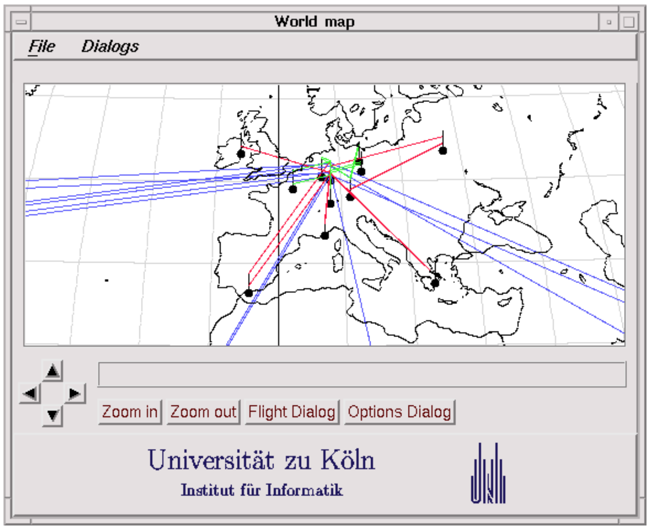
Anwendungsbericht 24

Zentrum für Paralleles Rechnen — Institut für Informatik
(in Kooperartion mit Lufthansa Systems und anderen Universitäten)

Lufthansa Systems



Die Lufthansa bietet wöchentlich knapp 10.000 Flüge an. Jeder einzelne muß von einem der rund 250 Flugzeuge der Flotte geflogen werden.
Flugzeuge unterscheiden sich nicht nur in der Kapazität, also der Anzahl der Passagiere, die ein Flugzeug befördern kann, oder der maximalen Reichweite, sondern auch in den Kosten, die ein Flugzeug pro geflogenem Kilometer und befördertem Passagier verursacht. Untersuchungen haben ergeben, daß jede Woche einige Flüge, zumindest in der gewinnbringenden Business-Class, überbucht werden, während andere Flüge nicht voll ausgenutzt werden.
Ziel ist es, durch geschicktes Eingreifen in den Flugplan - d.h. durch kleinere Verschiebungen der Flugzeiten oder durch geschicktere Wahl des Flugzeugs, das einen angebotenen Flug bedient - die Auslastungen der Flüge zu verbessern, um so für das Unternehmen eine Gewinnsteigerung zu ermöglichen.

Problemstellung

Bei einem gegebenen Flugplan wird einerseits versucht, durch Veränderungen der Abflugzeiten die Anschlüsse zu optimieren und andererseits durch eine neue Zuordnung von Flugzeugen zu Flugstrecken eine bessere Auslastung einzelner Flugzeuge zu erreichen.

Bei der Verschiebung der Abflugzeiten muß sowohl das geltende Recht auf den Abflughäfen als auch die Gewährleistung der garantierten Folgeanschlüsse als Nebenbedingung berücksichtigt werden.

Bei der Flottenzuweisung müssen neben offensichtlichen Nebenbedingungen (Reichweiten etc.), sehr viele subtile beachtet werden (z. B. Wartungspläne). Da der Plan sich für Flugzeugtypen unterscheidet, ist die Rundflugperiode einzelner Flugzeugtypen unterschiedlich. Darüber hinaus bietet der Flugplan Hinweise auf einen späteren Personaleinsatzplan. Bereits bei der Flottenzuweisung müssen elementare Personalrestriktionen beachtet werden. Die Arbeitsgruppe von Prof. R. Schrader beschäftigt sich hauptsächlich mit der Flottenzuweisung.

Zentrum für Paralleles Rechnen — Arbeitsgruppe Prof. Dr. R. Schrader
Hausanschrift: Weyertal 80, D-50931 Köln
Postanschrift: ZPR, Universität zu Köln, Albertus-Magnus-Platz, D-50923 Köln
Telefon: (0221) 470–6030
Telefax: (0221) 470–5160
E-mail: rs@informatik.uni-koeln.de

Mathematische Modellierung

Das zugrundeliegende mathematische Problem besteht darin, eine Zuordnung von Flugzeugen beziehungsweise Flugzeugtypen zu Flügen zu suchen, die den Gesamtgewinn maximiert.

Die Untersuchung verschiedener Modellformulierungen und ihrer praktischen Lösungsmöglichkeiten hat ergeben, daß eine Formulierung des Fleet Assignment Problems als ein Mehrgüterflußproblem mit Nebenbedingungen am geeignetsten ist. Hervorzuheben ist, daß bei der gewählten Modellformulierung eine praxisrelevante Tatsache Berücksichtigung findet, die bisher in der Forschung zur Lösung des Fleet Assignment Problems völlig vernachlässigt wurde, da das Problem dadurch wesentlich komplexer wird. Die Erlöse sind in der Flugplanung nicht in der Form von Erlösen pro Flug, sondern in Erlösen pro Reiseroute (die in der Regel aus mehreren Flügen besteht) gegeben. Unsere Modellformulierung erlaubt es, auch diese komplexere Fragestellung zu lösen.

Restriktionen wie Gewährleistung der Wartung, Reichweite, Flottengrößen, Periodizität werden als zusätzliche Nebenbedingungen in die Formulierung aufgenommen. In einem weiteren Schritt, dem Crew Assignment, wird auch der Personaleinsatz berücksichtigt.

