

## System design issues in advanced applications of wireless sensor networks

Ein drahtloses Sensor-Netzwerk (Wireless Sensor Network, WSN) [1] besteht aus mehreren Sensoren, üblicherweise gepaart mit einem Microcontroller, die über Funkstrecken ein Netzwerk bilden. In Abhängigkeit äußerer Umstände können drahtlose Sensor-Netze mittels verschiedener Topologien realisiert werden. Während vergleichsweise einfache WSN-Installationen immer verbreiteter werden, hat der technologische Fortschritt erst unlängst die Betrachtung fortgeschrittener Szenarien ermöglicht. Derartige Szenarien können große Netzwerke, "harte" Umgebungsbedingungen (wie Funk-Hindernisse, elektromagnetische Interferenz), Langzeit-Autonomie, sich ändernde Topologien oder andere spezifische Anwendungsanforderungen involvieren und resultieren damit in verschiedenen fundamentalen Herausforderungen bei ihrer Realisierung. Nachfolgend findet sich eine Aufzählung der wichtigsten dieser Herausforderungen.

### Entwurf großer WSNs

Während der Entwicklung können nur kleine Netzwerke (bezüglich sowohl der Abstände zwischen Knoten als auch der Gesamtzahl an Knoten) praktisch getestet werden. Es ist deshalb unabdinglich, ein Netzwerk vor seiner Implementierung zu modellieren und simulieren. Inzwischen ist eine Vielzahl von Werkzeugen zur Modellierung und Simulation von WSNs verfügbar (z.B. Ptolemy [2], s. Abb. 1). Jedoch besteht noch ein großer Bedarf an Forschung hinsichtlich der Skalierbarkeit der Simulationen, ihrer Integration in den Design-Flow sowie hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Simulationsergebnisse.

### Zuverlässigkeit und Robustheit

Unterschiedliche WSN-Topologien bieten unterschiedliche Grade der Zuverlässigkeit. Zum Beispiel eignen sich selbst-

A Wireless Sensor Network (WSN) [1] consists of any number of sensors, usually combined with a microcontroller, which form a network using RF links. Depending on external circumstances, wireless sensor networks can be realized using various topologies. While comparatively simple WSN installations are becoming evermore widespread, technological progress has only recently enabled the consideration of advanced scenarios. Such scenarios may involve large networks, "tough" environments (e.g., RF obstacles, EM interference), long-term autonomous operation, changing topologies, or other specific application requirements, and result in various fundamental design challenges. Following below is a list of the most significant of these challenges.

### Design of large WSNs

During development, only small networks (both with respect to inter-node distances and the total number of nodes) can be tested practically. It is therefore necessary to model and simulate a network prior to its implementation. Meanwhile, a wide variety of WSN modelling and simulation tools have become available (e.g., Ptolemy [2], see fig. 1). However, there still is a significant demand for research regarding scalability of the simulations, design flow integration, and reliability of simulation results.

### Reliability and robustness

Different WSN topologies offer different levels of reliability. For example, self-adaptive mesh topologies are best suited in situations where individual nodes may fail or become disconnected. One particular issue with wireless transmissions lies in the fact that within the few frequency bands which are internationally license-free, a number of standardized and proprietary protocols have been put to use in recent years. There also are side effects of other technologies, such as microwave ovens, which also cause interferences.

### Contradictory requirements/goals and technological adaptation

The requirements of WSN designs tend to exceed what is technologically feasible. As there is no silver bullet design, it is necessary to adapt available technologies in order to achieve a compromise between desired and feasible parameters fulfilling the requirements of advanced application scenarios.

