

# Parameteroptimierung grobkörniger Positionierungsalgorithmen in Sensor-Netzwerken

Jan Blumenthal, Frank Reichenbach, Dirk Timmermann

## 1 Einleitung

Ein Sensor-Netzwerk besteht aus hunderten oder tausenden winziger Sensorknoten, die auf einem Gebiet zufällig verteilt werden. Ihre Aufgabe besteht in der Aufnahme von Messwerten und der effizienten Weiterleitung an die Datensinken des Systems. Einen sehr guten und einführenden Überblick in die Thematik der Sensor-Netzwerke gibt I.F. Akyildiz in [1].

Ein Sensorknoten besteht aus einer Batterie, einem Mikroprozessor, einer Übertragungseinheit und einem Sensor. Aufgrund der Größe eines Knotens von einigen Kubikmillimetern sind die Dimensionen für die Konstruktion von Übertragungseinheit und Batterie besonders kritisch. Die knappste Ressource innerhalb eines Netzwerkes ist folglich die zur Verfügung stehende Energie. Es ist demnach unerlässlich, neben stromsparenden Bauelementen auch energieeffiziente Algorithmen einzusetzen.

Die stochastische Verteilung von Sensorknoten verhindert eine sofortige Zuordnung des Messdatums zum Ort der Messung. Aus diesem Grund ist eine Positionsbestimmung der Knoten notwendig, die zusätzliche Energie für Datenübertragungen und Berechnungen auf den einfachen Knoten benötigt.

## 2 Positionsbestimmung

Die Positionsbestimmung in Sensor-Netzwerken wird in zwei große Teilbereiche unterschieden: die grob- und die feinkörnige Positionsbestimmung.

Die feinkörnige Positionsbestimmung zeichnet sich durch sehr exakte Ergebnisse mit einem sehr geringen Fehler (<5%) aus. Ein sehr bekannter Algorithmus ist die Multilateration, die von A. Savvides vorgestellt wurde [2]. Der wesentliche Nachteil der feinkörnigen Positionierung besteht in dem hohen Aufwand für Berechnung und Kommunikation. Zudem werden hohe Anforderungen an die Qualität der Messwerte, z.B. der Feldstärkemessung, gestellt, die sich in der Praxis als unrealistisch erweisen.

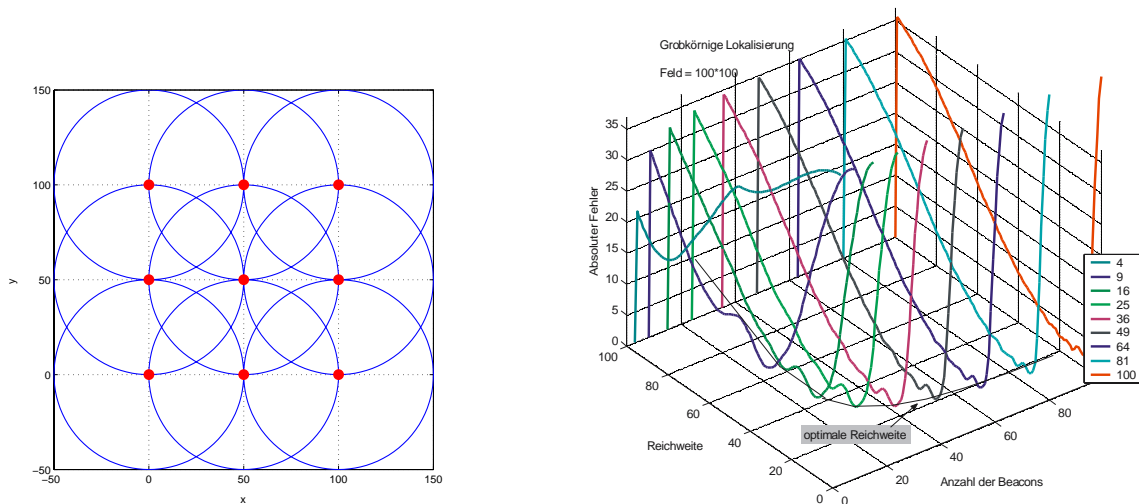
Die grobkörnige Positionsbestimmung unterscheidet sich von feinkörnigen Ermittlungsmethoden durch einfachere Modelle, geringeren Kommunikationsaufwand und schnellere Berechnung. Der Nachteil besteht in den höheren Lokalisationsfehlern, die zwischen 5-20% liegen, aber für die meisten Anwendungen in Sensor-Netzwerken ausreichend sind.

Basierend auf Infrarot-Übertragungstechnik wurde bereits 1989 das „Active Badge System“ für Innenräume erfolgreich implementiert [3]. Das hier betrachtete Verfahren basiert auf dem von Nirupama Bulusu vorgestellten „Coarse Grained with Center Determination“ Algorithmus [4].

