



TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ

---

Fakultät für Informatik

Professur für Technische Informatik

# Forschungspraktikum

Simulation von Sensorknoten mit mehrdimensional Clustering  
in drahtlosen Sensornetzwerken

Thomas Rückert

Chemnitz, den 11. März 2016

**Prüfer:** Prof. Dr. Wolfram Hardt

**Betreuer:** Dipl.-Inf. Mirko Lippmann

**Thomas Rückert,**

Simulation von Sensorknoten mit mehrdimensional Clustering in drahtlosen Sensornetzwerken

Forschungspraktikum, Fakultät für Informatik

Technische Universität Chemnitz, März 2016

## **Abstract**

Diese Arbeit befasst sich mit verschiedenen Routingverfahren und Konfigurationen von drahtlosen Sensornetzwerken. Es sollen Netzwerke mit vielen verschiedenen Arten von Sensorknoten untersucht werden. Dabei sollen die Unterschiede zwischen verschiedenen Verfahren beobachtet und dargestellt werden. Ein Teil der Arbeit soll den Vorteil der Verwendung eines Wake-up-Receivers testen.

Dazu werden die nötigen Knoten, Bauteile und Routingverfahren in verschiedenen Szenarios in einer Simulationsumgebung implementiert. Es sollen während der Ausführung regelmäßig unterschiedliche Parameter gemessen werden, besonders bezüglich des Energieverbrauchs. Anschließend können die Messwerte genutzt werden, um die verschiedenen Szenarios einander gegenüberzustellen.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>iii</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Implementierung</b>	<b>3</b>
2.1 Hardware . . . . .	3
2.1.1 Sensorik . . . . .	3
2.1.2 Wakeupreceiver . . . . .	3
2.2 Transportlayer . . . . .	4
2.2.1 Baum . . . . .	4
2.2.2 Application Clustering . . . . .	4
2.3 Applicationlayer . . . . .	4
<b>3 Testanwendungen</b>	<b>5</b>
3.1 Szenario 1 . . . . .	5
3.2 Szenario 2 . . . . .	5
<b>4 Auswertung</b>	<b>7</b>
<b>5 Zusammenfassung</b>	<b>9</b>
<b>Literatur- und Webverzeichnis</b>	<b>11</b>



## **Abbildungsverzeichnis**





# 1 Einleitung

**Allgemeines** Es kann erforderlich sein viele verschiedene Messwerte eines Gebietes über längere Zeiträume hinweg zu ermitteln. Damit man viele, regelmäßige und genaue Messdaten erhält, können Sensorknoten eingesetzt werden, welche in großen Sensornetzwerken agieren können. Diese können sehr viele und verschiedene Knoten enthalten.

Ein kritischer in Sensornetzwerken ist die Lebensdauer. Daher sollte der Energieverbrauch so weit wie möglich optimiert werden, damit trotz kleiner, günstiger Knoten eine ausreichend lange Arbeitszeit garantiert werden kann. Dazu kann Hardware mit niedrigem Stromverbrauch genutzt werden. Außerdem kann ein Wake-up-Receiver eingesetzt werden. Dadurch können Sensorknoten ihren Funktransceiver abschalten, so lange sie keine Kommunikation mit anderen Knoten ausführen müssen. Sobald eine Nachricht zum Wecken der Knoten vom Wake-up-Receiver empfangen wurde, wird der Funktransceiver wieder zugeschaltet und es kann die normale Kommunikation stattfinden. Es können spezielle Knoten gewählt werden, die das Verwenden dieser Nachrichten ausführen und somit den Wechsel zwischen den verschiedenen Phasen steuern. Sie können zusätzlich durch Nachrichten zum Beispiel Messungen der anderen Knoten steuern.

Eine mögliche Implementierung zur Strukturierung ist eine Unterteilung der Knoten in Cluster mit je einem Masterknoten. Zusätzlich kann eine Datensinke zur Verarbeitung und Speicherung der Daten hilfreich sein können, welche als Schnittstelle nach außen fungiert. Mit verschiedenen Routingverfahren kann die Kommunikation in den Netzwerken gesteuert werden. Durch verschiedene Maßnahmen wie diese kann dies auch beim Einsparen von Energie helfen.

**Implementierung** Es sollen verschiedene Szenarios erstellt werden, welche Netzwerke mit unterschiedlichen Konfigurationen und Routingverfahren implementiert. In den Netzwerken sollen Sensorknoten mit verschiedenen Arten von Sensoren eingesetzt werden. Die Knoten sollen das Funkmodul 802.14.4 / CC2420 nutzen. Zusätzlich sollen sie einen Wake-up-Receiver besitzen. Dazu gehört, dass sich der Stromverbrauch und das Empfangen von Paketen im Schlafzustand ändert. Das Netzwerk soll sich in einer Umgebung befinden, welche verschiedene Messdaten für die Sensoren bereitstellt.

