

Überlagerte Funksignale in Sensornetzwerken

Dissertationsvorhaben von Albert Krohn
(krohn@teco.edu; <http://www.teco.edu/~krohn>)

Sensornetzwerke sind eine der zukunftsweisenden Errungenschaften der modernen Computertechnik. Es handelt sich dabei um Kleinstrechner (wenige mm bis cm groß), die über eine drahtlose Kommunikation verfügen. Diese Kommunikation ist in den meisten Fällen eine Funkverbindung, es werden jedoch auch Lösungen mit Ultraschall, Infrarot und Laserkommunikation diskutiert. Durch die Kommunikation untereinander erzeugen die Kleinstrechner (genannt „Knoten“) einen Mehrwert. Daten (z.B. Messwerte) werden ausgetauscht und verteilt ausgewertet. Die Kommunikation ist in den meisten Fällen eine sog. Multi-hop-Kommunikation, d.h. die jeder einzelne Knoten dient nicht nur als Mess- und Sensoreinheit, sondern auch als Funkrelais zur Weiterleitung von Daten für ein ganzes Netzwerk solcher Knoten. Die kleine Bauweise begrenzt schon physikalisch die Leistungsfähigkeit solcher Knoten. Sie sind heutzutage normalerweise 8-bit Prozessoren mit einigen kByte Speicher. Taktraten sind typischerweise eine Mhz. Somit ist es klar, dass z.B. komplexe Multimediaanwendungen nicht auf solchen Plattformen realisierbar sind. Genauso sind komplexe Modulations-, Detektions- und Synchronisationstechniken für die Funkverbindung nicht realisierbar. Diese Feststellung ist ein zentraler Angelpunkt dieser Arbeit.

Architektur der überlagerten Kommunikation

Der Systemaufbau eines Sensornetzwerkes legt es nahe, auf möglichst vielen Ebenen eine Zusammenarbeit der Knoten zu etablieren, um damit Synergien zu erzeugen und Mechanismen zu ermöglichen, die ein einzelner Knoten nicht leisten kann. Auf niedrigster Ebene der Kommunikation sind dies Konzepte von *kollaborativer Funksignalisierung*. In der Literatur findet man dieses Verfahren unter dem Sammelbegriff „cooperative transmission“. Es gibt viele Ausprägungen solcher kooperativen Übertragungsverfahren, die verschiedene (meist jedoch hohe) Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Knoten stellen. Es wird in dieser Arbeit als Basismodul der Kommunikation besonders der Fall betrachtet, dass mehrere Funkknoten zeitgleich identische Signale zu einem Ziel übertragen (*synchrone N-zu-1 Kommunikation*). Der entscheidende Unterschied zu anderen Arbeiten auf diesem Gebiet ist die Beschränkung auf Mechanismen, die auf den leistungsschwachen Funkknoten realisierbar sind. Es werden nur Verfahren eingesetzt, die niedrigste Anforderungen an Hardware und Algorithmen stellen. Sämtliche Verfahren werden theoretisch hergeleitet, simulativ verifiziert und in einer echten Implementierung auf TecOs Particle Computer experimentell untersucht.

Implikation durch leistungsschwache Knoten

Es werden für die Teilnehmer der kooperativen Übertragung einige Grundannahmen gefasst, die auf Sensornetzwerke und sogar RFID Technologie zutreffen und somit einen weiten Einsatz garantieren:

- Die Knoten können keine ultraweitband- (UWB) oder komplexe Modulation erzeugen (nur einfache Verfahren wie FSK, ASK, OOK sind möglich)
- Die Knoten können keine komplexe (I-Q-) Demodulation realisieren (nur einfache Verfahren wie Energiedetektion oder Frequenzdiskrimination (z.B. für 2-FSK))
- Die Verarbeitung im Empfänger muss ohne leistungsfähigen DSP auskommen
- Synchronisationen von Phase und Trägerfrequenz der Sender untereinander sind nicht möglich (dies ist einer der entscheidenden Unterschiede zu anderen Arbeiten)

Neue Übertragungsmodelle für überlagerte Funksignale

Die Übertragungsmodelle, die in der Arbeit eingesetzt werden, sind mathematisch geschlossen darstellbar und basieren auf der Statistik von *nicht-kohärent überlagerten Funksignalen*. Für die Modulation und Detektion wird ein neuer Ansatz verfolgt, der den leistungsschwachen Endgeräten gerecht wird. Optimalitätskriterien der Modelle sind Fehlerwahrscheinlichkeit und Bandbreitennutzung. Das zentrale Übertragungsmodell ist ein neu entwickeltes Modulationsverfahren, das *energy shift keying (ESK)* [1] genannt wird. Es ermöglicht eine optimale, mehrstufige Übertragung einer nicht-kohärenten, überlagerten N zu 1 Kommunikation.

Anwendungen und Implementierung, Relevanz für die Praxis

Die Anwendungen der neuen Übertragungsmodelle sind vielfältig und erstrecken sich über alle Netzwerkschichten:

1. Es wird ein neues *Synchronisationsverfahren* vorgestellt, das Sensornetzwerke flächendeckend synchronisieren kann. Es arbeitet vollständig verteilt. Dieses Verfahren ist im proprietären Funkprotokoll AwareCon [2] implementiert worden und erreicht dort eine Synchronisationsgenauigkeit von $4\mu\text{s}$ zwischen allen Netzwerkpartnern.
2. Überlagerte Funksignale können genutzt werden, um die Sendeleistung von Funkeinheiten zu *akkumulieren*. Mit Hilfe des ESK-Verfahrens ist es so möglich, dass Sensorknoten ihre Sendeleistung summieren und so als Gruppe eine höhere Reichweite erzielen. Es wird sozusagen ein verteiltes Antennenarray ohne Phasen- oder Frequenzsynchronisation erzeugt. Großflächige Funknetzwerke können damit ihre Konnektivität verbessern [5].
3. Ein weiteres, völlig neu entwickeltes Verfahren überlagerter Funksignale, genannt *synchronous distributed jam signalling (SDJS)* [2] wird vorgestellt, welches *Parameterschätzung und Datenfusion* auf der physikalischen Schicht ermöglicht. Es übertrifft herkömmliche Verfahren in der Geschwindigkeit um mehr als Faktor 10 und verfolgt einen probabilistischen Ansatz mit außergewöhnlichen Skalierungseigenschaften. Es ist auch Teil des AwareCon Protokolls und wurde schon mehrfach für verschiedene Szenarien eingesetzt und experimentell bewertet. Es kommt im Forschungsprojekt RELATE und LOCOSTIX [4] zum Einsatz.

Referenzen

- [1] Albert Krohn. *Optimal non-coherent m-ary energy shift keying for cooperative transmission in sensor networks*. IEEE ICASSP 2006
- [2] Christian Decker, Albert Krohn et al. *The Particle Computer System*. IPSN 2005
- [3] Albert Krohn et al. *SDJS: Efficient Statistics in Wireless Networks*. IEEE ICNP 2004
- [4] Albert Krohn et al. *Collaborative Sensing in a Retail Store Using Synchronous Distributed Jam Signalling*. PERVASIVE 2005
- [5] Albert Krohn, Michael Beigl, Christian Decker, Till Riedel, Tobias Zimmer, David Garces *Increasing Connectivity in Wireless Sensor Network using Cooperative Transmission* INSS 2006