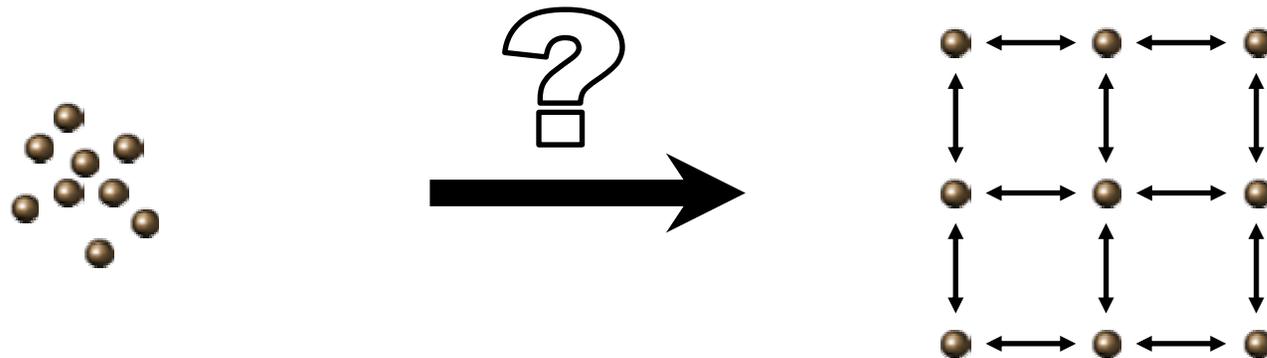


Seminar Verteilte Systeme: Sensornetze

Deployment, Management und Sensorkalibrierung

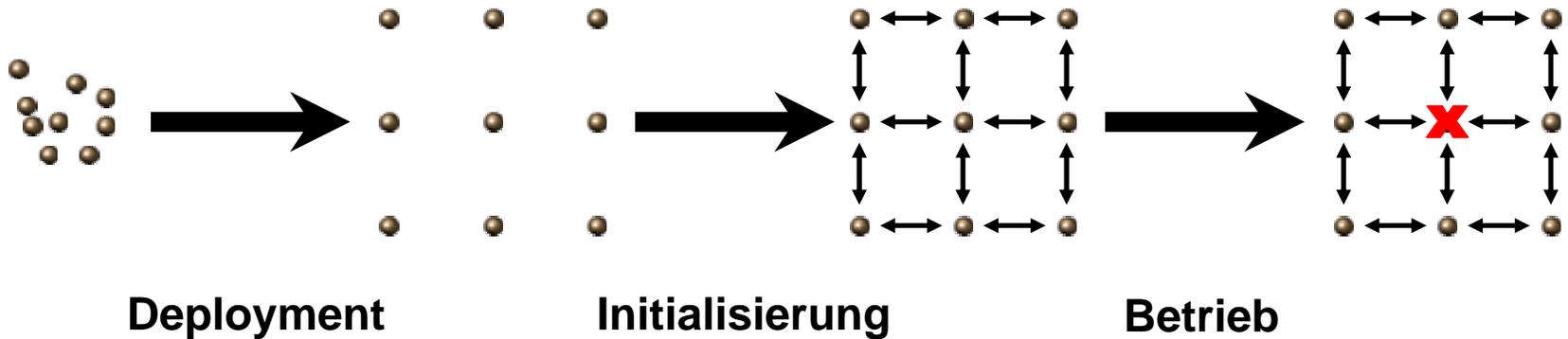
Christoph Plüss
Betreuer: Kay Römer

Vom Knoten zum Netz



Wie gelangt man von einzelnen Sensorknoten zu einem gut funktionierenden Sensornetz?

Vom Knoten zum Netz (2)



- In diesem Vortrag:
 - Deployment
 - Sensorkalibrierung (Initialisierung)

