



FACHBEREICH MASTER INFORMATIK

Logistik-Seminar

Verfahren der Tourenplanung

Andre Bente

Abgegeben am:
13.07.2012

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Motivation	2
3	TSP vs. VRP	3
4	Klassifikation	4
4.1	Depot- und Kundencharakteristik	4
4.2	Fahrzeugcharakteristik	5
4.3	Problem- oder Zusatzcharakteristik	6
4.4	Zielsetzung	6
5	Standardprobleme	7
6	Exakte Verfahren	8
7	Heuristische Verfahren	10
7.1	Eröffnungsheuristiken	10
7.2	Verbesserungsheuristiken	12
8	Moderne Verfahren	13
8.1	Tabusuche	13
8.2	Simulated Annealing	14
9	Einsatz	17
10	Ausblick	18
	Literaturverzeichnis	19

1 Einleitung

Als Tourenplanung wird die Lösung von Tourenproblemen (kurz für Probleme der Tourenplanung) gesehen, sowohl manuell als auch mit Einsatz von Informationssystemen. Nachfolgend werden moderne Ansätze und Aspekte der Lösung von Tourenproblemen mit Hilfe von Informationssystemen betrachtet, die manuelle Tourenplanung, wie sie vor allem noch von kleineren Logistikunternehmen durchgeführt wird, wird hier nicht behandelt.

Ein typisches Tourenproblem beschäftigt sich zum Beispiel damit Waren, die an einem Ort aufgenommen werden können, zu unterschiedlichen Kunden zu liefern, wobei dabei die Ladekapazität des eingesetzten Fahrzeugs und die Fahrzeit Restriktionen darstellen. So ein Tourenproblem muss zum Beispiel ein Heizöllieferant, der seine Kunden beliefert, täglich lösen.

In dieser Ausarbeitung wird auf die Motivation zum Einsatz informationsgestützter Tourenplanungssysteme, die Klassifikation verschiedener Tourenprobleme und die so genannten Standardprobleme der Tourenplanung eingegangen. Danach wird zunächst auf die Unterschiede zwischen dem TSP und dem Tourenproblem und dann auf exakte und heuristische Lösungsverfahren für Tourenprobleme eingegangen. Zum Schluss werden zwei der derzeit gebräuchlichsten modernen Verfahren vorgestellt, sowie auf den heutigen und zukünftigen Einsatz der Tourenplanung eingegangen.

2 Motivation

Es gibt viele Gründe, die einem Einsatz von Informationssystemen bei der Lösung von Tourenproblemen rechtfertigen. Unter anderem kann die Software meist direkt auf Distanzen und Fahrzeiten zwischen unterschiedlichen Orten im Liefergebiet zugreifen und so schneller arbeiten als ein Disponent, der jede Entfernung und Fahrzeit vorher nachsehen oder bereits wissen muss. Ein erfahrener Disponent wird sich allerdings in seinem Liefergebiet sehr gut auskennen und auch Informationen haben, die so im Informationssystem meist nicht vorhanden sind. Ein gutes Beispiel für diese Informationen ist zum Beispiel das Wissen, wie lange eine bestimmte Strecken an einem bestimmten Wochentag zu einer bestimmten Stunde dauert. Auch wenn viele Anbieter von Tourenplanungssystemen versuchen diese Informationen ebenfalls zu gewinnen und zu nutzen, wird ein Disponent in diesem Punkt einem Tourenplanungssystem immer überlegen sein.

Beim Aufbau von vielen unterschiedlichen Touren mit einem heterogenen Fuhrpark hingegen kann das Tourenplanungssystem seine Stärken ausnutzen, weil es in kurzer Zeit viel mehr Möglichkeiten durchspielen kann, als das der Disponent könnte. Mit der Unterstützung durch Tourenplanungssysteme können auch unerfahrene Disponenten relativ schnell gute Ergebnisse erzielen und die erfahrenen Disponenten haben mehr Zeit aktuell bei der Auslieferung anfallende Probleme zu lösen. Gerade bei schwierigen Liefergebieten, in denen es zum Beispiel viele Staus oder einen schlechten Zugang zu den Kunden gibt, kann der Disponent dann selbst eingreifen und mehr Zeit darin investieren diese Gebiete optimal zu beliefern.

