



Doctoral Thesis

## Ueber die Anwendung der Phasenhüpfertechnik in zellularen Digitalfunknetzen

**Author(s):**

Grob, Urs

**Publication Date:**

1989

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000586267> →

**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. 9014

*P. Leuthold*

26.1.90

**ÜBER DIE ANWENDUNG  
DER PHASENHÜPFERTECHNIK  
IN ZELLULAREN  
DIGITALFUNKNETZEN**

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

**vorgelegt von  
URS GROB  
dipl. El. Ing. ETH  
geboren am 16. April 1957  
von Wattwil (SG)**

**Angenommen auf Antrag von  
Prof. Dr. P. E. Leuthold, Referent  
Dr. W. R. Braun, Korreferent**

**ADAG Administration & Druck AG  
Zürich 1989**

# ABSTRACT

In this thesis work, the performance of a cellular radio system using direct-sequence spread-spectrum modulation is investigated. Two major problems are considered: the selection of suitable spreading functions and the optimization of the receiver.

Systems that use the whole spreading sequence exactly once for each information symbol are of special interest with regard to CDMA. With an appropriate scheme for the generation of the different signals for all connections within one cell the interference due to other connections can be minimized. To achieve this property the codes for the spreading functions are selected such that they are almost orthogonal to each other. One set of suitable sequences is assigned to each cell. The codes considered are binary pseudorandom sequences, generated with linear feedback shift registers. Thereafter, a model for the estimation of the number of suitable sequences which can be found for each set is described. The correlation parameters for different families of code sequences with length 1023 are listed. Finally, the result of a search for 20 different sets of Gold-codes is presented.

With the aim to combine the energy of all signal components with different delays the considered receiver uses several demodulators working in parallel. The despreading functions feeding the different demodulators are shifted in time against one another. The combination of all demodulator outputs is used to estimate the transmitted data. To achieve the best performance the rules for weighting each signal before combining are elaborated taking into account additive gaussian noise at the receiver input. It turns out that it is necessary to estimate a data-independent signal array and to multiply it with a matrix. As optimum weighting requires much computation it is compared to the much simpler maximal ratio combining. Finally, the losses depending on the signal bandwidth after the receiver input filter and on the time shift of the despreading functions are described.

## Kapitel 6

# ZUSAMMENFASSUNG

Die Phasenhüpfertechnik erlaubt eine kontinuierliche Übertragung von Information mit sehr breitbandigen Signalen. Daraus resultiert eine hohe Robustheit gegenüber frequenzselektiven Schwunderscheinungen, und es wird möglich, die Signale über verschiedene Ausbreitungspfade dank der Laufzeitdifferenzen getrennt zu erfassen. Der grosse Bandbreitebedarf verlangt aber eine Realisation des Vielfachzugriffes mittels Codemultiplexverfahren. Dies bringt den Nachteil mit sich, dass Signale vieler gleichzeitiger Verbindungen eines Funknetzes in demselben Frequenzband liegen. Somit treten Störungen durch Übersprechen auf.

In der vorliegenden Arbeit erfolgt die Behandlung zweier Problemkreise betreffend die Anwendung der Phasenhüpfertechnik. Einerseits geht es um die Wahl günstiger Spreizcodes zur Minimierung des Übersprechens, andererseits soll der Empfänger so optimiert werden, dass möglichst viel Energie des Empfangssignals bei der Demodulation ausgenützt wird.

Das unvermeidbare Übersprechen zwischen den Kanälen eines Funknetzes, bei dem die Phasenhüpfertechnik Anwendung findet, verlangt eine zellulare Organisation des Netzes. Dann besteht die Möglichkeit, die gegenseitigen Störpegel so klein zu halten, dass eine genügende Übertragungsqualität gewährleistet bleibt. Gerade die zellulare Struktur erlaubt aber weitere organisatorische Massnahmen zur Bekämpfung des Übersprechens. Speziell in Systemen, bei denen jedes übertragene Datenbit mit derselben Funktion gespreizt wird, ist es möglich, die gegenseitige Lage der Spreizfunktionen durch eine synchrone Aufbereitung aller Signale in der zentralen Station jeder Zelle zu fixieren. Bei den mobilen Stationen können wegen der Mehrwegausbreitung verschiedene Signale mit zeitlich versetzten Spreizfunktionen zusammentreffen. Dabei ist der maximale Zeitversatz natürlich von der Funkumgebung abhängig, meistens aber sehr klein im Vergleich zur Dauer der Spreizfunktion. Dieses Verhalten

