

Diss. ETH No 13783

# **A Systematic Approach to Adaptive Algorithms for Multichannel System Identification, Inverse Modeling, and Blind Identification**

A dissertation submitted to the  
Swiss Federal Institute of Technology, Zürich  
for the degree of  
Doctor of Technical Sciences

presented by

**Marcel Joho**

dipl. El.-Ing. ETH  
born on October 8, 1967  
citizen of Bettwil AG

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. George S. Moschytz, examiner  
Prof. Dr. Scott C. Douglas, co-examiner  
Prof. Dr. Hans-Andrea Loeliger, co-examiner

Hartung-Gorre Verlag, Konstanz, December 2000

# Abstract

In many situations related to acoustics and data communications we are confronted with multiple signals received from a multipath mixture, e.g., the famous cocktail-party problem. A multipath mixture can be described by a mixing matrix, whose elements are the individual transfer functions between a source and a sensor. The mixing matrix is usually unknown, and so are sometimes also the source signals.

Depending on the application, different parameters are of interest: the mixing matrix for system identification, the inverse mixing matrix for inverse modeling, or the source signals for system equalization. This thesis gives a systematic approach to the aforementioned problems in a multipath mixing environment. To this end, we investigate the multichannel-mixing problem and the single-channel multipath problem separately.

Based on a mean-squared-error (MSE) cost function, several stochastic-gradient update equations, which are related to the least-mean-square (LMS) and the recursive least-squares (RLS) algorithm, are derived for the instantaneous mixing case. Thereby the matrix-inversion lemma has shown to be a very powerful tool to transform an algorithm which estimates the mixing matrix (system identification) into an algorithm which estimates the inverse mixing matrix (inverse modeling).

With the help of circulant matrices, the adaptive algorithms for the multichannel instantaneous mixing case are transformed to cope with the single-channel multipath case. Block processing techniques are used, allowing efficient implementation of the filtering and adaptation in the frequency domain. The Fast Fourier Transform (FFT) plays a crucial role, owing to its close relationship to circulant matrices.

We extend the algorithms to operate as multichannel adaptive filters, using the fact that a multipath mixture is the combination of instantaneous mixing and single-channel multipath convolution.

In addition, we investigate the situation where not only the multipath-mixing system, but also the source signals are unknown. This situation is referred to as blind identification. By exchanging the non-blind error criterion with a blind error criterion, we derive new algorithms for blind identification (blind source separation, single-channel and multichannel blind deconvolution). The same technique provides an alternative derivation of the well-known natural-gradient learning algorithm for blind source separation, revealing new insight.

Throughout the thesis, many simulation examples illustrate the performance behavior of the different adaptive algorithms.

**Keywords.** Multichannel adaptive signal processing, multichannel adaptive filtering, system identification, inverse modeling, system/channel equalization, blind identification, blind source separation, blind deconvolution, multichannel blind deconvolution, acoustical signal processing, multipath mixture.

# Kurzfassung

In der Akustik und in der Datenkommunikation hat man es oft mit echobehafteten und vermischten Signalen zu tun, zum Beispiel mehrere Sprecher in einem halligen Raum oder Mehrwegausbreitung in Mobilfunkkanälen. Ein solches mehrkanaliges Übertragungssystem kann mit einer Mischmatrix beschrieben werden, deren Elemente die Übertragung zwischen den Sendern und den Empfängern beschreiben, zum Beispiel mittels einer Impulsantwort. Diese mehrkanalige Übertragungsmatrix ist normalerweise nicht bekannt. In einigen Anwendungen sind sogar die ausgesendeten Signale (Quellensignale) unbekannt. Abhängig von der Anwendung interessiert man sich für die Schätzung von verschiedenen Parametern: In der Systemidentifikation für die Schätzung der Übertragungsmatrix oder deren Inverse, bei einer Kanalverzerrung für die Schätzung der übertragenen Datensignale.

Die vorliegende Dissertation analysiert die obigen Problemstellungen in einer systematischen Weise. Dazu wird das allgemeine Problem auf zwei unterschiedliche Arten vereinfacht, die zuerst getrennt untersucht werden. Es sind dies eine einfache Signalmischung und ein einfacher Kanal mit Mehrwegausbreitung.

Basierend auf einem quadratischen Fehlerkriterium leiten wir verschiedene stochastische Gradientenmethoden her, um eine unbekannte Mischmatrix zu schätzen. Diese Methoden weisen eine grosse Verwandtschaft mit dem LMS- (*least-mean-square*) und dem RLS- (*recursive-least-squares*) Algorithmus auf. Das Matrix-Inversions-Lemma hat sich dabei als sehr nützliches Hilfsmittel erwiesen, um einen Schätzalgorithmus für die Mischmatrix in einen effizienten Schätzalgorithmus für die inverse Mischmatrix umzuwandeln.

Adaptive Filteralgorithmen für die einkanalige Kanalschätzung und Kana-

legalisation werden hergeleitet. Es wird eine blockweise Verarbeitung der Eingangsdaten verwendet, welche eine effiziente Implementation der Filterung und Adaption im Frequenzbereich erlaubt. Dabei wird die enge Verwandtschaft zwischen der schnellen Fourier Transformation (FFT) und zirkulären Matrizen ausgenutzt.

Die Algorithmen werden für eine mehrkanalige adaptive Filterung erweitert, indem die Methoden für die mehrkanalige Mischung mit denjenigen der einkanaligen Filterung vereinigt werden.

Zusätzlich wird der Fall der blinden Systemidentifikation untersucht, bei der weder die Übertragungsmatrix noch die Quellensignale bekannt sind. Durch Auswechseln des Fehlerkriteriums lassen sich Algorithmen für die mehrkanalige adaptive Filterung in solche umwandeln, die sich für die blinde Quellenseparation und Rückfaltung eignen. Mit dem selben Vorgehen lässt sich der Algorithmus des natürlichen Gradienten, der in der blinden Quellenseparation weit verbreitet ist, auf eine neue Weise herleiten.

Das Adaptionsverhalten der verschiedenen Algorithmen wird mittels Simulationsbeispielen aufgezeigt.

**Stichworte.** Mehrkanalige adaptive Signalverarbeitung, Systemidentifikation, Kanalverzerrung, blinde Quellenseparation, blinde Kanalverzerrung, Signalverarbeitung von akustischen Signalen, Mehrwegausbreitung.