct doet en dus is een automatische oplossing nodig.

De trigger om de applicatie aan te zetten om GPS-coördinaten te streamen naar de server is niet evident. Op basis van beweging is geen optie, want zowel files (stilstaan) als bewegend verkeer moet gemeld worden en uiteraard enkel als de gebruiker in de wagen zit, niet als hij te voet, per fiets, ... zich beweegt. Een mogelijkheid is om de wagen uit te rusten met een simpele sensor, die niets anders doet dan (bijv. via Bluetooth) geregeld zijn identificatienummer door te sturen. De meeste smartphones beschikken over Bluetooth en kunnen dus de sensor detecteren en het ID-nummer detecteren. Zolang de smartphone de sensor waarneemt (bijv. via een check elke minuut), stuurt hij zijn coördinaten door, samen met het ID-nummer van het apparaat. Dit verhindert ook dat twee smartphones die dezelfde hardware unit waarnemen centraal als twee verschillende wagens worden beschouwd (filtering op het ID-nummer).

Met betrekking tot dit systeem hebben we ook een alternatieve piste overwogen, waarbij deze functionaliteit in een andere applicatie werd ondergebracht, zoals het afspelen van muziek of navigatie, waardoor gebruikers de applicatie wel zelf spontaan zouden gebruiken. Uiteindelijk werd geopteerd om dit niet te gebruiken, omdat het toch erg twijfelachtig is of dit systeem zou werken. De bedoeling is dat de applicatie quasi altijd aanligt in de wagen, en nooit als de gebruiker zich niet in zijn wagen bevindt. Navigatie wordt echter door veel bestuurders niet gebruikt voor woon-werkverkeer (wanneer verkeerscongestie het vaakst voorkomen), terwijl andere applicaties ook vaak op andere plaatsen gebruikt zullen worden.

Voor de installatie en bestuurdersvergoeding werken we volgens hetzelfde principe als in het voorgaande scenario.

7.3.2 Kostelementen

Het hardware element is beperkt tot een Bluetooth module en microprocessor die een vast ID-nummer periodisch verstuurt. Bluetooth headsets zijn beschikbaar voor minder dan 20EUR, en deze zijn qua functionaliteit en onderdelen uitgebreider dan dit minimalistisch apparaat. Bovendien gaat het opnieuw om een grote oplage. Daarom gaan we uit van een lage kost van 5EUR. We onderstellen opnieuw een levensduur van 5 jaar voor het apparaat, en een verwaarloosbaar percentage aan vroegere falingen.

De ontwikkeling zal nog eenvoudiger zijn en we rekenen nu op slechts drie maand werk van de ontwerpingenieur. Aangezien ook de complexiteit lager is, kan er wellicht sneller overgegaan worden tot productie en kunnen er dus ook kosten bespaard worden voor het leggen van contacten en het starten van het productieproces i.v.m. voorgaande scenario. We gaan uit van slechts drie maand werk voor de commerciële en technische persoon. De onkosten (bijv. internationaal transport) zullen wellicht gelijkaardig zijn en behouden we op 20.000EUR. Daarenboven rekenen we nog 3 maanden ontwikkeltijd voor een programmeur om de (erg eenvoudige) applicatie te ontwerpen voor de meest voorkomende types smartphones (Android en iPhone), aan een kost van 4.000EUR. Dit levert een totaal kost van 74.000EUR voor het ontwerp en pre-productie van het apparaat.

De centrale servers, de installatie van het apparaat en de vergoeding van de bestuurder zijn analoog aan het vorige scenario. We merken wel op dat de werking van het systeem gebaseerd is op de aanwezigheid van de smartphone. In principe kan de bestuurder de applicatie permanent uitschakelen, of hij kan zijn smartphone afgeschakeld hebben, of dergelijke meer. Daarom gaan we ervan uit dat een extra marge moet genomen worden

op het aantal uitgeruste voertuigen i.v.m. het voorgaande scenario, wat we arbitrair instellen op 150%. Ook voor het call center gaan we ervan uit dat het aantal telefoons per gebruiker per jaar verdubbelt in vergelijking met het voorgaande scenario (van 25% naar 50%).

Het versturen van data gebeurt nu via de smartphone van de bestuurder en dient dus niet afzonderlijk berekend te worden. Aangezien het slechts om een erg beperkt volume gaat, zal de gebruiker hier niets van merken.

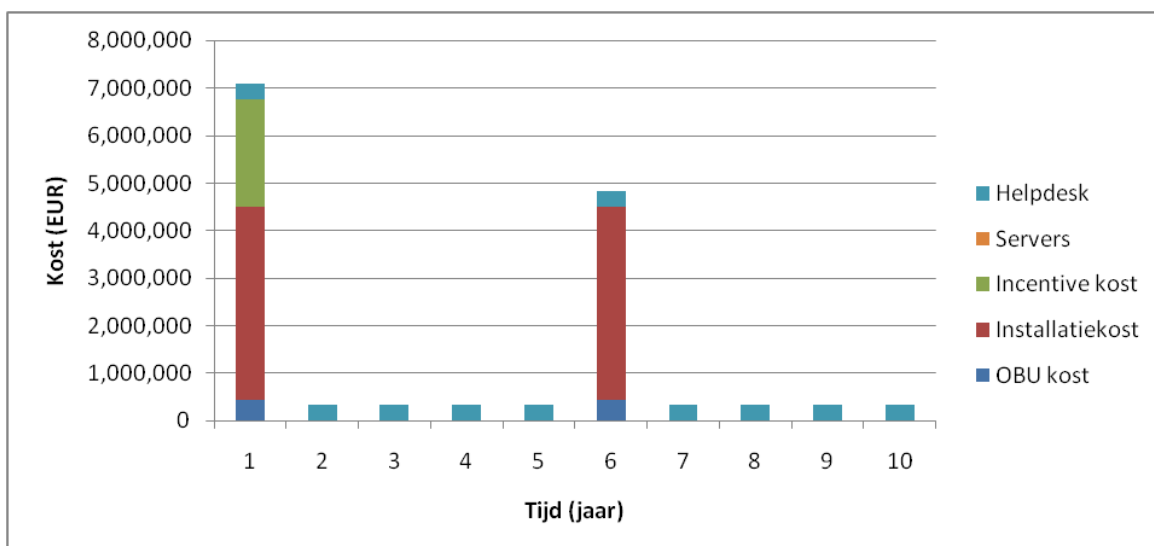
Tabel 4 vat de kostelementen samen.

Kostelement	Kost (EUR)	Frequentie
HW unit	5	Eenmaal per 5 jaar per wagen
Installatie	45	Eenmaal per 5 jaar per wagen
Ontwikkelkost	74.000	Eenmalig
Servers	3.000	Jaarlijks
Helpdesk	7,5	50% van de wagens per jaar
Incentive	25	Eenmaal per 5 jaar per wagen

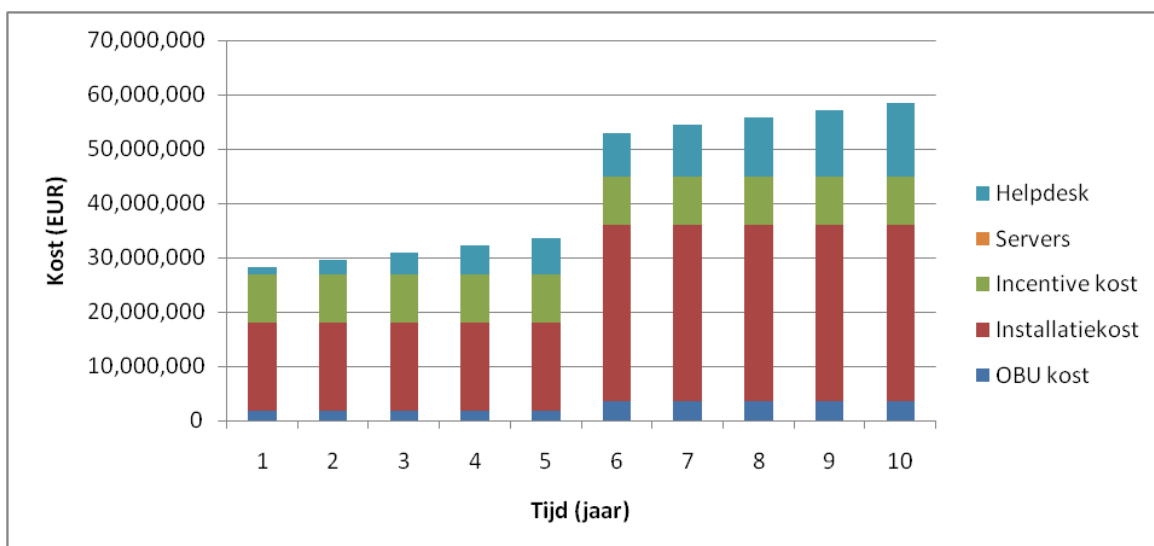
Tabel 4: Kostenoverzicht scenario met smartphone

7.3.3 Resultaten

De totale (Net Present) kost van het project bedraagt 13.1 miljoen euro op 10 jaar bij een constante installatiegraad van 1.5%, met een discount rate van 5%. Dit stemt overeen met een kost van 17.9EUR per wagen per jaar (maar men mag niet vergeten dat er anderhalf keer zoveel wagens zijn uitgerust in vergelijking met het vorige scenario). Wanneer we opnieuw een lineair stijgende installatiegraad onderstellen (van 6% naar 30%), dan stijgt dit tot een totale kost van 338.6 miljoen euro, of een kost van 22.8EUR per wagen per jaar. De kost is in dit scenario nog een stuk lager dan de voorgaande scenario's.



