



FAKULTÄT FÜR
INFORMATIK

Institut für Verteilte Systeme
Seminararbeit

Indoor-Lokalisation

Sommersemester 2013

Autor: Andreas Pfohl

Professor: Prof. Dr. rer. nat. Kaiser

Betreuer: Christoph Steup, Sebastian Zug

Pfohl, Andreas: *Indoor-Lokalisation*
Seminararbeit, Otto-von-Guericke-Universität
Magdeburg, 2013.

Abstrakt

Positionsbestimmung in geschlossenen Räumen gewinnt immer mehr an Bedeutung. Gerade auch in Bezug auf die Heimautomatisierung oder den Betrieb von selbstständig arbeitenden Lagersystemen. Dabei gibt es viele Aspekte zu beachten. Darunter fallen die Kosten, die Genauigkeit und Anwendbarkeit. Dazu sollten verschiedene Systeme betrachtet werden, um abschätzen zu können, welches System das jeweils passendste ist.

Diese Arbeit beschreibt einige Lokalisierungsmethoden für den Indoorbetrieb. Dabei werden im ersten Teil vier wichtige Verfahren erklärt. Im zweiten Teil der Arbeit wird das Ultraschallverfahren genauer betrachtet und auf zwei mögliche Anwendungen eingegangen. Es werden weiterhin die Probleme und Vorteile dieses Verfahrens behandelt.

Inhaltsverzeichnis

1	Lokalisierungsmethoden	1
1.1	Globales Navigationssatellitensystem	1
1.2	Vorgetäushtes GNSS	2
1.3	Laserverfolgung	2
1.4	Funksignale	2
2	Ultraschall	5
2.1	Sprechende Infrastruktur	5
2.2	Sprechender Knoten	6
2.3	Unterschied	6
2.4	Triangulation	6
2.5	Probleme	8
2.6	Vorteile	9
3	Fazit	11
	Literaturverzeichnis	13

1 Lokalisierungsmethoden

1.1 Globales Navigationssatellitensystem

Das wohl bekannteste Verfahren eine Position zu ermitteln ist derzeit das "Global Navigation Satellite System". Der Kern dieses Systems sind Satelliten im Erdorbit, die kontinuierlich Funksignale zur Erde senden. Diese werden dort von einem entsprechenden Empfänger aufgenommen und mit Hilfe von mathematischen Berechnungen zu einer globalen Position vereinigt.

Soll dieses Verfahren jedoch verwendet werden um eine Indoor-Lokalisierung zu realisieren, steht man vor mehreren Problemen. Die Funksignale der Satelliten sind durch Hindernisse nur noch recht schlecht empfangbar, da deren Intensität je nach Material abnimmt. Um die Signale einigermaßen gut empfangen zu können, werden spezielle Sensoren benötigt, was auch einen höheren Geldaufwand bedeutet.

Ein weiteres Problem ist die große Ungenauigkeit von GNSS in Räumen. Auf Grund von Reflexionen entstehen Fehler, die zu einer Ungenauigkeit in der Lokalisierung führen. Die Anforderung von Lokalisierung in Räumen verlangt eine recht hohe Auflösung, da im Verhältnis zu Draußen oft nur wenig Zeit zum Reagieren bleibt und die Abmaße der Gebiete viel kleiner sind. Da ist eine Abweichung von mehreren Metern nicht hinnehmbar. GNSS würde sich also nur anbieten, wenn es darum geht, zu bestimmen in welchem Raum man sich befindet. Um dabei eine schnelle Positionierung zu erreichen, wird das "Assisted Global Positioning System" verwendet. Dabei verfügt der Empfänger über eine Datenverbindung zu einer Informationsquelle in der Informationen darüber zu finden sind, wo sich zum aktuellen Zeitpunkt welche Satelliten befinden. Er bekommt somit eine hilfreiche Information, die er sonst über die Signale der Satelliten selbst berechnen müsste. Um in Räumen eine Aussage darüber treffen zu können, ob ein empfangenes Signal gültig ist, wird über mehrere Intervalle integriert.

1.2 Vorgetäushtes GNSS

Bei vorgetäushtem GNSS werden spezielle Transceiver aufgestellt, die GNSS-ähnliche Signale aussenden. Die Transceiver sind dabei zeitsynchronisiert. Dieses System kann sowohl indoor als auch outdoor verwendet werden. Es erreicht dabei eine maximale Abweichung von ± 20 mm. In Gebäuden eignet sich dieses System sehr gut für eine Lokalisierung, da die Signale eine ausreichende Intensität haben um Wände zu durchdringen. Indoor wird dabei jedoch nur eine Genauigkeit im Dezimeterbereich erzielt.

