

# Controlling software for EMF laboratory studies

**Doctoral Thesis**

**Author(s):**

Oesch, Walter

**Publication date:**

2006

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005174613>

**Rights / license:**

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Diss. ETH No. 16346

## **Controlling software for EMF laboratory studies**

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH  
for the degree of  
Doctor of Technical Science

presented by

**Walter Oesch**

Dipl. Natw. ETH Zurich  
Born February 25, 1974  
From Oberlangenegg, Bern

Accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. W. Fichtner, examiner  
Prof. Dr. N. Kuster, Dr. M. Burkhardt, co-examiners

2006

# Summary

*Perfection is the worst enemy of the good.*

This PhD thesis addresses two topics: 1) the controlling software for electromagnetic field (EMF) laboratory studies investigating possible health risks of EMF exposure and 2) the critical evaluation of the benefit of both established and novel software engineering methodologies and the assessment of their suitability for complex and real-world software systems based on the experience with the development of exposure systems.

## **Controlling software for EMF laboratory studies**

The use of wireless communication systems in the range of a few MHz to a few GHz has increased exponentially in the last decade. Constantly increasing microprocessor clock rates and the growing market of mobile telecommunication equipment and services are the main driving forces of this trend. Customer groups and health agencies have been concerned about the increase of wireless communication systems and have requested the government and manufacturers to provide scientifically based compliance assessment for this technology.

Numerous experiments addressing the possible negative health effects of EMF have been conducted in recent years. Various research groups have performed animal, cell and human studies with different scientific approaches. Several experiments have turned out to be of limited value due to severe shortcomings in the exposure setup. A major point of criticism is the lack of mature controlling software of most setups, having some important drawbacks. Firstly, biomedical teams with generally little technical knowledge have to manipulate radio frequency (RF) equipment. Subsequent possible handling errors are not detectable, and the investigated items are exposed to an unpredictable radiation dose. A second point addresses the reconstruction of the experiments. Systems without controlling software are unable to collect and store data. Therefore, retrospectively asserting the accuracy of the experiments is not possible. Thirdly, simulating complex real-world signal shapes like GSM or UMTS is only possible with software. Finally, to obtain high quality results, biomedical studies have to be performed under blind conditions, i.e., the experimenter must not be aware whether an active field exposure or the sham control is applied. In this way, unconscious (or even conscious) manipulation of the experiment is not possible. Fully double-blinded study design is only possible with controlling software implementing a random decision maker and enabling the encoding of exposure data.

The first part of this PhD thesis describes the basic requirements of modern exposure systems (*in vitro*, *in vivo* and human). Analyzing these requirements reveals the impor-

tance of well-adapted controlling software. Only systems with sophisticated controlling software can meet all requirements. Up to the present, no exposure system with software tightly controlling the experiments has been developed nor described in the literature. The purpose of this topic is to close this gap and to provide designers of exposure setups with basic guidelines for the creation of controlling software.

An exposure setup's scientific core is the transfer function, combining RF power and/or electromagnetic field strength with the specific absorption rate (SAR) of the investigated subject. Usually, a combination of measurements and simulations reveals this connection. Depending on the setup category (*in vivo*, *in vitro*, human), EM coupling mechanism and setup design, the transfer function consists of different parameters. This thesis extracts elements common to various transfer functions and suggests a generic function valid for all setup types. The generic approach enables the transfer function's encapsulation and simplifies the implementation and exchangeability of power feedback algorithms. Moreover, maintaining a strict separation of data acquisition and data conversion enables the creation of powerful software design patterns occurring, which can be used in any data acquisition system.

The realized controlling software was applied in more than 20 different worldwide laboratory studies for cells, animals and humans. The controlling software enabled to perform animal studies under NTP-like (National Toxicology Program) GLP (Good Laboratory Practice) conditions. The derived mathematical GSM signal model and the implementation of this model became standard in BIOEM (bioelectromagnetic) research. This signal model represents the first exposure scenario that applies temporal changes of different modulation schemes as occurring in an actual phone conversation. This signal contains a cocktail of low-frequency modulation components. Studies in the past neglected the influence of these low-frequency components.

### **Software engineering methodologies**

Based on the experienced gained during the implementation of several large-scale software projects as presented in the first part of this thesis, the importance of the application of suitable software engineering methodologies became clear and is analyzed in the second part.

Software engineering has constantly tried to systematize the development process. To this end, very different software engineering methodologies have been proposed. In the last decade, two main topics have ruled the discipline of software engineering: 1) the invention and enhancements of the Unified Modeling Language (UML) as a real standard for modeling object-oriented software systems (this fact has boosted traditional heavyweight methodologies) and 2) the emergence of agile software engineering methodologies.

