

# Grundlagen der Spread-spectrum-Kommunikation

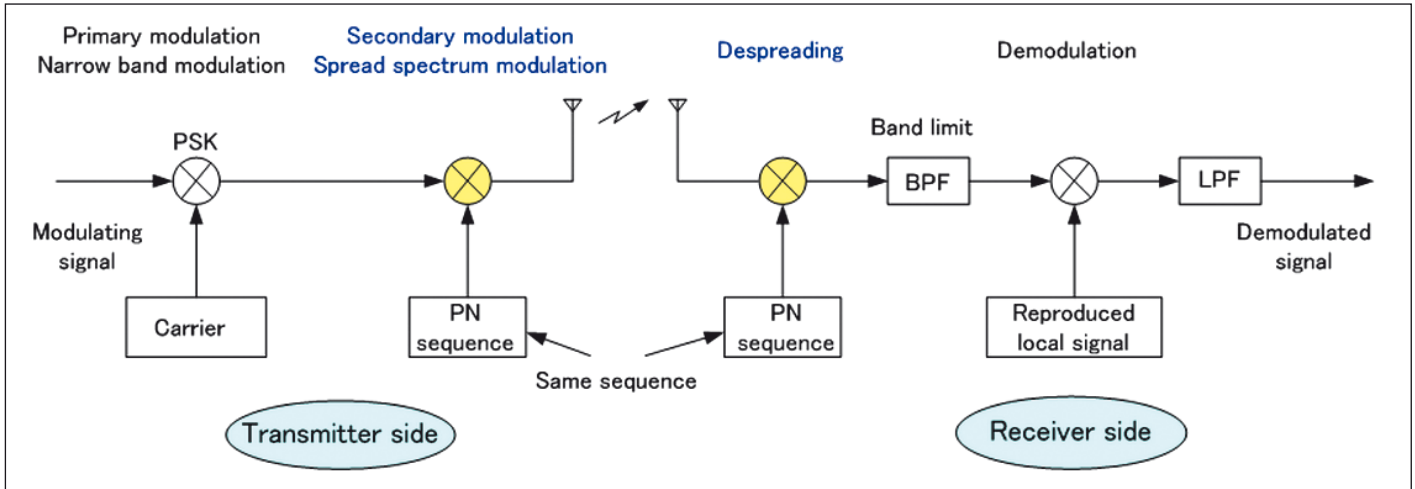


Bild 1: Beispiel für ein Systemdiagramm für Spread-spectrum-Modulation und Demodulation unter Verwendung von PSK als primärer Modulation

Spread-spectrum ist eine Modulationsmethode, die in modernen drahtlosen Standard-Systemen wie WLAN, Bluetooth, ZigBee und anderen Funksystemen für den privaten Einsatz verwendet wird. Der Beitrag liefert einen Einblick in diese Modulationsmethode.

Es gibt zwei Arten der Spread-spectrum-Kommunikation:

- "direct sequence" Spread spectrum" (DS)
- und "frequency hopping" (FH) Spread spectrum.

Man verwendet für beide zwar als allgemeinen Oberbegriff die Bezeichnung "Spread spectrum Kommunikation", aber das einzige, was beide Verfahren gemeinsam haben ist die starke Verbreiterung des Senderspek-

trums. Abgesehen davon sind die beiden Verfahren völlig unterschiedlich. Die Spreizung des Spektrums (Verteilung der Signalenergie über ein breites Frequenzband) verleiht diesen Modulationsarten einige besondere Eigenschaften.

### Abhörsicherheit

Bei Spread-spectrum-Kommunikation wird der Signalinformation eine Spreizcode-Sequenz hinzugefügt. Aus diesem Grunde ist es, ohne Kenntnis dieser Sequenz, sehr schwierig, die Signalinformation zu demodulieren. Da bei kommerziellen Produkten der Spreizcode jedoch bekannt ist, bietet Spread Spectrum hier auch keine größere Sicherheit als eine normale Funkwelle. Sicherheit wird auf

der Code-Ebene erreicht. Bei unabhängig entwickeltem Drahtlos-Equipment für militärische und andere Anwendungen ist der Spreizcode dagegen jeweils einmalig und macht dadurch die Demodulation sehr schwer.

### Sicherheit gegen Interferenz

Bei Systemen, die Schmalband-Modulation verwenden, treten Fehler auf, sobald auch nur eine kleine Interferenz im Übertragungskanal auftritt, und in einigen Fällen wird die Kommunikation sogar völlig unterbrochen. Dies ist ein großes Problem, beim derzeitigen umfangreichen

Einsatz von drahtloser Übertragungstechnik, wenn eine Vielzahl von Geräten im gleichen Bereich arbeiten.

Bei Spread-Spektrum-Kommunikation treten bei Interferenz auch oft Fehler auf und die Übertragungsqualität verschlechtert sich, allerdings kann die Kommunikation selbst fortgesetzt werden.