Überblick

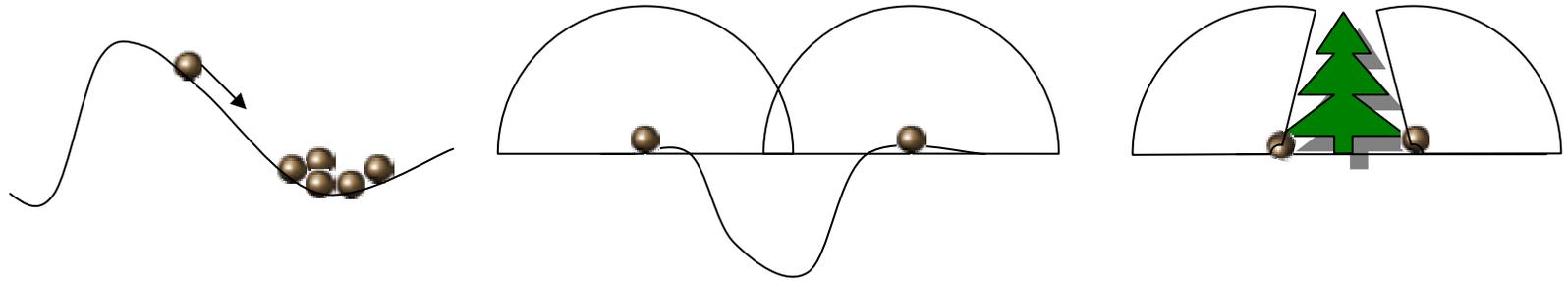
- Allgemeine Einführung
- **Deployment**
 - **Motivation**
 - Using Potential Fields
 - Adaptive Beacon Placement
- Sensorkalibrierung
 - Motivation
 - Colibration
 - Kalibrierung mittels Parameterschätzung
- Schlussbetrachtungen

Platzierungskriterien

- Abdeckung (Punkt-, Gebietsabdeckung)
- Exposure (bei der Erfassung von bewegten Objekten)
- Connectivity
- Messgenauigkeit
- Kosten pro Knoten
- Kosten für das Deployment
- Ausfall von Knoten (Redundanz)

Typische Probleme

- Uniformes Deployment



- Sehr dichtes Deployment

- Hohe Kosten
- Obige Probleme nur reduziert, nicht behoben
- Interferenz

Typische Probleme (2)

- “Individuelles“ Deployment
 - Hohe Kosten
 - Teilweise zu gefährlich

Deployment mittels Potentialfelder

- Für mobile Sensornetze (jeder Knoten kann sich selbständig Fortbewegen)
- Selfdeployment (individuelles Deployment)
- Optimiert die Abdeckung
- Gut geeignet in “feindlicher“ oder sehr dynamischer Umgebung

A. Howard et al., University of Southern California, L.A.:

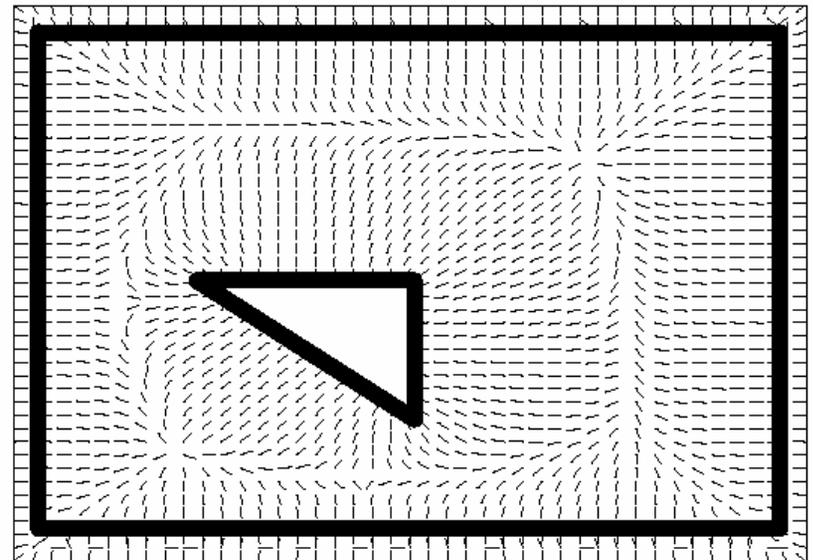
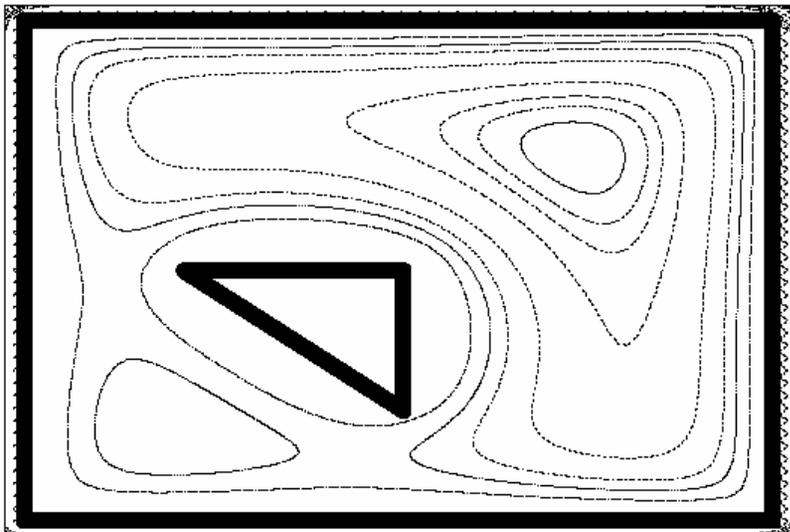
Mobile Sensornetwork Deployment using Potential Fields: A Distributed, Scalable Solution to the Area Coverage Problem