erlaubt das Aufstellen verschiedener Optimierungskriterien für die Wahl von Spreizfunktionen. Um das Übersprechen bei den Mobilstationen klein zu halten, beinhaltet eine optimale Codewahl für ein derartiges System sicherlich, dass die Kreuzkorrelationsfunktionen der verwendeten Spreizsequenzen mindestens für die fixierte gegenseitige Lage minimal sein soll. Damit bietet sich für alle Verbindungen innerhalb einer Zelle die Anwendung eines praktisch orthogonalen Codesatzes an, womit vor allem für die mobilen Stationen günstige Verhältnisse herrschen. Natürlich ist es wünschenswert, auch die Kreuzkorrelationsfunktionen der leicht gegeneinander versetzten Sequenzen zu optimieren, um Echokomponenten fremder Signale gut zu unterdrücken. Um die Frage zu klären, ob dann noch genügend günstige Spreizfunktionen auffindbar sind, wurde ein Modell aufgestellt, das eine Abschätzung dieser Menge anhand weniger, leicht berechenbarer Parameter von Familien pseudozufälliger Sequenzen erlaubt. Untersuchungen an Sequenzen der Länge 1023 führen auf die wichtigen Korrelationsparameter verschiedener Codefamilien. Eine durchgeführte Suche nach günstigen Codes aus einer Familie von Gold-Sequenzen unter Berücksichtigung verschiedener Kriterien bestätigt schliesslich das Modell.

Sind die Spreizfunktionen eintreffender Signalkomponenten gegenüber der Rückspreizfunktion im Empfänger um mehr als ein Codechip verschoben, so kann ein einfacher Empfänger die Energie dieser Komponenten nicht mehr für die Demodulation ausnutzen. Besitzt der Empfänger aber mehrere parallel arbeitende Demodulatoren mit gegeneinander versetzten Rückspreizsequenzen, so können verschiedene Echokomponenten, deren Laufzeitdifferenzen auch grösser als eine Chipdauer sind, zur Demodulation beitragen. Die Analyse und Optimierung eines derartigen Empfängers bildet den zweiten Teil dieser Arbeit. Mitberücksichtigt werden ein Eingangsfiler beim Empfänger und ein Ausgangsfiler beim Sender, wobei sich ein Optimum für die Symbolfehlerwahrscheinlichkeit bei signalangepassten Filtern ergibt. Das Kernproblem beim Empfänger liegt in der Art der Kombination der Ausgangssignale aller Demodulatoren. Jedes Signal trägt, einzeln gewichtet, zum Empfängerausgangssignal bei. Die optimale Gewichtung lässt sich als Funktion der Filterstossantworten, der Codesequenzen, der Kanalstossantwort und des zeitlichen Versatzes der Rückspreizsequenzen beschreiben. Dabei sind in einem System die Filterstossantworten und der zeitliche Versatz der Rückspreizsequenzen von der Konzeption her fixiert. Die Abhängigkeit von der verwendeten Codesequenz beruht darauf, dass die Autokorrelationsfunktionen verschiedener Sequenzen natürlich differieren. Viele Probleme lassen sich aber leicht behandeln, wenn für Berechnungen eine fiktive Codesequenz mit idealer AKF

herangezogen wird. Bestimmen Resultate für diese Sequenz die Normen, so charakterisieren die bei genügend grossem Prozessgewinn und guter Codewahl oft verschwindend kleinen Differenzen zwischen diesen Normen und Resultaten, die für reelle Sequenzen gelten, die Codeverluste.

Die erreichbare Symbolfehlerwahrscheinlichkeit lässt sich für ideale Übertragungsbedingungen als eine Funktion der Filterbandbreiten und des zeitlichen Versatzes der Rückspreizsequenzen darstellen. Um eine solche Symbolfehler-WSK in der Praxis zu erzielen, benötigt man aber nebst einer Schätzung eines datenunabhängigen Signalvektors auch noch dessen Multiplikation mit einer Matrix. Interessante Vergleiche ergeben sich deshalb bei nicht optimaler, aber bedeutend einfacherer Gewichtung. Dabei folgt, dass die Verluste gegenüber dem Optimum bei günstiger Wahl der Bandbreite und des Zeitversatzes der Rückspreizsequenzen klein sind. Weitere Untersuchungen zeigen, dass der Empfänger in der Lage ist, differentiell vorcodierte Daten optimal zurückzugewinnen. Allerdings ist diese Eigenschaft an die Notwendigkeit gebunden, das Bandpasssignal mit Hilfe eines separat erzeugten Trägers ins Basisband zu transferieren, d.h. die Trägerfrequenz muss bekannt sein.

Die Charakterisierung der Störungen fremder Phasenhüpfersignale ist schwierig. Es lassen sich zwar Schranken für die Störleistung angeben, jedoch bedarf es hier noch ausgiebiger Simulationen, um genauere Aussagen über die Störwirkungen aufzustellen. Dabei muss man berücksichtigen, dass fremde PH-Signale, die datensynchron aufbereitet wurden und denselben Funkkanal durchlaufen, andere Störeinflüsse verursachen als asynchrone Signale mit sehr unterschiedlicher Dämpfung. Die besten Voraussetzungen für eine aussagekräftige Simulation ergeben sich dann, wenn gemessene Kanalstossantworten zur Simulation herangezogen werden. Derartige Simulationen sind nötig, um beispielsweise den maximalen Verkehrsfluss, den ein Phasenhüpfersystem erträgt, in Funktion des Prozessgewinnes zu bestimmen. Für einen neuen gewünschten Dienst lassen sich damit Aussagen über den Bandbreitebedarf und die Realisierbarkeit bei der Anwendung der Phasenhüpfertechnik finden.

