

De incrementele ontwikkeling van een data-driven agent-gebaseerd simulatiemodel voor goederenvervoer

Tavasszy, Lorant; de Bok, Michiel

Publication date

2018

Document Version

Accepted author manuscript

Published in

Bijdragen Vervoerslogistieke Werkdagen 2018

Citation (APA)

Tavasszy, L., & de Bok, M. (2018). De incrementele ontwikkeling van een data-driven agent-gebaseerd simulatiemodel voor goederenvervoer. In M. Kraan, & S. Weijers (Eds.), *Bijdragen Vervoerslogistieke Werkdagen 2018* (2018 ed.). (Bijdragen Vervoerslogistieke Werkdagen). University Press Zelzate.

Important note

To cite this publication, please use the final published version (if applicable).
Please check the document version above.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

Takedown policy

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights.
We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

De incrementele ontwikkeling van een data-driven agent-gebaseerd simulatiemodel voor goederenvervoer

Michiel de Bok, TU Delft/Significance
Lóri Tavasszy, TU Delft

Samenvatting

De ontwikkeling van een agent-gebaseerd simulatiemodel voor goederenvervoer is complex en vraagt veel data. In deze bijdrage beschrijven we de incrementele ontwikkeling van een agent-gebaseerd simulatiemodel voor goederenvervoer, waarin een zendingen-gebaseerde aanpak gevolgd wordt en het gedrag van individuele bedrijven gesimuleerd wordt. Kenmerkend voor de aanpak is het gebruik van een nieuwe gedetailleerde dataverzameling voor wegvervoer (XML-bestanden). Om de complexiteit van het simulatieraamwerk te beheersen wordt een incrementele ontwikkeling gevolgd. In deze bijdrage is het eerste werkende prototype van het model beschreven: deze is uitgewerkt voor al het vrachtverkeer van en naar Rotterdam. De uitkomsten van dit prototype illustreert de beoogde aanpak en kunnen al bruikbaar zijn als een gedetailleerd en representatief beeld van het vrachtverkeer in het studiegebied. In de volgende versies van het model zullen logistieke keuzes aan het model worden toegevoegd, en stapsgewijs de dimensies worden uitgebreid: er worden nieuwe locatiemarkers toegevoegd voor logistieke knopen, het studiegebied gaat worden vergroot en de agent-rollen worden uitgebreid met logistieke dienstverleners en eigen vervoerders.

Inleiding

In het stedelijk verkeer zijn vracht- en bestelauto's verantwoordelijk voor 14% van de voertuigkilometers, en ongeveer 45% van de PM10 emissies. Ontwikkelingen in dit segment van het stadsverkeer zijn daarom van eminent belang voor de leefkwaliteit in onze steden. Deze ontwikkelingen betreffen bijvoorbeeld de invoering van milieuzones voor het weren van zware of vervuilende vrachtwagens, of de groei van E-commerce en de bezorging van internetbestellingen aan huis. Er zijn echter geen simulatiemodellen beschikbaar die gebruikt kunnen worden om de impact van deze ontwikkelingen op het stadsverkeer te analyseren, vooral door de grote databehoeftes. Echter, recente ontwikkelingen in innovatieve dataverzameling kunnen de ontwikkeling van gedesaggregeerde simulatietools mogelijk maken.

Er is een trend gaande waarin nieuwe simulatiemodellen ontwikkeld worden, die (deels) gedesaggregeerd zijn of zelfs het gedrag van individuele 'agents' simuleren (Davidsson et al. 2005; Tavasszy, 2006; De Jong and Ben Akiva, 2007; Wisetjindawat et al, 2007; Liedtke, 2009; Roorda et al., 2010). De uitwerking van deze modellen is sterk afhankelijk van de context waarin ze ontwikkeld zijn en de beschikbaarheid van data. Er kan onderscheid gemaakt worden naar trip based modellen waar primair vrachtwagenritjes gemodelleerd worden (e.g. Hunt and Stefan, 2007) of commodity based modellen waar zendingen expliciet gemodelleerd worden (Holguín-Veras, 2013; Wisetjindawat et al, 2007; Liedtke, 2009; Roorda et al., 2010; Samimi et al, 2010). Zendingen zijn een belangrijke dimensie als het logistieke gedrag achter goederenvervoer beter begrepen moet worden. Modellen verschillen ook actoren die worden onderscheiden: de gedragsvoorkeuren van verladers en vervoerders kan apart worden gemodelleerd (e.g. Holguín-Veras and Sánchez-Díaz, 2016) maar dit wordt vaak versimpeld. Een relevant onderscheid wat gemaakt moet worden is het onderscheid tussen eigen vervoer ('own account') en beroeps vervoerders ('hired account' of '3PL'). Enkele geavanceerde simulatiemodellen maken dit onderscheid (Boerkamps et al., 2000; Cavalcante and Roorda, 2013).

