

Verkeersvoorspellingen met modellen: een voorspelling over modellen

Victor L. Knoop

(Technische Universiteit Delft, TrafficQuest)

Serge P. Hoogendoorn

(Technische Universiteit Delft, TrafficQuest)

Samenvatting

Verkeersmodellen worden gebruikt om de verkeerssituatie te voorspellen. Daarbij zijn twee dimensies van belang: het detailniveau van het model en de beschikbare rekentijd. Dit artikel analyseert de beide dimensies en de argumenten aan om voor een bepaald niveau te kiezen. Het artikel geeft voorbeelden van beschikbare modellen, maar gaat bovenal in op de te verwachten ontwikkeling. In het bijzonder wordt ingegaan op de mogelijkheden van een hoog aggregatieniveau en een dynamische beschrijving. Deze modelbeschrijving kan zeer relevant worden voor toekomstige maatregelen voor dynamisch verkeersmanagement.

Trefwoorden

Verkeersmodellen, dynamisch verkeersmanagement

1 Introductie

Bij een te grote verkeersvraag ontstaat vertraging omdat te veel mensen van te weinig weg gebruik willen maken. Een van de manieren om die vertraging te beperken is het verkeer te informeren. Zodra bestuurders op de hoogte zijn van de vertragingen, nemen ze mogelijk een andere route en ontlasten daarmee het overbelaste deel van het netwerk. Bij zwaardere belastingen moet de wegautoriteit mogelijk actiever ingrijpen in het verkeersproces en gaan regelen. Daarbij moeten automobilisten geïnstrueerd worden en beperkt worden in hun mogelijkheden.

Traditioneel wordt verkeer op een lokaal niveau gestuurd. Starre verkeerslichtregelingen, die zonder invloed van het verkeer de fase bepalen, behoren tot de eenvoudigste regelingen. Een stap verder zijn de lokale regelingen. Daarbij wordt op basis van de lokale verkeerscondities een keuze gemaakt voor de ingezette verkeersmaatregel. Daarbij valt bijvoorbeeld te denken aan verkeerslichtregelingen die de vraag van het verkeer bij die kruising meenemen, of toeritdoseerinstallaties op de snelweg, die lokaal de stroom op de snelweg meten en op basis daarvan bepalen hoe veel de instroom naar de snelweg kan zijn. Nieuwe maatregelen op het gebied van dynamisch verkeersmanagement (DVM) ontstijgen lokale regelingen. Zo kunnen verkeerslichtregelingen gekoppeld worden [17], en kunnen toeritdoseerinstallaties gekoppeld worden over een snelwegsectie [15].

Nieuwe technieken staan echter meer integratie en coördinatie toe. Doordat verkeersgegevens over digitale verbindingen kunnen worden gedeeld, is het mogelijk om over grotere gebieden verkeer te sturen. Applicaties als TomTom HD routes [4] houden al rekening met informatie van de verkeerstoestand over de hele route die te gaan is. Echter, dat is de huidige verkeerstoestand, en die kan veranderd zijn tegen de tijd dat de bestuurder bij de file aangekomen is. Daarom is het nuttig de verkeerstoestand te voorspellen.

Dit voorspellen is bij het regelen van verkeer nog belangrijker dan bij het informeren van gebruikers. Door een goede inzet van DVM-maatregelen kan de verkeerstoestand verbeterd worden en zo vertraging geminimaliseerd. Welke maatregelen op welk moment ingezet moeten worden, is echter niet a priori duidelijk; dat hangt van de (toekomstige) situatie af. Om een goed beeld te hebben van die toekomstige situatie zijn verkeersmodellen essentieel. Zoals aangegeven in [16, 10] is het bij het voorspellen van effecten van verkeersmanagementmaatregelen essentieel een dynamisch verkeersmodel te gebruiken.

Het coördineren van de maatregelen over een langere afstand vereist dat er over een langere termijn voorspeld wordt [18]. Als dit met dynamische modellen moet gebeuren, wordt de rekentijd onhandelbaar. Dit paper geeft een overzicht van de problemen die zich voordoen bij het voorspellen van de verkeerscondities voor grotere gebieden, en inventariseert de mogelijkheden voor de toekomst.

