ETH zürich

ETH Library

Untersuchung der Uebertragungseigenschaften von Spread-Spectrum-Phasenhüpfer-Systemen

Doctoral Thesis

Author(s):
Baer, Hanspeter

Publication date:
1981

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-000310338

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 Nr. 6922

UNTERSUCHUNG DER UEBERTRAGUNGSEIGENSCHAFTEN VON SPREAD-SPECTRUM-PHASENHUEPFER-SYSTEMEN

Abhandlung

zur Erlangung

des Titels eines Doktors der technischen Wissenschaften

der

E I D G E N O E S S I S C H E N T E C H N I S C H E N

H O C H S C H U L E Z U E R I C H

vorgelegt von

H A N S P E T E R B A E R

dipl. El.-Ing. ETH

geboren am 27. Juni 1951

von Rothrist (AG)

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. P. Leuthold, Referent

Prof. Dr. P.W. Baier, Korreferent

1981

Abstract

This work deals with the performance of phase-hopping (PH) systems, which are also known as pseudonoise (PN) or direct sequence (DS) systems. The PH modulation technique belongs to the class of spread spectrum techniques which is characterized by the large bandwidth of the transmitted signals and by a considerable immunity to jammers and non-intended interferers.

The report starts with a description of the PH modulation technique and a discussion of the well known properties of PH systems.

Different types of code sequences used in the bandspreading modulation process are compared by means of the corresponding correlation functions. Moreover, it is shown that a new mathematical model of the code generator simplifies the analysis of system performance.

The synchronization of the code signals in the receiver is investigated under the assumption that a serial search process takes place. The results permit the optimum design of the synchronism detector.

The following part of the study treats the effect of signal distortion and synchronization errors on transmission quality. The results demonstrate the degrading effect of bandlimiting due to transmitter and receiver filters and of superimposed echoes caused by multipath propagation of the PH signals. Similar calculations deal with the performance of CDMA systems. Furthermore, it is shown that the use of orthogonal sequences may achieve a remarkable reduction of crosstalk.

The introduction of elements with nonlinear characteristic into the transmission path causes narrowband intermodulation products after demodulation in the receiver. Thus a complete loss of the antijamming capability may result even if a sufficient suppression of interference due to the processing gain is expected.

8. Zusammenfassung

Obwohl PH-Spread-Spectrum-Systeme seit langem bekannt sind und bereits für verschiedene Zwecke eingesetzt werden, fehlen vorerst noch mathematische Methoden zur umfassenden Beschreibung des Verhaltens dieser Systeme unter realistischen Umweltbedingungen. Die Vielfalt verschiedener Varianten von PH-Systemen, bedingt durch die Freiheit in der Wahl des Basismodulationsverfahrens, lässt es aber als aufwendig erscheinen, für jedes Systemkonzept eine eigene Theorie zu entwickeln. In der vorliegenden Arbeit wird aus diesem Grund versucht, die Systeme so weit wie möglich in einzelne Funktionseinheiten aufzulösen und deren Verhalten getrennt zu untersuchen. Dieses Vorgehen wird zudem durch den Umstand erleichtert, dass praktisch sämtliche, dem Nutzsignal nach der Rücktastung und Bandbegrenzung überlagerten Geräuschanteile gauss'schen Charakter aufweisen. Da für die wichtigsten Modulationsverfahren der Zusammenhang zwischen dem Signal-Geräuschverhältnis am Eingang des Demodulators und der Qualität des demodulierten Signals bekannt ist, genügen die im Bericht hergeleiteten Verfahren zur Berechnung der Leistungsfähigkeit eines bestimmten PH-Systems. Die Methode der separaten Betrachtung der Systemblöcke verspricht jedoch nur in denjenigen Fällen Erfolg, in denen man lediglich an den im allgemeinen zu erwartenden Eigenschaften des Systems und weniger an deren Optimierung interessiert ist.

So ist die Analyse der Synchronisationseinheit zur Berechnung der optimalen Synchronisationszeiten nur bei Annahme eines bestimmten Basismodulationsverfahrens möglich. Die Resultate zeigen denn auch die Abhängigkeit der Synchronisationszeiten vom Verlauf des rückgetasteten und bandbegrenzten Empfangssignals. Dieses nunmehr konventionell modulierte ZF-Signal, dessen zeitlicher Verlauf vom Basismodulationsverfahren abhängig ist, liefert mit dem Wert der momentanen Leistung die für den Ablauf der Synchronisation entscheidende Kenngrösse. Die Grobsynchronisation selbst erfolgt mittels eines seriellen Suchprozesses, bei dem die Empfängercodefunktion so lange

