

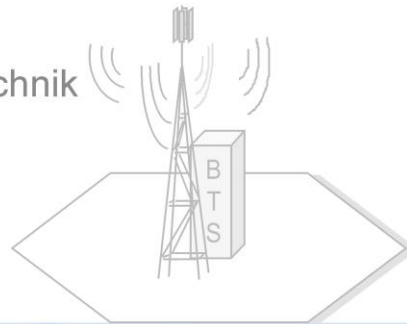
# Evolution der öffentlichen Mobilfunknetze (3G/4G)

## Chapter II: Radio Interface Basics /CDMA

Universität Hannover

Institut für Kommunikationstechnik

Dr.-Ing. Jan Steuer





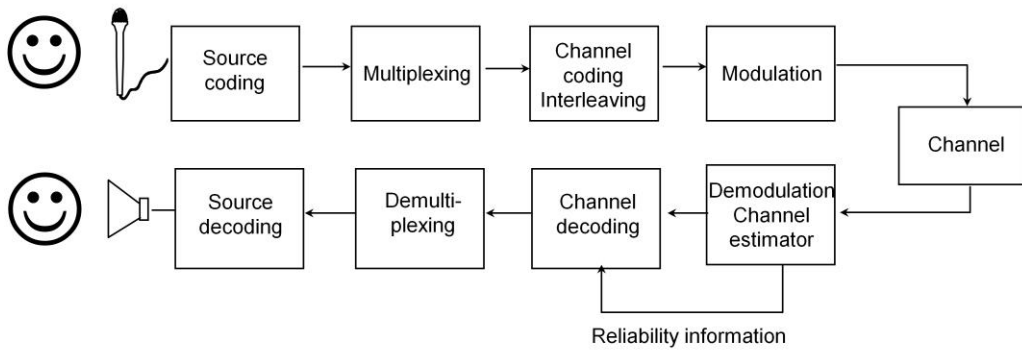
1. Introduction/Overview
2. Basics: Radio Transmission / CDMA
3. Basics: Radio Network Planning
4. Physical Layer
5. Radio Interface Protocols
6. Architecture / Core Network
7. Release 4/5
8. Applications

