

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

FAKULTÄT FÜR ELEKTROTECHNIK UND
INFORMATIONSTECHNIK

INSITUT FÜR BIOMEDIZINISCHE TECHNIK

Manuskript Diplomarbeit

Thema: Entwicklung von Methoden zur Analyse und Aufbereitung
biomedizinischer Messdaten

Vorgelegt von: Enrico Grunitz

Betreuer: Dr.-Ing. Sebastian Zaunseder
Eng. Fernando Andreotti

Verantwortlicher Hochschullehrer: Prof. Dr.-Ing. habil. Hagen Malberg

Tag der Einreichung: XX. MONAT 2012

Selbständigkeitserklärung

Mit meiner Unterschrift versichere ich, dass ich die von mir am heutigen Tag eingereichte Diplomarbeit zum Thema

**Entwicklung von Methoden zur Analyse und Aufbereitung biomedizinischer
Messdaten**

vollkommen selbständig und nur unter Zuhilfenahme der angegebenen Quellen und Hilfsmittel erstellt habe. Zitate fremder Quellen sind als solche gekennzeichnet.

Dresden, den 7. September 2012

Inhaltsverzeichnis

Selbständigkeitserklärung	2
Abkürzungsverzeichnis	4
1. Einleitung	6
1.1. Motivation	6
1.2. Zielstellung	6
1.3. Konkretisieren der Aufgabenstellung	7
2. Vorbetrachtungen	8
2.1. Allgemeine Softwareentwicklung	8
2.2. Biosignale für die Validierung des Programms	9
3. Spezifikation der Programmfunktionalität	10
3.1. Anwendungsszenarien	10
3.2. Anforderungen an das Programm	11
3.3. Testszenarien	13
4. Programmentwurf	14
4.1. Überblick über das Gesamtprogramm	14
4.2. Datenbehandlung	14
4.2.1. Unisens	15
4.2.1.1. Details der Implementierung	16
4.2.2. Interne Datenstruktur	18
4.2.3. Dateibehandlung	18
4.3. Benutzerführung	18
4.3.1. Grafische Buntzeroberfläche	18
4.3.2. Datenvisualisierung	18

5. Validierung	19
5.1. Erfüllung der Anforderungen	19
5.2. Evaluation der Nutzeroberfläche	19
5.3. Validierung anhand der Annotation von fetalen EKG-Daten	19
5.4. Validierung mittels der Annotationüberprüfung von	19
6. Diskussion	20
6.1. Bewertung der Evaluation	20
6.2. Ausblick	20
6.3. Grenzen	20
Tabellenverzeichnis	21
Abbildungsverzeichnis	22
Literaturverzeichnis	23
A. UML Dokumentation	25
B. Daten CD	26

Abkürzungsverzeichnis

GUI grafische Benutzeroberfläche

LGPL *GNU Lesser General Public License*

1. Einleitung

1.1. Motivation

Ergebnisse automatisierter Biosignalverarbeitungsmethoden werden aus mehreren Gründen oftmals manuell nachbearbeitet. So erfordert die Entwicklung neuer Methoden häufig eine Verifikation der Ergebnisse und eine eventuelle Korrektur der automatisch generierten Ausgabe. Zusätzlich ist eine schnelle visuelle Überprüfung von Ergebnissen, um einen ersten Eindruck über den Effekt einer Änderung an einer Methode zu bekommen, ein Mittel, das in der Entwicklungsphase genutzt wird. Daher besteht eine Notwendigkeit eines Werkzeugs, welches die Visualisierung übernimmt und den Entwickler beim Editieren von Messdaten und Ergebnissen der Signalverarbeitung unterstützt.

Ein solches Werkzeug kann durch die Definition und Festlegung von Ein- und Ausgabeformaten zu einer Vereinheitlichung von Datenformaten führen. Durch die Bereitstellung eines solchen Werkzeugs für Dritte kann auch die methodische Grundlage für die Kooperation verschiedener Institutionen geschaffen werden. Um solche Kooperationen zu unterstützen sollte es, aufgrund der unterschiedlichen Voraussetzungen, wenig spezialisierte Anforderungen an seine Umgebung stellen.