1.3 Laserverfolgung

Bei diesem Verfahren werden die Objekte, von denen die Positionen bestimmt werden sollen, mit Reflektoren ausgestattet und dann von einem Laserinterferometer verfolgt. Aus den gesammelten Daten kann dann eine Position bestimmt werden. Das Prinzip ist ähnlich dem der Landvermessung. Die Reichweite kann bei der Laserverfolgung bis zu 70m betragen. Zusätzlich besteht die Möglichkeit bewegte Objekte dauerhaft zu verfolgen, um eine kontinuierliche Positionsbestimmung zu gewährleisten. Die Genauigkeit liegt bei 0,001 Zoll.

1.4 Funksignale

Um Funksignale für die Lokalisierung zu verwenden, gibt es mehrere Ansätze. Alle haben gemeinsam, dass Sender und Empfängerknoten verwendet werden. Dies ist in zwei Richtungen möglich. Bei der ersten werden Sender im Raum verteilt und der Empfänger bewegt sich. Die zweite Methode ist genau umgekehrt, hier bewegt sich der Sender und wird von verteilten Empfängern wahrgenommen.

Die erste Methode ist die Laufzeitmessung der Signale. Da man die Geschwindigkeit der Signale kennt, ist es möglich daraus die Distanz zwischen Sender und Empfänger zu berechnen. Mit diesen Daten ist eine Triangulation möglich.

Die zweite Methode ist die, die Ankunftsrichtung der Signale zu messen. Dazu werden Empfänger benötigt, die eine Information darüber geben können aus welcher Richtung Signale auftreffen.

Die beiden eben genannten Verfahren haben jedoch die Nachteile, dass entweder eine aufwendige Sensorhardware benötigt wird oder eine besondere Synchroni-

sation zwischen Sender und Empfänger voraus gesetzt werden muss. Um diesen Problemen aus dem Weg zu gehen, haben Forscher der Princeton University ein Verfahren betrachtet, dass auf Basis der Signalstärke arbeitet. Bei diesem Versuch wurden WLAN-Access-Points als Sender und Empfänger verwendet. Dabei wurden die Entfernungen und ihre entsprechenden Signalstärken einmal empirisch bestimmt und dann durch mathematische Methoden berechnet. Der Vorteil ist, dass außer aufwendiger Berechnungen keine teure Hardware benötigt wurde.

2 Ultraschall

Die Ultraschalllokalisation benutzt die Laufzeit von Schallsignalen um Entfernungen zu bestimmen. Um aus Entfernungen Rückschlüsse auf eine Position ziehen zu können, werden mehrere verschiedene Strecken und Längen benötigt. Aus diesen kann mit Hilfe der Triangulation ein Objekt lokalisiert werden. Dabei gibt es im wesentlichen zwei Ansätze. Zum einen gibt es den Ansatz, der "Sprechenden Infrastruktur", bei dem das zu lokalisierende Objekt einen Empfänger darstellt, der Signale von Beacons aufnimmt. Der andere Ansatz ist genau umgekehrt, man spricht von "Sprechenden Knoten".

2.1 Sprechende Infrastruktur

Wie der Name schon andeutet, wird bei diesem Verfahren ein System verwendet, welches von vielen Stellen Ultraschallimpulse in der Raum sendet. Zusätzlich wird ein RF-Signal von jedem Beacon ausgesandt, das den Zeitpunkt des Absendens eines Ultraschallimpulses und das Muster des Impulses beinhaltet. Da RF-Signale signifikant schneller sind als Ultraschallimpulse, weiß das Objekt über den eintreffenden Ultraschallimpuls schon bescheid, bevor dieser eintrifft. Auf Grund der Kenntnis des Absendezeitpunktes des Ultraschallimpulses kann somit die Entfernung des Objekts zum Beacon berechnet werden.

Um eine ausreichend genaue Lokalisation zu erzielen, müssen viele dieser Beacons installiert werden. Durch Trilateration kann aus den bekannten Koordinaten der Beacons und der gemessenen Entfernungen die Position bestimmt werden.

Ein sehr bekanntes System nennt sich Cricket, welches am Massachusetts Institute of Technology entwickelt wurde. Cricket erreicht eine Genauigkeit von 1-2 cm auf 10 m Entfernung. Die Cricket-Einheit kann sowohl als Beacon, als auch als Empfänger konfiguriert werden und arbeitet mit einer Updaterate von einem Hz.

