

SAMENVATTING

In levensbedreigende noodgevallen 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 Nederland bedraagt deze normtijd 15 minuten voor ongevallen van de hoogste urgentieklasse. Om tegen betaalbare tarieven zulke korte aanrijtijden te realiseren is een uitgekiende planning van ambulancediensten noodzakelijk. Een wezenlijk onderdeel hierin is het bepalen van een efficiënte verdeling van ambulances over de regio. Immers, de locatie van de hulpvoertuigen op het moment dat een ongeval wordt gerapporteerd in de meldkamer is in hoge mate bepalend voor het al dan niet behalen van de normtijd. Een sterk complicerende factor bij deze locatievraagstukken is de grote mate van onzekerheid die inherent is aan vrijwel alle facetten van het ambulance service-proces. Met name de onzekerheid rond de beschikbaarheid van hulpvoertuigen is van cruciaal belang. Ambulances zijn niet te allen tijde tijdens hun dienst inzetbaar om te beantwoorden aan een oproep. Dit kan verscheidene oorzaken hebben, bijvoorbeeld de behandeling van de patiënt op de plaats van een eerder ongeval. Deze onbeschikbaarheid kan ertoe leiden dat er tijdelijk een inefficiënte spreiding van ambulances over de regio ontstaat.

Een manier om bovenstaand probleem te verhelpen is het tijdelijk herpositioneren van één of meerdere hulpvoertuigen. Dit is de kern van het zogenaamde Dynamisch Ambulance Management (DAM). Het grote voordeel van DAM is dat door het in real-time verplaatsen van voertuigen veel flexibeler kan worden geanticipeerd op toekomstige incidenten, waardoor de aanrijtijden, en daarmee ook de mortaliteit en morbiditeit, kunnen worden gereduceerd. Dit proefschrift behandelt verschillende modellen en algoritmen voor het optimaliseren van de gebiedsdekking door middel van het uitvoeren van deze zogenaamde proactieve relocaties.

De optimalisatiemethoden in dit proefschrift zijn grofweg in te delen in twee categorieën: (1) *online* en (2) *offline* algoritmen. Het kenmerkende verschil tussen beide is het tijdstip waarop het computationele werk gedaan wordt. Bij online methoden gebeurt dat op het moment waarop een relocatiebeslissing genomen dient te worden. Deze klasse van methoden kan dan ook omgaan met een zeer gedetailleerde toestandsbeschrijving, aangezien bij de berekening van een beslissing dit voor slechts één specifieke toestand gedaan wordt. Bij offline methoden wordt het merendeel van de berekeningen op voorhand gedaan en voor iedere mogelijke toestand van het systeem wordt de bijbehorende relocatiebeslissing opgeslagen. Als een bepaalde situatie (c.q., toestand) zich voordoet, wordt deze beslissing opgezocht en toegepast. Om de rekentijd, die sterk afhangt van het aantal toestanden,

hanteerbaar te houden, is de toestandsbeschrijving bij offline methoden doorgaans minder gedetailleerd dan bij online tegenhangers.

Het eerste deel van dit proefschrift (Hoofdstukken 2-4) houdt zich bezig met de online benadering van het ambulance relocatieprobleem. Hoofdstuk 2 richt zich op landelijke regio's. Deze verschillen doorgaans van hun stedelijke tegenhangers, onder andere in het lagere aantal incidenten, in het kleinere aantal ambulances dat dienst heeft en in de spreiding van ongevallen over de regio. Het relocatieprobleem wordt gemodelleerd als Markov-beslissingsprobleem, waarbij het aanrijtijdsafhankelijke prestatiedoel generiek gekozen kan worden door het definiëren van een geschikte boetefunctie. Deze functie kent aan iedere mogelijke aanrijtijd een bepaalde boete toe. Daarnaast beschrijft dit hoofdstuk ook een heuristiek voor goede relocatiebeslissingen, gebaseerd op het beschreven model. Hoofdstuk 2 wordt afgesloten met het illustreren van deze heuristiek op een realistisch ambulance systeem behorend bij een Nederlandse regio, voor verschillende boetefuncties.

