



Doctoral Thesis

## Optimization problems in mobile communication

**Author(s):**

Szabó, Gábor Vilmos

**Publication Date:**

2005

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005063418> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH No. 16207

# Optimization Problems in Mobile Communication

A dissertation submitted to the  
Swiss Federal Institute of Technology, ETH Zürich  
for the degree of Doctor of Technical Sciences

presented by  
Dipl. Eng. in Comp. Sc. Gábor Vilmos Szabó  
born 19.12.1976, citizen of Zalău, Romania

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. Peter Widmayer, ETH Zürich, examiner  
Dr. Thomas Erlebach, University of Leicester, co-examiner  
Dr. Riko Jacob, ETH Zürich, co-examiner

2005

## Abstract

In one way or another mobile phones have changed everyone's life. Mobile communication networks made it possible to be connected and reachable even in the most remote places. A lot of research effort has been put lately in the planning and optimization of mobile networks. Network providers as well as users can only gain in efficiency and usability if the algorithmic optimization community provides them with efficient algorithmic solutions to the optimization problems raised by mobile communication networks.

In this thesis, we analyze three different algorithmically interesting problems stemming from mobile telecommunication: the base station location with frequency assignment; the OVSF code assignment problem; and the joint base station scheduling problem.

We propose a new solution technique to the problem of positioning base station transmitters and assigning frequencies to the transmitters. This problem stands at the core of GSM network design and optimization. Since most interesting versions of this problem are  $\mathcal{NP}$ -hard, we follow a heuristic approach based on the evolutionary paradigm to find good solutions. We examine and compare two standard multiobjective techniques and a new algorithm, the steady state evolutionary algorithm with Pareto tournaments (stEAPT). The evolutionary algorithms used raised an interesting data structure problem. We present a fast priority queue based technique to solve the layers-of-maxima problem arising in the evolutionary computation. The layers-of-maxima problem asks to partition a set of points of size  $n$  into layers based on their non-dominatedness. A point in  $d$ -dimensional space is said to *dominate* another point if it is not worse than the other point in all of the  $d$  dimensions.

We also look at the problem of dynamically allocating OVSF codes to users in an UMTS network. The combinatorial core of the OVSF code assignment problem is to assign some nodes of a complete binary tree of height  $h$  (the code tree) to  $n$  simultaneous connections, such that no two assigned nodes (codes) are on the same root-to-leaf path. A connection that uses  $2^{-d}$  of the total bandwidth requires an arbitrary code at depth  $d$  in the tree. This code assignment is allowed to change over time, but we want to keep the number of code changes as small as possible. We consider the one-step code assignment problem: Given an assignment, move the minimum number

of codes to serve a new request. We show that the problem is  $\mathcal{NP}$ -hard. We give an exact  $n^{\mathcal{O}(h)}$ -time algorithm, and a polynomial time greedy algorithm that achieves approximation ratio  $\Theta(h)$ . A more practically relevant version is the online code assignment problem. Our objective is to minimize the overall number of code reassignments. We present a  $\Theta(h)$ -competitive online algorithm. We give a 2-resource augmented online-algorithm that achieves an amortized constant number of assignments.

The joint base station scheduling problem (JBS) arises in UMTS networks. Consider a scenario where radio base stations need to send data to users with wireless devices. Time is discrete and slotted into synchronous rounds. Transmitting a data item from a base station to a user takes one round. A user can receive the data item from any of the base stations. The positions of the base stations and users are modeled as points in Euclidean space. If base station  $b$  transmits to user  $u$  in a certain round, no other user within distance  $\|b - u\|_2$  from  $b$  can receive data in the same round due to interference phenomena. Given the positions of the base stations and of the users the goal is to minimize the number of rounds necessary to serve all users. We consider this problem on the line (1D-JBS) and in the plane (2D-JBS). For 1D-JBS, we give an efficient 2-approximation algorithm and polynomial time optimal algorithms for special cases. We also present an exact algorithm for the general 1D-JBS problem with exponential running time. We model transmissions from base stations to users as arrows (intervals with a distinguished endpoint) and show that their conflict graphs, which we call arrow graphs, are a subclass of perfect graphs. For 2D-JBS, we prove  $\mathcal{NP}$ -hardness and show lower bounds on the approximation ratio of some natural greedy heuristics.

---

## Zusammenfassung

Auf die eine oder andere Art hat Mobilfunk viele Menschen beeinflusst. Mobilfunknetzwerke haben es ermöglicht, selbst in den abgelegenen Orten erreichbar zu sein. In letzter Zeit wurde viel Forschung in die Planung und Optimierung von Mobilfunknetzwerken investiert. Netzanbieter und Nutzer können nur davon profitieren, wenn Algorithmen effiziente Lösungen für Optimierungsprobleme aus diesem Umfeld liefern.

In dieser Dissertation analysieren wir drei verschiedene algorithmisch interessante Probleme der mobilen Telekommunikation: Funkmastplatzierung mit Frequenzzuweisung, OVSF Code Zuweisung und Joint Base Station Scheduling.