1.2. Zielstellung

Das Ziel dieser Arbeit ist ein Programm zu konzipieren und umzusetzen, das unterschiedliche (Bio-) Signale grafisch darstellt und dem Nutzer die Möglichkeit bietet, Zeitpunkte und -intervalle innerhalb des Signalverlaufs zu markieren und mit Kommentaren zu versehen. Hierbei soll insbesondere die gleichzeitige Darstellung mehrerer Signale unterschiedlicher Natur und Ausprägung unterstützt werden. Die Erstellung und Bearbeitung von Markierungen soll leicht verständlich aus der grafische Benutzeroberfläche (GUI) heraus geschehen. Zudem soll eine Grundlage geschaffen werden, parallel aufgenommene Signale in einem Datensatz zu vereinen.

Zusätzlich soll eine zukünftige Erweiterung der Funktionalität ermöglicht und unterstützt werden. Daher ist eine klare Gliederung der Einzelkomponenten gefordert und die Dokumentation des Quelltextes sowie der einzelnen Programmteile fundamentaler Bestandteil der Aufgabenstellung.

Um die Erweiterbarkeit zusätzlich zu verbessern, soll die spätere Einbindung von Methoden der Signalverarbeitung vorbereitet werden. Dafür soll eine einfache Signalverarbeitungsfunktion in das Programm implementiert werden und in die Benutzeroberfläche integriert werden. Die Arbeit eines zukünftigen Entwicklers wird somit durch die beispielhafte Integration einer zusätzlichen Methode vereinfacht.

Neben der Entwicklerdokumentation soll auch eine separate Dokumentation für die Benutzer des Programms zur Verfügung gestellt werden. In dieser Nutzerdokumentation soll dem Anwender die Funktionsweise und Bedienung des Programms verständlich gemacht werden.

1.3. Konkretisieren der Aufgabenstellung

Programmiersprache Java

Aufgabenteilung: Funktion — zukünftige Entwicklung — Benutzerschnittstelle

Herangehensweise: Anwendungsfälle — Anforderungesliste — Testcases zur Überprüfung —»
bezug auf Softwareentwicklungsliteratur

2. Vorbetrachtungen

2.1. Allgemeine Softwareentwicklung

In dieser Arbeit soll der Begriff Softwareentwicklung den Prozess benennen, der alle Aktivitäten und die damit verbundenen (Zwischen-) Ergebnisse bei der Erstellung von Software umfasst. In der Literatur wird auch der Begriff Softwareprozess genutzt [13]. Obwohl verschiedene Vorgehensmodelle für das Erstellen von Software existieren, haben alle Softwareentwicklungsprozesse vier grundlegende Arbeitsaktivitäten gemeinsam [2, 13]:

Softwarespezifikation: Es müssen die konkreten Anforderungen an das zu erstellende Programm ermittelt werden. Dabei wird die Funktion der Software, aber auch die Grenzen der Benutzung definiert.

Softwareentwurf und -implementierung: Nach Analyse der ermittelten Anforderungen kann die Architektur des Softwaresystems entworfen werden. Durch die Zerlegung der Software in mehrere Subsysteme werden die Anforderungen in kleine Teilprobleme aufgeteilt. Diese Teilprobleme sind den verschiedenen Komponenten und Objekten der Software zugeordnet und können separat gelöst werden. Diese Lösung wird durch den Objektentwurf und die schlußendliche Implementierung des jeweiligen Programnteils erreicht.

Validierung der Software: Die fertige Software muss auf ihre Funktionsfähigkeit überprüft werden. Hierbei ist auch abzusichern, dass die Software neben der gewünschten Funktionalität keine ungewollten Nebeneffekte (*bugs*) auftreten.

Weiterentwicklung: Ein Programm muss sich im Laufe seiner Lebenszeit weiter entwickeln um den sich ändernden Nutzeranforderungen gerecht zu werden.

Für die in dieser Arbeit zu entwickelnde Software wird die Methode der inkrementellen Entwicklung genutzt. Die Herangehensweise dieser Methode ist in Abbildung 1 dargestellt. Nach der anfänglichen Feststellung und Definition der grundlegenden Anforderungen an die zu programmierende Software, wird die allgemeine Struktur des Programms festgelegt. Die Subkomponenten des