2 Modelclassificering

2.1 Aggregatieniveau

In verkeersmodellen kennen we verschillende aggregatieniveaus. De twee meest traditionele zijn microscopisch en macroscopisch. Mesoscopisch zit daartussenin en een nieuw aggregatieniveau is dat van een (sub-)netwerk. In deze sectie worden deze aggregatieniveaus kort besproken.

2.1.1 Microscopisch

Bij een microscopische verkeersbeschrijving wordt elk voertuig individueel beschreven. Op

basis van invloeden van buitenaf wordt bepaald wat de acceleratie of snelheid van het voertuig is. Zo kunnen er voertuig-volgmodellen zijn die de longitudinale positie bepalen, i.e. Hoe volgt een voertuig zijn voorligger. Rijstrookwisselmodellen bepalen of en wanneer een voertuig van rijstrook kan wisselen. Voor pakketten waarbij de stedelijke omgeving gesimuleerd zijn er over het algemeen ook verkeerslichtregelingen die gesimuleerd worden, en waarop de voertuigen reageren. In het model worden normaal gesproken de routes bepaald.

2.1.2 Macroscopisch

Bij een macroscopische verkeersbeschrijving worden de verkeersstromen als geheel beschreven. Niet langer worden individuele voertuigen gesimuleerd. In plaats daarvan wordt de stroom, als was het bijvoorbeeld een vloeistofstroom, beschreven door variabelen die over een wegdeel geaggregeerd worden. De basisvariabelen die de verkeersstroom beschrijven zijn de stroom (ook wel intensiteit genoemd, aantal voertuigen per tijdseenheid), de dichtheid (aantal voertuigen per lengte-eenheid) en de gemiddelde snelheid.

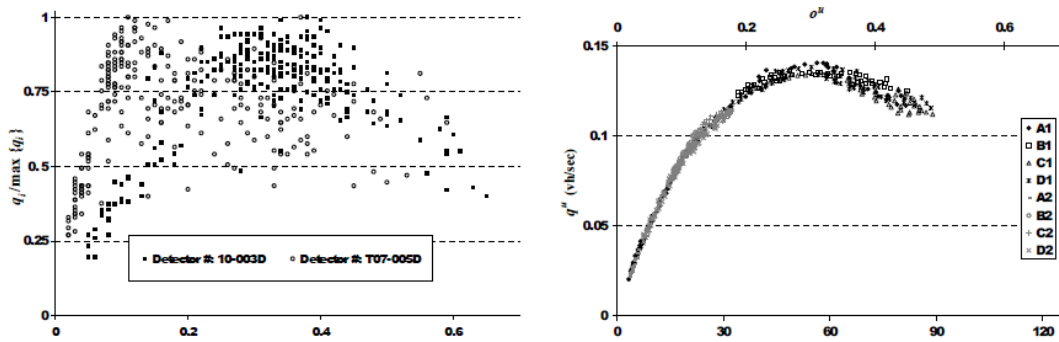
2.1.3 Mesoscopisch

Er zijn modellen die qua aggregatieniveau elementen van microscopische simulatie hebben en van macroscopische simulatie. Daarvan wordt gezegd dat die mesoscopisch zijn. Dit is een – niet vaak voorkomende – restcategorie van modellen, waarbij verschillende combinaties van microscopische en macroscopische modelbeschrijving mogelijk zijn. Daarnaast zijn er hybride modellen, modellen die zowel een microscopische als een macroscopische interpretatie hebben. Dat geldt voor de theoretische achtergrond (modelvergelijkingen) Bij de simulatiemodellen, met hun numerieke implementatie en grafische weergave, is er een keus gemaakt voor een van beide, waardoor we ze ofwel bij microscopische ofwel bij macroscopische modellen kunnen classificeren.

