



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, 31.10.2010

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

VIII

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

Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XIII
1 Einleitung	1
1.1 Motivation der Arbeit	1
1.2 Aufgaben und Ziele der Arbeit	1
1.3 Gliederung und Vorgehensweise der Arbeit	1
2 Stand der Technik	3
3 Grundlagen	5
3.1 Scatternet	5
3.2 Kabellose Übertragungsprotokolle	5
3.2.1 Einführung	5
3.2.2 DECT	5
3.2.3 GSM/UMTS	6
3.2.4 WLAN	6
3.2.5 Übersicht	6
3.2.6 WPAN: Wireless Personal Area Networks	8
3.2.7 Weitere Protokolle	10
3.2.8 Diskussion	10
3.3 Der Analog Devices ADuC702X Mikrocontroller	10
3.4 Java	10
3.5 Corba	10
4 Fortschritt der Arbeit	11

5	Praktische Realisierung des Sensornetzes	13
5.1	Entwurf	13
5.1.1	Hardware	13
5.1.2	Firmware	14
5.1.3	Software	16
5.2	Implementierung	18
5.2.1	Hardware	18
5.2.2	Firmware	18
5.2.3	Software	18
6	Ergebnisse	19
6.1	Baselinewandering	19
6.1.1	Messungen unter verschiedenen Bedingungen	19
6.1.2	Vergleichende Messung mit Referenzgerät	19
6.2	HRV-Variation	19
6.2.1	Messungen unter verschiedenen Bedingungen	19
6.2.2	Vergleichende Messung mit Referenzgerät	19
6.3	QRS-Komplexe	20
6.3.1	Messungen unter verschiedenen Bedingungen	20
6.3.2	Vergleichende Messung mit Referenzgerät	20
6.4	Vergleiche der Verfahren zueinander	20
7	Diskussion	21
7.1	Baselinewandering	21
7.2	HRV-Variation	21
7.3	QRS-Komplexe	21
7.4	Vergleich der Verfahren zueinander	21
8	Zusammenfassung und Ausblick	23
	Glossar	25
	Literaturverzeichnis	26

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

Grundlagen

3.1 Scatternet

3.2 Kabellose Übertragungsprotokolle

3.2.1 Einführung

In diesem Abschnitt werden die gängigsten Funkprotokolle kurz vorgestellt. Insbesondere wird erläutert, inwieweit das entsprechende Protokoll als Grundlage für das zu entwickelnde Sensornetz geeignet ist.

Mit Ausnahme von DECT und GSM bzw. UMTS ist diesen Protokollen gemein, dass sie sich alle im ISM-Band befinden.

3.2.2 DECT

Bei DECT („Digital Enhanced Cordless Telecommunications“) handelt es sich um einen Standard, der vor allem zur Anbindung von Schnurlostelefonen an eine Basisstation gedacht ist¹.

In Europa wird ein eigenes Frequenzband im Bereich von 1800 bis 1900 MHz verwendet, in dem 10 Kanäle zur Verfügung stehen. Pro Kanal können maximal 32kbit Nutzdaten pro Sekunde übertragen werden. Die maximal zulässige Sendeleistung beträgt 250mW, womit eine Reichweite von ca. 30-50 Metern in Gebäuden und ca. 300m im Freien realisiert werden kann. Jede Basisstation kann bis zu 6 Geräte anbinden.

¹Es gibt jedoch auch weitere Anwendungen wie z.B. Babyfone.

Beim Einsatz außerhalb Europas muss bedacht werden, dass die Verwendung der Frequenzen von 1800 bis 1900 MHz hier evtl. nicht zulässig ist. In diesem Fall muss auf das ISM-Band ausgewichen werden, welches sich hier mit anderen Anwendungen geteilt werden muss.

DECT bietet eine optionale Verschlüsselung der Nutzdaten, welche jedoch im Jahr 2009 geknackt wurde, so dass DECT mittlerweile als unsicher gelten muss. Aufgrund der geringen Nutzdatenmenge sowie der Einschränkung auf 6 Teilnehmer ist DECT für den Einsatz als Sensornetz-Protokoll nicht geeignet.

3.2.3 GSM/UMTS

3.2.4 WLAN

3.2.5 Übersicht

WLAN oder Wi-Fi bezeichnet den heute gängigen Standard eines Funkprotokolls zum Aufbau von kabellosen lokalen Netzwerken. Es gibt mehrere Versionen des Standards, die verbreitetsten sind IEEE 802.11a, IEEE 802.11b/g und IEEE 802.11n.

Es sind zwei Betriebsmodi möglich:

- Infrastruktur-Modus: Eine zentrale Station („Access-Point“) dient als Basisstation für alle weitere Stationen. Jede Station, die am Netzwerk teilnimmt, muss hierzu die Signale des *Access-Points* empfangen können.
- Ad-hoc-Modus: Dieser Betriebsmodus kommt ohne zentrale Komponente aus. Es wird eine Peer-to-Peer-Verbindung zwischen allen am Netzwerk teilnehmenden Stationen aufgebaut. Hierzu ist es notwendig, dass alle Stationen sich gegenseitig empfangen können.