Die Basis der Positionsbestimmung bildet ein idealisiertes Radiomodell, um die Grenzen der Kommunikationsreichweite einzelner Knoten zu bestimmen. Sendeakti-

vität findet lediglich durch Basisstationen, nachfolgend Beacons genannt, statt. Perfekte kugelförmige Radiowellenausbreitung mit dem Radius  $R$  und identische Sendebereiche für alle Transceiver ergänzen das idealisierte Modell.

Als Vereinfachung betrachten wir ein zweidimensionales, quadratisches Feld mit  $b$  Beacons. Die Beacons  $B_1 \dots B_b$  sind in einem Gitternetz (Infrastrukturfall) mit einem homogenen Abstand  $d$  zueinander angeordnet. Sie befinden sich an den bekannten Stellen  $(x_1 \dots x_b), (y_1 \dots y_b)$  und senden zeitlich versetzt in periodischen Abständen ein Signal in Form eines Paketes aus, das von den in Reichweite befindlichen einfachen Knoten mit unbekannter Position empfangen wird. Jeder Knoten überwacht das Übertragungsmedium für eine festgelegte Zeit  $t$  und registriert alle empfangenen Pakete. Anschließend bestimmt er die Anzahl  $n$  der sich in Reichweite befindlichen Beacons.



**Abbildung 1:** a) Überlappungsbereiche in einem Sensor-Netzwerk mit 3x3 Beacons,  $d=50$ ,  $R=50$  und  $100 \times 100$  Sensorknoten, b) Abhängigkeit des absoluten Fehlers von der Übertragungreichweite und der Anzahl der Beacons (Gitternetz-Anordnung)

Mit der Annahme eines idealen kreisförmigen Sendebereiches der Beacons ist eine Aufteilung des Feldes in Überlappungsbereiche möglich. In Abhängigkeit der Verteilung der Beacons entstehen Regionen mit  $0 \dots b$  Überlappungen (Abbildung 1a). Jeder Knoten innerhalb eines Überlappungsbereiches kann durch einfache Mittelpunktbestimmung der empfangenen Beaconpositionen seinen Schätzwert der eigenen Position bestimmen. Mithilfe der Gleichung 1 ist dieser Schätzwert als Mittelpunkt innerhalb der eingeschlossenen Fläche ermittelbar.

$$x_{i_{est}}, y_{i_{est}} = \left( \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{B_k}, \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_{B_k} \right) \quad (1)$$

Der Schätzwert ist für alle Knoten innerhalb einer Überlappungsregion konstant, im Gegensatz zum Positionierungsfehler  $f_i(x, y)$ . Er ist definiert als Abstand zwischen der geschätzten und der exakten Position des Knotens.

$$f_i(x, y) = \sqrt{(x_{i_{est}} - x_{i_a})^2 + (y_{i_{est}} - y_{i_a})^2} \quad (2)$$

### 3 Aktuelle Untersuchungen

#### 3.1 Gitternetzausrichtung der Beacons

Die durchgeführte Simulation umfasste ein quadratisches Gitterfeld aus 100x100 Punkten. Wichtig war uns, die Abhängigkeit der Übertragungsreichweite  $R$  von der Beaconanzahl und dem resultierendem Fehler zu untersuchen (Abbildung 1b). Es ist ersichtlich, dass mit ansteigender Reichweite ein anfangs sehr hoher Fehlerwert sprunghaft auf sein Minimum absinkt. Danach steigt der Fehler fast linear mit der Reichweite an. Ebenso ist zu erkennen, dass eine höhere Beaconanzahl bei konstanter Übertragungsreichweite keinesfalls immer zu einem geringeren Fehler führt.

Im Idealfall wird eine hohe Genauigkeit mit wenig Beacons und einer möglichst geringen Übertragungsreichweite gefordert. Nach Abbildung 1b nimmt die optimale Übertragungsreichweite mit steigender Anzahl von Beacons stetig ab und reduziert den Fehler bei 10x10 Beacons bis auf 1,89. Es entsteht somit ein Optimierungsproblem zwischen Beaconanzahl, dem Fehler und der Übertragungsreichweite. Abbildung 1b gibt weiterhin Einsicht in die Fehlerentwicklung bei Erhöhung der Reichweite im Allgemeinen. Eine Überdimensionierung des Übertragungsbereiches der Beacons ist nicht sinnvoll und führt zu einer Erhöhung des Fehlers und des Energieverbrauchs. Der auffällige Funktionsverlauf bei vier verwendeten Beacons beweist ein unausgeglichenes Verhältnis zwischen Übertragungsreichweite, Beaconanzahl und der Feldgröße. Eine zu geringe Anzahl von Beacons wird daher nicht empfohlen.