Er bestaan enkele vooruitstrevende modellen waarin het gedrag van individuele 'agents' gesimuleerd wordt, zoals TAPAS (Davidsson et al., 2005), INTERLOG (Liedtke, 2009), FAME (Samimi et al. 2010) or FREMIS (Roorda et al., 2010). Al deze systemen blijken veel data nodig te hebben en vooral data ten aanzien van logistieke keuzes is cruciaal. Daarnaast blijken logistieke patronen het resultaat van meerdere logistieke keuzes waartussen grote afhankelijkheden bestaan. Het beheersen van de complexiteit binnen deze simulatiemodellen is daarom een grote uitdaging.

In deze paper beschrijven we het gebruik van een nieuwe gedetailleerde dataverzameling (XML-bestanden) om een beschrijvend model te maken van het stedelijk goederenvervoer. Om de complexiteit van het simulatieraamwerk te beheersen wordt een incrementele ontwikkeling gevolgd: we starten met eenvoudige prototypes en werken naar een steeds meer geavanceerd simulatie raamwerk.

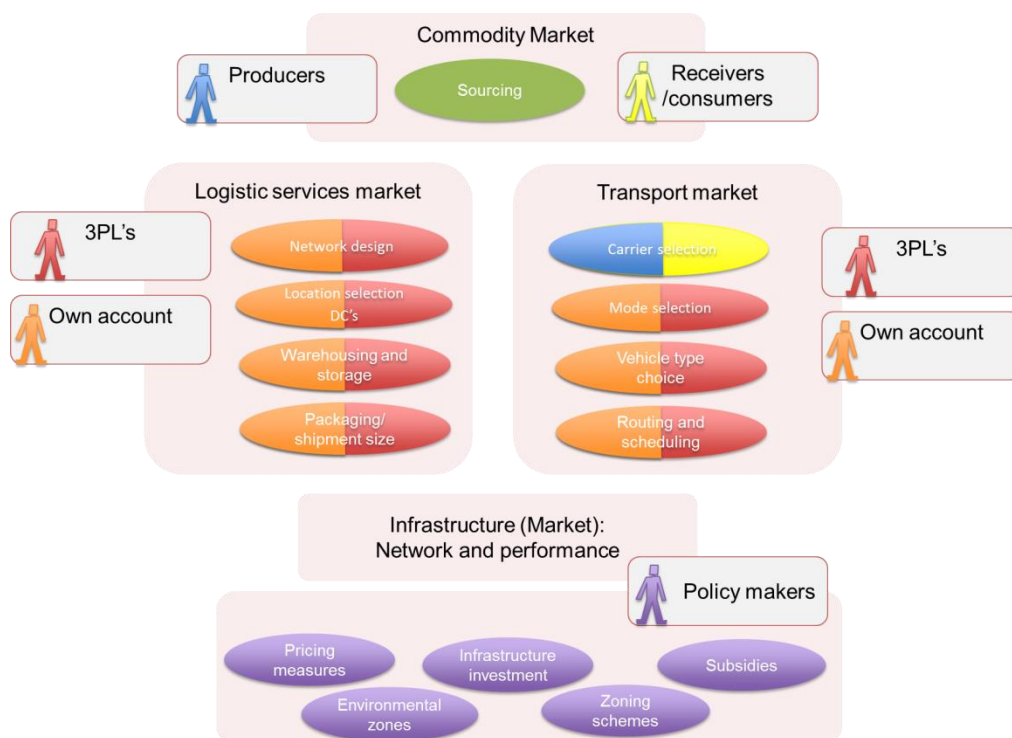
Allereerst beschrijven we de opzet van het agent gebaseerde model en de ontwikkelstrategie achter het model. Daarnaast beschrijven we de het eerste werkende prototype van het model: deze is uitgewerkt voor al het vrachtverkeer van en naar Rotterdam. Ten slotte geven we een korte discussie en beschrijven we de stappen die we zetten bij de ontwikkeling van volgende versies van het model.

Agent gebaseerd model voor stedelijk goederenvervoer

Conceptueel model

Het simulatiemodel voor goederenvervoer wordt gebaseerd op drie ontwerpprincipes: we volgen een zendingen-gebaseerde aanpak, we simuleren het gedrag van individuele actoren (agent-based), en we streven naar empirisch onderbouwde modellen. Als actoren maken we onderscheid naar producerende bedrijven (verzenders), consumerende bedrijven (ontvangers), eigen vervoerders en beroepsvervoerders (3PL). Voor de ontwikkeling wordt gebruik gemaakt van zeer omvangrijke transportbestanden waaruit gedragsmodellen worden afgeleid. Deze empirische basis is belangrijk voor het afleiden van representatieve modellen voor logistiek gedrag.

