

Van Hub naar Ziekenhuis

Optimalisatie van logistieke processen voor steriele instrumenten

1 Inleiding

Dit hoofdstuk biedt achtergrond en context voor het onderzoek.

1.1 Achtergrondinformatie

Greencycle, de opdrachtgever van dit project, is verantwoordelijk voor het beheer van een logistiek netwerk dat steriele chirurgische instrumenten levert aan ziekenhuizen en klinieken in heel Nederland. Deze instrumentensets zijn essentieel voor operatiekamers, waar ze dagelijks worden ingezet bij medische ingrepen. Het tijdig leveren van deze sets is belangrijk om de continuïteit van operaties te waarborgen. Het logistieke netwerk van Greencycle bestaat uit vier hubs, gevestigd in De Meern, Delft, Capelle a/d IJssel en Maastricht. Elke hub heeft specifieke verantwoordelijkheden wat betreft het ophalen en leveren van de instrumentensets aan ziekenhuizen in hun regio.

2.2 Aanleiding van de opdracht

De aanleiding voor deze opdracht is de wens van Greencycle om hun bedrijf "groener te maken" en dit onderzoek wordt onderzocht of dat gedaan kan worden door hun logistieke netwerk te optimaliseren. Momenteel worden de chirurgische instrumenten door verschillende hubs naar ziekenhuizen gedistribueerd, maar er is ruimte voor verbetering in efficiëntie. Door de groei van het aantal operaties en de uitbreiding van het netwerk met nieuwe hubs, zoals de nieuwe locaties in Delft en Capelle a/d IJssel, wordt het steeds complexer om de transport- en opslagprocessen goed te coördineren. Dit heeft geleid tot de vraag naar een wiskundig model dat in staat is om de logistieke processen te optimaliseren en de totale afgelegde afstand in het netwerk te minimaliseren. Op die manier kan Greencycle kosten verlagen, terwijl ze ook hun ecologische voetafdruk verkleinen door de transportafstanden te verkorten.

2.3 Opdrachtschrijving

De opdracht is om een wiskundig model te ontwikkelen dat het logistieke netwerk van Greencycle optimaliseert. Hierbij moet rekening worden gehouden met de huidige structuur van het netwerk, bestaande uit de vier hubs in Nederland. Elk van deze hubs heeft een specifiek aantal instrumenten dat jaarlijks wordt verwerkt en geleverd aan ziekenhuizen in hun regio. Het model moet in staat zijn om de optimale routes voor alle voertuigen te bepalen, waarbij de totale afgelegde afstand zo klein mogelijk wordt gehouden en waarbij alle medische instrumenten op tijd geleverd worden.

2.4 Waarom is een wiskundig model nodig?

Het ontwikkelen van een wiskundig model is nodig omdat de complexiteit van het logistieke netwerk van Greencycle groot is. De distributie van chirurgische instrumenten is een dynamisch proces, waarbij dagelijks verschillende routes worden afgelegd tussen de hubs en ziekenhuizen. Zonder een gedetailleerd model dat rekening houdt met variabelen zoals het aantal sets, de afstand tussen locaties, capaciteitsbeperkingen en levertijden, is het moeilijk om efficiëntie te waarborgen.

2.5 Eisen & wensen

Voor dit project zijn er twee belangrijke eisen. Ten eerste moet het model **snel** kunnen opereren. Aangezien Greencycle een bedrijf is dat 24 uur per dag, 7 dagen per week actief is, is het nodig dat er op elk moment van de dag snel routes kunnen worden gegenereerd. Dit vereist een algoritme dat binnen korte tijd betrouwbare routes kan leveren, ongeacht het moment waarop de planning plaatsvindt.

Ten tweede moet het model zo **nauwkeurig mogelijk** zijn. Hoewel heuristische methoden vaak worden gebruikt in dit soort modellen, wat betekent dat ze mogelijk niet altijd de optimale oplossing bieden, is het van belang dat de uitkomsten dicht bij de best mogelijke oplossing liggen.