#### 3.2 Stochastische Beacon-Verteilung

Folgend wird die Eignung des Simulationsverfahrens auf Basis stochastisch verteilter Beacons untersucht. Es ist anzunehmen, dass die Resultate nicht sehr exakt sein werden. Zur Verifikation diente eine Simulation mit 36 zufällig gleichverteilten Beacons. Bei jeweils konstanter Anzahl Beacons wurden drei verschiedene Verteilungen in einem Feld in Abhängigkeit der Übertragungsreichweite aufgenommen. Das Resultat

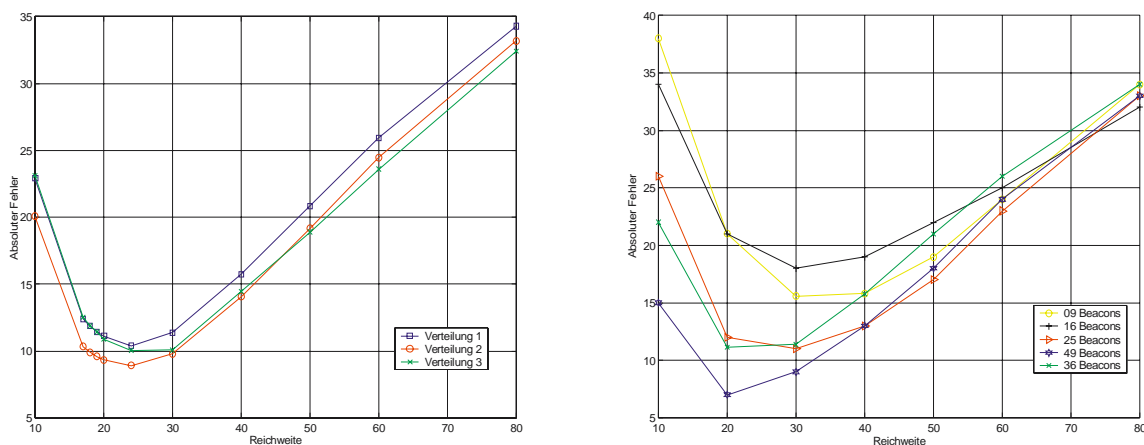


Abbildung 2: a) Abhängigkeit des absoluten Fehlers von der Übertragungsreichweite bei verschiedenen stochastischen Verteilungen, b) Abhängigkeit des absoluten Fehlers von der Übertragungsreichweite und der Anzahl der Beacons (stochastische Verteilung)

ist in Abbildung 2a dargestellt. Obwohl die Beacons bei jeder Kurve unterschiedliche Positionen besitzen, entstehen ähnliche Verläufe. Bei  $R=24$  bildet sich eine optimale Übertragungreichweite aus. Der Kurvenverlauf des absoluten Fehlers gleicht dem des Infrastrukturfalles. Die Kurve fällt schnell auf ein Minimum ab und steigt anschließend fast linear an.

Die stochastische Verteilung der Beacons führt zu einer Erhöhung der optimalen Übertragungreichweite sowie einer Verschlechterung der Genauigkeit. Der Fehler erreicht ein Minimum zwischen 7,9 und 9,4 gegenüber 3,3 bei Gitteranordnung der Beacons. Durch den zufälligen Einfluss kann demnach mit einer Verdreifachung des Fehlers gerechnet werden.

Weiterhin wurde eine Simulationsreihe mit einer variablen Anzahl von Beacons angefertigt (Abbildung 2b). Dabei verbesserte sich der Fehler mit Erhöhung der Beaconanzahl. Dieses Verhalten entspricht ebenfalls den Erfahrungen aus dem Infrastrukturfall.

## 4 Zusammenfassung

Wir präsentierten in diesem Artikel erste Ergebnisse beim Einstellen der optimalen Übertragungreichweite von Beacons, um den Energieaufwand während der Positionsbestimmung von einfachen Knoten eines Sensor-Netzwerkes zu verringern.

Anhand der Simulationsergebnisse kann für jede Kombination von Beacons zu einfachen Knoten in Abhängigkeit des gewünschten Positionierungsfehlers die optimale Übertragungreichweite der Beacons abgelesen werden.

Aktuelle Forschungsaktivitäten betreffen die Ermittlung der optimalen Übertragungreichweite für die stochastische Verteilung von Knoten. Weiterhin konzentrieren wir uns auf eine analytische Lösung des Optimierungsproblems zwischen Beaconanzahl, Positionierungsfehler und Übertragungreichweite.

## Literatur

- [1] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E.Cayirci: „*A Survey on Sensor Networks*“, IEEE Communications Magazine, pp. 102- 114, August 2002
- [2] Andreas Savvides: „*Dynamic fine grained localization in ad-hoc networks of sensors*“, ACM SIGMobile 07/2001, Rom, 2001
- [3] Want Roy: „*The active badge location system*“, ACM Transactions on Information Systems, 10(1):91-102, January 1992
- [4] Nirupama Bulusu, John Heidemann, Deborah Estrin: „*GPS-less low cost outdoor localization for very small devices*“, 2000

## Verfasser

Jan Blumenthal, Frank Reichenbach, Dirk Timmermann  
Universität Rostock

Institut für Angewandte Mikroelektronik und Datentechnik  
Richard-Wagner-Str. 31, 18119 Rostock

E-Mail: {jan.blumenthal, frank.reichenbach, dirk.timmermann}@uni-rostock.de