As a result, today software engineering includes two sets of fundamentally different methodologies: heavyweight methodologies and agile methodologies. Heavyweight methodologies follow the traditional way of constructing software. The core of heavyweight methodologies constitutes the separation of design and implementation activities. Agile methodologies on the other hand focus on incremental software development,

close cooperation with the customer, simple solutions and fast reaction time to changing conditions.

The second part of this thesis describes the specific heavyweight and agile methodologies based on the methodologies' most important features. Similarities and varieties are identified and discussed. The description of the methodologies serves as the basis for the subsequent evaluation of the presented software engineering methodologies for practical use.

The evaluation has shown that no methodology is inherently suitable for all situations and for all organizations. Each methodology has its strengths and weaknesses, which have positive effects in different situations. Agile methodologies seem to be particularly suitable in situations where the requirements are likely to change in the future, whereas heavyweight methodologies deploy their full potential if future requirements (performance, exception handling, functionality) are known and can be specified in detail.

# Zusammenfassung

*Perfektion ist der ärgste Feind des Guten.*

Diese Dissertation behandelt zwei Themengebiete: 1) Beschreibung von Steuerungssoftware für Expositionseinrichtungen, welche Studien ermöglichen, die die Auswirkungen elektromagnetischer Strahlung auf biologische Organismen untersuchen. Als Folge der gewonnenen Erfahrung während der Implementierung dieser Software 2) die kritische Untersuchung von etablierten und neuen Softwareentwicklungstechniken auf Praxistauglichkeit sowie die Abschätzung von deren Eignung für komplexe kommerzielle Softwaresysteme.

## **Steuerungssoftware für Expositionseinrichtungen**

Die Nutzung kabelloser Kommunikationssysteme im Bereich einiger MHz und einiger GHz hat im vergangenen Jahrzehnt exponentiell zugenommen. Gründe für diese Zunahme sind schnellere Mikroprozessoren im Allgemeinen und der wachsende Markt für Mobiltelefone und mobile Dienstleistungen im Besonderen. Verbraucherschutzorganisationen und Gesundheitsorganisationen sind seit längerer Zeit besorgt über die zunehmende Nutzung kabelloser Kommunikationssysteme und verlangen von den Regierungen und von den Herstellern kabelloser Geräte zunehmend Verträglichkeitstests für kabellose Technologien.

In den vergangenen Jahren sind zahlreiche Untersuchungen über mögliche gesundheitsschädigende Effekte elektromagnetischer Strahlen durchgeführt worden. Verschiedene Forschungsgruppen haben Tier-, Zell- und Humanstudien mit unterschiedlichen wissenschaftlichen Ansätzen durchgeführt. Einige der dieser Experimente haben sich als wenig aussagekräftig erwiesen, weil die Expositionseinrichtungen gravierende Mängel aufgewiesen haben. Ein Hauptkritikpunkt besteht darin, dass die meisten Expositionseinrichtungen keine Steuerungssoftware haben. Das Fehlen von Steuerungssoftware hat einige Nachteile zur Folge. Erstens müssen biomedizinische Teams, welche die Studien durchführen und deren Mitglieder im Allgemeinen wenig technisches Wissen mitbringen, Hochfrequenzgeräte bedienen. Dadurch können Bedienungsfehler auftreten, was dazu führt, dass die Untersuchungsobjekte einer unberechenbaren Strahlendosis ausgesetzt sind. Zweitens können die Experimente nur schlecht reproduziert werden. Systeme ohne Steuerungssoftware können keine Daten aufzeichnen. Dadurch kann im Nachhinein auch nicht evaluiert werden, ob die Experimente gemäss den Spezifikationen durchgeführt worden sind. Drittens ist ohne Software das Simulieren komplexer und realistischer Signale wie GSM oder UMTS Signale nicht möglich. Schliesslich müssen die biomedizinischen Studien unter blinden Bedingungen durchgeführt werden. Das heisst, der Experimentator darf nicht wissen, ob eine tatsächliche Bestrahlung oder bloss eine Scheinbe-

strahlung stattfindet. Dadurch ist eine unabsichtliche (oder sogar absichtliche) Manipulation der Experimente nicht möglich. Eine komplette doppelblinde Studienanordnung ist nur mit einer Steuerungssoftware möglich, die einen Zufallsgenerator implementiert und die die Expositionsdaten verschlüsselt.

Der erste Teil dieser Arbeit beschreibt die Kernanforderungen an moderne Expositionseinrichtungen (*In vitro*-, *In vivo*- und Humanexpositionssysteme). Die Analyse dieser Anforderungen zeigt die zentrale Wichtigkeit der Steuerungssoftware für solche Systeme auf. Nur Systeme mit einer ausgeklügelten Software können alle Anforderungen erfüllen. Bis jetzt sind Systeme mit umfassender Software, welche genau kontrollierte Experimente ermöglichen, weder entwickelt noch in der Literatur beschrieben worden. Diese Arbeit schliesst diese Lücke and liefert den Konstrukteuren von Expositionssystemen generelle Richtlinien für das Erzeugen von Steuerungssoftware.

