

1 PG-Thema:

Vehicle Routing

2 Zeitraum: WiSe 2008/09 & SoSe 09

3 Umfang: 8 SWS pro Semester

4 Veranstalter: Markus Chimani, Karsten Klein, Prof. Petra Mutzel; Informatik LS 11, Tel. 755-7706

5 Aufgabe

Nicht zuletzt dank immer schnellerer Rechner und stetig verfeinerter Methoden hat sich der Zweig der exakten ganzzahligen Programmierung in den letzten Jahren zu einem sehr erfolgreichen und für praktische Anwendungen relevanten Forschungsfeld entwickelt.

Ziel der PG ist es, mit diesen Methoden ein erweiterbares Framework für Vehicle Routing Probleme zu entwickeln und zu implementieren. Die bei der Planung von optimalen Touren auftretenden NP-schweren Probleme sollen also durch ganzzahlige Programmierung und Branch-and-Cut Verfahren optimal gelöst werden und diese Ansätze mit existierenden (meta-)heuristischen Verfahren verglichen werden.

5.1 Vehicle Routing

Das Vehicle Routing ist eine Problemstellung, die in der Praxis in der Güterlogistik und auch in der Tourenplanung z.B. von Außendienstmitarbeitern eine wichtige Rolle spielt. Die termingerechte Steuerung des Warenverkehrs ist heutzutage eine hochkomplexe Angelegenheit geworden. Planungen für die Warenauslieferung unterliegen einer Vielzahl von Nebenbedingungen, wie etwa Kapazitätsbeschränkungen oder unsicheren Fahrzeitbestimmungen. Beim Vehicle Routing Problem geht es nun darum, Kunden mittels Lieferfahrzeugen von einem oder mehreren Depots aus möglichst effizient zu beliefern, und dabei gleichzeitig keine der Nebenbedingungen zu verletzen. Konkret hat man im einfachsten Fall eine Menge von LKWs und muss eine Vielzahl von Kunden, z.B. verteilt über das Ruhrgebiet, beliefern. Dazu muss die Kundenmenge so aufgeteilt werden, dass jeder LKW eine bestimmte Teilmenge der Kunden beliefert; diese Aufteilung muss möglichst gute Routen der LKWs erlauben, die ebenfalls zu bestimmen sind.

Ausgehend von diesem bereits NP-schweren Basisproblem treten in der Realität oft Varianten mit Nebenbedingungen auf, einige davon sind z.B.:

1. LKWs haben bzgl. Gewicht und Volumen nur bestimmte Ladekapazitäten.
2. Die Lieferungen müssen innerhalb bestimmter Zeitfenster erfolgen: Wenn man zu Hause auf das neue Sofa wartet, möchte man als Kunde ja schon vorab gerne wissen, ob die Lieferung vormittags oder nachmittags stattfindet.
3. LKWs machen nicht nur Auslieferungen (*Drop-off*) sondern holen die auszuliefernde Ware vorher bei einem anderen Kunden ab (*Pick-up*). Natürlich darf in einer gültigen Route der Drop-off eines Pakets nicht vor seinem Pick-up eingeplant werden.
4. Um eine möglichst ausgeglichene Auslastung der Fahrer zu erreichen, dürfen die Längen der LKW-Routen nicht zu unterschiedlich sein. Auch gibt es gesetzliche und tarifrechtliche Vorgaben für Fahrzeiten, die eingehalten werden müssen.

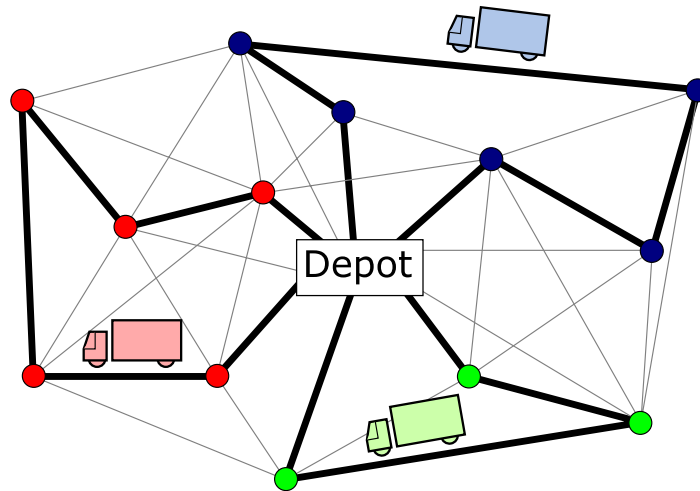


Abbildung 1: Alle Kunden werden vom Depot aus von einem der drei LKWs beliefert. Dabei ist die Gesamtweglänge der LKW-Routen minimal.

