

# Technologies for System-on-Textile Integration

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

presented by

IVO LOCHER

MSc., University of California, Los Angeles  
born 11th April 1973  
citizen of Remetschwil, Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Gerhard Tröster, examiner  
Prof. Dr. Lieva Van Langenhove, co-examiner

2006

## Abstract

Wearable computing demands a smooth and unobtrusive integration of electronics into clothing in order to achieve user acceptance. A *Fabric Integrated Wireless Temperature Sensor* is presented as proof-of-concept in this dissertation highlighting the required technologies for successful realization. These novel technologies propose various approaches for a smooth integration of electronic components into fabrics. We summarize these technologies under the term *System-on-Textile* (SoT).

The dissertation focuses on a woven polyester fabric with embedded thin copper wires as substrate for the electronics. Each copper wire itself is insulated with a thin polymer coating. Using this substrate, different transmission line configurations are first evaluated regarding electrical performance. They feature bandwidths up to  $2GHz$ . It is shown that the usual  $50\Omega$  line impedance cannot be achieved. The obtained impedances lie in the range between  $180 - 310\Omega$ .

An interconnect technology is presented to establish arbitrary wiring structures among the wires in the fabric. These interconnects show only minor effects on signal transmission. Secondly, our approach for chip assembly utilizes an innovative interposer design such that arbitrary electronic components can easily be mounted onto the fabric. We identify routing strategies and constraints for signal and power wiring within the fabric.

The proposed epoxy encapsulation of the electronics has been tested against moisture absorption and its effects on conductivity. Tensile stresses confirm our approach of having the polyester yarn as supporting frame for the copper wires. Both, polyester yarn and copper wire, break at an elongation of about 20%. Assembled interposers slightly weaken the fabric.

The textile Bluetooth antennas have been designed for 'wireless personal area networks'. They are purely textile using a felt and a spacer fabric as dielectric and conductively plated fabrics for the antenna patch and ground plane. The Bluetooth specifications are satisfied even when the antennas are bent around a radius of  $37.5mm$ . The antennas are aimed as communication link between a wearable computer and infrastructure.

Eventually, we show how the woven fabric can be utilized as textile temperature sensor achieving an accuracy of 1 Kelvin.

## Zusammenfassung

Tragbare Computersysteme setzen eine angenehme und unauffällige Integration von Elektronik in Kleidung voraus, damit sie von den Anwendern akzeptiert werden. Ein *Textil-integrierter, drahtloser Temperatursensor* wird in dieser Dissertation als Anschauungsobjekt vorgestellt, welches die benötigten Technologien zur erfolgreichen Umsetzung aufzeigt. Diese neuartigen Technologien schlagen verschiedene Ansätze zur komfortablen Integration von elektronischen Komponenten in Kleidung vor. Zusammenfassend nennen wir diese Technologien *System-on-Textile (SoT)*.

Die Dissertation konzentriert sich auf ein Polyester-Gewebe mit eingebetteten dünnen Kupferdrähten als Substrat für die Elektronik. Jeder Kupferdraht selbst ist mit einer dünnen Polymerlack-Schicht überzogen. Verschiedene elektrische Leitungsanordnungen werden mit diesem Substrat evaluiert betreffend elektrischer Eigenschaften. Der Frequenzgang der Leitungen verläuft flach bis zu einer Frequenz von etwa  $2\text{GHz}$ . Wir zeigen, dass die übliche  $50\Omega$  Leitungsimpedanz nicht erreicht werden kann. Die ermittelten Impedanzen liegen im Bereich von  $180 - 310\Omega$ .

Eine Verbindungstechnologie zum Aufbau beliebiger Verdrahtungsstrukturen mittels den Drähten im Gewebe wird vorgestellt. Diese Verbindungen beeinflussen die Signalübertragung nur unwesentlich. Im weiteren wird ein innovatives Interposer-Design zur Bestückung beliebiger Elektronikkomponenten auf Textil präsentiert. Ausserdem erörtern wir die zugehörigen Strategien und Beschränkungen für die Signal- und Speisungsverdrahtung innerhalb des Gewebes.

Die Feuchtigkeitsaufnahme der Epoxydharz-Kapselung der Elektronik wird getestet und die Isolationsfähigkeit überprüft. Zugversuche bestätigen unseren Ansatz eines Gewebes aus Polyester, welches die Kupferdrähte schützt. Die Polyesterfäden als auch die Kupferdrähte reißen bei einer Dehnung von über 20%. Auf das Gewebe aufgebrachte Interposer schwächen das Textil nur wenig.

Die textilen Bluetooth-Antennen sind für „wireless personal area networks“ ausgelegt. Die Bluetooth-Antennen bestehen gänzlich aus Textil: Filz und Abstandsgewirke für das Dielektrikum und leitend beschichtetes Textil für den Antennen-Patch und die Ground-Fläche. Die Bluetooth-

x

Spezifikationen werden erfüllt, selbst wenn die Antennen um eine Radius von  $37.5mm$  gebogen werden. Die Antennen werden zur Kommunikation zwischen tragbaren Computern und der Infrastruktur verwendet.

Schliesslich demonstrieren wir, wie das Gewebe als textiler Temperatursensor mit einer Genauigkeit von 1 Kelvin eingesetzt werden kann.