

Marcus Zastrow und Michael Taube

Selbstorganisierende Funksensornetzwerke

Ein mittelständisches Forschungs- und Entwicklungsprojekt

1. Einleitung

Funksensornetzwerke werden dann eingesetzt, wenn keine oder nur unzureichende Voraussetzungen bestehen, drahtgebundene Sensornetzwerke zu installieren. Darüber hinaus wird der Einsatz von Funksensornetzwerken in Bereichen notwendig, in denen instabile Umgebungsbedingungen herrschen oder der Ausfall von Sensorsystemen erkannt und selbständig kompensiert werden muss. Solche Netzwerke zeichnen sich durch eine vergleichsweise unkomplizierte Integration in bestehenden Kommunikationssysteme sowie durch eine sich selbst organisierende Konfiguration aus.

Die TEKO Systemkonzept GmbH arbeitet seit Ende 2007 an einem durch die InvestitionsBank des Landes Brandenburg geförderten Forschungs- und Entwicklungsprojekt ‚Selbstorganisierende Funksensornetzwerke‘. Ziel dieses Projektes ist, Know-how zu akkumulieren und zu bündeln, um ein robustes Funksensornetzwerk zur Lokalisierung von Personen und/oder Objekten sowohl innerhalb als auch außerhalb von Gebäuden zu realisieren, wobei die dezentrale Erfassung von Sensordaten den Schwerpunkt der Forschungstätigkeit bildet. Das Funksensornetzwerk soll den praktischen Anforderungen unterschiedlicher Wirtschaftsbranchen genügen.

2. Grundlagen

Drahtlose Funksensornetzwerke sind Kommunikationsnetze, die aus einer Vielzahl von im Raum verteilten Sensortags – auch als mobile Tags bezeichnet – sowie Basisstationen, sogenannten Ankerknoten, bestehen. Funksensornetzwerke bilden ad-hoc-Netze, bauen ihre Netzstrukturen selbständig auf und betreiben diese eigenständig. Ad-hoc-Netze zeichnen sich durch eine ‚lose‘, d.h. a priori nicht definierte Infrastruktur aus. Die Kommunikation innerhalb dieser Netze erfolgt mit Hilfe sogenannter Multi-Hop-Verfahren. Dabei werden Daten von einem Ankerknoten zum anderen weitergereicht, bis die Zieladresse – ein Lokalisierungsserver – erreicht ist.

Die mobilen Tags können mit Sensoren (beispielsweise Beschleunigungs- oder Temperatursensoren) ausgestattet und in großer Dichte in räumlicher Nähe eines zu überwachenden Zustandes (beispielsweise der Temperatur in Kühllhäusern, von Bewegungsänderungen u.ä.) angeordnet werden. Die Kommunikation zwischen den einzelnen Sensortags ist im Fall von Bewegungsüberwachungen nicht an vorgegebene Wegführungen (als nicht an eine definierte Infrastruktur) gebunden. Die von den mobilen Tags gesammelten Daten werden über die einzelnen Ankerknoten und ein Gateway an einen Lokalisierungsserver geleitet und dort weiterverarbeitet (siehe Abbil-

1). Die Lokalisierung (d.h. Positionsbestimmung) der Sensortags ist mit einer Genauigkeit von bis zu einem Meter möglich.

Wegen des modularen Aufbaus bilden die Sensortags ein anpassungsfähiges und sich selbstorganisierendes Netzwerk, dass über einen vergleichsweise langen Zeitraum betrieben werden kann.

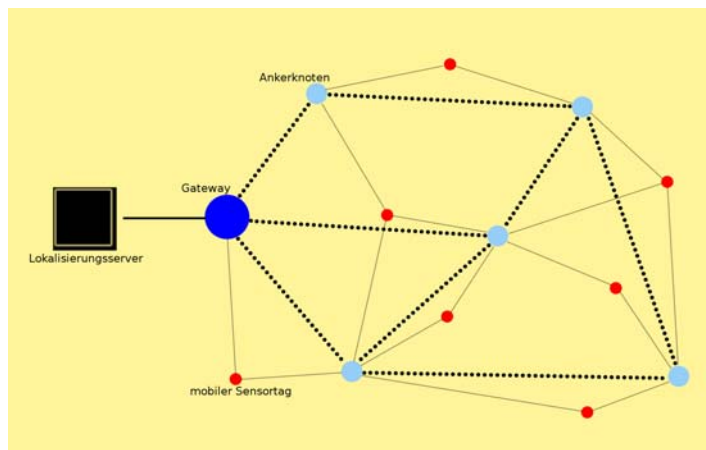


Abb. 1: Aufbau eines Funksensornetzwerkes

3. Funksensornetzwerktechnologie

Die Anforderungen an Funksensornetzwerke unterscheiden sich von denen herkömmlicher Sensornetzwerke. So ist eine Übernahme bereits vorhandener Kommunikationsprotokolle nach IEEE 802.15 nicht möglich, da das System mit eigenen, weiterentwickelten Protokollen und Algorithmen arbeitet. Dagegen ist die Kommunikation mit anderen Systemen über standardisierte Schnittstellen wie TCP/IP oder SQL möglich.