Neben der Entlastung der Disponenten bietet ein gutes Tourenplanungssystem außerdem die Möglichkeit schon bei der Vordisposition möglichst genau die Auslieferungskosten zu bestimmen, was dafür sorgt, dass es möglich wird einem Kunden schnell einen guten Preis zu nennen ohne zu sehr Gefahr zu laufen einen Verlust einzufahren.

3 TSP vs. VRP¹

Dieses Kapitel beschäftigt sich kurz mit dem Unterschied zwischen dem Problem des Handlungsreisenden (Travelling Salesman Problem) und dem Transportproblem (Vehicle Routing Problem). Im Allgemeinen kann man sagen, dass ein VRP aus zwei Teilproblemen besteht, nämlich der Aufteilung der Kunden auf Touren und der Festlegung der Routen. Um die Routen festzulegen muss für jede Tour ein TSP separat gelöst werden. Beim Transportproblem muss also zusätzlich zur reinen Anwendung der TSP-Verfahren auch ein Verfahren angewendet werden, das die zu beliefernden Kunden auf unterschiedliche Touren aufteilen kann. Durch dieses so genannte "Clustering" wird die Komplexität der einzelnen TSPs reduziert, weil es von der Laufzeit her viel günstiger ist 10 TSPs mit jeweils 10 Kunden zu lösen als ein TSP mit 100 Kunden. Bei einem reinen TSP Problem ist es hingegen nicht nötig die einzelnen Stationen in unterschiedliche Routen aufzuteilen, weil diese per Definition alle nacheinander in einem Durchlauf angefahren werden können.

¹Vgl. [JAC99] Seite 5

4 Klassifikation¹

Wenn man ein Tourenproblem lösen möchte ist es äußerst hilfreich, wenn man weiß um welche Art von Tourenproblem es sich handelt. Allen Tourenproblemen gleich ist, dass eine Zielfunktion aufgestellt wird, die minimiert oder maximiert werden soll. Welche Komponenten diese Zielfunktion aufweist ist maßgeblich von der Klassifikation des Tourenproblems abhängig. Ziel ist es dabei mit Hilfe von Charakteristiken das aktuell vorliegende Problem einem Standardproblem zuzuordnen. Anhand dieses Standardproblems finden sich dann Verfahren, die, vielleicht in leicht abgewandelter Form, das Problem lösen.

Insgesamt werden vier Hauptcharakteristiken unterschieden.

4.1 Depot- und Kundencharakteristik

Hier werden die Besonderheiten bezüglich des Tourenproblems bei den Depots und den Kunden angegeben. Wichtig ist vor allem die Anzahl der Depots, wobei hier besonders die Fälle für kein, ein oder mehr als ein Depot wichtig sind. Die Art des Bedarfs ist ein weiterer Punkt, bei dem angegeben wird ob der Bedarf an den Kanten, an den Knoten oder an den Kanten und an den Knoten des Graphen auftritt. Darüber hinaus können eine Abholung von einem Kunden und ein Transport zu einem anderen Kunden nötig sein, was den klassischen Speditionsfall beschreibt. Als nächstes ist wichtig, ob es möglich ist Teillieferungen durchzuführen und wie sich die Art der Bedienung darstellt. Es wird dabei zwischen Kunden unterschieden, bei denen entweder Ware aufgenommen oder abgeholt werden kann und solchen, bei denen beides gleichzeitig möglich ist. Auch die zeitliche Beschränkung für die Belieferung spielt eine wichtige Rolle. Es wird unterschieden zwischen keiner Beschränkung, einer festen Bedienzeit, einem harten Zeitfenster pro Kunde, einem weichen Zeitfenster pro Kunde und meh-

¹Vgl. [DOM10] Seite 200ff

rerer Zeitfenstern. Harte Zeitfenster dürfen bei der Tourenplanung auf gar keinen Fall verletzt werden, weil durch sie sonst die Lösung ungültig wird, wohingegen weiche Zeitfensterverletzungen lediglich mit Strafkosten belegt werden aber die Gültigkeit der Lösung nicht beeinflussen. Des Weiteren gibt es noch mögliche Reihenfolgebeziehungen zwischen Kunden, die zum Beispiel bei Sammelbestellern vorgegeben sein könnten. Als Letztes gibt es noch die Information, ob eine Kunde oder eine Kante bedient werden muss, oder ob es zum Beispiel möglich ist nur eine Teilmenge der Kunden oder Kanten zu beliefern, wie das zum Beispiel beim Ausbringen von Wurfbältern der Fall sein kann. Teil dieser Restriktion ist auch noch, ob es möglich ist Kunden zunächst nicht zu beliefern und später bei einer Nachlieferung zu berücksichtigen. Es kann auch sein, dass man nur einen Kunden von einer größeren Menge von umliegenden Kunden bedienen muss. Dieser Fall tritt zum Beispiel bei der Entnahme von Öl aus einer Pipeline auf.

