

Funkbasierte Innenraum-Lokalisierungssysteme

Wireless Indoor Localization Systems

Klaus Witrisal, Paul Meissner, Daniel Arnitz

Sei es im Straßenverkehr oder in der Freizeit, zum Beispiel beim Wandern: Wir sind daran gewöhnt, überall verlässlich unsere Position bestimmen zu können. Sobald man aber ein Gebäude betritt, so ändert sich die Situation, vor allem, weil Satellitensignale nicht länger empfangen werden können. Die Liste der möglichen Anwendungsszenarien, die genaue Innenraum-Lokalisierung benötigen, ist jedoch lang: Großeinsätze von Rettungskräften, Verfolgung von Waren in der Logistik oder Leiten von Besuchern und Besucherinnen durch Museen sind nur ein Auszug davon.

Wer sich diese Szenarien genauer ansieht, stellt fest, dass es hier noch immer keine generelle technische Lösung gibt. Nicht zuletzt aufgrund der verschiedenen Anforderungen der genannten Einsatzbereiche kommen völlig unterschiedliche Sensortechnologien wie etwa Laser, Kameras oder Ultraschall zum Einsatz. Mittels dieser Sensoren kann beispielsweise die Distanz zu mehreren bekannten Basisstationen gemessen werden, woraus ein mobiles Gerät seine Position berechnen kann. Die Wireless-Communications-Gruppe des Instituts für Signalverarbeitung und Sprachkommunikation (SPSC) an der TU Graz konzentriert sich auf die Verwendung von Funksignalen zur Lokalisierung, welche einige wichtige Vorteile bieten: Funksignale können prinzipiell Wände durchdringen, über größere Distanzen übertragen werden und Sender und Empfänger können billig gebaut und stromsparend betrieben werden.

Gegenüber diesen Vorteilen ist es aber vor allem die Mehrwegeausbreitung, welche funkbasierten Lokalisierungssystemen zu schaffen macht. Ein am Sender generiertes Signal wird an Wänden und anderen Hindernissen reflektiert und erreicht den Empfänger mehrfach. Diese Reflexionen

Whether in traffic or leisure activities – for instance when hiking – we have become used to being able to reliably determine our position at any time. But the situation changes as soon as we enter a building because satellite signals are no longer available. There is, however, a long list of applications that would benefit from accurate indoor positioning. Large-scale emergency operations, tracking goods in logistics, or guiding visitors in museums are just a few examples.

Looking at these scenarios, it becomes apparent that no generic technical solution exists so far. A variety of sensor technologies have been applied, such as laser sensors, cameras and ultrasound, which reflect the diversity of requirements that various applications have. Using those sensors, distances – for instance – can be measured to a set of fixed base stations in such a way that locations can be computed by a mobile node. The Wireless Communications group of the Signal Processing and Speech Communication Lab (SPSC) concentrates on using radio signals for indoor localization. This approach has important advantages. Objects such as walls can be penetrated in principle, large volumes can be covered, and low-power, low-cost transceivers built.

Unfortunately, multipath signal propagation severely hinders the application of wireless indoor positioning systems. A transmitted signal is reflected from walls and other obstacles and hence reaches the receiver through multiple signal paths. This is the main reason for the lack of robustness often encountered. Using the example of Radio Frequency Identification (RFID), our group recently showed that most of the currently proposed methods are based on overly optimistic assumptions regarding the propagation characteristics of the application environment. Detailed



Klaus Witrisal ist Associate Professor am Institut für Signalverarbeitung und Sprachkommunikation und leitet das Arbeitsgebiet Drahtlose Kommunikationstechnik. Seine Forschungsschwerpunkte liegen bei Ultra-Breitbandsystemen zur Datenübertragung und Innenraum-Lokalisierung.

Klaus Witrisal is an associate professor at the Institute of Signal Processing and Speech Communication. He leads the Wireless Communications group, whose research focus is on ultra-wideband systems for communications and indoor localization.