Voraussetzung

- Mobile Knoten
- Jeder Knoten mit Distanzmessgerät ausgerüstet
- Knoten können andere Knoten von Hindernissen unterscheiden

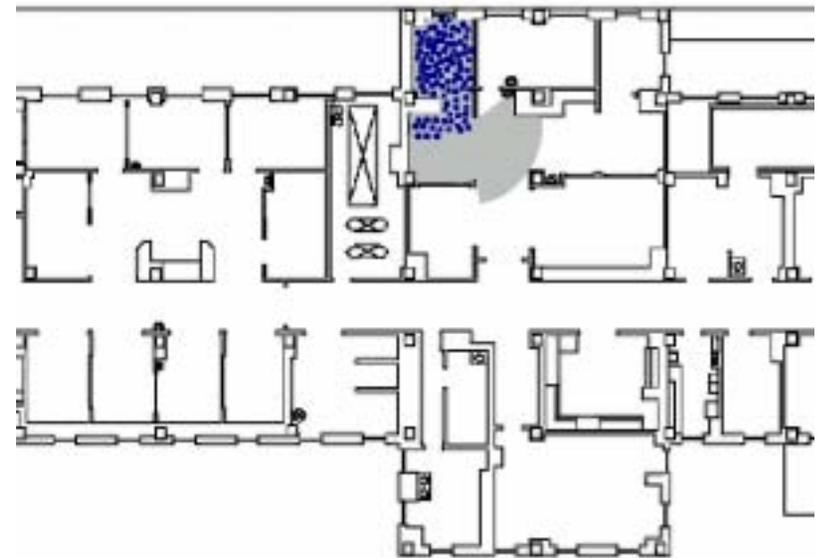
Idee

Jeder Knoten definiere ein Potentialfeld, in welchem Hindernisse und andere Knoten auf ihn selber abstossende Kräfte ausüben.



Ablauf

- Alle Knoten befinden sich anfangs am selben Ort
- Mit Hilfe des Distanzmessgerätes wird die Umgebung ständig analysiert und auf die gewonnene Information auf das Potentialfeld übertragen
- Bewegung in die durch das Feld angezeigte Richtung



Zusammenfassung

- + Keine Kommunikation zwischen den Knoten
 - Vollständig lokaler Algorithmus
 - Sehr hohe Skalierbarkeit
- + Dynamische Anpassung bei Änderungen des Umfelds
- + niedrige Deploymentkosten
- hohe Knotenkosten
- Mobile Sensorknoten (Antrieb, Stromversorgung, Grösse)

Adaptive Beacon Placement

- Verbesserte Lokalisierung
- Individuelles Deployment
- Optimierung eines schon bestehenden Sensornetzes

N. Bulusu et al., University of California, L.A. and
USC/Information Sciences Institute:
Adaptive Beacon Placement

Lokalisierung

- Unterschiedlichste Varianten
- In beinahe allen, werden Referenzknoten benötigt, die ihre Position kennen
- Kommunikation mit einer Mindestanzahl von Referenzknoten zur Bestimmung der eigenen Position

Voraussetzungen

- Vorhandenes Sensornetz
- Roboter oder Person ausgerüstet mit einem GPS und identischer Kommunikationseinrichtung wie die Sensorknoten

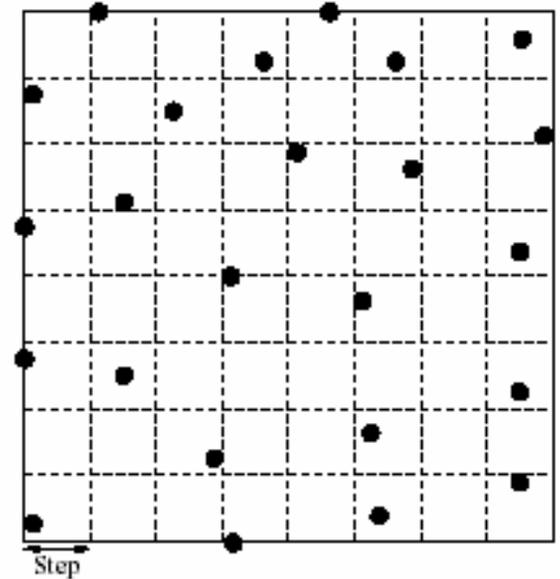
Idee

Empirische Adaption

- Adaption: Verbessern der Lokalisierung durch Hinzufügen von neuen Sensorknoten
- Empirisch: Platzierung zusätzlicher Knoten aufgrund von Messungen im System

