

Eigenschaften der Funkschnittstelle in Sensornetzen und Auswirkungen für Anwendungen

Carsten Buschmann und Stefan Fischer
Institut für Betriebssysteme und Rechnerverbund
Technische Universität Braunschweig
Mühlenpfordtstr. 23, 38106 Braunschweig
{buschmann|fischer}@ibr.cs.tu-bs.de

In Sensornetzen gibt es einen starken Zusammenhang zwischen den Eigenschaften verschiedener Schichten des Protokollstapels und den Applikationen. Dies liegt unter anderem an der physikalischen Einbettung der Sensorknoten in ihre Umwelt und drückt sich beispielhaft in der Wechselwirkung von Eigenschaften der Funkschnittstelle und der Funktionsweise insbesondere von Applikationen aus, für die Lokationsbewusstsein von essenzieller Bedeutung ist.

Related Work. Es hat in den vergangenen Jahren zahlreiche Publikationen hinsichtlich Verfahren zur Errichtung von Lokationsbewusstsein gegeben. Verschiedene Verfahren setzen dabei auf Entfernungsschätzungen zu Nachbarn auf Basis von Signalstärkemessungen der von benachbarten Geräten empfangenen Funksignale (beispielhaft [BM02], [PDW01]). Im Gegensatz zur Verwendung spezieller Hardware zur Bestimmung von Position oder Entfernung hat dies den Vorteil, dass man Kosten, Baugröße und Energie sparen kann. Es stellt sich jedoch die Frage nach der Genauigkeit der erzielbaren Ergebnisse. In der Forschungsgemeinde gibt es durchaus ein Bewusstsein für die damit verbundenen Schwierigkeiten im Hinblick auf Lokationsverfahren, wie die Justierungsbemühungen beispielsweise in [SRL01] zeigen. Ein weiterer Ansatz zur Nutzung der Funkschnittstelle ist die Variation der Sendeleistung zur Einstellung des Kommunikationsradius (z.B. [DPG01]). Obwohl in [GKW+03] der Kommunikationsbereich von Sensorknoten untersucht wurde, sind Arbeiten in diesem Bereich weiterhin die Ausnahme. So werden in [B99] zwar Eigenschaften von WLAN Interfaces untersucht, lediglich [W02] berichtet von Experimenten mit in Sensorknoten üblichen Transceivern.

Grundsätzlicher Aufbau. In diesem Beitrag werden zwei Versuchsreihen sowie deren Ergebnisse vorgestellt, die sich mit dem Zusammenhang zwischen gemessener Empfangssignalstärke und Entfernung sowie Sendeleistung und Reichweite beschäftigen. Zum Einsatz kamen die von der FU Berlin entwickelten Embedded Sensor Boards ESB 430/1 [ESB03] (siehe Abb. 1). Sie bieten sowohl die Möglichkeit, die Sendeleistung prozentual zu variieren, als auch eine Schnittstelle zum Auslesen der Empfangssignalstärke. Dazu ist ein analoger Ausgang der Funkschnittstelle auf einen AD-Wandler geführt. Dieser Mechanismus wird auch zur Unterscheidung zwischen Rauschen auf dem Empfänger und tatsächlichen Paketen verwendet, so dass ein Schwellwert zu definieren ist, unterhalb dessen Signalstärkemessungen nicht möglich sind. Es werden Untersuchungen in Korridoren und Versuche mit Freifeldcharakteristik unterschieden. Letztere wurden im Sommer begonnen. Da aufgrund der winterlichen Temperaturen in letzter Zeit Außenversuche nicht möglich waren, sind wir auf eine Turnhalle ausgewichen. Bei Vergleich der Ergebnisse von wirklichem Freifeld und Turnhalle hat sich eine sehr starke Ähnlichkeit herausgestellt, so dass diese als vergleichbar angesehen werden können.



Abb. 1: ESB 430/1

Empfangssignalstärkemessungen. In einer ersten Versuchsreihe wurde der Zusammenhang zwischen dem Abstand zwischen Sender und Empfänger einer Nachricht und der Empfangssignalstärke untersucht. Dazu wurden beide Geräte in einem Abstand zwischen ein und neun Metern voneinander in einer Höhe von einem Meter über dem Boden positioniert. Der Sender verschickt in einem Abstand von 400 Millisekunden Pakete, der Empfänger protokolliert zu jedem empfangenen Paket die gemessene Signalstärke sowie eventuelle Bitfehler.