Wir präsentieren eine neuartige Lösungstechnik für das Problem, Funkmasten zu positionieren und ihnen Frequenzen zuzuordnen. Diese Fragestellung ist ein Kernproblem beim Design und der Optimierung von GSM Netzwerken. Da die interessanteste Version dieses Problems  $\mathcal{NP}$ -hart ist, benutzen wir einen heuristischen Ansatz, der auf dem evolutionären Paradigma beruht, um gute Lösungen zu finden. Wir untersuchen und vergleichen zwei multikriterielle Techniken und einen neuen Algorithmus, den „steady state“ evolutionären Algorithmus mit Pareto Turnieren (stEAPT). Die evolutionären Algorithmen, die hier benutzt werden, werfen ein interessantes Datenstrukturen Problem auf. Wir stellen eine auf Prioritätswarteschlangen basierende Technik vor, die das entstehende „Maxima-Schichten“ Problem löst. Dieses Problem besteht darin, eine Menge von Punkten der Größe  $n$  so in Schichten aufzuteilen, dass sich keine zwei Punkte in einer Schicht dominieren. Hierbei *dominiert* ein Punkt in  $\mathbb{R}^d$  einen anderen, wenn er in keiner Dimension schlechter ist als der andere und in mindestens einer besser.

Weiterhin betrachten wir das Problem, dynamisch OVSF Codes in einem UMTS Netzwerk zu allozieren. Der kombinatorische Kern des OVSF Code Zuweisungsproblems besteht darin, Knoten eines vollständigen binären Baums der Höhe  $h$  (Codebaum)  $n$  gleichzeitigen Verbindungen zuzuweisen, so dass keine zwei zugewiesenen Codes auf einem Wurzel-Blatt Pfad sind. Eine Verbindung, die einen Anteil von  $2^{-d}$  der zu Verfügung stehenden Bandbreite benötigt, braucht einen beliebigen Code der Tiefe  $d$  im Baum. Diese Codezuweisung kann sich mit der Zeit ändern. Dabei wollen wir die Anzahl der Code-

Neuzuweisungen möglichst klein halten. Wir betrachten das Ein-Schritt Codezuweisungsproblem: Gegeben eine Codezuweisung, bewege die minimale Anzahl von Codes, um die neue Anfrage zu bedienen. Wir zeigen, dass dieses Problem  $\mathcal{NP}$ -vollständig ist. Wir stellen einen exakten  $n^{\mathcal{O}(h)}$  Zeit Algorithmus vor und einen polynomiellen „Greedy“-Algorithmus mit Approximationsrate  $\Theta(h)$ . Eine praktisch relevantere Variante ist das Online-Codezuweisungsproblem: Minimiere die Zahl der Codezuweisungen über eine (unbekannte) Anfragesequenz. Dafür präsentieren wir einen  $\Theta(h)$ -kompetitiven Algorithmus. Schließlich stellen wir einen 2-„Ressourcen-augmentierten“ Online Algorithmus vor, der eine amortisiert konstante Anzahl von Zuweisungen benötigt.

Das Problem des verbundenen Funkmast Scheduling (JBS) entsteht in UMTS Netzwerken. Betrachten wir ein Szenario, in dem Funkmasten Daten an Benutzer mit Mobilgeräten senden. In unserem Modell betrachten wir die Zeit diskretisiert und synchron in Runden segmentiert. Die Übertragung eines Datenpakets vom Funkmasten zum Benutzer benötigt eine Runde. Ein Benutzer kann ein Datenpaket von einem beliebigen Funkmasten erhalten. Die Position des Funkmasten und des Benutzers modellieren wir als Punkte in der euklidischen Ebene. Wenn Funkmast  $b$  an Benutzer  $u$  in einer bestimmten Runde sendet, kann wegen Interferenz kein Benutzer innerhalb einer Distanz von  $\|b - u\|_2$  von  $b$  in der gleichen Runde Daten empfangen. Für gegebene Positionen von Funkmasten und Benutzern besteht die Aufgabe darin, die Anzahl der Runden zu minimieren, bis alle Benutzer ihre Daten erhalten haben. Dieses Problem betrachten wir auf der Geraden (1D-JBS) und in der Ebene (2D-JBS). Für 1D-JBS präsentieren wir einen effizienten 2-Approximationsalgorithmus und Polynomialzeitalgorithmen für Spezialfälle. Weiterhin stellen wir einen exakten Algorithmus für 1D-JBS mit exponentieller Laufzeit vor. Übertragungen vom Funkmasten zu den Benutzern werden im Eindimensionalen als Pfeile dargestellt. Wir zeigen, dass die entstehenden Konfliktgraphen, die wir „arrow graphs“ nennen, eine Subklasse der Perfekten Graphen sind. Für 2D-JBS zeigen wir  $\mathcal{NP}$ -Vollständigkeit und untere Schranken für die Approximierbarkeit einiger Greedy-Heuristiken.