

Positionserkennung von Studierenden in Hörsälen mit dem Chi-Quadrat-Anpassungstest

Thomas King*, Stephan Kopf*, Wolfgang Effelsberg*

Zusammenfassung

Im Folgenden wird ein Positionierungsalgorithmus vorgestellt, der die Position von Studierenden innerhalb eines Hörsaals ermittelt. An der Universität Mannheim werden Vorlesungen schon seit mehreren Jahren durch interaktive Dienste unterstützt, welche die Studenten mittels PDAs oder Laptops über Wireless-LAN nutzen. Durch die Analyse der Signalstärken der umgebenden Access Points und einen Vergleich von bekannten Messwerten mittels des Chi-Quadrat-Anpassungstests ist eine genaue Bestimmung der Position des mobilen Gerätes und somit auch des einzelnen Studierenden möglich. Dies erlaubt in einem weiteren Schritt die automatische Aufzeichnung von interaktiven Vorlesungen, bei denen die Fragen von Studierenden durch Hineinzoomen mit der Hörsaalkamera besser aufgezeichnet werden kann.

1 Einleitung

Die Übertragung einer Vorlesung an eine andere Universität ist heute ohne größeren technischen Aufwand möglich, führt jedoch zu deutlichen Akzeptanzproblemen bei den Studierenden. Motivationsprobleme treten auf, da der Dozent nur schwer auf Fragen oder Kommentare der entfernten Hörer eingehen kann. An unserer Universität haben wir im Rahmen des WIL/MA-Projektes (Wireless Interactive Learning in Mannheim) [4] ein Softwaresystem entwickelt, das interaktive Dienste speziell für Vorlesungen zur Verfügung stellt. Studierende nutzen diese Dienste seit mehreren Jahren auf mobilen, per Wireless-LAN angebundenen Geräten (z.B. PDAs oder Laptops) und erhalten so die Möglichkeit der bidirektionalen synchronen Kommunikation mit dem Dozenten.

Zur Kommunikation übermittelt ein Studierender im entfernten Vorlesungssaal seinen Fragewunsch über sein Endgerät und stellt dann seine Frage nach

*{king,kopf,effelsberg}@informatik.uni-mannheim.de, Lehrstuhl für Praktische Informatik IV, Universität Mannheim

Aufforderung durch den Dozenten per Mikrofon. Obwohl das Video des entfernten Hörsaal übertragen wird, können einzelne Studenten wegen der geringen Größe häufig nicht erkannt werden. Zur Verbesserung der Kommunikation bietet es sich an, die Kamera im entfernten Hörsaal selbstständig auf den fragenden Studenten auszurichten. Das zentrale Problem besteht nun darin, die Position des Studierenden automatisch zu bestimmen.

2 Verwandte Projekte

In den vergangenen Jahren sind neben dem weltweit verfügbaren Global Positioning System (GPS) eine Vielzahl von Positionierungssystemen für den Einsatz innerhalb von Gebäuden entwickelt worden. Dies ist im Wesentlichen auf die Beschränkungen von GPS zurückzuführen, das innerhalb von Gebäuden nicht zuverlässig funktioniert, da die Radiosignale nicht stark genug sind, um Decken und Wände zu durchdringen. Als Positionierungssysteme für den Einsatz innerhalb von Gebäuden haben sich Wireless-LAN-basierte Verfahren hervorgetan, da diese auf die oftmals vorhandene Hardware-Infrastruktur zurückgreifen und deshalb kostengünstig aufgebaut werden können [1] [2]. Zudem bieten diese Verfahren auch innerhalb von Gebäuden eine durchschnittliche Positionierungsgenauigkeit von bis zu 1,5 Metern [3].

Für eine zuverlässige Positionsbestimmung sind insbesondere Fingerabdruck-basierte Verfahren geeignet. Bei diesen zweistufigen Verfahren wird im ersten Schritt – der sogenannte *Trainingsphase* – die Signalstärken aller empfangenen Access Point an zuvor definierten Messpunkten gesammelt und in einer Datenbank mit den tatsächlichen Positionen (physikalischen Koordinaten) gespeichert. Die Messpunkte sollten dabei den Hörsaal vollständig abdecken. Die elektromagnetischen Eigenschaften an jedem Messpunkt werden als Radio-Fingerabdruck bezeichnet, da sie diesen Messpunkt meist eindeutig identifizieren. In der *Positionierungsphase*, also während der Vorlesung, führt jedes einzelne mobile Gerät der Studierenden regelmäßig Messungen durch und berechnet seine Position. Diese werden dann verwendet, um die Kamera des Hörsals entsprechend auszurichten.