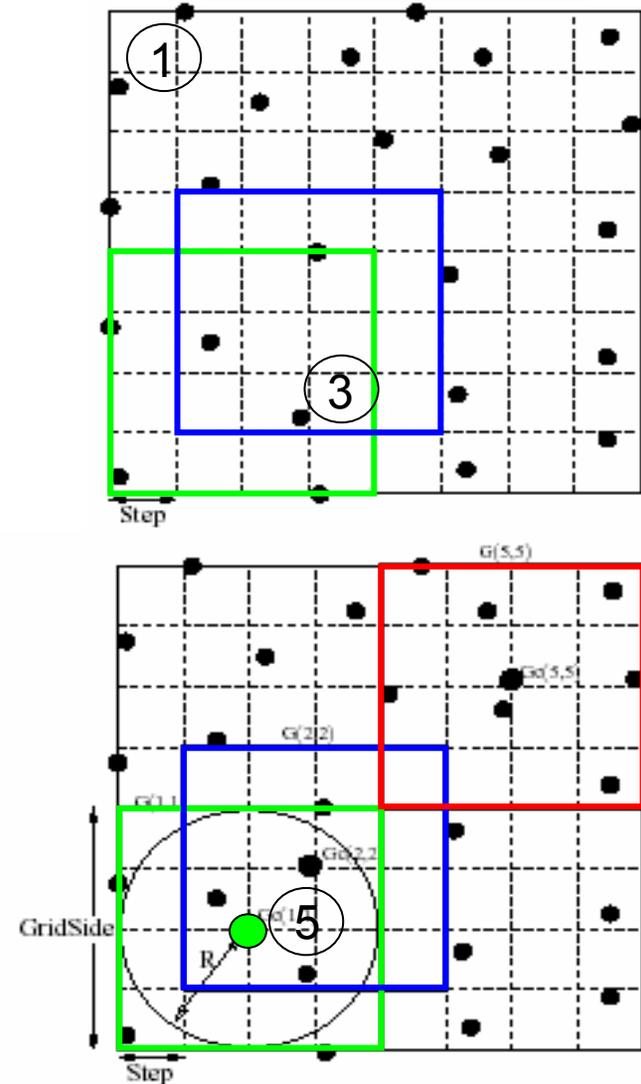
Algorithmus: Max

1. Einteilung des von den Sensoren abgedeckten Gebietes in Step x Step Quadrate
2. Messen des Lokalisierungsfehlers (mit Hilfe des GPS) in jeder Ecke eines Quadrates
3. Neuen Knoten an der Stelle einfügen, an welcher der grösste Fehler gemessen wurde



Algorithmus: Grid

1. 1. und 2. identisch Max
3. Aufteilen des Gebietes in sich teilweise überlappende quadratische Gitter. Die Seitenlänge eines Gitters betrage $2x$ die Sendereichweite
4. Für jedes Gitter den kumulativen Lokalisierungsfehler aller sich darin befindlichen Punkte berechnen
5. Neuen Knoten in das Zentrum des Gitters mit dem grössten kumulativen Fehler einfügen



Überblick

- Allgemeine Einführung
- Deployment
 - Motivation
 - Using Potential Fields
 - Adaptive Beacon Placement
- **Sensorkalibrierung**
 - **Motivation**
 - Colibration
 - Kalibrierung mittels Parameterschätzung
- Schlussbetrachtungen

