European Graduate Program Berlin - Zürich



O7M2 Lecture Service Vehicle Scheduling ("Yellow Angels" of ADAC)

Martin Grötschel

Block Course at TU Berlin "Combinatorial Optimization at Work"

October 4 - 15, 2005

Martin Grötschel

Institut f
ür Mathematik, Technische Universit
ät Berlin (TUB)

DFG-Forschungszentrum "Mathematik für Schlüsseltechnologien" (MATHEON)

Konrad-Zuse-Zentrum f
ür Informationstechnik Berlin (ZIB)

groetschel@zib.de

http://www.zib.de/groetschel

Work Contents

- 1. ADAC and the Yellow Angels
- 2. The Dispatching Problem
- 3. The "Yellow Angels Model"
- 4. Results



2



Grötschel

Work Allgemeiner Deutscher AutomobilClub



Work **Work Unit** of the **service fleet**:

Yellow Angel

gelber Engel



Supereinsatz. In Berlin und Brandenburg mussten die Gelben Engel letztes Jahr mehr als 240 000 Mal ausrücken, um Havaristen in der Hauptstadt und auf 1700 Autobahnkilometern wieder flottzumachen – ein Rekordeinsatz. Einen Rückgang von zehn Prozent bei den Pannen registrierten dagegen die Gelben Engel in Mecklenburg-Vorpommern. Bei insgesamt 72 389 Einsätzen schafften sie jedoch auch einen Rekord: In 84 Prozent der Fälle konnten die Autofahrer mit dem Wagen weiterfahren.



4



Work Yellow Angels: 2004 statistics

- ~1,700 Yellow Angels
- ~1,200 road service partners with ~5,000 vehicles
- On average: ~10,000 requests a day
- Peak: ~45,000 requests in 4 hours



5



Grötsche





morgenwelt

magazin für wissenschaft und kultur

27.10.2004

Gelbe Engel lernen rechnen

Rund 10.000 Pannen werden dem ADAC an einem ganz normalen Tag gemeldet. Um hier die Pannenhelfer möglichst effektiv zu koordinieren ist nicht trivial und bereitet auch Mathematikern Kopfzerbrechen.

Andreas Loos



Bild: ADAC

Die Zahlenkolonnen, die über den Bildschirm laufen, wollen nicht enden. "Ein ganz

Pannen bringen.





Martin Grötschel

Algorithmen gebastelt, die die Pannenhelfer schneller zu den

normaler Urlaubstag für ADAC-Helfer", sagt Jörg Rambau mit Blick auf seinen Monitor. Hinter jeder neuen Zeile verbergen sich liegengebliebe Fahrzeuge, kaputte Anlasser, leere Batterien, oder verrußte Zündkerzen: Die Zahlen verschlüsseln, wann und wo bei den "Gelben Engeln" des ADAC Hilferufe seiner Mitglieder eingehen. Mathematiker wie Jörg Rambau haben damit am Berliner Zuse-Institut

Rund 10.000 Pannen werden dem ADAC an einem ganz normalen Tag gemeldet. "Zu Urlaubszeiten oder bei Wintereinbruch können es leicht doppelt so viele werden", weiß Dietmar Flügel, Leiter des Pro-"Helfen" beim ADAC. Alle Pannenmeldungen laufen in den fünf Pannenhelferzentralen des ADAC auf. Bislang lief die anschließende Verteilung der Aufgaben dann von Hand: Mitarbeiter, so genannte Disponenten, wiesen jeder Panne einen der 1.700 "Gelben Engel* bzw. eines der 5.000 Fahrzeuge der ADAC-Service-Vertragspartner zu.

Dabei wählten sie eine einfache Strategie: Jeweils der Pannenhelfer, der der Panne am nächsten ist, wird alarmiert nach Augenmaß und einem Blick auf eine digitale Landkarte, ähnlich wie der Bildschirm eines Navigationssystems, "Das kann aber bedeuten, dass andere Pannenopfer anschließend länger warten müssen", sagt Jörg Rambau. "Gute Entscheidungen sind bei der Zahl der Pannen und Helfer mit bloßem Auge kaum noch möglich."

