



Foto: Twente milieu | Léonie Vaarhorst

DYNAMISCHE AFVALINZAMELING

Efficiënter en slimmer

Doorgaans worden er voor afvalinzameling vaste routes en schema's gebruikt. De containers worden dagelijks of wekelijks geleegd, of ze nu vol zitten of niet. Ondergrondse containers kunnen vrij gemakkelijk uitgerust worden met sensoren die registreren hoe vol de containers zitten. Deze informatie maakt het mogelijk om dynamisch het moment te kiezen waarop de containers moeten worden geleegd. De inzameling op basis van slim plannen zorgt voor kostenbesparing, minder geluidsoverlast, minder uitstoot en minder irritaties over volle containers.

MARTIJN MES & MARCO SCHUTTEN

In Nederland wordt afval op gemeentelijk niveau verzameld en verwerkt. In dit proces worden verschillende containertypes gebruikt voor de tijdelijke opslag van afval bij de mensen thuis en bij bedrijven. Zo zijn er minicontainers (ook wel bekend als kliko's) per huishouden en blokcontainers die worden gedeeld door meerdere huishoudens. De minicontainers moeten periodiek (bijvoorbeeld op dinsdag in de even weken) aan de straat gezet worden, zodat de afvalinzamelaar ze kan legen. Twente Milieu, die onder andere de afvalinzameling verzorgt voor Enschede, Hengelo en Almelo, gebruikt sinds 2009 ook ondergrondse afvalcontainers. In eerste instantie werden deze containers alleen geplaatst bij appartementencomplexen en commerciële gebouwen, zoals restaurants. Tegenwoordig zijn ze ook te vinden in woonwijken.

Ondergrondse containers hebben een aantal voordelen ten opzichte van mini- en blokcontainers. Ze zijn bijvoorbeeld minder zichtbaar dan blokcontainers en hoeven niet (zoals minicontainers) op vaste momenten geleegd te worden. Bovendien kunnen ze vrij gemakkelijk uitgerust worden met sensoren die de klepbewegingen bijhouden of de vulgraad meten. Deze informatie kan vervolgens centraal worden uitgelezen en kan gebruikt worden om dynamisch het moment te kiezen waarop een container geleegd moet worden. Dit kan leiden tot minder transportbewegingen, wat resulteert in kostenbesparingen en vermindering van verkeersopstoppingen en emissies van schadelijke stoffen.

In een plan voor het legen van ondergrondse containers moet per dag bepaald worden welke containers er die dag geleegd worden en welke route de

vrachtwagens hiervoor rijden. Merk hierbij op dat de beslissingen voor een dag gevolgen hebben voor de dagen erna: als vandaag een bijna volle container niet geleegd wordt, dan zal dat morgen zeer waarschijnlijk wel moeten gebeuren. Het probleem dat opgelost moet worden kan gezien worden als een 'omgekeerd' *Inventory Routing Problem* (IRP). In een IRP moet een leverancier zijn klanten van voorraad voorzien op basis van actuele voorraadinformatie. De belangrijkste beslissingen zijn (1) wanneer welke klant beleveren, (2) hoeveel te leveren en (3) middels welke route deze klanten te beleveren. Voor de IRP bestaan verschillende geavanceerde oplosmethoden. Deze zijn echter minder geschikt voor ons probleem van het plannen van de lediging van ondergrondse containers vanwege het grote aantal locaties in een relatief klein gebied (in een stad kunnen honderden ondergrondse containers staan).

Voor het maken van een goed plan is een aantal observaties vanuit de praktijk belangrijk. Zo is de hoeveelheid afval die in een container gestort wordt afhankelijk van de container en van de dag van de week. Daarnaast zijn er seizoensinvloeden over de weken van het jaar. Ook worden de containers niet geleegd in de weekenden; dit geeft een piek voor de containers die geleegd moeten worden op maandag (als er van tevoren niet op geanticipeerd is). Een methode voor dynamische afvalcollectie zal dus moeten proberen de werklust over de dagen van de week te verspreiden, door bijvoorbeeld op vrijdag al wel een container te legen die op maandag niet geleegd zou worden bij gelijke vulgraad.

