

# Topologieerzeugung in ad hoc Netzen

Björn Glaus  
16. April 2002

Seminar Verteilte Systeme  
Betreuung: Frank Siegemund  
Professor: Dr. F. Mattern

## Inhalt

- 1 – Mobile ad hoc Netze – Basiswissen
- 2 – Topologieerzeugung
- 3 – Algorithmen zur Topologieerzeugung
- 4 – Bluetooth - Basiswissen
- 5 – Bluetooth-Topologieerzeugung - Grundlegende Konzepte
- 6 – Algorithmen zur Topologieerzeugung unter Bluetooth

# Mobile ad hoc Netze - Basiswissen

*Mobile Ad Hoc networks are self-organizing network architectures in which a collection of mobile nodes with wireless network interfaces may form a temporary network without the aid of any established infrastructure or centralized administration.*

<http://www.upperside.fr/adhoc/adhocintromp.htm>

- Es gibt keine (a priori) zentrale Administration.
- Das Netz soll spontan und vollkommen verteilt entstehen und verwaltet werden können.
- Die Kommunikationsgeräte sind oft mobil.

## Ad hoc Netze - Einsatzszenarios

Katastrophenhilfe



“The Digital Battlefield”

Konferenzzimmer





# Schwierigkeiten bei mobilen ad hoc Netzen

- Energiemanagement
  - Die Geräte sind meist batteriegetrieben.
  - Kommunikation braucht viel Energie.
- Viele Übertragungsfehler
  - Funk- oder Infrarotverbindung.
  - Interferenzen – Funk ist Broadcast-Medium.
- Routing
  - Die Geräte sind mobil.
  - Es muss evtl. über mehrere Hops kommuniziert werden.
  - Oft müssen die Geräte auch Routing unterstützen.



## Inhalt

- 1 – Mobile ad hoc Netze – Basiswissen
- 2 – Topologieerzeugung
- 3 – Algorithmen zur Topologieerzeugung
- 4 – Bluetooth - Basiswissen
- 5 – Bluetooth-Topologieerzeugung - Grundlegende Konzepte
- 6 – Algorithmen zur Topologieerzeugung unter Bluetooth

# Topologieerzeugung

Topologie: Die spezifische Anordnung der Objekte in einem Netzwerk.

- Ein Ansatz um die Lebenszeit der ad hoc Netze zu verlängern:
  - Topologie erzeugen, die (global) minimal Energie braucht.
  - D.h. Knoten sollen, wenn nicht nötig, **nicht** mit voller Signalstärke senden.
  - Dadurch wird:
    - Energie gespart.
    - Interferenzen verringert.
    - Durchsatz erhöht.

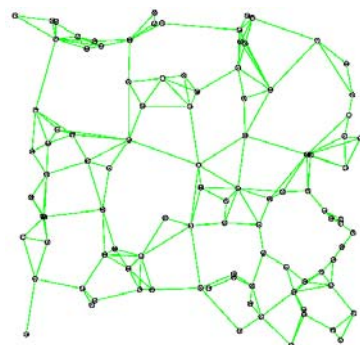
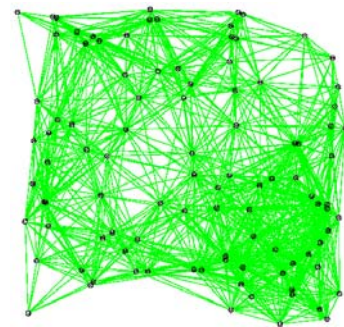
# Topologieerzeugung II

- Gegeben: Graph  $G$   
Knoten: Geräte,  
Kanten: Erreichbarkeitsrelation

- Gesucht: Graph  $G'$

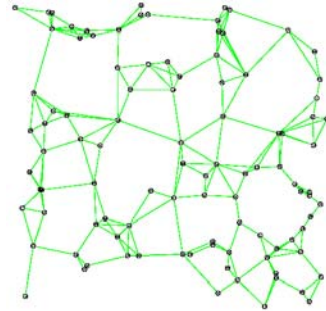
Soll "effizienter" als  $G$  verwaltet werden können, aber gewisse Eigenschaften von  $G$  behalten.

Unter Effizienz ist v.a. ein möglichst energiearmer Betrieb zu verstehen.