2.2 Sprechender Knoten

Das System des "sprechenden Knotens" arbeitet im Gegensatz zu dem der "Sprechenden Infrastruktur" nach dem umgekehrten Prinzip. Die Hauptrolle spielt hierbei ein bewegter Beacon der kontinuierlich Ultraschallimpulse erzeugt. Das Gegenstück ist ein Netzwerk von sehr präzise positionierten Empfängern, die das Signal des Beacons auffangen. Die Berechnung der Position wird hier im Grunde genauso bestimmt wie bei der "Sprechenden Infrastruktur", es wird die Zeit gemessen, die der Ultraschallimpuls vom Beacon zum Empfänger braucht. Durch die vielen Empfänger lässt sich sehr gut eine 3D-Position bestimmen.

Ein Vorreiter auf diesem Gebiet ist das "Active Bat"-System. Seine Genauigkeit bei der Lokalisierung liegt bei 2 cm und im 3D-Bereich bei 5 cm.

2.3 Unterschied

Der Unterschied der beiden Methoden ist, wo die Berechnung der Lokalisation statt findet. Die Methode "Sprechende Infrastruktur" eignet sich dabei sehr gut, um einen bewegten Empfänger die Möglichkeit zugeben sich selbst in einer entsprechenden Umgebung zu Lokalisieren. Bei der Methode "Sprechender Knoten" wird die Berechnung jedoch außerhalb des bewegten Objektes vorgenommen. Damit kann ein sendendes Objekt in einem dafür ausgestatteten Raum lokalisiert werden.

2.4 Triangulation

Da die Schallgeschwindigkeit bekannt ist, kann über die Laufzeit des Ultraschallimpulses die Entfernung zwischen dem Beacon O und den Empfängern S_1 und S_2 berechnet werden. Wenn wir von 20 °C warmer Luft ausgehen, beträgt die Schallgeschwindigkeit somit 343 m/s. Die Entfernung kann mit Hilfe des Gesetzes für die gleichförmige Bewegung berechnet werden.

$$d = v \cdot t \tag{2.1}$$

Dabei ist d die Entfernung zwischen dem Beacon O und dem Empfänger, v die Schallgeschwindigkeit und t die Impulslaufzeit.

Allerdings kann mit einer gemessenen Entfernung, nicht die genaue Position des Beacons bestimmt werden. Mit einer zweiten Entfernung kann jedoch die Position über eine Dreiecksbildung bestimmt werden. Dieses Problem wird in Abbildung 2.1 dargestellt.

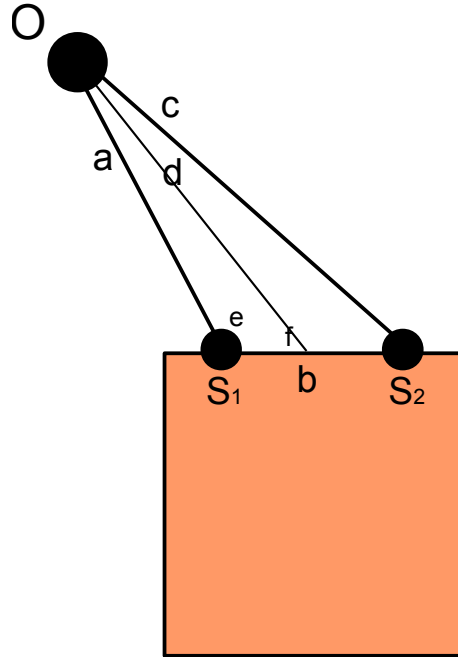


Abbildung 2.1: Triangulation

Die beiden Empfänger S_1 und S_2 mit dem Abstand b , nehmen jeweils eine Entfernung zum Beacon O wahr. Je nachdem, welche der beiden Entfernungen a oder c größer ist, kann entschieden werden, ob sich der Beacon links oder rechts der Hauptachse der Empfänger befindet. Um nun die tatsächliche Entfernung d von der Mitte der Sensoren und den genauen Winkel f zum Beacon zu berechnen, kann der Kosinussatz verwendet werden.