Figuur 33: Kostenverloop voor scenario met smartphone-applicatie bij constante installatiegraad



Figuur 34: Kostenverloop voor scenario met smartphone bij oplopende installatiegraad

7.4 Kostscenario 4: Aankopen van data

De organisatie van dit scenario is vrij straight-forward: een aantal bedrijven beschikken al over informatie van voertuigen. Een aantal voorbeelden van zulke bedrijven zijn TomTom, Be-Mobile, Coyote Systems en Wikango. Merk op dat deze lijst zeker niet exhaustief is, het is zeer goed mogelijk dat er nog andere bedrijven dergelijke data kunnen aanbieden. Een marktonderzoek naar mogelijke partner bedrijven ligt echter buiten de scope van dit rapport. De informatie die deze bedrijven beschikbaar hebben zou kunnen aangekocht worden door de overheid. Als we kijken naar de prijs voor floating car data per wagen per jaar van de vorige oplossingen, ligt deze op minimaal 18 EUR. Voor bedrijven betekent het verkopen van reeds beschikbare floating car data extra inkomsten, maar in principe zijn hun effectieve kosten reeds gedekt door de inkomsten uit hun core business. Hierdoor zal bij het aankopen van floating car data door de

overheid bij externe partners de prijs per wagen en per jaar wellicht aanzienlijk lager kunnen gemaakt worden. Aangezien het hier gaat om bilaterale contracten is het erg moeilijk om deze prijs in te schatten, en het concrete vastleggen van richtprijzen voor zulke contracten vallen duidelijk buiten de scope van het project. Dit is iets wat de overheid en respectievelijke bedrijven in onderling overleg moeten onderhandelen.

Wat we in dit rapport wel kunnen doen is een aantal theoretische mogelijkheden verder behandelen om dit scenario van aangekochte data te kunnen vergelijken met de vorige scenario's. Het lijkt ons redelijk om ervan uit te gaan dat de overheid zou beogen om een kostprijs te bekomen die één grootteorde lager is dan het goedkoopste alternatief in de vorige scenario's. Dit is het smartphone scenario, welke een totale Net Present kost heeft van 13.1 miljoen EUR heeft over 10 jaar (discount rate 5%). De totale Net Present kost over 10 jaar bij aankoop van data schatten we dan ook op 1.3 miljoen EUR.. Wanneer we deze totale NPV kost omvormen naar een vast jaarlijks bedrag dat constant blijft over de hele looptijd van het project, dan komt dit neer op een jaarlijkse vaste kost van 160.000 EUR. Indien de prijs nog lager zou worden ingeschat, wordt de meerwaarde voor het verkopende bedrijf eerder laag (twee grootteordes lager dan de optimale oplossing bv levert het bedrijf een jaarlijks inkomst op van slechts 16.000 EUR). Tenslotte moeten zij ook hun klanten kunnen overtuigen om hun apparaten te blijven kopen en gebruiken, ondanks het feit dat het doorverkopen van data potentieel gevoelig ligt inzake privacy issues. Als de prijs veel hoger is, dan ligt de stap naar een alternatieve, eigen oplossing (die flexibeler is) niet zo ver weg. Febiac¹³ rapporteert dat het wagenpark eind 2009 ongeveer 6 miljoen voertuigen telde. Het technisch model uit hoofdstuk 5. geeft te kennen dat er informatie noodzakelijk is van 1% van de voertuigen. Het betreft dus 60.000 voertuigen. Merk op dat hier dan wel vereist is dat deze steekproef van uitgeruste voertuigen zo samengesteld wordt dat ze een perfecte voorstelling is van het eigenlijke verkeer. Met andere woorden, de mix van welke soort voertuigen uitgerust wordt met floating car data transponders moet gevarieerd zijn, en zeer doordacht worden samengesteld. Bij gegevens afkomstig van toestellen die voornamelijk voor de consumentenmarkt bedoeld zijn (PND, radarmelder, track&trace van bedrijfswagens, ...) zal dit evenwicht waarschijnlijk relatief goed zijn. Deze requirement kan echter van belang zijn wanneer de data afkomstig is van professionele track en trace systemen die voornamelijk toegepast worden bij taxi's en vrachtwagens. Taxi's rijden namelijk het meest op stadswegen en gewestwegen, terwijl vrachtwagens voornamelijk autosnelwegen berijden. Het lijkt ons dan ook verstandig om bij het aankopen van datasets een marge in te bouwen in de vereiste penetratiegraad, en te mikken naar een uitrustingsgraad van 2%, of 120 000 voertuigen. De kost per voertuig per jaar komt dan neer op 1.33 EUR.

Merk op dat het verdubbelen van de uitrustingsgraad ter compensatie van mogelijke slechte statistische spreiding een relatief eenvoudige benadering is. Een andere aanpak zou kunnen zijn om aan de hand van een service level agreement (SLA) vast te leggen dat de verkoper van de data steeds moet kunnen garanderen dat 1% van het verkeer op autosnelwegen en gewestwegen gedekt wordt. Het aantal effectief uitgeruste voertuigen is dan niet meer van belang in het bilaterale contract. Men kan makkelijk controleren of de SLA gehaald wordt door op willekeurige tijdstippen verkeerstellingen op willekeurige locaties uit te voeren, en deze resultaten te vergelijken met de gegevens uit de aangekochte dataset. Het voordeel van deze aanpak is dat de overheid dezelfde service aangeboden krijgt als bij het geval van 120 000 uitgeruste voertuigen, maar er mogelijk meer bedrijven in aanmerkingen kunnen komen om de gegevens aan te leveren. Bedrijven die minder dan 120 000 floating cars hebben maar dit zelf compenseren door een intelligente keuze van uitgeruste voertuigen vallen bij deze aanpak namelijk niet meer uit de boot. Aangezien dezelfde service geleverd wordt lijkt het wel redelijk om dezelfde totale kostprijs te hanteren ondanks het feit dat er misschien minder voertuigen zijn uitgerust: 160.000 EUR per jaar.

¹³ <http://www.febiac.be>

7.5 Vergelijking en conclusie

Tabel 5 bevat een samenvatting van de totale kost, aantal uitgeruste wagens en kostprijs per wagen. De detailopsplitsing van de kosten is enkel van toepassing op scenario's 2 en 3. In het geval van een IVS komen immers ook nog andere kosten aan bod (voornamelijk met betrekking tot het netwerk), dit werd uitgebreid besproken in De Mol et al. (2009). Voor het aankopen van data geldt de opsplitsing niet omdat er enkel betaald wordt voor de data zelf. De grote verschillen in kostprijs hangen grotendeels samen met de uitgebreidheid en flexibiliteit van het systeem. Het geval waar er gewerkt wordt met eigen specifieke hardware zonder netwerk lijkt op het eerste zicht inferieur aan het systeem met smartphones: het systeem is duurder en biedt weinig tot geen extra flexibiliteit. Daarentegen moeten we wel opmerken dat het smartphone systeem meer problemen kan hebben door gebrek aan medewerking van de bestuurder. Hiervoor kunnen systemen opgezet worden om dit te verhinderen (bijv. jaarlijkse stimulans voor correct gebruik, hardwarematige activatie of integratie in een gratis applicatie met duidelijke meerwaarde voor de weggebruiker), maar hier zal steeds een kost aan vasthangen (bijv. om te controleren of het apparaat effectief correct gebruikt werd). Indien deze systemen voldoende geautomatiseerd zijn, blijft de kans evenwel groot dat het smartphone scenario uiteindelijk de betere keuze is.