# Topologieerzeugung - Ziele

- Folgende Eigenschaften soll  $G'$  von  $G$  übernehmen:
  - Stark zusammenhängend
    - Es gibt einen Pfad von jedem Knoten zu jedem anderen
  - Geringer Diameter
    - Kurze Pfade – schnelles Routing
- Folgende Eigenschaft sollen in  $G'$  neu erzeugt werden:
  - Kleiner Knotengrad
    - D.h. Knoten soll mit wenigen anderen direkt kommunizieren.
  - Geringe durchschnittliche Kantenlänge
    - D.h. Knoten soll nur mit direkten Nachbarn kommunizieren.



# Inhalt

- 1 – Mobile ad hoc Netze – Basiswissen
- 2 – Topologieerzeugung
- 3 – Algorithmen zur Topologieerzeugung
- 4 – Bluetooth - Basiswissen
- 5 – Bluetooth-Topologieerzeugung - Grundlegende Konzepte
- 6 – Algorithmen zur Topologieerzeugung unter Bluetooth



# Algorithmen zur Topologieerzeugung

- Algorithmus, der Graph mit beschriebenen Eigenschaften erzeugt.
  - Kriterien:
    - Selber energiearm!  
Batterien sonst leer wenn Algorithmus fertig.
    - Topologieerzeugung schnell abgeschlossen.
    - Möglichst keine globale Information gebrauchen.



## Rodoplu & Meng – Algorithmus<sup>1</sup>

- Signalstärke ist Funktion der Distanz d:

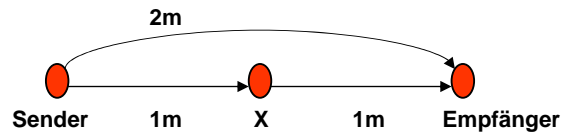
$$p_t(d) \approx \frac{1}{d^n} p_s, \quad n \geq 2$$

- Entscheidende Beobachtung:
  - “Rechenenergie” vernachlässigbar gegenüber “Kommunikationsenergie”
  - Routing kann billiger sein als direktes Senden.

$$p_t(d) \approx \frac{1}{d^n} p_s, n \geq 2$$

## R & M - Routing

### ■ Beispiel: Energieeffizientes Routing



Schwellwert für Empfänger: 1 mW

Gesamt-Kosten für  $n = 2$ :

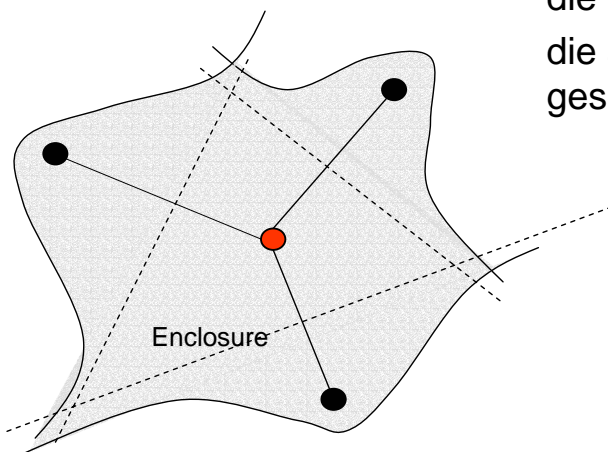
Ohne Routing:  $x \frac{1}{2^2} = 1mW \rightarrow x = 4mW$

Mit Routing:  $x \frac{1}{1^2} = 1mW \rightarrow 2x = 2mW$

## R & M – Enclosure

### ■ Beobachtung Algorithmus

Idee: Berechne für jeden Knoten die Enclosure = Region, in die am billigsten direkt gesendet wird.





## R & M

- Vereinigung aller Enclosures ergibt Erreichbarkeitsgraph
- Hat gewünschte Eigenschaften:
  - Ist stark zusammenhängend
  - Direkte Kommunikation nur mit Nachbarn
  - Weniger Interferenzen
  - Netz ist langlebiger



R & M setzt geographisches Lokalisierungssystem (z.B. GPS) voraus.



## Inhalt

- 1 – Mobile ad hoc Netze – Basiswissen
- 2 – Topologieerzeugung
- 3 – Algorithmen zur Topologieerzeugung
- 4 – Bluetooth - Basiswissen
- 5 – Bluetooth-Topologieerzeugung - Grundlegende Konzepte
- 6 – Algorithmen zur Topologieerzeugung unter Bluetooth

