



UNIVERSITÄT KARLSRUHE (TH) - FORSCHUNGSUNIVERSITÄT  
FAKULTÄT FÜR ELEKTRO- UND INFORMATIONSTECHNIK  
INSTITUT FÜR BIOMEDIZINISCHE TECHNIK

# DIPLOMARBEIT

Entwurf und Implementierung eines kabellosen Sensornetzes  
zur Überwachung von Patienten bei einem  
Massenanfall von Verletzten (MANV)

vorgelegt von	cand. inform. Marcel Noe
Betreuer	Prof. Dr. Armin Bolz Prof. Dr. Rüdiger Dillmann Dr.-Ing. Marc Jäger
Abgabetermin	01.11.2010

**Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich an Eides Statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig und ohne unzulässige fremde Hilfsmittel angefertigt habe. Die verwendeten Literaturquellen sind im Literaturverzeichnis vollständig angegeben. Die Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde zur Erlangung eines akademischen Grades vorgelegt.

Karlsruhe, 31.09.2005

# Vorwort

Diese Arbeit entstand am..... in Koopeartion mit... blabla

Noch was zum Titel:

Es ist oft sinnvoll, zunächst einen vorläufigen Arbeitstitel zu formulieren. Mit ihm legen Sie für sich fest, was Sie beschreiben wollen. Der endgültige Titel sollte einerseits so kurz wie möglich sein, andererseits aber auch möglichst viele Informationen über den Gegenstand der Arbeit enthalten. Beachten Sie, daß die meisten Leser der wissenschaftlichen Zeitschrift, in der Sie Ihre Arbeit veröffentlichen wollen, nur deren Titel lesen. Der Titel soll den Leser kurz und präzise über den Inhalt der Arbeit informieren. Abkürzungen sollten vermieden werden. Aus dem Titel muß ersichtlich sein, ob es sich um eine experimentelle oder um eine theoretische Arbeit handelt. Sie sollten viel Mühe darauf verwenden, den treffenden Titel zu wählen. Ich empfehle, zunächst die Wörter aufzuschreiben, die Ihrer Meinung nach in dem Titel unbedingt vorkommen müssen, um den Inhalt zu charakterisieren. Dann sollten Sie diese Wörter geschickt zu einem Titel zusammenfügen. Beachten Sie aber immer, daß der Titel auch nicht zu lang sein darf.

# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich den Personen danken, ohne die diese Arbeit so nicht entstanden und auch nicht möglich gewesen wäre. Ein herzliches Dankeschön gilt...

- ...
- ...
- ...
- ...
- ...
- ...

Die Danksagung ist ein wichtiger Teil der Arbeit. Hier sollten Sie sich bei all denen bedanken, die Ihnen bei den beschriebenen Forschungen behilflich waren. Es ist zwingend erforderlich, daß in der Danksagung steht, welche Institutionen Ihnen evtl. Daten kostenlos zur Verfügung gestellt haben und von welchen Institutionen Ihre Arbeit finanziert wurde. Allgemein ist zu sagen, daß man in der Danksagung nicht geizen sollte. Durch das Erwähnen von Hilfen, die man erhalten hat, kann man sich Türen öffnen, die später eventuell von großem Nutzen sein können. Ein weiterer Tip: Schicken Sie jedem/jeder, der/die in der Danksagung erwähnt wird, ein Exemplar Ihrer Arbeit (am besten mit Widmung). Er/sie wird sich freuen.