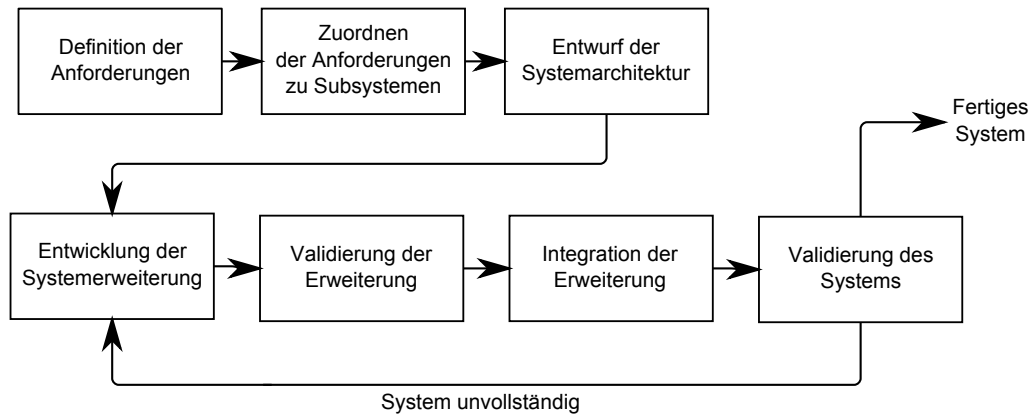


Abbildung 1.: Inkrementeller Softwareentwicklungsansatz nach [13]

Programms werden einzeln entworfen und in das bestehende Programm integriert. Da die neuen Subkomponenten immer Teilanforderungen des Programmes erfüllen, steigert sich somit die Funktionalität des Programms. Dieser Ansatz hat den Vorteil, dass die Software schon zeitig im Entwicklungsstadium getestet werden kann und damit auch schon Erfahrungen gesammelt werden können. Zusätzlich können gewünschte Änderungen der Bedienung oder der Funktionalität erkannt und implementiert werden.

- konkrete auf Schritte der Softwarespezifikation eingehen – details über vorgehen bei der Implementierung – anmerkungen für Test der Komponenten und des Gesamtprogrammes

Der letzte der vier oben genannten Aspekte ist in dieser Arbeit ein nicht zu vernachlässigender Punkt. Weil gerade das Programm für die Nutzung während der Entwicklung von Signalverarbeitungsmethoden erstellt wird, werden die Anforderungen an das Programm fortlaufend wachsen. Somit soll schon von Beginn an die Erweiterbarkeit dieses Projektes unterstützt und gefördert werden. Deshalb sind auch in den folgenden Anforderungen Punkte enthalten die diesen Aspekt besonders hervorheben und explizit fordern.

2.2. Biosignale für die Validierung des Programms

- kurze Beschreibung für: fetale EKG-Daten, PPG, evtl. EKG allgemein – warum annotieren notwendig

3. Spezifikation der Programmfunktionalität

3.1. Anwendungsszenarien

In diesem und dem folgendem Abschnitt soll die Softwarespezifikation im Entwicklungsprozess beschrieben und ausgearbeitet werden. Ziel ist es eine Liste zu erstellen, die die wesentlichen Anforderungen an das zu erstellende Programm definiert.

Der erste Schritt stellt das Ausarbeiten von Szenarien dar, die eine Beschreibung eines Merkmals des Programmes aus Sicht des Anwenders ist. Aufgrund dieser informellen Beschreibungen häufiger Arbeitsabläufe und typischer Aufgabenstellungen wird eine Übersicht gewonnen, was die zu erstellende Software leisten soll und der Nutzer erwartet. Mithilfe dieser Erwartungen können im Anschluss die funktionalen Anforderungen an das Programm formuliert und festgelegt werden. Das Ergebnis ist somit die Beschreibung des notwendigen (Software-) Systemumfangs und der zu implementierenden Arbeitsprozesse.

Der Anwender möchte ...

- a) einen Datensatzes laden. Dieser Datensatz umfasst mehrere (Bio-) Signale die sowohl mit einer konstanten Abtastrate erfasst wurden als auch Signale die nicht zu äquidistanten Zeitpunkten abgetastet wurden.
- b) einen geladenen Datensatz mit allen Änderungen speichern. Hierbei sollen auch Einstellungen gespeichert werden, die die optische Präsentation widerspiegeln.
- c) sich Informationen zu dem geladenen Datensatz und seinen beinhalteten Signalen anzeigen lassen und verändern.
- d) bestimmte Signale des Datensatzes auswählen und sich diese in ihrem Verlauf anzeigen lassen (Signalansicht). Hierbei möchte er Bildschirmgröße der einzelnen Ansichten verändern.

