

## CASUS - Tias Guns



# DE ZOEKTOCHT NAAR DE BESTE ROUTE

**Achter digitale navigatiekaarten en bijvoorbeeld Google Maps, schuilt een berg aan data: wegclassificaties, locaties van wegwerkzaamheden en incidenten alsook reële reistijden. Deze kaarten en data zorgen ervoor dat je de beste route naar je bestemming vindt. Maar wat is de beste route: vandaag, morgen en in de zelfrijdende toekomst?**

Gegeven een kaart, hoe geraak je het beste van A naar B? Het is een praktische vraag, die mijn ouders vroeger op reis met een dik wegenboek van Frankrijk trachtten te beantwoorden. Vandaag de dag vragen we het aan onze smartphone. Ook computerwetenschappers onderzoeken al decennia lang hoe men het snelste van A naar B geraakt. Een van de eerste en meest invloedrijke algoritmen die een stapsgewijze oplossingsmethode biedt om het kortste pad tussen twee plaatsen te berekenen, werd bedacht door de Nederlandse wetenschapper Edsger W. Dijkstra in 1956, in Amsterdam.

Vanuit Dijkstra's perspectief was de vraag: als een kaart wordt voorgesteld als een verzameling knooppunten die door bogen (wegen) verbonden zijn, waarbij elke boog een numeriek bepaald gewicht heeft, wat is het kortste pad om van knoop A naar knoop B te gaan?

Dit kortstepad-algoritme van Dijkstra is heel breed toepasbaar. Zo kan je meer of minder knopen gebruiken dan er kruispunten op een kaart zijn en hoeven de knooppunten en booglengtes niet overeen te komen met fysieke locaties (zie afbeelding). Je kan dus gelijk welke waarde als numeriek 'gewicht' van een boog gebruiken zolang het maar een positief getal is. Het algoritme is relatief eenvoudig,

maar tegelijk heel efficiënt. Het wordt dan ook in vele toepassingen gebruikt, zoals routeren van transport maar ook in internetverkeer, in de bio-informatica, telecom, cybersecurity enzovoorts.

In de transportsector wordt er voor navigatie niet alleen naar de afstand tussen twee knopen gekeken (bijvoorbeeld een magazijn en een klant), maar ook naar een combinatie van kilometers en tijd (inclusief laden/lossen), omdat beiden een invloed hebben op de reële kosten. Bij navigatie voor persoonlijk vervoer, door TomTom, Google of Waze, zien we een evolutie van het optimaliseren van de gereden afstand naar het optimaliseren van de real-time reistijd en zelfs de voorspelde reistijd. Om tot een optimale reistijd te komen zijn echter een grote hoeveelheid data en complexe berekeningen nodig.

### Waar komen de data vandaan?

Er worden vier soorten databronnen gebruikt in digitale kaarten: statische data die bijna nooit veranderen, real-time data die de huidige toestand weergeven, historische data die het verleden samenvatten en voorspelde data die een schatting geven van hoe de situatie waarschijnlijk gaat evolueren.

De statische data zijn de typische kaarten die we kennen:

bijvoorbeeld hoe de wegen lopen, wat de straatnamen zijn, waar er vaste flitspalen staan, wat de toegelaten snelheden zijn. Het beheren van statische data, gelinkt aan een fysieke locatie, behoort typisch tot het domein van de geografische informatiesystemen. De GPS-toestellen van vroeger bevatten enkel statische data, en dus moest je af en toe de kaarten updaten via je computer.

## Verschillende data-bronnen worden gebruikt om de 'beste route' te vinden

Veel van deze statische data wordt door overheden opgeslagen en beheerd. Tegenwoordig delen de overheden deze statische data ook vaak, al was dat lang geen evidentie. Er zijn dan ook heel wat navigatiebedrijven die hun eigen wereldwijde kaarten maken, werknemers inhuren om die up-to-date te houden en deze data verkopen. Er zijn twee noemenswaardige uitzonderingen hierop. Zo is er Waze, die de kaarten volledig door vrijwilligers laat onderhouden maar alle rechten op deze data bij zich houdt. Een andere uitzondering is OpenStreetMap. Dit platform wordt ook volledig door vrijwilligers gemaakt en onderhouden. Het verschil met Waze is echter dat de gegenereerde kaarten en achterliggende data open source zijn en dus vrij mogen gebruikt worden.