Der Informatiker Flügel vergleicht das Disponieren sogar mit Schachspielen: "Der Tag beginnt mit einer Ausgangssituation und entwickelt dann eine Eigendynamik. Und genau wie ein guter Schachspieler hat jeder Disponent seinen eigenen Stil. In Genshagen bei Berlin zum Beispiel sitzen 30 Disponenten - 30 Köpfe, 30 verschiedene Planungsstrategien. Vor allem, um die Servicequalität zu harmonisieren, haben wir uns daher vor drei Jahren mit dem ZIB zusammengetan."



CO at Work

er Tagesspiegel - gedruckte Ausgabe

(07.07.2004)

Mathematiker beflügeln "Gelbe Engel"

Dietmar Flügel, Informatiker beim ADAC.

Wie die vielen Pannenhelfer des ADAC auf kürzestem Weg ans Ziel gelangen

Von Andreas Loos

Eine schier endlose Liste von Zahlen flimmert über den Bildschirm. Hinter jeder neuen Zeile verbergen sich ausgelaufene Batterien, Luft im Benzin oder verrußte Zündkerzen. Die Zahlen verschlüsseln, wann und wo den "Gelben Engeln" des ADAC Autopannen gemeldet wurden.

Mathematiker am Konrad-Zuse-Zentrum in Berlin. Er und seine Kollegen haben

ein Verfahren entwickelt, um die Helfer schneller zu den Pannen zu bringen. 10000 Pannen werden dem ADAC an einem normalen Tag gemeldet. "Zur Urlaubszeit oder bei Wintereinbruch können es doppelt so viele werden", sagt

"Ein ganz normaler Urlaubstag für ADAC-Helfer", sagt Jörg Rambau,





Grötschel

In den fünf Pannenhelferzentralen des ADAC managte man die Verteilung der Aufgaben bislang von Hand: Mitarbeiter, die "Disponenten", wiesen jeder Panne einen der 1700 "Gelben Engel", beziehungsweise eines der 5000 Fahrzeuge der ADAC-Service-Vertragspartner zu. Dabei wählten sie eine einfache Strategie: Der Pannenhelfer, der der Panne am nächsten ist, wird alarmiert – nach Augenmaß und einem Blick auf eine digitale Landkarte, ähnlich dem Bildschirm eines Navigationssystems.

Wie die Mathematik den Autofahrern hilft

Sommerzeit, Ferienzeit – Staus und Hilferufe von liegen gebliebenen Autofahrern häufen sich. Dann kommt beim ADAC alles darauf an, die Pannenhelfer gut zu koordinieren. Noch verfolgen Menschen über Bildschirme den Standort der "Gelben Engel" und schicken diese zum nächsten Einsatz. Wie gut

das klappt, hängt von dem Geschick der Mitarbeiter ab. Künftig soll die Mathematik helfen, die Pannenprofis optimal einzusetzen.

Dazu haben Wissenschaftler einen Algorithmus entwickelt, der in weniger als zehn Sekunden

einen Einsatzplan erstellen soll. "Noch während des Telefonats mit dem Autofahrer muss das Problem gelöst sein", sagt Jörg Rambau vom Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik in Berlin. Schließlich soll der Anrufer sofort über die Wartezeit informiert werden.