Funksensornetzwerke zeichnen sich durch ihren modularen Aufbau aus. D.h., dass ohne Störung der Gesamtkommunikation die Anzahl der Sensortags innerhalb des Netzwerkes vergrößert oder verkleinert werden kann. In Phasen der Inaktivität versetzen sich die Tags in einen Ruhemodus und können somit wertvolle Ressourcen schonen. Ist eine Kommunikation wieder gefragt, ‚erwachen‘ die Tags und übertragen die relevanten Daten und Sensorinformationen.

Funksensornetze haben gegenüber anderen Funktechnologien zur Identifizierung und Lokalisierung – beispielsweise der RFID-Technologie – den Vorteil einer größeren Reichweite. Bei RFID-Tags ist das Beschreiben und Auslesen der Speichereinheit innerhalb des Tags nur im Nahfeld der Antennen möglich. Dagegen können in Funksensornetzen die autonomen Sensortags über eine Entfernung von bis zu 200 Metern miteinander kommunizieren [1], [2], [3].

Für die Lebensdauer der Sensortags ist deren Stromverbrauch von entscheidender Bedeutung. Dieser hängt zwar maßgeblich von den eingesetzten Hardwarekomponenten ab, lässt sich aber durch verschiedene Maßnahmen zur Energieeinsparung beeinflussen. So kann durch selbständiges Aus- und Einschalten der Sende-/Empfangeinheit des Sensortags der Energieverbrauch reduziert werden. Die Knoten versetzen sich selbständig in einen Ruhemodus, sobald im überwachten Bereich keine Aktivitäten mehr erkennbar sind. Sobald eine Kommunikation wieder nötig ist, versetzen sich die Sensortags selbständig in den aktiven Zustand und Daten können sofort gesendet und empfangen werden.

Wesentliche Leistungsanforderungen an die Funksensornetzwerktechnologie sind:

- Ortung und Lokalisierung von Personen und Objekten innerhalb und außerhalb von Gebäuden,
- Selbstorganisation,
- modularer Aufbau,
- Sensordatenerfassung,
- intelligentes Powermanagement,
- einfache Installation und Administration.

Das von der TEKO Systemkonzept GmbH entwickelte Funksensornetzwerk basiert auf den Funktechnologien nanoNET und nanoLOC der Nanotron GmbH. Beide Technologien arbeiten – wie auch Bluetooth oder ZigBee – im lizenzfreien ISM-Band bei 2,4 GHz. Die Basis für beide äußerst robusten und effizienten Funkübertragungsverfahren bildet die MDMA-Technologie (Multi Dimensional Multiple Access) – eine Modulationstechnik, die auf der Nutzung sogenannter Zwitter- oder Chirpimpulsen basiert. Chirpimpulse werden beispielsweise durch Delphine bei der Lokalisierung von Nahrung verwendet. Die MDMA-Technologie zeichnet sich durch eine geringe Störbeeinflussung von Funkstörern und Funkechos im ISM-Band aus. Durch den Einsatz von Chirpimpulsen kann die Batterielebensdauer erhöht und die Kosten reduziert werden. Die Transceiver für nanoNET und nanoLOC wurden speziell für anspruchsvolle industrielle Anwendungen wie Funksensornetze, Industrial Control oder in der Gebäudeautomation entwickelt.

4. Ortung / Lokalisierung mit Funksensornetzwerken

Gegenwärtig existieren bereits Möglichkeiten, einzelne Sensortags und damit ausgestattete Objekte oder Personen in einem Sensornetzwerk zu lokalisieren. In einem solchen Netzwerk kommunizieren eine beliebig große Anzahl an Sensornetzwerkknoten ohne feste Infrastruktur über kurze Reichweiten. Dazu werden Datenpakete über verschiedene Wege von Knoten zu Knoten auch über größere Entfernungen ohne feste Routingtabellen übertragen.

Die Hardware eines sich selbstorganisierenden Funksensornetzwerkes besteht aus mobilen Tags, Ankerknoten, Gateways und dem Lokalisierungsserver (inklusive der *Visualisierungssoftware* zur Darstellung der georteten Objekte oder Personen auf einem Bildschirm). Mit der leicht zu bedienenden *Konfigurationssoftware* können die einzelnen Parameter der Hardwarekomponenten an einen jeweils spezifischen Anwendungsfall ideal angepasst werden.