Dan is er real-time data. Dat is een verzamelnaam voor recente metingen van data die vaak veranderen. Bijvoorbeeld waar tijdelijke flitspalen staan, waar accidenten gebeurd zijn of tijdelijke wegversperringen staan en wat de effectieve doorreistijd is op een stuk weg of hoeveel file er is. Deze komt steeds meer van eindgebruikers van de navigatiesoftware zelf, van ons dus. In het geval van flitspalen en accidenten kunnen gebruikers dit vaak expliciet melden in de software. In het geval van doorreistijden komt dit impliciet van de gebruikers. Als je online navigatiesoftware gebruikt, bijvoorbeeld via een app op je smartphone, dan moet de applicatie weten waar je bent zodat ze je de meest passende instructies kan sturen. Dat wil zeggen dat de software op elk moment weet waar je bent en hoe je je verplaatst, en dus ook weet hoe lang je over de verschillende wegsegmenten rijdt. Door deze gegevens, anoniem, van de verschillende gebruikers uit te middelen per wegsegment krijg je een real-time schatting van de doorreistijd. Deze real-time data wordt niet enkel door navigatiesystemen gebruikt, maar bijvoorbeeld ook door de nationale verkeersdienst, om files in te schatten, en door steden en gemeenten, om incidenten en veranderingen te kunnen opvolgen.

Het verzamelen van grote hoeveelheden real-time data maakt de volgende twee vormen van data mogelijk: historische data en voorspelde data. Historische data verkrijgt je door real-time data op te slaan en bij te houden, zodat je deze bijvoorbeeld kan uitmiddelen om de gemiddelde doorreistijd 's nachts te berekenen, of de typische doorreistijd in de ochtendspits op weekdays. Zo is historische data vaak een goede indicator van hoe de situatie er in de toekomst gaat uitzien op een normale dag, al is elke dag uniek.

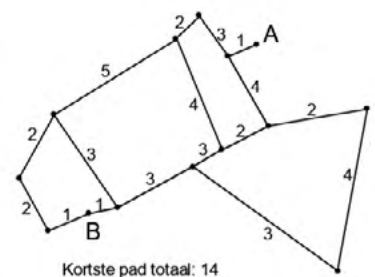
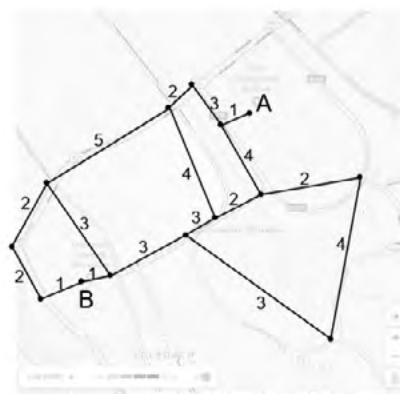
Hoewel historische data dus kan gebruikt worden om een inschatting, of voorspelling te maken van bijvoorbeeld toekomstige doorreistijden, is er een duidelijke trend naar geavanceerdere voorspellingsmodellen zichtbaar. Hiervoor worden machine learning technieken gebruikt, die binnen het vakgebied van de artificiële intelligentie worden onderzocht. Met machine learning kunnen meer contextspecifieke voorspellingen gedaan worden waarbij recente doorreistijden, soort dag, regio, soort weg, temperatuur en andere factoren mee in rekening worden gebracht. Al deze data samen worden door moderne navigatiesoftware gebruikt om je een route aan te bevelen.

### Wat is de beste route?

Vroeger werd eenvoudigweg de kortste route gezocht. Vandaag de dag wordt alle beschikbare data gebruikt om de snelste route te vinden, of iets genuanceerder: de beste route. Een route aanbeveling die je krijgt zal de wegcode respecteren, of meer specifiek: de wegcode zoals beschreven in de statische data. Enkel indien de kaarten niet (meer) juist zijn, kan je langs een niet-legale route gestuurd worden. Deze statische data omvat ook eenrichtingsstraten en straten die uitgezonderd zijn voor plaatselijk verkeer. Maar wat is 'plaatselijk' verkeer? In de praktijk is er ruimte voor interpretatie: indien je in die straat moet zijn, indien je niet op je bestemming geraakt zonder erlangs te rijden, indien je binnen de zoveel meter ervan moet zijn: Deze interpretatie moet in de software vastgelegd worden door de makers zelf.