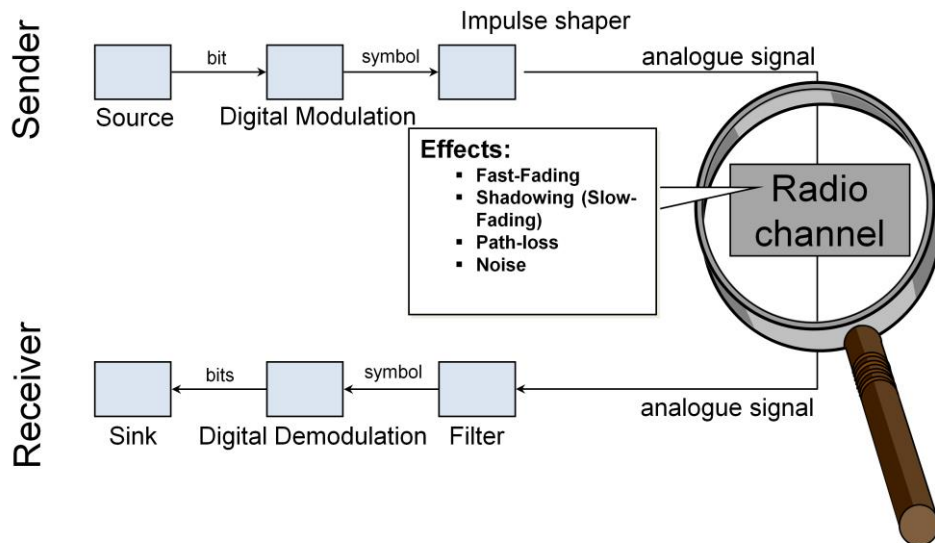
# Outline



1. Transmission Chain
2. Principles Radio Interface
3. Basics CDMA
4. Basics UMTS CDMA Receiver

# Transmission chain





# Outline



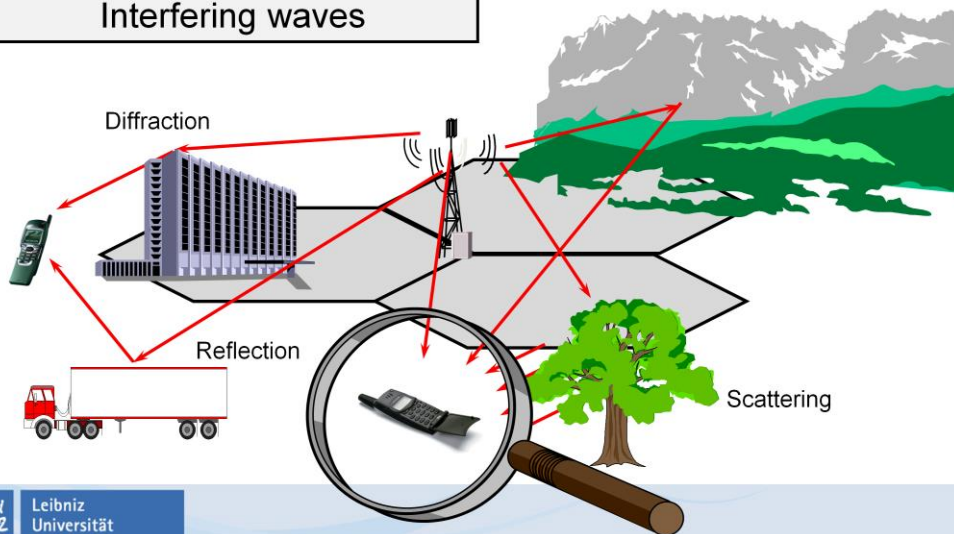
1. Transmission Chain
2. Principles Radio Interface
3. Basics CDMA
4. Basics UMTS CDMA Receiver

## Transmission

### Multipath spread



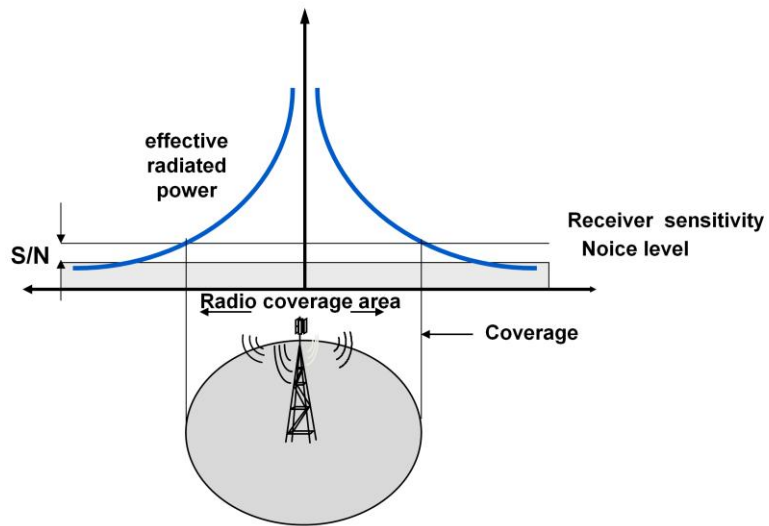
Several propagation paths:  
Interfering waves