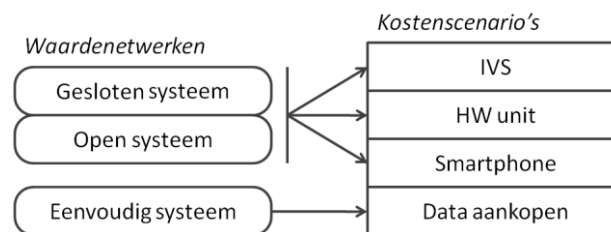
Het belang van de flexibiliteit is moeilijk in te schatten en hangt nauw samen met de doelstelling van het project en van de overheid. Indien veel informatie verzameld moet worden en er ook bijkomende of interactieve applicaties gewenst zijn, dan is het uitbrengen van elk van deze applicaties afzonderlijk wellicht niet kostenefficiënt. Wanneer er een goed zicht is op het gehele informatie- en veiligheidssysteem, kan er in meer detail bekeken worden of het beter is de Floating Car Data applicatie afzonderlijk te lanceren, of als onderdeel van een ruimer platform. Indien dergelijke visie voorlopig niet finaal en beschikbaar is, lijkt de meest interessante optie om de data gewoon aan te kopen. Het technisch onderzoek heeft aangegeven van hoeveel wagens informatie moet beschikbaar zijn en dit lijkt een haalbare kaart. Dit is de goedkoopste oplossing, die bovendien gemakkelijk kan herzien worden wanneer later toch beslist wordt om te investeren in een ruimer systeem. Het is daarom ook interessant om bij het opstellen van de contracten voor data-aankoop erop te letten dat de duurtijd van het contract niet te lang is.

Scenario	IVS		HW unit		Smartphone		Data aankopen
	4%-20%	1%	4%-20%	1.5%	6%-30%	2%	
Penetratiegraad	4%-20%	1%	4%-20%	1.5%	6%-30%	2%	
Kosten (mEUR)	850	27.2	627.5	13.1	338.6	1.3	
HW		8.0	210.1	0.8	21.0		
Installatie		4.8	126.0	7.2	189.1		
Incentive		1.5	48.6	2.3	73.0		
Communicatie		12.0	224.1	0.0	0.0		
Servers		0.0	0.0	0.0	0.0		
Helpdesk		0.9	18.5	2.7	55.5		
Kost per wagen per jaar (EUR, zelfde bedrag voor elk jaar van het project)	350	56.2	63.2	17.9	22.8	1.33	

Tabel 5: Volledig kostenoverzicht – Net Present kosten over 10 jaar, met 5% disconto

8. WAARDENETWERK

In hoofdstuk 7. werden de kosten berekend voor een Floating Car Data applicatie in vier implementatiescenario's. Het is nuttig deze kostenstudie uit te breiden met een analyse van het waardenetwerk (Value Network). Een waardenetwerk beschrijft op een bevattelijke manier de wijze waarop een bepaalde waarde (hier dus het beschikbaar stellen van Floating Car Data) gecreëerd wordt en is een framework om na te denken over de haalbaarheid en organisatie van projecten en processen. Op deze manier kunnen de vier implementatiescenario's uit het vorige hoofdstuk ook vanuit organisatorisch aspect bekeken worden. Het eerste geselecteerde waardenetwerk veronderstelt een volledig gesloten systeem, waarmee we bedoelen dat er op voorhand strikt gedefinieerd wordt welke instantie verantwoordelijk is voor wat en daar ook al contracten kunnen over gesloten worden. Het tweede waardenetwerk is het volledig tegenbeeld en is helemaal open. Hierbij kan eender welke instantie deelnemen in het netwerk, waarbij dan uiteraard wel onderlinge afspraken en interfaces opgesteld moeten worden om te zorgen dat het geheel samenwerkt. Deze twee waardenetwerken, of tussenvormen ervan, kunnen gebruikt worden om de eerste drie scenario's uit het vorige hoofdstuk te implementeren. Ten slotte bekijken we ook nog het value network voor het aankopen van data afzonderlijk, omdat het veel eenvoudiger is dan de andere implementatiemogelijkheden. Voor een goed begrip geven we in Figuur 35 nog eens grafisch het verband tussen de kostenscenario's uit hoofdstuk 7. en de waardenetwerken in dit hoofdstuk.



Figuur 35: Overzicht verband beschouwde kostenscenario's en waardenetwerken

In de onderstaande secties bespreken we eerst het Value Network framework, overlopen we vervolgens de drie beschouwde waardenetwerken en sluiten we af met een vergelijking en de bijhorende conclusies.

8.1 Waardenetwerken

Er zijn verschillende interpretaties van waardenetwerken, of Value Networks. Hier hanteren we de definitie van Allee (2008):

"Een waardenetwerk is een web van relaties die zowel tastbare als ontastbare waarde genereren door complexe dynamische uitwisselingen tussen twee of meer individuen, groepen of organisaties."

Deze methodologie wordt frequent gebruikt, ook in de telecom-sector (bijv. Casey et al., 2010). Vooraleer we deze methodologie toepassen op onze case, verduidelijken we ze eerst. Om een waardenetwerk op te bouwen kunnen we zes logische stappen overlopen, die hieronder beschreven staan. Figuur 36 toont een grafische weergave van een voorbeeld value network.

- Identificeren van rollen

Voor elk project of proces dienen taken uitgevoerd te worden. Deze kunnen gebundeld worden in logische en samenhangende groepen en beschrijven de elementaire onderdelen die noodzakelijk of aanvullend zijn voor het vervolledigen van het project. Dergelijke takenpakketten noemen we rollen en we lijsten ze op in de eerste stap. Een voorbeeld van een rol is het ontwikkelen van een applicatie.

- Identificeren van actoren

Voor elk project of proces zijn er stakeholders en betrokken partijen, die taken of verantwoordelijkheden op zich kunnen nemen. Deze personen of bedrijven noemen we actoren en we lijsten ze op in de tweede stap. Een voorbeeld van een actor is een software ontwikkelingsbedrijf.

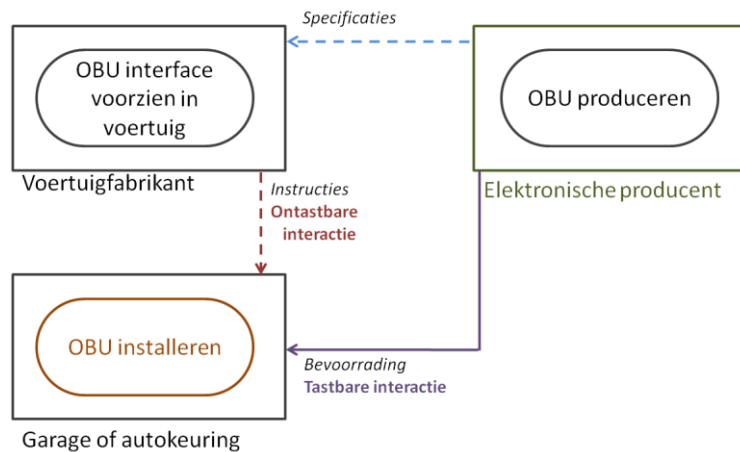
- Toekennen van rollen aan actoren

In de derde stap wijzen we rollen toe aan actoren, zo is het aannemelijk dat de rol om een applicatie te ontwikkelen aan een software ontwikkelaar wordt toegewezen. Vaak zijn er echter verschillende mogelijkheden, vooral met betrekking tot nieuwe rollen, die ontstaan zijn omwille van het nieuwe project of proces. Een mapping van alle rollen op actoren kan beschouwd worden als een scenario. Verschillende scenario's kunnen met elkaar vergeleken worden om te bepalen wat de beste of meest waarschijnlijke oplossing is.

- Beschrijven van interacties

Kenmerkend voor veel processen en projecten is dat ze een geheel vormen, waardoor de elementaire opsplitsing in rollen niet voldoende is. Verschillende taken zullen een invloed hebben op elkaar en er kan nood zijn aan uitwisseling van tastbare ('tangibles' zoals materialen of inkomsten) of ontastbare ('intangibles' zoals informatie) goederen of materialen tussen actoren. Dit wordt opgelijst in stap vier. Dit kan argumenten leveren waarom bepaalde value network scenario's wel of niet haalbaar zijn. Grafisch wordt een interactie van tastbare goederen met een pijl met vaste lijn aangeduid, in het andere geval wordt een stippelijntje gebruikt.

Hoewel betalingen onder interacties met tastbare goederen vallen, zijn ze toch een bijzondere vorm van uitwisseling aangezien quasi alle betrokken partijen op zijn minst deels op basis van de financiële resultaten zullen bepalen of ze wensen deel te nemen aan het project of niet. Hier zijn soms verschillende mogelijkheden, aangezien een zelfde dienst op verschillende manieren verkocht en betaald kan worden (een abonnementsysteem versus eenmalige kost, gebruiker betaalt versus alternatieve inkomsten via adverteerders e.d., etc). Desalniettemin zal elke actor toch op een of andere wijze vergoed moeten worden voor de rollen die hij op zich neemt (dit kan soms wel onrechtstreeks, waardoor de actor binnen het waardenetwerk geen binnenkomende geldstroom realiseert, maar door andere voordelen financieel toch voordeel doet). Het volledige overzicht van rollen, actoren en hun financiële en niet-financiële interacties is in feite het value network.