# Abstract

... Die Zusammenfassung („Abstract“) ist nach dem Titel der zweitwichtigste Bestandteil einer wissenschaftlichen Arbeit. Sie sollten deshalb für die Zusammenfassung, ebenso wie für den Titel, besonders viel Mühe und Zeit verwenden, da die gesamte wissenschaftliche Arbeit nur von sehr wenigen Wissenschaftlern gelesen wird, die Zusammenfassung aber von vielen. Aus der Zusammenfassung muß hervorgehen, wovon die Arbeit handelt, worauf sie aufbaut, und vor allen Dingen, welche neuen Erkenntnisse gewonnen wurden. Die wichtigsten Ergebnisse der Arbeit müssen kurz und präzise aufgezählt werden. Es genügt nicht zu schreiben, daß dies und jenes in der Arbeit behandelt werden. Wichtig ist, daß die „harten Fakten“, welche sich aus den Untersuchungen ergeben haben, aufgelistet sind. Handelt es sich um eine theoretische Arbeit, dann müssen Sie erwähnen, von welchen Gleichungen Sie ausgegangen sind und welche Näherungen Sie verwendet haben; bei einer experimentellen Arbeit müssen Sie erwähnen, welche Experimente Sie durchgeführt haben und eventuell auch, welche Auswertungsmethoden (falls nicht Standardmethoden) Sie verwendet haben. Beachten Sie, daß Ihre Arbeit von Wissenschaftlern unterschiedlicher Herkunft und Ausbildung gelesen wird. Bedenken Sie, daß sich auch Wissenschaftler für Ihre Arbeit interessieren können, die aus benachbarten Disziplinen stammen und nicht mit dem von Ihnen verwendeten wissenschaftlichen „Jargon“ vertraut sind, oder solche, welche die in Ihrem Fach üblichen Abkürzungen nicht kennen. Deshalb soll die Zusammenfassung für alle (natur-)wissenschaftlich gebildeten Leser verständlich sein. Das bedingt, daß eventuell benutzte Abkürzungen erklärt werden müssen, und daß nur solche Begriffe vorkommen dürfen, die ein „normaler“ Wissenschaftler üblicherweise kennt oder die er notfalls in einem Lexikon nachschlagen kann. Die Zusammenfassung sollte keine Literaturhinweise enthalten. Die Zusammenfassung ist ein selbständiger Teil der Arbeit. Das bedeutet, daß die in der Zusammenfassung erklärten Abkürzungen im Hauptteil noch einmal erklärt werden

müssen. Einerseits darf die Zusammenfassung nicht zu lang sein (max eine Seite), andererseits muß sie aber auch alle wichtigen Informationen über Ihre Untersuchungen enthalten. Auf präzise Formulierungen ist größten Wert zu legen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>VIII</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>IX</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation der Arbeit . . . . .	1
1.2 Aufgaben und Ziele der Arbeit . . . . .	1
1.3 Gliederung und Vorgehensweise der Arbeit . . . . .	1
<b>2 Stand der Technik</b>	<b>2</b>
<b>3 Fortschritt der Arbeit</b>	<b>3</b>
<b>4 Praktische Realisierung des Sensornetzes</b>	<b>4</b>
4.1 Entwurf . . . . .	4
4.1.1 Hardware . . . . .	4
4.1.2 Firmware . . . . .	5
4.1.3 Software . . . . .	7
4.2 Implementierung . . . . .	9
4.2.1 Hardware . . . . .	9
4.2.2 Firmware . . . . .	9
4.2.3 Software . . . . .	9
<b>5 Ergebnisse</b>	<b>10</b>
5.1 Baselinewandering . . . . .	10
5.1.1 Messungen unter verschiedenen Bedingungen . . . . .	10
5.1.2 Vergleichende Messung mit Referenzgerät . . . . .	10
5.2 HRV-Variation . . . . .	10
5.2.1 Messungen unter verschiedenen Bedingungen . . . . .	10

5.2.2	Vergleichende Messung mit Referenzgerät . . . . .	10
5.3	QRS-Komplexe . . . . .	11
5.3.1	Messungen unter verschiedenen Bedingungen . . . . .	11
5.3.2	Vergleichende Messung mit Referenzgerät . . . . .	11
5.4	Vergleiche der Verfahren zueinander . . . . .	11
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>12</b>
6.1	Baselinewandering . . . . .	12
6.2	HRV-Variation . . . . .	12
6.3	QRS-Komplexe . . . . .	12
6.4	Vergleich der Verfahren zueinander . . . . .	12
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>14</b>
	<b>Glossar</b>	<b>15</b>



# Abbildungsverzeichnis

# Tabellenverzeichnis

# Kapitel 1

## Einleitung

### 1.1 Motivation der Arbeit

...

### 1.2 Aufgaben und Ziele der Arbeit

...

### 1.3 Gliederung und Vorgehensweise der Arbeit

...

