

Onverwachte effecten van informatieverschaffing

Dat je met verkeersinformatie de routekeuze van weggebruikers kunt beïnvloeden, heeft geen betoog. Maar kun je het effect van informatieverschaffing ook in een model vervatten? Jazeker, laten de auteurs van deze tutorial zien. Bij modeltoepassingen gericht op onder meer netwerkbetrouwbaarheid en -robuustheid is die effectbepaling zelfs essentieel.

Het doel van een verkeersmodel is om te bepalen wat het effect is van ingrepen op de verkeersafwikkeling. Uitgangspunt hierbij is dat reizigers altijd op zoek gaan naar het kortste pad door het netwerk. Welk pad het kortste is, is geen vaststaand gegeven: in het model variëren de 'netwerkkosten' – de moeite en tijd die het kost om een bepaalde route in het netwerk te volgen – per tijdstip en situatie.

Maar welke aanname doet het model als het gaat om de informatieverwerking door de reizigers? Verreweg de meeste modellen die verkeerskundigen in hun dagelijkse praktijk gebruiken, gaan er bij hun berekeningen vanuit dat reizigers hun route vóór de rit kiezen, afgaande op bijvoorbeeld ervaring, en dat ze die route vervolgens ook consequent aanhouden. We noemen dat een *a priori* routekeuze. Afhankelijk van de toepassing kun je redelijk met die aanname uit de voeten, maar het blijft een wonderlijke combinatie: variabele (= onzekere) netwerkkosten en toch op voorhand een definitieve routekeuze maken?

In meer recente jaren hebben onderzoekers daarom geavanceerdere verkeersmodellen gebouwd die overweg kunnen met *recourse*: de 'modelreizigers' kunnen dan hun routekeuze gedurende de reis herzien, reagerend op actuele ontwikkelingen. Dat klinkt

als een eenvoudig extraatje, maar het is het zeker niet. Het wiskundige probleem dat moet worden opgelost om de effecten van *recourse* te beschrijven, noemen we het *online shortest path*-probleem (OSP). Het komt erop neer dat we tegelijk met het simuleren van de verkeersafwikkeling voortdurend de kortste routes tussen netwerkknoppunten en bestemming moeten updaten. De reistijden op basis waarvan de reizigers in het model hun route heroverwegen is onderhevig aan *ruimtelijke* afhankelijkheden (als een wegvak congestie heeft dan is de kans groot dat het opvolgende wegvak ook congestie heeft) en *tijdelijke* afhankelijkheden (als de kosten van een pad op dit moment hoog zijn, dan is de kans vrij groot dat ze dat op het volgende moment ook zijn). Het formuleren en oplossen van het OSP-probleem levert complexe wiskundige modellen op. In het onderstaande gaan we

• *Het model berekent dit doorgaans op iteratieve wijze.*

•• *De modellen die we hier bespreken, rekenen niet op het niveau van individuele, intelligente reizigers, maar op het niveau van verkeersstromen. Maar juist als we op een hoger niveau rekenen, is het goed om ons bij wijze van reality check af te vragen wat we eigenlijk op het niveau van individuele reizigers aan het doen zijn. Zo moeten ook de overige verwijzingen in dit artikel naar 'de reiziger in het model' worden gezien.*

daar slechts kort op in. Waar we vooral bij stil willen staan, zijn de belangwekkende implicaties die het heeft voor de uitkomsten van het model – en dan specifiek de onverwachte effecten die het verschaffen van informatie kan hebben.

Korte inleiding in de modelbouw

Om die hoofdlijnen van het OSP-probleem te begrijpen, moeten we even terug naar de *a priori* modellen. Hoe berekenen die de verkeersstromen? Een *a priori* model gaat uit van een zogenaamd gebruikersevenwicht of *user equilibrium* (UE): de toestand waarin alle verkeersstromen de kortste route volgen.* Het UE is echter geen vast gegeven. Zoals we al opmerkten zijn ook in een model de verkeerscondities variabel en daarom verschillen de reistijden, dus kortste routes, van dag tot dag. Als we dit concept vertalen naar het niveau van de user of reiziger, hoe zou die dan de route moeten bepalen die zijn reiskosten minimaliseert?*** In klassieke modellen wordt aangenomen dat reizigers hun gemiddelde reistijd minimaliseren, terwijl andere modellen percentielwaarden hanteren. Maar hoe dan ook: een gebruikersevenwicht of UE is alleen mogelijk als de reiziger *a priori* kiest, op basis van de informatie waarover hij op voorhand beschikt. Daarbij onder-

scheiden we twee ‘rekenlijnen’, afhankelijk van het model: de reiziger bepaalt zijn keuze aan de hand van *verwachte reistijden* of de reiziger bepaalt zijn keuze aan de hand van *gerealiseerde reistijden*.