2.1.4 Netwerkniveau

Een nieuw niveau van verkeersbeschrijving is onder de aandacht gekomen na een publicatie van [6, 8]. In plaats van het beschrijven van de verkeersafwikkeling op een schakel is er ook een wetmatigheid in het de verkeersafwikkeling voor een groter gebied, wat we hier netwerk of subnetwerk zullen noemen. Ook op deze grotere schaal geldt dat een groter aantal voertuigen tot een lagere gemiddelde snelheid leidt. Op deze netwerkschaal is er een variant voor wat op schakelniveau een zogenaamd fundamenteel diagram wordt genoemd, de relatie tussen dichtheid en snelheid. Voor een netwerk is er een netwerk fundamenteel diagram (NFD) dat ook (verwarrender qua naamgeving) macroscopisch fundamenteel diagram wordt genoemd. Dit specificiert de relatie tussen het aantal voertuigen in een (sub-)netwerk en de gemiddelde stroom in het netwerk.

Verrassenderwijs blijkt deze relatie minder ruis te hebben dan de relatie tussen stroom en dichtheid op een wegdeel, zie figuur 1. In [8] wordt tevens aangetoond dat de aankomstrate, i.e. het aantal aankomsten per tijdseenheid, vrijwel proportioneel is met de gemiddelde stroom in het netwerk. Daarmee geeft het NFD tevens de scherpe relatie tussen de dichtheid in het netwerk en de aankomsten.



Figuur 1: De stroom vs de dichtheid voor een wegdeel (linker figuur) en voor een heel netwerk (rechter figuur), uit [8]

Het achterliggende fenomeen achter deze figuur is tweeledig. Enerzijds is het NFD een combinatie van de fundamentele diagrammen (dichtheid-stroomrelatie) op elk van de schakels. Door de wet van de grote getallen is het gemiddelde een scherpere functie dan die relatie op een van de schakels. Het onderliggende proces waarom de totale stroom daalt met een groter aantal auto's is echter helemaal anders. Bij losse schakels neemt de stroom af bij hoge dichtheden omdat de uitstroom stroomafwaarts beperkt is. Bij het NFD is dat anders. Interne conflicten zorgen dat de snelheid terugloopt bij een te groot aantal voertuigen. Daarbij is bijvoorbeeld te denken aan fileterugslag in een netwerk. Voor een algemenere en toegankelijke introductie op het onderwerp van NFD verwijzen we naar [11]. Recent onderzoek [12] geeft aan dat als er naast het aantal voertuigen nog een tweede onafhankelijke variabele geïntroduceerd wordt, een spreidingsmaat, de beschrijving van de prestatie nog nauwkeuriger wordt. Dat nemen we in de rest van dit artikel niet mee, maar dat kan nog verdere verbeteringen geven.

2.2 Tijdscomponent

Los van het aggregatieniveau is er een keuze met betrekking tot de tijdscomponent. De tijdscomponent kan wel of niet expliciet in het model worden meegenomen. Als die niet wordt meegenomen spreken we van een statisch model. Daarbij wordt aangenomen dat de verkeerstoestand niet verandert, en wordt de reistijd uit de stroom (ook: intensiteit) bepaald. Bij dynamische modellen is er een tijdsafhankelijke instroom (die kan ook constant zijn), en verplaatsen de voertuigen zich over het netwerk als functie van de tijd.

3 Modelgebruik en eisen aan rekentijd

Er zijn twee verschillende manieren om een verkeersmodel te gebruiken, online en offline. Beide worden hier beschreven.

Online modellen worden “gevoed” met live verkeersdata. Het model kan dan een voorspelling maken op basis van die gegevens. Die voorspelling kan weer gebruikt worden voor het inzetten van DVM maatregelen. Hierin zijn twee varianten mogelijk.

Tabel 1: Verkeersmodellen

Statisch		Dynamisch
Micro		Bv. Vissim, Paramics, Fosim (snelwegen)
Meso		Bv. Dynasmart
Macro	BPR-functies	Bv. METANET, Cell transmission model, link transmission model
Gebied	BPR-functies op netwerk-niveau?	Netwerk transmissie model?