De onderscheiden actoren nemen beslissingen in verschillende logistieke markten. Hier hanteren we als conceptueel model de indeling zoals beschreven in Boerkamps et al (2000) met een onderscheid naar producten markt (commodity market), logistieke diensten markt (logistic services), transport markt, en de infrastructuur markt. In figuur 1 zijn deze markten, en de daarop actieve actoren weergegeven. Op de productenmarkt ('commodity market') wisselen producerende en consumerende bedrijven goederen met elkaar uit. Op de markt van logistieke diensten vindt de organisatie van het vervoer via distributiekanaalen plaats. Dit vervoer kan georganiseerd worden door logistiek dienstverleners (3PL) of in geval van bedrijven met grote vervoersvolumes door eigenvervoerders. Op deze markt worden logistieke keuzes gemaakt ten aanzien van locatie van overslag en opslag, en zendinggrootte. Op de transportmarkt wordt het verplaatsen van goederen georganiseerd. Dit wordt ook weer verricht door logistiek dienstverleners of eigenvervoerders. Op deze markt worden keuzes gemaakt ten aanzien van de vervoerder, vervoerwijze-, voertuigtype-, route- of tijdstipkeuzes.



Figuur 1: Agents, markten en logistieke keuzes in het conceptuele model.

De infrastructuurmarkt bepaalt in belangrijke mate de aanbod kant van de transportmarkt. De netwerken en verkeerscondities bepalen de bereikbaarheid van locaties en de transportkosten voor

de goederen. De ontwikkeling en het beheer van deze netwerken ligt meestal in het publieke domein.

Individuele bedrijven kunnen actief zijn op verschillende markten en ook verschillende rollen vervullen: een bedrijf kan een producent zijn van goederen, en tegelijkertijd een eigen vervoerder. Het is daarom beter te spreken over ‘agent’-rollen. Een individueel bedrijf is een actor die 1 of meerdere rollen kan vervullen.

Ontwikkelstrategie

Het model wordt gebaseerd op uitgebreide transportdata: het doel is tenslotte om een simulatie model te maken die in staat is representatieve stromen voor goederenvervoer te ontwikkelen en de belangrijkste logistieke beslissing achter deze stromen te beschrijven.

Om de complexiteit van het simulatieraamwerk te beheersen wordt een incrementele ontwikkeling gevolgd: we zijn begonnen met een eenvoudig basis prototype en werken stapsgewijs toe naar een steeds meer geavanceerd simulatieraamwerk. Het eerste voordeel van deze aanpak is dat leerpunten uit tussenversies kunnen worden meegenomen in daarop volgende versies: dit leidt ertoe dat onvoorziene innovaties tijdens de ontwikkeling toegevoegd kunnen worden. Het tweede voordeel is dat de ontwikkelde tussenversies, ondanks bekende simplificaties, al bruikbare resultaten kan genereren.

Data

Eén van de doelen van het project is empirische modellen te ontwikkelen: data vormt daarom een belangrijk uitgangspunt. In het onderzoek wordt intensief gebruik gemaakt van een zeer uitgebreidere database met transportstatistiek verzameld door het Centraal Bureau van de Statistiek (CBS). Het CBS zet in het kader van de dataverzameling voor de Basisbestanden Goederenvervoer een enquête uit onder een steekproef van alle geregistreerde vrachtwagens in Nederland. Deze Basisbestanden Goederenvervoer vormen een belangrijke empirische basis voor de analyses. Een groot aantal van de eigenaren van deze vrachtwagens maken gebruik van de mogelijkheid deze data geautomatiseerd aan te leveren vanuit hun transport management systemen. Dit geldt vooral voor de beroepsvervoerders. Dit gaat via een universeel XML format, vandaar dat dit deel van de datacollectie de XML-data wordt genoemd. Wat specifiek is aan de XML dataverzameling is de grote datadichtheid: van alle laad- en loslocaties van de vrachtwagenritten worden de GPS coördinaten geregistreerd. Dit maakt meer gedetailleerde verklarende analyses mogelijk op de ritpatronen.

Tabel 1: Databronnen gebruikt bij het prototype

Data	Statistiek	Bron:
<i>Zendingen</i>	Zendinggrootte: beschrijvende statistiek	Basisbestand goederenvervoer (CBS)
<i>Vrachtwagentour</i>	Inzet voertuigtype, Samenstelling rondritten (1,2,3,4+ stops)	Basisbestand goederenvervoer (CBS)
<i>Rondritpatronen</i>	Nauwkeurig vertrek- en stoptijdstip, exacte laad- en loslocaties	XML-data verzameling binnen BBGV (CBS)
<i>Bedrijfspopulatie</i>	Location, size and sector of firms	Algemeen Bedrijven Register (ABR) (CBS)
<i>Goederenvervoermatrix</i>	Totale volume goederenvervoer tussen geaggregeerde zones	Aggregatie uit Basisbestand goederenvervoer of prognosebestand uit goederenvervoermodel Basgoed

Naast de goederenvervoerdata worden aanvullende informatiebronnen gehanteerd om de analyses te verdiepen. Het Algemeen Bedrijven Register (ABR) wordt gebruikt om te inventariseren welke bedrijven zich op de laad- en loslocaties van de vrachtautoritten bevinden. Daarnaast wordt het gebruikt om een synthetisch bedrijvenpopulatie te genereren. Verder worden infrastructuurnetwerken en gebiedskenmerken gebruikt uit bestaande verkeersmodellen (NRM-West).