4.2 Fahrzeugcharakteristik

Es werden die verschiedenen fahrzeugbezogene Restriktionen und Voraussetzungen beschrieben. Als Erstes sieht man sich die Anzahl der verfügbaren Fahrzeuge und deren Kapazitätsrestriktionen an. Die Kapazität kann entweder gar nicht beschränkt sein, wenn zum Beispiel nur eine Dienstleistung befördert wird, oder alle Fahrzeuge haben die gleiche beschränkte Kapazität. Häufig ist der Fuhrpark jedoch nicht homogen, sondern heterogen, das bedeutet, dass unterschiedliche Fahrzeuge mit jeweils unterschiedlich beschränkten Kapazitäten vorhanden sind. Als Nächstes ist es wichtig, ob der Fahrzeugeinsatz zeitlich beschränkt ist und auch hier wieder, ob es unterschiedliche Zeitfensterbeschränkungen bei den unterschiedlichen Fahrzeugen gibt. Weiterhin kann es eine Beschränkung der maximalen Dauer einer Tour pro Fahrzeug geben. Schließlich kann es sein, dass es zugelassen ist mehrere Trips innerhalb einer Tour zu fahren, oder eben nicht. Eine Tour umfasst dabei alle Stationen vom Start im Fahrzeugdepot bis hin zum Ende im Fahrzeugdepot. Ein Trip beschreibt jeweils nur die Stationen zwischen Warenaufnahme und der nächsten Warenaufnahme oder dem Ende im Fahrzeugdepot.

4.3 Problem- oder Zusatzcharakteristik

Hier wird vor allem auf die Art des Graphen eingegangen, so kann es sich um einen gerichteten, um einen ungerichteten oder einen gemischten Graphen handeln. Bei der Tourenplanung kann es durchaus große Unterschiede zwischen dem Hinweg und dem Rückweg geben, weshalb hier häufig mit gerichteten Graphen gearbeitet wird. Es gibt aber auch Ansätze die mit ungerichteten Graphen arbeiten und dabei teilweise sogar nur auf Luftlinienberechnungen der Distanzen zwischen zwei Punkten zurückgreifen. Es werden auch die Restriktionen zwischen Kunden und Fahrzeugen untersucht, sofern welche existieren. Als Beispiel für eine solche Restriktion kann zum Beispiel ein Kunde sein, der in einer Altstadt wohnt, die nur mit Fahrzeugen mit einer Höhe unter 3,50 m befahren werden kann. Weiterhin ist entscheidend, ob der Plan nur für eine oder für mehrerer Perioden erstellt wird. Ein Plan, der zum Beispiel nur für einen Tag erstellt wurde, kann für diesen einen Tag gut sein, wenn aber noch weitere Tage folgen, könnten diese von der Auswahl der Kunden für den ersten Tag negativ beeinflusst werden. Um diese Probleme zu reduzieren bietet es sich an das Liefergebiet in Lieferzonen einzuteilen, die an unterschiedlichen Tagen beliefert werden. Außerdem kann es sein, dass ein Kunde innerhalb eines mehrperiodigen Planes nicht nur einmal, sondern mehrfach beliefert werden muss, was zum Beispiel bei der Belieferung von Tankstellen mit Treibstoff häufig der Fall ist.

4.4 Zielsetzung

Es gibt unterschiedliche Zielsetzungen, die man mit einer Tourenplanung erreichen möchte. Die Minimierung der in den Touren zurückgelegten Gesamtentfernung kann durch eine entsprechende Angabe von Kosten für eine zurückgelegte Distanz erfolgen. Die Summe der Fahrzeiten lässt sich mit dem Festlegen von Stundensätzen für die Fahrzeuge oder Fahrer minimieren. Die Anzahl der benötigten Fahrzeuge oder Touren kann mit Initialkosten, die bei jedem neu benutzen Fahrzeug oder jeder neuen Tour erhoben werden, minimiert werden. Durch das Aufstellen der Zielfunktion mit diesen Komponenten und Gewichtungen lässt sich die Summe der Gesamtfahrkosten ein Planes minimieren. Als weitere Komponente in der Zielfunktion sind die Stafkosten denkbar, die beim Verletzen einer weichen Restriktion entstehen, oder aus der Nichtbelieferung eines Auftrags resultieren.

