

*Onderstaande zal gepubliceerd worden in STAtOR*

## **Mensenlevens Redden met Operations Research: Dynamisch Ambulance Management**

door Caroline Jagtenberg ([jagtenbe@cw.nl](mailto:jagtenbe@cw.nl)) en Rob van der Mei ([mei@cw.nl](mailto:mei@cw.nl))

---

### **Samenvatting:**

In noodsituaties waarin elke seconde telt, is het tijdig ter plaatse zijn van een ambulance van levensbelang. Een veelbelovende manier om de aanrijtijden van ambulances te verkleinen is Dynamisch Ambulance Management, waarbij ambulances geen vaste standplaats hebben, maar slim en dynamisch over de regio kunnen worden verspreid afhankelijk van de voertuig- en incidentlocaties.

In het kader van het project “Van Reactieve naar Proactieve Planning van Ambulancediensten”, kortweg REPRO, hebben CWI en TU Delft nieuwe methoden ontwikkeld voor een optimale dynamische spreiding van ambulances over een verzorgingsgebied. De resultaten zijn veelbelovend en worden momenteel uitgetest in een pilot in samenwerking met GGD Flevoland.

---

In levensbedreigende situaties waarin elke seconde telt, kan het al dan niet op tijd ter plaatse zijn van een ambulance het verschil maken tussen leven en dood. In deze gevallen is het streven om zo snel mogelijk en bij voorkeur binnen 15 minuten ter plaatse van de patiënt te zijn. Om zulke korte responstijden te realiseren is een uitgekende planning van ambulanceritten noodzakelijk. Deze planning kan zowel op strategisch, tactisch als operationeel niveau worden gemaakt. In het geval van operationele planning gaat het om de volgende vraag: hoe kunnen we op elk moment van de dag een goede dekking van ambulances over een regio realiseren door slimme dynamische en proactieve <it>real-time</it> herpositionering van ambulances?

Binnen het STW-project REPRO, een samenwerking tussen CWI, TU Delft, CityGIS en een vijftal ambulancediensten, wordt niet alleen antwoord gegeven op deze vraag, maar wordt het antwoord ook toegepast in de praktijk.

In de traditionele ambulance dienstverlening heeft elk ambulancevoertuig een vaste standplaats: elke wagen rijdt, wanneer deze vrijkomt, terug naar zijn eigen thuisbasis. Tegenwoordig wordt dit echter vaak gezien als een verouderde aanpak, en beseft men dat het terugsturen van de ambulance naar zijn thuisbasis niet altijd de beste keuze is. Afhankelijk van de situatie op dat moment, bijvoorbeeld de locaties en status van de huidige incidenten en van de andere voertuigen, kunnen de vrije ambulances wellicht efficiënter over de standplaatsen worden verdeeld. Dit is de kern van het Dynamisch Ambulance Management, kortweg DAM. Zie Figuur 1.



Figuur 1. Illustratie van DAM in Flevoland:  
een ambulancevoertuig wordt van Zeewolde (Z) naar Lelystad (L) gestuurd.

### **De huidige situatie**

In Nederland is een verandering in paradigma merkbaar: steeds vaker wordt de klassieke 'statische' planning voor een - al dan niet door de ambulancevoorzieningen zelf ontworpen - dynamische planning ingeruild. Meestal wordt daarbij gebruik gemaakt van een eenvoudige schuifregeltabel, die voor elk aantal wagens aangeeft op welke basislocaties zij zich dienen te bevinden. Vervolgens is het aan de meldkamercentralist om één of meer ambulancevoertuigen zodanig te dirigeren dat de gewenste opstelling bereikt wordt.

De schuifregeltabelen zijn veelal gebaseerd op enkelvoudige dekking van de regio, waarbij ambulances zodanig zijn verspreid over de regio dat de kans dat het eerstvolgende incident binnen de 15-minuten straal valt is gemaximaliseerd. Het probleem is echter dat in de praktijk in veel gevallen meerdere incidenten tegelijkertijd moeten worden afgehandeld, waardoor een dergelijke eenvoudige schuifregeltabel niet goed functioneert. Langzaam maar zeker worden ambulance aanbieders zich er van bewust dat een meervoudige dekking gewenst is, maar de vraag hoe deze gerealiseerd kan worden hebben zij daarmee nog niet beantwoord.