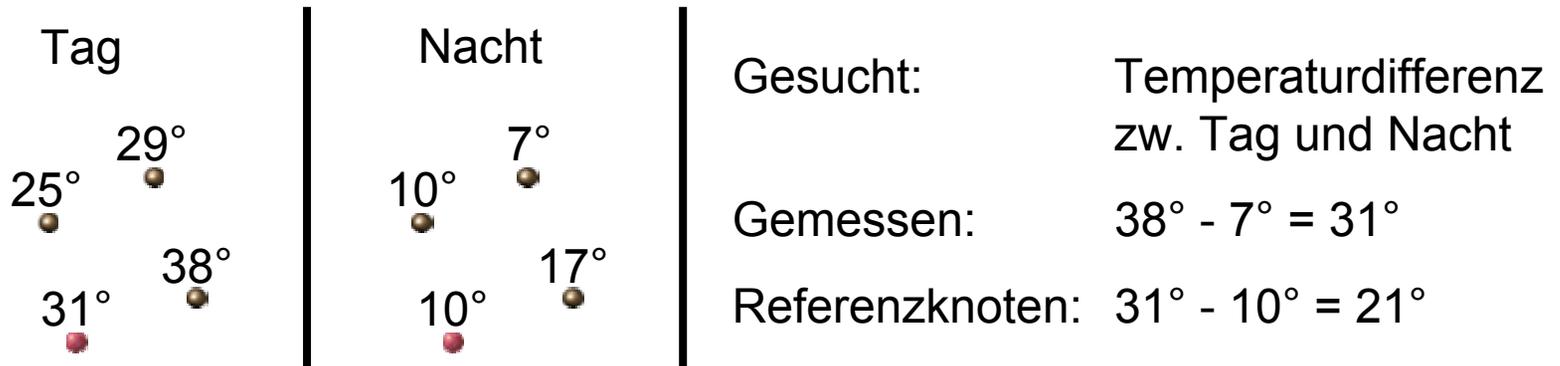
Kalibrierung eines Sensors

- Abbildung der zu messenden physikalischen Eigenschaft (z.B. Temperatur in °C) auf die gemessene elektrische Grösse (in der Regel V oder A)
 - Durch mathematische Funktion oder look-up table
- Erfolgt normalerweise durch den Hersteller des Sensors (factory calibrated)

Kalibrierung eines Sensors (2)

- Kompensation von Umwelteinflüssen
 - Einbeziehen eines ev. vorhandenen Sensordrifts (hervorgerufen durch Alterung, Beschädigung, etc.)
 - Zur Erhöhung der Genauigkeit
- Erfolgt normalerweise durch den Anwender

Kalibrierung eines Sensornetzes



Ziel: Reduktion des systematischen Fehlers

→ Identische Stimuli erzeugen identische Messwerte

Typische Probleme

- Bei Kalibrierung am Sensor selber:
 - Genaue Position der Knoten oftmals unbekannt
 - Sensorknoten ev. schlecht zugänglich
- Sensorknoten oft sehr zahlreich
 - Traditionelle Kalibrierung per Software: paarweise (jeder mit jedem), Abbildung der gemessenen physikalischen Grösse x eines Sensors X auf die gemessene Grösse y eines anderen Sensors Y , $f(x)=y$
 - Skaliert sehr schlecht ($O(n^2)$)

Weitere Probleme

- Zur “exakten“ Kalibrierung Referenzwert notwendig
 - Woher stammt dieser?
 - Gilt er für alle Sensoren?
- Bei Aktor-/Sensorpaaren: Separations-Problem, d.h. Einfluss des Aktors nicht von dem des Sensors unterscheidbar

Colibration

- Sensorkalibrierung direkt am Einsatzort nach dem Deployment
- Für grosse Sensornetze

V. Bychkovskiy et al., University of California, L.A.:
Colibration: A Collaborative Approach to In-Place Sensor
Calibration

Voraussetzungen

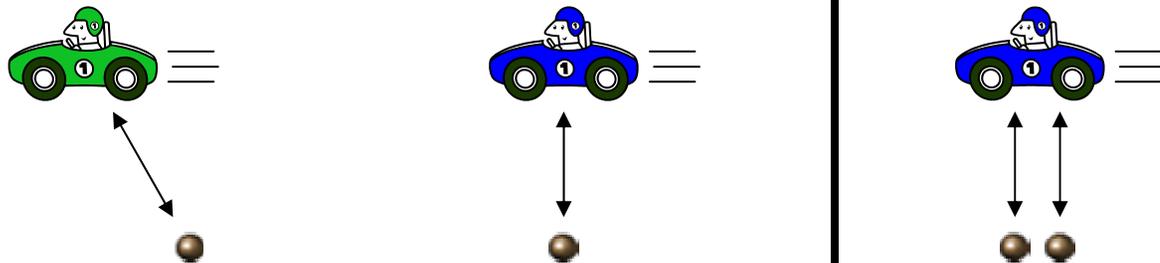
- Dichtes, redundantes Sensordeployment: Mehrere Sensoren müssen das selbe Ereignis detektieren können
- Häufiges Auftreten der zu messenden Ereignisse
- Zeitliche Synchronisation der Sensorknoten

Ablauf

- 2 Phasen
 1. Paarweise Kalibrierung: Bestimmung von Colibration-Funktionen
 2. Lokale Konsistenzmaximierung (Verbesserung der Colibration-Funktionen)
- Colibration-Funktion = Kalibrierungsfunktion

Phase 1: Idee

Für jeweils 2 benachbarte Sensorknoten:
Verwenden von identischen Ereignissen zur
Bestimmung einer lokalen Kalibrierungs-
funktion