2.6 Onderzoeksvragen & methodiek

Hieronder staat de hoofdvraag en de daarbij horende deelvragen voor elke deelvraag is uitgewerkt hoe deze zal worden onderzocht.

2.6.1 Hoofdvraag

“Met welk wiskundig model kan het logistieke netwerk voor de distributie van steriele chirurgische instrumentensets over de Greencycle-hubs worden geoptimaliseerd om de totaal afgelegde afstand in het netwerk te minimaliseren?”

2.6.2 Deelvraag 1: literatuur

“Wat zegt de literatuur over routeoptimalisatie?”

Te volgen methode:

1. Literatuur zoeken en selecteren:
 - a. Bepaal relevante zoektermen en databases.
 - b. Voer zoekopdrachten uit en selecteer relevante artikelen op basis van titel en samenvatting.
2. Analyseren van de literatuur:
 - a. Lees de geselecteerde artikelen.
 - b. Vat de belangrijkste inzichten, methoden en bevindingen samen.
 - c. Identificeer terugkerende thema's en mogelijke overeenkomsten en verschillen tussen de situatie in het artikel en de situatie van dit onderzoek.
3. Conclusies trekken:
 - a. Beantwoord de deelvraag op basis van de geanalyseerde literatuur.

2.6.3 Deelvraag 2: modelkeuze

“Welk model blijkt de totaal afgelegde afstand binnen **dit logistieke netwerk het meest te minimaliseren volgens de literatuur?”**

Te volgen methode:

1. Inventariseren van modellen:

- a. Gebruik bevindingen uit deelvraag 1 om relevante modellen te identificeren.
- 2. Evalueren en vergelijken:**
 - a. Stel evaluatiecriteria op.
 - b. Vergelijk de modellen op deze criteria.
- 3. Selectie maken:**
 - a. Kies het model dat het beste voldoet aan de belangrijkste criteria.
 - b. Onderbouw de keuze.

2.6.4 Deelvraag 3: data

“Op welke manier gaat de data gebruikt kunnen worden om het gebruik van het model te optimaliseren?”

Te volgen methode:

- 1. Data-eisen bepalen:**
 - a. Identificeer welke data het gekozen model nodig heeft.
 - b. Beoordeel de beschikbaarheid en kwaliteit van deze data.
- 2. Data voorbereiden en integreren:**
 - a. Verzamel en verwerk de benodigde data.
 - b. Zorg dat de data compatibel is met het model.
- 3. Model optimaliseren met data:**
 - a. Voer de data in het model in en voert analyses uit.
 - b. Pas het model aan op basis van de resultaten om optimalisatie te bereiken.
- 4. Resultaten evalueren:**
 - a. Analyseer de output om te beoordelen of de doelstellingen zijn behaald.
 - b. Formuleer aanbevelingen voor verdere verbetering.

2.6.5 Deelvraag 4: Weergave

“Op welke manier kan de geoptimaliseerde route het best weergegeven worden?”

Te volgen methode:

- 1. Visualisatie-eisen bepalen:**
 - a. Bepaal welke informatie de visualisatie moet overbrengen (bijv. routes, afstanden, tijdsplanning).
 - b. Identificeer de behoeften van verschillende gebruikers (bijv. logistieke planners, chauffeurs, managers).
- 2. Visualisatiemethode selecteren:**
 - a. Onderzoek en vergelijk verschillende visualisatie opties (bijv. kaarten, grafieken, dashboards) op basis van gebruiksvriendelijkheid, schaalbaarheid en duidelijkheid.
 - b. Kies de methode die het meest geschikt is voor de context van Greencycle.
- 3. Prototype ontwikkelen en testen:**
 - a. Ontwerp een eerste versie van de visualisatie en zorg voor integratie met de output van het wiskundige model.
 - b. Laat gebruikers, zoals planners, de visualisatie testen en verzamel feedback.

