



Doctoral Thesis

## VLSI circuits for MIMO-OFDM physical layer

**Author(s):**

Häne, Simon

**Publication Date:**

2007

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005572087> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 17384

# VLSI Circuits for MIMO-OFDM Physical Layer

A dissertation submitted to the  
ETH ZURICH

for the degree of  
Dr. sc. ETH Zürich

presented by

SIMON HÄNE

Dipl. El. Ing. ETH  
born 21. October 1978  
citizen of Switzerland

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. Wolfgang Fichtner, examiner  
Prof. Dr. Helmut Bölcskei, co-examiner

2007

# Abstract

Data rates provided by wireless communication systems have been growing exponentially in time. Today, about a decade after the first publications on multiple-input multiple-output (MIMO) wireless systems, the adoption of multiple antennas at both ends of the wireless link in practical systems is considered the most promising technique for breaking the gigabit-per-second barrier. In fact, MIMO provides a linear increase in channel capacity with the minimum number of transmit or receive antennas at the cost of increased receiver complexity only, without additional bandwidth or transmit power expenditure.

When combined with broadband modulation schemes such as orthogonal frequency division multiplexing (OFDM), MIMO receivers pose signal processing requirements that call for dedicated very-large scale integration (VLSI) circuits. Even on state-of-the-art process technologies, however, the realization of optimal MIMO algorithms is impossible, so that suboptimal solutions must be adopted.

This thesis focuses on the joint design of reduced-complexity algorithms and corresponding VLSI architectures for some of the most implementation-critical signal processing tasks in MIMO-OFDM systems, including channel estimation, soft-information extraction, and Viterbi decoding. Appropriate algorithm modifications avoid operations that are ill-suited for VLSI implementation and reduce the overall operation count to a manageable order of magnitude. The proposed circuits are prototyped in a real-time testbed for proof of concept and provide reference figures for the silicon complexity of broadband MIMO systems. Insight into performance and limitations of real-world MIMO systems is provided by extensive measurements based on a multipath channel emulator.

# Zusammenfassung

Seit der Einführung drahtloser Kommunikationssysteme sind deren Datenraten exponentiell gewachsen. Heute, zehn Jahre nach der Erfindung von Funksystemen mit mehreren Antennen beim Sender und beim Empfänger (MIMO Systeme), wird hauptsächlich dieser Ansatz für die weitere Erhöhung der Datenraten verfolgt. Der Grund dafür ist die mit MIMO Systemen proportional zum Minimum der Anzahl Antennen beim Sender und Empfänger erreichbare Erhöhung der Kanalkapazität. Diese Steigerung erfordert keine zusätzliche Bandbreite oder Sendeleistung, bedingt aber mehr Aufwand beim Empfänger.

MIMO Technologie, kombiniert mit Breitband Modulation wie z.B. OFDM, erfordert Signalverarbeitung beim Empfänger, die derart komplex ist, dass sie nur mit dedizierten VLSI Schaltungen bewältigt werden kann. Dabei ist die Umsetzung von optimalen MIMO Algorithmen auch mit modernsten Halbleitertechnologien unmöglich, so dass suboptimale Algorithmen eingesetzt werden müssen.

Diese Arbeit befasst sich mit der Entwicklung von Algorithmen und entsprechenden VLSI Architekturen für einige der anspruchsvollsten Signalverarbeitungsaufgaben: Kanalschätzung, Generierung von Zuverlässigkeitsinformation und Viterbi Decodierung für MIMO-OFDM Systeme. Durch gezielte algorithmische Änderungen wird die Anzahl der erforderlichen Operationen auf eine machbare Grössenordnung reduziert, und Operationen die für eine VLSI Realisierung ungeeignet sind werden vermieden. Die vorgeschlagenen Schaltungen wurden in einem Echtzeit-Prototypen eingebettet um deren Machbarkeit zu beweisen und eine Referenz für die Komplexität zu liefern. Eine Einsicht in die Leistungsfähigkeit und Beschränkungen von MIMO Systemen in der Praxis wird durch ausführliche Messungen vermittelt.