

# Parameteroptimierung grobkörniger Positionierungsalgorithmen in Sensor-Netzwerken

Jan Blumenthal, Frank Reichenbach, Dirk Timmermann  
Institut für Angewandte Mikroelektronik und Datentechnik  
Universität Rostock

Richard-Wagner-Str. 31, 18119 Rostock, Deutschland  
{jan.blumenthal, frank.reichenbach, dirk.timmermann}@etechnik.uni-rostock.de

## Abstrakt

Dieser Artikel beschreibt unsere Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der grobkörnigen Positionsbestimmung in Sensor-Netzwerken. Unsere aktuellen Untersuchungen konzentrieren sich auf die Optimierung der einstellbaren Übertragungreichweite von Basisstationen beim Senden von Positionsdaten und die Optimierung der Positionsberechnung auf den einfachen Knoten mit dem Ziel der Minimierung des Energieaufwands. In diesem Artikel präsentieren wir erste Ergebnisse, wie für den grobkörnigen Algorithmus „Coarse Grained with Center Determination“ eine optimale Übertragungreichweite eingestellt werden kann.

## 1 Einleitung

Ein Sensor-Netzwerk besteht aus hunderten oder tausenden winziger Sensorknoten, die auf einem Gebiet zufällig verteilt werden. Die 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 zumeist 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. Sendeaktivität 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 (Unbekannten) empfangen wird. Jeder Unbekannte 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.

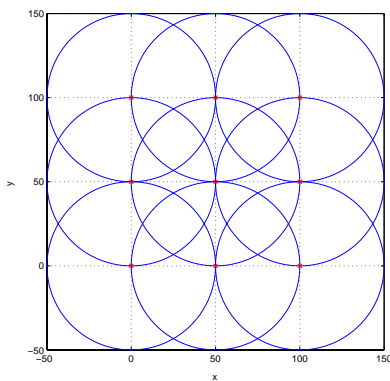


Abb. 1: Beaconverteilung mit  $d = 50$  und  $R = 50$

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 1). 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.

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

$x_{i_{est}}, y_{i_{est}}$  = geschätzte Koordinaten

Der Schätzwert ist für alle Knoten innerhalb einer Überlappungsregion konstant, im Gegensatz zum Positionierungsfehler. Er ist definiert als Abstand zwischen der geschätzten und der exakten Position des Unbekannten. Diese Beziehung drückt Gleichung 2 aus.

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

$f_i(x, y)$  = Positionierungsfehler;  $x_{i_a}, y_{i_a}$  = Koordinaten

Die Genauigkeit der Positionsbestimmung wird nach N. Bulusu [4] mit zunehmendem Verhältnis von  $r$  zu  $d$  besser. Unsere Simulationen zeigen jedoch ein anderes Verhalten. Zuerst steigt die Genauigkeit mit zunehmender Beaconanzahl, aber anschließend sinkt sie wieder. Es scheint ein Optimum in der Anzahl der Beacons zu geben, das zudem abhängig von der Übertragungsreichweite der Beacons ist.

Unsere Untersuchungen konzentrieren sich somit auf die Möglichkeit, durch Optimierung der Übertragungsreichweite Energie einzusparen. Das ist besonders vorteilhaft, da der Energieverbrauch beim Senden von Nachrichten quadratisch mit der Entfernung  $r$  wächst, wie aus der vereinfachten Gleichung 3 zur Energiebilanz einer Funkübertragung zu erkennen ist.

$$E = E_{Init} + nE_{Bit} \left( \frac{4 \cdot \pi \cdot r}{\lambda} \right)^2 \quad (3)$$

- $n$  = Anzahl der zu übertragenden Bits
- $E_{Init}$  = Basisbedarf des Transmitters
- $E_{Bit}$  = Energie zur Übertragung eines Bits
- $\lambda$  = Wellenlänge
- $r$  = Distanz

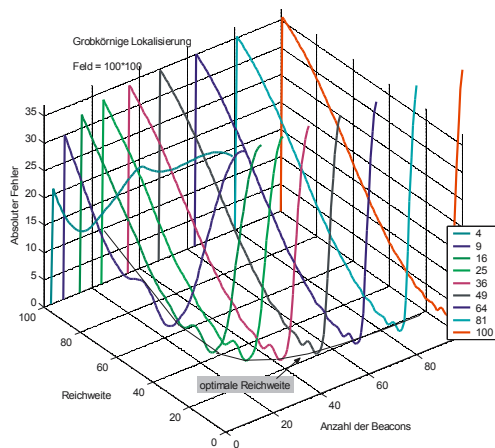
### 3 Aktuelle Untersuchungen

#### 3.1 Gitternetzausrichtung der Beacons

Die durchgeführte Simulation umfasste ein quadratisches Gitterfeld  $100 \cdot 100$ . Wichtig war uns, die Abhängigkeit der Übertragungsreichweite  $R$  von der Beaconanzahl und dem resultierendem Fehler zu untersuchen