- e) die Signalansicht bezüglich der Zeit- und der Amplitudenachse vergrößern und verkleinern können (Zoomen). Entlang der Zeitachse möchte er sie verschieben können (Scrollen). Signalverläufe die parallel aufgenommen wurden, sollen auch zusammen gescrollt werden.
- f) in einer Signalansicht mehrere Signale mit denselben Achsen darstellen lassen. Beispielsweise um ein Roh- und ein verarbeitetes Signal miteinander vergleichen zu können.
- g) einen Amplitudenbereich eines Signals optisch hervorheben.
- h) einzelne Zeitpunkte im Signalverlauf mit einer Markierung versehen und kommentieren. Diese Markierung kann sowohl für ein bestimmtes Signal gelten, aber auch für alle Signale des Datensatzes.
- i) einen Zeitabschnitt markieren. Die Markierung der Abschnitte soll analog zur Markierung von Zeitpunkten erfolgen.
- j) die Markierungen verändern (zeitlich verschieben, umbenennen) oder löschen.
- k) Markierungen gemeinsam mit dem Datensatz aber auch unabhängig vom Datensatz abspeichern.

3.2. Anforderungen an das Programm

Mithilfe der oben beschriebenen Nutzungsfällen kann daraus die konkrete Funktionalität der Software definiert werden. Diese Definition erfolgt durch die Bestimmung konkreter Anforderungen an das Programm. Dabei beschreiben die Anforderungen die konkret umzusetzenden Funktionen und Arbeitswerkzeuge. Zusätzlich wird die in Kapitel 5.1 beschriebene Validierung der Software die in diesem Abschnitt ausgearbeiteten Definitionen als Grundlage nehmen um das erstellte Programm zu überprüfen und zu bewerten.

Die folgende List von zu erfüllenden Anforderungen ergibt sich aus den oben beschriebenen Anwendungsszenarien. Das Programm ...

- A) muss eine grafische Benutzeroberfläche besitzen.
- B) muss ein Datensatzformat unterstützen, das äquidistant und nicht äquidistante abgetastete Signale speichern kann.
- C) soll in der Lage sein, Daten aus einem Datensatz zu laden. Dem Nutzer muss es ermöglicht werden, diese Signaldaten aus einer Übersicht auszuwählen und in Diagrammen darstellen

zu lassen. Ferner muss der Benutzer eine Möglichkeit haben, sich allgemeine Informationen des Datensatzes anzeigen zu lassen.

- D) muss in der Lage sein, die Signalverläufe sowohl einzeln in einem Diagramm darzustellen, aber auch mehrere verschiedenen Signalverläufe in ein und demselben Diagramm zu visualisieren. Diese Signalansichten sollten in ihrer Darstellungsgröße durch den Nutzer veränderbar sein.
- E) soll dem Benutzer ermöglichen, seine Signalansicht frei „bewegen“ zu können. Es muss eine Vergrößerung und Verkleinerung bezüglich der Abszissen- und der Ordinatenachse unterstützen. Zusätzlich ist die Fähigkeit des Verschiebens der Ansicht gefordert. Dabei sollen mehrere Diagramme gleichzeitig verschoben werden können.
- F) muss in der Lage sein einen Amplitudenbereich ein oder mehrerer Signalansichten optisch hervorzuheben.
- G) soll dem Nutzer ein Werkzeug zur Verfügung stellen, das ihm erlaubt Datenpunkte zu annotieren. Diese Annotationen sollen optisch in den Signalansichten ersichtlich sein und mit einem Kommentar versehen werden können. Neben der Annotation einzelner Datenpunkte, soll auch die Markierung von Signalbereichen unterstützt werden. Ferner ist gefordert, dass vorhandene Annotationen veränderbar sind.
- H) muss Änderungen an den Signalen selbst und den Annotationen speichern können. Annotationen müssen unabhängig von anderen Signalen gespeichert werden können. Insbesondere dürfen Annotationen sich nicht verändern, wenn sich das Ursprungssignal verändert oder nicht mehr vorhanden ist.
- I) soll interne Einstellungen abspeichern und von einer Sitzung zur nächsten übernehmen. Optionen bezüglich der Darstellung von Signalen sollen in dem Datensatz mit abgespeichert werden können.