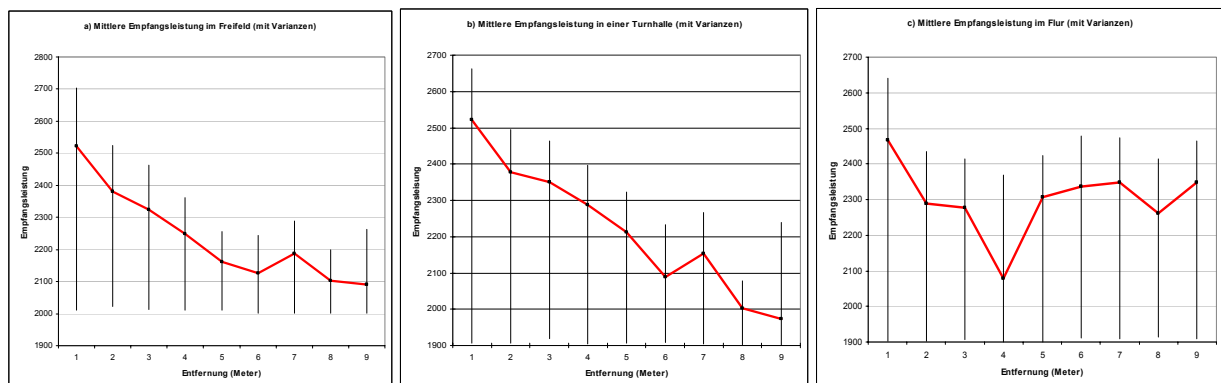


Abb. 2: Zusammenhang zwischen Empfangssignalstärke und Entfernung

Der Versuch wurde sowohl im Freifeld in einem Braunschweiger Park, in einer Turnhalle als auch in der Mitte eines Flurs im Institut für Betriebssysteme und Rechnerverbund der TU Braunschweig durchgeführt.

Es stellte sich erwartungsgemäß heraus, dass die gemessene Empfangssignalstärke grundsätzlich mit zunehmender Entfernung abnimmt. Abbildung 2 zeigt den Zusammenhang zwischen Entfernung und den mittleren Messwerten (sowie deren Minimal- und Maximalwerte) in Freifeld (a), Turnhalle (b) und Flur (c). Es wird sofort klar, dass in letzterer Umgebung sinnvolle Entfernungsschätzungen aus den Messwerten nicht möglich sind, da hier die Empfangssignalstärke weniger von der Entfernung als von den Gegebenheiten der Umgebung abhängt. Eine Übersicht über Gründe dafür gibt [MGE⁺02]. Auf Details der Umgebung wird im folgenden Abschnitt noch genauer eingegangen.

Die Diagramme (a) und (b) zeigen eine große Ähnlichkeit. Dennoch ist auch in diesen Fällen eine sinnvolle Entfernungsschätzung kaum möglich. Der Grund dafür liegt in der hohen Varianz der Messwerte und wird in Abbildung 3 sichtbar. Sie zeigt Häufigkeitsverteilungen der Empfangssignalstärken bei verschiedenen Entfernungen im Freifeld; es handelt sich somit lediglich um eine andere Darstellung der Daten aus Abbildung 2(a). Es ist klar erkennbar, dass die gemessenen Signalstärken auch bei gleich bleibender Entfernung erheblich schwanken. Somit überlappen sich die Bereiche, in denen bei den verschiedenen Entfernungen häufig Messwerte auftreten, erheblich. Selbst wenn man eine größere Anzahl von Messwerten heranzöge, ließe sich bestenfalls eine Entfernung kleiner einem Meter von den anderen Fällen unterscheiden. An den Messwerten für 7 Meter ist erkennbar, dass die Signalstärken mit zunehmender Entfernung durchaus auch wieder ansteigen können. Warum dies in beiden Fällen bei 7 Metern geschieht, ist zurzeit noch ungeklärt.

Aufgefallen ist ebenfalls, dass bei den Versuchen im Flur die Rate der mit Bitfehlern behafteten Pakete mit 2% deutlich geringer ausgefallen ist als in der Turnhalle (22%). Da die Häufigkeiten der Signalstärken innerhalb von fehlerhaften und fehlerfreien Paketen allerdings ähnlich verteilt sind, sind Pakete mit Bitfehlern zur Entfernungsschätzung genauso (un-)geeignet wie solche ohne Fehler. Aufgrund eines Softwarefehlers stehen für die Freifeldmessungen keine zuverlässigen Informationen über die Bitfehlerraten zur Verfügung.