Das wissenschaftliche Herzstück einer Expositionseinrichtung ist die Transferfunktion. Diese Funktion verknüpft RF Leistung und/oder elektromagnetische Feldstärke mit der spezifischen Absorptionsrate (SAR) des untersuchten Objekts. Normalerweise enthüllen Messungen und Simulationen diese Verknüpfungen. Abhängig von der Kategorie der Expositionseinrichtung (*In vitro*, *In vivo*, Human) beeinflussen verschiedene Parameter die Transferfunktion. Diese Arbeit kristallisiert die gemeinsamen Elemente der verschiedenen Transferfunktionen heraus und schlägt eine generische Transferfunktion vor, die für alle Kategorien von Expositionseinrichtungen gültig ist. Dieser generische Ansatz ermöglicht die Kapselung der Transferfunktion in einer Programmklasse und vereinfacht dadurch die Implementierung und die Auswechslung von Steuerungsalgorithmen, die zur Kontrolle der Feldstärke eingesetzt werden. Zudem ermöglicht diese Kapselung eine strikte Trennung zwischen Datenakquisition und Datenauswertung und dadurch die Verwendung leistungsfähiger Software Entwurfsmuster, die auch in anderen Datenakquisitionssystemen verwendet werden können.

### Softwareentwicklungstechniken

Seit jeher hat die Softwareentwicklung versucht, den Entwicklungsprozess zu systematisieren. Aus diesem Grund wurden im Verlaufe der Zeit sehr unterschiedliche Softwareentwicklungstechniken erfunden. Im letzten Jahrzehnt haben zwei Tendenzen die Disziplin Softwareentwicklung beherrscht: 1) die Entwicklung und die konstante Erweiterung der Unified Modeling Language (UML) als effektiver Standard zur Modellierung objektorientierter Softwaresysteme (was schwergewichtigen Entwicklungstechniken einen enormen Aufschwung beschert hat) und 2) die Entstehung agiler Softwareentwicklungstechniken.

Folglich beinhaltet die Softwareentwicklung heute zwei fundamental unterschiedliche Gruppen von Entwicklungstechniken: schwergewichtige und agile Entwicklungstechniken. Schwergewichtige Entwicklungstechniken befolgen den traditionellen Ansatz zur Entwicklung von Software. Den Kern schwergewichtiger Entwicklungstechniken bildet die Trennung von Softwareentwurf und Softwareimplementierung. Agile Entwicklungstechniken dagegen betonen die inkrementelle Softwareentwicklung, eine enge Kooperation mit den Kunden, einfache Lösungen und schnelle Reaktionen auf veränderte Bedingungen.

Der zweite Teil dieser Arbeit beschreibt die einzelnen schwergewichtigen und agilen Entwicklungsmethoden anhand der wichtigsten Eigenschaften dieser Methoden. Gemeinsamkeiten und Unterschiede der einzelnen Methoden werden aufgezeigt und besprochen. Die Beschreibung der Entwicklungsmethoden dient als Basis für die nachfolgende Untersuchung der Methoden auf ihre Praxistauglichkeit.

Die Untersuchung hat gezeigt, dass keine Entwicklungsmethode in allen Situationen und für alle Organisationen *per se* geeignet ist. Jede Methode hat ihre Stärken und Schwächen, welche sich positiv oder negativ in unterschiedlichen Situationen auswirken. Agile Entwicklungsmethoden scheinen besonders gut in Situationen geeignet zu sein, in denen die Anforderungen im Verlaufe des Entwicklungsprozesses mit grosser Wahrscheinlichkeit ändern, wohingegen schwergewichtige Entwicklungsmethoden ihr volles Potential entfalten können, wenn die zukünftigen Anforderungen (Leistung, Ausnahmebehandlung, Funktionalität) bereits bekannt sind und im Detail spezifiziert werden können.

Die entwickelte Steuerungssoftware wurde weltweit in mehr als 20 verschiedenen Laborstudien eingesetzt. Diese Software ermöglichte auch die Durchführung von Tierstudien unter NTP vergleichbaren (National Toxicology Program) GLP (Good Laboratory Practice) Bedingungen. Das entwickelte mathematische GSM Signalmodell und dessen Implementierung sind ein Standard in der bioelektromagnetischen Forschung geworden. Das Signalmodell stellt das erste Expositionsszenario dar, das zeitlich veränderliche Signalmodulationen berücksichtigt, wie sie typischerweise während einem Gespräch mit einem mobilen Telefon auftreten. Dieses Signal enthält einen Cocktail an niederfrequenten Signalkomponenten. Studien, die in der Vergangenheit durchgeführt wurden, haben den Einfluss von niederfrequenten Signalkomponenten vernachlässigt.