

Seminararbeit

Spread Spectrum
Frequenzspreizkonzepte im Überblick

Simon Wittenberg

27. November 2007

Betreut durch Prof. Dr. Christian Schindelhauer

Abstract

Seit der Einsatz von funkwellengestützter Kommunikation stark zugenommen hat ist gleichzeitig in bestimmten Bereichen die Notwendigkeit der verschlüsselten oder störungsgeschützten Kommunikation gewachsen. Militärische Informationsübermittlung soll für den Feind schwierig bis unmöglich zu bemerken und zu entschlüsseln sein, stark genutzte Frequenzen sollen für eine möglichst große Anzahl Nutzer störungsfrei nutzbar sein. Diese Seminararbeit möchte drei bekannte Techniken im Bereich der Frequenzspreizung vorstellen und erläutern die sich mit der Lösung dieser Probleme beschäftigen.

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation	3
2	Spread Spectrum	4
2.1	Überblick	4
2.2	Technologiespektrum	4
3	Frequency Hopping	5
3.1	Funktionsweise	6
3.2	Einsatzgebiet	6
3.3	Besonderheiten	7
4	Direct Sequence	7
4.1	Funktionsweise	7
4.1.1	Beispiel	8
4.2	Einsatzgebiet	8
4.3	Besonderheiten	9
5	Code Division Multiple Access	9
5.1	Funktionsweise	9
5.1.1	Beispiel	10
5.2	Einsatzgebiet	12
5.3	Besonderheiten	12
6	Zusammenfassung	12

1 Motivation

Gleichzeitig mit der Entwicklung von Techniken und Methoden zur Informationsübermittlung erwuchs auch die Notwendigkeit die Informationsübermittlung sicher zu gestalten. Dies bedeutet einerseits die Übermittlung der Informationen vor Störeinflüssen zu schützen, als auch sicherzustellen, dass die Informationen nur denjenigen zugänglich sind für die sie auch bestimmt sind. Diese Notwendigkeit ist älter als der Mensch, denn selbst Informationen, die nicht an den abstrakten und komplexen Informationsgehalt humanverbaler Kommunikation heranreichen, können unter bestimmten Umständen einen Vorteil gegenüber dem Sender bzw. Urheber der Information bedeuten. Beispielsweise sind in der Natur Informationen über den Aufenthaltsort und den gesundheitlichen bzw. emotionalen Status eines Lebewesens entscheidend für dessen Überlebenschancen. Im Bereich der humanverbaler Kommunikation und Informationsübermittlung ist das Bedürfnis nach Sicherheit der Informationen und deren ungestörte Übertragung um ein vielfaches komplexer.

Ein Störfaktor für die Kommunikation zwischen verschiedenen Parteien ist die Kapazität des genutzten Mediums. Beispielsweise fasst zwar ein Festraum eine unterschiedlich große Anzahl an Gästen, der Raum für Informationsübermittlungen ist dagegen beschränkt. In diesem Beispiel könnten die diversen Parteien versuchen sich gegenseitig zu übertönen. Ähnlich verhält es sich mit der Kommunikation über Funkwellen, versuchen viele Parteien gleichzeitig unkontrolliert zu senden, so ist das Ergebnis im schlimmsten Fall ein unüberschaubares Chaos, die Informationsübermittlung sämtlicher Parteien wird gestört und die Stimmung ist im Keller. Naive Lösungen hierfür wären die räumliche oder zeitliche Trennung. Für die Funktechnik würde dies bedeuten, dass jedem Sender eine Frequenz für einen bestimmten Zeitraum oder auch dauerhaft eingeräumt wird. Die Effizienz dieser Lösung ist abhängig von der Nachfrage nach und der Verfügbarkeit von Frequenzen. Während es z.B. weniger Radiosender gibt als Frequenzen zur Verfügung stehen lässt sich diese Lösung bei der drahtlosen Kommunikation durch Mobiltelefone nicht anwenden, da die Anzahl möglicher und tatsächlicher Sender die Anzahl verfügbarer Frequenzen bei weitem übersteigt.

2 Spread Spectrum

In diesem Abschnitt möchte ich die drei wichtigsten Konzepte im Bereich des Spread Spectrum (*Frequenzspreizung*) kurz anhand ihrer Merkmale und Eigenheiten vor- und gegenüberstellen und so einen Überblick über die, in den folgenden Abschnitten näher und ausführlicher beschriebenen, Konzepte bieten.