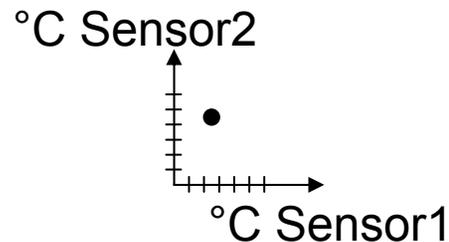


Messungen aller Knoten erfolgen zu einem bestimmten Zeitpunkt t

Phase 1: Algorithmus

1. Synchrones Sammeln von Messdaten über eine bestimmte Zeitdauer
2. Gewichten jedes potentiellen Datenpunktes
3. Herausfiltern von irrelevanten Datenpunkten (jene mit dem kleinsten Gewicht)
4. Bestimmen einer Colibration-Funktion aufgrund der gefilterten Datenpunkten

Beispiel Datenpunkt:



Phase 1: Gewichtung

- Mit Hilfe der Korrelation:

- Korrelation $\rho = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{Var}(X)\text{Var}(Y)}}$

- Wertebereich: $-1 \leq \rho \leq 1$

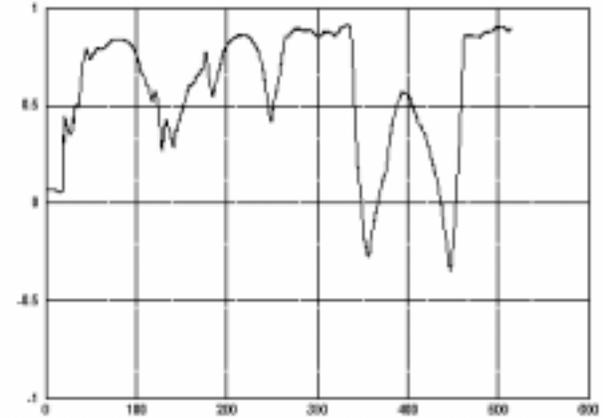
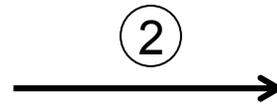
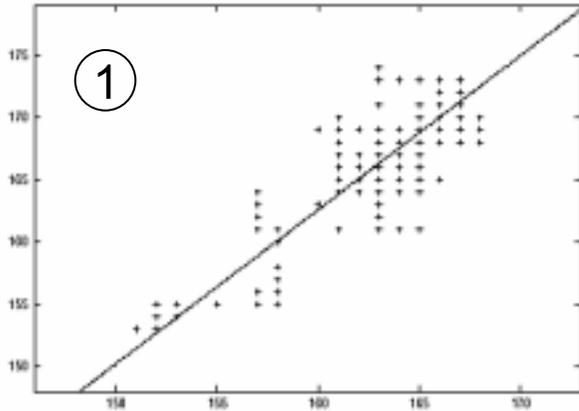
- $\rho = 1$ Übereinstimmung der Werte von X und Y maximal (liegen auf einer Geraden)

- Berechnung der Korrelation über Zeitfenster (sliding window correlation)

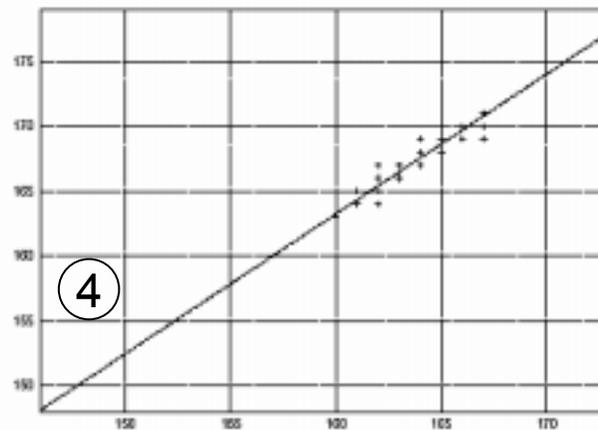
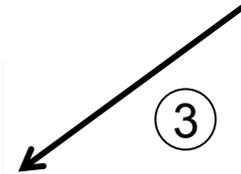
Phase 1: Gewichtung (2)

- Anfangsgewicht jedes potentielle Datenpunktes sei 0
- Für alle Punkte innerhalb eines Korrelationsfensters mit positive Korrelationskoeffizienten: Erhöhung des Gewichts eines Punktes um den Korrelationswert des Fensters, falls er positiv zur Korrelation beigetragen hat