5. Individuelle Änderungen können dynamische Anpassungen der Planung nötig machen.
6. Die Ent- und Beladezeiten, sowie die Fahrzeiten zwischen zwei Kunden können z.B. aufgrund der aktuellen Verkehrssituation Schwankungen unterliegen. Siehe Abschnitt 5.3.

Das aus dem bisherigen Studium sicher schon bekannte *Traveling Salesman Problem* (TSP) ist ebenfalls NP-schwer und ein Spezialfall des Vehicle Routing Problems, bei dem man nur über ein einziges Fahrzeug verfügt.

5.2 Ganzzahlige Lineare Programmierung

NP-schwere Probleme können nach heutigem Stand des Wissens nicht in polynomieller Zeit gelöst werden. Bei der Bearbeitung solcher Problemstellungen herrscht deshalb oft die Meinung vor, dass Ansätze für das optimale Lösen hoffnungslos sind. In der Praxis werden daher bei derartigen Problemen häufig von Anfang an optimale Lösungsverfahren ausgeschlossen; man begnügt sich mit Heuristiken, Metaheuristiken oder Approximationsalgorithmen, um eine „möglichst gute“ Lösung zu finden. Allerdings ist diese Sicht der Dinge oft falsch!

Gerade in den letzten Jahren hat der ursprünglich aus der Mathematik stammende Forschungszweig der *ganzzahligen linearen Programmierung* (ILP) gezeigt, dass auch für derartige Probleme beweisbar optimale Lösungen gefunden werden können—und zwar in einer Laufzeit die nicht schlechter sein muss (und manchmal sogar besser ist!) als z.B. von Meta-Heuristiken (Evol. Algorithmen, Tabu-Search, etc.), die i.A. nur approximativ-gute Lösungen liefern.

Das Traveling Salesman Problem ist ein wunderbares Beispiel für die Effizienz von ILP-Ansätzen: Die derzeit effizientesten Codes berechnen z.B. optimale Routen mit zehntausenden von Städten, z.B. für alle knapp 25.000 Städte Schwedens. In dieser PG möchten wir uns mit ganzzahligen Programmen und Branch-and-Cut Verfahren zur Lösung von Vehicle Routing Problemen beschäftigen. Als Hilfsmittel zur Berechnung stehen uns Lizenzen für den kommerziellen LP-Solver *Ilog CPLEX* zur Verfügung, der über den derzeit mit Abstand effizientesten Code zur Lösung von LPs verfügt und damit die Berechnung von linearen Programmen ohne Ganzzahligkeitsbedingungen erheblich erleichtert.

Da die meisten von euch wahrscheinlich nur sehr wenig über ILPs und Branch-and-Cut Verfahren gehört und wohl noch nie damit gearbeitet haben, werden wir am Anfang der PG

einen „Kleinkurs“ zu diesen Themen abhalten. Dabei liegt der Schwerpunkt vor allem auf den Grundideen und deren praktischer Anwendbarkeit.

5.3 Unsicherheiten

Eine wesentliche Einschränkung fast aller derzeitigen Algorithmen für Vehicle Routing Probleme stellen die fixen Fahrzeiten dar. In der Realität ist es zumeist so, dass Fahrzeiten fehlerbehaftete Schätzwerte sind, die ggf. auch von der Tageszeit abhängig sind. Methoden um derartige Angaben in ILPs zu integrieren sind noch sehr neu und stellen einen aufkeimenden neuen Forschungszweig dar. Die Betrachtung von exaktem Vehicle Routing mit wahrscheinlichkeitsverteilten Fahrzeiten ist ein noch recht unerforschter Ansatz, und stellt ein besonders interessantes Gebiet für die PG dar.

