ETH zürich

ETH Library

Charakterisierung von Mobil- und Richtfunkkanälen mit schwach stationären Fluktuationen und unkorrelierter Streuung (WSSUS)

Doctoral Thesis

Author(s):
Fleury, Bernard

Publication date:
1990

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-000586346

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.

P. Leuthold
9.3.90

Diss. ETH Nr. 9030

26. März 1990

Charakterisierung von Mobil- und Richtfunkkanälen mit schwach stationären Fluktuationen und unkorrelierter Streuung (WSSUS)

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von
Bernard Fleury
Dipl. El.- Ing. ETH
geboren am 28. März 1954
von Vermes (JU)

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. P. Leuthold, Referent
PD. Dr. F Jondral, Korreferent

1990

Abstract

This thesis gives a treatment of the theory of the WSSUS-systems and of its application to two real channels, the narrow band mobile radio channel and the line-of-sight microwave narrowband radio channel.

The mathematical theory of the linear systems as presented by Bello is given in chapter 2. The characteristic functions are derived and their significance is explained in some concrete situations. Some other functions, whose importance is related to the experimental investigations of the WSSUS-systems are also introduced.

In Chapter 3 we define equivalence classes for the WSSUS-systems. Each equivalence class contains all the WSSUS-systems with the same characteristic functions. It should be noted that two elements from the same equivalence class are not distinguishable if we consider only the description based on their characteristic functions. We can choose in every equivalence class a representative which we call a model for the elements of the equivalence class.

The special class of the independent time- and frequency selective WSSUS-systems is introduced. It can be shown that for every independent time- and frequency selective WSSUS-system there exists a model composed of the serial connection of a purely time selective and a purely frequency selective WSSUS-system. In that sense, the mechanism which produces the time selectivity is separated from that causing the frequency selectivity in the independent time- and frequency selective WSSUS-system. Some models are also derived for the gaussian independent time- and frequency selective WSSUS-system. Finally we describe situations where the independent time- and frequency selective WSSUS-system has a theoretical and a practical application.

In Chapter 4 we investigate the frequency selectivity of purely time dispersive WSSUS-systems. As an aid we introduce two measures for the frequency selectivity, the linear distortion and the variation.

We derive a graphical method which allows one to derive the time disper-

sion of the WSSUS-system from the asymptotic behaviour of the probability distribution of both the linear amplitude distortion and the amplitude response of the system.

We show in appendix A that the real part of an autocorrelation function is bounded above and below by its Taylor polynoms at zero with the bound depending on the degree of these polynoms. It can be shown that this remains true if we consider the variation instead of the autocorrelation function. We also derive in appendix A a lower bound for the autocorrelation function which depends only on the second moment of its spectrum. With this result, we obtain an upper bound for the variation depending only on the time dispersion of the WSSUS-system. This upper bound is in fact attained in a neighbourhood of zero if and only if the delay power density spectrum has a shape corresponding to the propagation conditions in mobile radio where the received signal consists of two scatterers with the same mean power and delayed by twice the time dispersion.

In chapter 5 we investigate the coherence of the purely frequency selective WSSUS-system. To complement the well known notion of coherence bandwidth with level c, we introduce the notion of minimax bandwidth B_{c_σ} with variation smaller than $2(1-c)$ for a given time dispersion σ. The importance of this notion lies in the two properties listed below: With the lower bound for the real part of the autocorrelation functions, we show on the one hand that B_{c_σ} is the smallest possible coherence bandwidth with level c for a given time dispersion σ. Further, this coherence bandwidth is attained for the worst case propagation situation described in the previous paragraph. On the other hand, B_{c_σ} depends only on the time dispersion σ.

In chapter 6 we discuss two real channels, the mobile radio channel and the line-of-sight microwave narrowband radio channel from a theoretical and experimental point of view. In the theoretical section we introduce some new models for these channels. The properties of these new models and of some those already published are discussed. In the section devoted to the experimental sounding of these channels we investigate the most important published measurement results in connection with the theory presented in this work.

A general theoretical model for the mobile radio channel is proposed. In this model the channel looks like a WSSUS-system. The scattering function of this system is derived from the mean density of the electromagnetical power at the receiver location. The most important component of the experimental part is a comparison between some published measurements relating the coherence bandwidth with level c as a function of the time dispersion and a theoretically derived lower bound. This bound shows good agreement with

the experimental values.

