

DISS. ETH NO. 15958

Multichannel Kalman Equalization for the WCDMA Downlink

A dissertation submitted to the

SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of

DOCTOR OF SCIENCES

presented by

HEINO GERLACH

Dipl.-Ing., Technical University of Hamburg-Harburg (Germany)

M.Sc., Chalmers University of Technology, Göteborg (Sweden)

born July 14, 1972

citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Dirk Dahlhaus, examiner

Prof. Dr. Hans-Andrea Loeliger, co-examiner

Dr. Wen Xu, co-examiner

2005

Abstract

Wideband code-division multiple access (WCDMA) technology is rapidly emerging as the leading global Third Generation (3G) cellular mobile radio air interface. However, since the downlink of WCDMA systems is usually interference limited, interference cancellation algorithms that reduce the interference on the desired signal can significantly improve the system capacity.

This thesis addresses the development and analysis of advanced recursive receiver structures for the WCDMA downlink which are capable to provide high data rate services in fast fading multipath environments even at the cell boundary. Multichannel receivers that take into account the intrinsic structure of the interference and of the transmitted signal are mainly studied.

A novel recursive multichannel Kalman filter (KF) algorithm is designed to jointly estimate the signal transmitted by the serving base station as well as the signals from neighboring cells. It has proven to be very effective in suppressing intracell as well as intercell interference, especially if the receiver is equipped with multiple antennas for signal reception. Code constraints are proposed which can boost the performance of the KF algorithm for small spreading factors and large Doppler spreads arising from high speeds of the mobile terminals.

Since the quality of the channel estimation method has a strong impact on the overall bit-error rate (BER) performance of the receiver, a non-recursive correlation-based and a recursive KF channel estimation method are analyzed and compared with each other. It is revealed how the involved parameters of each method influence the channel estimation error.

This motivates the development of a novel algorithm that jointly estimates the channel parameters and the multiple access interference (MAI). Both channel parameters and MAI are explicitly described using state-space representations which are then combined to a common nonlinear state-space model. The nonlinear filtering problem is solved by applying the extended KF (EKF), however, it turns out that a slight modification of the algorithm is necessary to stabilize the resulting scheme. With such a receiver architecture, the performance loss in comparison to the KF equalizer with exactly known channel coefficients is considerably reduced.

Kurzfassung

Die breitbandige Codevielfachzugriffstechnik (wideband code-division multiple access, WCDMA) entwickelt sich immer mehr zur führenden globalen Funkschnittstelle für die dritte Mobilfunkgeneration.

Da jedoch die Leistungsfähigkeit der Abwärtsstrecke in WCDMA Systemen gewöhnlich durch Interferenz beschränkt wird, können Verfahren, die die Störungen auf das gewünschte Sendesignal wesentlich reduzieren, die Systemkapazität erhöhen.

Gegenstand der vorliegenden Arbeit sind die Entwicklung und Analyse von neuartigen rekursiven Empfängeralgorithmien für die WCDMA-Abwärtsstrecke, die geeignet sind, hochratige Datendienste über sich schnell ändernde Schwundausbreitungs Kanäle sogar an der Zellgrenze bereitzustellen. In erster Linie werden Mehrkanalempfänger untersucht, die die inhärente Struktur des Interferenz- und des Sendesignals berücksichtigen.

Es wird ein neuartiges rekursives Kalmanfilter (KF) für Mehrkanalübertragung vorgestellt, welches das Sendesignal der Basisstation der eigenen Zelle als auch die Signale der Nachbarzellen gemeinsam schätzt. Das Verfahren erweist sich als sehr leistungsfähig, um Intrazell- und Interzellinterferenz gleichzeitig zu unterdrücken, insbesondere für Empfänger mit mehreren Antennen. Codebedingungen

werden vorgeschlagen, die die Leistungsfähigkeit der KF-Verfahren besonders für kleine Spreizfaktoren und hohe Geschwindigkeiten des Mobilfunkteilnehmers erhöhen.

Da die Qualität der Kanalschätzung großen Einfluss auf die Bitfehler-rate des Empfängers hat, werden ein nichtrekursives und ein rekursives KF-Kanalschätzverfahren analysiert und verglichen. Es wird aufgezeigt, wie die Parameter des jeweiligen Verfahrens den Kanalschätzfehler beeinflussen.

Die Resultate der obigen Analyse motivieren die Entwicklung eines neuen Verfahrens, das die Parameter des Ausbreitungskanals und die Vielfachzugriffsstörung (multiple access interference, MAI) gleichzeitig schätzt. Sowohl die Parameter des Ausbreitungskanals als auch die MAI werden jeweils durch ein Zustandsraummodell beschrieben und zu einem gemeinsamen nichtlinearen Zustandsraummodell zusammengefasst. Das Problem der nichtlinearen Filterung wird durch die Verwendung des erweiterten KF (EKF) gelöst. Es stellt sich jedoch heraus, dass eine kleine Modifikation zu einer wesentlichen Erhöhung der Robustheit des Filters führt. Mit dieser Empfängerarchitektur wird der Verlust der Leistungsfähigkeit gegenüber dem KF-Entzerrer, dem die exakten Kanalparameter bekannt sind, wesentlich reduziert.