Phase 1: Beispiel

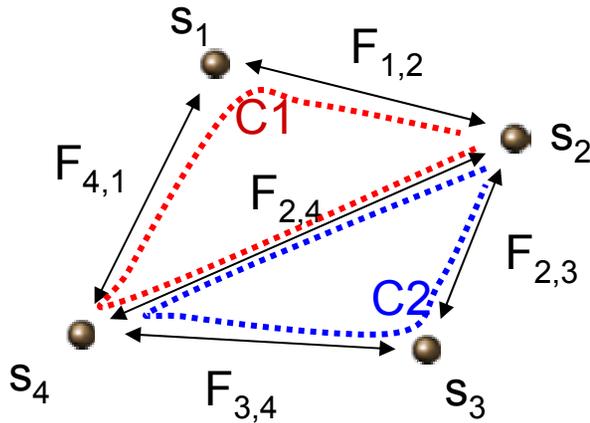


1. Messdaten sammeln
2. Gewichtung
3. Filterung
4. Colibration-Funktion bestimmen



Phase 1: Zusammenfassung

- Sensoren paarweise kalibriert
- Problem: Globale Inkonsistenzen



Colibration-Graph

$$s_2' = F_{1,2}(F_{4,1}(F_{2,4}(s_2)))$$

$$s_2'' = F_{2,3}(F_{3,4}(F_{2,4}(s_2)))$$

$$s_2' \neq s_2''$$

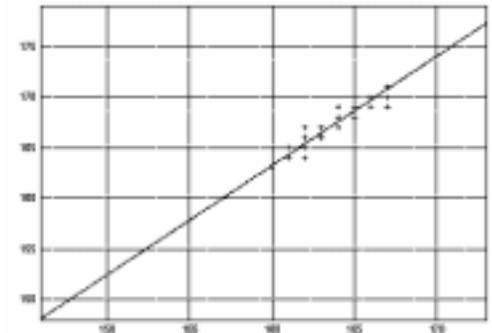
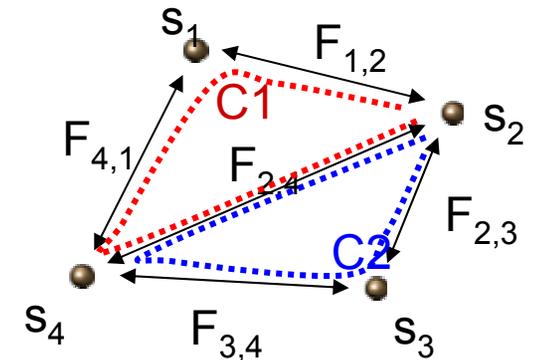
- Lösung: Phase 2

Phase 2: Idee

Lokale Konsistenzmaximierung durch
Mittelwertberechnung

Phase 2: Algorithmus

1. Wählen eines zufälligen Startwertes für einen Knoten s_i
2. Verwenden von unterschiedlichen Zyklen auf dem Colibration-Graph (bis zu einer maximalen Länge) zur Berechnung "neuer" Datenpunkte $s_{i,j}$
3. Mittelwert über alle $s_{i,j}$ bestimmen, bei gegebenem i
4. Wiederholen für alle Knoten
5. Bestimmung verbesserter paarweiser Colibration-Funktionen aufgrund der neuen Datenpunkte



Eigenschaften

- + Verteilte Kalibrierung von Sensorknoten im Einsatzgebiet
- + Hohe Skalierbarkeit der Phase 1
- + Rechenaufwand (und damit verbunden die Genauigkeit) der Phase 2 anpassbar
- + Keine Annahmen über die Initialkalibrierung der Sensoren
- ~ Keine absolute Kalibrierung
- ~ Genauigkeit akzeptabel