In dieser Arbeit wird versucht, verschiedene Sätze von Codesequenzen so zu finden, dass zwei Sequenzen desselben Codesatzes in einem gewissen Bereich gegenseitiger Verschiebung praktisch orthogonal zueinander sind. Dieser erlaubte Bereich gegenseitiger Verschiebung muss allerdings sehr klein gewählt werden, wenn die Anzahl günstiger Sequenzen überhaupt ein System mit Codemultiplex zulassen soll. Dabei besteht die Notwendigkeit der synchronen Aufbereitung der Daten in den zentralen Statio-

nen und die Einschränkung, dass die Dauer der Spreizfunktion mit der Übertragungsdauer der Symbole übereinstimmen muss. Die Codeoptimierung kommt speziell dann zum Tragen, wenn die Mehrwegverbreiterung durch die Funkübertragung etwa in diesem erlaubten Rahmen der Verschiebung begrenzt bleibt. In praktischen Anwendungen ist auch der gezeigte RAKE-Empfänger nur in der Lage, ein im Vergleich zur Datendauer sehr kleines Intervall der Kanalstossantwort auszuwerten. Dies begründet sich damit, dass der technische Aufwand und somit auch die Kosten praktisch proportional zu der Anzahl Empfängerarme steigt. Ein System, das nach dem beschriebenen Konzept aufgebaut ist und dessen Empfänger die RAKE-Struktur aufweisen, ist deshalb speziell für Anwendungen in Kleinstzellenfunknetzen geeignet, bei denen starke Echokomponenten mit grossem zeitlichen Versatz sehr unwahrscheinlich sind.

Wenn die Funkübertragung über Kanäle zu erfolgen hat, die zeitlich weit versetzte Echokomponenten aufweisen, kann ein Empfängertyp mit mehreren parallel arbeitenden Demodulatoren interessant sein, bei dem der zeitliche Versatz der verwendeten Rückspreizfunktionen nicht fixiert ist. Dies erlaubt eine dynamische Anpassung des Empfängers an die Charakteristik des Funkkanals. Messdaten von Übertragungskanälen [HUP88] zeigen, dass für Mobilfunkanwendungen etwa drei Demodulatoren genügen, um die wichtigsten Echokomponenten und damit den Grossteil der Signalenergie zu erfassen. Das Hauptproblem bei diesem Empfänger wird darin liegen, die Kanalcharakteristik schnell über einen grossen Zeitbereich zu schätzen und die Rückspreizfunktionen zeitlich mit genügender Genauigkeit so zu erzeugen, dass die Energie dieser Signalkomponenten überhaupt ausgenutzt werden kann.

Sollen bestimmte Dienste mit einem System betrieben werden, das die Phasenhüpfertechnik zusammen mit einem weiteren Verfahren als hybrides Modulationsverfahren anwendet (z.B. Zeit-Codemultiplex TDM-CDM, wobei der Codemultiplex mit der Phasenhüpfertechnik realisiert ist) oder betrachtet man Netze, die nicht zellular aufbaubar sind (z.B. Satellitenkommunikation), so lassen sich natürlich je nach Anwendung andere Optimierungsregeln für die Wahl von Spreizfunktionen finden. Bei hybriden Verfahren, die für die Phasenhüpfertechnik relativ kurze Codesequenzen verwenden, können auch SAW-Korrelatoren für die Demodulation interessant werden. Fragwürdig bleibt allerdings, ob es in naher Zukunft SAW-Elemente gibt, die durch elektronische Zusatzschaltungen das Programmieren des Elementes für eine bestimmte Codesequenz genügender Länge erlauben.

Die in dieser Arbeit präsentierten Resultate stammen vorwiegend aus einem Projekt, das zum Ziel hatte, die Anwendbarkeit der Phasenhüpfertechnik für ein drahtloses Hauskommunikationssystem zu überprüfen. Die Codewahl ist daher entsprechend für diese Anwendung optimiert, und der Aufwand für den Aufbau eines RAKE-Empfängers, der in Funkumgebungen innerhalb von Gebäuden den Grossteil der empfangenen Signalenergie auszuwerten vermag, hält sich in vertretbaren Grenzen. Vorgängige Betrachtungen zeigen aber, dass viele Anwendungen möglich sind, bei denen eine andere Codewahl oder ein anderer Empfängertyp Vorteile bringt.