Die in der Aufgabenstellung geforderte Ausbaufähigkeit der Programms ist nicht durch die Anwendungsszenarien abgedeckt werden. Hierbei handelt es sich um eine nichtfunktionale Anforderung an das Programm. Daher wird die folgenden Anforderung nur auf Basis der Aufgabenstellung formuliert und nicht aufgrund der Erwartungshaltung des Benutzers:

- J) Das Programm soll dem Benutzer ermöglichen eine Signalverarbeitungsmethode auf ein gewähltes Biosignal anwenden zu können. Dabei muss das Originalsignal unverändert bleiben. Der bearbeitete Signalverlauf kann als eigenes Signal im Datensatz abgespeichert werden.

Die Implementierung dieser Anforderung soll beispielhaft für zukünftige Entwickler erfolgen um die Erweiterbarkeit zu gewährleisten.

3.3. Testszenarien

– Implementierung und Fehlerbehebung – konstant fortlaufender prozess – komponenten test hier nicht abgebildet und beschrieben - sind schon durch inkrementelle entwicklung gefördert – Validierung

In der Softwareentwickluin

Um das Programm auf seine Funktionsfähigkeit zu überprüfen sollen in diesem Abschnitt Tests ausgearbeitet werden. Sie ermöglichen es das Progrmam zu testen und auf seine funktionfähigkeit zu überprüfen. Daher brauchen wir ein paar Testszenarien für die FUnktionsprüfung des Fähigkeitsüberprüfungsroutinendingens.

4. Programmentwurf

In diesem Kapitel möchte der Autor die Entwicklung des Gesamtprogramms erörtern. Es wird ein Überblick über das umfassende Konzept des internen Aufbaus gegeben um anschließend auf die konkrete Umsetzung der einzelnen Bestandteile einzugehen. Demzufolge sind die kommenden Abschnitte nach den Programmkomponenten gegliedert. In jedem einzelnen Abschnitt wird auf drei Punkte eingegangen:

- Grundlegende Idee und Designkonzept
- Implementierungsdetails
- Tests zur Validierung der einzelnen Komponente

Es sei darauf hingewiesen, dass die eigentlichen Entwicklung und Implementierung nicht Komponentenweise, sondern nach entsprechenden Funktionalitäten statt findet. Das Einbinden einer bestimmten Funktionalität betrifft oft mehrere Komponenten und ihr Zusammenspiel, wodurch der Ausbau der einzelnen Bestandteile parallel geschieht. Die Gliederung dieses Kapitels nach den Programmteilen dient jediglich der Übersichtlichkeit.

4.1. Überblick über das Gesamtprogramm

– theoretische beschreibung des gesamtconzeptes – auflisten der subkomponenten – graphische Übersicht der Bestandteile

4.2. Datenbehandlung

Es existieren [12]

vorhandene Datensatzformate – kurze übersicht – insbesondere vergleich unisens - wfdb - edf
wahl von unisens begruenden – menschlich editierbar (xml header) – verzeichnis vs eine datei
ist vernachlässigbar – reine sensordaten importierbar – implementierung vorhanden – für matlab
und java

4.2.1. Unisens

Das vom Forschungszentrum Informatik und Institut für Technik der Informationsverarbeitung der Universität Karlsruhe entwickelte Datenformat Unisens dient der Speicherung und der Dokumentation von Sensordaten. Unisens ist konzipiert, Daten verschiedener Sensoren innerhalb eines Datensatzes zu speichern. Ein Datensatz ist im Dateisystem durch ein eigenes Verzeichnis und eine Headerdatei `unisens.xml` hinterlegt. In der Headerdatei werden alle Informationen über die Bestandteile des Datensatzes, deren Formatierung und ihre semantischen Zusammenhänge gespeichert. Messwerte eines Sensors werden üblicherweise in einer Datendatei innerhalb des Datensatzverzeichnisses abgespeichert. Eine solche Datendatei wird als *Entry* in dem Datensatz bezeichnet. Alle Metainformationen zu den Sensordaten werden in der Headerdatei abgespeichert, so dass die Datendateien selbst immer nur die reinen Messdaten enthalten. Als mögliche Sensordaten werden sowohl kontinuierlich abgetastete Signale als auch ereignisorientierte Daten unterstützt. Unisens unterscheidet zwischen vier Arten von Daten:

Signale (*Signal*)

Signale sind äquidistant abgetastete, numerische Messdaten. Sie zeichnen sich durch eine beliebige aber konstante Abtastrate und Abtastauflösung aus. Zudem können Signale aus mehreren Kanälen bestehen, die alle in ein und derselben Datei abgespeichert werden. Alle Kanäle desselben Signals haben auch dieselbe Abtastrate und -auflösung.