Die mobilen Tags können an Objekten fixiert oder von Personen getragen werden. Dagegen sind die Ankerknoten in dem zu überwachendem Territorium fest installiert, dienen als Referenzpunkte und ermöglichen die Weiterleitung der Positionsdaten der mobilen Tags. Das Funksensornetzwerk wird per Ethernetverbindung über das Gateway an eine TCP/IP-Netzwerkinfrastruktur (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) angebunden. Auf dem Lokalisierungsserver erfolgt die Auswertung und Visualisierung der Positionsdaten.

Im Sinne eines Pilotvorhabens erfolgte die Installation eines solchen Funksensornetzwerkes Ende 2008 erstmals in einem Getränkemarkt. Die Testphase umfasste zwei Termine vor Ort. Der erste Termin diente der

- Überprüfung der Funktionalität des Netzwerkes,
- Überprüfung der Lokalisierungsgenauigkeit,
- Erkennung von Laufwegen und Richtungswechseln,
- Erkennung von Messtoleranzen und Fehlerquellen,
- Kalibrierung der Bewegungssensoren.

Nach Auswertung der Ergebnisse der ersten Phase wurden in einer zweiten Phase Korrekturen am System durch weitere Tests überprüft. Dabei erwies sich, dass die vorgenommenen Veränderungen die Genauigkeit und Zuverlässigkeit des Systems verbesserten .

Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt aus der Echtzeitdarstellung der Visualisierungssoftware. Innerhalb des Getränkemarktes wurden die Ankerknoten (schwarze Punkte) an strategisch wichtigen Orten oberhalb der Regale fixiert. Durch die Verteilung der Ankerknoten ist eine optimale ‚Ausleuchtung‘ des Überwachungsbereichs erfolgt. Der mit einem Bewegungs-(im vorliegenden Fall Beschleunigungs-)sensor ausgerüstete mobile Tag (grüner Punkt) ist an der Kleidung von Testpersonen (‚Kunden‘) befestigt.

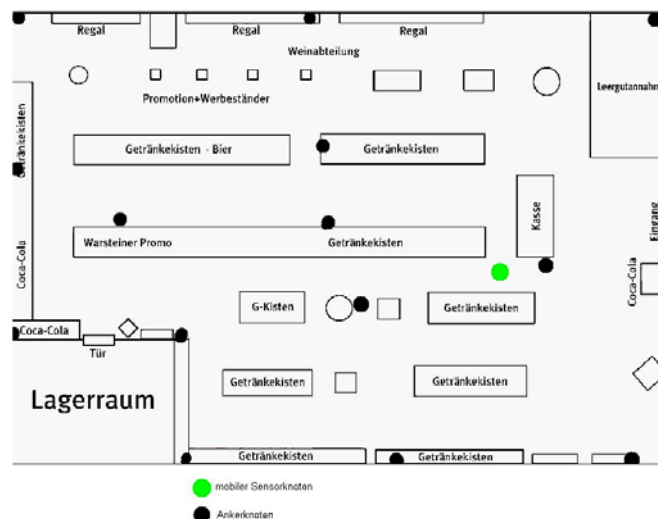


Abb. 2: Visualisierung der Ortung und Lokalisierung

Zur Ermittlung hinreichend aussagefähiger Messdaten sowie zur Prüfung der Funktionstüchtigkeit des Funksensornetzwerkes wurden Versuche unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt – u.a. zur Erkennung von geraden Laufwegen, des Wechsels der Laufrichtung, zur Ortung mehrerer Testpersonen sowie zur Erkennung von ‚Bückbewegungen‘. In der späteren Praxis sind aus dem Bewegungsverhalten von Kunden Rückschlüsse auf deren Kaufverhalten und somit u.a. für eine Optimierung der Präsentation des Warenangebots zu erwarten.

Abbildung 3 stellt den theoretisch zu erwartenden und den durch das Netzwerk tatsächlich erfassten Weg dar.