### Expectations vs. reality

Theoretical attributes of a given RF technology are one thing, but experience shows that practical properties often differ to a large extent. The environment in which a

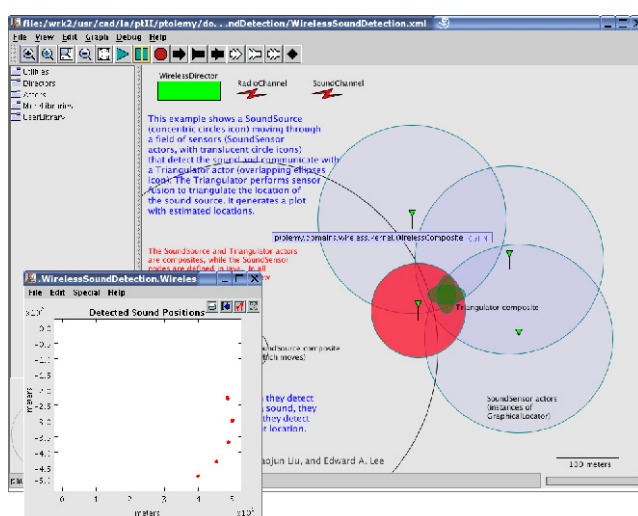


Abb. 1: Einsatz von Ptolemy II zur Simulation eines Sensor-Netzwerks

Fig. 1: Screenshot of Ptolemy II, used for simulating a wireless sensor network

adaptive Mesh-Topologien (vermaschte Netze) am besten in Situationen, in denen einzelne Knoten ausfallen oder anderweitig vom Rest des Netzes abgeschnitten werden können. Ein konkretes Problem mit drahtlosen Übertragungen liegt in der Tatsache begründet, dass innerhalb der wenigen international lizenzfreien nutzbaren Frequenzbänder während der vergangenen Jahre eine Reihe standardisierter Protokolle in die Nutzung überführt wurden. Außerdem kommt es zu Seiteneffekten durch andere Technologien, wie z.B. Mikrowellen-Öfen, welche ebenfalls Interferenzen verursachen.

## Konkurrierende Anforderungen/Zielstellungen und technologische Anpassungen

Die Anforderungen an WSN-Entwürfe tendieren dazu, das technologisch Machbare zu überschreiten. Da es keine universelle Lösung gibt, die sämtliche Anforderungen erfüllt, ist es stattdessen notwendig, verfügbare Technologien anzupassen, um einen Kompromiss zwischen gewünschten und machbaren Parametern zu finden, der die Anforderungen fortgeschrittener Anwendungsszenarien erfüllt.

## Erwartungen verglichen mit der Realität

Die theoretischen Eigenschaften einer gegebenen Funktechnologie sind eine Sache; die Erfahrung hingegen zeigt, dass die praktischen Eigenschaften oft um Größenordnungen abweichen. Die Umgebung, in der ein WSN letztlich installiert wird, bringt oft bestimmte Funkeigenschaften mit sich, die die Signalausbreitung und den Empfang beeinflussen. Im Verlaufe eigener WSN-Projekte haben wir Experimente hinsichtlich der praktischen Funkreichweite, Datenraten und Störempfindlichkeit verschiedener Sensorknoten-Plattformen durchgeführt.

## Smart Sensor Gateways

Wenn Sensordaten auch verteilt und örtlich begrenzt erfasst werden, so müssen diese Werte letztlich oft doch zentral verarbeitet werden. Die logische Konsequenz besteht darin, einen so genannten "Smart Sensor Gateway" in das Netzwerk zu integrieren, welcher die Daten an einer zentralen Stelle sammelt, sie extern zugreifbar macht und als Koordinator im Netzwerk fungiert (s. Abb. 2). Für ein solches Element gibt es keine universelle Lösung. Allerdings stellen so genannte "Smart Wireless Communication Devices" (SWCDs), vorgestellt in [3], eine geeignete Basis dar. Ein SWCD ist ein kompaktes, einbettbares Modul mit einem oder mehreren Langstrecken-Kommunikationsschnittstellen und – in diesem Fall – einer Schnittstelle hin zum Sensor-Netzwerk. Der überwiegende Teil der Funktionalität eines Smart-Sensor-Gateways ist als Software implementiert. Indem man generische von anwendungsspezifischer Funktionalität entkoppelt, können große Teile des Software-Entwurfs für der-