2.1 Überblick

Die grundlegende Idee hinter den Techniken zur Frequenzspreizung (Spread Spectrum) ist die Erzeugung eines analogen, also über Funkwellen übertragbaren, schmalbandigen Signals als eigentlichem Informationsträger. Anschließend wird dieses Signal durch den Spreizcode (Spreading Code), bzw. die Spreizsequenz (Spreading Sequence) weiter moduliert. Typischerweise wird die Spreizkodierung (bzw. Chippingsignal, -sequenz) durch einen Pseudolärm-, bzw. Pseudozufallszahlengenerator auf Basis einer Saat¹ erzeugt die normalerweise nur dem Sender und Empfänger bekannt ist[4]. Der Empfänger schließlich kann die Spreizung und damit das entsprechend modulierte Signal auf Basis der Saat demodulieren und damit auf die im eigentlichen Datensignal enthaltenen Informationen zugreifen. Im Falle des Frequenzsprungkonzepts ist der Spreizcode jedoch nicht für die (De-)Modulation der Bandbreite, sondern die korrekte Abfolge der zu sendenden, bzw empfangenden, Frequenzen nötig². Das grundlegende Ziel ist es die Bandbreite des zu übermittelnden Signals signifikant zu erhöhen um dessen Störanfälligkeit und/oder Abhörbarkeit zu verringern[4]. Mögliche Störungen sind Interferenzen auf der Trägerfrequenz³ entweder durch atmosphärische Störungen, die absichtliche oder unabsichtliche Störung durch andere Elektromagnetische Geräte oder andere Benutzer einer Frequenz.

2.2 Technologiespektrum

Die älteste und wohl einfachste der Methoden zur Frequenzspreizung die ich im Folgenden vorstellen möchte ist das *Frequenzsprungkonzept*⁴ bei dem ein Informationssignal in festen zeitlichen Intervallen über verschiedene Frequenzen verteilt wird. Bei diesem Konzept wird das Signal selbst nicht verändert, die Bandbreitenmodulation ist rein temporal.

¹engl. seed : Startwert für Algorithmen zur Berechnung von Pseudozufallszahlen

²siehe Abschnitt 3

³Frequenz die selbst keine Informationen übermittelt sondern nur als Träger für das Informationssignal dient

⁴(siehe Abschnitt 3)

Bei der *Spreizbandtechnik*⁵ hingegen wird das Informationssignal bitweise auf ein Träger-signal mit höherer Datenrate und dementsprechender Bandbreite moduliert. Durch die entstehenden Redundanzen ist das Signal schwerer zu stören und abzuhören, da es einem möglichen Empfänger ohne Wissen um die Existenz der Übertragung schwerfällt diese überhaupt vom Hintergrundrauschen unterscheiden zu können. Das *Codemultiplexverfahren*⁶ als letztes vorgestelltes Verfahren ermöglicht es auf einer Trägerfrequenz Signale unterschiedlicher Sender gleichzeitig zu empfangen und nach durch entsprechende Demodulation auch dem richtigen Sender zuzuordnen.

3 Frequency Hopping

Eine einfache Möglichkeit eine Übertragung zu verstecken oder eine gewisse Bandbreite an Frequenzen, auf denen auch Übertragungen Dritter zu erwarten sind, effizient zu nutzen ist es die Trägerfrequenz während der Übertragung in pseudozufälligen Intervallen zu wechseln. Als Erfinder dieser Technik gelten die exilierte wiener Schauspielerin, und zu diesem Zeitpunkt Ex-Gattin des wiener Waffenproduzenten Fritz Mandl, Hedy Lamarr und ihr Komponist George Antheil. Obwohl Tony Rothman in seinem Buch *Everything's Relative: And Other Fables from Science and Technology* anzweifelt, dass die theoretische Grundlage, auf der das Patent 1942 erteilt wurde, ausreichend wissenschaftlich war um zu behaupten, dass heutige Anwendungen darauf basieren waren es Hedy Lamarr und George Antheil die dieses Konzept erstmals entwickelten. (Nach [1]:) Lamarr hatte durch ihren ersten Ehemann Einblick in die Funktionsweise von ferngesteuerten Torpedos erhalten. Die größte Schwierigkeit bei diesem Unterfangen war neben der Synchronisation die Störanfälligkeit. Lamarr kam auf die Idee des laufenden Frequenzwechsels und entwickelte Zusammen mit ihrem Komponisten George Antheil ein auf Lochkarten basierendes System welches der Steuerung mechanischer Klaviere glich. Lamarr und Antheil profitierten nie von ihrem Patent bis es 1956 auslief.

