

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik



Anfangsparameterschätzung zur Synchronisation von Burstempfindern

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs

vorgelegt von
Christof Kärner
geboren in Göppingen
Waiblingen, den 17.11.2003

Referent:	Prof. Dr.-Ing. H. G. Göckler
Koreferent:	Prof. Dr.-Ing. B. Yang
Tag der Einreichung:	17.11.2003
Termin der mündlichen Prüfung:	23.01.2004

Schriftenreihe Digitale Signalverarbeitung

Band 3

Christof Kärner

**Anfangsparameterschätzung zur
Synchronisation von Burstempfängern**

Shaker Verlag
Aachen 2004

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugl.: Bochum, Univ., Diss., 2004

Copyright Shaker Verlag 2004

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-3356-3

ISSN 1617-2221

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als Doktorand bei der Tesat-Spacecom GmbH & Co. KG (früher Bosch Telecom GmbH, Produktbereich Raumfahrt) in Backnang.

Dem Leiter der Arbeitsgruppe Digitale Signalverarbeitung am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik der Ruhr-Universität Bochum, Herrn Professor Dr.-Ing. Heinz G. Göckler, danke ich sehr herzlich für die Übernahme des Referats, die wertvollen Anregungen und Diskussionen sowie die sorgfältige und kritische Durchsicht des Manuskripts.

Mein Dank gilt ebenso dem Leiter des Lehrstuhls für Systemtheorie und Signalverarbeitung der Universität Stuttgart, Herrn Professor Dr.-Ing. Bin Yang, der sich für das Koreferat zur Verfügung stellte und meiner Arbeit großes Interesse entgegenbrachte.

Ganz besonders danke ich Herrn Dr.-Ing. Thomas Alberty, Herrn Dipl.-Ing. Martin Dukek, Herrn Dipl.-Phys. Bernd Hespeler und Herrn Dipl.-Ing. Wolfgang Steinert für die freundliche Unterstützung, die Durchsicht des Manuskripts und die zahlreichen Anmerkungen und Diskussionen. Ebenso bedanke ich mich bei der Gruppe EMD2 der Tesat-Spacecom GmbH & Co. KG für die große Hilfsbereitschaft und die angenehme und freundschaftliche Arbeitsatmosphäre.

Schließlich danke ich meinen Eltern, die mich jederzeit unterstützt haben und denen ich diese Arbeit widme.

Waiblingen, August 2004

Christof Kärner

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen, Symbole und Operatoren	V
1 Einleitung	1
1.1 Aufgabenstellung	1
1.2 Stand der Technik	3
1.3 Ziel der Arbeit	5
2 Das digitale Übertragungssystem	7
2.1 Modell eines digitalen Übertragungssystems	7
2.1.1 Allgemeines Modell	7
2.1.2 Modell einer Bandpassübertragung für lineare Modulationsverfahren	9
2.1.3 Äquivalentes Basisbandmodell mit Abtastung	10
2.1.4 Synchronisationsparameter	12
2.2 Optimaler Empfänger und Synchronisation	14
2.2.1 Optimaler Empfänger	14
2.2.2 Optimaler Empfänger mit Schätzung der Synchronisationsparameter	15
2.2.3 Modifizierte Cramér-Rao Bound	17
2.2.4 Schätzung der Burstankunftszeit	18
2.3 Definitionen	19
2.3.1 Degradation, Burstdetektion, Burstverlustrate	19
2.3.2 Ambiguityfunktion, Hauptmaximum, Hauptkeule, Nebenmaxima, Nebenwerte	20

