

Entwicklung eines Sensornetzwerks für den Einsatz in Schiffsmaschinenräumen

Timo Schröder[#], Tobias Pilsak^{*1}, Jan Luiken ter Haseborg^{*2}

^{*}Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Messtechnik
Harburger Schloßstraße 20, 21079 Hamburg

¹Pilsak@tuhh.de

²terHaseborg@tuhh.de

[#]Helmut Schmidt Universität, Institut für elektrische Messtechnik
Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg

t.schroeder@hsu-hh.de

Abstract— Dieser Bericht behandelt den Einsatz eines drahtlosen Sensornetzwerks (WSN) im Schiffsmaschinenraum. Im Maschinenraum müssen eine Vielzahl von physikalischen Größen überwacht werden. Die dafür benötigten Sensoren übertragen ihre Messwerte bislang kabelgebunden. Um eine Installation von Sensoren an schwer zugänglichen Stellen zu ermöglichen, Installationskosten zu senken oder das Nachrüsten von Sensoren zu vereinfachen, sind drahtlose Sensornetzwerke interessant.

Im folgendem wird die verwendete Hard- und Software vorgestellt. Es folgt eine kurze Beschreibung grundlegender Multihop Routing Protokolle. Weiter werden die benötigten Eigenschaften eines Routing Protokolls für den Schiffsmaschinenraum erläutert. Das hieraus entwickelte Routing Protokoll wird präsentiert und erste Ergebnisse der Erprobung an Board eines modernen Kreuzfahrtschiffes vorgestellt.

Keywords: WSN, Routing, TinyOS, nesC, MCFA, DD

I. EINLEITUNG

Auf modernen Schiffen befinden sich bis zu 15000 Sensoren, die einen fehlerfreien Betrieb der Maschinen gewährleisten. Die Verkabelung dieser Sensoren ist ein wichtiger Kostenfaktor. Um die Kosten für die Verkabelung zu reduzieren ist der Einsatz eines drahtlosen Sensornetzwerkes denkbar. Weitere Einsatzgebiete ist die Nachrüstung von Systemen oder das Positionieren von Sensoren an nur schwer zugänglichen Orten, wie z.B. dem Pod-Antrieb, der sich mehrfach um 360° drehen kann.

Um physikalische Messgrößen zu erfassen und drahtlos zu übertragen, wird ein Funkknoten benötigt, der mindestens mit einem Sensor und einem Kommunikationsmodul ausgestattet ist. Zur Vergrößerung des abzudeckenden Bereiches werden Multihop Verbindungen (Verbindung über Zwischen-Funkknoten) verwendet. Um Datenpaket koordiniert durch das WSN zur Senke zu führen, sind die Paketpfade mittels eines Routing-Algorithmus zu definieren.



Abbildung 1: Maschinenraum eines Kreuzfahrtschiffes

II. FUNKKNOTEN UND BETRIEBSSYSTEM

In dieser Arbeit wurde der Funkknoten „IRIS 2.4-GHz“ der Firma Crossbow Technology verwendet [1]. Dieser ist mit der Plattform XM2110CA, bestehend aus einem Mikrocontroller, Transceiver (IEEE 802.15.4) und Flashspeicher, ausgestattet.

Zur direkten drahtlosen Kommunikation wird das Übertragungsprotokoll IEEE 802.15.4 [2] für LR-WPAN (Low data Rate- Wireless Personal Area Network) verwendet, um eine spätere Interoperabilität zu gewährleisten. Es wurden dazu nur die physikalische Schicht und die MAC Schicht verwendet. Die physikalische Schicht des Protokolls stellt 16 Kanäle im 2.4-GHz-ISM-Band bereit. Die Datenrate ist 250 kBit/s. Als IEEE 802.15.4-2003 kompatiblen Transceiver wird der AT86RF230 von Atmel verwendet [3].

Bei der Messdatenerfassung sind Sensoren für Temperatur, Luftdruck und Feuchtigkeit über ein 51-polige Stecker mit dem Mikrocontroller verbunden. (Abbildung 2)

Zur Programmierung des Funkknoten wurde das komponentenbasierte und ereignisgesteuerte Open-Source-Betriebssystem TinyOS 2.x (TOS) verwendet. Dessen Vorteile liegen bei der Portierbarkeit auf unterschiedlichen Hardwareplattformen und der Bibliothek an vorhandenen Basisfunktionen. Weitere Anwendung findet es im Forschungsschwerpunkt SomSed der TUHH [4].

Ein TinyOS-Programm ist als ein Konstrukt von über Schnittstellen verbundenen Komponenten zu verstehen. Dabei wird die eigentliche Anwendung und TinyOS zu einem Programm, welches den Funkknoten betreibt.