Figuur 36: voorbeeld van een Value Network

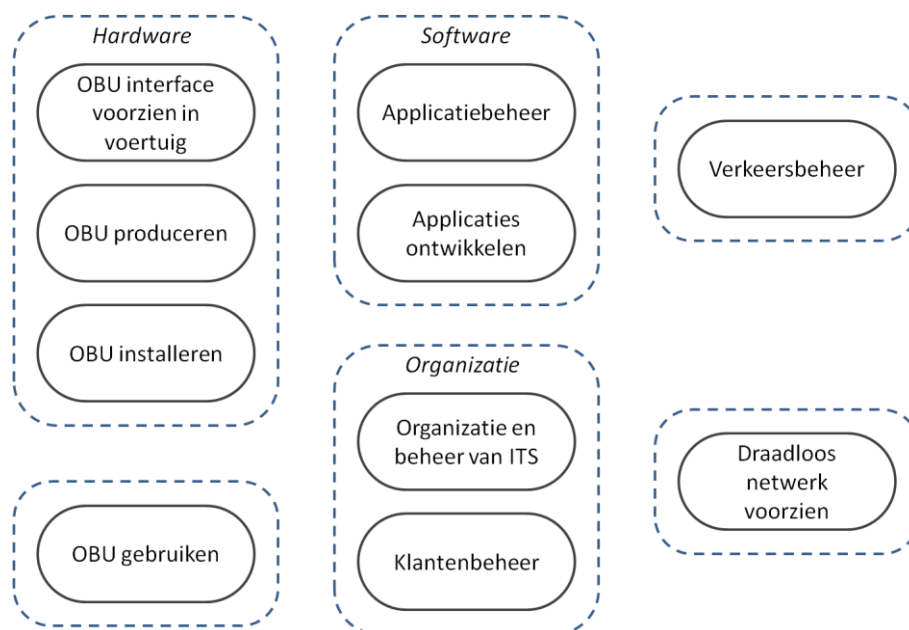
8.2 Scenario 1 – een volledige ITS

Het eerste scenario dat we beschouwen, is dit van een volledig intelligent verkeerssysteem zoals besproken in De Mol et al. (2009). Het betreft een platform waarop verschillende toepassingen lopen, zowel voor veiligheid als voor recreatie. Hiertoe wordt in de wagen een On-Board Unit geïnstalleerd, een apparaat gelijkaardig aan een Personal Navigation Device (incorrect vaak gewoon GPS geheten): een klein toestel met touchscreen en een ingebouwde speaker, GPS-verbinding en daarnaast ook een antenne voor een verbinding met een mobiel netwerk. Hierbij zijn verschillende technologieën mogelijk, die in het rapport werden vergeleken. Het mobiel netwerk wordt verondersteld aanwezig te zijn langs alle autosnelwegen en ook de applicaties zijn daarop gefocust. De OBU interageert met het centrale platform via het netwerk, en het platform is op zijn beurt gekoppeld met het algemene verkeerscentrum.

Dit is het meeste complexe scenario, waarbij veel actoren moeten samenwerken om een uitgebreid applicatieaanbod aan de gebruiker te kunnen voorzien. Dit systeem is dan ook veel ruimer dan enkel een informatiebron voor de overheid, waarbij de klemtoon hier ligt op de veiligheid. Daardoor moet de dienst ook uitermate betrouwbaar zijn. Gebruikers zullen zich bij een dergelijke service wellicht vragen stellen over mogelijke inbreuken van hun privacy. Verder is er een aanzienlijke investering vereist om het project te lanceren. Ten slotte zijn er nog onduidelijkheden over de aansprakelijkheden in geval van een ongeluk. Deze factoren wijzen erop dat het project erg gevoelig is, wat ook ten dele verklaart waarom er wereldwijd nog geen grootschalige en complete ITS-oplossingen beschikbaar zijn. Zoals ook in De Mol et al. (2009) werd aangehaald, beschouwen we het daarom erg waarschijnlijk dat de overheid een sterk stimulerende en zelfs organiserende rol op zich zal moeten nemen. Daarnaast wordt dit scenario gekenmerkt als een vrij gesloten systeem. Door de bovenvermelde gevoelige en complexe elementen, lijkt het ons immers beter om de organisatorische overhead zoveel mogelijk te minimaliseren. Dit betekent dat er heel nauw wordt samengewerkt met bevoorrechte partners, in plaats van voor elk afzonderlijk aspect van het systeem interfaces en standaarden op te stellen (die dan ook nog leiden tot specifieke certificatieprocedures waarvoor de mogelijks tientallen geïnteresseerde bedrijfsoplossingen moeten slagen). Het nadeel hierbij is uiteraard een verminderde concurrentie. Dit kan deels tegengegaan worden door via aanbestedingen de meest geschikte partner te vinden of door met consortiums samen te werken (waarbij de organisatorische overhead verschoven wordt naar het consortium in plaats van de ITS organisator).

8.2.1 Rollen

De beschrijving geeft op zich al de grote blokken van de te ondernemen acties aan. Een eerste stuk heeft betrekking tot de OBU. Hierbij onderscheiden we drie rollen. Vooreerst moet de wagen erop voorzien zijn dat er een On-Board Unit kan geïnstalleerd worden, anders is een installatie erg omslachtig en wellicht onmogelijk. Daarnaast moet de OBU zelf natuurlijk geproduceerd worden. Ten slotte moet de OBU geïnstalleerd worden. Een tweede blok heeft te maken met het applicatiedomein. Er moeten enerzijds applicaties voor de OBU ontwikkeld worden en anderzijds moet het centrale platform geïmplementeerd worden dat de applicaties beheert (bv. de noodzakelijke software provisioning diensten, een soort app store als het ware), communicatie tussen de OBU en het centrale platform overziet, en additionele gecentraliseerde diensten kan aanbieden (bv. verkeersbeheer, kilometerheffing, diagnose op afstand bij pech, enz). Hier dienen ook de nodige veiligheidsmaatregelen te worden geïmplementeerd. Een derde groot blok heeft betrekking op het voorzien van een draadloos netwerk. Hoewel hier veel taken onder vallen, vatten we die toch samen als één blok, aangezien dit op vandaag al in zijn geheel als dienst wordt aangeboden. Een vierde blok heeft te maken met de controle en overzicht op het totale systeem. Hierbij onderscheiden we enerzijds de organisatie van een ITS, wat neerkomt op initiatieven nemen om het project op te starten en draaiende te houden; en anderzijds het aspect rond klantenbeheer en -contact. Deze opsplitsing lijkt misschien op het eerste zicht artificieel, maar is erg logisch: productverkoop via een keten winkels, registratie van gebruikers inclusief facturatie, een helpdesk, ... Dit zijn kostelijke taken die vaak weinig rechtstreeks verband houden met de technische implementatie van een ITS en mogelijks goedkoper en efficiënter uitgevoerd kunnen worden door aan te sluiten bij een partnerbedrijf dat deze functies al uitvoert. Tot slot zijn er nog twee losse blokken: de eindgebruiker, die als taak heeft het systeem aan te kopen en te gebruiken, en het bestaande verkeerscentrum. Al deze rollen zijn weergegeven in Figuur 37.



Figuur 37: Rollen binnen een ITS

8.2.2 Actoren

In deze subsectie beschrijven we de relevante actoren binnen een ITS. We beschrijven niet alle mogelijke bedrijven, maar lichten er de relevante uit. We merken ook op dat een bedrijf voor (een deel van) de uitvoering van een rol steeds nog via uitbesteding nog

andere bedrijven in het project kan betrekken. Dit is echter voor ons minder interessant om te beschouwen, aangezien de organisatie, overhead en verantwoordelijkheid in dat geval toch nog steeds bij dezelfde actor blijft. Ten slotte vermelden we enkel actieve bedrijven, geen actoren die als pressiegroep optreden (zoals bijvoorbeeld Touring of VAB). Deze organisaties zullen mogelijks wel het systeem beïnvloeden of erdoor beïnvloed worden.

Autofabrikanten: indien de OBU geïntegreerd wordt met de wagen is de medewerking van de fabrikanten noodzakelijk.

Garages: zullen mogelijks betrokken worden als instanties om de OBU te installeren en bij onderhoud. Ook bij een eventuele Remote Diagnostics applicatie is het nuttig dat deze bedrijven toegang krijgen tot informatie via het ITS-platform.

Elektronica-ontwikkelaars: de OBU is in principe een nieuw product en het ontwikkelen en produceren ervan dient te worden uitgevoerd door een betrouwbaar bedrijf met relevante expertise in dit domein. Hierbij kan gedacht worden aan GSM-, smartphone-, tabletpc-, PND-producenten, OEM producenten van ingebouwde auto-navigatieapparatuur en dergelijke meer.

Mobiele operator: zij bezitten en beheren mobiele netwerken zijn en zijn dus de meest voor de hand liggende oplossing voor het voorzien van het draadloos netwerk.