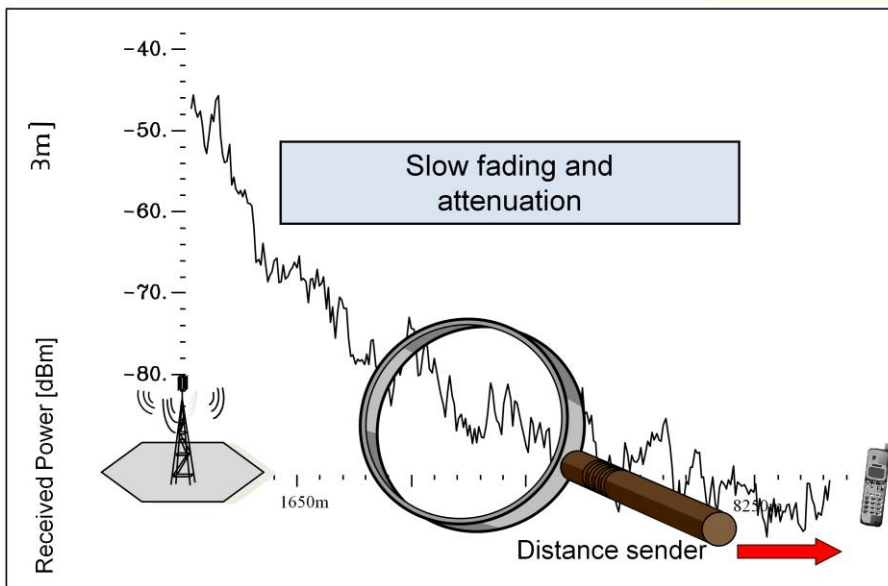
#### Funkschnittstelle

Die Ausbreitung von Funkwellen im Raum ist sehr komplex und lässt sich aufgrund der in der Regel unbekannten Randbedingungen selten berechnen. Je nach Frequenz und Umgebung breiten sich Funkwellen über unterschiedliche Wege aus.

Ein typisches Problem ist das Fading bzw. der Schwund. Damit bezeichnet man die Schwankungen der Amplitude, die durch ausbreitungsspezifische Störungen entstehen. Gesendete Signale kommen über verschiedene Pfade phasenverschoben am Empfänger an und überlagern sich dort. Das Signal wird dabei durch wetterabhängige Dämpfung, frequenzselektive Ausbreitung und Mehrwegeausbreitung, durch Beugung, Reflexion und Streuung beeinflusst. Diese Effekte müssen durch die Funkempfänger ausgeglichen werden, sind aber nicht unbedingt unerwünscht, da sonst z.B. in Städten ohne Mehrwegeausbreitung nur Funkkontakt an erhöhten Stellen mit „freier Sicht“ zur Basisstation möglich wäre.