Während andere Frequenzspreizkonzepte die Spreizung des Spektrums des Ursprungssignals durch die Modulation mit einem breitbandigeren Signal erreichen spreizt das Frequenzsprungverfahren das Signal lediglich im zeitlichen Sinne über verschiedene Frequenzen. Das Spektrum des Ursprungssignals weist dieselbe Bandbreite wie das modulierte Signal auf. Während der Übertragung wird das Ursprungssignal mit einer Frequenz multipliziert die sich abhängig vom gewählten Chippingsignal in bestimmten Zeitintervallen verändert.

⁵(siehe Abschnitt 4)

⁶(siehe Abschnitt 5)

3.1 Funktionsweise

Nach [4]: Vorbereitend werden die Trägerfrequenzen festgelegt und eine entsprechende Abfolge von Frequenzen auf Basis des Spreizcodes, der dem Sender wie dem Empfänger bekannt ist, festgelegt. Die Abfolge bestimmt wielange und in welcher Reihenfolge auf den einzelnen Trägerfrequenzen gesendet wird. Für die eigentliche Übertragung wird ein binärer Datenstrom durch ein entsprechendes Modulationsverfahren in analoge Wellen umgewandelt. Das resultierende Eingangssignal zentriert sich auf eine bestimmte Basisfrequenz. Ein Frequenzgenerator erzeugt ein Signal das entsprechend des Spreizcodes in bestimmten Intervallen die Frequenz wechselt. Dieses Signal wird mit dem Eingangssignal multipliziert, anschließend werde durch einen Bandfilter unerwünschte Frequenzen blockiert.

Der Empfänger springt im selben Takt wie der Sender entsprechend des Spreizcodes durch die Frequenzen. Durch eine erneute Multiplikation mit dem Spreizcode und einer Bandfilterung erhält der Empfänger das Eingangssignal, welches demoduliert den ursprünglichen, binären Datenstrom ergibt. Man unterscheidet beim Frequenzsprungverfahren zwischen schnellem⁷ und langsamem⁸ Springen zwischen den Frequenzen. Wenn die Datenrate, also die Anzahl Bits die zwischen zwei Frequenzsprüngen übertragen wird, größer gleich 1 ist, so spricht man von langsamen Sprüngen, werden Bits hingegen über mehrere Sprünge "verteilt" (siehe Abschnitt 4 zum Thema Direct Sequence), so spricht man von schnellen Sprüngen. Von einem adaptischen Frequenzsprungverfahren (*Adaptive Frequency Hopping*) spricht man wenn stark frequentierte Frequenzen selten oder garnicht gewählt werden um die insgesamte Last gleichmäßiger auf die zur Verfügung stehenden Frequenzen zu verteilen.

3.2 Einsatzgebiet

Ursprünglich sollte diese im Verlauf des zweiten Weltkriegs entwickelte Technik die Kommunikation mit den Torpedos der Alliierten störsicher machen und es so ermöglichen dem Torpedo im Wasser Informationen zur Kurskorrektur über Funkwellen zu senden[1]. Während die Alliierten das Konzept ob seiner Herkunft nicht ernst nahmen und daher auf einen Einsatz verzichteten wird diese Technik heute tatsächlich im Bereich der militärischen Kommunikation und ironischerweise der Flugzeuggestützten Steuerung von Torpedos eingesetzt. Im zivilen Sektor verwendet Bluetooth seit dem Standard 1.2 das

⁷Fast Frequency Hopping

⁸Slow Frequency Hopping

adaptive Frequenzsprungverfahren[3]. Zudem wird das Frequenzsprungkonzept im Mobilfunkstandard GSM eingesetzt[3].

3.3 Besonderheiten

Das Frequenzsprungkonzept ist relativ leicht zu implementieren und bietet abhängig von den gewählten Parametern und zur Verfügung stehenden Frequenzen einen guten Schutz vor Störsendern, da eine blockierte Frequenz lediglich zum Verlust einzelner Bits oder Teilen⁹ eines Bits führt die eventuell mit geeigneten Korrekturverfahren sogar wiederhergestellt werden können[4]. Zudem ist es schwer abzufangen, da die genaue Frequenzfolge bekannt sein muss um mehr als nur Bruchstücke durch das Abhören einer einzelnen Frequenz zu erhalten.