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos(\gamma) \quad (2.2)$$

Zunächst wird der Winkel e berechnet.

$$e = \arccos \left(\frac{c^2 - a^2 - b^2}{-2ab} \right) \quad (2.3)$$

Mit dem Winkel e kann nun die exakte Entfernung d von den Empfängern zum Beacon berechnet werden.

$$d = \sqrt{a^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2 - 2ab \cdot \cos(e)} \quad (2.4)$$

f ist der Peilungswinkel von der Empfängerhauptachse zum Beacon. Der Peilungswinkel gibt an, um wie viel Grad sich die Position des Beacons ändern müsste, um genau Senkrecht zu den Empfängern zu stehen. Er lässt sich ebenfalls durch den Kosinussatz berechnen.

$$f = \arccos\left(\frac{a^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2 - d^2}{-bd}\right) \quad (2.5)$$

Mit diesen beiden Werten f und d ist es jetzt möglich, die genaue Position des Beacons zu bestimmen.

Diese Rechnung ist nur ein Beispiel dafür, wie Triangulation funktioniert. Zwei Entfernungen reichen natürlich nicht aus, um eine ausreichende Lokalisierung zu erhalten.

2.5 Probleme

Die Ultraschalltechnologie hat jedoch ein paar starke Nachteile. Die Schallgeschwindigkeit ist abhängig von der Lufttemperatur. Bei der Laufzeitmessung der Signale muss das berücksichtigt werden, indem eine zusätzliche Information über die Temperatur mitgesendet werden muss. Das wiederum macht den Aufbau des Senders oder Empfängers aufwendiger, da diese mit einem Temperatursender ausgestattet werden müssen. Eine weitere Möglichkeit wäre die Temperaturen separat zu messen und über ein Datennetz zu verteilen.

Ein weiteres Problem sind Reflexionen der Ultraschallimpulse an glatten Wänden. Es entstehen "Multipfadsignale" die den Empfänger verwirren können. Es muss sichergestellt werden, dass die Signale zugeordnet werden können. Zum Beispiel mit einem mitgesendeten RF-Signal.

Des Weiteren besteht die Möglichkeit, dass Ultraschallimpulse verdeckt werden. Wenn sich ein Beacon in meinem Raum mit vielen Störquellen befindet, z.B.

Menschen oder großen Geräten, kann es passieren, dass Impulse verloren gehen, weil sie vorher von einem anderen Objekt absorbiert wurden. Um dem zu begegnen, wäre es denkbar, den Bewegungspfad zu Interpolieren und durch Messungen zu korrigieren. So fällt ein Ausfall nicht groß ins Gewicht.

2.6 Vorteile

Ein großer Vorteil in der Nutzung von Ultraschall ist die bereits sehr gute Erforschung. Es gibt sehr viele Untersuchungen zu den verschiedensten Aspekten. Ultraschallsender und Empfänger sind darüberhinaus auch nicht so kostenintensiv wie z.B. Laser oder besonders hochwertige GPS-Empfänger für Indoor-Applikationen. Der Aufwand, um aus den Laufzeitdaten eine Position zu berechnen ist zu dem viel geringer als z.B. die der Lokalisation durch Funksignalstärke.

3 Fazit

Es gibt viele Möglichkeiten eine Indoor-Lokalisation auf die Beine zu stellen. Je nach benötigter Präzision kann ein entsprechendes System ausgewählt werden. Bei sehr geringer Präzision kann man sogar noch mit AGPS arbeiten, wenn es nur darum geht einen Raum zu lokalisieren. Bei hoher benötigter Präzision, wie beispielsweise beim Indoorflug, kann man auf lasergestütztes Tracking zurückgreifen.

Einen guten Mittelweg nimmt jedoch die ultraschallbasierte Lokalisation. Sie ist genügend genau für die meisten Indoor-Anwendungen und bietet zu dem noch zwei verschiedene Einsatzmöglichkeiten. "Sprechende Infrastruktur" und "Sprechender Knoten" lassen sich durchaus mit der selben Hardware realisieren.

Literaturverzeichnis

- [CK02] CHEN, YONGGUANG und HISASHI KOBAYASHI: *Signal Strength Based Indoor Geolocation*. In: *Communications, 2002. ICC 2002. IEEE International Conference on*, Band I, Seiten 436–439, April 2002.
- [Cob97] COBB, H. STEWART: *GPS Pseudolites: Theory, Design, and Applications*. Doktorarbeit, Stanford University, Stanford, CA, Vereinigte Staaten von Amerika, September 1997.
- [Mau08] MAUTZ, RAINER: *Overview of Current Indoor Positioning Systems*, Juli 2008.
- [Pri05] PRIYANTHA, N. B: *The Cricket Indoor Location System*. Doktorarbeit, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, Vereinigte Staaten von Amerika, 2005.