Ten eerste is er een variant waarbij het model doorrekent wat de toekomstige verkeerssituatie is bij een bepaalde set aan DVM-maatregelen (mogelijk de huidige maatregelen). Op basis van die voorspelling kan een operator zien bijvoorbeeld dat het verkeer vastloopt op een bepaalde plek en maatregelen nemen om die drukte op die plek te voorkomen. Daarbij is het dus essentieel dat het model sneller is dan de werkelijkheid. Immers, een verkeersvoorspelling van de situatie nadat die zich heeft voorgedaan is van geen enkele waarde.

Een alternatieve manier van het inzetten van verkeersmaatregelen is het model iteratief draaien en met behulp van het model te voorspellen wat de beste maatregel kan zijn. Daarbinnen zijn er ook verschillen of het model een aantal (<10) maatregelen probeert, waardoor het aantal iteraties beperkt is. Als er verschillende DVM-maatregelen mogelijk zijn waarvoor bij elk van deze maatregelen verschillende waarden gekozen kunnen worden (bijvoorbeeld dynamische snelheidslimiet en toeritdosering, waarbij de snelheid respectievelijk de instroom bepaald moet worden), kan het model zelf een optimale waarde kiezen. In die optimalisatie zijn vaak al veel iteraties nodig (duizenden zijn geen uitzondering). Het sneller dan real-time uitvoeren van zo veel simulaties is rekentechnisch lastig.

Ook voor planningsdoeleinden worden verkeersmodellen gebruikt. Zo kan bijvoorbeeld bepaald worden wat de eisen zijn voor de breedte van een weg in een toekomstig plan. Bij deze inzet is geen sprake van terugkoppeling van de echte verkeerssituatie naar het model. Daarom is rekentijd minder van belang voor deze modellen.

4 Overzicht van gangbare verkeersmodellen

In dit hoofdstuk geven we kort aan welke type modellen er gebruikt worden. Een overzicht daarvan is te vinden in tabel 1.

Met toenemende computerkracht neemt het gebruik van dynamische simulatiemodellen toe. De meest voorkomende zijn Vissim (PTV, [1]) en Paramics. Deze zijn geschikt om stedelijke netwerken en snelwegsecties mee te simuleren. Daarnaast wordt Fosim [2] regelmatig gebruikt, een dynamisch microscopisch simulatiemodel met als doel de capaciteit van snelwegen te bepalen, die weer in verdere (model)studies gebruikt kan worden. Deze modellen worden alleen voor offline doeleinden gebruikt.

Op het mesoscopisch niveau wordt een model regelmatig gebruikt, Dynasmart. Daarvan bestaat ook een variant die on-line ingezet kan worden, DYNASMART-X [3]. Bij Dynasmart wordt de routekeus van voertuigen op een microscopisch niveau bepaald, maar wordt de snelheid op elk van de schakels bepaald door het aantal voertuigen op die schakel, met een macroscopische relatie. Alle modellen op het microscopische en mesoscopische niveau zijn dynamisch.

Op macroscopisch niveau zijn er ook dynamische modellen. De meest gebruikte zijn Metanet

en het Cell Transmissie Model. Deze modellen delen de weg op in delen, zogenaamde cellen, en bepalen op basis van de drukte hoe veel verkeer er van cel naar cel stroomt. Daarvoor zijn verschillende vergelijkingen op te stellen, die leiden tot verschillende modellen waarvan METANET [14] en het Cell Transmissie Model [5] de bekendste zijn. Mogelijk op een iets hoger aggregatieniveau staat het link transmissie model [19]. Dit model kan in een keer de verkeersafwikkeling tussen twee knopen (i.e., kruisingen, veranderingen in stroken) bepalen zonder dat die schakel in delen opgedeeld hoeft te worden. Op het macroscopische niveau zien we ook voor het eerst statische modellen. Het meest gebruikt is de BPR-functie. Deze functie relateert de drukte aan de reistijd op een schakel. De verkeersvraag wordt dus ingesteld op een specifieke waarde, en daarna worden (via een toedelingsmodel) de schakels belast met een verkeersvraag. Hieruit komt een waarde voor de reistijd op een schakel.