Beide rekenlijnen hebben echter vreemde consequenties. Wanneer we rekenen op basis van de verwachte reistijden, veronderstellen we *naïeve reizigers*. Zij beschikken a priori over de variabele, onzekere reistijden en gaan in die zin dus goed geïnformeerd op pad. Maar ze zijn naïef omdat ze hun routes niet aanpassen aan de hand van de actuele verkeerssituatie. Simpel gezegd: ze zijn doof en blind voor hun eigen waarnemingen tijdens de rit (‘deze route is veel drukker dan normaal’) en voor alle informatie die via DRIP’s en in-car systemen tot hen komt. De modellen die rekenen op basis van de gerealiseerde reistijden, veronderstellen juist *helderziende reizigers*. Zij beschikken a priori over de gerealiseerde reistijden – de reistijd van de reis die ze nog moeten maken – en passen (dagelijks) hun route daarop aan. Beide typen reizigers zijn uiteraard niet realistisch. Daar waar naïeve reizigers verkeersinformatie negeren, krijgen helderziende reizigers hun dagelijkse voorspelling via de glazen bol aan de ontbijttafel.

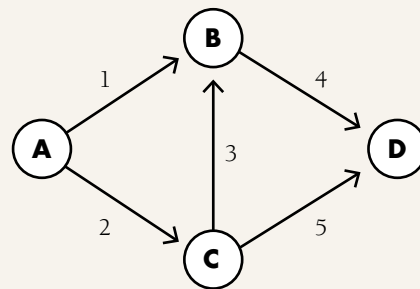
Wat is dan wel reëel? Om de effecten van informatieverschaffing correct te bepalen, hebben we *opportune reizigers* nodig. Reizigers die op voorhand enkel bekend zijn met de variabele reistijden, bijvoorbeeld door ervaring, en die gedurende hun reis opportunistisch hun route heroverwegen wanneer zij geïnformeerd worden over de gerealiseerde reistijden. Dit betekent dat er niet meer a priori een specifieke route wordt gekozen. In plaats daarvan kiezen reizigers een *route strategie*, waarbij ze rekening houden met de mogelijkheid om op bepaalde knooppunten de route aan te passen, afhankelijk van de verkeerscondities stroomafwaarts. De reizigers in het model zijn nu dus op de hoogte van de distributie van variabele reistijden en het feit dat zij gedurende hun reis geïnformeerd zullen worden over de gerealiseerde reistijden. Op basis hiervan kiezen zij een route strategie die hun verwachte reiskosten minimaliseert. In dit ‘opportune model’ werken we dan ook met een zogenaamd *user equilibrium with recourse*, UER: de toestand waarin voor alle verkeersstromen geldt dat de reistijden van de gekozen route strategieën minimaal zijn.

Braess-paradox voor informatieverschaffing

Om te illustreren hoe zinvol het kan zijn om te werken met recourse-modellen, zullen we kort stilstaan bij een verschijnsel dat kan optreden als gevolg van het verschaffen

van verkeersinformatie: de Braess-paradox bij Informatieverschaffing. De Braess-paradox is een fenomeen dat al langer bekend is, sinds 1968 om precies te zijn, en beschrijft dat (en waarom) de aanleg van extra infracapaciteit niet altijd leidt tot een verbetering van de doorstroming in het netwerk. Het blijkt echter dat verkeersinformatie op knooppunten tot een vergelijkbaar effect kan optreden – en wel als gevolg van *recourse*.

Om dit te illustreren nemen we een eenvoudig netwerk met vier knopen en vijf takken, zoals weergegeven in de figuur.



We beschouwen reizigers die van knoop A naar knoop D willen reizen. Tak 3 (CB) kan in twee toestanden verkeren, een toestand 1 waarin het erg druk is en een toestand 2, die minder vaak voorkomt, waarin het juist lekker rustig is (zie onderstaande tabel). Maar een reiziger komt er pas achter welke toestand er geldt op het moment dat hij knoop C bezoekt: daar staat bijvoorbeeld een DRIP die informatie geeft over de situatie op tak 3 en 5.

Tak	Kans	Kostenfunctie
CB, toestand 1	0,8	$C(x) = 1000 + 1000 x$
CB, toestand 2	0,2	$C(x) = 10 + x$

Alle andere takken hebben slechts één toestand:

Tak	Kostenfunctie
AB, CD	$C(x) = 50 + x$
AC, BD	$C(x) = 10 x$

Indien we uitgaan van de klassieke a priori aanpak gericht op de gemiddelde kosten, dan luidt de kostenfunctie voor tak CB:

$$0,8 * (1000 + 1000 x) + 0,2 * (10 + x) = 802 + 800,2 x$$

Geen enkele reiziger zal deze link willen kiezen omdat de verwachte (gemiddelde) kosten te hoog zijn in verhouding tot de andere kosten. Met andere woorden: omdat reizigers a priori geen informatie hebben over de toestand van de tak en derhalve uitgaan van de gemiddelde kosten, wordt een route die gebruik maakt van deze link nooit gekozen. In dit geval verdeelt het verkeer zich dus over routes A-B-D en A-C-D en wel zodanig dat 50% voor de eerste en 50% voor de tweede route kiest.