schrittweise gegenüber dem Sendercodesignal verzögert wird, bis dank der Periodizität der Codesequenzen die optimale Zeitlage auftritt. Die Analyse liefert als Resultat den mittleren Zeitbedarf für die Grobsynchronisation. Die Minimierung dieser Synchronisationszeit führt zwangsläufig zu einer Vergrösserung der Wahrscheinlichkeit, dass infolge von Fehlentscheiden des Synchronismusdetektors die Codefunktionen künstlich aus ihrer optimalen Zeitlage gebracht werden. Die Dimensionierung der Synchronisationsschaltung stellt demnach in jedem Fall einen Kompromiss zwischen zwei unvereinbaren Forderungen dar. Für die Optimierung ist also eine zusätzliche Nebenbedingung zu berücksichtigen. So sollte während der Grobsynchronisation z.B. eine akzeptable Suchrate eingehalten werden. Die Parameter der Synchronisationsschaltung bestimmt man dann derart, dass eine minimale Verfehlwahrscheinlichkeit resultiert. Die in Kapitel 4 dargestellten Resultate zeigen die Abhängigkeit des Synchronisationsverhaltens von den Systemparametern und erlauben damit die optimale Dimensionierung der Synchronisationsschaltung.

Bei der Untersuchung des Einflusses der nichtidealen Uebertragungseigenschaften des Kanals auf das PH-System kann das Basismodulationsverfahren ausser Betracht bleiben, da die Bandbreite des Sendesignals diejenige des Informationssignals um Zehnerpotenzen übersteigt und da zur Basismodulation Verfahren mit konstanter Enveloppe des Ausgangssignals zur Anwendung kommen. Dies rechtfertigt die Approximation des schmalbandigen Informationssignals durch einen unmodulierten Träger und bringt eine grosse Vereinfachung bei der Berechnung des Eigengeräuschs, welches dem Nutzsignal am Eingang des Datendemodulators überlagert ist. Als Ursache dieses Störsignals kann die lineare Verzerrung des PH-Signals durch Sende- und Empfangsfilter sowie die Ueberlagerung des Empfangssignals mit Echos unterschiedlicher Laufzeit identifiziert werden. Der Einfluss der durch eine Mehrwegausbreitung des Sendesignals verursachten Echokomponenten wird durch die Umtastung

stark reduziert. Unabhängig von der relativen Verzögerung des Echos tritt nach der Umtastung ein Signal-Eigengeräuschabstand auf, der das Verhältnis von Nutz- und Echoleistung des Empfängers um mindestens einen Faktor G/2 übertrifft. Zusätzliche lineare Verzerrungen durch die Bandbegrenzung des PH-Signals führen nur noch zu einem vernachlässigbaren zusätzlichen Geräuschanteil. Diese Aussagen gelten auch bei der betragsmässigen Subtraktion von Nutzsignal und Echo. In diesem Fall kann jedoch unter Umständen eine signifikante Reduktion der Nutzleistung erfolgen, womit natürlich eine Verschlechterung des Signal-Geräuschabstands gegenüber unkorrelierten Störsignalen verbunden ist.

Die geringe Empfindlichkeit von PH-Systemen bezüglich der Bandbegrenzung des Sendesignals spricht bei Systemen mit einem Prozessgewinn von 100 und mehr gegen eine modifizierte Form der Bandbreitenspreizung, bei der sich z.B. durch eine weichere Phasenumtastung ein günstiger Verlauf des PH-Spektrums erzielen liesse.

Liegt ein fremdes PH-Signal am Empfängereingang an, so resultiert ein Störsignal mit einer bestimmten Leistung am Ausgang des Störunterdrückungsfilters. Die mittlere Störleistung ist aber nicht mehr von der linearen Verzerrung des Empfangssignals, sondern nur noch von dessen Gesamtleistung abhängig. Die Analyse des Problems mit periodischen Modell-Sequenzen, die einfach beschreibbare statistische Eigenschaften aufweisen, zeigt die Abhängigkeit der Störleistung von den Systemparametern L und G, d.h. von der Periode der Codesequenz bzw. vom Prozessgewinn. Eine Steigerung von G über eine durch L festgelegte Grenze hinaus bringt keine weitere Verbesserung bei der Unterdrückung von unerwünschten PH-Signalen. In Systemen mit hohem Prozessgewinn müssen demnach Codesignale mit grosser Periodendauer eingesetzt werden. Die Wahl von G beeinflusst damit auch die Synchronisation der Codesignale.

Bei einer Mehrkanal-Punkt-zu-Punkt-Verbindung ist es sinnvoll, orthogonale Sequenzen zur Trennung der einzelnen Informationssignale zu verwenden. Gerade in denjenigen Fällen, in denen mit den üblichen Sequenzen eine Steigerung der Störunterdrükkung durch die Vergrösserung von G nicht mehr möglich ist, ergibt sich dank der Eigenschaft der Orthogonalität eine eindrucksvolle Vergrösserung des Störabstands gegenüber unerwünschten PH-Signalen. Vorbedingung dazu ist allerdings eine möglichst verzerrungsarme Uebertragung, welche die Orthogonalität nicht zerstört. Ebenso ist ein exakter Synchronismus von sämtlichen bei der Uebertragung eingesetzten Codefunktionen nötig, da die Orthogonalität nur für eine bestimmte relative Zeitlage der Codefunktionen gewährleistet ist.