Eerste prototype

Introductie

Als eerste stap in de ontwikkeling van een agent-gebaseerd simulatiemodel voor goederenvervoer hebben we een prototype ontwikkeld voor de regio Rotterdam waarin al het vracht verkeer van, naar en in de stad wordt gemodelleerd. Het prototype bevat alle bedrijven (agents) in de regio en is bewust simpel gehouden van opzet. De agent rollen die worden onderscheiden zijn beperkt tot verzenders en ontvangers van goederen; er wordt nog geen aparte rol voor eigen vervoerders of logistieke dienstverleners onderscheiden. Het model is wel volledig in de zin dat de volledige vraag naar goederenvervoer wordt gesimuleerd, met het onderscheid naar NSTR goederen hoofdstukken. Het prototype bevat nog geen gedragsmodellen, maar is gebaseerd op monte carlo simulatie en het repliceren van waargenomen kansdichtheidsfuncties. Het prototype bestaat uit twee modules: de ‘shipment synthesizer’ en een ‘tourformation’ model.

Shipment synthesizer

De eerste stap in het model is het aanmaken van virtuele zendingen tussen verzenders en ontvangers. In veel bestaande modellen wordt vanaf het bedrijfsniveau op basis van regressie modellen het aanbod en de vraag van goederen berekend (Wisetjindawat et al, 2007; Abed et al, 2015). In onze aanpak nemen we een geaggregeerde vrachtmatrix, met het totale volume goederenvervoer tussen zones (≈gemeentes) als invoer. Het stroomschema van de module is opgenomen in Figuur 3. Deze totale stroom goederen wordt opgedeeld in individuele zendingen op basis van waargenomen zendinggroottes. De zending grootte wordt op basis van het waargenomen gemiddelde en standaard afwijking van dit gemiddelde en monte carlo simulatie bepaald:

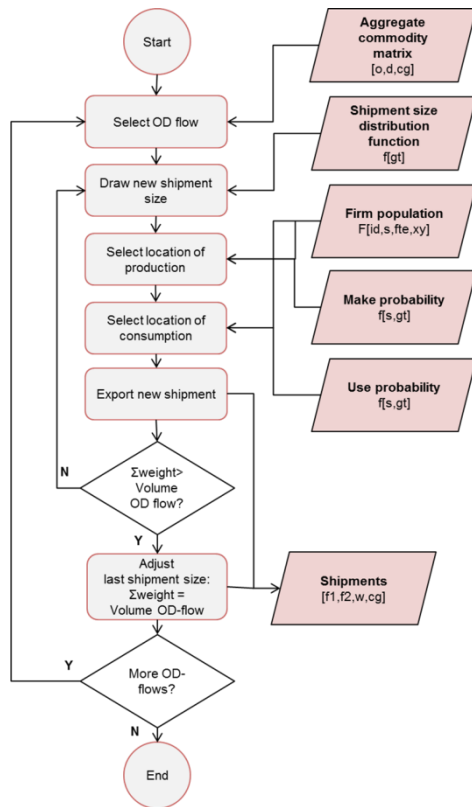
$$f(x|\mu, \sigma^2) \quad (1)$$

Vervolgens wordt de zending toegekend aan het verzendende bedrijf in de zone van herkomst en aan een ontvangend bedrijf in de bestemmingszone. De kans dat bedrijf f uit bedrijfssector s , de verzender is van de zending van goederengroep gt hangt af van de kans dat bedrijfssector s de ‘maaksector’ is van deze goederen, $P_{s,gt}^{make}$, en de grootte van het bedrijf, E , en natuurlijk de overige bedrijven in de herkomstzone die de verzender kunnen zijn:

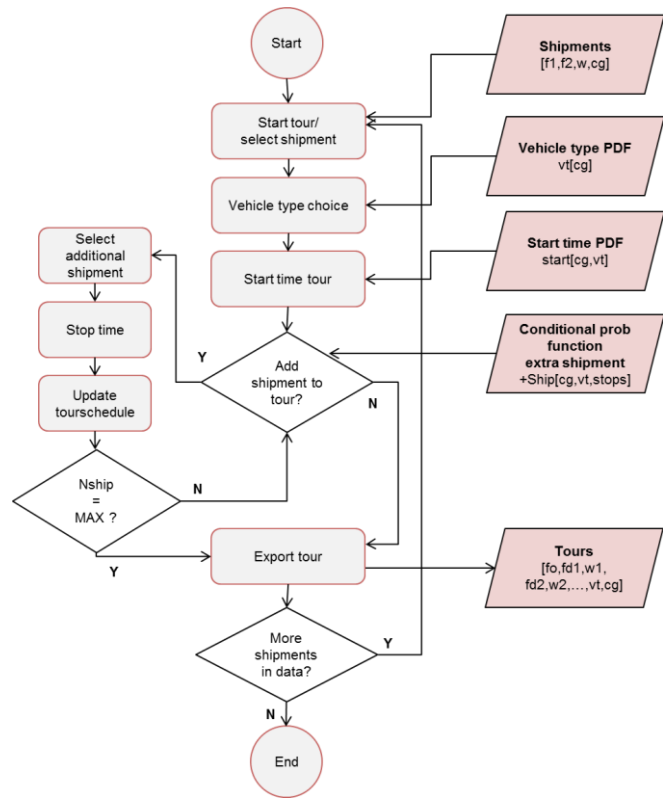
$$P_{f,gt}^{sender} = \frac{E_{f,s} * P_{s,gt}^{make}}{\sum_{i \in orig} [E_{i,s} * P_{s,gt}^{make}]} \quad (2)$$

De kans dat bedrijf f uit bedrijfssector s , de ontvanger is van de zending van goederengroep gt hangt af van de kans dat bedrijfssector s de ‘gebruiksector’ is van deze goederen, $P_{s,gt}^{use}$, en de grootte van het bedrijf, E , en natuurlijk de overige bedrijven in de bestemmingszone die de ontvanger kunnen zijn:

$$p_{f,gt}^{preiv} = \frac{E_{f,s} * p_{s,gt}^{use}}{\sum_{i \in dest} [E_{i,s} * p_{s,gt}^{use}]} \quad (3)$$



Figuur 3: 'Shipment synthesizer' procedure



Figuur 2: 'Tourformation' procedure

Tourformation

De tweede module, simuleert de vorming van rondritten uit de individuele zendingen. Er zijn enkele voorbeelden waarin logistieke keuzemodellen zijn ontwikkeld voor de vorming van rondritten zoals Hunt en Stefan (2007), Wisetjindawat et al. (2007), Wang (2008) or Nuzzolo et al. (2012). Ons eerste prototype bevat nog geen keuzemodel, maar het is gebaseerd op monte carlo simulatie om waargenomen kenmerken van rondritten te repliceren. Er wordt een incrementele aanpak gevolgd: bij ieder transport wordt gesimuleerd: was is de kans dat nog een extra zending in deze (rond)rit wordt opgenomen? De uitkomst van de module is een dataset met rondritten, met per rondrit de kenmerken van één of meerdere zendingen in de rit, en de laad- en loslocaties tijdens deze rondrit.

Figuur 2 laat de stapsgewijze simulatie procedure zien. Allereerst wordt het voertuigtype bepaald op basis van waargenomen inzet van voertuigtypen. Daarbij wordt de kansdichtheidsfunctie gebruikt van de gebruikte voertuigtype voor het vervoer van de corresponderende goederengroep.

De tweede stap in de procedure is het toekennen van een starttijdstip van de rondrit. Ook deze informatie is zeer gedetailleerd opgenomen in de XML-data en hieruit is dus een kansdichtheidsfunctie opgenomen voor het moment waarop bepaald goederenvervoer plaatsvindt.

De volgende stap is de overweging of er een zending aan deze (rond)rit wordt toegevoegd. Dit wordt gesimuleerd op basis van de waargenomen kans dat bij een bepaald aantal zendingen, nog een extra zending aan de (rond)rit wordt toegevoegd. Deze conditionele kans is afgeleid uit frequentietabellen hoe vaak 1, 2, 3, 4 of 5+ stop tours voorkomen, die zijn afgeleid uit het basisbestand goederenvervoer.