Mobile Virtual Network Operator (MVNO): dit zijn network providers die zelf geen netwerk bezitten, maar het gebruik ervan huren en dit doorverkopen aan eigen klanten onder hun eigen merk, vaak met een specifieke doelgroep of gebruik (bijv. Mobile Vikings over het Base netwerk). Zij zijn ook mogelijke partners. We maken verder echter geen expliciet onderscheid tussen deze operatoren en de klassieke operatoren die wel over een eigen netwerk beschikken.

Software-ontwikkelaars: nieuwe applicaties moeten ontworpen en geprogrammeerd worden, dus zijn zij hierbij een mogelijke partner.

Overheid: aangezien het project sterk gelinkt is met veiligheid en het verkeer dient de overheid op zijn minst goed op te hoogte zijn van dit project en eventueel bepaalde reglementering voorzien.

Verzekeringsbedrijven: zij worden onrechtstreeks betrokken in dit project, aangezien dit project een impact kan hebben op de ongevalstatistieken. Zoals we verderop zullen zien, kennen we ze echter actieve rol toe.

De eindgebruiker: uiteraard is dit ook een belangrijke rol binnen dit project en er zal sterk rekening moeten gehouden worden met wat de gebruiker (niet) wil, kan of mag.

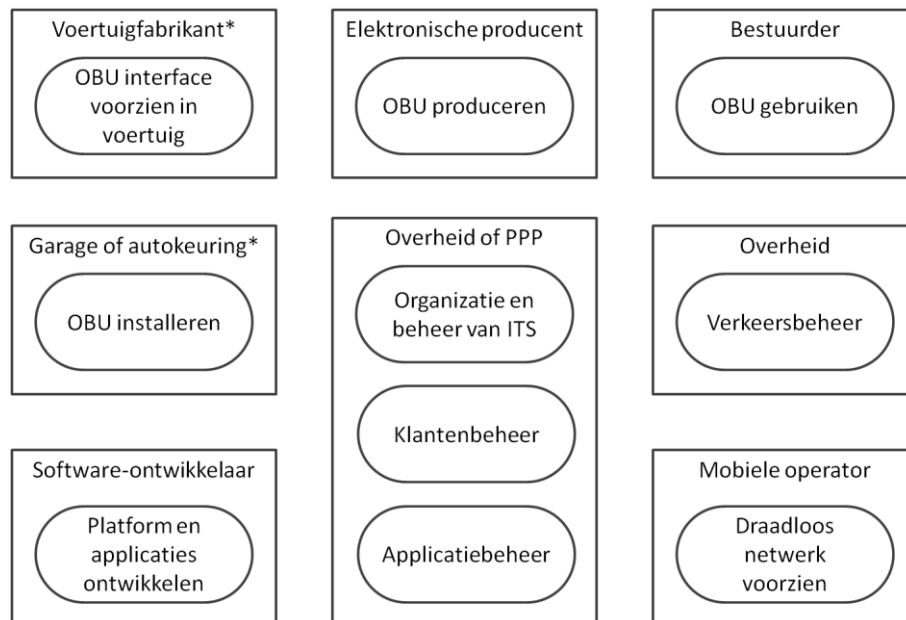
ITS organisator: het is onzeker of een bestaande actor deze rol op zich zal nemen en potentieel kan het een nieuw gevormd bedrijf zijn. Het kan echter ook een joint venture zijn van een aantal partners in het project. Onze voorkeur gaat naar een Public Private Partnership, waarbij de overheid geschikte partners selecteert om het systeem samen op te starten. Dit spreidt investeringen, terwijl de overheid het project volledig kan overzien en sturen.

Verkeerscentrum: een nauwe samenwerking en meer specifiek het delen van informatie tussen de ITS organisator en het verkeerscentrum is cruciaal om het systeem optimaal te benutten.

8.2.3 Mapping van actoren op rollen

In deze subsectie geven we weer welke actoren welke rollen op zich nemen vanuit de visie dat de overheid centraal de organisatie van het (gesloten) systeem op zich neemt. Dit is te zien in Figuur 38. Er is aangegeven met een * welke actoren door verschillende bedrijven tegelijk kunnen opgenomen worden. Om de volledige dienst te kunnen aanbieden aan de eindgebruiker zijn maar liefst zeven afzonderlijke instanties

noodzakelijk. Zoals hoger vermeld zorgt de keuze voor partnerbedrijven ervoor dat de overhead hierbij geminimaliseerd kan worden, ten koste van concurrentie. Dit laatste is enkel mogelijk op het niveau van voertuigfabrikanten en garages om zo flexibel mogelijk te zijn naar de eindgebruiker toe.



Figuur 38: mapping van actoren op rollen voor een volledig ITS

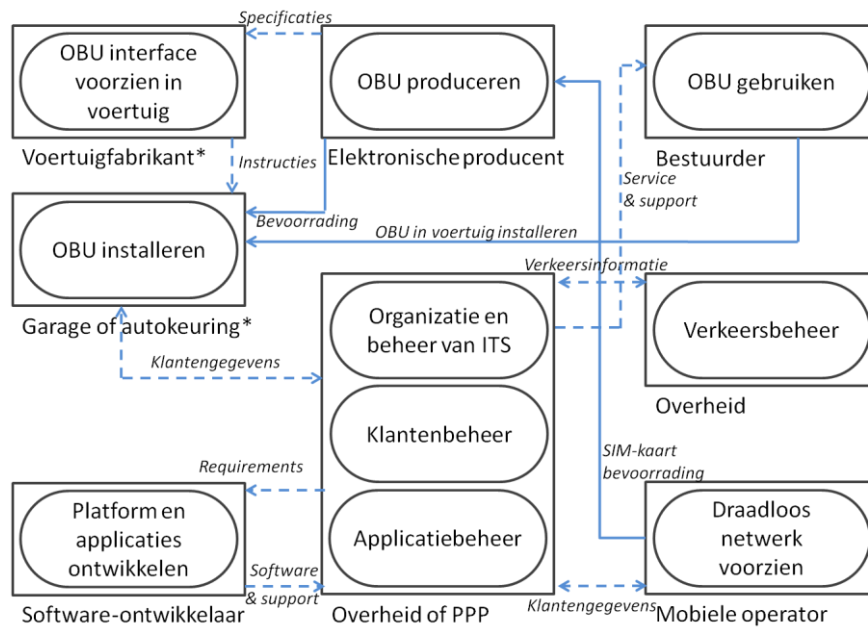
8.2.4 Interacties tussen actoren

De interacties van de actoren zijn te zien in Figuur 39 en volgen logisch uit de hen toebedeelde rollen. We merken op dat het interacties betreft die volgen uit de continue processen toebehorend aan het systeem. Uiteraard zal de ITS organisator in de initiële fase van de lancering met alle partijen in contact komen, aangezien deze rol precies de gehele organisatie op zich neemt. Deze pijlen werden echter weggelaten om de figuur niet te overladen. Ook financiële transacties zijn om dezelfde reden niet in de figuur aanwezig. Deze beschrijven we hier expliciet en staan apart aangeduid in Figuur 40.

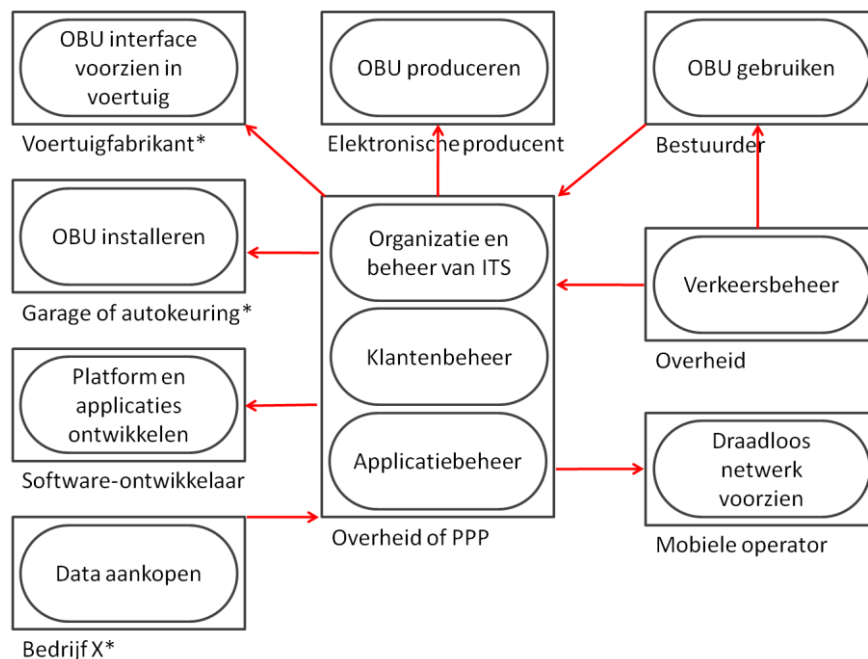
Een eerste belangrijke geldstroom is degene die vertrekt vanuit de eindgebruiker zelf. Deze betaalt (of wordt eventueel door de overheid verplicht om te betalen) voor de dienst aan de ITS organisator. Deze laatste betaalt de andere actoren voor hun bijdrage aan het systeem. We bemerken dat dit enkel realistisch indien het systeem inderdaad gesloten is. Indien iedereen een OBU op de markt kan brengen, zal de ITS organisator zelf niet instaan voor de verkoop van alle modellen en zal de verkoop van het systeem opgesplitst worden in twee aankopen van de gebruiker: een van de OBU zelf, en een voor inschrijving op het ITS. Dit is omslachtiger en moeilijker (welke keuze van OBU op basis van welke factoren) voor de gebruiker, die daardoor mogelijks nog meer wantrouwen zal hebben tegenover het systeem. Een gelijkaardige opmerking kan gemaakt worden voor de SIM-kaart of voor de gebruikte applicaties. Het afschermen van de complexiteit van het systeem voor de gebruiker is een bijkomend voordeel van het gesloten systeem.