5 Standardprobleme¹

Im Allgemeinen werden fünf Standardprobleme der Tourenplanung unterschieden. Mit Hilfe der Klassifikation ist es möglich eine erhaltenen Aufgabenstellung auf eines dieser Standardprobleme zurückzuführen. Kennt man erst einmal das Standardproblem, so ist möglich ein geeignetes Verfahren zur Lösung dieser Aufgabenstellung zu finden, das man dann so anpassen kann, das es diese möglichst gut löst.

Im Folgenden sind die fünf Standardprobleme genannt:

1. Capacitated Vehicle Routing-Problem (CVRP): Ein normales VRP mit einer eingeschränkten Kapazität der Fahrzeuge und dem Verzicht auf Teilbelieferung ohne irgendwelche zeitlichen Restriktionen.
2. CVRP mit Zeitrestriktionen: Diese Problem verhält sich wie das CVRP, jedoch gibt es eine Beschränkung der Fahrzeit.
3. VRP mit Zeitfenstern (VRPTW): Hier werden zusätzlich zum VRP noch Zeitfensterrestriktionen beim Kunden angegeben durch die es zu Verspätungen und Wartezeiten beim Kunden kommen kann.
4. Capacitated Chinese Postman-Problem (CCPP): Ein Problem, bei dem alle Kanten des Graphen komplett bedient werden müssen, was zum Beispiel bei der Müllabfuhr der Fall ist.
5. Kapazitiertes kantenorientiertes VRP (CARP): Hier verhält es sich wie beim CCPP, nur dass es nicht nötig, und meist auch nicht möglich, ist alle Kanten zu bedienen, weil zum Beispiel nur ein beschränktes Kontingent von Werbeutensilien vorhanden ist, die in einer Stadt verteilt werden sollen.

¹Vgl. [DOM10] Seite 203ff

6 Exakte Verfahren¹

Durchprobieren aller Lösungen, die eine Verbesserung der Zielfunktion versprechen. Im einfachsten Fall werden einfach alle möglichen Lösungen durchprobiert und die beste genommen. Da das Transportproblem als Teilproblem das TSP enthält und dieses zur Klasse der NP-schweren Probleme gehört wächst der Rechenaufwand bei den exakten Verfahren im schlimmsten Fall exponentiell zur Problemgröße.

Eine gute Möglichkeit den Rechenaufwand im Durchschnitt drastisch zu reduzieren bieten Branch&Bound - Verfahren, die einen Lösungsbaum aufbauen, in dem die jeweiligen Kinder einer Lösung jeweils durch eine Operation abgeleitete Lösungen enthalten. Dieser Baum wird systematisch immer weiter aufgebaut, solange eine definierte Bedingung für die ermittelten Lösungen zutrifft. Trifft diese Bedingung nicht mehr zu, dann wird der betreffende Teilbaum nicht mehr weiter untersucht. Häufig wird vor der Anwendung des Branch&Bound - Verfahrens eine gültige Ausgangslösung mit Hilfe einer Eröffnungsheuristik bestimmt, was die Rechenzeit drastisch reduzieren kann. Durch das Speichern aller bisherigen Lösungen im Lösungsbaum ist es möglich Zyklen auszuschließen.

Eine Erweiterung des Branch&Bound - Verfahrens stellt das Branch&Cut - Verfahren dar, das mit besser geeigneten Nebenbedingungen, die jeweils ganze Lösungszweige abschneiden und so das Verfahren beschleunigen können, arbeitet. Es werden dabei anders als beim Branch&Bound - Verfahren in der Praxis nicht nur globale Informationen wie der Zielfunktionswert als Schranke benutzt, sondern auch Abhängigkeiten zwischen zum Beispiel Fahrzeug und Kunde, die dafür sorgen, dass ein Zweig gar nicht erst untersucht werden muss. So ist es zum Beispiel nicht nötig eine Lösung zu untersuchen bei der ein Fahrzeug, das für den Transport von Heizöl ausgestattet ist, einen Kunden beliefern soll, der eine Gasheizung hat. Wenn es genügend von solchen Abhängigkeiten gibt und das Tourenproblem nicht zu groß ist, dann lassen sich in

¹Vgl. [DOM10] Seite 6ff, Seite 19f

der Praxis mit diesem Verfahren tatsächlich exakte Lösungen in annehmbarer Zeit berechnen.