4. Resultaten evalueren en verbeteren:

- a. Beoordeel of de visualisatie effectief bijdraagt aan een beter begrip van de routes.
- b. Pas de visualisatie aan op basis van feedback om deze verder te optimaliseren

2 Literatuuronderzoek

2.1 Artikel 1: Multi-depot routing probleem

2.1.1 Gebruikte bron

Zhou, Z., Ha, M., Hu, H., & Ma, H. (2021). Half Open Multi-Depot Heterogeneous Vehicle Routing Problem for Hazardous Materials Transportation. *Sustainability*, 13(3), 1262. <https://doi.org/10.3390/su13031262>

2.1.2 Samenvatting

Dit artikel richt zich op de optimalisatie van het transport van gevaarlijke materialen, waarbij gebruik wordt gemaakt van een half open multi-depot heterogeen voertuigen routeprobleem (MDVRP). De centrale vraag is hoe risico's en kosten in dit logistieke probleem kunnen worden geminimaliseerd. Het voorgestelde model houdt rekening met meerdere depots, verschillende typen voertuigen, en variabele risico's afhankelijk van de hoeveelheid geladen gevaarlijke materialen. Het doel is om met behulp van een *bi-objective mixed integer programming model* een evenwicht te vinden tussen kosten en risico's. De auteurs stellen een nieuw risicomodel voor dat varieert op basis van voertuigtypen en belading. Het gebruik van een hybride intelligent algoritme, gebaseerd op de ϵ -constraint methode en een genetisch algoritme, stelt de onderzoekers in staat om Pareto-optimale oplossingen te vinden.

2.2.3 Overeenkomsten en verschillen

Net als bij het transport van gevaarlijke stoffen, speelt het multi-depot vehicle routing problem (MDVRP) een centrale rol in de distributie van chirurgische instrumenten. In het artikel wordt een model gepresenteerd dat kan worden toegepast om routes vanuit meerdere depots te optimaliseren, met als doel de totale afgelegde afstand te minimaliseren. Dit model is relevant voor de optimalisatie van distributie routes in een netwerk met meerdere depots. Bovendien maakt het artikel gebruik van een half open route-systeem, waarbij voertuigen niet per se terugkeren naar hun start-depot, wat hier ook van toepassing is.

Een belangrijk verschil is dat het artikel zich richt op risicomanagement bij het transport van gevaarlijke stoffen, wat minder relevant is voor de distributie van chirurgische instrumenten. Dit element is minder relevant voor de distributie van chirurgische instrumenten, waar veiligheid geen belangrijke beperkende factor is.

2.2.4 Beoordeling snelheid van het genereren van oplossingen

Het model maakt gebruik van een hybride algoritme, dat een *ϵ -constraint methode combineert* met een genetisch algoritme. Genetische algoritmen zijn ontworpen om grote en complexe problemen aan te pakken door iteratief mogelijke oplossingen te verkennen. Dit betekent dat het model oplossingen genereert door met elke iteratie verbeteringen aan te brengen. Deze methode biedt flexibiliteit en snelheid in het vinden van een goede oplossing, maar omdat het afhankelijk is van meerdere iteraties, kan het langer duren om dichterbij een optimale oplossing te komen.

Score: 3.5/5

2.2.5 Beoordeling nauwkeurigheid en optimaliteit van de oplossing

Hoewel het genetische algoritme effectieve oplossingen kan bieden, staat het niet garant voor de meest optimale oplossing. Dit komt doordat genetische algoritmen werken met benaderingen die, hoewel ze steeds verbeterd worden, niet altijd resulteren in de absolute optimale oplossing. Het model biedt Pareto-oplossingen, wat betekent dat er een reeks oplossingen wordt gepresenteerd die elk een afweging maken tussen verschillende factoren, zoals kosten en risico's. Dit is nuttig in situaties waarin verschillende doelstellingen moeten worden afgewogen, maar betekent ook dat er compromissen worden gesloten en dat de oplossing die het model biedt niet per se de meest optimale is. De nauwkeurigheid is daarmee voldoende, maar kan niet worden gegarandeerd als absoluut optimaal.