Sendeleistungsmessungen. Nachdem sich die Messung von Empfangssignalstärken für die Entfernungsschätzung als wenig geeignet herausgestellt hatte, untersuchten wir den Zusammenhang zwischen der Entfernung zwischen Sender und Empfänger und der notwendigen Sendeleistung, um diese zu überbrücken. Die Geräte wurden erneut in einer Höhe von einem Meter in einem Abstand zwischen wenigen Zentimetern und 17 Metern positioniert, und der Sender beginnt mit zunehmender Leistung zu senden. Empfängt der Empfänger ein Paket, sendet er es mit voller Leistung zurück. Auf diese Weise kann der Sender protokollieren, ab welcher Sendeleistung er den Empfänger erreicht. Dieser Ablauf wurde hundertfach wiederholt und aus den Messwerten Mittelwert, Minimum und Maximum abgeleitet. Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse dieses Versuches in einem Flur des Instituts für Betriebssysteme und Rechnerverbund in einem Abstand von etwa 20cm von der Wand. Um die Ergebnisse ins Verhältnis zur Umgebung setzen zu können, ist die betreffende Wand ebenfalls abgebildet.

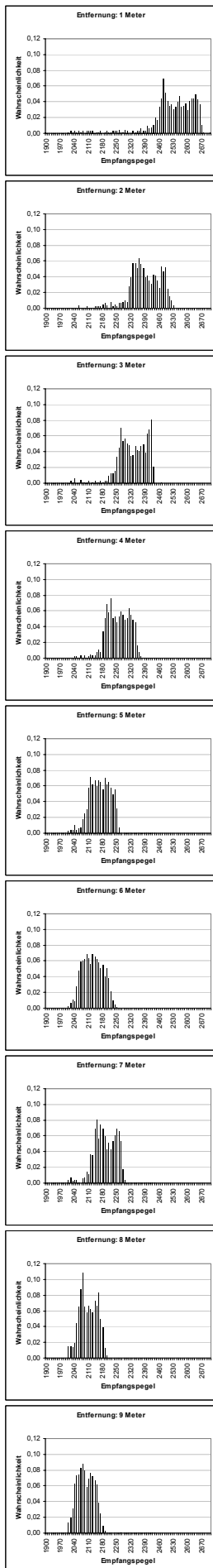


Abb.3: Häufigkeiten von Empfangssignalstärken

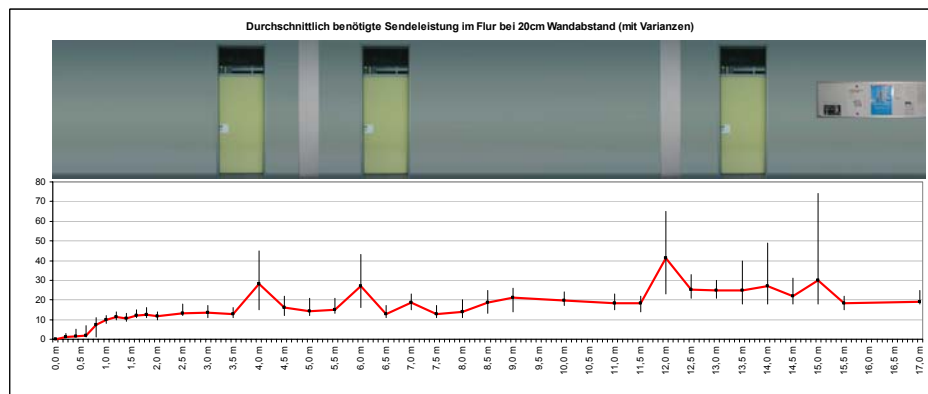


Abb. 4. Mittlere benötigte Sendeleistung

Erwartungsgemäß steigt die erforderliche Sendeleistung mit zunehmender Entfernung. Es ist auffällig, dass die benötigte Sendeleistung maßgeblich von der Stelle abhängig ist, an der sich der Empfänger befindet. Wurde er in der Nähe von Türrahmen (4m bzw. 6m) oder Stahlbetonsäulen (12m) positioniert, war wie erwartet eine erheblich höhere Sendeleistung erforderlich, um ihn zu erreichen. Bemerkenswert ist jedoch, dass der Einfluss dieser Faktoren sehr unterschiedlich sein kann. So wirkt sich die Säule bei einer Entfernung von 5 Metern ebenso wenig aus wie die Türrahmen bei etwa 13 bzw. 14 Metern. Warum dies so ist, ist zurzeit noch unklar. Auffällig war jedoch, dass es für eine Reproduktion der Messergebnisse erforderlich war, die Positionierung der Geräte sehr exakt zu wiederholen, da bereits Positionsabweichungen von zwei Zentimetern zu stark veränderten Ergebnissen führten. Wiederholt man die Versuchsreihe in der Mitte des Flurs anstatt dicht an der Wand, sind die Ergebnisse ähnlich, allerdings zeigen sich die einzelnen Peaks in der Messkurve etwas weniger ausgeprägt.