7 Heuristische Verfahren

Berechnen nicht genau, sondern nähern die optimale Lösung nur an aber liefern, meist in relativ kurzer Zeit, für die Praxis brauchbare Ergebnisse. Es kann nicht gesagt werden, wie nah die so ermittelte Lösung am Optimum ist, es kann nur ein möglicher Fehler abgeschätzt werden. Bei einem heuristischen Verfahren ist es auch immer möglich, dass dieses zum Beispiel ein Tourenproblem nicht mit einer gültigen Lösung abschließen kann, obwohl es eigentlich eine gibt. Häufig werden diese Heuristiken zum Lösen eines speziellen Tourenproblems genommen und speziell an dieses Problem angepasst um die Lösungsqualität bei begrenzter Laufzeit zu maximieren. Die Heuristischen Verfahren unterteilen sich in die so genannten Eröffnungsheuristiken und die Verbesserungsheuristiken.

7.1 Eröffnungsheuristiken¹

Es geht darum erst einmal eine gültige Ausgangslösung zu finden, mit der dann die Verbesserungsverfahren weiter arbeiten können. Je nach Verfahren erzeugen die Eröffnungsheuristiken ungültige oder auch gültige Ausgangslösungen, die von der Qualität her stark differieren. Je nach verwendetem Verbesserungsverfahren kann die Qualität der mit dem Eröffnungsverfahren erzeugen Ausgangslösung wichtig oder weniger wichtig für die Laufzeit oder die Qualität des Ergebnistourenplans sein.

Es werden drei verschiedene Strategien verfolgt:

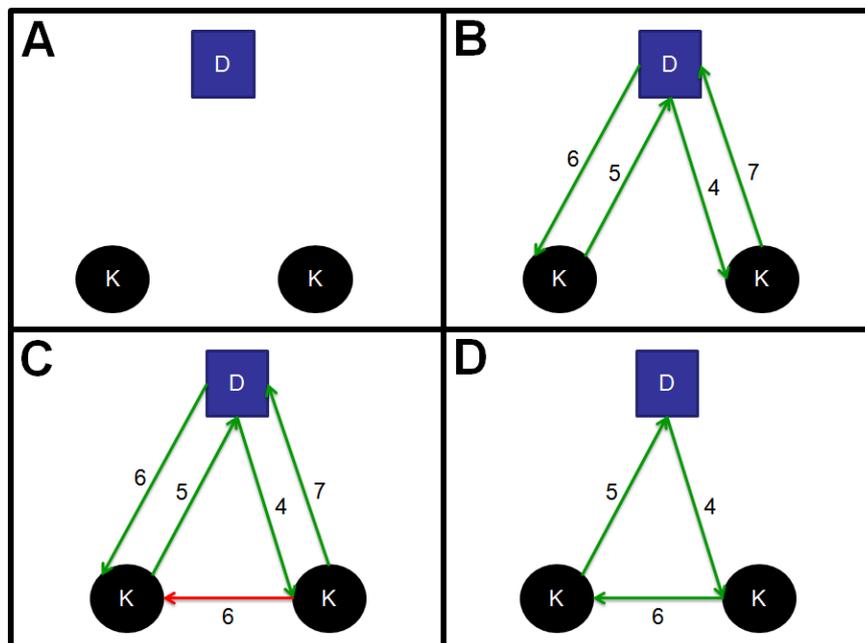
1. Route first - Cluster second: Zunächst wird, wie beim TSP, eine Route bestimmt, die alle Kunden enthält. Dann wird diese Route so aufgeteilt, dass vorher gegebene Zeit- und Kapazitätsrestriktionen erfüllt sind. Dafür werden einfach nacheinander im Verlauf der Route solange Kunden zu einem Cluster hinzugefügt,

¹Vgl. [JAC99] Seite 7, Seite 12ff

bis eine Zeit- oder Kapazitätsrestriktion verletzt wird, dann wird das Cluster abgeschlossen und ein neues Cluster geöffnet.