# Kapitel 2

## Stand der Technik

Standardverfahren der Atmungsdetektion mit Nachteilen, Problemen etc. aufzeigen...

# Kapitel 3

## Fortschritt der Arbeit

So Sachen wie, dass es nicht mehr von der Bewegung am Brustkorb abhängt (indirekt bei QRS), dass die HRV-Methode auch Messungen der Atmung Beispielsweise am Handgelenk zulässt, also weit weg von der Lunge...

# Kapitel 4

## Praktische Realisierung des Sensornetzes

### 4.1 Entwurf

#### 4.1.1 Hardware

##### MANVNode

##### ADuC

Beim MANVNode handelt es sich um ein Prototyp des späteren Erste-Hilfe-Sensor für den MANV-Einsatz. Zwar existiert der Erste-Hilfe-Sensor bereits, allerdings hat dieser noch keinerlei Netzwerkfähigkeit. Der Erste-Hilfe-Sensor basiert auf einem ADuC7019 Microcontroller und ergänzt diesen durch Detektionskomponenten, zur Patientenüberwachung.

Für die Entwicklung der Netzwerkanbindung sind diese Detektionskomponenten nur insofern relevant, dass es zu keiner Gegenseitigen Störung zwischen Detektion- und Netzwerkkomponenten kommen darf. Daher wurde im ersten Schritt alle nicht benötigten Komponenten weggelassen, und lediglich der reine Mikrocontroller verwendet. Später wurden die hierbei entwickelte Netzwerkkomponenten zusammengefasst und in die Hardware des Erste-Hilfe-Sensors integriert.

Die eigentliche Entwicklung fand mit Hilfe eines ADuC7026 Evaluations-Board statt. Dieses Board hat den Vorteil, dass alle Anschlüsse des Mikrocontrollers auf Steckerleisten geführt, und damit leicht zugänglich sind. Ausserdem ist eine JTAG-Schnittstelle vorhanden, die ein einfaches Debuggen des Mikrocontrollers

ermöglicht.

### **ZigBee-Schnittstelle**

Für die Anbindung des Erste-Hilfe-Sensors an das Sensornetz wird ein ZigBit-Modul der Firma Atmel verwendet. Dieses Modul bietet den Vorteil, dass es bereits über einen kompletten ZigBee-Stack verfügt, der einfach über AT-Befehle gesteuert werden kann, die per UART gesendet werden.

Der ZigBee-Stack auf dem ZigBit Modul ist austauschbar und kann durch eine eigene Firmware ersetzt werden. Hierzu wird von der Firma Atmel ein umfangreiches SDK<sup>1</sup> angeboten. Für den Rahmen dieser Diplomarbeit ist die vorgefertigte Serial-Net-Firmware allerdings ausreichend. Einziger Wermutstropfen ist die fehlende Verschlüsselung, welche für den Serieneinsatz natürlich erforderlich wäre.

Die Kommunikation mit dem ZigBit Modul erfolgt grundsätzlich synchron. Jeder AT-Befehl wird entweder mit „OK“, „ERROR“ oder einer Ergebnisszeile quittiert. Der Treiber für das ZigBit-Modul kann also prinzipiell als endlicher Automat mit zwei Zuständen implementiert werden. Zu beachten ist jedoch, dass prinzipiell jederzeit Ereignisse vom Typ „Data Received“ auftreten können. Es ist also notwendig, die Antwort des ZigBit Moduls zu parsen, und zu entscheiden, ob es sich um eine Antwort auf einen zuvor gesendeten Befehl oder aber um ein Data-Ereignis handelt. Wichtig ist, dass diese Ereignisse nicht verloren gehen dürfen, da es sich um Befehle handelt, die von der MANVSuite an den Sensor gesendet wurden, und von diesem abgearbeitet werden müssen.

#### **4.1.2 Firmware**

Die Firmware des Erste-Hilfe-Sensors wurde um einen Treiber für das ZigBit-Modul ergänzt. Die Firmware wurde in der Programmiersprache C geschrieben, und setzt direkt auf die Hardware des ADuC auf. Es wurde lediglich die von Rowley Crossworks angebotene Standardbibliothek verwendet, die einige praktische Funktionen wie Stringmanipulation, einen Interrupthandler und einen fertigen Startup-Code bietet.