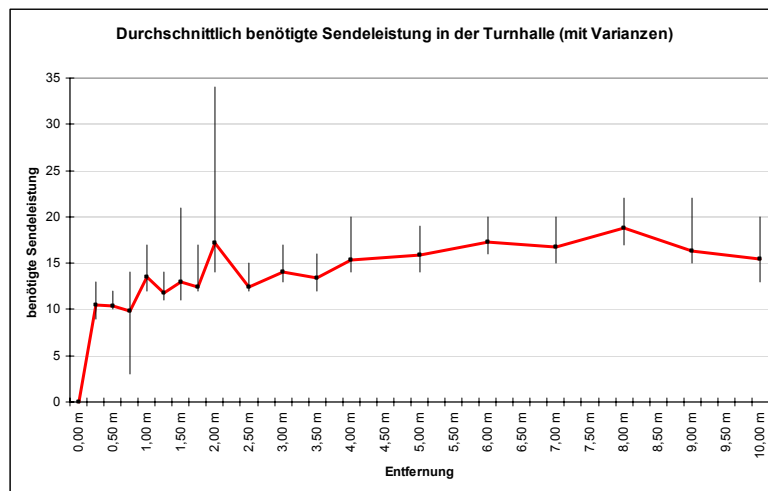


Abb. 5: Mittlere Sendeleistung in einer Turnhalle

Bei beiden Versuchsreihen lässt sich sagen, dass wiederum der Nahbereich von größeren Entfernungen zu unterscheiden ist, ansonsten aber aus den Messwerten kaum Aussagen über Entfernungen möglich sind, da die benötigten Sendeleistungen recht stark schwanken.

Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse einer Wiederholung des Experimentes in einer Turnhalle. Es ist erkennbar, dass der Kurvenverlauf wesentlich gleichmäßiger ist. Dennoch zeigen sich bei 75 cm und bei 2 Metern Ausschläge nach unten bzw. oben insbesondere der Minima/Maxima, ohne dass dafür in der Umgebung Ursachen erkennbar

waren. Insgesamt liegen die benötigten Sendeleistungen etwas höher als im Flur, was wohl durch fehlende Reflektionen zu erklären ist. Ansonsten ähneln die Ergebnisse denen aus den Messungen in den Fluren. Messungen im Freifeld wurden nicht durchgeführt.

Zusammenfassung. Es wurden Ergebnisse von Versuchsreihen vorgestellt, die sich mit dem Zusammenhang zwischen gemessener Empfangssignalstärke und Entfernung sowie Sendeleistung und Reichweite beschäftigen. Dabei wurden erhebliche Schwankungen der Messwerte festgestellt. Entfernungsschätzungen auf Basis solcher Messungen sind daher derartigen Ungenauigkeiten unterworfen, dass sinnvolle Aussagen unmöglich erscheinen. Lediglich der Nahbereich lässt sich von größeren Entfernungen unterscheiden.

- [B99] J. Beutel. Geolocation in a Picoradio Environment. Master Thesis, ETH Zurich and UC Berkeley, December, 1999
- [BM02] P. Bergamo, G. Mazzini: Localization in Sensor Networks with Fading and Mobility, PIMRC 2002, Lisboa, Portugal, September 15-18 2002
- [DPG01] Lance Doherty, Kristofer S. J. Pister, and Laurent El Ghaoui. Convex position estimation in wireless sensor networks. In Proceedings of IEEE Infocom 2001, volume 3, pages 1655-1663. IEEE, IEEE Computer Society Press, April 2001.
- [ESB03] Webseite der Embedded Sensor Boards der FU Berlin: <http://www.inf.fu-berlin.de/inst/ag-tech/esb/english/index.htm>
- [GKW⁺03] Deepak Ganesan, Bhaskar Krishnamachari, Alec Woo, David Culler, Deborah Estrin and Stephen Wicker: Complex Behavior at Scale: An Experimental Study of Low-Power Wireless Sensor Networks, Submitted for review to INFOCOM 2003, July 2002. UCLA Computer Science Technical Report UCLA/CSD-TR 02-0013
- [MGE⁺02] William Merrill, Lewis Girod, Jeremy Elson, Kathy Sohrabi, Fredric Newberg, and William Kaiser: Autonomous Position Location in Distributed, Embedded, Wireless Systems, IEEE CAS Workshop on Wireless Communications and Networking, Pasadena, September 2002
- [PDW01] Neal Patwari, Robert J. O'Dea, Yanwei Wang: Relative Location in Wireless Networks, IEEE Vehicular Technology Conference, Rhodes, Greece, May 2001
- [SRL01] Chris Savarese, Jan Rabaey, Koen Langendoen: Robust Positioning Algorithms for Distributed Ad-Hoc Wireless Sensor Networks (2001)
- [W02] Kamin Whitehouse: The Design of Calamari: an Ad-hoc Localization System for Sensor Networks, Master's Thesis, University of California at Berkeley, 2002