Programmiert wird im eigens für TinyOS entwickelten C-Dialekt nesC. Das komponentenbasierte nesC definiert durch die Auflösung des Programmes in einzelne elementare asynchrone und synchrone Abläufe ein Verarbeitungsmodell [5].



Abbildung 2: Iris Funkknoten mit Sensorboard

III. SZENARIO - INTERFERENZEN IM SCHIFFSMASCHINENRAUM

Es wurden Messungen des elektromagnetischen Spektrums des ISM-Bands mittels eines Spektrumanalysators frequenzauflösend im „Max-Hold“-Modus an mehreren Punkten des Maschinenraums auf dem Kreuzfahrtschiffes „Celebrity Solstice“ durchgeführt (Abbildung 3).

Für die hier beschriebene Anwendung ist das 2,4-GHz-ISM-Band von besonderer Bedeutung, da dort die Funkknoten innerhalb eines Kanals ihre Daten übertragen.

Es bestand die Aufgabe, ein WSN basierend auf IEEE 802.15.4 im Schiffsmaschinenraum einzurichten. Dieses setzt hinsichtlich der Veränderung der Topologie keine hohen Ansprüche. Jedoch ist zu erwarten, dass infolge der Frequenzselektivität nicht alle Kanäle die gleiche Qualität besitzen.

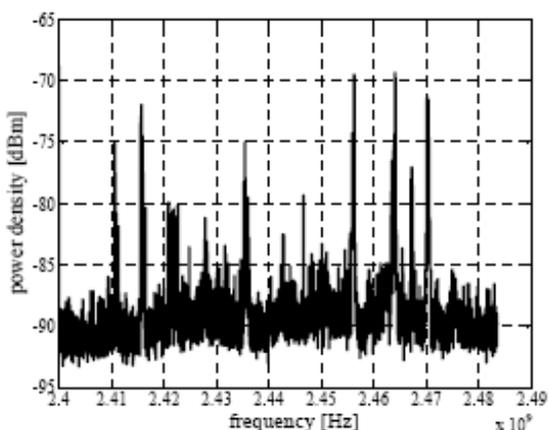


Abbildung 3: Elektromagnetisches Spektrum des ISM-Bandes im Maschinenraum

IV. MULTI-HOP ROUTING PROTOKOLL

Bei der Auswahl der notwendigen Eigenschaften eines WSN im Schiffsmaschinenraum sind mehrere bereits existierende Routing-Protokolle anhand ihrer Eigenschaften analysiert worden. Dabei haben sich vier Eigenschaften als wichtig herauskristallisiert.

- Die Anforderungen an eine effiziente Nutzung der Speicherressourcen, wobei die Anwendung, das Protokoll und die Treiber der Sensorik sich den Speicher teilen müssen.
- Eine energieeffiziente Programmierung, um eine lange Lebensdauer der Funkknoten zu gewährleisten. Dazu gehört neben der Hardwareausstattung und der Sensorik auch das Routing-Protokoll, welches das energieintensive Empfangen und Senden reduziert.
- Nach der Initialisierung sollte das WSN in der Lage sein mittels Selbstkonfiguration die Pakete über Hops zur Senke zu übermitteln.
- Das Protokoll muss robust gegenüber Veränderungen des Funkkanals sein und Übertragungsstörungen kompensieren können.

A. Prinzipien der Routing-Protokolle

Im Folgenden werden kurz die entschiedenen Eigenschaften der ausgewählten Multihop Routing Protokoll kurz beschrieben. Es wurden mehr Routing-Protokolle untersucht, jedoch werden hier nur die wichtigsten kurz beschrieben.

A.A.1 Flooding

Flooding beschreibt eine sehr einfache Methode Pakete ohne Routingtabelle, bidirektional mittels Multi Hopping zu übertragen. Das Paket wird vom Funkknoten an alle Nachbarn gesendet; als Broadcast bezeichnet. Die aktiven Funkknoten leiten dieses ebenfalls per Broadcast an deren Nachbarn weiter. Somit breitet sich das Packet wie eine Flut im gesamten Netz aus und erreicht die Senke.

A.A.2 Tabellenbasiertes Routing

Jeder Funkknoten im Netz besitzt entsprechend dem eigentlichen Protokoll eine oder mehrere Tabellen mit Informationen für das Routing (z.B. ID der Nachbarn, Verbindungsqualität, etc), welche nach der entsprechenden Routing-Metrik geordnet sind. Diese Tabellen beschreiben zur Übertragung den Pfad eines Paketes zur Senke.