Die Entwicklung von Software für einen Microcontroller zeichnet sich durch die Abwesenheit eines Betriebssystems aus. Ein Großteil der Funktionalität, die man

---

<sup>1</sup>Software-Development-Kit: Eine Art Baukasten für Software, die viele benötigte Teile bereits fertig zur Verfügung stellt

von der Entwicklung von Software für einen standard Mikrocomputer gewohnt ist, ist schlichtweg nicht vorhanden. Hier sind insbesondere eine automatische Speicherverwaltung sowie Threads und Prozesse zu erwähnen. Da der Erste-Hilfe-Sensor viele Aufgaben gleichzeitig erfüllen muss, stellt dies eine ernst zu nehmende Herausforderung dar. Das Problem wurde durch ein Interrupt getriebenes Programmiermodell gelöst.

Es werden folgende Interrupts verwendet:

Timer0: Dieser Timer-Interrupt führt die Patientenüberwachung durch. Die einzelnen Sensoren werden abgefragt, und eine Analyse der empfangenen Daten wird durchgeführt.

Timer1: Dieser Interrupt führt einige periodische Aufgaben durch. Zunächst werden die am Sensor vorhandenen Taster abgefragt (Alarm Stummschalten, Alarm manuell auslösen etc.). Danach wird überprüft, in welchem Zustand der Sensor sich aktuell befindet, also z.B. ob ein Alarm aufgetreten ist, oder ob der Patient sich in einem guten Zustand befindet. Abhängig hiervon werden nun LEDs und ein angeschlossener Piezzo-Summer geschaltet, um den Zustand nach aussen zu signalisieren. Zu letzt wird noch überprüft, wann zuletzt eine Übertragung des Zustands des Sensors an die MANVSuite erfolgt ist. Liegt dies länger als einen konfiguriertes Zeitintervall zurück, so wird eine Übertragung des aktuellen Zustands veranlasst.

Ein weiteres Problem sind die sehr beschränkten Ressourcen des Mikrocontrollers. Insbesondere der Speicher ist mit 16kB sehr knapp bemessen.

## UART

Der ADuC verfügt über einen UART Interrupt, welcher eine Statusänderung des UARTs signalisiert. Im Register *COMIEN0* wird konfiguriert, welche Zustände über den Interrupt signalisiert werden sollen. Tritt nun einer dieser Zustände auf, so wird der UART Interrupt ausgelöst. Im Interrupthandler muss nun überprüft werden, welches Ereigniss zum Auslösen des Interrupts geführt hat. Dies ist im Register *COMSTA0* gespeichert. Wichtig ist an dieser Stelle, dass auch mehrere Ereignisse gleichzeitig auftreten können. Dies muss im Interrupthandler berücksichtigt werden, da sonst Ereignisse verloren gehen können.

Das eigentliche Senden und Empfangen erfolgt über die beiden Register *COMRX* und *COMTX*. Zum Senden wird hierzu ein einzelnes Zeichen in *COMTX* gelegt. Nun muss eine gewisse Zeit gewartet werden, bis das Zeichen gesendet wurde,



und das nächste Zeichen in *COMTX* gelegt werden kann. Für das Empfangen wird das Register *COMRX* in analoger Weise verwendet werden. Ob das nächste Zeichen empfangen bzw. gesendet werden kann, kann mit Hilfe der Bits *DR* („Data Ready“ - Daten liegen vor) bzw. *TEMT* („Transmit Buffer empty“ - Daten können gesendet werden) bestimmt werden.

Die einfachste Methode wäre hierbei, in einer Schleife Busy-Waiting zu betreiben, und so lange zu warten, bis sich eins der beiden Bits verändert. Dies wäre jedoch sehr aufwendig und würde den Mikrocontroller unnötig lange blockieren. Statt dessen wird der Zustand der beiden Register nur dann überprüft, wenn ein UART-Interrupt aufgetreten ist.