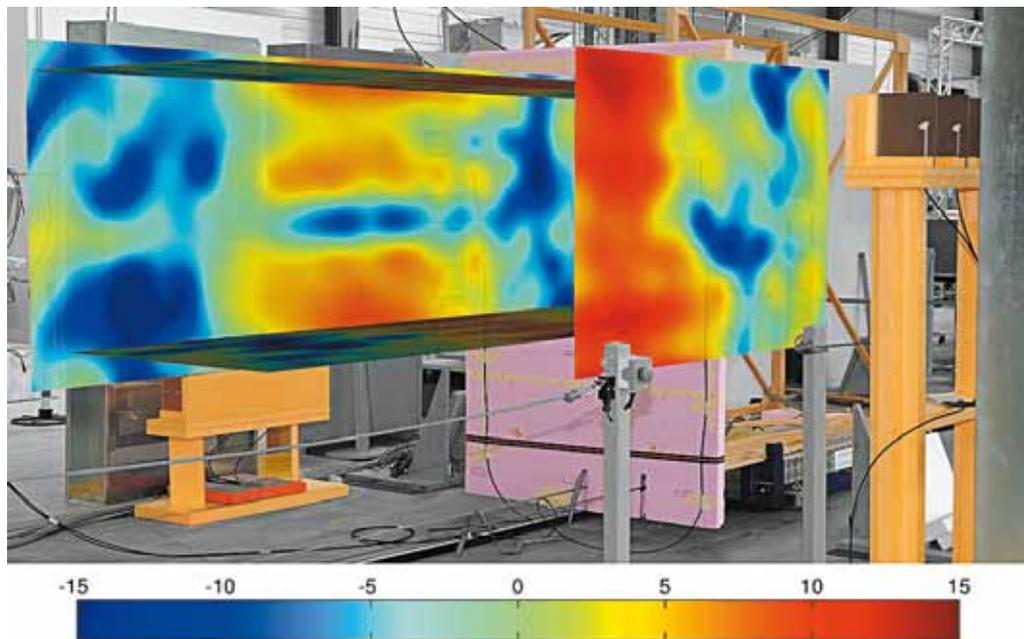


Paul Meissner ist Universitätsassistent am Institut für Signalverarbeitung und Sprachkommunikation und untersucht im Rahmen seiner Dissertation, inwieweit Signalreflexionen und Gebäudepläne für die Lokalisierung verwendet werden können.

Paul Meissner is a research and teaching associate at the Institute of Signal Processing and Speech Communication. His Ph.D. research involves investigating whether signal reflections and building plans can aid radio signal-based indoor positioning systems.

Abb. 1: Kanalmessung in einem RFID-Gate. Das Messergebnis zeigt die unregelmäßige Feldverteilung, die durch die Überlagerung der Mehrwegekomponenten entsteht.

Fig. 1: Channel measurements in an RFID gate. Measurements indicate the randomly distributed, received signal strengths resulting from the superposition of multipath components.



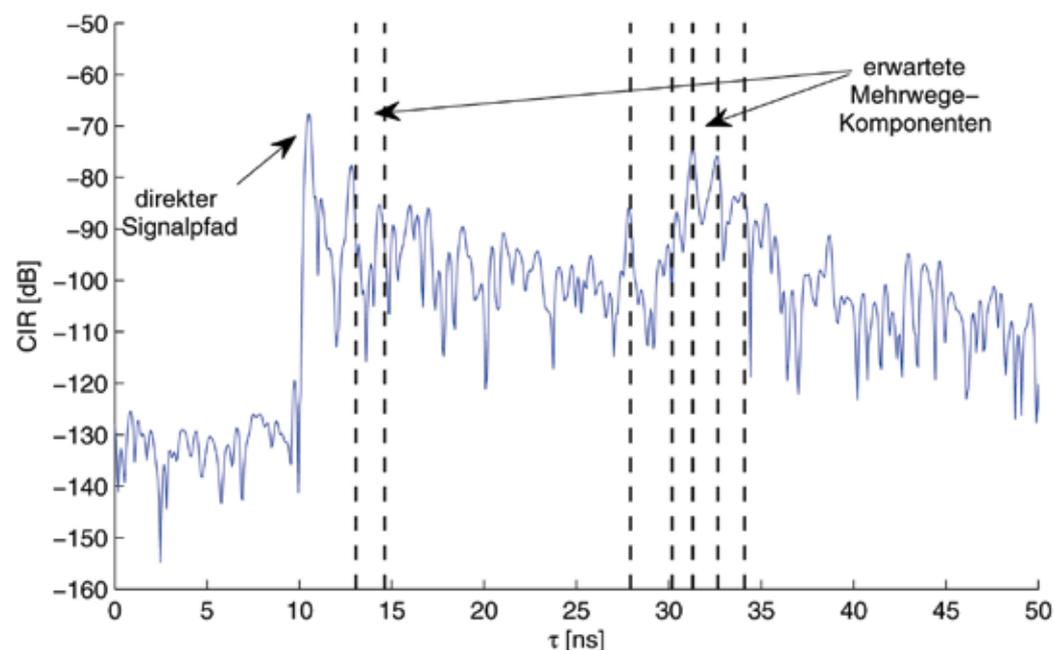
sind der Hauptgrund für die oftmals mangelnde Robustheit dieser Systeme. Am Applikationsbeispiel Radio Frequency Identification (RFID) wurde von uns vor Kurzem gezeigt, dass ein Großteil der vorgeschlagenen Verfahren zur Lokalisierung in diesem Bereich auf zu optimistischen Annahmen beruht. Anhand detaillierter Kanalmessungen und komplexer Simulationen wurden in Zusammenarbeit mit NXP in Gratkorn realistische Anwendungsszenarien evaluiert. Dabei wurde gezeigt, dass die Mehrwegeausbreitung in typischen Aufbauten so massiv ist, dass eine robuste Lokalisierung innerhalb der Parameter von RFID nicht möglich ist.