4 Direct Sequence

Nach [4]: Direct Sequence Spread Spectrum (*DSSS*) ist ein Verfahren bei dem das Eingangssignal so moduliert wird, dass jedes einzelne Bit im modulierten Signal durch mehrere Bits repräsentiert wird. Ein Bit aus dem Eingangssignal kann so auf beliebig viele Bits "gestreckt" werden. Während beim Frequenzsprungkonzept (siehe Abschnitt 3) die Tarnung des Signals durch den häufigen und pseudozufälligen Wechsel der Trägerfrequenz erreicht wird, wird das Signal beim DSSS -Konzept durch die Modulation mit dem Spreizcode im Hintergrundrauschen versteckt. Durch die entstehenden Redundanzen ist es ausserdem nur sehr begrenzt Störanfällig.

4.1 Funktionsweise

Das Konzept funktioniert ähnlich wie das Frequenzsprungverfahren¹⁰ wobei beim DSSS Verfahren kein Frequenzwechsel stattfindet. Die Binärdaten werden in analoge Signale umgewandelt und mit dem, durch einen Pseudonoisegenerator¹¹ mit einer bestimmten Saat erzeugten, Spreizcode moduliert. Eine gängige Methode um die Spreizung des Signals zu erreichen ist es das logische *exklusiv oder* auf die einzelnen Bits und den Spreizcode (Spreading Sequence) anzuwenden.

⁹Im Falle schneller Frequenzsprünge

¹⁰vgl. Abschnitt 3

¹¹siehe Abschnitt 2

4.1.1 Beispiel

Beispiel¹²:

Eingabefolge : 101110

Spreizcode : 0110

Ausgabesignal = *Eingabefolge* \oplus *Spreizcode* : 1001 0110 1001 1001 1001 0110

Das so entstandene Ausgabesignal ist ohne die Kenntnis um den Spreizcode, bzw dessen Länge ist nur schwer vom Hintergrundrauschen zu unterscheiden und durch die entsprechend höhere Bandbreite auch schwerer zu stören. Der Empfänger kann das so empfangene Signal anhand des, durch einen mit derselben Saat versehenen Pseudonoisegenerators erzeugten, Spreizcodes und Anwendung des logischen *exklusiv oder* auf das empfangene Signal und den Spreizcode eine Repräsentation der Eingabefolge berechnen. Entsprechend der Länge k des Spreizcodes ergibt ein Bit der Eingabefolge k Bits mit Wert 1, bzw. 0.

Beispiel¹³:

Empfangssignal : 1101 0010 1101 1101 0010 0010

Spreizcode : 0010

Nachrichtensignal = *Empfangssignal* \oplus *Spreizcode* : 1111 0000 1111 1111 0000 0000

Dies entspricht der Eingabefolge : 101100

4.2 Einsatzgebiet

Das DSSS Konzept findet aufgrund seiner sehr geringen Störanfälligkeit breiten Einsatz in der modernen Welt. Neben dem Militär, welches das Verfahren aufgrund der Tatsache, dass es für gegnerische Störsysteme fast vollständig unanfällig und schwer zu entschlüsseln ist, sehr zu schätzen weiß, ist es in den Bereichen GPS, WLAN, UMTS, UWB, ZigBee und WirelessUSB zu finden[3].

¹²nach [4]

¹³nach [4]

4.3 Besonderheiten

Durch die Möglichkeit ein schmalbandiges Signal sehr weit zu spreizen und damit ein breitbandiges Signal zu erzeugen, welches sowohl schwerer zu stören, als auch aufzufangen ist und gleichzeitig auch andere Signale weniger stört als es schmalbandige Signale tun würden ist zeigt sich das Konzept sehr vielseitig und effizient. Durch die Spreizung des Signals und die entsprechend geringerer Energiedichte wirkt sich ein eventuelles Störsignal weniger aus als es dies bei einer schmalbandigen Übertragung getan hätte. Das Störsignal verliert sich quasi im gespreizten Signal.

5 Code Division Multiple Access

Code Division Multiple Access (CDMA), auch Codemultiplexverfahren[3] genannt, bietet eine interessante Möglichkeit durch den Einsatz des DSSS-Konzepts mehreren Nutzern die gleichzeitige Benutzung ein und derselben Trägerfrequenz zu ermöglichen. Das Haupteinsatzgebiet dieser Technik ist die moderne Mobilfunkkommunikation.