Score: 3/5

2.2 Artikel 2: MoMA-algoritme

2.2.1 Gebruikte bron

Suwannarongsri, S. (2023). Optimal Solving Multi-Depot Vehicle Routing Problem by Modern Metaheuristic Algorithm. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 19(6), 1753–1767.

2.1.2 **Samenvatting**

Dit artikel richt zich op het multi-depot vehicle routing problem, waarbij meerdere voertuigen goederen vervoeren tussen verschillende depots en locaties. Het doel van dit probleem is het minimaliseren van de totale afstand die de voertuigen moeten afleggen. Het voorgestelde Modern Metaheuristic Algorithm (MoMA) combineert willekeurige processen gebaseerd op de uniforme en Lévy-verdelingen om oplossingen te genereren. Daarnaast wordt een automatisch aanpasbaar zoekstraal-mechanisme (ASRM) gebruikt om de balans te vinden tussen intensivering (het verfijnen van bestaande oplossingen) en diversificatie (het verkennen van nieuwe oplossingen). Het algoritme wordt toegepast op tien real-world MDVRP-casussen met tussen de 50 en 200 locaties, en de resultaten worden vergeleken met die van andere methoden, zoals genetische algoritmen, particle swarm optimization (PSO) en cuckoo search (CS). De uitkomsten tonen aan dat het MoMA-algoritme in staat is om kortere afstanden te genereren dan de alternatieve methoden.

2.2.3 Overeenkomsten en verschillen

Het multi-depot routing probleem in dit artikel is vergelijkbaar met logistieke vraagstukken die zich richten op het optimaliseren van de routes tussen depots en bestemmingen. Zowel in dit artikel als in de distributie van chirurgische instrumenten is het doel om de totale afgelegde afstand te minimaliseren.

Een belangrijk verschil is dat het artikel zich richt op willekeurige processen zoals de Lévy- en uniforme verdeling om oplossingen te genereren. Dit is een specifieke aanpak die niet in elk logistiek netwerk even bruikbaar is, afhankelijk van de dynamiek van de vraag en het type beperkingen dat een netwerk heeft.

2.2.4 *Beoordeling snelheid van het genereren van oplossingen*

Het model maakt gebruik van een hybride algoritme waarbij een combinatie van uniforme en Lévy-verdelingen wordt toegepast om oplossingen te genereren. Dit proces wordt versneld door het automatisch aanpasbare zoekstraal-mechanisme, dat de zoekradius tijdens het proces aanpast om de convergentie te versnellen. In kleinere netwerken kan het model snel oplossingen genereren, maar voor grotere netwerken kan het langer duren, afhankelijk van de complexiteit en het aantal iteraties. Over het algemeen biedt het model voldoende snelheid voor de meeste toepassingen.

Score: 4/5

2.2.5 *Beoordeling nauwkeurigheid en optimaliteit van de oplossing*

Hoewel het MoMA-algoritme goede oplossingen biedt door de balans tussen intensivering en diversificatie, garandeert het niet altijd de optimale oplossing. Het algoritme is ontworpen om Pareto-oplossingen te vinden, waarbij verschillende afwegingen tussen afstand en route-optimalisatie worden gemaakt. Dit betekent dat er compromissen zijn tussen verschillende doelen, en de gevonden oplossingen niet altijd optimaal zijn in absolute zin. Voor complexe problemen biedt het model echter voldoende nauwkeurigheid.

Score: 3.5/5

2.3 **Artikel 3: Genetisch Algoritme & Branch and Price**

2.3.1 *Gebruikte bron*

Reiners, C. (2015). Constraint Programming-Based Heuristics for the Multi-Depot Vehicle Routing Problem with a Rolling Planning Horizon. Doctoral Dissertation, Mercator School of Management, University of Duisburg-Essen.