Een tweede geldstroom is de eventuele subsidie of investering in het systeem door de overheid. Deze kan rechtstreeks gebeuren, of via een belastingsvoordeel voor de eindgebruikers en/of betrokken bedrijven. Ook deze geldstroom zal uiteindelijk dienen om alle kosten te dekken bij alle bedrijven in het netwerk.

Een laatste geldstroom kan eventueel bestaan uit het verkopen van anonieme data die gegenereerd wordt door het systeem aan geïnteresseerde partijen. Dit is echter moeilijk in te schatten, enerzijds omdat er nog geen expliciete lijst van beschikbare informatie opgesteld is en anderzijds omdat dit wellicht onder een bilateraal contract zal verlopen en dus onderhevig aan negotiaties. We laten ze hier dan ook buiten beschouwing. Het is duidelijk dat dergelijke inkomsten de haalbaarheid van het project enkel kunnen verhogen.



Figuur 39: Het Value Network van een gesloten systeem



Figuur 40: De geldstromen van een gesloten systeem

8.3 Scenario 2 – een open informatiesysteem

In dit scenario gaan we niet langer uit van een volledig ITS-platform en we laten het nauwe contact met de wagen voor veiligheidsapplicaties vallen. Via een smartphone of uitgebreid PND in combinatie met een centrale server kunnen een of meerdere informatieve applicaties opgesteld worden, zoals Floating Car Data. Het voornaamste onderscheid de vorige sectie is dat er hier een minder strikte koppeling is met de wagen en een minder strikte werking van software en hardware. Dit zorgt ervoor dat het systeem niet dezelfde mate van robuustheid en betrouwbaarheid heeft als een ITS, en dus minder geschikt voor bepaalde gevoelige veiligheidsapplicaties. Zo is een eCall applicatie minder nuttig als ze op het moment van een ongeval toevallig niet werkt omdat de gebruikers smartphone uitgeschakeld is of men vergat om de applicatie te starten bij aanvang van de autorit.

De centrale server wordt beheerd door een specifieke instantie om informatie eenvoudig te kunnen verzamelen en een minimale vorm van interoperabiliteit te garanderen. Het systeem is echter verder volledig open: GSM- en PND-fabrikanten en eender welke andere elektronische fabrikanten kunnen apparaten uitbrengen, terwijl software applicaties op de centrale server via een zogeheten App Store ter beschikking worden gesteld. Een aantal specifieke informatieve applicaties kunnen nog steeds gratis of verwaarloosbare kost door de overheid ter beschikking gesteld worden om het gebruik ervan te stimuleren. Het gebruik van een App Store laat ook toe om een filtering toe te passen, waardoor de kans op applicaties van lage kwaliteit of met kwalijke bijbedoelingen sterk afneemt.

Er is opnieuw nood aan een mobiel netwerk voor communicatie, maar deze verantwoordelijkheid wordt nu volledig bij de hardware fabrikant gelegd, die ze eventueel kan doorschuiven naar de eindgebruiker door van hem te eisen dat hijzelf een SIM-kaart voorziet.

8.3.1 Rollen

Een aantal rollen zijn gelijkaardig aan die binnen een ITS. Het verschil is dat de verschillende actoren minder strikt moeten samenwerken en dat zij zelf meer initiatieven kunnen nemen (de ITS organisator heeft een meer passieve rol). Dit betekent ook dat de meeste rollen in principe door verschillende actoren tegelijk opgenomen kunnen worden.

Gewijzigde rollen:

- **Applicatiebeheer:** naast het voorzien van centrale servers en een beheerplatform voor de verschillende applicaties, dient nu ook een App Store te worden aangeboden. Dit vereist processen om andere ontwikkelaars applicaties te laten insturen, ze te evalueren en aan eindgebruikers beschikbaar stellen tegen een betaling (die dan uiteraard deels terugvloeit naar de ontwikkelaar).
- **Organisatie van ITS:** in principe kan deze rol overbodig zijn indien er spontaan hardware- en softwareproducenten zijn die het systeem opstellen. Indien dit niet gebeurt, kan er echter nog steeds enige vorm van initiatief noodzakelijk zijn om de producenten hiertoe te stimuleren. Toch zullen de verantwoordelijkheden van deze rol verlagen, aangezien er nu minder strikte standaarden en controles noodzakelijk zijn.

Overbodig geworden rollen:

- **OBU interface voorzien in het voertuig:** er wordt vanuit gegaan dat de functionaliteiten van de unit hier niet geïntegreerd zijn in de wagen, wat deze rol overbodig maakt.

- **OBU installeren:** Uit het vorige punt volgt dat ook een uitgebreide installatie niet langer van toepassing is en we gaan ervan uit dat dit door de gebruiker zelf uitgevoerd kan worden.

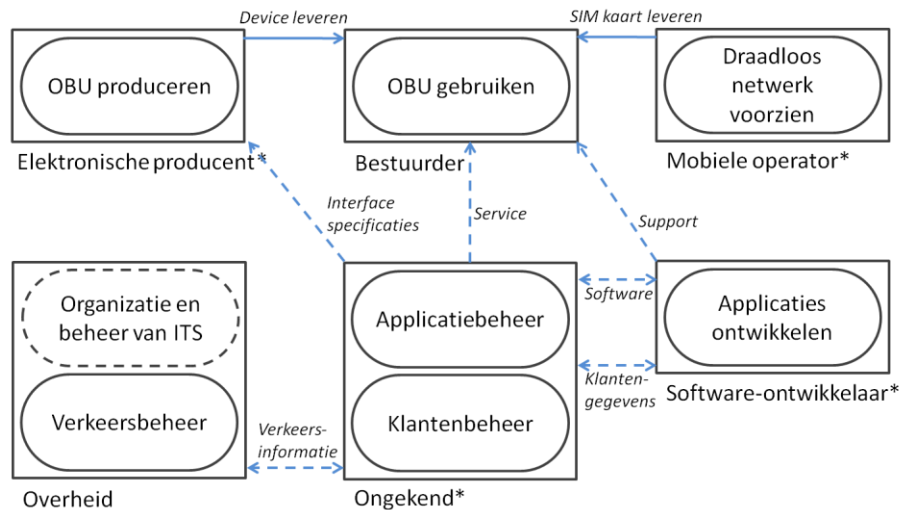
8.3.2 Actoren

De actoren blijven grotendeels dezelfde, al zijn er nu iets meer mogelijkheden voor kleine wijzigingen en het tegelijk voorkomen van verschillende implementaties. Zo kan bijvoorbeeld een MVNO ervoor opteren om voor een welbepaald doelpubliek enkele specifieke applicaties te (laten) ontwikkelen en deze gratis beschikbaar stellen aan klanten die aangesloten zijn op hun netwerk. Dit kan nog verdergaan door ook nog eens een contract af te sluiten met een smartphone producent om zo een gezamenlijk product aan de eindgebruiker aan te bieden. Op deze manier kan vermeden worden dat de klant zelf alle elementen zelf moet aankopen. Dit kan volledig naast andere producenten en leveranciers staan die de elementen wel afzonderlijk aanbieden, zodat andere klanten zeer selectief kunnen kiezen wat ze betalen waarvoor.