Naast de statische data, kunnen de real-time data en voorspellingen van doorreistijden gebruikt worden om de snelste (verwachte) route te berekenen. Echter, bij gebrek aan werkelijke intelligentie kunnen zulke 'slimme' algoritmen 'te slimme' aanbevelingen doen: zoals een afrit afrijden en onmiddellijk weer oprijden om een paar minuten van de reistijd te doen, of in plaats van aan een stoplicht aan te schuiven om links af te slaan, de voorsorteerstrook naar rechts te nemen en daar een U-bocht te maken om vervolgens het kruispunt rechtdoor over te rijden. Al kan je dit 'te slimme' aanbevelingen noemen, eigenlijk zijn het 'domme' aanbevelingen omdat ze niet voldoen aan wat wij 'normaal' gedrag vinden. Dergelijke routes zou je zelf nooit aan een chauffeur aanbevelen. Opmerkelijk is dat er niets mis is aan de kaarten: elk wegsegment en alle onderliggende data is correct. Het is enkel de combinatie van wegen die tot oneigenlijk gebruik leidt. Dit moet dus in de software vastgelegd worden.

De principes van het Dijkstra algoritme



Technisch gezien zijn dergelijke aanbevelingen een bijwerking van het gebruik van het kortste (hier: snelste) pad algoritme, zoals ooit door Dijkstra bedacht, dat met normen geen rekening kan houden. Dus moeten de navigatiesoftwareontwikkelaars ingrijpen en uitzonderingsregels toevoegen die zulke route-aanbevelingen detecteren en afstraffen. Het gebruik van strajftijden, bijvoorbeeld de totale waarde (zoals reistijd) van een route verhogen, is een van de technieken om invloed te hebben op wat als 'beste' route naar boven komt. Navigatiebedrijven zijn echter weinig happig om inzicht te geven in deze mechanismen, laat staan er inspraak in te geven.

Dit roept de vraag op, wat is 'de beste' route, en aan wie is het om dit te bepalen? Vanuit het perspectief van navigatiebedrijven en hun concurrentie voordeel kan je argumenteren dat ze hier inderdaad geen inzage in willen. Indien de ene snellere routes kan aanbevelen dan de andere kan dit zelfs een competitief voordeel zijn; ook al kan dit de grenzen verleggen van wat 'normale' routes zijn, bijvoorbeeld in buurten met structurele files en mogelijks sluijpvverkeer. Het mogelijke concurrentievoordeel hangt samen met het perspectief van de eindgebruikers en wat zij willen. Indien snellere routes een concurrentievoordeel geven dan wil dit zeggen dat mensen de snelste route willen, ook al gaat dit over ongebruikelijke routes. In het verleden is nogal gebleken dat mensen zich weinig vragen stellen bij de aanbevelingen die ze krijgen en deze vaak zonder meer volgen.

En dan zijn er de bewoners en de lokale overheden. Er lijkt een tweestrijd te zijn tussen het verlangen van bewoners om snel op hun bestemming te zijn en tegelijkertijd weinig verkeer in hun eigen straat te hebben. Bij toenemende verkeersstromen zien lokale overheden zich vaker genoodzaakt zelf in te grijpen. Bijvoorbeeld door snelheidsdrempels en andere verkeersremmers te installeren. Hierdoor wordt de doorreissnelheid verlaagd, zoals gemeten in de real-time en voorspelde data, en daarmee mogelijk ook hoe interessant een route is. Of drastischer, door 'slimme' camera's te installeren die boetes registreren tijdens de spits voor niet-bewoners of straten enkel voor plaatselijk verkeer toegankelijk maken. In dit geval zullen de navigatiediensten de statische kaarten moeten aanpassen waardoor de routes tijdens de spits er niet meer langs gestuurd worden.

Uiteraard zijn er ook veel mensen die zonder navigatietoestel rondrijden. Daarnaast hoeft een chauffeur de aanbevelingen van een navigatietoestel niet op te volgen. De hoeveelheid invloed die navigatiesoftware op het sturen van verkeersstromen heeft moet dus gerelativeerd worden. Echter, indien in de toekomst zelfrijdende auto's in gebruik komen gaan deze uiteraard een berekende route automatisch volgen, en gaat het belang van wat maatschappelijk wenselijke 'beste' routes zijn toenemen.