Kalibrierung durch Parameterschätzung

- Für grosse Netzwerke
- Referenzmesswerte müssen vorhanden sein

K. Whitehouse., UC Berkeley:
Calibration as Parameter Estimation in Sensor Networks

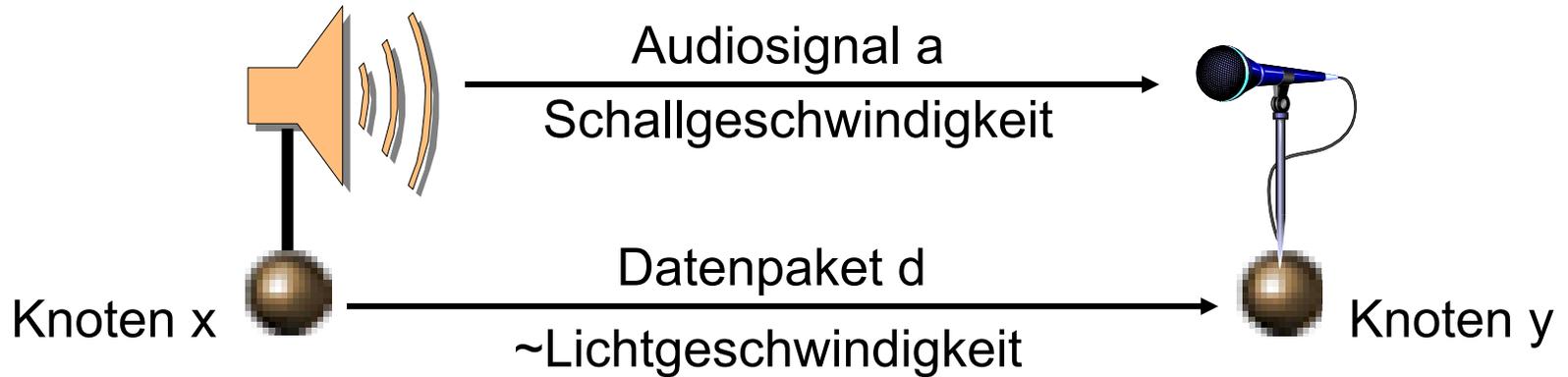
Idee

Macro-Kalibrierung statt Micro-Kalibrierung,
d.h. Kalibrierung des ganzen Systems
anstelle der einzelnen Knoten

Ablauf

1. Parametrisierung jedes einzelnen Sensorknotens
2. Modellierung des ganzen System mit Hilfe dieser Parameter
3. Sammeln von Messdaten des Systems
4. Bestimmen der Parameter für die einzelnen Sensorknoten, so dass der Fehler des Gesamtsystems minimiert wird

Beispiel: Distanzmessung



- Gleichzeitiges Senden von a und d
- Bei Ankunft bei y: Ankunftszeit von beiden festhalten (t_a , t_d)
- Distanz = $(t_a - t_d) \cdot \text{Schallgeschwindigkeit}$

Beispiel: Distanzmessung (2)

- Parametrisierung:
 - Zeit die vergeht, bis die Membran des Lautsprechers (S_L) bzw. des Mikrofons (S_M) schwingt
 - Lautstärke des Lautsprechers (L_L) bzw. Empfindlichkeit des Mikrofons (L_M): Einfluss auf die Geschwindigkeit, mit welcher das Signal detektiert wird
 - Relative Ausrichtung des Lautsprechers zum Mikrophon: Einfluss auf die Lautstärke

Beispiel: Distanzmessung (3)

- Weiteres Vorgehen:
 - Distanz anhand der Parameter ausdrücken:
 $d = S_L + S_M + L_L * d' + L_M * d'$
 - k Distanzmessungen d' vornehmen
 - Gleichungssystem aus Distanzmessungen, Parameter und exakten Distanzen d (!) aufstellen und lösen:
 $Ax = d$, d Distanzvektor, x Parametervektor, A Koeffizientenmatrix
→ Parameter

Eigenschaften

- + Lokale Speicherung der Parameter
- ~ Skalierbarkeit
- ~ Fehler: ~10%, beste untersuchte paarweise Kalibrierung ~16%, unkalibriert ~76%
- Referenzwert (im Bsp. exakte Distanz) notwendig

Autocalibration

- Kalibrierung ohne Referenzwert
- Mittels a priori Information (am Beispiel)
 - Alle Distanzschätzungen müssen die Dreiecksungleichung erfüllen
 - Schätzungen immer 2 Mal: 1. Knoten k Empfänger, 2. Knoten k Sender
- Quadratisches Programm
 - nicht in allen Fällen lösbar
 - sehr rechenintensiv

Überblick

- Allgemeine Einführung
- Deployment
 - Motivation
 - Using Potential Fields
 - Adaptive Beacon Placement
- Sensorkalibrierung
 - Motivation
 - Colibration
 - Kalibrierung mittels Parameterschätzung
- **Schlussbetrachtungen**

Beispiel: Zeitsynchronisation

- Kann als Sensorkalibrierung betrachtet werden
 - Uhr als “Zeitsensor“
 - Ähnliche Ziele
 - Ähnliche Probleme
 - Unterschiedliche Absolutmesswerte
 - Drift
 - Referenzwert notwendig für absolute Messwerte

Zusammenfassung

- Deployment
 - Potentialfeld: Mobile Sensornetze
 - Adaptive Beacon Placement: Lokalisierung
 - Nur Simulationen
- Kalibrierung
 - Colibartion
 - Parameterschätzung
 - Experimente (max. 32 Knoten)
 - Kalibrierungsgenauigkeit ev. zu klein