A.A.2.1 Minimum Cost Forwarding Algorithmus

Ein einfacher unidirektionaler Routing-Algorithmus zur Minimierung des Energieverbrauches bei der Übertragung von Paketen ist der Minimum Cost Forwarding Algorithm [6] (MCFA). Dieses proaktive Verfahren leitet die Pakete entlang des, bei Initialisierung gefunden, kürzesten Pfades von Quelle zur Senke. Jeder Funkknoten speichert dazu Routing-Informationen, z.B. Adresse des nächsten Funkknotens auf dem Pfad zur Senke.

A.A.2.2 Directed Diffusion

Der reaktive Routing-Algorithmus Directed Diffusion (DD) Routing [7] beschreibt ein Verfahren zur datenzentrierten Übertragung. Das bedeutet, dass kein einzelner Funkknoten, sondern eine Gruppe von Funkknoten angesprochen wird. Es entsteht somit eine 1 zu N Beziehung zwischen einer Senke und N Funkknoten. In den Routing-Tabellen der Funkknoten sind passend zum Datentyp die Adresse des nächsten Funkknotens zur Senke eingetragen. Ein beliebiger Funkknoten kann mittels Interessenbekundung als Senke für einen Datentypen, während des Betriebes fungieren. Falls ein Eintrag zu einem Zielknoten in der Routingtabelle nicht existiert, z.B. wegen abgelaufener Gültigkeitsdauer oder keinen empfangenen Interessen-Paket, leitet der Funkknoten das entsprechende Paket an alle Nachbarn weiter.

V. GEGENÜBERSTELLUNG DER ROUTING-PROTOKOLLE

Das Flooding ist hinsichtlich des überproportional hohen Datenaufkommens zur Übertragung eines Pakets für größere WSN nicht geeignet. Der aufgebaute Baum des MCFA von Routing-Pfaden ist eine sehr gut geeignet zur Paketübertragung, auch in unzugänglichen Bereichen des Schiffes. Die Idee einer Gruppenbeziehung des Directed Diffusion Protokolls bei der unidirektionalen Kommunikation zwischen Funkknoten und Senke ist geeignet, um die Kommunikation mittels Differenzierung von Messdaten im Schiffsmaschinenraum effizienter zu gestalten.

In der Zielanwendung ist davon auszugehen, dass es eine fest installierte Senke gibt, welche für die Daten verarbeitende Einheit als Gateway fungiert.

VI. ENTWICKELTES ROUTING-PROTOKOLL

Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Routing-Protokoll ist somit eine Kombination aus den Eigenschaften der Routing-Protokolle MCFA und Directed Diffusion.

Die Pakete werden entlang eines bei der Initialisierung berechneten Baumes übermittelt, dessen Pfade die kürzesten Wege mit der besten Verbindungsqualität zur Senke beschreiben. Wie bereits in Kapitel III. erwähnt, werden keine sehr großen Veränderungen in der Topologie des WSN erwartet. Um trotzdem auf Veränderungen im Funkkanal reagieren zu können, kann der Baum von der Senke, während des Betriebes reinitialisiert werden. Jeder Baum, siehe Abbildung 2, steht für einen Datentyp.

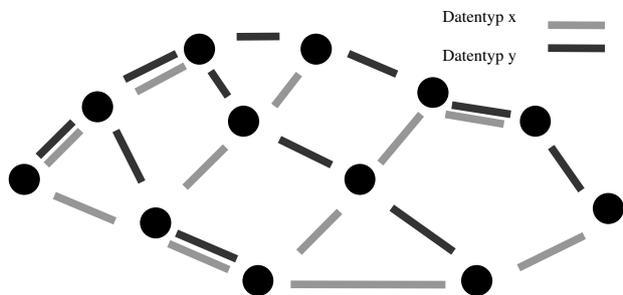


Abbildung 4: Routing-Pfade verschiedener Datentypen

VII. TESTUMGEBUNG

Der Schiffsmaschinenraum befindet sich in den unteren Decks eines Schiffes. Abbildung 1 zeigt den Maschinenraum mit zwei der vier Hauptmaschinen eines Kreuzfahrtschiffes.

Um den Ablauf zu kontrollieren, wird eine Vielzahl von Sensoren eingesetzt, die Temperaturen, Drücke, Durchflüsse oder Schalterstellungen überwachen.

Diese Sensoren wurden für die Erprobung mit einer Sensorplatte nachgebildet, welche zusammen mit dem IRIS Funkknoten in Abbildung 2 gezeigt ist. Die Sensorplatte verfügt über einen Feuchtigkeits-, Temperatur- und Luftdrucksensor.