## Wat is 'de beste' route en aan wie is het om dit te bepalen?

### Meer dan auto's

De auto is maar een van de vele mogelijke manieren om je te verplaatsen. Ook om je reis via het openbaar vervoer te plannen kan je gebruik maken van routeplanners. Ook deze gebruiken dezelfde vormen van data: statische kaarten, in dit geval inclusief de vertrek en aankomsttijden per halte, real-time data van waar de trein/tram/bussen nu zijn en dus wat de effectieve wachttijd/vertrektijd is, historische data hiervan en eventueel voorspellingen

van wachttijden. Vervoersmaatschappijen verschillen in hoever ze staan met het meten, gebruiken en bijhouden van de drie vormen van dynamische data.

Vanuit het perspectief van het kortste pad algoritme is een bijkomende uitdaging dat er specifieke vertrektijden zijn en dus ook de wachttijd aan de haltes steeds in rekening moet worden gebracht, alsook transfertijd tussen haltes. Zo zal de Belgische spoordienst NMBS bijvoorbeeld enkel verbindingen tonen met minstens vijf minuten aankomst en vertrek. Een alternatief is om met een gemiddelde wandelsnelheid te werken, al moet je in het geval van treinverkeer dan ook de afstand tussen de verschillende perrons exact weten. Een andere manier om de 'beste' route te beïnvloeden is opnieuw door met strajftijden te werken, bijvoorbeeld door wachttijd extra te laten doorwegen tegenover transporttijd of drukkere stations iets zwaarder te laten doorwegen.

### De weg vooruit

Maar de ultieme droom is om de beste route over alle verschillende transportmodi heen te kunnen berekenen, waarbij auto, bus, trein, wandelen, deelsteps enzovoort worden gecombineerd. Een aanbieder zoals Google Maps toont je resultaten voor auto óf fiets óf openbaar vervoer, en nog maar sinds heel recent ook combinaties van deze vervoersmodi. Een mooi voorbeeld van een systeem op eigen bodem dat dit al langer doet is het systeem van Slim Naar Antwerpen.

Een multimodale routeplanning is deel van de toekomstvisie van Mobility as a Service, waarbij alle vervoersdiensten tot iemands beschikking staan. Een grote eerste uitdaging hierbij zijn de kaarten: dezelfde statische kaart moet gebruikt worden om alle wegen, haltes en verbindingen op te slaan. Ook moet er voor elke vervoersmodus real-time en dynamische data gemeten en bijgehouden worden: doorreistijden voor auto's, wachttijden van openbaar vervoer, locatie van deelsteps en deelauto's, enzovoort. Dit een uitdaging op technisch vlak, maar ook op principiële vlak: alle aanbieders van vervoersdiensten moeten die data willen delen in een open en herbruikbaar formaat. In België worden openbare vervoersmaatschappijen hiertoe verplicht door de overheid, maar multinationale aanbieders van deelauto's en deelsteps lijken dit op dit moment nog af te schermen in hun eigen apps.

Het belang van up-to-date statische kaarten en bijhorende dynamische data zoals real-time, historische en voorspelde reistijden zal dus alleen maar toenemen. De grootste meerwaarde zal er zijn indien zulke data op een standaard manier kunnen uitgewisseld worden, idealiter als open data. Zo kunnen ze door alle weggebruikers maximaal gebruikt worden, van (zelfrijdende) auto's tot openbaar vervoer en wandelaars, en combinaties daarvan.

### Literatuurselectie

- Dijkstra, E. (1959) A note on two problems in connexion with graphs. In: Numerische Mathematik 1 (1959), pp. 269–271. Op Wikipedia en in standaard tekstboeken vind je besprekingen van het algoritme.
- Bast, H., D. Dellinger, A. Goldberg, M. Müller-Hannemann, T. Pajor, P. Sanders, D. Wagner & R.F. Werneck (2016) Route planning in transportation networks. In: Algorithm engineering. Cham: Springer, pp. 19–80.
- Hietanen, S. (2014) Mobility as a Service. The new transport model, 2–4.

**Tias Guns** (tias.guns@vub.nl) is assistent professor aan de Vrije Universiteit Brussel (VUB), mede-hoofd van het Data Analytics lab, lid van het MOBI mobility research center en het AI-lab artificiële intelligentie research center.