5.4 PG Aufgabe

In der PG soll ein erweiterbares Framework für Vehicle Routing Probleme entwickelt werden. Ziel ist es, Vehicle Routing Probleme und einige Varianten davon auf der Basis von ILPs zu formulieren und effizient zu lösen. Diese Ansätze sollen dann mit bereits bestehenden heuristischen Verfahren verglichen werden. Um eine erste Formulierung in der Praxis zu verbessern gibt es verschiedene Ansätze, die von der PG durchgeführt und analysiert werden sollen. Einige davon sind:

Einsatz von Heuristiken: Hierbei geht es um die Berechnung von oberen Schranken. Umso besser eine obere Schranke ist, umso schneller kann ein Branch-and-Cut Verfahren das Optimum beweisen. Die Möglichkeiten für diese Heuristiken umfassen z.B.: konstruktive Heuristiken, Verbesserungsheuristiken (zB. Austauschverfahren), ILP-in-ILP Ansätze, etc.

Stärkere Formulierungen: Durch Änderung von Teilen der Formulierung kann man ILPs erzeugen, welche dieselbe Lösung erlauben, diese aber in kürzerer Zeit finden lassen.

Effiziente Separationsalgorithmen: Einer der Hauptpunkte bei Branch-and-Cut Verfahren ist das Identifizieren von verletzten Nebenbedingungen die noch nicht beachtet wurden. Hierzu benötigt man möglichst effiziente polynomielle Algorithmen zum Lösen der Teilprobleme.

Innerhalb des Frameworks soll es einfach möglich sein, verschiedene Formulierungen und Varianten zu evaluieren: dazu sollen die einzelnen algorithmischen Komponenten—Heuristiken zur Schrankengenerierung, Separierungsalgorithmen, etc.—als austauschbare Module implementiert werden.

Ein grosser Teil der PG Arbeit wird dabei auch dem *Algorithm Engineering Cycle* gewidmet sein, d.h. dem Testen der Implementierung auf relevanten Eingabedaten, und das Nutzen der daraus gewonnenen Erkenntnisse bei der Verfeinerung des ILPs.

Insgesamt soll in dieser PG das Interesse an exakten ILP-basierten Verfahren geweckt werden, die sich bei kombinatorischen Optimierungsproblemen immer häufiger als dominant gegenüber Metaheuristiken erweisen. Die Modularität die sich aus der Struktur von Branch-and-Cut Verfahren ergibt (also die Austauschbarkeit der algorithmischen Komponenten), bietet eine riesige Spielwiese zum Experimentieren.

6 Teilnahmevoraussetzungen

Programmierkenntnisse in Java oder C++	(V)
Algorithm Engineering oder Effiziente Algorithmen	(M)
Grundkenntnisse in und Interesse an kombinatorischer Optimierung	(W)

7 Minimalziele

1. Entwurf eines Frameworks zur Lösung von Vehicle Routing Problemen.
2. Implementierung eines ILP-basierten Verfahrens im Rahmen des Frameworks.
3. Experimenteller Vergleich der Effizienz des implementierten Verfahrens mit zumindest einem verfügbaren heuristischen Verfahren auf mehreren Benchmarkinstanzen.

8 Literatur

Vehicle Routing

- [TV01] P. Toth, D. Vigo (editors). *The vehicle routing problem*. ISBN 0-89871-498-2, Society for Industrial and Applied Mathematics, 2001.
- [Lap92] G. Laporte. *The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms*. EJOR 59 (1992), pp. 345–358.
- [WebVRP] WebVRP: Eine interessante Sammlung bekannter Verfahren, Instanzen und Resultate. Unter <http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/> und <http://www.branchandcut.org/VRP/>.

ILPs, Branch-and-Cut

- [Pad98] M. Padberg. *Linear Optimization and Extensions*. Algorithms and Combinatorics Series, Springer-Verlag, 1998.
- [JT00] M. Jünger, S. Thienel. The ABACUS system for branch-and-cut-and-price algorithms in integer programming and combinatorial optimization Source. *Software – Practice & Experience* 30(11), pp. 1325–1352, 2000.
- [Ach07] T. Achterberg, *Constraint Integer Programming*. Ph.D. thesis, Berlin, 2007.

Stochastische Programmierung

- [BL97] J. R. Birge, F. Louveaux. *Introduction to Stochastic Programming*. Springer Series in Operations Research, Springer-Verlag, 1997.

Rechtliche Hinweise: Die Ergebnisse der Projektarbeit inklusive der dabei erstellten Software sollen uneingeschränkt zu akademischen Zwecken zur Verfügung stehen. Darüberhinaus ist die Entscheidung in Bezug auf die Verwertungsrechte Sache der Projektgruppe.