5 Nieuwe mogelijkheden voor verkeersmodellen

Op dit moment ontbreken modellen voor het netwerk-niveau nog; dit geldt voor zowel statische als dynamische modellen. Er zijn twee redenen die dit een nuttige toevoeging aan het modellenennetwerk maken:

1. de grootte van het te simuleren gebied groeit, en met een model op netwerkniveau kan dat met weinig rekenstappen en dus in beperkte tijd gesimuleerd worden
2. Voor een groot is de geaggregeerde relatie tussen dichtheid en flow (beide gemiddeld) nauwkeuriger dan de relatie op linkniveau. Dat kan een model met aggregatie op (sub-) netwerkniveau dus nauwkeuriger maken.

De rest van dit hoofdstuk geeft aan in welke richting de auteurs menen dat de ontwikkelingen voor modellen op deze schaal zou moeten lopen.

Voor statische modellen ligt een formulering in de trant van de BPR-functies voor de hand. Voor de gebieden kan een NFD worden bepaald, en op basis daarvan kan de I/C-verhouding bepaald worden, die met een NFD-achtige vergelijking in reistijd kan worden omgezet. Een analyse van de netwerkbelastingen in combinatie met vertragingen is dan nodig om deze functie te kalibreren. Een statisch netwerkmodel kan in staat zijn om in heel korte tijd een inschatting te geven van de belasting van de verschillende delen in het netwerk.

Om de verkeerstoestand te voorspellen, mogelijk in relatie tot online voorspellingen voor DVM, is het nodig om een dynamisch model te hebben. Als het NFD als waar wordt gezien, dan is een uitbreiding naar een simulatiemodel op basis van het NFD eenvoudig. Immers, per (sub-)netwerk moet je bijhouden hoe veel auto's er in het gebied rijden. Bij overgangen van het ene naar het andere gebied gaan er geen voertuigen verloren, maar verplaatsen van het ene naar het andere gebied. Simpele modelletjes met twee regio's zijn al gebruikt in de literatuur om de mogelijkheden voor verkeersmanagement aan te geven [9].

Een kanttekening bij beide modellen is dat het NFD wel geclaimd wordt als heilige graal van de verkeersbeschrijving, maar dat een noodzakelijke voorwaarde is dat het verkeer homogeen over het netwerk verdeeld is. In de literatuur wordt erop ingegaan welk effect verkeersdynamiek op het NFD heeft, zowel voor een simple twee-regiomodel [7] als voor een verkeersnetwerk met meer bestemmingen [13]. Daaruit blijkt dat de spreiding van wezenlijk belang is: hoe inhomogener de congestie (i.e., zware congestie op sommige schakels, geen congestie op andere schakels), hoe lager de productie, zelfs bij dezelfde accumulatie.

Dat inzicht maakt het ontwikkelen van een verkeerafwikkelingsmodel weer lastiger. Bij een statisch model is de vorm van het NFD nodig, en die hangt af van de inhomogeniteit in het verkeer, die voorspeld moet worden. Ook voor een dynamisch model geeft dit extra moeilijkheden: de hoeveelheid voertuigen van een regio naar een ander kan voorspeld worden, en daaruit kunnen de nieuwe accumulaties bepaald worden. Echter, welk effect dit heeft op de homogeniteit van de het verkeer in de regio is niet evident. Deze verfijning vraagt dus verder onderzoek.

6 Conclusies

Het overzicht laat zien dat er een samenhang is tussen het niveau waarop gesimuleerd wordt en het feit of de tijdscomponent expliciet wordt meegenomen. Op het niveau met veel details (microscopisch) wordt altijd een tijdscomponent meegenomen. De statische modellen worden vooral gebruikt bij lange-termijnvoorspellingen. Daarom lijkt het niet gek dat er geen statische varianten zijn ontwikkeld voor microscopische modellen. Die worden juist ingezet om een stuk infrastructuur of een verkeersmanagementmaatregel te testen. Echter, er lijkt behoefte te ontstaan aan snelle modellen die over een groot ruimtelijk gebied een verkeerssituatie dynamisch kunnen voorspellen.