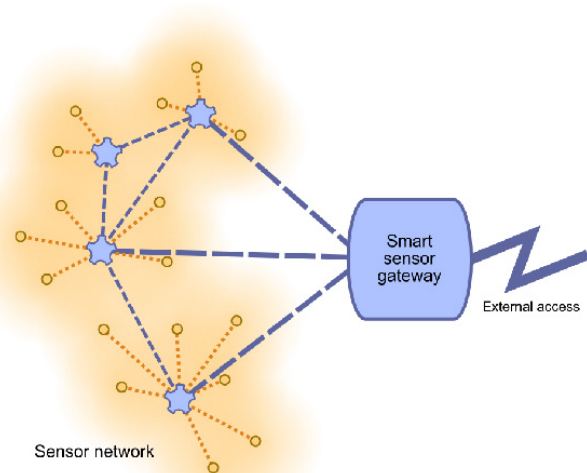


Abb. 2: Smart Sensor Gateway

Fig. 2: Smart Sensor Gateway

WSN is finally installed often brings about particular RF characteristics influencing signal propagation and reception. This fact makes it necessary to perform practical measurements of these characteristics. In the course of WSN projects of our own, we have conducted experiments regarding the RF range and data rate of various sensor mote platforms and their susceptibility to electromagnetic interference.

## Smart Sensor Gateways

Despite the distributed, localized measurement of sensor data, these values often have to finally be processed centrally. The logical consequence consists in incorporating a "smart sensor gateway" into the network, which gathers data in a central location, makes them available for examination and external access, and acts as a coordinator within the network (see fig. 2) There is no general-purpose solution for this type of entity. However, smart wireless communication devices (SWCDs), such as introduced in [3], represent an adequate basis. An SWCD is a compact, embeddable module with one or more wide-range communication interfaces and, in this case, an interface to the sensor network. Most of a smart sensor gateway's functionality is implemented as software. By decoupling generic from application-specific functionality, significant portions of a smart sensor gateway design can be reused among different WSN projects.

## Summary

This article provides an insight into the challenges involved in the design of wireless sensor networks, particularly such for advanced application scenarios resulting in difficult environmental characteristics for RF infrastructures. If appropriate attention is paid to the aspects described,

artige Gateways zwischen verschiedenen WSN-Projekten wiederverwendet werden.

## Zusammenfassung

Dieser Beitrag beschreibt die Herausforderungen beim Entwurf drahtloser Sensor-Netzwerke für fortgeschrittene Anwendungsszenarien, insbesondere solcher, deren Schwierigkeit in den Umgebungsbedingungen für Funk-Infrastrukturen begründet ist. Wenn den beschriebenen Aspekten angemessene Beachtung zuteil wird, ist es dennoch möglich, drahtlose Sensor-Netzwerke zu entwerfen, die in rauen Umgebungsbedingungen eingesetzt werden können.

- [1] Hellerstein, Joseph M., Hong, Wei; Madden, Samuel R.: The sensor spectrum: technologies, trends, and requirements. UC Berkeley, Intel Research Berkeley, MIT, 2003. In SIGMOD Record.
- [2] The Ptolemy Project, UC Berkeley. <http://ptolemy.eecs.berkeley.edu/>
- [3] Götze, Marco: A flexible object-oriented software architecture for smart wireless communication devices. In Jerraya, Ahmed Amine; Yoo, Sungjoo; Verkest, Diederik; Wehn, Norbert (editors): Embedded software for SOC, chapter 9, Kluwer Academic Publishers, Boston, 2003.

it is still possible to design wireless sensor systems which can be operated in rough environments.

## Ansprechpartner / Contact:

Dr.-Ing. Axl Schreiber  
Tel. +49 (3677) 69-5545  
E-Mail: [axl.schreiber@imms.de](mailto:axl.schreiber@imms.de)

- [1] Hellerstein, Joseph M., Hong, Wei; Madden, Samuel R.: The sensor spectrum: technologies, trends, and requirements. UC Berkeley, Intel Research Berkeley, MIT, 2003. In SIGMOD Record.
- [2] The Ptolemy Project, UC Berkeley. <http://ptolemy.eecs.berkeley.edu/>
- [3] Götze, Marco: A flexible object-oriented software architecture for smart wireless communication devices. In Jerraya, Ahmed Amine; Yoo, Sungjoo; Verkest, Diederik; Wehn, Norbert (editors): Embedded software for SOC, chapter 9, Kluwer Academic Publishers, Boston, 2003.