Zum Senden und Empfangen von Daten werden zwei Ringpuffer verwendet. Möchte ein Unterprogramm Daten senden, so greift es nicht direkt auf die UART-Schnittstelle zu sondern legt diese Daten lediglich in den Sendepuffer. Das eigentliche Senden wird nun vom UART-Interrupthandler durchgeführt; das Unterprogramm kann weiter arbeiten, ohne auf das fertige Senden der Daten warten zu müssen.

Das Empfangen von Daten erfolgt analog. Jedesmal wenn ein Zeichen von der seriellen Schnittstelle empfangen wurde, wird dieses in den Empfangspuffer gelegt. Das Abarbeiten des Empfangspuffer erfolgt nun als Idle-Task: Immer dann, wenn der Mikrocontroller gerade keine anderen Aufgaben erfüllen muss, wird der Empfangspuffer abgearbeitet und eventuell empfangene Befehle werden abgearbeitet. Dies kann natürlich jederzeit durch die Abarbeitung von Interrupts unterbrochen werden.

## MANV-USB-Connector

Der MANV-USB-Connector ist die Schnittstelle zwischen Sensornetz und Computer. Es handelt sich um einen USB-Stick, der einen ZigBit-Modul beinhaltet. Zusätzlich sind zwei weitere Bauteile enthalten, die das ZigBit-Modul mit Strom versorgen, sowie eine Umsetzung der UART-Schnittstelle des ZigBit-Moduls auf USB vornehmen. Für die Stromversorgung ist es notwendig, die 5V der USB-Schnittstelle auf die 3V des ZigBit-Moduls umzusetzen.

### 4.1.3 Software

In dieser Arbeit wurde ein Java-Treiber (MANVConnector) entworfen und implementiert. Dieser Treiber realisiert die die Anbindung an die von Herrn Tepelmann in [?] entwickelte MANVSuite.

Der MANVConnector hat einerseits die Aufgabe, Daten die von dem MANV-USB-Connector empfangen wurden in Corba-Events umzusetzen, und an den MANVServer weiterzuleiten. Andererseits empfängt sie Corba-Events vom MANVServer, dekodiert diese und sendet diese in Form von Sensornetz Befehlen an die zuständigen MANVNodes weiter.

Bei der Kommunikation mit dem auf dem USB-Stick aufgebrachten ZigBee-Modul stellen sich grundsätzlich die selben Synchronisierungsprobleme wie in der MANVFirmware. Da der MANVConnector jedoch alle Möglichkeiten der Java-Virtual-Machine nutzen kann, lassen sich diese deutlich einfacher und eleganter lösen.

Analog zu den Sende- und Empfangspuffern in der Firmware gibt es im MANV-Connector drei Queues:

- Die Command Queue: In dieser Queue werden alle zu sendenden Befehle gespeichert.
- Die Event Queue: In dieser Queue werden alle empfangenen Ereignisse gespeichert.
- Die Result Queue: In dieser Queue werden alle bereits gesendeten Befehle zusammen mit dem Resultat, das dieser Befehl hatte, gespeichert.

Jedes Element der einzelnen Queues verfügt über eine Priorität; die Queues sorgen dafür, dass der Zugriff nach Priorität sortiert erfolgt. Hierdurch wird sicher gestellt, dass wichtige Ereignisse wie z.B. ein Alarm bevorzugt ausgeliefert werden.

Der MANVConnector ist in drei Threads aufgeteilt:

- SocketWriter: Dieser Thread entnimmt Befehle aus der *CommandQueue* und sendet diese über den MANV-USB-Connector an das Sensornetz. Nun blockiert der Thread so lange, bis das Ergebnis des Befehls zur Verfügung steht. Sobald dies der Fall ist, wird der Befehl zusammen mit dem Ergebnis in die *ResultQueue* eingefügt.
- SocketReader: Dieser Thread empfängt Daten aus dem Sensornetz. Handelt es sich um ein Ergebnis, so wird dies dem *SocketWrite* signalisiert, und das Ergebnis zur Abholung durch den *SocketWriter* zur Verfügung gestellt. Handelt es sich hingegen um einen Ereignis, so wird dieses in die *EventQueue* eingefügt.

