

DISS. ETH NO. 18573

TIK-Schriftenreihe Nr. 108

Routing on the Geometry of Wireless Ad Hoc Networks

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

Roland Flury

MSc in Computer Science, EPFL

born September 10, 1980

citizen of

Stans, Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Roger Wattenhofer, examiner
Prof. Dr. Sándor P. Fekete, co-examiner
Prof. Dr. Leonidas J. Guibas, co-examiner

2009

Abstract

The routing of messages is one of the basic operations any computer network needs to provide. In this thesis, we consider wireless ad hoc and sensor networks and present several routing protocols that are tailored to the limited hardware capabilities of network participants such as sensor nodes. The constraint memory and computing power as well as the limited energy of such devices requires simplified routing protocols compared to the IP based routing of the Internet. The challenge is to build light routing protocols that still find good routing paths, such as to minimize not only the number of forwarding steps but also the energy consumption.

In the first part of this work we focus on the protocol design and analyze the properties of our routing algorithms under simplifying network models. In particular, we describe a location service that supports geographic routing even if the destination node is constantly moving. Such a location service is important as the geographic routing technique bases each routing step on the position of the destination node by repeatedly forwarding a message to the neighbor which is geographically closest to its destination. If there is no such neighbor, the message has reached a local minimum. This is a node at the boundary of a network hole around which the message needs to be led before it can continue its greedy path. We extend the classic notion of network holes to 3-dimensional unit ball graphs and propose several randomized recovery techniques to escape from local minima in such networks. In addition, we show that it is possible to forward messages greedily without ever falling in a local minimum. We do so by embedding the network into an higher-dimensional space such that there is a greedy path between any two nodes. Similarly, we describe a renaming technique in combination with small routing tables that ensures good routing paths not only for unicast, but also for anycast and multicast.

In the second part of this thesis, we examine the design of applications and come up with a programming technique to efficiently translate protocols to the limited hardware of sensor networks. We describe the slotted programming paradigm that fosters modular programming and decouples unrelated software components temporally. We demonstrate the advantages of our approach with two case studies: (1) an efficient clock synchronization module, and (2) an alarming module through which all nodes of a network can be awoken efficiently and reliably.

Zusammenfassung

Das Routing von Nachrichten ist eine Funktionalität, die jedes Computernetzwerk anbieten muss. In dieser Dissertation untersuchen wir Routing Protokolle für drahtlose Ad-hoc- und Sensornetzwerke, wo die Netzwerkteilnehmer, wie zum Beispiel Sensorknoten, oftmals sehr limitierte Hardware zur Verfügung haben. Dabei muss nicht nur die Rechen- und Speicherkapazität, sondern auch der Energiehaushalt von solchen Geräten berücksichtigt werden. Dies bedingt einerseits vereinfachte Protokolle im Vergleich zum IP-Routing, andererseits aber auch qualitativ gute Protokolle, welche gute Pfade finden um Energie zu sparen.

Im ersten Teil dieser Arbeit beschäftigen wir uns mit dem Design von Protokollen und analysieren mehrere Routingtechniken an vereinfachenden Netzwerkmodellen. Wir starten mit einem Positionsdienst, der geographisches Routing zu mobilen Knoten ermöglicht. Dies ist wichtig, da jeder Routingschritt auf den Koordinaten des Zieles beruht, indem die Nachricht jeweils zu dem Nachbar gesandt wird, der am nächsten zum Ziel liegt. Falls kein solcher Nachbar existiert, hat die Nachricht ein lokales Minimum erreicht. Dies ist ein Knoten am Rande eines Loches im Netzwerk, um welches die Nachricht geroutet werden muss. Wir erweitern die klassische Notation von Löchern zu dreidimensionalen Unit-Ball-Graphen und zeigen mehrere randomisierte Techniken auf, die aus lokalen Minima in solchen Netzwerken herausführen. Des Weiteren beschreiben wir eine virtuelle Einbettung von einem Netzwerk in einen mehrdimensionalen Raum, so dass zwischen allen Knotenpaaren ein direkter Pfad ohne Löcher besteht. Das Umbenennen von Knoten benutzen wir ebenfalls für eine Routingtechnik mit kleinen Routingtabellen, welche auch Multicasting und Anycasting unterstützt.

Im zweiten Teil erörtern wir die Konstruktion von Applikationen und präsentieren eine Programmiertechnik, die ein effizientes Implementieren von Protokollen für die limitierte Hardware von Sensorknoten erlaubt. Die beschriebene Technik fördert eine modulare Programmstruktur und separiert die verschiedenen Softwarekomponenten zeitlich, so dass die Komponenten unabhängig bleiben. Wir demonstrieren die Vorteile der Programmiertechnik anhand von zwei Beispielen: (1) einem Modul für energieeffiziente Uhrensynchronisation und (2) einem Alarmmodul, durch welches alle Knoten in einem Netzwerk effizient aufgeweckt werden können.