5.1 Funktionsweise

Wie beim allgemeinen DSSS-Konzept werden bei CDMA Chippingsequenzen für die Spreizung der einzelnen Datenbits während der Übertragung verwendet (siehe Abschnitt 4). Im Gegensatz zum allgemeinen DSSS-Verfahren dient die Chippingsequenz hier jedoch nicht in erster Linie der Verschlüsselung, sondern der eindeutigen Identifikation eines Senders bei der simultanen Kommunikation mehrerer Sender auf den selben Trägerfrequenzen mit der selben Basisstation[4]. Hierfür wird jedem Sender eine eigene, einzigartige und, im besten Fall, zu anderen orthogonale Chippingsequenz zugeteilt. Die Chippingsequenzen und das entsprechende Decodierungsverfahren sind so gewählt, dass selbst sich gegenseitig überlangernde Signale durch die Anwendung der den einzelnen Sendern entsprechenden Chippingsequenzen ohne oder mit geringem Hintergrundrauschen identifiziert und dekodiert werden können[4] (siehe Beispiel). Zu beachten ist hierbei, dass längere Chippingcodes auf Kosten der Datenrate gehen, d.h. je mehr unterschiedliche Nutzer, desto geringer die Nutzerdatenrate.

5.1.1 Beispiel

Die Erklärung zu diesem Beispiel¹⁴ findet sich nachfolgend.

(5.1.1) Wir weisen den Sendern A, B und C folgende Chippingsequenzen zu:

Sender A	1	-1	-1	1	-1	1
Sender B	1	1	-1	-1	1	1
Sender C	1	1	-1	1	1	-1

(5.1.2) Sender A sendet:

Übertragung (Bit = 1)	1	-1	-1	1	-1	1	
vom Empf. verw. Chip.Sequ.	1	-1	-1	1	-1	1	
Multiplikation	1	1	1	1	1	1	= 6
Übertragung (Bit = 1)	-1	1	1	-1	1	-1	
vom Empf. verw. Chip.Sequ.	1	-1	-1	1	-1	1	
Multiplikation	-1	-1	-1	-1	-1	-1	= -6

(5.1.3) Sender B sendet, Empfänger versucht die Nachricht von A zu dekodieren:

Übertragung (Bit = 1)	1	1	-1	-1	1	1	
vom Empf. verw. Chip.Sequ.	1	-1	-1	1	-1	1	
Multiplikation	1	-1	1	-1	-1	1	= 0

(5.1.4) Sender C sendet, Empfänger versucht die Nachricht von B zu dekodieren:

Übertragung (Bit = 1)	1	1	-1	1	1	-1	
vom Empf. verw. Chip.Sequ.	1	1	-1	-1	1	1	
Multiplikation	1	1	1	-1	1	-1	= 2

(5.1.5) Sender B und C senden, Empfänger versucht die Nachricht von B zu dekodieren:

B (Bit = 1)	1	1	-1	-1	1	1	
C (Bit = 1)	1	1	-1	1	1	-1	
Überlagertes Signal	2	2	-2	0	2	0	
vom Empf. verw. Chip.Sequ.	1	1	-1	-1	1	1	
Multiplikation	2	2	2	0	2	0	= 8

¹⁴aus [4]

Erklärung zum Beispiel¹⁵: Ausgehend von unserem Ursprungssignal mit einer Datenrate D und teilen jedes einzelne Bit in k Chips auf. Diese Chippingsequenzen sind für jeden Sender einzigartig und unverwechselbar. Das in Chips unterteilte Ursprungssignal ergibt ein neues Signal mit einer neuen (Chip-)Datenrate von kD . Am einfachsten lassen sich diese Chippingsequenzen als Sequenzen aus $\{1, -1\}$ darstellen. Mit $k=6$ ergeben sich dann z.B. Chippingsequenzen wie die in diesem Beispiel verwendeten nach dem Muster $c = \langle c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6 \rangle$ (siehe (5.1.1)). Angenommen die Synchronisation war erfolgreich, Sender A sendet ein Bit und die Basisstation, respektive der Empfänger, erwartet eine Nachricht von Sender A , hält also die Chippingsequenz für A bereit. Die Dekodierung folgt der Funktion

$$S(d) = d_1 * c_1 + d_2 * c_2 + d_3 * c_3 + d_4 * c_4 + d_5 * c_5 + d_6 * c_6$$

wobei d das entsprechend der eigenen Chippingsequenz kodierte Bit des Senders und c die vom Empfänger zur Dekodierung verwendete Chippingsequenz ist. Eine störungsfreie Dekodierung der Codes von Sender B bzw. C mit den jeweiligen zugehörigen Chippingsequenzen läuft analog zum Beispiel an Sender A .