New results on the stationarity of microwave radio channels are derived from two proposed models, the general model and the general two paths model. We show that with realistic assumptions for the parameters of the general model, its frequency response is asymptotically first order and weak stationary as the carrier frequency tends to infinity. Consistent with this result is the asymptotic behaviour of the logarithm of the complementary distribution function of the value expressed in dB of the amplitude response at the carrier frequency. This function has an asymptote with a constant slope and a height depending on the carrier frequency. This height converges to a limit as the carrier frequency tends to infinity. Further, as the product of the carrier frequency with the time dispersion takes values near one, the corresponding values for the height are close to the limit. In the experimental part the graphical method for the derivation of the time dispersion is applied to some real channels. The estimates of the time dispersion obtained with this graphical method are close to those derived with classical methods.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit behandelt die Theorie der WSSUS-Systeme und ihre Anwendung an zwei reellen Kanälen, nämlich dem Mobil- und dem Richtfunkkanal.

Das Kapitel 2 enthält eine Darstellung der mathematischen Theorie der linearen Systeme, wie sie von Bello eingeführt wurde. Die charakterisierenden Funktionen der WSSUS-Systeme werden abgeleitet und ihre Bedeutung aufgrund von konkreten Fällen beschrieben. Ebenfalls werden von den charakterisierenden Funktionen abgeleitete Grössen eingeführt, deren Bedeutung im Hinblick auf die experimentelle Erfassung der WSSUS-Systeme gegeben ist.

Im Kapitel 3 werden Äquivalenzklassen von WSSUS-Systemen eingeführt. Eine Äquivalenzklasse enthält alle WSSUS-Systeme mit den gleichen charakterisierenden Funktionen. Die Einführung der Äquivalenzklassen ist insofern sinnvoll, da bezüglich der Beschreibung mittels der charakterisierenden Funktionen zwei Elemente aus derselben Äquivalenzklasse als identisch betrachtet werden können. In jeder Äquivalenzklasse kann ein Repräsentant gewählt werden, welcher als Modell der Elemente dieser Klasse bezeichnet wird.

Eine spezielle Klasse von WSSUS-Systemen, die sogenannten unabhängig zeit- und frequenzselektiven WSSUS-Systeme, wird eingeführt. Man zeigt, dass jedes unabhängig zeit- und frequenzselektive WSSUS-System ein Modell besitzt, welches sich in die Serieschaltung eines rein zeitdispersiven und eines rein frequenzdispersiven WSSUS-Systems zerlegen lässt. In diesem Sinn lassen sich bei den unabhängig zeit- und frequenzselektiven WSSUS-Systemen die Mechanismen der Zeit- und der Frequenzselektivität voneinander trennen. Wegen ihrer grossen Bedeutung werden ebenfalls Modelle für die gaussschen unabhängig zeit- und frequenzselektiven WSSUS-Systeme besprochen. Letztendlich werden die Situationen dargelegt, in welchen die unabhängig zeit- und frequenzselektiven WSSUS-Systeme eine Anwendung finden.

Das Kapitel 4 befasst sich mit der Untersuchung der Frequenzselektivität der rein zeitdispersiven WSSUS-Systeme. Dafür werden zwei Masse

eingeführt, die lineare Amplitudenverzerrung und die Variation, welche die Veränderung des Amplitudengangs über der betrachteten Bandbreite beschreiben.

Man gibt eine graphische Methode an, welche ausgehend vom asymptotischen Verhalten der Verteilungsfunktion der linearen Amplitudenverzerrung und des Amplitudengangs den absoluten Betrag der Frequenzkorrelationsfunktion und daraus der Zeitdispersion liefert.