Het doel van onze studie is om een relatief eenvoudig methode te ontwikkelen (dit vergemakkelijkt de toepassing in de praktijk) waarvan de werking via parameters aangepast kan worden om bijvoorbeeld de werklust goed te verdelen over de dagen van de week. Daarnaast willen we een methode ontwikkelen voor het automatisch bepalen van de beste parameterinstelling op basis van historische gegevens. We gebruiken hierbij Twente Milieu als case studie. Twente Milieu heeft na het uitvoeren van onze studie de dynamische afvalinzameling doorgevoerd en de daaruit resulterende besparingen gerapporteerd (Tubantia, 2013).

Heuristiek voor dynamische afvalinzameling

Het probleem van dynamische afvalinzameling bestaat grofweg uit twee delen: 1. bepalen welke afvalcontainers op een dag geleegd zullen worden en 2. bepalen welke routes de vrachtwagens hiervoor gaan rijden. Vanwege het dichte wegennetwerk in steden en het grote aantal containers in een relatief klein gebied is vooral de bepaling van de containers die geleegd moeten worden van belang. Hieronder richten we ons dus vooral op deze beslissing; in ons onderzoek worden de routes voor de vrachtwagens bepaald met een eenvoudige heuristiek (*Cheapest Insertion*) en in de praktijk zullen deze routes bepaald worden door een Transport Management Systeem (TMS).

Voor het kiezen van de te legen containers op een dag maken we gebruik van het concept waarin we de containers op een dag classificeren als 'MustGo', 'MayGo' of 'NoGo'. Een MustGo-container moet op de bewuste dag geleegd worden. Een MayGo-container mag geleegd worden als dat goed uitkomt, bijvoorbeeld als deze in de buurt ligt van MustGo-containers. Een NoGo-container mag op de bewuste dag niet geleegd worden. Het classificeren van containers doen we op basis van de vulgraad van de containers aan het begin van de dag, of beter gezegd, op basis van de verwachting over hoe lang het nog duurt totdat de container vol is. Naast de informatie van de sensoren gebruiken we dus stochastische informatie over de hoeveelheid afval die in een container gestort wordt.

Op basis van twee grenswaarden voor het aantal dagen dat het nog duurt totdat een container naar verwachting vol is, wordt deze geclassificeerd als MustGo, MayGo of NoGo. Aangezien we de classificatie afhankelijk willen maken van de dag van de week (om de werklust net na het weekend niet te groot te laten worden en omdat de hoeveelheid afval die gestort wordt afhankelijk is van de dag van de week) geeft dat 10 parameters (5 werkdagen maal 2 grenswaarden). Om nog beter onderscheid te kunnen maken in de dag van de week, hebben we daarnaast een parameter per dag van de week die aangeeft hoeveel containers er die dag maximaal geleegd mogen worden. In totaal moeten we dus 15 parameters van een waarde voorzien.

Grofweg werkt onze heuristiek voor dynamische afvalinzameling als volgt. Na het classificeren van de containers worden er routes gemaakt voor de MustGo's.

Daarna worden er MayGo's aan de routes toegevoegd totdat er geen MayGo's meer zijn of totdat het maximale aantal containers voor die dag bereikt is. De volgorde voor het toevoegen van MayGo's gebeurt op basis van een ratio die een afweging maakt tussen de hoeveelheid afval in een container en de afstand die er extra voor gereden moet worden om deze te legen.