Algorithmen

Zur (exakten) Lösung von kleinen Instanzen der oben genannten Probleme können die Methoden der ganzzahligen Linearen Programmierung angewandt werden, etwa durch Verwendung von kommerziellen LP-Lösern wie CPLEX[1]. Die Komplexität des Problems läßt dieses direkte Vorgehen bei den uns vorliegenden Problemgrößen jedoch nicht mehr zu.

Von uns entwickelte „opening heuristics“ versuchen eine erste möglichst gute und zulässige Flottenzuweisung zu generieren; dies geschieht mit Kreisüberdeckungsalgorithmen, die das Flugnetz in Kreise (i. e. in Touren einzelner Flugzeuge) zerlegen, und mit Netzwerkflußalgorithmen, die auf Teilprobleme mit weniger Flotten („divide-and-conquer“-Prinzip) angewandt werden.

Ausgehend von diesen so erhaltenen Flottenzuweisungen werden nun zum einen Verbesserungsheuristiken (wie z. B. Simulated Annealing oder Genetische Algorithmen) verwendet.

Eine andere Möglichkeit bietet der Column Generation-Ansatz: hier wird eine geeignete Formulierung des Problems als Lineares Programm (LP) verwendet, in der jedoch nur eine Teilmenge der möglichen Spalten direkt erzeugt wird. Dadurch ist das LP (das sog. Master-Problem) klein genug, um effizient mit Simplexalgorithmen gelöst zu werden. Bei Bedarf werden dann in Subproblemen neue Spalten erzeugt und diesem LP hinzugefügt. Diese Subprobleme sind in unserem Ansatz Netzwerkflußprobleme mit Nebenbedingungen, die durch Netzwerkalgorithmen (z. B. Algorithmen auf der Basis von cost-scaling- und Netzwerksimplexalgorithmen) effizient gelöst werden können. Um die benötigte Ganzzahligkeit der Lösungen sicherzustellen, werden Branch-and-Bound- und Rundungsstrategien angewandt.

Lagrange-Relaxierung ist eine Technik, mit der Schranken für den Zielfunktionswert berechnet werden können, die dann zur Güteabschätzung verwendet werden. Einige Nebenbedingungen werden in die Zielfunktion aufgenommen, so daß das Problem wieder in leichtere Subprobleme zerfällt. Tatsächlich erhalten wir hier wieder Netzwerkflußprobleme als Subprobleme, die sich wieder mit den oben angesprochenen Methoden lösen lassen.

[1] CPLEX Optimization, `http://www.cplex.com/`

Allgemeine Ergebnisse

Ziel des Projektes ist es, ein Programmpaket zu erstellen, mit dessen Hilfe Flugplaner sowohl mittelfristige Flugplanänderungen durchführen als auch langfristig hypothetische Szenarien nach ihrer Wirtschaftlichkeit prüfen können. Durch eine Workbench mit grafischer Benutzeroberfläche ist es möglich, sämtliche implementierte Algorithmen zu starten und zu steuern, Änderungen an den Plänen per Hand vorzunehmen und die Ergebnisse auf mehrere verschiedene Arten anzuzeigen (geographische Sicht, als Gantt-Diagramm, Listen, etc.). Verschiedene Rechnerarchitekturen (sequentiell/parallel; PC, Sun, IBM, ...) werden dabei gleichermaßen unterstützt.

Ergebnisse der Algorithmen

Zur Entwicklung und zum Vergleich der Algorithmen liegen uns mehrere Realworld-Datensätze vor: kleine „interkontinentale“ Datensätze mit 300 bis 3.500 Flugstrecken, bis zu 5 verschiedenen Flugzeugtypen und bis zu 50.000 Reiserouten, aber auch sehr große „europäische Wochenflugpläne“ mit 7.500 Flugstrecken, 35 verschiedenen Flugzeugtypen und 500.000 Reiserouten. (Im Vergleich dazu: der typische US-amerikanische Flugplan ist ein Tagesflugplan mit 2.500 Flugteilstrecken, 11 Flugzeugtypen; dieser wird über lineare Kosten auf den Flugstrecken und nicht über Reiserouten bewertet. Siehe hierzu z. B. die Artikel von Prof. Cynthia Barnhart (MIT) und anderen in Zusammenarbeit mit United Airlines und Prof. Soumis (GERAD) und anderen in Zusammenarbeit mit Air France.)

Unter Verwendung der oben angesprochenen Algorithmen ist es uns möglich, sämtliche Datensätze optimal bzw. annähernd optimal zu lösen, wobei die Gütegarantie durch Lagrangerelaxierung bzw. die (fraktionalen) Lösung des LPs berechnet wird.

Für Details und weitere Informationen wenden Sie sich bitte an die unten angegebenen Ansprechpartner.

Ansprechpartner

Dipl.-Math. Andreas Erdmann (erdmann@zpr.uni-koeln.de)
Dr. rer. nat. Andreas Nolte (nolte@zpr.uni-koeln.de)

Zentrum für Paralleles Rechnen
Universität zu Köln
Weyertal 80
50931 Köln
Tel: 0221/470-6030
Fax: 0221/470-5160