2.3.2 *Samenvatting*

Dit proefschrift richt zich op het oplossen van het Multi-Depot Vehicle Routing Problem with Time Windows and a Rolling Planning Horizon (MDVRPTW-RH). Het onderzoekt hoe dit logistieke probleem kan worden geoptimaliseerd door gebruik te maken van constraint programming (CP) en andere optimalisatietechnieken. Het probleem wordt gemodelleerd met behulp van een Mixed Integer Linear Program (MILP), waarbij tijdvensters en dynamische planningen met een rollende horizon worden meegenomen. Het doel is om op efficiënte wijze goederen te verdelen vanuit meerdere depots naar diverse bestemmingen, rekening houdend met beperkingen zoals tijdvensters en voertuig capaciteit.

Er worden twee hoofd aanpakken onderzocht om dit probleem op te lossen. De eerste aanpak gebruikt een Genetisch Algoritme (GA), dat de MDVRPTW-RH oplost in twee stappen: eerst worden klanten toegewezen aan clusters, daarna worden routes binnen deze clusters geoptimaliseerd via constraint programming. De tweede aanpak maakt gebruik van een Branch & Price (B&P)-methode, waarbij kolomgeneratie wordt gecombineerd met een branchestructuur om oplossingen te verfijnen. Beide methoden worden geëvalueerd met behulp van testinstellingen uit de literatuur.

2.3.3 *Overeenkomsten en verschillen*

Het Multi-Depot Vehicle Routing Problem zoals beschreven in dit artikel heeft sterke overeenkomsten met andere logistieke uitdagingen die zich richten op het minimaliseren van reistijden en het optimaliseren van de toewijzing van voertuigen en depots. Net als bij andere distributieproblemen worden de kosten en reistijd geminimaliseerd en wordt rekening gehouden met capaciteiten en tijdvensters. De Genetisch Algoritme-aanpak, die eerst klanten clustert en vervolgens routes binnen deze clusters optimaliseert, kan vergelijkbaar zijn met andere routeoptimalisatieproblemen waar meerdere depots betrokken zijn.

Het verschil zit echter in de toepassing van de rolling planning horizon, wat betekent dat de routes herhaaldelijk worden aangepast op basis van nieuwe informatie. Deze dynamische benadering vereist constante her-optimalisatie, wat niet altijd relevant is in logistieke netwerken zonder veranderende vraagpatronen. Daarnaast maakt het artikel gebruik van constraint programming en Branch & Price-technieken, die vaak krachtiger maar mogelijk complexer en langzamer zijn dan andere benaderingen zoals genetische algoritmen die volledig iteratief zijn.

2.3.4 *Beoordeling snelheid van het genereren van oplossingen*

Het model gebruikt een combinatie van Genetisch Algoritme en constraint programming, waarbij het GA eerst clusters van klanten vormt en CP vervolgens routes binnen die clusters optimaliseert. Hoewel genetische algoritmen doorgaans effectief zijn in het snel vinden van bruikbare oplossingen, kan de toevoeging van CP de rekentijd verhogen. Dit is vooral het geval wanneer routes regelmatig opnieuw geoptimaliseerd moeten worden binnen de rolling planning horizon, wat het proces kan vertragen. De tweede methode, Branch & Price, is krachtig maar over het algemeen trager vanwege de complexiteit van de kolomgeneratie en de branchestructuur. Voor dynamische scenario's kan dit leiden tot langere rekentijden.

Score: 3/5

2.3.5 *Beoordeling nauwkeurigheid en optimaliteit van de oplossing*

De gecombineerde benadering van Genetisch Algoritme en constraint programming biedt een hoge mate van nauwkeurigheid doordat deze methoden afzonderlijke sterke punten hebben. Het GA is effectief in het vormen van optimale clusters, terwijl CP zorgt voor nauwkeurige route-optimalisatie binnen deze clusters. De Branch & Price-aanpak biedt nog meer precisie door systematisch oplossingen te verfijnen en zorgt ervoor dat de gegenereerde oplossingen voldoen aan alle beperkingen van het probleem. Dit leidt tot zeer nauwkeurige oplossingen, vooral in dynamische netwerken. Het nadeel is echter dat de nauwkeurigheid mogelijk ten koste gaat van de snelheid, vooral bij real-time optimalisatie in veranderende omgevingen.

Score: 4/5