2. Cluster first - Route second: Die Kunden werden zunächst in mehreren Clustern zusammengefasst und dann werden mit Hilfe eines TSP-Verfahrens die Routen innerhalb eines Clusters gebildet. Bei knotenorientierten Problemen, wie dem VRP, wird diese Vorgehensweise bevorzugt.
3. Cluster and Route: Bei einem solchen Verfahren werden die Touren so aufgebaut, dass gleichzeitig Cluster und Routen gebildet werden. Ein Beispiel für diese Vorgehensweise ist das Savings-Verfahren für VRPs.

Als eine gute Eröffnungsheuristik bietet sich das Savings-Verfahren an, das in einem Schritt die Routenbildung und die Zuordnung ermöglicht.



Das Verfahren beginnt mit einem Tourenplan, in dem lediglich Hin- und Rückkanten zwischen dem Depot (D) und den Kunden (K) eingeführt werden. Wenn man dann zwei Kunden miteinander durch eine Kante verbindet spart man sich in der so entstehenden Tour den Hinweg vom Depot zu einem Kunden und den Rückweg vom anderen Kunden zum Depot. Diese Ersparnis, die noch um die Länge der Kante zwischen den Kunden reduziert werden muss, hat dem Verfahren seinen Namen gegeben. Beim Savings-Verfahren werden in jedem Schritt jeweils die zwei Kunden miteinander verbunden, bei

denen sich die größte Ersparnis ergibt. Dabei entstehen im weiteren Verlauf natürlich auch Touren mit mehr als zwei Kunden, wobei die Tourengröße dann durch Zeit- oder Kapazitätsrestriktionen begrenzt sein kann. So bilden sich ganz automatisch im Verlauf des Verfahrens Cluster aus Kunden, die in einer Tour liegen.

7.2 Verbesserungsheuristiken²

Bei vielen der heutzutage eingesetzten Verbesserungsheuristiken handelt es sich um so genannte Metaheuristiken, die auf dem Prinzip der der lokalen Suche basieren. Bei der lokalen Suche wird in jedem Schritt die durch die Eröffnungsheuristik erzeugte Lösung verändert. Alle Veränderungen einer Lösung, die zum Beispiel aus einer einfachen Vertauschung von zwei Stopps in einer Tour bestehen, werden als Nachbarschaft dieser Lösung bezeichnet. Es wird jeweils in der Nachbarschaft einer Lösung weitergesucht, die den besten Zielfunktionswert geliefert hat. Sobald keine Verbesserung der Zielfunktion mehr erzielt werden kann terminiert die traditionelle lokale Suche.

Mit der lokalen Suche arbeitet auch das so genannte k-Opt-Verfahren, das sicherstellt, dass durch k beliebige Vertauschungen im Lösungstourenplan keine Verbesserung der Zielfunktion mehr erzielt werden kann. Einen mit dem k-Opt-Verfahren bearbeiteten Tourenplan nennt man k-optimal. Dieses Verfahren lässt sich sowohl beim TSP, als auch beim VRP anwenden. Sowohl die Verfahren die Simulated Annealing oder die Tabusuche einsetzen arbeiten mit dem Prinzip der lokalen Suche und liefern im Durchschnitt bessere Ergebnisse bei kürzerer Rechenzeit als das k-Opt-Verfahren. Allerdings lässt sich bei diesen Verfahren die werbeträchtige Aussage der k-Optimalität nicht mehr anbringen, weshalb häufig im Anschluss ein k-Opt-Verfahren durchgeführt wird um diese sicherzustellen.

Zusätzlich zu den bereits genannten Verfahren gibt es noch die Genetischen Algorithmen, bei denen einfach gesagt die besten Teile von je zwei oder mehr Lösungen zu einer noch bessern Lösung kombiniert werden, und die Ameisenverfahren, die orientiert am Vorbild der Natur mit Hilfe von virtuellen Pheromonkonzentrationen auf dem Graphen gute und darüber hinaus flexible Lösungen finden.

²Vgl. [JAC99] Seite 8ff

8 Moderne Verfahren

Bei den so genannten modernen Verfahren handelt es sich um Verfahren, die mittlerweile von einer Vielzahl von Tourenoptimierungsanbietern eingesetzt werden. Dabei handelt es sich meist um so genannte Meta-Verfahren, die eine grundlegende Idee mit weiteren geeigneten Verfahren kombinieren, um so ein bestmögliches Ergebnis zu erzielen.

Zwei Verfahren, die vor allem in der Logistik eine breite Anwendung finden, sind die Tabusuche und das Simulated Annealing.