2.4	Eigenschaften und Systemparameter des zugrunde liegenden Kommunikationssystems	21
2.5	Zusammenfassung	22
3	Schätzung der Burstankunftszeit	23
3.1	Schätzung mit herkömmlichem Korrelator	24
3.1.1	Eigenschaften der herkömmlichen Ambiguityfunktion	25
3.1.2	Eigenschaften des herkömmlichen Korrelators bei $f_o \neq 0$	28
3.2	Schätzung mit herkömmlicher Korrelatorbank	29
3.2.1	Funktionsweise	30
3.2.2	Beschreibung des Signals am Ausgang der Korrelatorbank	30
3.2.3	Analytische Ermittlung der Fehlerwahrscheinlichkeit	34
3.2.4	Ermittlung der Fehlerwahrscheinlichkeit per Simulation	41
3.3	Schätzung mit modifiziertem Korrelator	49
3.3.1	Eigenschaften der modifizierten Ambiguityfunktion	52
3.4	Schätzung mit modifizierter Korrelatorbank	53
3.4.1	Funktionsweise	54
3.4.2	Beschreibung des Signals am Ausgang der Korrelatorbank	54
3.4.3	Analytische Ermittlung der Fehlerwahrscheinlichkeit	54
3.4.4	Ermittlung der Fehlerwahrscheinlichkeit per Simulation	56
3.5	Korrelatorbank bei Abtastung mit doppelter Symbolrate und beliebigem Taktphasenoffset	61
3.5.1	Ambiguityfunktion ohne Rauschen am Eingang	61
3.5.2	Ambiguityfunktion nur mit Rauschen am Eingang	65
3.5.3	Realisierung als IDFT- und IFFT-Polyphasenfilterbank	66
3.5.4	Abschätzung des Realisierungsaufwandes der Schätzung der Burstankunftszeit	72
3.6	Vergleich zwischen der herkömmlichen und der modifizierten Korrelatorbank	80
3.7	Ermittlung der Fehlerwahrscheinlichkeit der herkömmlichen Korrelatorbank bei Abtastung mit doppelter Symbolrate	82
3.8	Zusammenfassung	84

4	Anfangsparameterschätzung mit einer Korrelatorbank	87
4.1	Funktionsweise der Anfangsparameterschätzeinheit	87
4.2	Schätzung der Burstankunftszeit	90
4.3	Schätzung des Taktphasenoffsets	90
4.3.1	Funktionsweise der Quotientenmethode $T/2$	90
4.3.2	Analytische Berechnung der Varianz der Quotientenmethode $T/2$	92
4.3.3	Funktionsweise der Quotientenmethode T	96
4.3.4	Funktionsweise der Umschaltmethode	96
4.3.5	Ermittlung der Schätzgenauigkeit per Simulation	98
4.4	Schätzung des Trägerfrequenzoffsets	103
4.4.1	Verfahrensbeschreibung	103
4.4.2	Anwendung der Quotientenmethode $T/2$	104
4.4.3	Analytische Berechnung der Varianz der Quotientenmethode $T/2$	105
4.4.4	Anwendung der Quotientenmethode T und der Umschaltmethode	106
4.4.5	Ermittlung der Schätzgenauigkeit per Simulation	106
4.5	Schätzung des Trägerphasenoffsets	108
4.5.1	Verfahrensbeschreibung	108
4.5.2	Analytische Berechnung der Schätzgenauigkeit	108
4.5.3	Ermittlung der Schätzgenauigkeit per Simulation	109
4.6	Schwellwerteffekt	109
4.7	Realisierungsaufwand der Berechnung der Anfangsparameter	112
4.8	Auswirkungen des Frequenzrasters: Degradationen	113
4.8.1	Degradation der Trägerfrequenzoffsetschätzung	114
4.8.2	Degradation der Taktphasen- und Trägerphasenoffsetschätzung	114
4.8.3	Übersicht der Degradationen	115
4.9	Zusammenfassung	115
5	Zusammenfassung und Ausblick	119

A	Herleitungen einzelner Formeln	123
A.1	Herleitung der Formel (3.11)	123
A.2	Herleitung der Formel (3.12)	124
A.3	Herleitung der Formel (3.14)	126
A.4	Herleitung der Formel (3.16)	127
A.5	Herleitung der Formel (3.73)	128
A.6	Herleitung der Formel (3.75)	129
A.7	Herleitung der Formel (3.104)	130
B	Korrelationskoeffizienten und Varianz	133
B.1	Korrelationskoeffizienten des Rauschens zwischen zwei Abtastwerten am Ausgang der Korrelatorbank	133
B.1.1	Berechnung von ϕ_h für $\Delta n = 1, l = 0, \Delta l = 0$	135
B.1.2	Berechnung von $\phi_h(n = 0, \Delta n = 0, l = 0, \Delta l = 1)$	135
B.1.3	Berechnung von ϕ_h und ϕ_m für gerade Δn	136
B.2	Varianz des Taktphasenoffsets	136
B.3	Varianz des Trägerphasenoffsets	139
	Literaturverzeichnis	141