- Haupt-Thread: Dieser Thread ist für die Kommunikation mit MANVServer zuständig. Befehle, die vom MANVServer empfangen werden, werden für das Sensornetz aufbereitet und in die CommandQueue eingestellt. Ausserdem werden Ereignisse aus der *EventQueue* entnommen, in Corba-Events übersetzt und an den MANVServer zugestellt.

## 4.2 Implementierung

### 4.2.1 Hardware

### 4.2.2 Firmware

### 4.2.3 Software

# Kapitel 5

## Ergebnisse

### 5.1 Baselinewandering

#### 5.1.1 Messungen unter verschiedenen Bedingungen

... nur die reinen Messergebnisse kommen hier rein mit Erläuterung/Begründung etc... Bilder von den Messungen und Fakten

#### 5.1.2 Vergleichende Messung mit Referenzgerät

... Ebenfalls nur Bilder und Zahlen im Vergleich zu der Referenzmethode (am Besten Bilder, in denen die Atmungskurve von der neuen Methode und der Referenzmethode gleichzeitig zu sehen sind)

### 5.2 HRV-Variation

#### 5.2.1 Messungen unter verschiedenen Bedingungen

... wie oben

#### 5.2.2 Vergleichende Messung mit Referenzgerät

... wie oben

## 5.3 QRS-Komplexe

### 5.3.1 Messungen unter verschiedenen Bedingungen

... wie oben

### 5.3.2 Vergleichende Messung mit Referenzgerät

... wie oben

## 5.4 Vergleiche der Verfahren zueinander

Hier nur Grafiken, Fakten, Zahlen etc. reinmachen, die die verschiedenen Verfahren überlappend zeigen und kurz erläutern, aber nicht bewerten.

Der Ergebnisteil (Ergebnisse, results) sollte die wesentlichen Befunde der aktuellen Arbeit in nachvollziehbarer, durch geeignete Präsentation (Tabellen, Grafiken) unterstützter Weise darbieten. Die Auswahl der dargebotenen Ergebnisse ist nach der Relevanz im Hinblick auf die Fragestellung zu treffen. Dies gilt gleichermaßen für Positivergebnisse, welche die Argumentation der Autoren stützen, wie auch für Negativergebnisse und Probleme bei der Durchführung der Untersuchung, sofern diese einen Einfluss auf das Ergebnis gehabt haben könnten. Die Datenpräsentation sollte einen unverfälschten, aber durch geeignete Aufarbeitung der Daten (Mittelwertbildung, andere zusammenfassende deskriptive Statistik, etc.) fokussierten Überblick geben. Außerdem sollte der Ergebnisteil verschiedene Teilergebnisse nicht isoliert präsentieren, sondern den Leser in einer zusammenhängenden Beschreibung durch die Resultate führen. Dies schließt eine Beschreibung der wichtigsten Befunde aus Tabellen und Grafiken ein. ———

# Kapitel 6

## Diskussion

Bewertung (auch subjektive Meinung) der einzelnen Verfahren. Vor- und Nachteile. Wo gibt es Probleme (z.B. bei HRV nur im unteren Frequenzbereich einsetzbar?? etc.), wie ist die Abweichung zu Referenzmessungen...

### 6.1 Baselinewandering

...

### 6.2 HRV-Variation

...

### 6.3 QRS-Komplexe

...

### 6.4 Vergleich der Verfahren zueinander

In der Diskussion (discussion) stellen die Autoren ihre Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen vor. Dabei ist eine Wiederholung der Ergebnisdarstellung zu

vermeiden. Das diskutierte Ergebnis braucht nur noch erwähnt, nicht aber erneut dargestellt zu werden. Inwieweit konnte eine in der Einleitung vorgestellte Hypothese gestützt oder widerlegt werden? Inwiefern sind die Ergebnisse in Übereinstimmung mit bisherigen publizierten Befunden und Hypothesen oder stehen im Gegensatz zu diesen? Neben der Einleitung ist die Diskussion derjenige Teil des Artikels, in dem ein Schwerpunkt darauf liegt, die gerade ausgeführte Studie in die sonstige Fachliteratur einzuordnen.

# Kapitel 7

## Zusammenfassung und Ausblick

\*\*\*Beispiel wie ein Zitat auf Armins (?) Buch funktioniert\*\*\*



# Glossar