8.1 Tabusuche¹

In einer Liste oder mehreren Listen werden bereits getätigte Veränderungen der Nachbarschaften, so genannte Moves, vorübergehend gespeichert, um eine Rückkehr zu bereits untersuchten Nachbarschaften zu verbieten. Diese Liste wird Tabuliste genannt. Die Verwendung einer solchen Tabuliste ist allen Verfahren gemein, die als Tabusuche bezeichnet werden, in anderen Punkten variieren diese jedoch stark. Das Ziel ist dabei immer möglichst Suchzyklen zu vermeiden, ohne dabei die Flexibilität der Suche zu weit einzuschränken. Um dies zu gewährleisten wird die Länge der Tabuliste meist beschränkt oder dynamisch während des Programmlaufes zwischen einem Minimum und einem Maximum verändert. Eine weitere Möglichkeit die Tabusuche zu steuern ist das so genannte Aspirationskriterium, mit dem es möglich ist einen Move, der eigentlich durch die Tabuliste verboten wurde, dennoch durchzuführen. Dies kann zum Beispiel eine Verringerung der Gesamtkosten für den Tourenplan sein, der durch diesen Move entsteht oder eine dadurch mögliche Reduzierung der Anzahl der benötigten Fahrzeuge, je nach Anforderung.

¹Vgl. [JAC99] Seite 48ff

Es wird kurz ein Verfahren geschildert, das auf dem Prinzip der Tabusuche basiert und das weitestgehend deterministisch arbeitet, weil nur eine kleine Zufallskomponente enthalten ist, die sich zum Beispiel auch durch eine Schablone ersetzen lässt. Ein großer Vorteil dieses Verfahrens ist dann die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse bei gleicher Eingabe.

Verfahren von Osman:

Suchstrategie:

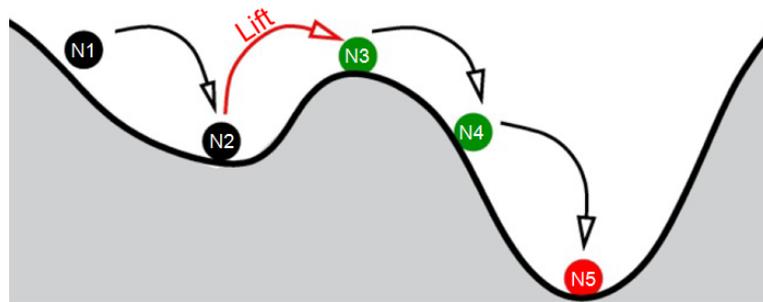
1. An die Tabuliste wird immer jeweils der letzte Move angehängt. Ist die maximale Länge der Tabuliste erreicht, so wird der älteste gespeicherte Move gelöscht.
2. Bei einer festgelegten Tabulistenlänge von 10 wird diese zum Beispiel auf 8, 10 und 12 festgelegt, wobei diese drei Einstellungen jeweils nach 10 Moves in einer vorher festgelegten zufälligen Reihenfolge geändert werden.
3. Immer nach 100 Moves wird die Reihenfolge der Tabulistenlängen zufällig neu bestimmt und es geht weiter.

Das Verfahren stoppt, wenn seit Erreichen der bisher besten Lösung 500 Moves durchgeführt wurden.

8.2 Simulated Annealing²

Ist von einem Verfahren zur Simulation der Energiezustände bei der Abkühlung von anfangs erhitzten Materialien abgeleitet, wobei die Energie dem zu minimierenden Zielfunktionswert eines Tourenproblems entspricht. Wichtig ist hierbei, dass nicht nur eine Verringerung des Energieniveaus, sondern auch eine kurzzeitige Erhöhung des Energieniveaus, ein so genannter Lift, möglich ist.

²Vgl. [JAC99] Seite 37ff



Bei der Lösung eines Tourenproblems bedeutet dies für einige Schritte auch Nachbarschaften zuzulassen, deren Zielfunktionswert schlechter ist als der der bisher besten Nachbarschaft (N2), um so letztendlich eine wirklich Verbesserung desselben zu erreichen (N5). Die Suche nach besseren Nachbarschaften wird dabei durch den so genannten Kühlplan gesteuert, der die Flexibilität bei der Wahl neuer Nachbarschaft, auch was die Verschlechterung des Zielfunktionswertes angeht, immer weiter einschränkt. Durch dieses Vorgehen versucht man, meist erfolgreich, lokale Minima wieder zu verlassen und ein nahegelegenes besseres Minimum zu erreichen.