Theoretisch gibt es Billionen von Möglichkeiten, wie die Pannenhelfer auf die Havaristen aufgeteilt werden können. Um die Rechenzeit kurz zu halten, bedienen sich Jörg Rambau und seine Kollegen eines mathematischen Tricks: Das System prüft in jeder einzelnen Rechenschleife nur wenige Kombinationen durch und checkt zugleich, wie weit entfernt vom Optimum das Ergebnis liegt. Durch dieses Annähern an die Lösung müssen nur einige Tausend Konstellatio-

nen

In zehn Sekunden ist klar, welcher "Gelbe Engel" zum Havaristen geschickt wird net werden. Am Ende steht der mathematische Beweis, dass das Resultat wirklich das bestmögliche ist. Im Herbst wollen

durchgerech-

die Berliner Wissenschaftler, die Firma Intergraph und der ADAC die Pilot-

phase in Ostdeutschland starten. Dann könnten die Autofahrer von der Mathematik profitieren – freilich, ohne das auch nur zu ahnen. Die Mathematiker um Jörg Rambau wollen unterdessen ihren Algorithmus noch weiter verbessern: So soll auch berücksichtigt werden, welche Anrufe in der Zukunft eingehen könnten. Ein im Nachhinein berechnetes "Hellseher-Optimum" liefert eine Gütegarantie – Beweis inklusive. Christian Herbst

Frankfurter Rundschau 17.7.2002

Work Contents

- 1. ADAC and the Yellow Angels
- 2. The Dispatching Problem
- 3. The "Yellow Angels Model"
- 4. Results

9

Grötschel

Work Service vehicle planning at ADAC

Work Dispatch of the Yellow Angels

- All mobile workshops are equipped with GPS for satellite positioning which makes it possible for the operators in the help centers to exactly locate each single service unit and to dispatch the assignment order via radio.
- As soon as the help request comes in the service unit nearest to the scene can advance. Besides the ADAC owned vehicles, there are some 5,000 service vehicles of 1,130 subcontracted road service partners available.

Martin Grötsche Five ADAC help centers control the assignments of the Yellow Angels day and night.

These centers are at Landsberg/Lech, Gross-Gerau, Hamburg, Genshagen (near Berlin), and Dormagen (near Köln).

Work Basic Rules

- No request can be rejected.
- Each request must be served by exactly one service unit.
- Service units must drive "tours", i.e., have to return "home" in the evening.
- Structure of the cost function is *"more complex"* than linear (e.g., EV5).

Grötsche

What is good service? What are the criteria?

Goal: minimizing total costs for this service

12

Work The Dispatching Problem

Task: Find a solution of lowest possible cost!

Grötschel

CO at Work

14

Recall: What is online?

An online algorithm is a method making a decision as soon as new pieces of information become known. Any decision made is irrevocable.

Remarks:

The running time is irrelevant: The key issue is the difficulty arising through the lack of data.

If running time is important: real-time algorithms!

Martin Grötschel Models of analysis: sequence model, time-stamp model,...

Variants: limited intermediate storage, repacking,...

Work Online and real-time aspects at ADAC

- Requests are not known in advance
- Decisions are based on incomplete information
- Suboptimal results
- How to evaluate an online algorithm?

Grötsche

Work Main Characteristics

- Online Aspect: We do not know future events.
- Real-time Aspect: We have to provide an answer quickly (5-60 seconds)

Martin Grötsche

16

Work Contents

- 1. ADAC and the Yellow Angels
- 2. The Dispatching Problem
- 3. The "Yellow Angels Model"
- 4. Results

17

Work The "Business Framework"

- Every request has to be served
- Each job has to be executed by exactly one "unit".
- All units travel "tours"
- cost structure "more complex" than linear (z.B. EV5)
- Goal: Minimize cost incured by the units.

Customer satisfaction!!!???

18

CO at Work

19

Vehicle Dispatching Problem

- Set R of requests
- Set K of units
- K consists of groups of units, each with different cost structure g

 $g(k) \in G = \{tax, ews, ev5, swa, ...\}$

- Find:
 - Feasible subset of units
 - Tours for the units
 - Minimize costs

20

Constraints on "Tours"

Work **"not closed" Tours**

21

Work Offline Model

- "Vehicle Dispatching Problem" VDP subject to sketched (and other) side constraints
- Offline Model
 - Requests
 - Tours
 - Set partitioning
 - Polyhedral description of tours

22

Work Requests r in R

t(r)

- Release time t(r)
- Time window T(r) = [e(r), I(r)]

• $T^{swa}(r) = [t(r), t(r) + 38]$

timed request T^{swa}(r) = [5:00, 5:15]

e(r)

Set of admissible units for r: K(r)

I(r)

23

24

- A tour represents the sequenced processing of a subset M of the requests R by a unit k.
- Every (feasible) tour satisfies all side constraints such as:
 - Time windows
 - Working hours
 - Rules for rests

Set of all feasible tours: F

• etc.