Wir sehen im Beispiel (5.1.2), dass wir, solange wir zur Dekodierung die Chippingsequenz von Sender A verwenden, unabhängig davon welche Folge aus $\{1, -1\}$ d darstellt, das Ergebnis immer nur dann die Extremwerte $\{6, -6\}$ annimmt, wenn das Bit tatsächlich mit der Chippingsequenz von Sender A kodiert wurde, andernfalls versucht ein anderer Sender Informationen zu übermitteln oder es liegt ein Fehler vor.

Im Beispiel (5.1.3) versuchen wir ein mit der Chippingsequenz von Sender B kodiertes Bit mit der Chippingsequenz von Sender A zu dekodieren. Da die Sequenzen von A und B orthogonal zueinander sind ist das Ergebnis der Dekodierung 0. Das Signal von B wird also vollständig herausgefiltert. Die Chippingsequenzen von Sender B und C sind, anders als die von Sender A und B nicht orthogonal, daher ergibt sich bei der Dekodierung eines von C gesendeten Bits durch die Sequenz von B nicht 0, sondern 2. In der Praxis wäre dies wohl ein kaum wahrnehmbares Hintergrundrauschen.

Weiter verdeutlicht wird dies in Beispiel (5.1.5) in dem aus dem kombinierten Signal zweier Sender (in diesem Fall B und C) die Übertragung von Sender B herausgefiltert werden soll. Wie in Beispiel (5.1.4) wird das Signal von Sender C nicht vollständig herausgefiltert, jedoch ist mit dem Ergebniswert 8 und dem Wissen um die Mögliche Abweichung durch störende Signale anderer Sender zu erkennen, dass Sender B eine 1 gesendet hat. Zur Erinnerung, ohne störende Signal wäre der erwartete Wert aus der Dekodierung eines mit der Chippingsequenz von Sender B kodierten Bits -6 für 0 und 6 für 1.

¹⁵nach [4]

5.2 Einsatzgebiet

Das CDMA-Konzept ist fester Bestandteil der modernen Mobilfunktechnik, im speziellen in der UMTS-Technik[3], was nicht verwunderlich ist angesichts der immer schneller wachsenden Zahl an mobilen Kommunikationsgeräten und des weiterhin begrenzten Übertragungsspektrums. Des Weiteren wird das CDMA-Konzept für die Kommunikation mit den GPS-Satelliten, bzw. dessen europäischem Gegenstück Galileo, eingesetzt. In der Praxis ist die Orthogonalität der Chippingsequenzen durch technische Faktoren wie beispielsweise schwankende Sendeleistungen und das Nah-Fern-Problem[4] nicht vollständig gewährleistet, man spricht daher von quasi-orthogonalen Codes[2]. Um diese quasi-Orthogonalität zu erreichen wird im Bereich UMTS ein zusätzlicher Scramblingcode verwendet[2].

5.3 Besonderheiten

Das CDMA-Verfahren verfügt als Variante des DSSS-Verfahrens (siehe Abschnitt 4) über ähnlich bis gleiche Eigenschaften hinsichtlich der Störungsresistenz und Abhörsicherheit. Den anderen Konzepten voraus hat das CDMA-Konzepten allerdings hinsichtlich der Effizienz in der Verwaltung vieler simultaner Nutzer auf dem selben Frequenzbereich.

6 Zusammenfassung

Zusammenfassend kann man sagen, dass die unterschiedlichen Konzepte zur Frequenzspreizung ein breites Spektrum an Anwendungen gefunden hat, sowohl im zivilen als auch im militärischen Sektor, allgemein jedoch vor allem in der Mobilfunkkommunikation. Mehr noch, Frequenzspreizungskonzepte haben entscheidend zur Entwicklung der Funkkommunikation in hochtechnisierten Gesellschaften beigetragen. Müssten wir heute auf diese Verfahren und Konzepte verzichten wäre eine ungestörte Kommunikation, wie wir sie heute, selbst bei starker Frequentierung, in vielen Bereichen erleben, nicht möglich. Zudem bieten sie breite Anwendungsmöglichkeiten und Grundlagen für Verschlüsselungsverfahren und störungsresistente Kommunikationssysteme.

Literatur

- [1] Hommage í Hedy Lamarr. <http://www.hedylamarr.at/>.
- [2] Umts-REPORT - das Mobilfunk-Business-Magazin. <http://www.umts-report.de/>.
- [3] Wikipedia: The Free Enzyklopedia. <http://de.wikipedia.org>.
- [4] William Stallings. *Data and Computer Communications 8th Edition*. Prentice Hall, 2007.