3 Positionierungsalgorithmus

Der in diesem Abschnitt vorgestellte Positionierungsalgorithmus basiert auf dem Chi-Quadrat-Anpassungstest. Der Chi-Quadrat-Anpassungstest überprüft die Hypothese, ob eine Zufallsvariable einer gegebenen Wahrscheinlichkeitsverteilung entspricht. In unserem Fall fassen wir die n Messungen während der Positionierungsphase als Zufallsvariable X auf. Für jeden Messpunkt j (mögliche Sitzposition eines Studenten im Hörsaal) aus der Trainingsphase bestimmen wir

die entsprechende Verteilung F_j . Der Chi-Quadrat-Wert χ_j^2 ist definiert als:

$$\chi_j^2 = \sum_{k=0}^K \begin{cases} \frac{(n_k - \tilde{n}_{kj})^2}{\tilde{n}_{kj}} & \text{wenn } \tilde{n}_{kj} \geq 1, \\ \tau & \text{sonst.} \end{cases},$$

wobei

$$\tilde{n}_{kj} = n * F_j(k)$$

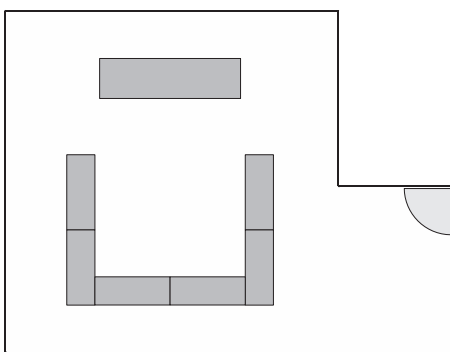
n_k beschreibt die absolute beobachtete Häufigkeit des Merkmals k . Die Position des Messpunktes mit dem kleinsten Chi-Quadrat-Wert wird als geschätzte Position des Studierenden angenommen.

Die Zählvariable k läuft in der oben präsentierten Formel von 0 bis $K = -102$, da dies die zulässigen Werte sind, die bei einer Wireless-LAN-Messung vorkommen können. Sollte \tilde{n}_{kj} einen Wert kleiner 1 annehmen, so geht ein Fehlerwert τ in die Berechnung von χ_j^2 ein. Bei unseren Messungen hat sich ein Wert von $10 * n_k$ für τ als zweckmässig erwiesen.

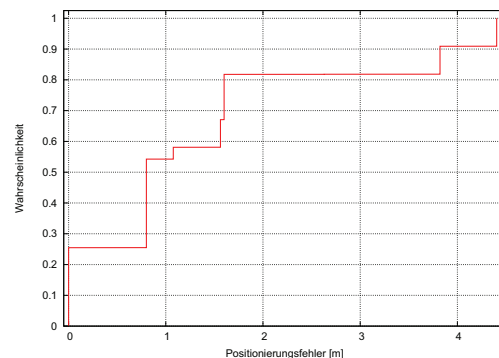
4 Experimentelle Messungen

Dieser Abschnitt beschreibt zunächst die Testumgebung, in der die experimentellen Messungen durchgeführt wurden. Anschliessend wird die Art und Weise der Datensammlung beschrieben. Darauf folgend wird der Positionierungsfehler des Positionierungssystems untersucht und die Ergebnisse diskutiert.

4.1 Testumgebung



(a) Skizze des Seminarraumes ($9,50 \times 8,25$ Meter) mit dem Rednertisch und Tischen für die Studierenden



(b) Kumulierte Verteilungsfunktion des Positionierungsfehlers

Abbildung 1: Skizze des Seminarraumes und Messung des Positionierungsfehlers

Als Testumgebung haben wir den Seminarraum *C112* im *A5, 6* Gebäude der Universität Mannheim ausgewählt. Dieser Seminarraum bietet 12 Studenten Platz und ist ungefähr 9,50 Meter lang und ungefähr 8,25 Meter breit. Die Anordnung der Tische mit jeweils zwei Sitzplätzen für Studierende und der Rednertisch sind in Abbildung 1(a) skizziert.

Der Seminarraum wurde mit vier Cisco Linksys WRT54G Access Points ausgestattet, die aber nur zur Positionierung genutzt wurden. Zur Datenermittlung wurde ein Laptop des Herstellers IBM (Thinkpad R51), eine Lucent Orinco Silver PCMCIA Netzwerkkarte und als Betriebssystem Linux mit Kernelversion 2.6.16 und den Wireless Tools 28per13 verwendet.