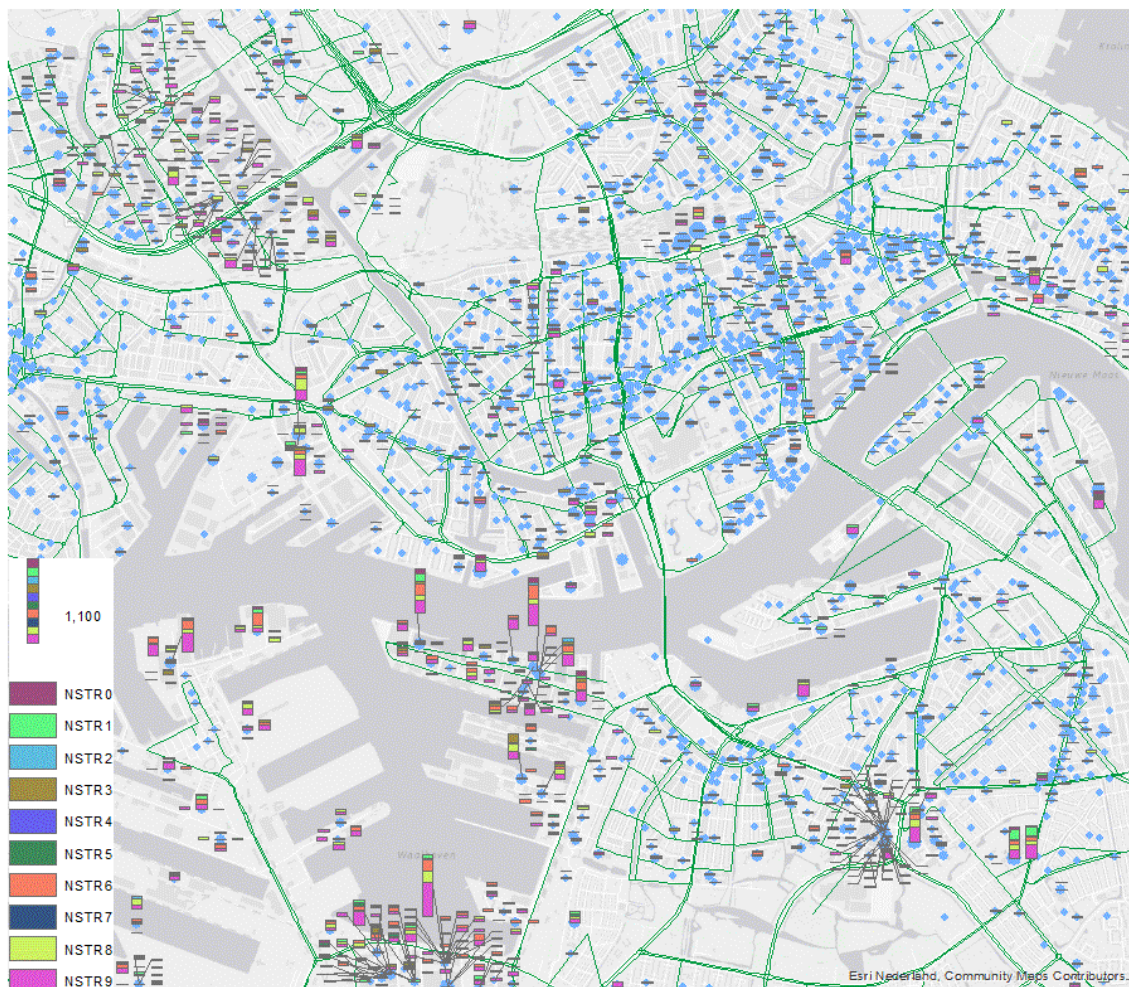
Eerste resultaten

Het hier beschreven prototype van het agent-gebaseerd simulatiemodel voor goederenvervoer maakt een bestand aan van alle zendingen van en naar bedrijven in het studiegebied. Daarnaast wordt op basis van deze zendingen een bestand gemaakt met alle vrachtritten en -rondritten in het studiegebied. Voor deze zendingen en rondritten zijn gedetailleerde kenmerken beschikbaar over zendinggrootte, goederensoort, voertuigtype, welke stops worden aangedaan, en het tijdstip van de dag waarop de wagen de weg opgaat. Deze informatie maakt het mogelijk om meer specifieke vragen ten aanzien van stedelijk goederenvervoer te adresseren. Een voorbeeld kan zijn een analyse op al het bouwverkeer, of een analyse van de vrachtpatronen voor de food-industrie. De uitkomsten van dit prototype kan gebruikt worden als een meer gedetailleerd en representatief beeld van al het vrachtverkeer in het studiegebied.