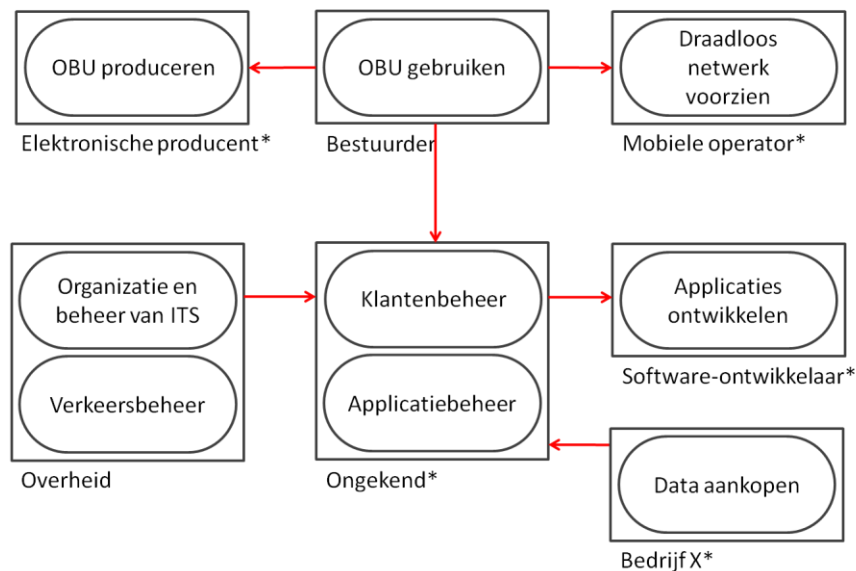
Een tweede verschil met het voorgaande scenario is dat er meer vrijheid is voor de applicatie- en klantenbeheerder. Hier is het minder relevant of dit bedrijf een band heeft met de overheid of niet. Er kunnen ook meerdere bedrijven deze rol opnemen, al dan niet met onderlinge samenwerking.

8.3.3 Mapping van actoren op rollen en hun interacties

In Figuur 41 geven we het Value Network weer van dit scenario. Opnieuw is aangegeven met een * welke actoren door verschillende bedrijven tegelijk kunnen opgenomen worden en dit is aanzienlijk meer dan in het voorgaande scenario. Dit zal zich uiten in verhoogde concurrentie. We merken op dat financiële stromen niet op de figuur staan om ze niet te overladen, ze staan apart aangegeven in Figuur 42. Net als in het voorgaande scenario is de primaire bron van inkomsten de betalingen van de eindklant. Hij schaft zich een geschikt device aan, voorziet een mobiel abonnement, registreert zich bij een AppStore en koopt een aantal applicaties. Voor al deze zaken betaalt hij een som, die in principe de kosten moet dekken van het bedrijf. Via gezamenlijke contracten kunnen de bedrijven ervoor zorgen dat de eindklant niet vier afzonderlijke diensten of producten moet kopen. Dit lijkt vooral interessant met betrekking tot de App Store die centraal de inkomsten uit applicaties beheert en verder laat stromen naar de ontwikkelaars. Bij het uitblijven van dergelijke initiatieven in de markt kan het interessant zijn voor de overheid om deze te stimuleren. Dit kan zorgen voor een nauwere samenwerking, wat de latere uitwisseling van verkeersinformatie kan vergemakkelijken. Naar de applicatiekant toe is de stimulans belangrijker; applicaties die nuttige informatie verzamelen voor de dienst verkeersbeheer zijn wellicht niet altijd interessant voor de bestuurder zelf. Om deze toch tot bij de bestuurder te krijgen, zal deze laatste mogelijk financieel gestimuleerd moeten worden. Een alternatief is dat de overheid softwareontwikkelaars aanspreekt om applicaties te ontwikkelen die een aantal handige functionaliteiten voor de gebruiker combineert met het verzamelen van gegevens.



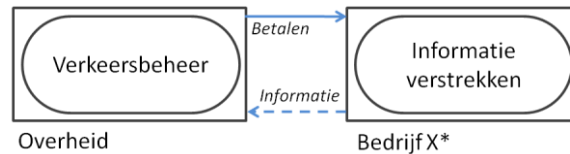
Figuur 41: Het Value Network van een open informatiesysteem



Figuur 42: De geldstromen binnen een open informatiesysteem

8.4 Scenario 3 – aankopen van Floating Car Data

Het aankopen van informatie is erg eenvoudig en vereist weinig samenwerking tussen veel actoren. Het aantal rollen is beperkt tot twee: het aankopen en het leveren van data. De overheid neemt logischerwijs de rol op als aankoper, terwijl een aantal bedrijven mogelijks data kunnen aanleveren, waaronder TomTom, Be-Mobile, Coyote Systems en Wikango. Merk op dat deze lijst zeker niet exhaustief is, het is zeer goed mogelijk dat er nog andere bedrijven dergelijke data kunnen aanbieden. Een marktonderzoek naar mogelijke partner bedrijven ligt echter buiten de scope van dit rapport. Het eenvoudig value network is dat hoort bij dit scenario is te zien in Figuur 43. We merken op dat er competitie mogelijk is tussen de bedrijven die data aanbieden, wat de overheid in staat stelt om een goede prijs te bedingen.



Figuur 43: Value network voor het aankopen van Floating Car Data

8.5 Conclusies

In dit hoofdstuk werden de verschillende rollen en actoren geïdentificeerd. Daarna werden drie mogelijke waardenetwerken bekeken: een gesloten waardenetwerk, een open netwerk en een eenvoudig netwerk voor het aankopen van Floating Car Data. De eerste twee netwerken zijn in feite de extremen en tussenoplossingen zijn mogelijk. In het geval van een volledig ITS platform kan er mits enkele wijzigingen op een aantal aspecten (bijv. het draadloos netwerk) toch concurrentie toegelaten worden. Omgekeerd kan in het open informatiesysteem op een aantal plaatsen toch enige vorm van gesloten organisatie plaatsvinden (bijvoorbeeld op vlak van de OBU door een samenwerking met een consortium van enkele smartphone-fabrikanten te organiseren). Er is hierbij geen absoluut juiste of foute invulling. Wegens de grotere complexiteit en gevoeligheid van een volledig IVS is het logischer om daar meer voor een gesloten invulling te opteren. Dit maakt het systeem eenvoudiger en sneller te organiseren, wat ook de (perceptie van) betrouwbaarheid verbetert. In het geval van een lichter informatiesysteem is een open invulling gemakkelijker te realiseren en daardoor kan competitie een grotere rol spelen om de prijzen laag te houden.

Gezien de gevoeligheden van het project is overheidsingrijpen wellicht wenselijk of zelfs noodzakelijk. Indien er inderdaad geen private ondernemingen zijn die spontaan een IVS willen lanceren en de overheid dit systeem toch gerealiseerd wil zien, zal zij moeten beslissen hoe dit wordt ingevuld. Bij de keuze tussen de waardenetwerken is de voornaamste vraag op welk niveau concurrentie gewenst is, wat afhankelijk is van de mogelijke schaalvoordelen. Dit hangt op zijn beurt samen met de verwachte marktgrootheid en de beslissing of het systeem verplicht is voor bestuurders of niet. De eventuele voordelen van concurrentie moeten hierbij afgewogen worden met de organisatorische complexiteit. Het is duidelijk dat dit geen eenduidig probleem is, maar in combinatie met onze kostinschattingen in het Steunpunt 2009 rapport "Verhoogde verkeersveiligheid op autosnelwegen dankzij ITS" werd een aanzet geleverd die verder onderzoek op dit vlak kan ondersteunen.

9. CONCLUSIES EN BELEIDSAANBEVELINGEN

Op grond van de behaalde resultaten kan er besloten worden dat er best gestreefd wordt naar een FCD configuratie met een uitrustingsgraad van 1% waarbij een FCD voertuig elke 10 seconden een monster neemt en lokaal opslaat. Dit monster bevat accurate informatie over de positie en snelheid van het voertuig, en het exacte tijdstip van bemonstering. Elke 30 seconden wordt dan een aggregaat van 3 monsters doorgestuurd naar de FCD server. Bij het opzetten van de verbinding wordt een optimalisatie binnen het beveiligingssysteem toegepast, de zogenaamde SSL restart handshake.

Een FCD systeem zoals hierboven beschreven zal op de autosnelweg in staat zijn om enerzijds per wegsegment een accurate inschatting te maken van de effectieve huidige snelheid en anderzijds om de locatie van een incident en een filestaart correct te bepalen. Op de gewestwegen en in een stadsomgeving zal dit FCD systeem niet in staat zijn om per wegsegment een accurate inschatting te maken van de effectieve huidige snelheid, maar het zal wel in staat zijn om de segmenten in te delen in twee categorieën: normaal verkeer en congestie. Daarnaast zal het systeem op dit soort wegen ook de locatie van een incident en een filestaart correct kunnen bepalen.

De invloed van het voorgestelde FCD systeem op het mobiele datanetwerk is te verwaarlozen. Er worden dan ook geen problemen met de betrouwbaarheid verwacht op basis van overbelasting van het netwerk. Elke FCD client zal per maand slechts ongeveer 1 MB data verzenden naar de server.

Op vlak van kostprijs is op korte en middellange termijn de meest aantrekkelijke optie om FCD data aan te kopen bij een externe partij. Verschillende bedrijven beschikken de dag van vandaag namelijk zelf over floating car data. We denken hierbij aan bedrijven als TomTom, Be-Mobile, Coyote Systems en Wikango. Merk op dat deze lijst zeker niet exhaustief is, een marktstudie zou moeten uitgevoerd worden om deze in detail vast te leggen. Dit valt echter buiten de scope van dit rapport. Een voorzichtige kosteninschatting werd gemaakt, een jaarlijkse kost van 160.000 euro lijkt een haalbare kaart. Dit moet echter geverifieerd worden door de overheid in bilaterale gesprekken met de bedrijven in kwestie.