Es soll zum einen ein Szenario mit einem simplen Routingverfahren implementiert werden, zum Beispiel anhand einer fest definierten Baumstruktur. Ein zweites Szenario soll das Applikationsclustering[?] benutzen.

Dabei sollen Messdaten wie zum Beispiel der Energieverbrauch, der Ladezustand über die Zeit, die gesamte Netzwerklebenszeit und Informationen über ausgefallene Knoten erhoben werden.

## 2 Implementierung

### 2.1 Hardware

Für die Testanwendungen wurde ein Knoten definiert, welcher am DicePhyMacHost aus dem Modul Applicationclustering orientiert ist. Dieser wiederum erbt vom Mixim-Knoten WirelessNodeBatteryNetwl. Er beinhaltet sowohl den Funktransreceiver Nic802154\_TLCC2420A, als auch eine Batteriemodul.

Der Sensor\_Wakeup\_DicePhyMacHost enthält zusätzlich dazu die Sensorik aus dem Modul SensorTechnology, welchem im nächsten Abschnitt erläutert wird. Außerdem wurde der Nic802154\_TLCC2420A durch den Receiver

Wakeup\_Nic802154\_TLCC2420A ersetzt, welcher neben der Standardfunktionalität des Funktransceiver auch noch einen Wakeupreceiver implementiert. Dafür wurde das Modul WakeUpRecv verwendet.

#### 2.1.1 Sensorik

Das Modul SensorTechnology wurde in der Bachelorarbeit *Modellierung und Integration von Sensorknoten in einer Simulationsumgebung* implementiert. Es stellt die Hardware für die Simulation von der Sensorik bereit, das beinhaltet einen Speicher, einen Prozessor und vier unterschiedliche Sensoren. Der Energieverbrauch der Hardware kann modular definiert werden, es benötigt daher auch eine Energiequelle. Der letzte Teil des Moduls ist eine Umgebung für die Sensorik, welche die BaseWorldUtility aus dem Mixim-Modul um Sensormesswerte erweitert.

#### 2.1.2 Wakeupreceiver

Nic802154 TI CC2420  
erweitert um wakeupreceiver

## 2.2 Transportlayer

### 2.2.1 Baum

CustomWiseRoute  
ClusterApplWiseRoute

### 2.2.2 Application Clustering

## 2.3 Applicationlayer

**Für Szenario 1** wird der Application-Layer NoApplicationClusteringAppl verwendet. Dieser erbt von der CustomMatrixApplication. Diese wurde jedoch noch um Sensorfunktionen erweitert. In Szenario 1 nehmen die Knoten regelmäßige Messungen vor. Sobald der Event sendToMaster ausgelöst wird lesen die Knoten ihre bisher gesammelten Messwerte aus und leeren den Speicher. Die Messdaten werden dann anhand der Routingtabelle zum Masterknoten gesendet. Die Knoten gehen in regelmäßigen Intervallen in den Schlafmodus und wachen ebenfalls regelmäßig wieder auf. In den Wachphasen kann dann der Event sendToMaster ausgeführt werden. Es findet die Kommunikation zwischen den Knoten statt und nach einer gewissen Zeit gehen alle Knoten wieder in den Schlafmodus zurück.

**Für Szenario 2** werden drei verschiedene Application-Layer definiert. Zum einen der MasterClusterAppl, welcher von der CustomDiceApplication erbt. Dieser Application-Layer wird im Master-Knoten des Netzwerkes implementiert. Es gibt also nur einen Knoten pro Netzwerk mit dem MasterClusterAppl.

Der ClusterMasterClusterAppl wird dem Master innerhalb des jeweiligen Clusters zugewiesen. Dieser erbt von CustomMatrixApplication. Er steuert das Verhalten des ApplicationClustering. Er kann die Knoten des Clusters wecken. Deren Energieladezustand anfordern und Messungen in den Knoten delegieren.

In allen Knoten die weder der Netzwerk-Master noch einer der Cluster-Master wird der LeafClusterAppl verwendet, welcher ebenfalls von CustomMatrixApplication erbt. Dieser hört auf Pakete vom Cluster-Master und gibt seinen Energieladezustand und Messwerte an diesen, falls diese angefordert werden.

## 3 Testanwendungen

Es sollten zwei verschiedene Testanwendungen implementiert werden. Diese sollten zum Beispiel Energieverbrauch, Netzwerklebenszeit und ausgefallene Knoten unter verschiedenen Bedingungen erfassen.