Im Folgenden wird kurz eines der vielen möglichen Verfahren für die Vorgehensweise des Simulated Annealing vorgestellt. Dieses Verfahren ist relativ einfach, weil es keine Zyklen vermeidet und die Nachbarschaften zufällig ausgewählt werden.

Verfahren von Breddam:

Als Vorbereitungen muss die Variable T für die Wahrscheinlichkeit einer Erhöhung des Energieniveaus auf 1 gesetzt werden. Am Anfang ist die Wahrscheinlichkeit, dass auch Nachbarschaften mit einem schlechteren Zielfunktionswert untersucht werden, also bei 100%.

Vorgehen:

1. Zufällig zwei Touren auswählen.
2. In beiden zufällig Teilstücke / Einfügepositionen bestimmen.
3. Den Zielfunktionswert nach Vertauschen / Einfügen bestimmen.
4. Jeweils die beste Lösung speichern.

5. Nachdem 1000-mal die Schritte 1-4 durchgeführt wurden, wird T um 0,1 reduziert.

Abbruchbedingungen:

1. Wenn T kleiner ist als 0,1 ist.
2. Wenn weniger als 1% der der letzten 1000 überprüften Lösungen gültig waren.
3. Wenn bereits 1.000.000 Lösungen geprüft wurden.

9 Einsatz

Die Verfahren der Tourenplanung werden in vielen Bereichen der Logistik eingesetzt, bei denen es darum geht Waren, Personen oder andere Dinge zu transportieren. Dabei ist es egal, ob der Transport auf einem Straßennetz, auf Schienen oder auf dem Wasserweg erfolgt, die Verfahren lassen sich auf diese Anforderungen anpassen. Auch der Weg der Waren in einem Lager vom Einlagern bis hin zum Auslagern, sowie das Verteilen der Hauspost eines großen Industrieunternehmens kann abgebildet werden.

Unter anderem in folgenden Branchen werden Verfahren der Tourenplanung eingesetzt:

Speditionen Neben normaler Tourenplanung auch strategische Entscheidungen wo zum Beispiel ein Umschlagslager aufgebaut werden muss.

Kundendienst Hier wird das klassische TSP gelöst, damit ein Vertreter möglichst viele Kunden an einem Tag besuchen kann.

Abfallwirtschaft Das effektive Planen von Müllabholkalendern für die verschiedenen Mülltonnen in einer Stadt kann die Kosten stark reduzieren.

Personenbeförderung Die Entscheidung, wo eine neue Bahnlinie gebaut werden sollte und wie sich ein solcher Bau auf den umliegenden Verkehr auswirken würde, kann simuliert werden.

10 Ausblick

Durch die steigenden Preise für Treibstoffe und die Zunahme von Staus auf unseren Straßen werden die Transportkosten immer höher, wodurch sich natürlich auch höhere Einsparpotenziale für eine gute Planung bieten. Immer mehr Waren werden nicht am Verbrauchsort produziert und daher steigt das Transportaufkommen rapide, was in der Zukunft noch mehr zunehmen wird. Durch die im Transportgewerbe starke Konkurrenz und den starken Preisdruck wird es nötig vorher finanziell eher uninteressante Bereiche der Logistik zu untersuchen um hier Einsparungen zu erzielen. Ein weiterer interessanter Punkt ist die Abbildung des Bestellprozesses über die Planung der Auslieferung bis hin zur tatsächlichen Lieferung. Gerade bei der Annahme der Bestellung gibt es viel Potenzial durch gute Planung die Kosten der später bei der Planung der Auslieferung zu erzeugenden Touren zu reduzieren. Schließlich bietet sich die Möglichkeit die Fahrzeuge bei der Auslieferung zu überwachen und bei etwaigen Problemen oder kurzfristig auftretenden Veränderungen der Liefersituation die Tourenpläne dynamisch anzupassen.

Literaturverzeichnis

- [DOM10] Domschke, Wolfgang, Scholl, Armin. *Logistik: Rundreisen und Touren*, Auflage: 5, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München, Deutschland, 2010
- [JAC99] Jacobi, Anne. *Kooperative Tabusuche: Ein neuer metaheuristischer Ansatz, entwickelt und dargestellt auf der Grundlage von Tourenplanungsproblemen*, Herbert Utz Verlag GmbH, München, Deutschland, 1999