Ereignisse (*Event*)

Ereignisse sind diskrete Zeitpunkte die mit einer textlichen Beschreibung versehen sind. (z.B. Triggersignale) Sie zeichnen sich durch einen Zeitstempel und einer kurzen Beschreibung aus. Optional können noch Kommentare zu einem Ereignis hinzugefügt werden.

Einzelwerte (*Value*)

Einzelwerte sind eine Kombination der beiden oben genannten Datenarten. Sie beinhalten numerische Werte die zu bestimmten Zeitpunkten aufgenommen wurden. Mit Einzelwerten ist es möglich Daten zu speichern, die nicht in festen Zeitintervallen gemessen werden.

Proprietäre Daten (*Custom data*)

Mit dieser Art können anwendungsspezifisch Daten gespeichert werden, die durch die drei oben genannten Arten nicht erfasst werden können. So können beispielsweise schematische Darstellungen des Messaufbaus als Bilddateien oder Patientekarten in Form von Textdateien dem Datensatz hinzugefügt werden.

Eine detailliertere Beschreibung des Formates kann der offiziellen Dokumentation [9] entnommen werden.

4.2.1.1. Details der Implementierung

In diesem Abschnitt wird kurz auf einige Details der Umsetzung des Unisens-Formates eingegangen. Das Unisens-Paket ist in Java implementiert und wird unter der GNU Lesser General Public License (*LGPL*) zur Verfügung gestellt. Die bereit gestellte Bibliothek ist auf zwei Einzeldateien aufgeteilt: `org.unisens.jar` und `org.unisens.ri.jar`. Bei der ersten Datei handelt es sich um die Definition des Unisensformates und seiner Bestandteile als Javalassenstruktur. Diese Definition erfolgt hauptsächlich als *Interface*-klassen und legt die Schnittstellen zwischen den einzelnen Bestandteilen fest. Eine Übersicht der Klassenstruktur und der von außen ersichtlichen Attribute ist in Abbildung 2 auf Seite 17 dargestellt. Die vom Unisensformat unterstützten Signalarten sind auch in der Klassenstruktur erkennbar:

Signale	<code>SignalEntry</code>
Ereignisse	<code>EventEntry</code>
Einzelwerte	<code>ValuesEntry</code>
Proprietäre Daten	<code>CustomEntry</code>

Tabelle 1.: Signalarten und ihre repräsentierenden Klassen

Aufgrund der Ableitung der Klassen `EventEntry` und `ValuesEntry` von `TimedEntry` ist ersichtlich, dass die Zeitpunkte von Ereignisdaten und Einzelwertdaten über eine virtuelle Abtastrate bestimmt werden. Der Zeitpunkt eines jeden *Event*- oder *Value*-Eintrags ist als ganzzahlige Samplenummer dieser Abtastrate gespeichert. Die Zeit eines Ereignisses, relativ zum Messbeginn, errechnet sich somit $Zeitpunkt = \frac{Samplenummer}{Abtastrate}$. Möchte man die Möglichkeit Ereignisse für jeden beliebigen Datenpunkt eines Datensatzes zuordnen zu können, dann muss die virtuelle Abtastrate als das kleinste gemeinsame Vielfache aller vorhandenen Abtastraten gewählt werden.

Die Schnittstellendefinition des Unisensformats stellt nur Methoden zum Lesen und Anhängen von Datenpunkten an den Datensatz bereit. Somit wird ein Einfügen, Löschen oder Verändern von Datenpunkten innerhalb eines Dateneintrags nicht unterstützt. Sollen diese Funktionen vorhanden sein, so muss diese Funktionalität selbst implementiert werden.

Die eigentliche Umsetzung der Funktionalität ist in der zweiten Datei abgespeichert. Im Folgenden soll sich der Begriff Referenzimplementierung auf diese funktionelle Umsetzung beziehen. Die Klassen der Referenzimplementierung bestehen aus den Klassennamen der Schnittstellendefinition und dem Suffix „Impl“ (z.B. Objekte die den Datensatz darstellen haben die Klasse `UnisensImpl`). Wenn man schon vorhandene Unisensdatensätze benutzen möchte reicht es aus, die Schnittstellen-