(Abbildung 2). 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 2 nimmt die optimale Reichweite mit steigender Anzahl von Beacons stetig ab und reduziert den Fehler bei 10·10 Beacons bis auf 1,89.

Es entsteht somit ein Optimierungsproblem zwischen Beaconanzahl, dem Fehler und der Übertragungsreichweite. Abbildung 2 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 Reichweite, Beacons und der Feldgröße. Eine zu geringe Anzahl von Beacons wird daher nicht empfohlen.

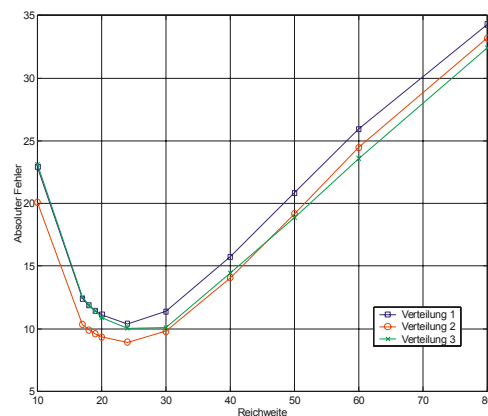


**Abbildung 2: Abhängigkeit des absoluten Fehlers von der Übertragungsreichweite und der Anzahl der Beacons (Gitternetz-Anordnung)**

### 3.2 Stochastische Beacon-Verteilung

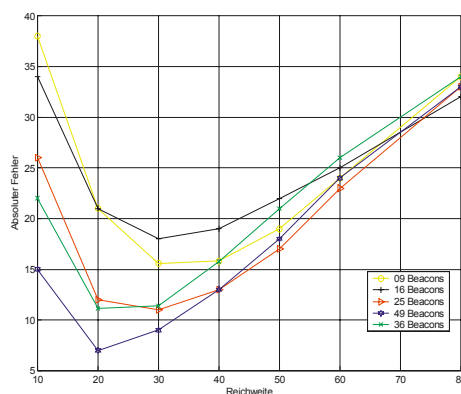
Folgend wird die Eignung des Simulationsverfahrens auf Basis stochastisch verteilte Beacons untersucht. Es ist anzunehmen, dass die Resultate nicht sehr exakt sein werden. Zur Verifikation diene eine Simulation mit 36 zufällig gleichverteilten Beacons.

Bei jeweils konstanter Anzahl Beacons wurden drei verschiedene Verteilungen in einem Feld in Abhängigkeit der Übertragungsreichweite aufgenommen. Das Resultat ist in Abbildung 3 dargestellt. Obwohl die Beacons bei jeder Kurve unterschiedliche Positionen besitzen, entstehen ähnliche Verläufe. Bei  $R=24$  bildet sich eine optimale Übertragungsreichweite aus. Der Kurvenverlauf des absoluten Fehlers gleicht dem im Infrastrukturfall. Die Kurve fällt schnell auf ein Minimum ab und steigt anschließend fast linear an.



**Abbildung 3: Abhängigkeit des absoluten Fehlers von der Übertragungsreichweite bei verschiedenen stochastischen Verteilungen**

Die stochastische Verteilung der Beacons führt zu einer Erhöhung der optimalen Übertragungsreichweite 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.



**Abbildung 4: Abhängigkeit des absoluten Fehlers von der Übertragungsreichweite und der Anzahl der Beacons (stochastische Verteilung)**

Weiterhin wurde eine Simulationsreihe angefertigt mit einer variablen Anzahl von Beacons (Abbildung 4). Dabei verbesserte sich der Fehler mit Erhöhung der Beaconanzahl. Dieses Verhalten gleicht 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 der 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 stochastischen Verteilung von Knoten. Weiterhin konzentrieren wir uns auf eine analytische Lösung des Optimierungsproblems zwischen Beaconanzahl, Positionierungsfehler und Reichweite.

## 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