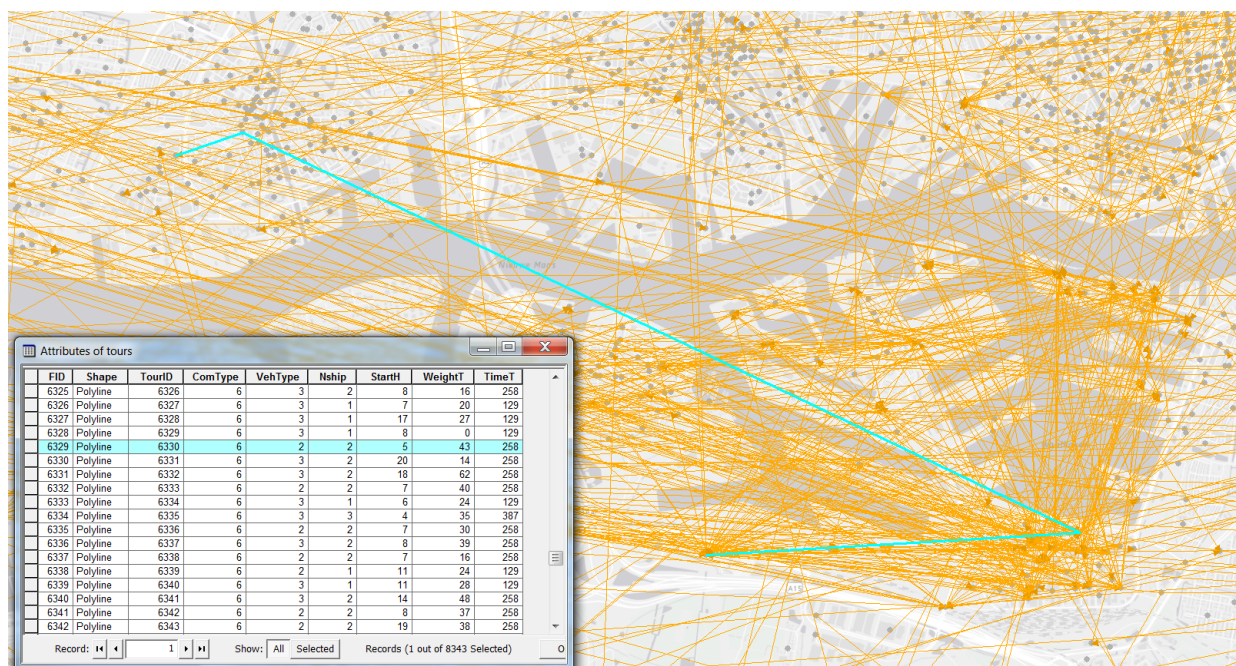
Omdat het model agent-gebaseerd is en dus vervoer tussen individuele bedrijven simuleert kunnen de resultaten ook op dat niveau worden gepresenteerd. De volgende figuren tonen de uitkomsten van de shipment synthesizer en het tourformatie model en geven daarmee een intuïtief beeld van de uitkomsten.

In Figuur 4 zijn de ontvangen zendingen per goederensoort per bedrijfslocatie gevisualiseerd. De gestapelde staafdiagrammen tonen het totaal volume (in gewicht) aan ontvangen goederen per goederensoort. De blauwe stippen op de achtergrond zijn alle bedrijven in het studiegebied. Het ruimtelijke patroon van de zendingen is het resultaat van de aanwezigheid van bedrijven in specifieke bedrijfssectoren, die de betreffende goederen produceren. Dit zorgt voor een representatiever patroon van vervoer tussen bedrijven: bouwmaterialen worden meer verzonden vanaf industriegebieden, terwijl voedselproducten meer afgeleverd worden op horeca locaties in de binnenstad. Verdere validatie van de uitkomsten van shipment synthesizer zal nog plaatsvinden, waarbij mogelijk gebruik gemaakt wordt van lokale databronnen.

Figuur 5 laat het stoppatroon zien van vrachttours voor NST/R 6 (Bouwmaterialen, mineralen). Eén van de rondritten is daarbij uitgelicht. Voor de betreffende rondrit zijn ook alle ritkenmerken die zijn gesimuleerd opgenomen: goederensoort, voertuigtype, aantal stops, het totaal vervoerd gewicht (van alle zendingen samen) en het vertrektijdstip. Op basis van deze simulatieresultaten kunnen uitsneden gemaakt worden van specifieke vervoerssegmenten. Afhankelijk van de onderzoeksvraag kan op die manier een kwantitatief beeld worden gebruikt van alle vrachtritten op een bepaald tijdstip, of naar een bepaald type ontvangers.



Figuur 4: Verzenders per goederensoort



Figuur 5: Stoppatroon van vrachttours voor NST/R 6 (Bouwmaterialen, mineralen), met voorbeeld van een rondrit

Discussie en verder onderzoek

In deze bijdrage beschrijven we de incrementele ontwikkeling van een data-driven agent-gebaseerd simulatiemodel voor goederenvervoer. Daarbij wordt een zendingen-gebaseerde aanpak gevolgd en wordt gedrag van individuele bedrijven gesimuleerd. Kenmerkend voor de aanpak is het gebruik van data, en de doelstelling om empirisch onderbouwde simulatie modellen te ontwikkelen.

Om de complexiteit van het simulatieraamwerk te beheersen wordt een incrementele ontwikkeling gevolgd: we werken van een eenvoudig basis prototype naar een steeds meer geavanceerd simulatie raamwerk. In deze bijdrage is het eerste werkende prototype van het model beschreven: deze is uitgewerkt voor al het vrachtverkeer van en naar Rotterdam. Dit model bevat nog geen specifieke logistieke keuzemodellen maar de uitkomsten van dit prototype illustreert de beoogde aanpak en kunnen al bruikbaar zijn als een gedetailleerd en representatief beeld van het vrachtverkeer in het studiegebied.

In het prototype, hoe eenvoudig nog in zijn opzet, zijn cruciale ontwerpprincipes opgenomen waardoor het een goede empirische basis vormt voor de verdere ontwikkeling van een agent-gebaseerd simulatiemodel voor goederenvervoer. Door het ontwikkelen van een zendingen gebaseerd model kan beter rekening worden gehouden met de specifieke kenmerken van de lading die impact hebben op de logistieke overwegingen achter het vervoer, zoals de transportkosten, of condities of beperkingen waar rekening mee moet worden gehouden.