Op organisatorisch vlak tenslotte is op korte en middellange termijn de meest aantrekkelijke optie ook het aankopen van FCD gegevens bij een externe partij. Het zelf opzetten van een FCD, of het nu een open of een gesloten systeem betreft, vereist de coördinatie van veel meer actoren dan bij het gewoonweg aankopen van de gegevens.

Gebaseerd op deze conclusies kunnen we volgende aanbevelingen formuleren naar het beleid toe:

1. Bepaal in een verder marktonderzoek een exhaustieve lijst van bedrijven die FCD data zouden kunnen aanleveren.
2. Contacteer deze bedrijven om een antwoord te krijgen op volgende vragen
 - a. Hebben ze interesse in het aanleveren van hun data?
 - b. Kunnen ze voldoen aan de opgelegde voorwaarden (minimale penetratiegraad van 1% op zowel autosnelwegen als gewestwegen, interval tussen bemonstering van maximaal 10 seconden, monster omvat zowel locatie, snelheid en tijdstip).
 - c. Aan welke prijs wensen ze deze data te verkopen?
3. Beslis op basis van die gegevens of men tot een effectieve uitrol kan en wil gaan.

10. LITERATUURLIJST

- Allee, V. (2008). Value network analysis and value conversion of tangible and intangible assets. *Journal of Intellectual Capital, Volume 9, No. 1, 2008*, 5-24
- Avni, O. (2009). Lessons learned from implementation of cellphone probe data collection systemes. *Proc. ITS America's 2009 Annual Meeting & Exposition*, Fort Washington.
- Ayala, D., Lin, J., Wolfson, O., Rische, N., Tanizaki, M. (2010). Communication reduction for floating car data-based traffic information systems. *Proc. 2010 Second International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications and Services*. St. Maarten
- Bar-Gera, H. (2007). Evaluation of a cellular Phone-based system for measurements of traffic speeds and travel times: a case study from Israel. *Transportation Research part C: Emerging Technologies, Volume 15, Issue 6, 2007*, 380-391.
- Breitenberger, S., Grüber, B., Neuherz, M., Kates, R. (2004). Traffic information potential and necessary penetration rates. *Traffic Engineering and Control, Volume 45, Issue 11, 2004*, 396-401.
- Casey, T., Smura, T., Sorri, A. (2010). Value Network Configurations in wireless local area access. *Proc. 9th Conference on Telecommunications Internet and Media Techno Economics (CTTE), 2010*, Gent
- Chen, M., Chien, S.I.J. (2001). Dynamic freeway travel time prediction using probe vehicle data: link-based vs. path-based. *Proc. 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, 2001*, Washington DC.
- Cheu, R.L., Xie, C., Lee, D.-H. (2002). Probe vehicle population and sample size for arterial speed estimation. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, Volume 17, Number 1, 2002*, 53-60.
- Cho, Y., Rice, J. (2006). Estimating velocity fields on a freeway from low-resolution videos. *IEEE Transactions on Intelligent Transportations Systems, Vol. 7, No. 4, 2006*, 463-469
- Christensson, S., Archer, J. (2009). Simulation-based ITS test platform for traffic management and control system research and development. *Proc. ITS World 2009*, Stockholm.
- Davidsson, F., Matsoms, P., Lillienberg, S., Andersson, H. (2002). OPTIS statistical analysis and PROBE simulation study. *Technical report of the OPTIS project*, beschikbaar online op http://www.ctr.kth.se/publications/ctr2002_05.pdf
- De Fabritiis, C., Ragona, R., Valenti, G. (2008). Traffic estimation and prediction based on real time floating car data. *Proc. 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 2008*.
- De Mol, J., Vanhauwaert, E., Vandenberghe, W. (2009). Verhoogde verkeersveiligheid op autosnelwegen dankzij ITS. *Steunpuntrapport 2009*
- Fang, T., Guo, L., Kuehne, R., Wang, J., Bei, X. (2009). An evaluation method for floating car data (FCD) system. *Proc. ITS World 2009*, Stockholm.
- Hamaoka, H., Shikanai, T. (2009). Characteristics based on the slippery road information system by utilizing the taxi probe data. *Proc. ITS World 2009*, Stockholm.
- Hamedi, M., Haghani, A., Sadabadi, F. (2009). Using Bluetooth technology for validating vehicle probe data. *Proc. ITS World 2009*, Stockholm.
- Hong, J., Zhang, X., Wei, Z., Li, L., Ren, Y. (2007). Spatial and temporal analysis of probe vehicle-based sampling for real-time traffic information system. *Proc. 2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Istanbul*

- Huber, W., Lädke, M., Ogger, R. (1999) Extended floating-car data for the acquisition of traffic information. *Technical report BMW group*, beschikbaar online op: http://www.bmwgroup.com/e/0_0_www_bmwgroup_com/forschung_entwicklung/publikationen/mobilitaet_verkehr/pdf/XFCD_englisch.pdf
- Jiang, G., Gang, L., Cai, Z. (2006). Impact of probe vehicles sample size on link travel time estimation. *Proc. 2006 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*, Toronto
- Kathmann, T. (2009). Traffic counts - new Methods of traffic counting in north Rhine-Westphalia. *Proc. ITS World 2009*, Stockholm.
- Kerner, B.S., Demir, C., Herrtwich, R.G., Klenov, S. L., Rehborn, H., Aleksic, M., Haug, A. (2005). Traffic state detection with floating car data in road networks. *Proc. 8th International Conference on Intelligent Transportation Systems, 2005*, Vienna
- Körner, M. (2009). Traffic conditions determination based on floating car data with short capturing intervals. *Proc. ITS World 2009*, Stockholm.
- Li, L., Liu, B., Lai, Y., Matsuzaki, K. (2010). Impact of map quality on the performance of probe car system. *Proc. 10th International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications (ITST 2010)*, Kyoto.
- Li, M., Zhang, Y., Wang, W. (2010). Improvement of real-time traffic data. *Proc. 10th International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications (ITST 2010)*, Kyoto.
- Li, X., Shu, W., Li, M., Huang, H.-Y., Luo, P.-E., Wu, M.Y. (2009). Performance evaluation of vehicle-based mobile sensor networks for traffic monitoring. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 58, No. 4, 2009, 1647-1653.
- Liu, B., Li, L. (2010). Measurement method of jam level on signalized road. *Proc. 10th International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications (ITST 2010)*, Kyoto.
- Llorca, D.F., Sotela, M.A., Sánchez, S., Ocaña, M., Rodríguez-Ascariz, J.M., García-Garrido, M.A. (2010). Traffic data collection for floating car data enhancement in V2I networks. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, Volume 2010*, Article ID 719294, 13 pages
- Mu, B., Hu, J. Zhao, T., Zhang, Y. (2010). Evaluating the performance of link travel time estimation based on floating car data. *Proc. 2010 International Conference on Optoelectronics and Image Processing*.
- Nanthawichit, C., Nakatsuji, T., Suzuki, H. (2003). Dynamic estimation of traffic states on a freeway using probe vehicle data. *Journal of Infrastructure Planning and Management*, No 730, 2003, 43-54
- Naumann, S., Schönrock, R. (2009). Floating car observer development succeeded. *Proc. ITS World 2009*, Stockholm.
- Rahmani, M., Koutsopoulos, H. N., Ranganathan, A. (2010). Requirements and potential of GPS-based floating car data for traffic management: Stockholm case study. *Proc. 2010 13th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems*, Madeira.
- Roy, S., Bandyopadhyay, S., Das, M., Batabyal, S., Pal, S. (2010). Real time traffic congestion detection and management using active RFID and GSM technology. *Proc. 10th International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications (ITST 2010)*, Kyoto.
- Schäfer, R.-P., Lorkowski, S., Mieth, P., Schurr, I. (2009). Travel Time Measurements using GSM and GPS Probe Data. *Proc. ITS World 2009*, Stockholm.

- Sjölander, P.-O. (2008). SRIS Slippery Road Information System. *IVSS Project Report, 2008*, beschikbaar online op:
http://www.ivss.se/upload/SRI_%20english_IVSS_090107_inrapporterad.pdf
- Szigeti, J., Laborczi, P., Gordo, G. (2009). Benchmarking of floating car data sources. *Proc. ITS World 2009*, Stockholm.
- Vandenberghe, W., Carels, D., Moerman, I., Demeester, P., Bergs, J., Van de Velde, E., Van den Wijngaert, N., Blondia, C., Dedene, N. (2009). Impact of introducing road charging on supporting mobile data networks. *Proc. 9th International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications (ITST 2009)*, Lille.
- Wei, Z., Ande, C., Guiyan, J. (2009). Sampling and transmitting intervals optimization based on GPS equipped floating car. *Proc. 2009 Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, Changsha.