### 3.1 Szenario 1

In der ersten Anwendung sollten die Sensorknoten in regelmäßigen Intervallen Messungen mit den jeweils vorhandenen Sensoren durchführen. Dabei sollte zu den entsprechenden Zeitpunkten jeder Knoten alle seine Messwerte erfassen und diese über einen einfachen Routingalgorithmus wie zum Beispiel eine Baumstruktur an die Datensinke übermitteln.

#### Umsetzung

### 3.2 Szenario 2

In Anwendung Zwei sollten die Knoten in App-Cluster unterteilt werden. Die Funktionsweise ist in Abschnitt 2.2.2 beschrieben. Es misst also im Vergleich zum ersten Szenario nicht jeder Knoten, sondern es wird pro Cluster jeder Messwert nur einmal pro Zeitpunkt erhoben.

#### Umsetzung ...



## **4 Auswertung**





## **5 Zusammenfassung**

schluss teil



## **Literatur- und Webverzeichnis**



## **Selbstständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt, nicht anderweitig zu Prüfungszwecken vorgelegt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Sämtliche wissentlich verwendete Textausschnitte, Zitate oder Inhalte anderer Verfasser wurden ausdrücklich als solche gekennzeichnet.

Chemnitz, den 11. März 2016

---

Thomas Rückert



## **Anhang**





---

## Energieoptionen

### Definitionen

**Aus dem Mixim-Framework** BaseBattery.h - class MIXIM\_API DrawAmount

```
/*
 * [...]
 * Can be either an instantaneous draw of a certain energy amount
 * in mWs (type=ENERGY) or a draw of a certain current in mA over
 * time (type=CURRENT).
 * [...]
 */
class MIXIM_API DrawAmount {
public:
    /** @brief The type of the amount to draw.*/
    enum PowerType {
        CURRENT, /** @brief Current in mA over time. */
        ENERGY /** @brief Single fixed energy draw in mWs */
    };
    [...]
}
```

CURRENT beschreibt den Ruhestrom eines Bauteils. ENERGY einen Betrag, der bei einer bestimmten Operation verbraucht wird.

**Definitionen in SensorTechnology** BatteryAccess.cc - class BatteryAccess

Die Klasse BatteryAccess erbt von MiximBatteryAccess. Die Methoden drawEnergy() und drawCurrent() sind in MiximBatteryAccess definiert. Mit den Methoden changeDrawCurrent() und changeEnergyConsumption() werden können die Energieoptionen für ein Modul verändert werden.

---

```

void BatteryAccess::draw()
{
    consumption.record(energiePerOperation);
    this->drawEnergy(energiePerOperation, 0);
}
void BatteryAccess::changeDrawCurrent(double cur, int acc)
{
    overTime.record(cur);
    this->drawCurrent(cur, acc);
}
void BatteryAccess::changeEnergyConsumption(float energy)
{
    energiePerOperation = energy;
}

```

Memory.ned - simple Memory

Es müssen die Werte für currentConsumption und energyConsumption für alle Module mit Anbindung an die Batterie in allen Knoten des Netzwerkes gesetzt werden.

- currentConsumption - in mA over time (type=CURRENT)
- energyConsumption - in mWs (type=ENERGY)

```

simple Memory
{
    parameters:
        int storageSize = default(4);
        @display("i=block/buffer2");
        double currentConsumption = 100;
        double energyConsumption = 3;
}

```

Die Definition der Werte kann entweder innerhalb des ned-files passieren oder in einem ini-file.

```

#omnetpp.ini
**.Memory.currentConsumption = 3
**.Memory.energyConsumption = 100

```

Batterieverbrauch muss definiert werden für die folgenden Bauteile:

- Memory

- 
- SensingUnit
  - SignalConditioner
  - SignalConverter
  - Transducer
  - Processor

**Besonderheit des Prozessors** Der Prozessor kann 3 verschiedene Energiemodi einnehmen und zyklisch zwischen diesen Wechseln. Verbrauch in diesen Phasen kann beliebig definiert werden. Per default werden für alle 3 Phasen die gleichen Werte für den Verbrauch gesetzt. Diese müssen in `currentConsumptionNormal` und `energyConsumptionNormal` definiert werden.

```
#simple Processor
//NORMAL mode
double currentConsumptionNormal;
double energyConsumptionNormal;
//POWER_SAVING mode
double currentConsumptionPowerSaving = default(currentConsumptionNormal);
double energyConsumptionPowerSaving = default(energyConsumptionNormal);
//HIGH_PERFORMANCE mode
double currentConsumptionHighPerformance
= default(currentConsumptionNormal);
double energyConsumptionHighPerformance
= default(energyConsumptionNormal);
```