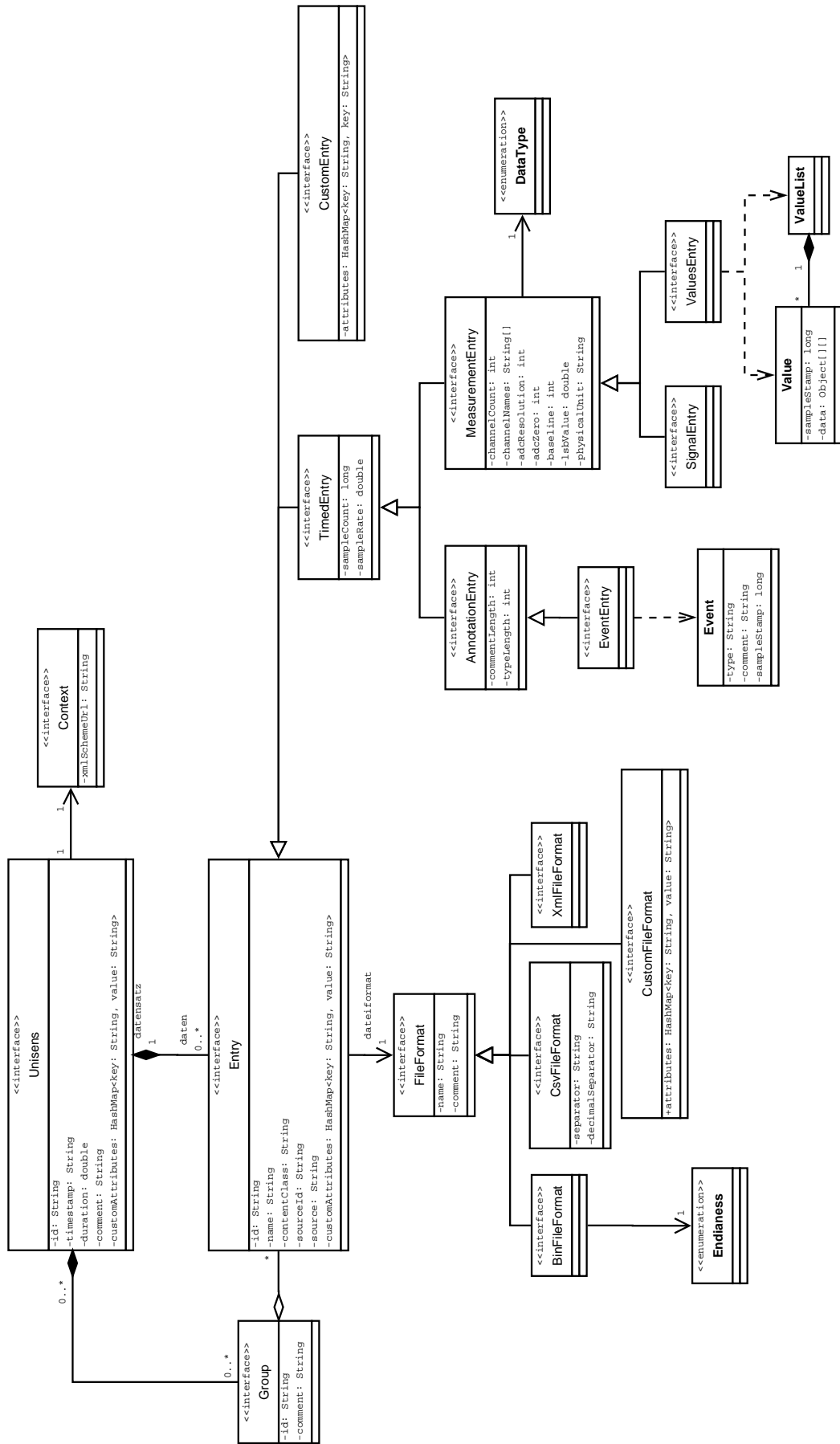


Abbildung 2.: Klassenübersicht der von Unisens definierten Schnittstellen

definition zu kennen und zu nutzen. Sollen hingegen konkret Objekte erstellt werden, muss auf die Referenzimplementierung zurückgegriffen werden.

Durch einen Fehler in der Referenzimplementierung kann es vorkommen, dass beim Laden eines vorhandenen Unisensdatensatzes in dem Gruppen definiert sind eine `NullPointerException` auftritt. Insbesondere tritt dieser Fehler auf, wenn innerhalb der Headerdatei der Gruppeneintrag nicht hinter den Dateneinträgen steht.

