

Diss. ETH No. 14395

# Data Statistics and Low-Power Digital VLSI

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
ZURICH

for the degree of  
Doctor of Technical Sciences

presented by

JÜRGEN WASSNER

Dipl.-Ing. Elektrotechnik

born April 9<sup>th</sup>, 1967

citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. W. Fichtner, examiner

Prof. Dr. L. Thiele, co-examiner

2001

# Abstract

Ongoing advances of semiconductor technology enable the integration of more and more complex circuits, thus making feasible devices of ever increasing functionality for ever new applications. Naturally, power dissipation has evolved into a key constraint for the design of VLSI circuits, particularly for battery-powered applications.

This thesis deals specifically with power dissipation of digital VLSI circuits subject to the statistical properties of the data being processed. The dependence of power consumption on data statistics is explored with regard to three major aspects: power estimation, power minimization, and practical low-power design.

1. In the context of gate-level power estimation, a probabilistic approach to determine the switching activity in logic circuits from the given input statistics is presented. This approach can take into account any kind of signal correlation and calculates the correct switching activity for every node in the circuit. A novel approximation technique for the efficient control of the estimation accuracy is proposed.
2. The question of fundamental lower bounds on power dissipation in consideration of data statistics is pursued. A systematic view of minimum power dissipation is developed, which leads to a classification of the lower bound problem. The resulting subproblems are set in context to known information-theoretic bounds on data coding and transmission.
3. By means of speech filtering it is exemplified how designers of application-specific circuits may avail themselves of data statis-

tics to cut down the energy use. Various number representations and data encodings are examined, and potential power savings are quantified subject to statistical signal properties and operating conditions. This permits the derivation of general coding guidelines for application-specific processing of speech data.

# Zusammenfassung

Die anhaltende Weiterentwicklung der Halbleitertechnologie gestattet die Integration von immer komplexeren Schaltkreisen. Dies ermöglicht die Realisierung hochfunktioneller Geräte und eröffnet immer neue Einsatzfelder. Es überrascht daher nicht, dass die Leistungsaufnahme von VLSI Schaltkreisen mittlerweile eine Schlüsselposition im Entwurfsprozess einnimmt, insbesondere bei batteriebetriebenen Anwendungen.

In der vorliegenden Arbeit wird speziell die Leistungsaufnahme von digitalen VLSI Schaltkreisen im Zusammenhang mit den statistischen Eigenschaften der zu verarbeitenden Daten behandelt. Die Abhängigkeit der Leistungsaufnahme von der Datenstatistik wird im Hinblick auf drei wesentliche Aspekte untersucht: Leistungsabschätzung, Leistungsminimierung und praktischer Entwurf stromsparender Schaltungen.

1. Für die Leistungsabschätzung auf Gatterniveau wird ein Wahrscheinlichkeitstheoretischer Zugang zur Bestimmung der Schaltaktivität in logischen Netzwerken vorgestellt. Dieser Zugang ermöglicht die Berücksichtigung jeglicher Art von Signalkorrelation, so dass eine genaue Berechnung der Knotenaktivitäten möglich ist. Ein neuartiges Näherungsverfahren erlaubt die elegante Steuerung der Schätzgenauigkeit.
2. Es wird der Frage nach einer grundsätzlichen unteren Schranke für die Leistungsaufnahme nachgegangen. Eine systematische Darstellung der Fragestellung führt zu einer Klassifizierung des Problems. Die daraus resultierenden Teilprobleme werden im

Zusammenhang mit bekannten informationstheoretischen Aussagen über Codier- und Übertragungsgrenzen diskutiert.

3. Anhand der Filterung von Sprachsignalen wird beispielhaft demonstriert, wie beim Entwurf anwendungsspezifischer Schaltungen die Statistik der Daten zur Senkung des Stromverbrauchs ausgenutzt werden kann. Das Sparpotential verschiedener Zahendarstellungen und Codierungen wird in Abhängigkeit von statistischen Signalparametern und Betriebsbedingungen gemessen. Das erlaubt, Codierrichtlinien für die anwendungsspezifische Verarbeitung von Sprachsignalen aufzustellen.