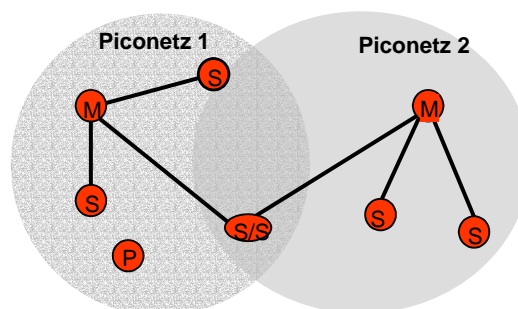


# Bluetooth Basiswissen

- Technologie, die unter anderem die Konstruktion von ad hoc Netzen über kurze Distanzen unterstützt.
- Knoten kommunizieren mittels Frequency-Hopping (weniger Interferenzen, sicherer).
- Kommunikation wird koordiniert von einem **Masterknoten**.
- Masterknoten hat maximal 7 aktive **Slaves**.
- Master und Slaves bilden einen Sterngraphen, **Piconetz** genannt.
- Ein **Piconetz** ist also eine Gruppe von Knoten, die einen Kanal teilen, d.h. ueber die selbe Sequenz von Frequenzen kommuniziert.

# Bluetooth - Scatternetze

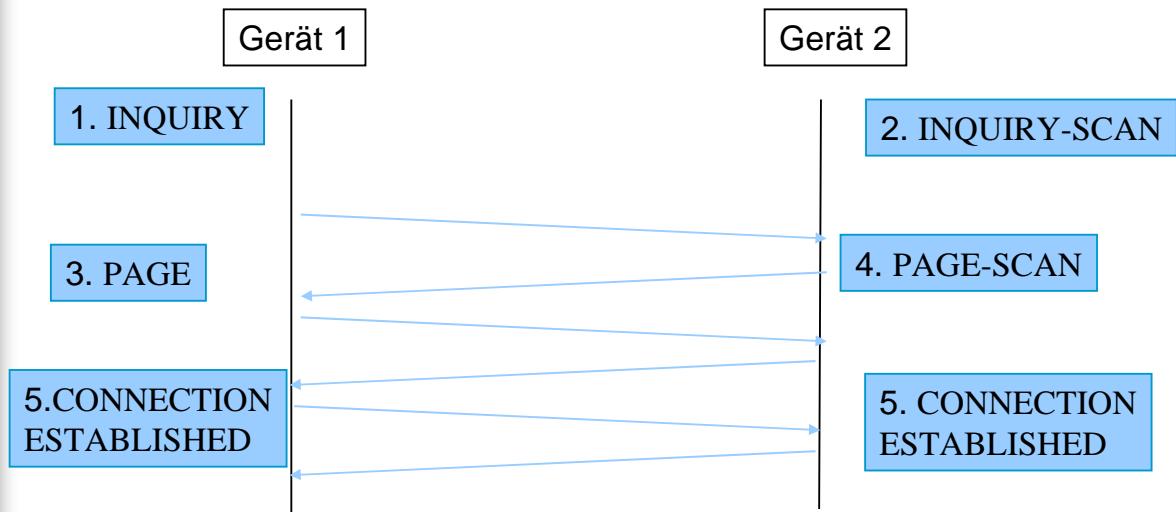
- Verschieden Piconetze können mittels Bridges miteinander kommunizieren.
- Es gibt Slave/Slave und Master/Slave Bridges.



- Ein solches Netz aus Piconetzen heisst **Scatternetz**.

# Bluetooth - Verbindungsaufbau

## ■ Verbindungsaufbau unter Bluetooth



# Bluetooth Verbindungsaufbau

## ■ Verbindungsaufbau unter Bluetooth

- INQUIRY
  - Sender sucht Gerät, das in INQUIRY-SCAN Zustand ist.
- INQUIRY-SCAN
  - Gerät akzeptiert INQUIRY-Pakete für Verbindungsaufbau.
- PAGE
  - Master legt Frequency-Hopping Pattern fest, versucht Verbindung mit anderen Knoten aufzubauen.
- PAGE-SCAN
  - Slave wartet auf PAGE-Pakete von Master.



# Inhalt

- 1 – Mobile ad hoc Netze – Basiswissen
- 2 – Topologieerzeugung
- 3 – Algorithmen zur Topologieerzeugung
- 4 – Bluetooth - Basiswissen
- 5 – Bluetooth-Topologieerzeugung - Grundlegende Konzepte
- 6 – Algorithmen zur Topologieerzeugung unter Bluetooth



## Bluetooth Topologieerzeugung

- Konferenz-Szenario:

*Mehrere Personen treffen sich in einem Konferenzraum und möchten mit ihren Bluetooth-fähigen Geräten ein ad hoc Netz aufbauen. Jede Person drückt den Start-Knopf – und nach möglichst kurzer Zeit soll das Netz aufgebaut sein.*

- D.h. Algorithmus muss Knoten Rollen {Master, Slave, Bridge} zuweisen.  
Dies sollte ohne globales Wissen geschehen.