4.2.2. Interne Datenstruktur

Kapselung von unisens in wrapperklassen -> erweiterung und vereinfachung der funktionalität
datenübergabe an visualisierung mithilfe der controller

4.2.3. Dateibehandlung

4.3. Benutzerführung

4.3.1. Grafische Buntzeroberfläche

4.3.2. Datenvisualisierung

5. Validierung

– NOTIZ: Speicherplatzbedarf bei speicherung in `int16` und `double` – Skripte zur Wandlung Matlab <-> Unisens

5.1. Erfüllung der Anforderungen

5.2. Evaluation der Nutzeroberfläche

5.3. Validierung anhand der Annotation von fetalen EKG-Daten

5.4. Validierung mittels der Annotationüberprüfung von ...

6. Diskussion

6.1. Bewertung der Evaluation

6.2. Ausblick

6.3. Grenzen

Tabellenverzeichnis

1.	Signalarten und ihre repräsentierenden Klassen	16
----	--	----

Abbildungsverzeichnis

1.	Inkrementeller Softwareentwicklungsansatz nach [13]	9
2.	Klassenübersicht der von Unisens definierten Schnittstellen	17

Literaturverzeichnis

- [1] BRÜGGE, B. ; DUTOIT, A. H.: *Object-Oriented Software Engineering. Using UML, Patterns and Java*. 2. Pearson Education, Inc., 2004
- [2] BRÜGGE, B. ; DUTOIT, A. H.: *Objektorientierte Softwaretechnik. mit UML, Entwurfsmustern und Java*. 2. Pearson Education, Inc., 2004. – Übersetzung des englischen Originals [1]
- [3] CHLEBEK, P. : *User Interface-orientierte Softwarearchitektur*. Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 2006
- [4] COOPER, A. ; REIMANN, R. ; CRONIN, D. : *About Face 3. The Essentials of Interaction Design*. Wiley Publishing, Inc., 2007
- [5] COOPER, A. ; REIMANN, R. ; CRONIN, D. : *About Face. Interface und Interaction Design*. Hüthig Jehle Rehm GmbH, 2010. – Übersetzung der amerikanischen Originalausgabe [4]
- [6] GAMMA, E. ; HELM, R. ; JOHNSON, R. ; VLISSIDES, J. : *Design Patterns. Elements of Reuseable Object-Oriented Software*. Addison-Wesley Publishing Company, 1995
- [7] GILBERT, D. : *The JFreeChart Class Library Developer Guide*. 1.0.14. Object Refinery Limited, Februar 2007. http://www.scribd.com/doc/82678249/jfreechart-1-0-14-A4#outer_page_868
- [8] KIRST, M. ; OTTENBACHER, J. ; NEDKOV, R. : UNISENS - Ein universelles Datenformat für Multisensordaten. In: *Workshop - Biosignalverarbeitung* Universität Potsdam, 2008, S. 106 – 108
- [9] OTTENBACHER, J. ; KIRST, M. : *Unisens Dokumentation*. 2.0. Forschungszentrum Informatik und Institut für Technik der Informationsverarbeitung der Universität Karlsruhe, Februar 2010. <http://unisens.org/downloads/documentation/Unisens-Dokumentation.pdf>
- [10] RUPP, C. ; QUEINS, S. ; ZENGLER, B. : *UML 2 glasklar*. Carl Hanser Verlag, 2007

- [11] SCHÄFER, S. : *Objektorientierte Entwurfsmethoden. Verfahren zum objektorientierten Softwareentwurf im Überblick*. 1. Addison-Wesley Publishing Company, 1994
- [12] SCHLÖGL, A. : An Overview on data formats for biomedical signals. In: DÖSSEL, O. (Hrsg.) ; SCHLEGEL, W. (Hrsg.): *IFMBE Proceedings 25/IV*, 2009, S. 1557–1560
- [13] SOMMERVILLE, I. : *Software Engineering*. 6. Pearson Education, Inc., 2001. – Übersetzung der englischen Originalausgabe [14]
- [14] SOMMERVILLE, I. : *Software Engineering*. 6. Pearson Education, Inc., 2001
- [15] STARKE, G. : *Effektive Software-Architekturen*. Carl Hanser Verlag, 2002

A. UML Dokumentation

B. Daten CD

Inhalt

- ./**Diplomarbeit** elektronische Form dieser Diplomarbeit
- ./**Diplomarbeit/src** L^AT_EX-Quelltext dieser Diplomarbeit
- ./**Programm** Quellcode des in dieser Arbeit umgesetzten Programms
- ./**Literatur** gesammelte Literatur