4.2 Datensammlung

An jedem der 12 Sitzplätze der Studierenden wurden sowohl für die Trainingsphase als auch für die Positionierungsphase 110 Messungen durchgeführt. Dabei wurde der Laptop auf den Tisch vor den Sitzplatz gestellt, und zwar so, dass der Laptop vom sitzenden Bediener bequem genutzt werden konnte. Nach Abschluss der Trainingsphase wurden die Daten für die eigentliche Positionierung gesammelt, wobei sich die Positionen und Ausrichtungen des Laptops im Vergleich zur Trainingsphase unterschieden.

4.3 Positionierungsfehler

Aus den Trainings- und Positionierungsdatensätzen wurden zufällig 50 Messungen ausgewählt, und anhand dieser Messungen wurde unter Zuhilfenahme des Chi-Quadrat-Positionierungsalgorithmus der Positionierungsfehler bestimmt. Um statistisch stabile Ergebnisse zu erzielen, wurde dieses Experiment 1000 mal wiederholt.

Die kumulierte Verteilungsfunktion des Positionierungsfehlers ist in Abbildung 1(b) dargestellt. Wie man aus der Abbildung entnehmen kann, wurde die Position zu etwa 25 Prozent richtig erkannt. Mit einer Wahrscheinlichkeit von ungefähr 60 Prozent weicht die ermittelte Position um maximal einen Sitzplatz von der realen Position ab. In etwa 20 Prozent der Fälle treten Positionierungsfehler grösser 1,5 Meter auf, d.h. die ermittelte Position ist nicht mehr in direkter Nachbarschaft zur tatsächlichen Position.

Der hier vorgestellte Positionierungsalgorithmus erreicht eine durchschnittliche Positionierungsgenauigkeit von etwa 1,39 Metern bei einer Standardabweichung von 1,40 Metern.

4.4 Diskussion

Vergleicht man die Positionierungsperformance des hier vorgestellten Algorithmus beispielsweise mit dem aus der Literatur bekannten System von Haeberlen et al. [2], so stellt man fest, dass die Ergebnisse unseres Verfahrens um etwa

25 Prozent besser sind. Der auf Gauss-Verteilungen basierende Algorithmus von Haeberlen erreicht bei einer Messung in der Positionierungsphase in dem hier vorgestellten Szenario nur eine durchschnittliche Positionierungsgenauigkeit von etwa 1,85 Meter. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die meisten bestehenden Positionierungsverfahren versuchen, mit einer minimalen Anzahl von Messungen in der Positionierungsphase auszukommen. Das Anwendungsszenario, das wir hier betrachten, erlaubt es uns aber, über eine längere Zeit hinweg Messungen an einem Ort durchzuführen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem hier vorgestellten Positionierungsalgorithmus ist es möglich die Position von Studierenden während einer Vorlesung zu bestimmen. Das Verfahren soll in einem nächsten Schritt für eine automatische Kamerasteuerung verwendet werden, so dass ein automatisches Hineinzoomen bei Fragen aus dem Auditorium möglich wird.

Zusätzlich untersuchen wir momentan die Earth-Mover's-Distance, um die Beschränkungen, die durch die Einführung von τ gegeben sind, zu umgehen. Hiervon versprechen wir uns eine weitere Verbesserung der Positionierungsgenauigkeit.

Darüber hinaus untersuchen wir momentan, wie und auf welche Art weitere Sensoren wie beispielsweise Bluetooth zur Genauigkeitssteigerung verwendet werden können. Auch arbeiten wir an einem Verfahren, welches unterschiedliche Signalstärkeinstellungen bei den Access Points verwendet, um so die Position genauer bestimmen zu können.

Literatur

- [1] BAHL, P. ; PADMANABHAN, V. N.: RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System. In: *Proceedings of the 19th International Conference on Computer Communications (Infocom)*. Tel Aviv, März 2000, 775-784
- [2] HAEBERLEN, A. ; FLANNERY, E. ; LADD, A. M. ; RUDYS, A. ; WALLACH, D. S. ; KAVRAKI, L. E.: Practical Robust Localization over Large-Scale 802.11 Wireless Networks. In: *Proceedings of the Tenth ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom)*. New York, September 2004, 70-84
- [3] KING, T. ; HAENSELMANN, T. ; KOPF, S. ; EFFELSBERG, W. : Positionierung mit Wireless-LAN und Bluetooth. In: *Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation* 29 (2006), March, Nr. 1, S. 9–17
- [4] SCHEELE, N. : *The Interactive Lecture: A new Teaching Paradigm based on Pervasive Computing*, Fakultät für Mathematik und Informatik, Universität Mannheim, Diss., Februar 2006