Der Verbrauch in den restlichen Modulen kann ebenfalls den 3 Phasen angepasst werden. Dazu können die folgenden 3 Werte definiert werden, welche standardmäßig auf 1 gesetzt sind. Faktor 1 bedeutet es gibt keine Veränderung. Die Werte symbolisieren einen Faktor, der mit den gesetzten Werten für `currentConsumption` und `energyConsumption` multipliziert wird. Also senkt ein Wert kleiner 1 und erhöht ein Wert größer 1 den gewählten Verbrauch.

```
#module SensorNode
double normalRatio = default(1);
double powerSavingRatio = default(1);
double highPerformanceRatio = default(1);
```

---

## Beispiele

### Batterie

```
#Definiert die Kapazitaet der Batterie in allen Bauteilen
**.battery.nominal = 1000mAh
```

**Verbrauch** Den Verbrauch für des Bauteil in jedem Knoten auf den gleichen Wert setzen:

```
**.currentConsumption = x
**.energyConsumption = y
```

Den Verbrauch für des Bauteil in jedem Knoten auf den gleichen Wert setzen, nur für den Speicher wird ein anderer Wert definiert. Dabei muss die spezielle Definition vor der allgemeinen Definition stehen, sonst wird der gesetzte Wert für den Memory ignoriert.

```
**.Memory.currentConsumption = a
**.Memory.energyConsumption = b

**.currentConsumption = x1
**.energyConsumption = y1
```

Der Verbrauch kann auch für jeden einzelnen Sensor, jedes Bauteil eines bestimmten Sensors oder jeden Knoten einzeln definiert. Ein paar Beispiele dazu sind im folgenden Listing gegeben.

---

```

#genau ein Bauteil (SensingUnit) des Temperatursensor des Sensornode0
#im Netzwerk Network
Network.Sensornode0.TemperatureSensor.SensingUnit.currentConsumption = g
Network.Sensornode0.TemperatureSensor.SensingUnit.energyConsumption = h

#genau ein Bauteil (SensingUnit) des Temperatursensor des Sensornode0
#in allen verfuegbaren Netzwerken
**.Sensornode0.TemperatureSensor.SensingUnit.currentConsumption = e
**.Sensornode0.TemperatureSensor.SensingUnit.energyConsumption = f

#Verbrauch aller Bauteile des Temperatursensors in allen Knoten in
#allen Netzwerken
**.TemperatureSensor.**.currentConsumption = c1
**.TemperatureSensor.**.energyConsumption = d1

#nur der Verbrauch der SensingUnit des Temperatursensors in allen Knoten
**.TemperatureSensor.SensingUnit.currentConsumption = c
**.TemperatureSensor.SensingUnit.energyConsumption = d

#der Verbrauch aller SensingUnits in allen Sensoren aller Knoten
**.SensingUnit.currentConsumption = a
**.SensingUnit.energyConsumption = b

**.currentConsumption = x1
**.energyConsumption = y1

```

**Prozessor** Verbrauch im Prozessor für die 3 verschiedenen Phasen.

```

#Processor
**.Processor.currentConsumptionNormal = 3
**.Processor.energyConsumptionNormal = 200

**.Processor.currentConsumptionPowerSaving = 3
**.Processor.energyConsumptionPowerSaving = 150

**.Processor.currentConsumptionHighPerformance = 3
**.Processor.energyConsumptionHighPerformance = 250

**.normalRatio = 1.0
**.powerSavingRatio = 0.1 #niedriger Verbrauch in den Modulen
**.highPerformanceRatio = 1.5 #erhoehter Verbrauch in den Modulen

```

---

Minimal nötige Definition für den Prozessor. Hier wird der Energieverbrauch beim Wechsel der Phasen nicht verändert.

```
#Processor
**.Processor.currentConsumptionNormal = 3
**.Processor.energyConsumptionNormal = 100
```

## Statistiken

Um statistische Daten während der Simulation zu speichern müssen verschiedene Parameter im ini-file gesetzt werden:

- record-eventlog
- \*\*.\*.vector-recording
- \*\*.\*.scalar-recording

Alle 3 Werte sind booleans. Wenn sie auf true gesetzt sind, dann werden die entsprechenden Daten gespeichert. Für die Skalaren und Vektoren können die Speicherorte wie folgt definiert werden:

- output-scalar-file = results/scalars1.sca
- output-vector-file = results/vectors1.vec

Mit der gezeigten Beispielkonfiguration werden relativ zum Projektpfad im Ordner results die folgenden Dateien mit statistischen Daten erstellt:

- General-0.elog
- scalars1.sca
- vectors1.vec

Innerhalb der Skalaren und Vektoren kann im Tab ‘Browse Data‘ (unten) aus allen ermittelten Werten gewählt werden. Markierte Werte können mit Rechtsklick->‘Plot‘ in einen Graphen verarbeitet werden. Innerhalb des Charts kann per Rechtsklick->‘Properties‘ der Graph bearbeitet werden.