Verder onderzoek richt zich dus op het ontwikkelen van logistieke keuzemodellen en implementatie in het agent-gebaseerde simulatiemodel voor goederenvervoer. Het eerste keuzemodel wat geïmplementeerd gaat worden is een simultaan model voor zendinggrootte en voertuigtype. De combinatie van zendinggrootte en voertuigtype wordt op basis van de transport- en voorraadkosten geoptimaliseerd. Verder wordt rekening gehouden met het soort verzend- of ontvanglocatie: de voertuigtypeinzet is verschillend voor transporten van en naar distributiecentra. Zie voor het achtergrondrapport voor de ontwikkeling hiervan de afstudeerscriptie van Bal (2018). Het tweede keuzemodel wat geïmplementeerd gaat worden is een model voor tourformatie. In dit model wordt rekening gehouden met diverse overwegingen achter de vorming van rondritten, zoals duur van de rondrit, de extra kosten van een additionele zending, de voertuigcapaciteit. Zie voor meer achtergrond de afstudeerscriptie van Thoen (2018).

Naast de toepassingen van logistieke keuzes in het model worden ook de dimensies van het model uitgebreid. Het studiegebied gaat worden vergroot naar Zuid-Holland. Daarnaast wordt bij de laad- en loslocaties van zendingen nu ook onderscheid gemaakt naar logistieke knooppunten: deze toevoeging is cruciaal om meer relevante informatie toe te voegen aan de logistieke keuzemodellen. Ten slotte worden de agent-rollen uitgebreid met logistieke dienstverleners, en eigen vervoerders.

Referenties

Abed, O., T. Bellemans, G.K. Janssens, D Janssens, A Yasar, G Wets (2015). "An Agent Based Simulated Goods Exchange Market; A Prerequisite For Freight Transport Modeling." *Procedia Computer Science* 52: 622-629.

Bal, I. (2018) "A logistical transportation behavioural model for shipment size and vehicle type decision" (Master thesis). Delft university of Technology.

- Boerkamps, J., van Binsbergen, A, Bovy, P (2000). "Modeling behavioral aspects of urban freight movements in supply chains." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1725: 17-25.
- Cavalcante, R. A. and M. J. Roorda (2013). "Freight Market Interactions Simulation (FREMIS): An Agent-based Modeling Framework." *Procedia Computer Science* 19: 867-873.
- Davidsson, P., L Henesey, L Ramstedt, J Törnquist, and F Wernstedt (2005). "An analysis of agent-based approaches to transport logistics." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 13(4): 255-271.
- de Jong, G. and M. Ben-Akiva (2007). "A micro-simulation model of shipment size and transport chain choice." *Transportation Research Part B: Methodological* 41(9): 950-965.
- Holguín-Veras, J, E Thorson, Q Wang, N Xu, C González-Calderón, Iván Sánchez-Díaz, J Mitchell (2013). *Urban Freight Tour Models: State of the Art and Practice*. In: H. M. Moshe Ben-Akiva, Eddy Van de Voorde Emerald. *Freight Transport Modelling*. 335-351.
- Holguín-Veras, J. and I. Sánchez-Díaz (2016). "Freight Demand Management and the Potential of Receiver-Led Consolidation programs." *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 84: 109-130.
- Hunt, J., & Stefan, K. (2007). *Tour-based microsimulation of urban commercial movements*. *Transportation Research Part B* 41, 981–1013.
- Liedtke, G. (2009). "Principles of micro-behavior commodity transport modeling." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 45(5): 795-809.
- Nuzzolo, A., Crisalli, U., & Comi, A. (2012). A system of models for the simulation of urban freight restocking tours. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 39, 664 – 676.
- Roorda, M. J., R. Cavalcante, R, S. McCabe, H. Kwan (2010). "A conceptual framework for agent-based modelling of logistics services." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 46(1): 18-31.
- Samimi, A., A. Mohammadian, K. Kawamura (2009). *Behavioral freight movement modeling*. 12th International Conference on Travel Behaviour Research. Jaipur, India.
- Tavasszy, L. A. (2006). *Freight Modelling: An overview of international experiences*. TRB Annual Meeting, Washington DC.
- Toen, S. (2018) "A behavioral shipment-based model of freight tour formation" (Master thesis). Delft university of Technology.
- Wang, Q. (2008). *Tour-based urban freight travel demand models (doctoral dissertation)*. Retrieved from http://digitool.rpi.edu:8881/dtl_publish/28/11979.html
- Wisetjindawat, W., K Sano, S Matsumoto, and P Raathanachonkun (2007). *Micro-simulation model for modeling freight agents interactions in urban freight movement*. 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, WashingtonDC.