Work Basic Idea: Set Partitioning

Work Representation of Tours

Work Set Partitioning

- Inplicit (algorithmic) enumeration of all tours
- $X_f = 1$ if and only if tour f is chosen
- Complex cost structures can be handled
- Separation of optimization and tour generation

Grötsche

Work Set Packing Side Constraints

- Each unit can be chosen at most once
- $B_{kf} = 1$ if and only if tour f uses unit k

Work Combined Model

Work Polyhedral Description of Tours

Given

- Subset M of requests
- Unit k
- **Question:** Is there a feasible processing sequence for k to serve all requests in M?

Equivalent: Does the tuple (k,M) define a colum of the ILP?

30

Grötsche

Work Request Graphs

Set of vertices of G

 $V = M \mathbf{Y} V_p \mathbf{Y} \{0\}$

- Arc (v,w) in G iff time window ok
- Arc (v,p), (p,w) iff time window ok

Variablen z_a = 1
 iff a is on the tour

Grötsche

CO at Work

32

Subtour Elimination

33

Infeasible Path Constraints

Work Polyhedral Description

R: set of requests, M subset of R K: set of units, k element of K $z_a = 0$

$$\sum_{\substack{a^-:(a^+,a^-)\in \tilde{E}\\a^+:(a^+,a^-)\in \tilde{E}}} z_{(a^+,a^-)} = 1$$

$$z_{(a^+,b(a^+,a^-))} - z_{(b(a^+,a^-),a^-)} = 0$$

$$\sum_{\substack{a^+ \in S, a^- \in S: \\ (a^+,a^-) \in \tilde{E}}} z_{(a^+,a^-)} \leq |S| - 1$$

$$\sum_{\substack{a^+ \in P, a^- \in P: \\ (a^+,a^-) \in \tilde{E}}} z_{(a^+,a^-)} \leq |P| - 2$$

für alle amit $k \in K \setminus (K(a^+) \cap K(a^-))$ für alle $a^+ \in M \cup \{0\}$ für alle $a^- \in M \cup \{0\}$ für alle $(a^+, a^-) \in E$

für alle $S \subset M$ mit $S \neq M$

2 für alle unzulässigen Pfade P

 $z_a \in \{0, 1\}$ für alle $a \in \tilde{E}$

Work Solution Method (Offline)

Grötschel

- Explicit enumeration of all tours is impossible.
- Optimal solution uses only a few tours.

Column Generation

- Run various primal heuristics to get starting solution
- Start with the heuristically generated small subset of feaible tours (represented as columns)
- Generate new columns via pricing
- Branch & Cut & Price
- LP-based Rounding heuristics

CO at

Work

Grötsche

Work Contents

- 1. ADAC and the Yellow Angels
- 2. The Dispatching Problem
- 3. The "Yellow Angels Model"
- 4. Results

37

Grötschel

Work Results

38

- It took a long time to develop a "good" service model jointly with ADAC.
- Our dispatching software provides a significant improvement.
- Dispatching software is in use almost all of the 5 dispatching centers.

Grötsche

European Graduate Program Berlin - Zürich

O7M2 Lecture Service Vehicle Scheduling ("Yellow Angels" of ADAC)

The End

Martin Grötschel

Institut f
ür Mathematik, Technische Universit
ät Berlin (TUB)

DFG-Forschungszentrum "Mathematik für Schlüsseltechnologien" (MATHEON)

Konrad-Zuse-Zentrum f
ür Informationstechnik Berlin (ZIB)

groetschel@zib.de

http://www.zib.de/groetschel