# Bluetooth Topologieerzeugung II

## ■ Kriterien für Algorithmus:

- Minimale Zeit/Energie für Scatternet – Generierung
- Minimale Anzahl Piconetze  
Alle Piconetze teilen gleiche 79 Frequenzen für Frequency-Hopping.  
Kollisionen mit Anzahl Piconetzen minimiert
- Maximaler Knotengrad minimal  
Piconetze kommunizieren über geteilte Bridges. Gehört eine Bridge zu vielen Piconetzen wird er zum Flaschenhals.
- Minimaler Diameter  
Verringert den Routing-Overhead



# Vergleich Topologieerzeugung

## Ein-Kanal Topologieerzeugung

### Broadcast:

Braucht ein Kollisions-Protokoll

Alle Knoten teilen gleichen Kanal.

Topologie implizit durch Erreichbarkeit der Knoten gegeben.

## Bluetooth Topologieerzeugung

### Verbindungsorientiert:

Knoten kommunizieren über gemeinsame Hopping-Patterns.

Hopping-Pattern vom Master gewählt.

Slaves teilen das gleiche Hopping Pattern – muss synchronisiert werden.

Topologie explizit durch Aufbau von Piconetzen.

**kompizierter!**

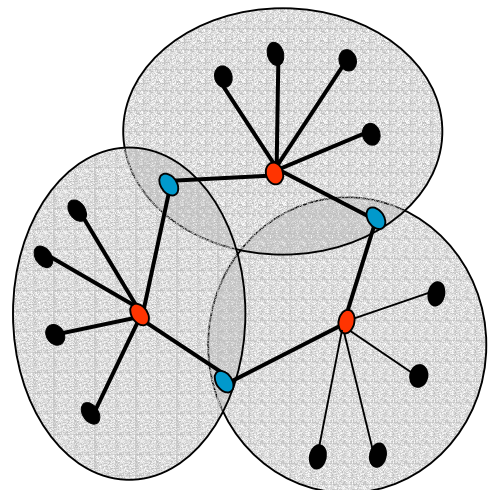
# Inhalt

- 1 – Mobile ad hoc Netze – Basiswissen
- 2 – Topologieerzeugung
- 3 – Algorithmen zur Topologieerzeugung
- 4 – Bluetooth - Basiswissen
- 5 – Bluetooth-Topologieerzeugung - Grundlegende Konzepte
- 6 – Algorithmen zur Topologieerzeugung unter Bluetooth

## Algorithmus von Salonidis<sup>1</sup>

### ■ Ziel – Scatternetz mit folgenden Eigenschaften:

- Nur Slave/Slave Bridges  
Energieeffizienter als Master/Slave
- Minimale Anzahl Piconetze  
Switch zwischen Piconetzen  
ist teuer
- Scatternetz kompletter Graph  
Jedes Piconetze ist direkt mit jedem  
anderen verbunden.
- Eine Bridge verbindet nur  
zwei Piconetze





# Algorithmus von Salonidis II

## ■ Algorithmus hat 3 Phasen:

### 1) Koordinator Wahl

Finde/Wähle einen ausgezeichneten Knoten.



### 2) Rollen-Zuteilung

Koordinator legt für jeden Knoten fest, ob er Master, Slave oder Bridge ist.



### 3) Verbindungsherstellung

Formiere das Scatternet.



## Phase 1 – Koordinator Wahl

1. Jeder Knoten hat Variable `vote`, mit 1 initialisiert.
2. Start: jeder Knoten wechselt zwischen INQUIRY /INQUIRY-SCAN
3. Treffen sich zwei Knoten, Vergleich von `vote`, höherer gewinnt.
4. Gewinner: `vote += verlierer.vote`
5. Verlierer: Gibt alle Knoten, die er bis jetzt gewonnen hat, an Gewinner.  
Geht in PAGE-SCAN Modus.
6. Nach N-1 Runden steht Sieger fest.

Der Sieger kann nicht feststellen, wann die Wahl fertig ist.

N ist nicht bekannt.

Koordinator Wahl muss über Timeout abgebrochen werden.



