

conTour

```
graph TD; A[conTour] --- B[Problemstellung]; B --- C[Vorarbeiten]; C --- D[Lösungsansätze];
```

Problemstellung

Vorarbeiten

Lösungsansätze

Problemstellung

```
graph TD; A[Problemstellung] --- B[Ziel]; A --- C[Restriktionen]; A --- D[Strukturelemente]; A --- E[Mathematisches Modell];
```

Ziel

Restriktionen

Strukturelemente

Mathematisches Modell

Ziel

Bei der **Tourenplanung** geht es um die Zuordnung von Zielorten zu **Touren** und innerhalb der Touren um die Reihenfolge, in der die Zielorte zu **Routen** geordnet werden.

Tourenplanung = Zuordnungs - Optimierung
+ Reihenfolge - Optimierung

Die **Zuordnungs - Optimierung** soll die Elemente einer Ausgangsmenge (z.B. alle Aufträge im Depot) den Elementen einer Zielmenge (z.B. verfügbare Transportmittel) optimal zuordnen. Optimal heißt z.B., daß möglichst wenige LKW eingesetzt werden.

Die **Reihenfolge - Optimierung** soll Elemente einer Menge (z.B. Aufträge in einem LKW) in eine optimale Reihenfolge bringen. Optimal heißt hier z.B., daß die zurückgelegte Wegstrecke minimiert wird.

Maßgeblich für die Reihenfolge - Planung sind die **Distanzen** zwischen den Kundenorten, bzw. Kundenort und Depot. Damit sind entweder die tatsächlichen Entfernungen, oder die Fahrzeiten oder die Fahrkosten gemeint.

Ziel : Auffindung eines optimalen Tourenplanes, d.h. eines Tourenplanes minimaler Gesamtdauer bei minimaler Tourenzahl.

Restriktionen

Kapazität des Transportmittels

gewichtsmäßig
volumenmäßig

Fahrzeugpersonal

ununterbrochene Lenkzeit, Höchstlenkzeit,
Pausen und Ruhezeiten, tägl.Höchstfahrstrecke

Transportleistung

Spezialfahrzeuge
verschiedene Transportgüter

Zielorte

Nahverkehrszone, örtliche Gegebenheiten (z.B.
Einfahrten), Be- und Entlademöglichkeiten

zeitliche Restriktionen

Belieferungszeiträume, früheste Anfahrzeiten,
zeitlich befristete Halteverbote

Verkehrswege

Einbahnstraßen, zulässige u. gesperrte Straßen
Abbiegeverbote, wetterbedingte Befahrbarkeit

Strukturelemente

Geographische Struktur

- Lage des Ausgangsortes
- Lage der Zielorte
 - * zueinander
 - * Häufungen
 - * Reihungen entlang einer Straße

Kapazitive Struktur

- Auftragsgrößen
- Bedarf der Kunden
- Fahrzeugkapazitäten

zeitliche Struktur

Bei Vorliegen einer ungünstigen zeitlichen Struktur ist zuerst zu prüfen, ob diese nicht verbessert werden kann. Dazu müssen in erster Linie die zeitlichen Restriktionen der Zielorte untersucht werden.

Mathematisches Modell

Inputdaten

- n - Anzahl der Kunden P_i $i = 0, \dots, n$; Depot - Kunde P_0
- m - Anzahl der verfügbaren Fahrzeuge F_k $k = 1, \dots, m$
- a_{ij} - kürzeste Distanz zwischen Kunde P_i und Kunde P_j
- b_i - Bedarf des Kunden P_i
- c_k - Kapazität des Fahrzeuges F_k
- T_k - maximale Dauer der Route für Fahrzeug F_k
- t_{ik} - Lieferdauer des Fahrzeuges F_k beim Kunden P_i
- t_{ijk} - Fahrzeit des Fahrzeuges F_k von P_i zum Kunden P_j

Entscheidungsvariablen

$$y_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{falls Kunde } P_i \text{ von Fahrzeug } F_k \text{ beliefert wird} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{falls } P_j \text{ unmittelbar nach } P_i \text{ von } F_k \text{ beliefert wird} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Mathematisches Modell