Een veelgenoemd nadeel van DAM is dat ambulances vaak proactief moeten verplaatsen, en dat de werkdruk daardoor verhoogt. Hoofdstuk 3 houdt zich bezig met deze problematiek: de afweging tussen het aantal relocaties en de prestatie met betrekking tot de aanrijtijden wordt onderzocht. Hiertoe wordt in dit hoofdstuk de zogenaamde *boeteheuristiek* ontwikkeld. Deze heuristiek gebruikt het concept van boetefunctie uit Hoofdstuk 2. Ook wordt in dit hoofdstuk het gebruik van zogeheten ketenrelocaties geïntroduceerd. Hierbij wordt een langdurende relocatie opgeknipt in meerdere korte relocaties, om de gewenste spreiding van ambulances (berekend door de boeteheuristiek) te verkrijgen. Het hoofdstuk sluit af met een numerieke studie van de bovengenoemde afweging. Op basis van een door praktijkexperts uit het veld aangedragen boetefunctie wordt voor een grote hoeveelheid scenario's onderzocht in welke mate restricties op het aantal ambulancerelocaties van invloed zijn op de prestatie. Deze verbetert al significant als slechts een paar relocaties worden uitgevoerd. Echter, veelvuldige herpositionering kan ertoe leiden dat de prestatie niet meer verbetert, of zelfs verslechtert.

In Hoofdstuk 4 worden enkele inzichten betreffende de implementatie van relocatiestrategieën in de praktijk gepresenteerd. Hiertoe wordt de in Hoofdstuk 3 beschreven boeteheuristiek gecombineerd met het Dynamisch MEXCLP (DMEX-CLP) algoritme van Jagtenberg et al. (2015). De volgende vijf aspecten komen hierbij aan bod: (1) de frequentie van beslismomenten, (2) het rekening houden met bezette ambulances in de beschrijving van de toestand van het systeem, (3) het prestatiedoel, (4) het gebruik van ketenrelocaties en (5) tijdsgrenzen op de relocatietijd. Het hoofdstuk vervolgt met een uitgebreide simulatiestudie met betrekking tot de praktische implementatie van deze aspecten.

In het tweede deel van dit proefschrift (Hoofdstukken 5 en 6) staat de offline benadering voor het oplossen van het relocatieprobleem centraal. Hoofdstuk 5 beschrijft een geheelallig lineair programmeringsprobleem voor de berekening van *schuifregeltabellen*, genaamd MEXPREP. Dit model is een uitbreiding op het MEXCRP model van Gendreau et al. (2006) in twee verschillende opzichten: (1) het houdt rekening met het feit dat ambulances bezet kunnen raken tijdens het relocatieproces en (2) een vrij te kiezen prestatiedoel kan in het model ingebouwd worden via de definitie van de corresponderende boetefunctie. Daarnaast introdu-

ceert dit hoofdstuk een aangepaste versie (genaamd AMEXPREP) die de gedane aannames omtrent de bezettingsgraad afzwakt. Een sectie met numerieke resultaten, gebaseerd op de simulatie van de met MEXPREP verkregen schuifregels, sluit het hoofdstuk af.

Ook Hoofdstuk 6 is gewijd aan de berekening van optimale schuifregeltabellen. In dit hoofdstuk worden twee types ambulances beschouwd: voertuigen met en voertuigen zonder vervoerscapaciteit. De laatste categorie bestaat doorgaans uit motoren of personenauto's, dus dit type eenheid is doorgaans sneller bij een ongeval ter plaatse. Dit bemoeilijkt de berekening van schuifregeltabellen, aangezien een extra dimensie wordt toegevoegd aan de toestandsruimte van het systeem. Dit hoofdstuk presenteert een geheeltallig lineair programmeringsprobleem dat zogeheten tweedimensionale schuifregeltabellen berekent. In dit model wordt het aantal relocaties dat per beslismoment dient te worden uitgevoerd, beperkt. Ook worden er in het model grenzen gesteld aan de tijd die een ambulance mag besteden aan een specifieke relocatie. Verschillende regimes worden vervolgens getest in een simulatie, voor verschillende samenstellingen van de ambulancevloot in een landelijke regio. Uit deze studie blijkt dat een tijdsrestrictie op de relocatieduur die gelijk is aan de verwachte tijdsduur tussen twee opeenvolgende ongevallen, een goede keus is.

Het laatste hoofdstuk van dit proefschrift, Hoofdstuk 7, kan worden beschouwd als het verbindende hoofdstuk tussen de online en offline benaderingen voor het oplossen van het ambulance relocatieprobleem. Van beide benaderingen wordt een representant gekozen uit de voorgaande hoofdstukken. Dit zijn de combinatie van de boeteheuristiek en DMEXCLP (Hoofdstuk 4) en de schuifregeltabellen verkregen door oplossen van AMEXPREP (Hoofdstuk 5) voor respectievelijk de online en offline benadering. Beide methoden worden gesimuleerd voor verschillende ambulanceaantallen en prestatiedoelen, uitgaande van twee Nederlandse regio's. Hieruit blijkt dat de gekozen representanten zeer vergelijkbaar presteren wat betreft zowel patiënt- als personeel-gerelateerde prestatie-maten.