## Phase 2 – Rollen-Zuteilung

1. Hat Koordinator weniger als 8 Knoten unter sich, dann bildet er ein gewöhnliches Piconetz.
2. Sonst muss mehr als ein Piconetz geformt werden.  
Koordinator berechnet Anzahl Piconetze:

$$P = \left\lceil \frac{17 - \sqrt{289 - 8N}}{2} \right\rceil, \quad 1 \leq N \leq 36$$

*Formel wird hier  
nicht hergeleitet.*



## Phase 2 – Rollen-Zuteilung II

3. Koordinator wählt sich und P-1 andere Knoten als Master.

4. Koordinator wählt  $\binom{P}{2} = \frac{P(P-1)}{2}$  Bridges.

(D.h. jedes Piconetz ist direkt mit jedem anderen verbunden)

5. Koordinator geht in Page-Modus, bildet temporäres Piconetz mit den Masters als Slave.
6. Koordinator übergibt jedem Master die Slave List.  
Benachrichtigt die Bridges.

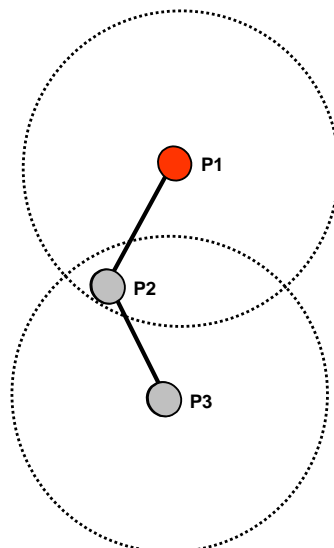
# Phase 3 - Verbindungsherstellung

1. Jeder Master verbindet sich mit den Slaves und Bridges, die ihm vom Koordinator übergeben wurden.
2. Hat Master CONNECTION ESTABLISHED mit allen Slaves und Bridges, terminiert er das Protokoll.

# Salonidis Algorithmus - Bemerkung

- Der Algorithmus setzt voraus, dass alle Knoten sich in Reichweite voneinander befinden!

Beispiel:  
3 Knoten, P1, P2, P3  
Teilmenge aller N  
Knoten, während  
Algorithmus



P1 kann nicht mit P3  
kommunizieren.

Wählt ihn aber evtl.  
als Master/Bridge.





# Offene Fragen

## ■ Topologieerzeugung allgemein

- Viele Algorithmen berücksichtigen die Mobilität der Knoten noch wenig oder gar nicht.

## ■ Topologieerzeugung Bluetooth

- Sind Slave/Slave-Bridges Master/Slave-Bridges grundsätzlich vorzuziehen?
- Drei von vier Papers setzen voraus, dass alle Knoten sich in Kommunikationsreichweite voneinander befinden.



# Zusammenfassung

- In mobilen ad hoc Netzen ist das Energiemanagement von entscheidender Bedeutung.
- Für ein effizientes Energiemanagement sollte eine Topologie erzeugt werden, die wenig Energie braucht und wichtige Kriterien von Kommunikationsnetzen (kurze Pfade, Durchsatz) berücksichtigt.
- Man muss unterscheiden zwischen verbindungsorientierten und verbindungslosen Ansätzen.
  - Verbindungsorientiert: Topologie explizit erzeugt.
  - Verbindungslos: Topologie implizit über Erreichbarkeit.



# Literatur

1. Salonidis, T.; Bhagwat, P.; Tassiulas, L.; LaMaire, R.: Distributed topology construction of Bluetooth personal area networks. In: Proceedings of INFOCOM 2001, IEEE, Volume: 3, 2001, pp. 1577-1586.
2. Law, Ching; Mehta, Amar K.; Siu, Kai-Yeung: Performance of a New Bluetooth Scatternet Formation Protocol. In: Proceedings of the ACM Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing 2001, Long Beach, California, USA, October 2001.
3. Ramachandran, Lakshmi; Kapoor, Manika; Sarkar, Abhinanda; Aggarwal, Alok: Clustering Algorithms for Wireless Ad Hoc Networks. In: Proceedings of the 4th international workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communications, August 11, 2000, Boston, MA USA.
4. Zaruba, Gergely V.; Basagni, Stefano; Chlamtac, Imrich: Bluetrees - Scatternet Formation to Enable Bluetooth-Based Ad Hoc Networks. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC) 2001, Helsinki, Finland, June 2001.
5. Wattenhofer, Roger; Li, Li; Bahl, Paramvir; Wang, Yi-Min: Distributed Topology Control for Power Efficient Operation in Multihop Wireless Ad Hoc Networks. In: Proceedings of the Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM), Anchorage, Alaska, April 2001.
6. Rodoplu, V.; Meng, T.H.: Minimum energy mobile wireless networks. In: IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Volume 17, Issue 8, Aug. 1999, pp. 1333 -1344.
7. Miller B.; Bisdikian C.: Bluetooth Revealed. Prentice Hall, September 2000.