Entscheidungsmodell

$$(1) \quad \min \sum_{ijk} a_{ij} \cdot x_{ijk}$$

so daß

$$(2) \quad \sum_i b_i \cdot y_{ik} \leq c_k \quad k = 1, \dots, m$$

$$(3) \quad \sum_k y_{ik} = \begin{cases} m & i = 0 \\ 1 & i = 1, \dots, n \end{cases}$$

$$(4) \quad y_{ik} = \{0, 1\} \quad \begin{array}{l} i = 0, \dots, n \\ k = 1, \dots, m \end{array}$$

$$(5) \quad \sum_i t_{ik} \cdot \sum_j x_{ijk} + \sum_{ij} t_{ijk} \cdot x_{ijk} \leq T_k$$

$$(6) \quad \sum_i x_{ijk} = y_{jk} \quad j = 0, \dots, n$$

$$(7) \quad \sum_j x_{ijk} = y_{ik} \quad i = 0, \dots, n$$

$$(8) \quad \sum_{ij} x_{ijk} \leq |S| - 1 \quad \begin{array}{l} S \subseteq \{1, \dots, n\} \\ 2 \leq |S| \leq n - 1 \end{array}$$

$$(9) \quad x_{ijk} = \{0, 1\} \quad \begin{array}{l} i = 0, \dots, n \\ j = 0, \dots, n \end{array}$$

$k = 1, \dots, m$

Vorarbeiten

```
graph TD; A[Vorarbeiten] --- B[Problemaufnahme]; A --- C[Reduktion des Netzwerkes]; A --- D[Erstellen einer Distanzmatrix];
```

Problemaufnahme

**Reduktion
des Netzwerkes**

**Erstellen einer
Distanzmatrix**

Problemaufnahme

Lage der Zielorte

- Adresse der Kunden
- Lage der Orte zueinander

örtliche Verhältnisse am Zielort

- Be- und Entlademöglichkeit
- Lagermöglichkeiten
- Lagerkapazitäten

Liefertermine

- Kenntnis der möglichen Liefertermine
- Lieferrhythmus

Auftragsvolumen

- zu bewältigendes Transportvolumen
- Auftragsgrößen der einzelnen Zielorte
- Zusammensetzung der Aufträge

Ermittlung der Einsatzzeit

$$\begin{aligned} \text{Einsatzzeit} &= \text{Hofzeit} \\ &+ \text{Standzeit} \\ &+ \text{Fahrzeit} \end{aligned}$$

Reduktion des Netzwerkes

Räumliche Dekomposition

Die räumliche Dekomposition besteht in der Aufteilung des Regionallager-Liefergebietes in mehrere Stützpunktgebiete, die bei der Tourenoptimierung unabhängig voneinander betrachtet werden können.

Fahrzeugbezogene Subsystembildung

Die fahrzeugbezogene Subsystembildung bezieht sich auf die Stützpunktgebiete. Falls erforderlich, wird diese bei Vorhandensein eines inhomogenen Fuhrparkes nach den Fahrzeugarten vorgenommen.

Zeitliche Subsystembildung

Die zeitliche Subsystembildung bezieht sich ebenfalls auf die Stützpunktgebiete und umfaßt insbesondere Aufträge mit gemeinsamen Terminrestriktionen.

Erstellung Distanzmatrix

Erstellen einer Entfernungsmatrix

1. **Straßennetz - Methode**

Auf der Basis von Kartenwerken werden die echten kürzesten Entfernungen zwischen allen Orten mit Hilfe des Floyd-Algorithmus berechnet.

2. **Koordinaten - Methode**

Ausgehend von den Ortskoordinaten werden mit Hilfe der euklidischen Abstandsformel die Luftlinienentfernungen zwischen allen Ortepaaren ermittelt, die dann durch Multiplikation und/oder Addition mit Routentoleranzen an die reale Entfernung angenähert werden. Es soll fertige Koordinatenwerke mit den Koordinaten für jedes Postleitzahl-Gebiet geben.

Erstellen einer Fahrzeitenmatrix

Die Fahrzeitenmatrix läßt sich leicht aus der Entfernungsmatrix bestimmen, indem die einzelnen Elemente der Entfernungsmatrix durch die Durchschnittsgeschwindigkeit auf der entsprechenden Strecke dividiert werden.

