

Vergleich von Methoden zur Lösung des Capacitated Vehicle Routing Problems (CVRP)

Walter Hoos, Alexander Hübler, David Winzer

Department Sichere Informationssysteme, FH Oberösterreich, Campus Hagenberg

Abstract—Das Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) ist ein kombinatorisches Optimierungsproblem mit vielzähligen praktischen Anwendungen in der Logistik und Tourenplanung. Ziel ist es, eine kostenminimale Reihe von Routen für eine Flotte von Lieferfahrzeugen mit begrenzter Kapazität zu finden, sodass alle Kundennachfragen bedient werden. Das CVRP ist NP-komplex und gehört zu den am intensivsten erforschten Problemen im Bereich der Tourenplanung, wodurch es eine Vielzahl von Lösungsansätzen gibt. Einige von ihnen sollen in dieser Arbeit miteinander verglichen und evaluiert werden.

I. BESCHREIBUNG DES PROBLEMS

Das Vehicle Routing Problem (VRP), auch bekannt als das Standardproblem der Tourenplanung, repräsentiert ein zentrales kombinatorisches Optimierungsproblem innerhalb der logistischen Planung und des Operations Research. Die grundlegende Zielsetzung des VRP besteht darin, für eine Flotte von Fahrzeugen die optimale Routenplanung zu ermitteln, um eine Menge von Kundenstandorten unter Berücksichtigung bestimmter Restriktionen zu beliefern. Diese Restriktionen können unter anderem die Kapazität der Fahrzeuge, Zeitfenster für die Lieferungen und die maximale Dauer der Touren umfassen.

Konzeptuell stellt das VRP eine Erweiterung des Traveling Salesman Problem (TSP) dar. Während das TSP die Suche nach der kürzesten, möglichen Route für eine/n einzelne/n Verkäufer*in, der jede Stadt genau einmal besucht und zum Ausgangspunkt zurückkehrt, zum Gegenstand hat, erweitert das VRP diese Problemstellung auf mehrere Fahrzeuge und berücksichtigt zusätzlich eine Reihe von praxisrelevanten Nebenbedingungen. Das VRP trägt somit einer komplexeren und realitätsnäheren Anforderung der Tourenplanung Rechnung. Beschrieben wurde dieses Problem erstmals durch G. B. Dantzig und J. H. Ramser im Jahr 1959.

Im Zuge dieser Arbeit soll eine spezifische Instanz des CVRP welche von P. Augerat[1] beschrieben wurde genutzt werden, um die Effektivität mehrerer Methoden zur Lösung des Problems zu evaluieren.

A. A-n80-k10

Bei der Problem Instanz handelt es sich konkret um das Problem A-n80-k10 aus dem Set A¹.

¹<http://www.vrp-rep.org/datasets/download/augerat-1995-set-a.zip>

II. BESCHREIBUNG DER VERWENDETEN WERKZEUGE (METHODIK)

Zur Lösung des CVRP gibt es verschiedene Methoden und Verfahren. Einige der bekanntesten Methoden gehören zur Kategorie der heuristischen Algorithmen, wobei diese sich in zwei Hauptgruppen unterteilen lassen:

1. **Konstruktive Heuristiken:** Diese Algorithmen erstellen iterativ eine zulässige Lösung, indem sie schrittweise Kunden zu Routen hinzufügen. Gängige Konstruktionsheuristiken für das CVRP sind beispielsweise die Savings-Heuristik, die Sweep-Heuristik und die Cluster-First, Route-Second-Methode.

2. **Verbesserungsheuristiken:** Diese Heuristiken nehmen eine bereits existierende zulässige Lösung und versuchen, diese iterativ durch lokale Suchoperationen zu verbessern. Bekannte Verbesserungsheuristiken für das CVRP sind unter anderem die λ -Interchange-Heuristik, die Or-Opt-Heuristik und die Tabu-Suche.

A. Offspring Selection Genetic Algorithm (OSGA)

B. Google OR-Tools

Die Google OR-Tools sind eine Open-Source-Software-Suite für Operations Research, die von Google entwickelt und bereitgestellt wird. Sie bietet eine Reihe von Algorithmen und Modellierungshilfen für verschiedene Optimierungsprobleme, darunter auch Lösungsansätze für das Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP).

Die OR-Tools sind in mehreren Programmiersprachen wie C++, Python und Java verfügbar und ermöglichen so eine unkomplizierte Integration in bestehende Softwaresysteme. Zudem bieten sie leistungsfähige Visualisierungsmöglichkeiten zur Darstellung der berechneten Routen.

Die Implementierung des CVRP in den Google OR-Tools erfolgt durch die Verwendung des integrierten Routing-Moduls. Dieses Modul bietet verschiedene Algorithmen und Heuristiken, die speziell für Routing-Probleme entwickelt wurden.

C. Programming Z3

Der Z3 Solver ist ein leistungsfähiges Satisfiability-Modulo-Theories (SMT) Werkzeug, das von Microsoft Research en-

IV. CONCLUSIO

[1] Philippe Augerat. “Approche polyédrale du problème de tournées de véhicules”. Theses. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, June 1995. URL: <https://theses.hal.science/tel-00005026>.

```
data = {}
data["vehicle_capacity"]=[100,100,100,100,100,100,100,100,100,100]
data["num_vehicles"]=10
data["depot"]=0

data["demand"] = [0,24,22,23,5,11,23,26,9,23,9,14,16,12,2,2,6,20,26,12,15,13,26,17,7,12,4,4,20]

data["coordinates"] = [[92,92],[88,58],[70,6],[57,59],[0,98],[61,38],[65,22],[91,52],[59,2],[3
data["distance_matrix"] = [[0,34,89,48,92,62,75,40,96,97,54,65,56,22,67,87,103,65,92,102,90,32,81,61,74,85,114,72,75,59,74
```

B. Or-Tools