In dat behoefte kan worden voorzien door modellen te ontwikkelen die gebruik te maken van de verklarende factoren op (sub)netwerk-niveau gevonden zijn voor de snelheid: gemiddelde dichtheid en spreiding van voertuigen. Dat verkleint het aantal berekeningen dat gedaan moet worden, en kan tegelijkertijd, vanwege minder ruis, zorgen voor een betere verkeersvoorspelling. Het is aan de modelontwikkelaars om deze uitdaging verder op te pakken.

Referenties

- [1] <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-vissim/>.
- [2] <http://www.fosim.nl>.
- [3] http://www.its.uci.edu/~paramics/sim_models/dynasmart.html.
- [4] <http://www.tomtom.com/page/facts>, 2012.
- [5] C. F. Daganzo. The Cell Transmission Model: a Dynamic Representation of Highway Traffic Consistent With the Hydrodynamic Theory. *Transportation research part B*, 28B(4):269–287, 1994.
- [6] C.F. Daganzo. Urban gridlock: Macroscopic modeling and mitigation approaches. *Transportation Research Part B: Methodological*, 41(1):49–62, 2007.
- [7] C.F. Daganzo, V.V. Gayah, and E.J. Gonzales. Macroscopic relations of urban traffic variables: Bifurcations, multivaluedness and instability. *Transportation Research Part B: Methodological*, 45(1):278–288, 2011.
- [8] N. Geroliminis and C. F. Daganzo. Existence of urban-scale macroscopic fundamental diagrams: Some experimental findings. *Transportation Research Part B: Methodological*, 42(9):759–770, 2008.
- [9] N. Geroliminis, J. Haddad, and M. Ramezani. Optimal perimeter control for two urban regions with macroscopic fundamental diagrams: A model predictive approach. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 14(1):348–359, 2012.
- [10] S. P. Hoogendoorn, M. J. C. Bliemer, and R. Van Nes. Modellen voor netwerkmanagement. *Network Management Magazine*, 3:22–26, 2007.

- [11] S.P. Hoogendoorn and V. L. Knoop. Een nieuwe kijk op verkeersafwikkeling in netwerken. NM Magazine, 8(2):34–36, 2013.
- [12] V. L. Knoop, S. P. Hoogendoorn, and J. W. C. Van Lint. The impact of traffic dynamics on the macroscopic fundamental diagram. In Proceedings of the 92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C, January 13-17 2013 2013.
- [13] V.L. Knoop, S.P. Hoogendoorn, and J.W.C. van Lint. The impact of traffic dynamics on the macroscopic fundamental diagram. In Proceedings of the 92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, 2013.
- [14] A Messner and Markos Papageorgiou. Metanet: A macroscopic simulation program for motorway networks. Traffic Engineering & Control, 31(8-9):466–470, 1990.
- [15] I. Papamichail, M. Papageorgiou, V. Vong, and J. Gaffney. Heuristic ramp-metering coordination strategy implemented at monash freeway, australia. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2178:10–20, 2010.
- [16] W. Van der Hoeven, M. Van der Vlist, G. Tamminga, and N. De Groot. Verkeersmodellen: toepassingen, ontwikkelingen, wensen. Network Management Magazine, 3:6–10, 2007.
- [17] R. T. Van Katwijk. Multi-Agent Look-Ahead Traffic-Adaptive Control. PhD thesis, TRAIL Research School, Delft University of Technology, 2008.
- [18] Knoop V.L., J.W.C. van Lint, J. Vries, L. Kester, and I. Passchier. Relationship between application scale and maximum time latency in intelligent transport solutions,. Transportation Research Records:, in press, 2013.
- [19] Isaak Yperman. The link transmission model for dynamic network loading. PhD thesis, 2007.