Der Infrastruktur-Modus bietet gegenüber dem Ad-Hoc-Modus klare Vorteile: Im Gegensatz zum Ad-hoc-Modus ist es nicht notwendig, dass alle Stationen sich gegenseitig empfangen müssen, es reicht aus, wenn der Access-Point empfangen werden kann. Hierdurch ist eine größere Ausbreitung des Netzwerks möglich als im Ad-Hoc-Modus.

Es werden verschiedene Datenübertragungsraten unterstützt. Standardmäßig wird immer die größtmögliche Übertragungsrate gewählt, die störungsfrei verwendet werden kann. Je weiter sich die Stationen voneinander entfernen, desto geringer

wird die Übertragungsrate, bis schliesslich die niedrigst mögliche Übertragungsrate von 1MBit/sec erreicht wird.

Es gibt eine ganze Menge von Unterstandards, die sich durch zulässige Frequenzen, Übertragungsraten und Sendeleistung unterscheiden. Teilweise ist auch Kanalbündelung vorgesehen. Nicht jeder Standard kann in jedem Land eingesetzt werden, und die meisten Endgeräte unterstützen nur eine Teilmenge dieser Standards. Hier sollen nur die wichtigsten drei Standards erwähnt werden.

IEEE 802.11b

Bei IEEE 802.11b handelt es sich um den ältesten WLAN-Standard, der bereits 1999 spezifiziert wurde. Dieser Standard wird praktisch von jedem WLAN fähigen Endgerät unterstützt. Die Kommunikation findet im ISM-Band im Bereich von 2.4GHz statt. Je nach Land sind 11-14 Kanäle möglich, die sich jedoch teilweise überlappen. Dies führt dazu, dass maximal 3 Netzwerke ohne Störungen gleichzeitig betrieben werden können. Die maximale Sendeleistung beträgt 100mW. Es sind Übertragungsraten von 5,5 bis 11 MBit (brutto) möglich. Die Nettoübertragungsrate beträgt ca. 50% der Bruttoreate. Es sind Reichweiten bis 40m (Innen) bzw. 100m (Außen) möglich Kumar u. a. (2008).

IEEE 802.11g

Der IEEE 802.11g Standard stellt eine Erweiterung des IEEE 802.11b Standards da. Wesentliche Neuerung ist eine Erhöhung der Bruttodatenrate von 11 auf 54MBit/sec, von denen netto ca. 40% zur Verfügung stehen. Erwähnenswert ist, dass die beiden Standards Interoperabel sind, d.h. ein 802.11b Gerät kann einem 802.11g Netzwerk beitreten und umgekehrt. Dies ist auch der Grund, weshalb dieser Standard momentan am weitesten verbreitet ist.

IEEE 802.11a

Der IEEE 802.11a-Standard verwendet Frequenzen im 5GHz Bereich. Er ist daher inkompatibel zum IEEE-802.11b/g-Standard. Je nach Frequenzband sind Sendeleistungen zwischen 30 und 1000mW zulässig. Mit dem passenden Frequenzband sind daher höhere Reichweiten als mit dem IEEE-802.11b/g-Standard möglich. Die Bruttodatenrate beträgt bis zu 54MBit/sec. Ein Vorteil des IEEE-802.11a Standards ist die Kommunikation im 5GHz Bereich. Aktuell ist dieser Bereich

noch wenig genutzt, so dass in diesem Bereich oft ein störungsärmerer Betrieb als im 2,4GHz-Bereich möglich ist. Es ist jedoch zu erwarten, dass sich dies in Zukunft ändern wird.

Leistungsaufnahme

Der Energiebedarf für WLAN ist relativ hoch. Beispielsweise benötigt der vom Hersteller Broadcom als besonders energiesparend bezeichnete Chip BCM4326 bis zu 100mA zum Empfangen und zwischen 141 und 190mA zum Senden.²

Anzahl Teilnehmer

3.2.6 WPAN: Wireless Personal Area Networks

Übersicht

Als WPANs („Wireless Personal Area Networks“) werden kabellose Kleinnetzwerke bezeichnet, die dazu dienen, wenige Geräte über kurze Entfernungen (mehrere Meter) miteinander zu verbinden. Sie dienen als Ersatz von Kabelverbindungen zur Anbindung von Peripherie an Computergeräte (z.B. zur Verbindung von Headsets mit Mobiltelefonen oder von Tastatur und Maus mit einem PC).

IEEE 802.15

Der IEEE 802.15-Standard behandelt *Wireless Personal Area Networks*. Er ist in mehrere Unterstandards aufgeteilt:

- IEEE 802.15.1: Bluetooth 1.2
- IEEE 802.15.2: Zusammenarbeit zwischen IEEE 802.15 (WPAN) und IEEE 802.11 (WLAN)
- IEEE 802.15.3: WPANs mit hohen Datenübertragungsraten (20MBit/sec und höher)
- IEEE 802.15.4: WPANs mit niedriger Datenübertragungsraten

Für diese Arbeit sind vor allem der Bluetooth und der ZigBee Standard interessant.