Es wurde zur Überprüfung der Funktion des entwickelten Routing Protokolls und der Funkknoten in der Umgebung des Schiffsmaschinenraums installiert. Die Verbindungsstruktur des Netzwerkes ist in Abbildung 5 gezeigt. Die Pfeile zeigen den vom System gewählten Baumaufbau. Es ist zu erkennen, dass zwei Funkknoten mittels eines Zwischenknoten Verbindung zur Senke haben. Die Verbindungsstruktur ist natürlich auch von der Verbindungsqualität zwischen den Funkknoten abhängig, wie bereits in VI. erwähnt. Es wurde beobachtet, dass sich die Verbindungsstruktur über die Zeit leicht verändert. Es bestand beispielsweise nicht in jedem Baum eine Verbindung zwischen Funkknoten 42 und 40. Somit diesem Fall wurden Paket von Funkknoten 42 automatisch über die Funkknoten 29 und 40 zur Senke geleitet.

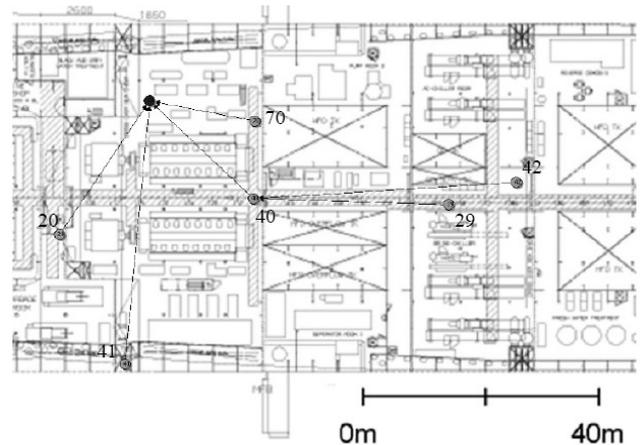


Abbildung 5: Verbindungsstruktur des Sensornetzwerkes im Schiffsmaschinenraum (dunkel: Senke, hell: Funkknoten)

Jeder Funkknoten misst physikalische Daten, wie zum Beispiel die Temperatur und übermittelt diese Daten durch den Baum zu Senke. Das gezeigte Netzwerk arbeitete während einer mehrtägigen Probefahrt. Ein PC speicherte alle Sensordaten die er von der Senke erhielt zusammen mit einem Zeitstempel und Informationen über den Topologieaufbau. Ein beispielhafter Verlauf der Umgebungstemperatur über die Zeit gemessen ist in Abbildung 5 gezeigt. Eine detailliertere Beschreibung der Messergebnisse ist in [8] zu finden.

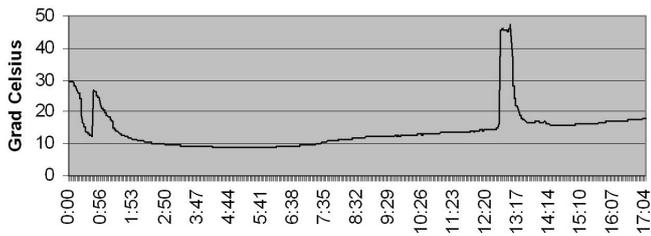


Abbildung 5: Temperaturverlauf

VIII. ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Bericht wurden verschiedene Routing Verfahren und ein speziell für die Anwendung im Maschinenraum entwickeltes Baum-Routing Protokoll vorgestellt. Das entwickelte System wurde im Schiffsmaschinenraum erfolgreich getestet.

DANKSAGUNG

Spezieller Dank gilt der Meyer Werft in Papenburg für die freundliche Unterstützung [9].

REFERENZEN

- [1] Crossbow Technology, Inc., "IRIS 2.4GHz Datasheet", www.xbow.com
- [2] IEEE Std. 802.15.4a-2007: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), IEEE Standard for Information technology- Telecommunications and information exchange between systems- Local and metropolitan area networks- Specific requirements.
- [3] ATMEL Corporation, AT86RF230 Datasheet, www.atmel.com
- [4] S. Georgi, C. Weyer, M. Stemick, C. Renner, F. Hackbarth, U. Pilz, J. Eichmann, T. Pilsak, H. Sauff, L. Torres, K. Dembowski, F. Wagner, „SomSeD: An Interdisciplinary Approach for Developing Wireless Sensor Networks“, 7. GI/ITG KuVS Fachgespräch Drahtlose Sensornetze, Berlin, 2008
- [5] Philip Levis, David Gay, "TinyOS Programming", Book, Cambridge University Press; 1 edition (April 13, 2009)
- [6] Fan Ye, Alvin Chen, Songwu Lu, Lixia Zhang, "A scalable solution to minimum cost forwarding in large sensor networks", UCLA Computer Science Department, Los Angeles, CA 90095-1596
- [7] Chalermek Intanagonwiwat, Ramesh Govindan, Deborah Estrin "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Network"
- [8] "Somsed on Ships", SomSed Workshops, Hamburg, Germany, unpublished.
- [9] Meyer Werft in Papenburg, www.meyer-werft.de