### Große Bandbreite

Da das Informationssignal mehrfach breiter als die Spreizcode-Sequenz ausgedehnt wird, ist das für die Kommunikation benötigte Frequenzband sehr groß. Aus diesem Grund hat

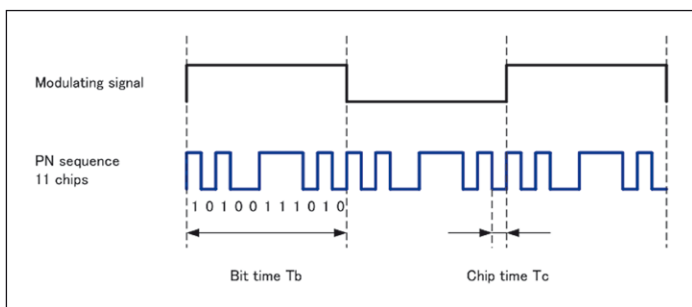
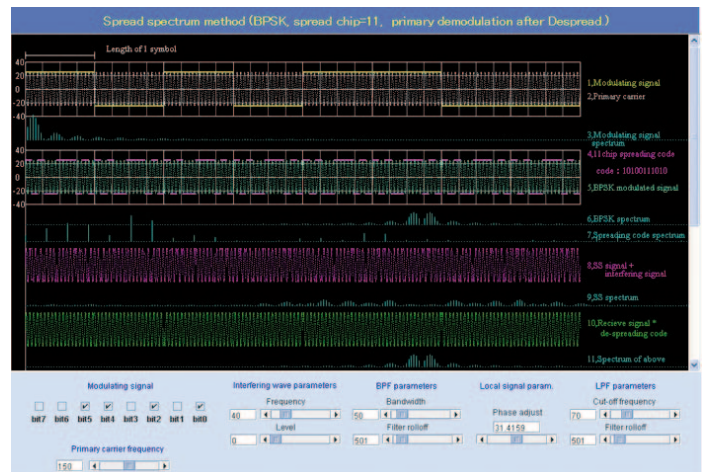


Bild 2: Beispiel für den Spreizvorgang



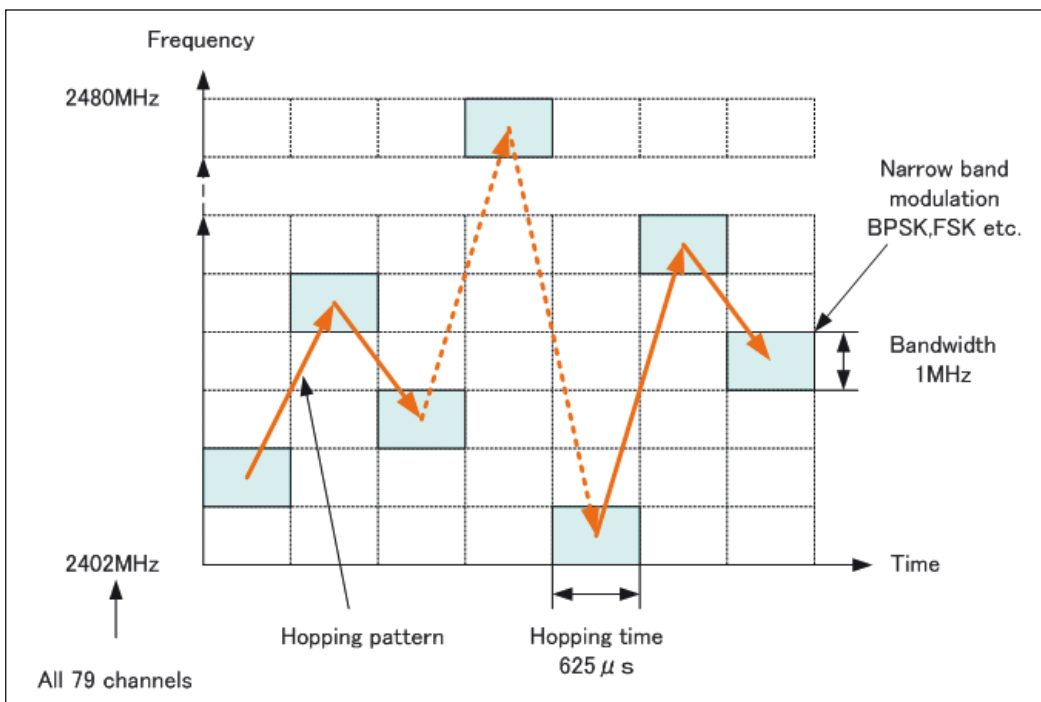


Bild 3: Beispiel für ein FH-Signal

Spread Spectrum einen schlechten Bandbreiten-Nutzungsgrad.

### Direct sequence Spread Spectrum

Direct sequence Spread Spectrum, kurz DS genannt, ist die für WLAN und ZigBee verwendete Modulations-Methode.