Bei schmalbandigen Systemen wie eben RFID kann ein Empfänger nur die Überlagerung vieler Reflexionen beobachten. Erst durch Erhöhung der verwendeten Signalbandbreite, was beispielsweise durch das Aussenden immer kürzerer Pulse erreicht werden kann, lassen sich die reflektierten Signalpfade voneinander trennen. In Ultra-Breitbandsystemen, die ein Schwerpunktgebiet unserer Gruppe darstellen, werden Pulse verwendet, welche nur eine Nanosekunde und weniger lang sind. Dadurch wird theoretisch eine zentimetergenaue Positionsbestimmung möglich. Die nun auflösbaren Signalpfade bereiten aber dennoch Kopfzerbrechen: Ist der direkte Pfad zwischen Basisstation und Empfänger blockiert, so kann eine Reflexion eine höhere Signalstärke aufweisen und irrtümlich als direkter Pfad erkannt werden. Dies führt zu großen Lokalisierungsfehlern. Konventionelle Systeme versuchen, solche Fälle zu erkennen, damit die zugehörigen Mes-

channel measurements and system simulations have been used to evaluate such systems in realistic application scenarios. It has been proven that multipath propagation makes robust indoor localization impossible within the parameters of current RFID systems.

In narrowband systems such as RFID, the receiver can just observe the superposition of many signal reflections. This makes the precise measurement of the propagation delay impossible. Increasing the bandwidth, for example by sending extremely short pulses, makes it possible to separate individual signal components. Ultra-wideband systems, which is a special research focus of our group, use pulses that have a duration of less than a nanosecond, and this theoretically allows positioning at centimeter accuracy. However, the multipath components that can now be resolved still cause trouble. If the direct path between the base and mobile nodes is obstructed, reflected signal components can be detected which, in turn, cause large position errors. Conventional systems try to detect and discard such erroneous measurements.

A novel approach developed by our group exploits reflected signal components instead. Assuming prior knowledge of the geometry of an indoor environment, for instance if a floor plan is available, we can treat reflected signals as if they were received from virtual, i.e. physically non-existent, base stations. However, the potentially large number of reflecting surfaces and signal scattering from objects makes an assignment of signal reflections to virtual base stations a hard



sungen verworfen werden und sie die Positionsbestimmung nicht beeinflussen.

Ein von uns entwickelter Lösungsansatz versucht, die reflektierten Signalpfade direkt für die Lokalisierung auszunutzen. Hat man Vorwissen über die Geometrie der Umgebung, zum Beispiel einen Gebäudeplan, so kann man die Reflexionen so verwenden, als wären sie Signale von physikalisch nicht vorhandenen, sogenannten virtuellen Basisstationen. Die Vielzahl an reflektierenden Oberflächen und Effekte wie die Streuung des Signals an Objekten führen aber dazu, dass die empfangenen Signalkomponenten nicht einfach den virtuellen Basisstationen zugeordnet werden können. Um diese Probleme in den Griff zu bekommen, wurde von uns eine Reihe von spezialisierten Tracking-Algorithmen entwickelt. Unsere Ergebnisse zeigen, dass durch geschickte Kombination vorhandener Informationen hohe Robustheit und Genauigkeit im Zentimeterbereich erreicht werden können.

In nächster Zeit werden wir uns im Rahmen unserer Arbeit damit beschäftigen, die von uns entwickelten Verfahren auf ihre Praxistauglichkeit zu überprüfen. Dabei verwenden wir Ergebnisse aus detaillierten Messkampagnen in repräsentativen Umgebungen. Ebenso müssen Lösungen für grundlegende Probleme, wie etwa die geometrische Zuordnung der Reflexionen oder Kooperation mehrerer mobiler Geräte, gefunden werden. Diese Lösungen müssen allgemeingültig sein, damit unsere Verfahren flexibel auf die oben genannten Anwendungen angepasst werden können.

task. Tracking algorithms have been developed to tackle this problem. Our results show that high accuracy and robustness can be achieved by exploiting the available information in smart ways. Looking forward, the methods we have developed will be tested for their suitability in practical situations using measurement data from representative environments. Furthermore, solutions to fundamental problems need to be found, such as the association of signal reflections to geometric features or the cooperation of multiple mobile nodes. These solutions need to be formulated in a generic fashion so that the methods can be flexibly suited to the applications described above.



Daniel Arnitz ist Dissertant am Institut für Signalverarbeitung und Sprachkommunikation und beschäftigt sich mit Verfahren zur Lokalisierung von passiven UHF-RFID-Tags und der Messung und Modellierung von Funkkanälen.

Daniel Arnitz is a Ph.D. student at the Institute of Signal Processing and Speech Communication. He is investigating methods for localizing passive UHF-RFID tags and measuring and modeling of radio channels.

Abb. 2: Impulsantwort eines gemessenen Mobilfunkkanals in einem Innenraumszenario. Markierungen zeigen der Geometrie entsprechende theoretische Ankunftszeiten einiger Mehrwegekomponenten, ebenso sichtbar sind gestreute Komponenten und Messrauschen.

Fig. 2: Impulse response of a measured radio channel in an indoor scenario. Markers show the theoretical arrival times of several multipath components extracted from the geometry of the environment. Also observable are scattered components and measurement noise.