Im Anhang A zeigt man, dass der Realteil einer Autokorrelationsfunktion durch ihre Taylorpolynome an der Entwicklungstelle Null nach oben oder nach unten je nach dem Grad des Polynoms beschränkt ist. Daraus folgert man die gleiche Aussage für die Variation. In Anhang A leitet man ferner eine untere Schranke für die Autokorrelationsfunktion her, die nur vom zweiten Moment des Spektrums dieser Autokorrelationsfunktion abhängt. Daraus lässt sich eine obere Schranke für die Variation ermitteln, welche nur von der Zeitdispersion abhängig ist. Ferner wird diese Schranke in einer bestimmten Umbebung von Null erreicht, falls das Verzögerungsleistungsdichtespektrum eine Form annimmt, die im Mobilfunk eine Ausbreitungskonfiguration entspricht, in welcher das empfangene Signal aus zwei einfallenden Wellen mit der selben mittleren Leistung besteht, die gegeneinander um die doppelte Zeitdispersion zeitverzögert sind.

Im Kapitel 5 wird die Kohärenz des rein frequenzselektiven WSSUS-Systems näher untersucht. Zusätzlich zum üblichen Begriff der Kohärenzbandbreite mit Niveau c ($c \in (0,1]$) führt man denjenigen der Minimax-Bandbreite B_{c_σ} mit Variation kleiner gleich $2(1-c)$ bei vorgegebener Zeitdispersion σ ein. Die Bedeutung dieses Begriffs liegt in den zwei folgenden Tatsachen. Einerseits zeigt man aufgrund der im vorigen Absatz besprochenen unteren Schranke für den Realteil einer Autokorrelationsfunktion, dass B_{c_σ} der kleinsten möglichen Kohärenzbandbreite mit Niveau c bei vorgegebener Zeitdispersion σ entspricht. B_{c_σ} wird ferner in der im vorigen Absatz vorgelegten Ausbreitungskonfiguration erreicht. Andererseits hängt B_{c_σ} nur von der Zeitdispersion σ ab.

Im Kapitel 6 werden zwei reelle Kanäle, nämlich der Mobil- und der Richtfunkkanal vom theoretischen und experimentellen Standpunkt aus untersucht. In der theoretischen Untersuchung führt man neue Modelle ein, welche zusammen mit den zur Zeit bekannten Modellen besprochen werden. Im praktischen Teil werden die bedeutendsten, in der Literatur publizierten Messergebnisse aus experimentellen Untersuchungen beider Kanäle im Rahmen der in dieser Arbeit vorgelegten Theorie besprochen.

Für den Mobilfunkkanal wird ein allgemeines Modell vorgeschlagen, in welchem er sich als WSSUS-System darstellen lässt. Die Streufunktion die-

ses Systems leitet man aus der Verteilungsdichte der mittleren einfallenden elektromagnetischen Leistung am Empfangsort her. Im praktischen Teil wird insbesondere der experimentell ermittelte Verlauf der Kohärenzbandbreite mit Niveau c als Funktion der Zeitdispersion mit einer theoretisch erhaltenen unteren Schranke verglichen. Diese Schranke liegt nahe bei den experimentellen Werten.

Neue Ergebnisse betreffend der Stationaritätseigenschaften des Richtfunkkanals werden aufgrund von zwei Modellen, dem sogenannten allgemeinen Modell und dem allgemeinen Zweistrahlmodell, besprochen. Man zeigt, dass unter realistischen Voraussetzungen an den Parametern des allgemeinen Modells, letzteres eine Übertragungsfunktion besitzt, welche asymptotisch sowohl erster Ordnung als auch schwach stationär ist, wenn die Trägerfrequenz gegen unendlich geht. Konsistent mit diesem Ergebnis ist der asymptotische Verlauf des Logarithmus der komplementären Verteilungsfunktion des Wertes des Amplitudengangs in dB bei der Trägerfrequenz. Diese Funktion besitzt nämlich eine Asymptote mit einer konstanten Steigung und einem von der Trägerfrequenz abhängigem Abschnitt. Falls die Trägerfrequenz gegen unendlich geht, konvergiert dieser Abschnitt gegen einen festen Wert. Der Wert des Abschnittes liegt ferner schon nahe bei diesem Grenzwert, falls das Produkt der Trägerfrequenz mit der Zeitdispersion in der Grössenordnung von eins ist. Im experimentellen Teil wird insbesondere die entwickelte graphische Methode für die Herleitung der Zeitdispersion bei reellen Kanälen angewendet. Die mit dieser Methode erhaltenen Schätzungen der Zeitdispersion sind in guter Übereinstimmung mit Schätzungen, welche auf anderen Verfahren basieren.