Maar nu de situatie dat we rekening houden met *recourse*. Voor dit eenvoudige netwerkje kan de reiziger kiezen uit een vijftal route strategieën:

- S1 : A-B-D
- S2 : A-C/1-B-D en A-C/2-B-D
- S3 : A-C/1-B-D en A-C/2-D
- S4 : A-C/1-D en A-C/2-D
- S5 : A-C/1-D en A-C/2-B-D

Strategie S3 betekent bijvoorbeeld dat de reiziger van A naar C reist en daar voor B-D kiest indien hij toestand 1 voor link 3 tegenkomt en voor D indien hij toestand 2 ervaart.

We gaan nu uit van een situatie waarin 6.000 reizigers van A naar D willen. Bij een a priori keuze zien we dat 50% van de mensen (oftewel 3.000) handelt volgens strategie S1 en 50% volgens strategie S4. Houden we echter rekening met *recourse*, dan zien we dat een groter deel van de reizigers naar knoop C rijden, omdat zij daar 20% (0,2) kans hebben dat zij gebruik kunnen maken van het goedkopere alternatief A-C-B-D (strategie S5). In onderstaande tabel zijn de aandelen voor de a priori routekeuze (UE) en de routekeuze met *recourse* (UER) weergegeven.

Probleem	S1	S2	S3	S4	S5
UE	3.000	-	-	3.000	-
UER	2.881	-	-	1.927	1.193

Merk op dat het in ons eenvoudige netwerk behoorlijk uitmaakt of je met een klassiek a priori model rekt of met een recourse model! Maar er is nog iets aan de hand. Als we per strategie (S1-S5) de kosten bepalen en vervolgens per aanpak – UE of UER – de gemiddelde kosten per reiziger berekenen, dan zien we dat bij UE de ervaren kosten voor iedere reiziger 83 eenheden zijn, terwijl die in de UER-situatie hoger ligt, namelijk op 84,073 eenheden! Dit illustreert hoe het verschaffen van informatie een ongewenst effect kan hebben. Terwijl de informatie bedoeld is om reiziger



gers te helpen betere routekeuzes te maken, is het gevolg dat bepaalde routes waar *recourse* mogelijk is, vaker worden gebruikt – en dat kan nadelig uitwerken. Het is niet zo dat informatieverschaffing altijd verkeerd uitpakt, maar het is zeker niet zo dat informatieverschaffing per definitie goed uitpakt.

Belang van *recourse* in onze modellen

Het concept van *recourse* krijgt nog beperkt aandacht in de wetenschappelijke literatuur. Dat is omdat verkeersinformatie met name wordt bestudeerd vanuit de optiek van operationeel verkeersmanagement. Informatieverschaffing is er dan op gericht om reizigers te informeren over de (onverwachte) verkeerscondities, zodat zij eventueel hun gedrag hierop kunnen aanpassen. Het effect van verkeersinformatie in het kader van *recourse* gaat echter verder. Reizigers maken namelijk ook op strate-

gisch niveau andere routekeuzes, door te anticiperen op zowel de variabele verkeerscondities als de verkeersinformatie die gedurende hun reis beschikbaar komt. *Recourse* laat dus zien wat het effect van informatieverschaffing is in strategische lange-termijnmodelstudies, waar tot op heden verkeersinformatie een ondergeschikte rol speelt. Naast het illustratieve voorbeeld in dit artikel tonen ook andere voorbeelden in de literatuur aan hoe het *recourse*-fenomeen tot substantieel verschillende verkeersstromen kan leiden.

Het beschrijven van *recourse* in onze modellen is dus met name essentieel in situaties waar reizigers rekening houden met onverwachte verkeerscondities en vertrouwen op beschikbare verkeersinformatie. Dan gaat het over modeltoepassingen gericht op netwerkbetrouwbaarheid en -robustheid, verkeersafwikkeling bij wegwerkzaamheden en evenementen en de effecten van online informatieverschaf-

ting in de context van inherent variabele verkeerscondities. De relevantie van het *recourse*-fenomeen in dergelijke modelstudies zal groter worden met de toenemende beschikbaarheid van on-line verkeersinformatie – en met het toenemende vertrouwen daarin. Die trends zijn duidelijk zichtbaar. We verschaffen verkeersinformatie tenslotte voor de opportune reiziger.

De auteurs

Dr. ir. Adam Pel is universitair docent Transportmodellen aan de TU Delft.

Prof. dr. Travis Waller is hoogleraar Transport Innovaties aan de University of New South Wales.

Prof. dr. Serge Hoogendoorn is hoogleraar Verkeersstromen en Dynamisch Verkeersmanagement op de TU Delft.