²BCM4326 Datasheet

IEEE 802.15.1: Bluetooth

Überblick Bluetooth wurde ursprünglich von dem Mobilfunkhersteller Ericsson als Ersatz für RS-232 Verbindungen entwickelt. Die Entwicklung des Bluetooth Standards erfolgt heute unter der Regie der *Bluetooth Special Interest Group* („SIG“). Version 1.1 des Bluetooth Standard wurde von der IEEE als IEEE 802.15.1-2002 übernommen. Nach Veröffentlichen einer weiteren Version IEEE 802.15.1-2005, die dem Bluetooth 1.2 Standard entspricht, wurde von der IEEE jedoch beschlossen, nicht weiter mit der *Bluetooth SIG* zu kooperieren, so dass es keine weiteren Versionen des IEEE 802.15.1 Standards geben wird. Aktuell ist Version 4.0 des Bluetooth Standard, wobei jedoch die meisten Geräte nur geringere Standards (Typischerweise 2.0 oder 2.1) unterstützen. Für den Bluetooth 4.0 Standard existiert zum Zeitpunkt dieser Arbeit keine Implementierung auf dem Markt.

Die wichtigsten Meilensteine der Bluetooth-Entwicklung kann folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Bluetooth 1.1: Erste Version von praktischer Relevanz. Entspricht IEEE 802.15.1-2002.
- Bluetooth 1.2: Entspricht IEEE 802.15.2-2005. Bringt einige Verbesserungen gegenüber der Version 1.1 wie z.B. schnelleres Finden von Endgeräten (Discovery), höhere Störsicherheit durch die Verwendung von AFH³, Übertragungsraten bis 721kbit/sec.
- Bluetooth 2.0: Einführung des EDR⁴-Modus mit bis zu 3.0 MBit/sec (2.1 MBit/sec netto).
- Bluetooth 2.1: Vereinfachung des Pairings (vgl. ??) durch Einführung von SSP⁵, Verbesserung der Sicherheit durch explizite Aushandlung der Verschlüsselung.
- Bluetooth 3.0: Einführung eines Hochgeschwindigkeits-Datenkanals auf Basis von IEEE 802.11 (vgl. 3.2.4) mit bis zu 24MBit/sec., verbessertes Powermanagement, Einführung von Verbindungslosen Datentelegrammen (Uncasts).

³Frequency-hopping spread spectrum

⁴Enhanced Data Rate

⁵Secure Simple Pairing

- Bluetooth 4.0: Einführung des *Bluetooth Low Energy* Standards (vgl. 3.2.6).

Pairing

Reichweite

Übertragungsrate

Leistungsaufnahme

Anzahl Teilnehmer

IEEE-802.15.4: ZigBee

Wibree: Bluetooth Low Energy

3.2.7 Weitere Protokolle

- WiMAX - Mikrowellen-Richtfunk - Z-Wave - Wireless USB

3.2.8 Diskussion

3.3 Der Analog Devices ADuC702X Mikrocontroller

3.4 Java

3.5 Corba

Kapitel 4

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 5

Praktische Realisierung des Sensornetzes

5.1 Entwurf

5.1.1 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 SDK¹ 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.

5.1.2 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

¹Software-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.

5.1.3 Software

In dieser Arbeit wurde ein Java-Treiber (MANVConnector) entworfen und implementiert. Dieser Treiber realisiert die die Anbindung an die von Herrn Tepelmann in Tepelmann (2010) 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 aufgebrauchten 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.

5.2 Implementierung

5.2.1 Hardware

5.2.2 Firmware

5.2.3 Software

Kapitel 6

Ergebnisse

6.1 Baselinewandering

6.1.1 Messungen unter verschiedenen Bedingungen

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

6.1.2 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)

6.2 HRV-Variation

6.2.1 Messungen unter verschiedenen Bedingungen

... wie oben

6.2.2 Vergleichende Messung mit Referenzgerät

... wie oben

6.3 QRS-Komplexe

6.3.1 Messungen unter verschiedenen Bedingungen

... wie oben

6.3.2 Vergleichende Messung mit Referenzgerät

... wie oben

6.4 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 7

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...

7.1 Baselinewandering

...

7.2 HRV-Variation

...

7.3 QRS-Komplexe

...

7.4 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 8

Zusammenfassung und Ausblick

Beispiel wie ein Zitat auf Armins (?) Buch funktioniert

Glossar

Literaturverzeichnis

- [Kumar u. a. 2008] KUMAR, Anurag ; D. MANJUNATH, D. ; KURI, Joy: *Wireless networking*. Amsterdam : Morgan Kaufmann / Elsevier, 2008 (The Morgan Kaufmann series in networking). – ISBN 978–0–12–374254–4 ; 0–12–374254–4
- [Tepelmann 2010] TEPELMANN, Jan: *Entwicklung und Implementierung einer graphischen Benutzeroberfläche zur Überwachung von Patienten in einem Sensornetz in einem MANV-Szenario (Arbeitstitel)*. Karlsruhe : Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 2010