Optimal Learning

Voor het bepalen van de waardes voor de 15 parameters maken we gebruik van *Optimal Learning*. Optimal Learning is een techniek waarmee met zo min mogelijk metingen informatie wordt verzameld met als doel toekomstige beslissingen te verbeteren. In ons geval betekent het doen van metingen het uitvoeren van een computersimulatie. De simulatie dient dan om te bepalen hoe goed een specifieke combinatie van parameterwaardes werkt, dat wil zeggen, wat de kosten op de lange duur gemiddeld zijn bij gebruik van de gegeven combinatie. Nu is het onmogelijk om alle combinaties van parameterwaardes te evalueren aangezien 1. er enorm veel combinaties van mogelijke parameterwaardes bestaan, 2. elk simulatie experiment een stochastische uitkomst geeft (d.w.z. bevat ruis in het antwoord waardoor we mogelijk het experiment een aantal keren moeten herhalen) en 3. elk simulatie experiment relatief veel tijd kost. Het doel van Optimal Learning is om de beste combinatie van parameterwaardes te bepalen, zonder expliciet iedere combinatie te evalueren. Voor meer details over hoe we Optimal Learning hebben toegepast voor dit probleem, verwijzen we naar Mes et al. (2014).

Resultaten

We hebben onze methode getest met behulp van computersimulatie, waarbij we zowel de case van Twente Milieu als ook virtuele probleeminstanties gebruiken. Belangrijke conclusies zijn dat de voorgestelde aanpak goed werkt, dat verschillende type netwerken (qua afstanden, afvalvolumes, etc.) andere parameterinstellingen nodig hebben, dat de parameterwaardes verschillen voor de dagen van de week en dat een half uur rekentijd

voldoende is om goede parameterwaardes te leveren op een standaard computer.

Om met veranderende omstandigheden om te gaan, kunnen de parameterwaardes van onze heuristiek aangepast worden. Zelfs als het netwerk van beschikbare containers niet verandert, kunnen veranderingen van andere aspecten (zoals het aantal beschikbare voertuigen of de gemiddelde hoeveelheid gestort afval) ervoor zorgen dat de parameterwaardes aangepast moeten worden. Dit betekent bijvoorbeeld dat bij de start van de zomervakantie of het veranderen van de seizoenen de parameterwaardes aangepast zouden moeten worden. De beperkte benodigde rekentijd voor onze Optimal Learning methode maakt dit mogelijk. De simulatiere-sultaten laten zien dat door het aanpassen van de parameterwaardes kostenbesparingen tot 40% mogelijk zijn ten opzichte van het gebruik van standaardinstellingen. Voor meer details en verdere analyse van de resultaten verwijzen we naar Mes et al. (2014).

Uiteindelijk heeft Twente Milieu een vereenvoudigde versie van de beschreven methode geïmplementeerd. Resultaten van deze implementatie laten zien dat dynamische afvalinzameling significante besparingen oplevert (Tubantia, 2013). Door dit concept konden twee vrachtwagens voor de afvalinzameling worden afgestoten.

LITERATUUR

Mes, M., Schutten, M., & Pérez Rivera, A. (2014). Inventory routing for dynamic waste collection. *Waste Management*, 34(9), 1564-1576. <dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2014.05.011>.

Forse winst voor Twente Milieu. (2013, 2 juli). *Tubantia*, <http://iturl.nl/snk3l>.

MARTIJN MES is universitair hoofddocent bij de afdeling Industrial Engineering en Business Information Systems van de Universiteit Twente (UT). Hij haalde zijn mastertitel Applied Mathematics (2002), deed zijn promotieonderzoek bij de faculteit Management and Governance van de UT (2008) en zijn postdoc aan Princeton University. E-mail: m.r.k.mes@utwente.nl

MARCO SCHUTTEN is universitair hoofddocent bij de afdeling Industrial Engineering en Business Information Systems van de Universiteit Twente. Hij haalde zijn mastertitel Applied Mathematics (1992) en zijn PhD in Industrial Engineering (1996). Tot 2006 was hij senior consultant bij ORTEC bv. E-mail: m.schutten@utwente.nl