Die beschriebene Funksensornetzwerktechnologie befindet sich derzeit in der Phase der Vermarktung, wird weiterentwickelt und kann speziellen Kundenwünschen angepasst werden. Gegenwärtig wird an die Anwendung im Bereich der Lagerverwaltung gedacht. [4]

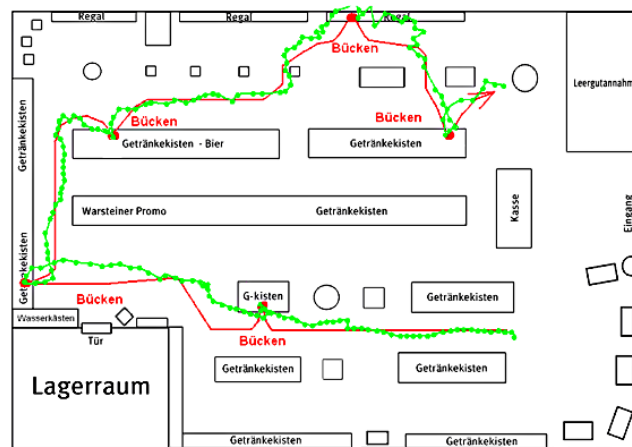


Abb. 3: Theoretisch erwarteter (roter) und tatsächlicher (grüner) Laufweg

5. Sensordatenerfassung in mobilen Tags

Zur Messung unterschiedlicher Parameter sowie zur Unterstützung der Lokalisierungsalgorithmen lassen sich die mobilen Tags mit Sensoren – im vorliegenden Fall also mit Bewegungssensoren – ausstatten. Die Erfassung der Sensordaten erfolgt dezentral in den im Überwachungsgebiet verteilten Tags. Die erfassten Daten können lokal verarbeitet oder an ein externes weiterverarbeitendes System übermittelt werden. Durch die Beschränkung der Baugröße eines Sensortags sind die Rechen- und Speicherleistung begrenzt. Die Sensorinformationen können jederzeit und von jedem beliebigen Ort per Fernabfrage über das Internet aus gelesen und weiterverarbeitet werden. Derzeit wird durch die Autoren erfolgreich mit Bewegungssensoren gearbeitet.

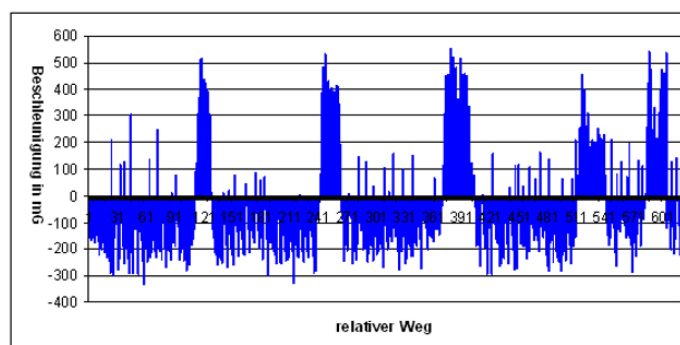


Abb. 4: Quantifizierte Beschleunigungs-(Bück-)bewegungen entlang der Teststrecke

Die prinzipielle Funktionstüchtigkeit und Zuverlässigkeit von Bewegungssensoren konnte, wie bereits erwähnt, während der Pilotphase getestet werden. Dazu wurde der Testweg vor Beginn der Messungen im Pilotvorhaben ‚Getränkemarkt‘ entlang der Regalreihen und Getränkekisten festgelegt. Während des Testlaufes hatten sich die Probanden mehrmals zu bücken. Die Auswertung der durch die Beschleunigungssensoren erfassten Daten ließen exakte Rückschlüsse auf Ort und Intensität der Bückbewegungen entlang der Teststrecke zu (Abbildung 4).

Zukünftige Applikationen der Funksensornetzwerktechnologie sind in der Logistikbranche, beispielsweise bei der Zustandserfassung, -überwachung und -optimierung von Waren, Personen, Transportmitteln und -wegen in Industrieunternehmen zu suchen, ebenso in Handelseinrichtungen, Transportunternehmen, Kliniken, Pflegeeinrichtungen, Bibliotheken, Museen u.ä..

Literatur

- [1] Agilion GmbH: Produktkatalog „Drahtlose Kommunikation“; Chemnitz 2008, S. 24 ff.
- [2] Nanotron Technologies GmbH: Factsheet nanoNET;
http://www.nanotron.com/EN/pdf/Factsheet_nanoNET-NA1TR8.pdf
- [3] Nanotron Technologies GmbH: Factsheet nanoLOC;
http://www.nanotron.com/EN/pdf/Factsheet_nanoLOC-NA5TR1.pdf
- [4] TEKO Systemkonzept GmbH: Protokoll AP 900 – Pilotanwendung; Potsdam 2008

[27.02.09]

Anschrift des Autors:

Dipl.-Ing. (FH) Marcus Zastrow
TEKO Systemkonzept GmbH
www.funksensornetz.de
Niederlassung Potsdam
Graf-von-Schwerin-Str. 1
D – 14469 Potsdam
mzastrow@teko.de