



Doctoral Thesis

Computing information rates of finite-state models with application to magnetic recording

Author(s):

Arnold, Dieter M.

Publication Date:

2003

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004521807> →

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. 14760

Computing Information Rates of Finite-State Models with Application to Magnetic Recording

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by
DIETER M. ARNOLD

born 10. April 1971
citizen of Seedorf (UR) and Luzern (LU)
dipl. El.-Ing. ETH

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Hans-Andrea Loeliger, examiner
Dr. Evangelos S. Eleftheriou, co-examiner
Prof. Dr. Aleksandar Kavčić, co-examiner

2003

Abstract

The topics of this thesis are the mathematical models of the magnetic recording channel and their ultimate information-theoretic limit, the capacity.

Source and channel of a magnetic recording system can be represented by a single finite-state model (FSM). The joint source/channel FSM is fully specified by the state-transition probabilities of the source model and the output probability distribution. In our case, this distribution is a parameterized Gaussian mixture density. We focus on aperiodic and irreducible FSMs whose state and observation process are stationary and ergodic. Thus, by the Shannon-McMillan-Breiman theorem, the entropy rates of the state and the observation process are determined by the probability of a typical sequence of those processes.

A new and practical method is presented for computing estimates of lower and upper bounds (information rates) on the capacity of FSMs. The pivotal observation behind the method is that the entropy rate of the channel output can be computed by standard forward sum-product trellis processing of simulated or (in principle) measured channel output data.

The method is applied to various FSMs representing the magnetic recording channel. These models are (generalized) partial-response polynomials with additive white Gaussian noise (AWGN), sources with run-length limit constraints observed through AWGN, FSMs that are trained on synthetically generated waveforms (microtrack model) with continuous mixture noise including medium noise, and the binary jitter channel with discrete-valued data-dependent noise.

Keywords: Channel capacity, finite-state models, information rate, magnetic recording, medium noise, Shannon-McMillan-Breiman theorem, sum-product algorithm.

Kurzfassung

Die Arbeit handelt von den mathematischen Modellen des Schreib- und Lesekanals in Systemen zur magnetischen Datenaufzeichnung und deren informationstheoretischen Grenze, der Kanalkapazität.

Bei der magnetischen Datenspeicherung kann der Schreib- und Lesevorgang durch ein einziges Modell mit endlicher Anzahl Zuständen (MEZ) dargestellt werden. Das MEZ für Quelle und Übertragungskanal ist durch die Verzweigungswahrscheinlichkeiten der Quelle und die Wahrscheinlichkeitsverteilung am Ausgang vollständig bestimmt. Wir nehmen als Verteilung eine parametrisierte Mischung von Gaussdichten an. Ferner betrachten wir aperiodische und nicht-zerlegbare MEZe, deren Zustands- und Ausgangsprozess stationär und ergodisch sind. Es gilt daher der Satz von Shannon-McMillan-Breiman, der besagt, dass die Entropieraten des Zustands- und Beobachtungsprozesses durch die Wahrscheinlichkeit einer typischen Sequenz dieser Prozesse bestimmt sind.

Eine neue und einfach anzuwendende Methode zur Berechnung von Schätzwerten der Informationsrate von MEZe wird vorgestellt. Diese Informationsraten stellen untere und obere Schranken für die Kanalkapazität dieser Modelle dar. Der Methode liegt die Erkenntnis zu Grunde, dass die Entropierate mittels eines einzigen Vorwärtslaufes des Summe-Produkt-Algorithmus berechnet werden kann. Dazu können simulierte oder (im Prinzip) gemessene Kanalausgangsdaten verwendet werden.

Verschiedene MEZe für den Schreib- und Lesekanals in Systemen der magnetischen Datenaufzeichnung werden mit dieser Methode studiert. Diese Modelle sind verallgemeinerte Polynome mit endlicher Stossantwort und AWGN, restringierte Markovquellen mit AWGN, mittels künstlich erzeugter Daten (Microtrack-Model als Kanalmodell) trainierte MEZe mit gemischtem Rauschen (AWGN und datenabhängigem Rauschen) und schliesslich der binäre Jitterkanal mit diskretem, datenabhängigem Rauschen.

Stichworte: Kanalkapazität, Modelle mit endlichem Zustandsraum, Informationsrate, magnetische Datenaufzeichnung, datenabhängiges Rauschen, der Satz von Shannon-McMillan-

Breiman, Summe-Produkt-Algorithmus.