#### Sender

Das Informationssignal wird zunächst einer primären Modulation mit PSK, FSK oder einer anderen Schmalbandmodulation unterzogen und anschließend einer zweiten Modulation mit Spread spectrum. Gespreizte Spektren erhält man durch Multiplikation des primär modulierten Signals mit einer Rechteckfolge, die als PN-Sequenz bezeichnet wird. In manchen Fällen erfolgt auch erst die Spread-Spectrum-Modulation und anschließend die Schmalbandmodulation mit z.B. PSK oder FSK. Bild 1 ist ein Beispiel für Spread-spectrum-Modulation und Demodulation mit PSK als primärer Modulation.

#### Receiver

Wenn die Entspreizung der empfangenen diffusen Welle aus-

geführt wird, wandelt sie sich dabei zurück in eine PSK- oder FSK-modulierte Welle, wie sie aus der primären Modulation resultierte. Bei der „Entspreizung“ werden das empfangene Signal und das lokale Signal miteinander multipliziert und passend durch Tiefpässe gefiltert, um das Informationssignal zurück zu gewinnen. Entspreizung (Despreading) schließt die Multiplikation mit dem gleichen PN-Code ein, der im Sender für die gesendete Welle verwendet wurde. Zu diesem Zeitpunkt müssen die empfangene Welle und der PN-Code synchronisiert werden.

#### Despreading

Das Signal, das von der Antenne des Empfängers aufgenommen wird, enthält auch Interferenzsignale von außen, sowie Rauschen. Wenn dieses Signal entspreizt wird, wandeln sich die Signalkomponenten wieder in eine Welle mit Schmalbandmodulation um. Die unerwünschten Interferenzkomponenten dagegen werden zerstreut, so dass ihr Spektrum unendlich ausgedehnt wird und seine Leistungsdichte stark abfällt. Wenn daher das mit Hilfe eines Bandpasses

bandbegrenzte Signal eingegeben wird, fällt die Leistung der Interferenzkomponente, die in das Demodulationsfrequenzband fällt, deutlich ab. Das Auftreten von Fehlern wird mit einem stochastischen Prozess berechnet. Letztendlich führt die Verwendung von Spread spectrum zu weniger Übertragungsfehlern, und das ist der Grund warum Spread-Spectrum-Kommunikation so unempfindlich gegenüber Interferenzen ist.

#### Demodulation

Bei der Demodulation handelt es sich um normale Schmalband-Demodulation. Das lokale Signal wird aus der empfangenen Welle erzeugt. Nach der Multiplikation mit der empfangenen Welle werden unnötige Komponenten mit einem Tiefpass beseitigt. Wenn die primäre Modulation PSK verwendet, ist synchrone Detektion erforderlich.

#### PN-Sequenz

Die PN-Sequenz wird mit einer wesentlich höheren Geschwindigkeit getaktet, als die Symbolrate des Informationssignals, so dass ihr Spektrum ein breites Band in Anspruch nimmt. Aus diesem Grund belegt das Spek-

trum der modulierten Welle nach der primären Modulation ebenfalls ein weites Band.

### Frequency hopping

FH ist eine Kurzbezeichnung für Frequenz-Hopping oder Frequenzsprung. Das Informationssignal durchläuft auch hier wieder einen primären Modulator mit PSK, FSK oder einer anderen Schmalbandmodulation und einen sekundären mit Spread-Spectrum-Modulation. Diese zweite Modulation verwendet einen Frequenz-Synthesizer (hopping synthesizer), der die Frequenz nach einem zufälligen Sprungmuster ändert. Das Sprung-Spektrum wird dadurch insgesamt zwar über eine gewisse Bandbreite gespreizt, aber im Moment des Sprungs sind Modulation und Demodulation schmalbandig.

Die Empfangsseite eines FH-Systems synchronisiert sich mit dem Sprungmuster der Senderseite, um Demodulation durchführen zu können. Das Sprungmuster ist zufällig, und auch wenn andere Geräte im gleichen Bereich betrieben werden, wird die Kommunikation nicht unterbrochen, trotz momentaner Signalkollision. Da jedoch eine hohe Wahrscheinlichkeit dafür besteht, dass eine Kollision irgendwo in dem Sprungmuster auftritt, sind Fehlerkorrekturfunktionen ein wichtiger Bestandteil von FH-Systemen. Die Sicherheit wird jedoch mit einem längeren, mehr zufälligerem Sprungmuster noch deutlich erhöht. Zu den speziell verwendeten Sequenzen gehören „extended M sequence code“ und die „Reed-Solomon code sequence“.

FH wird im Bluetooth-System verwendet. In einer gesamten Bandbreite von 79 MHz hat das Frequenzband eines einzelnen Signals eine Breite von 1 MHz. Die Frequenz-Umsetzung erfolgt mit einem Sprungmuster das sich 1600 mal pro Sekunde ändert (625 µs). Die primäre Modulationsmethode ist GFSK.

■ *Circuit Design*  
<http://www.circuitdesign.de/>