Lösungsansätze

```
graph TD; A[Lösungsansätze] --- B[Heuristische Sukzessivverfahren]; A --- C[Heuristische Parallelverfahren]; A --- D[Modifizierte und kombinierte Verfahren];
```

**Heuristische
Sukzessivverfahren**

**Heuristische
Parallelverfahren**

**Modifizierte und
kombinierte Verfahren**

Heuristische Sukzessivverfahren

Sweep - Verfahren von Gillet, Miller (1974)

Prinzip: Zuerst Toureneinteilung,
dann Routenoptimierung

1. Jeder Kunde ist durch ein Paar von Koordinaten (x_i, y_i) in einem Koordinatensystem mit dem Depot im Nullpunkt gegeben. Die Numerierung der Kunden in einzelnen Touren erfolgt nach aufsteigendem Winkel φ_i gegen Uhrzeigersinn. Jede Tour wird solange erweitert, bis die Kapazitäts- oder Zeitbeschränkung überschritten wird.
2. Anschließend werden mit einem TSP-Algorithmus, z.B. 2-opt- gefolgt von einem 3-opt-Algorithmus, die Reihenfolgen der Kunden je Tour (sub)-optimiert, d.h. Auffindung der kürzesten Route.

Bemerkungen:

- Grundvoraussetzung für das Sweep-Verfahren ist die Kenntnis der Koordinaten der Zielorte.
- Einmal gebildete Routen können verändert werden.
- Gute Ergebnisse werden erzielt, wenn das Depot zentral liegt und die Kunden möglichst gleich verteilt sind.
- Der Sweep-Algorithmus liefert Tourenpläne mit Blütenblattstruktur.

Heuristische Parallelverfahren

Saving - Verfahren von Clarke, Wright (1964)

Prinzip: Einteilung in Touren und Reihenfolgebildung je Tour erfolgen parallel.

1. Startlösung: Pendeltouren
2. Die Startlösung wird schrittweise verbessert durch Koppeln von jeweils zwei Touren mit möglichst großer Streckenersparnis zu einer Tour unter Einbeziehung der Kapazitäts- und Zeitrestriktionen. Die Saving-Werte (Ersparnisse) berechnen sich nach

$$s_{ij} = d_{0i} + d_{0j} - d_{ij}$$

3. Verbesserung des Tourenplanes mit dem 2-opt- oder 3-opt-Algorithmus.

Bemerkungen:

- Die Bewertung der einzelnen Verbindungen mit dem Saving-Wert hat sich gegenüber anderen Bewertungen als sehr günstig erwiesen, da die Savingbewertung zugleich einen Bezug zur Gesamtlösung enthält; es ist nämlich eine solche Lösung optimal, deren Savingsumme maximal ist.
- Nachteil: Einmal gebildete Routen können nicht wieder aufgebrochen werden.

Modifizierte und kombinierte Verfahren

1. **MSG - Verfahren** von Neitzel (1977)

(Mehrphasiges strukturnutzendes Gruppierungsverfahren)

Zentrale Idee: Günstige Ausnutzung der geographischen und kapazitiven Struktur des Tourenproblems, d.h. Bedienung nahe beieinander liegender Orte auf einer Tour und günstige Ausnutzung der Fahrzeugkapazitäten bei vorgegebener minimaler Fahrzeugzahl.

Das Verfahren besteht aus zwei Hauptphasen:

a) **Vorbereitungsphase**

Regionenbildung (wie Sweep-Verfahren), Wahl des Ausgangsortes, Bestimmung der freien Fahrzeugkapazitäten.

b) **Routenbildung**

Ausgangsrouten aus zwei Kunden, Bilden einer Kernroute, Reihenfolgeverbesserung innerhalb einer Route.

2. **Modifiziertes Sweep-Verfahren** von Probol (1979)

- a) Tourenplan wird mit einem Ort gestartet, dessen Polarwinkeldifferenz zu seinem Vorgänger möglichst groß ist;
- b) Sukzessiver Aufbau der Ausgangstouren (wie beim Sweep-Verfahren);
- c) Die eingesetzte Travelling-Salesman-Prozedur baut die Reihenfolge der Orte einer Tour mit Hilfe eines sequentiellen Saving-Verfahrens auf;
- d) Modifikationsversuche mit den Ausgangstouren.