Besonders interessante Resultate liefert die Analyse des rückgetasteten PH-Signals, wenn das Sendesignal auf dem Uebertragungsweg nichtlineare Verzerrungen erfährt. Am Beispiel eines harten Begrenzers (Hard Limiter), an dessen Eingang neben dem PH-Nutzsignal auch Störsignale anliegen, wurde gezeigt, dass sich das rückgetastete Empfangssignal nicht nur als Superposition von Nutzsignal und breitbandigen Störsignalen zusammensetzt. Vielmehr weist ein Teil der Intermodulationsprodukte eine Bandbreite in der Grössenordnung des schmalbandigen Nutzsignals auf. Sowohl schmalbandige Störer als auch fremde breitbandige PH-Signale verursachen schmalbandige Intermodulationsprodukte identischer Leistung nach der Umtastung. Da letztere nicht mehr mit der Empfängercodefunktion verknüpft sind, lässt sich deren Störwirkung auch durch eine Vergrösserung des Prozessgewinns G nicht reduzieren. Daher besteht die Gefahr, dass in einem PH-System mit einer Nichtlinearität im Uebertragungsweg die durch fremde Signale verursachte Störleistung wesentlich grösser ist, als dies aufgrund des Prozessgewinns abgeschätzt werden kann.

Sowohl die vorliegende Studie als auch frühere Untersuchungen der Leistungsfähigkeit von PH-Spread-Spectrum-Systemen [5] stützen sich auf rein theoretisch begründete Kanalmodelle ab,

da die Uebertragungseigenschaften von realen Breitbandkanälen für drahtlose und leitungsgebundene Nachrichtenverbindungen messtechnisch noch wenig erfasst sind. Damit drängen sich als nächster Schritt entsprechende Messungen zur umfassenden Abklärung der Kanaleigenschaften auf, deren Ziel in der Definition eines Kanalmodells besteht, das sowohl die topographischen Geländeverhältnisse als auch systemspezifische Kenngrössen wie z.B. Frequenzbereich und Bandbreite berücksichtigt. Zusätzlich müssen geeignete Randbedingungen zur messtechnischen Bestimmung der einzelnen Parameterwerte festgelegt werden. Dabei ist zu beachten, dass die so gewonnenen Kanalmodelle ebenfalls die Simulation einer Uebertragung mittels konventioneller Modulationstechniken und damit den Vergleich der unterschiedlichsten Verfahren unter realistischen Nebenbedingungen zulassen.

Der vorliegende Bericht beschränkt sich auf die Untersuchung eines reinen PH-Systems. Eine weitere Verbesserung der Systemeigenschaften könnte durch eine geeignete Kombination verschiedener Spread-Spectrum-Verfahren erreicht werden. Als Beispiel sei ein System erwähnt, das sowohl die Phasenhüpfer (PH)- als auch die Frequenzhüpfer (FH)-Technik [1] verwendet. Wenn einerseits ein schmalbandiges Störsignal am Eingang eines nichtlinearen Elementes im Uebertragungsweg vorliegt, so muss dieses Signal den Frequenzsprüngen des PH-FH-Signals exakt nachfolgen, um den gleichen Störeffekt wie ein Träger mit konstanter Frequenz in einem reinen PH-System zu verursachen (siehe Kapitel 7). Andererseits erschwert die Mehrwegausbreitung des Nutzsignals den Betrieb eines FH-CDMA-Systems, da die resultierenden Echos in einem Unterkanal auch dann noch zu starken Störungen anderer Teilnehmer führen, wenn das Nutzsignal bereits einen Frequenzwechsel vorgenommen hat. In diesem Fall ergibt eine zusätzliche Phasenumtastung des FH-Signals eine Reduktion der Störleistung fremder PH-FH-Signale.

Die vorangehenden Ueberlegungen zeigen, dass eine erfolgreiche Verbindung der unterschiedlichen Strategien von PH- und FH-Verfahren zur Verringerung des Störeinflusses fremder Signale möglich ist. In einem PH-System lässt sich die Störunempfindlichkeit bekanntlich mit der Dämpfung sämtlicher im Uebertragungsbereich auftretenden Signale proportional zum Prozessgewinn erklären. Im Gegensatz dazu versucht ein FH-Signal schmalbandigen Störern durch einen häufigen Kanalwechsel auszuweichen. Auch Kombinationen mit weiteren bandspreizenden Verfahren, z.B. mit der Zeithüpfer (Time Hopping, TH)-Technik oder der "Chirp"-Technik [1], können zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit des Systems beitragen. Das optimale Systemkonzept richtet sich in jedem Anwendungsfall nach den geforderten Betriebsbedingungen.