Vraag is: Zou een schuifregeltabel met meervoudige dekking dan de beste oplossing zijn? Verrassend genoeg is het antwoord 'nee': het gebruik van een schuifregeltabel in het algemeen brengt beperkingen met zich mee. Schuifregels houden namelijk geen rekening met de actuele locaties van de voertuigen. Bovendien geldt voor gebieden met veel incidenten dat het aantal vrije ambulances zeer snel kan wijzigen, vaak zo snel dat de situatie al wijzigt voordat de ambulances de nieuwe gewenste configuratie hebben bereikt. Daarnaast vertelt een schuifregel niet *hoe* de wagens moeten worden verplaatst om de gewenste configuratie te bereiken.

### **Voor- en nadelen**

Het grote voordeel van DAM is dat door de proactieve verplaatsingen van voertuigen veel flexibeler kan worden geanticipeerd op toekomstige incidenten, waardoor de responstijden kort kunnen worden gehouden. Verbeterde responstijden betekenen een reductie in de mortaliteit en morbiditeit: DAM leidt dus direct tot een betere kwaliteit van zorg. De verbetering is bovendien van substantieel formaat: om dezelfde prestaties met een statische planning te bereiken, zouden meerdere extra ambulances (en bijbehorend personeel) bekostigd moeten worden.

Een veelgenoemd nadeel van DAM is dat ambulances vaker moeten verplaatsen, waardoor de werkdruk verhoogt. Ook heeft personeel geen vaste standplaats meer en

moet daar aan wennen.

Ondanks de genoemde nadelen is de verwachting dat DAM de toekomst heeft. Natuurlijk kan er wel rekening worden gehouden met bijvoorbeeld de werkdruk: binnen REPRO is een model ontwikkeld waarbij ambulances in eerste instantie niet <it>vaker</it> moeten rijden dan in het statische geval, maar enkel naar andere basissen. Dit model kan op verzoek van een ambulance aanbieder uitgebreid worden met extra ambulance bewegingen, die de prestaties nog verder ten goede komen.

### **Wat een toestand(en)**

Om een geschikte DAM methode te vinden, wordt binnen het REPRO-project onderzoek verricht naar online optimaliseringsalgoritmen, waarbij optimale relocaties worden bepaald, bijvoorbeeld voor iedere mogelijke 'toestand' van het systeem (bijvoorbeeld incident- en voertuiglocaties). Het probleem hierbij is dat het aantal mogelijke toestanden van het systeem exponentieel snel stijgt in het aantal voertuigen en incidentlocaties, waardoor de rekentijden voor het bepalen van 'optimale' relocaties van voertuigen veel te lang worden voor praktische toepassingen.

Idealiter wil men natuurlijk een algoritme dat in <it>real time</it> met een zinnig antwoord komt, en dat bovendien inzetbaar is voor uiteenlopende regio's, elk met hun eigen karakteristieken. Uit onderzoek binnen REPRO blijkt dat het inderdaad mogelijk is om dergelijke online optimaliseringsalgoritmen te ontwikkelen. Een voorbeeld is het Dynamic Maximum Expected Coverage Location Problem (D-MEXCLP) algoritme, geïnspireerd door het MEXCLP-model [1], waarin de bezettingsgraad  $q$  wordt meegenomen voor optimaliseren van meervoudige dekking.

Het D-MEXCLP algoritme [2] beperkt zich in eerste instantie tot het verplaatsen van een ambulance wanneer deze zich vrij meldt. Hierbij wordt slechts een beperkt deel van de <it>real-time</it> data meegenomen, namelijk enkel de bestemmingen van andere vrije ambulances. Daarmee wordt als het ware een soort <it>snapshot</it> van de toekomst genomen: de rijdende ambulances zullen daar waarschijnlijk binnen afzienbare tijd aankomen. Dit snapshot wordt afgezet tegen de verwachte behoefte aan ambulances.

We bepalen de gewenste locatie voor de zojuist vrijgekomen ambulance door te berekenen op welke standplaats de ambulance de grootste toename in dekking zou geven volgens het MEXCLP model. MEXCLP modelleert ambulances als onafhankelijke voertuigen die met kans  $q$  bezet zijn. De verzorgingsregio wordt opgedeeld in een discrete set punten  $V$ . Merk op dat de  $k$ -de ambulance die vraagpunt  $j \in V$  op tijd kan bereiken, pas waarde toevoegt als de overige  $k-1$  ambulances bezet zijn, terwijl de  $k$ -de ambulance vrij is - oftewel met kans  $(1 - q)q^{k-1}$ . Deze kans wordt vermenigvuldigd met  $d_j$  de grootte van de vraag in punt  $j$ ,  $j \in V$ .

De zo gedefinieerde strategie  $\pi(n)$ , met  $n = (n_1, \dots, n_{|W|})$  kan genoteerd worden aan de hand van het aantal vrije ambulances  $n_x$  dat bestemming  $x$  heeft. Merk op dat vrije ambulances altijd stilstaan op een basis, of daar naar onderweg zijn, dus het volstaat om  $x \in W$  te beschouwen, waarbij  $W$  de set basislocaties is. Voor een gegeven voertuigconfiguratie  $n$  stuurt het D-MEXCLP algoritme een vrijkomende ambulance naar de bestemming  $w \in W$  waarvoor de verwachte toename in de totale dekkingsgraad

$$\sum_{j \in V} d_j (1 - q) q^{k(j,w,n)-1}$$

maximaal is, waarbij

$$\sum_{i \in V} k(j, w, n) := n_i 1_{\{t_{ij} \leq r\}} + 1_{\{t_{wj} \leq r\}},$$

het aantal voertuigen dat knoop  $j$  kan bereiken binnen  $r$  minuten, voor gegeven voertuigconfiguratie  $n$ , aannemende dat de vrijkomende ambulance instantaan op de knoop van bestemming  $w \in W$  is. Doordat de keuzemogelijkheden beperkt zijn (in de praktijk is  $|W|$  meestal niet groter dan 30 of 40), kunnen we de optimale bestemming 'brute force' uitrekenen.

### Verificatie

Het is niet direct evident of het hierboven beschreven algoritme succesvol zal zijn. Er zijn namelijk veel aspecten van het probleem waarvan het niet triviaal is hoe ze meegenomen dienen te worden (denk bijvoorbeeld aan gemaakte keuzes zoals het negeren van bezette wagens, het modelleren van vrije wagens als onafhankelijk, en het nemen van een snapshot van de toekomst). Alvorens het beschreven model in de praktijk wordt toegepast, dient geverifieerd te worden of de gemaakte keuzes leiden tot een succesvol DAM algoritme.

Aan de hand van simulaties kunnen uitspraken gedaan worden over hoe goed het D-MEXCLP algoritme zal presteren in de praktijk. De simulaties zijn gedaan voor een realistische dataset van de provincie Utrecht. De resultaten laten zien dat door het gebruik van D-MEXCLP het aantal rijtijdoverschrijdingen met 15-20% kan worden gereduceerd ten opzichte van de statische oplossing [2].

### Toepassing in de praktijk

Het hierboven beschreven model voor DAM wordt momenteel uitgetest in een pilot die wordt uitgevoerd in samenwerking met GGD Flevoland, CityGIS en het CWI. Omdat Flevoland een relatief dunbevolkte regio is, is in overleg met GGD Flevoland besloten om extra relocatiemomenten toe te voegen: wanneer een ambulance naar een incident gestuurd wordt, mag bovendien één vrije wagen naar een andere basis gestuurd worden. Er wordt dan op een vergelijkbare manier bepaald welke verplaatsing de grootste verbetering in bedekking oplevert – alleen moet nu naast de bestemming, ook de ambulance gekozen worden.

De relocatievoorstellen worden als advies getoond aan de centralisten. Het is dan aan de centralist om een afweging te maken tussen de toename in bedekking die met de relocatie kan worden bereikt, en eventuele andere belangen die op dat moment spelen. Om deze afweging goed te kunnen maken, wordt naast het relocatievoorstel ook het bijbehorende 'belang' getoond: een getal dat aangeeft in hoeverre de bedekking van de regio er op vooruit zal gaan als deze relocatie wordt uitgevoerd. Daarmee krijgt het advies nuance en kunnen keuzes onderbouwd worden gemaakt.

*Caroline Jagtenberg is promovendus, werkzaam aan het CWI, en onderzoekt verschillende aspecten van de operationele ambulance planning. Daarnaast is ze in deeltijd software engineer bij ORTEC, waar zij werkt aan personeelsroosteren.*

*Rob van der Mei is Manager Research & Development aan het CWI, hoogleraar aan de Vrije Universiteit Amsterdam en specialist op het gebied van de toegepaste wiskunde. Hij is de projectleider van REPRO.*

### Referenties

- [1] M.S. Daskin, A maximum expected covering location model: formulation, properties and heuristic solution, *Transportation Science*, 17(1):48-70, 1983.
- [2] C.J. Jagtenberg, S. Bhulai and R.D. van der Mei, An efficient heuristic for real-time ambulance redeployment, *Operations Research for Health Care*, 4:27-35, 2015.