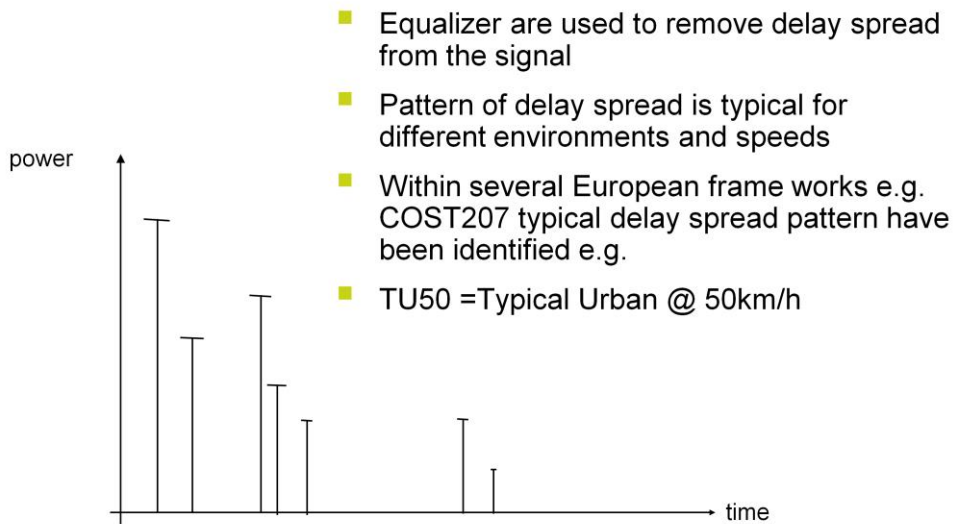




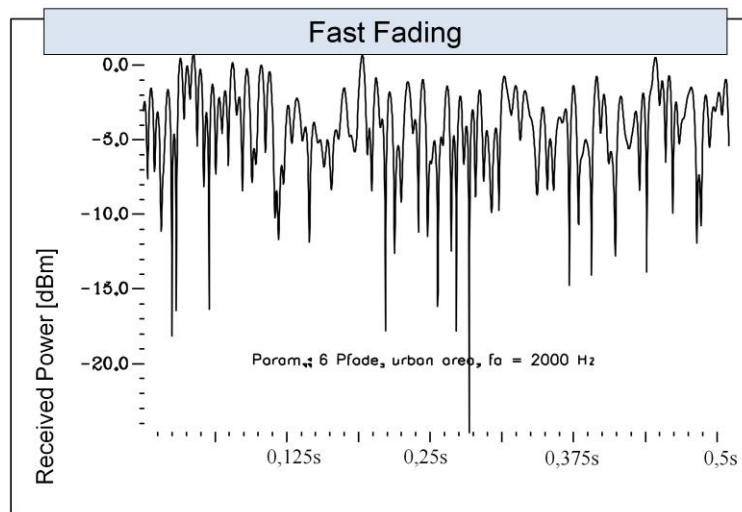


Slow fading: Reduced signal due to shadowing

Attenuation: Reduction of signal strength ( $\sim$ distance to the power of 2-4)



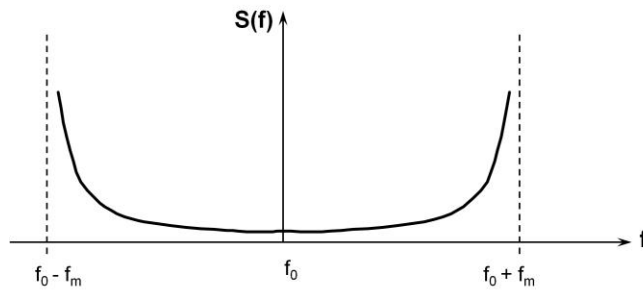
Delay spread is formed by different radio propagation path. Each path represents on finger.



Starke Einbrüche im Sendesignale durch die Überlagerung von phasenverschobenen Signalen (Fast Fading)



- Phase shift due to relative change of distance between transmitter and receiver
  - Result: frequency shift (Doppler frequency)
- Doppler spectrum influenced by multi-path spread:

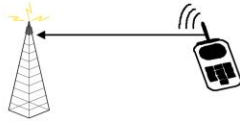




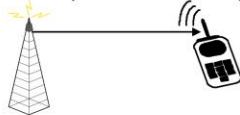
- Noise:
  - thermal noise,  $1/f$  noise (electronics)
  - man-made noise
  - atmospheric noise (thunderstorm)
  - Cosmic noise
- The noise level at frequencies of 2 GHz is dominated by thermal noise.



- Uplink (Forward link): From Mobile to base station



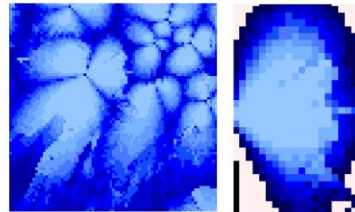
- Downlink (Reverse link): From base station to mobile



- FDD-mode: Uplink and Downlink are separated in frequency
- TDD-mode: Uplink and Downlink are separated in time



Best Server Model



Cell Assignment Probability Model

$$\frac{P_{Receiver}}{[dBm]} = \frac{P_{Sender}}{[dBm]} + \frac{G_{Sender}}{[dBi]} + \frac{G_{Receiver}}{[dBi]} - \frac{L_{Path-loss}}{[dB]}$$



Bestimmung der mittleren Empfangsleistung

Ziel: Bestimmte Versorgungswahrscheinlichkeit



## Prediction models:

- Cost 231 - Okumura-Hata model (empirical)
- Walfisch-Ikegami (empirical)
- Ray Tracing
  - **Accuracy  $\pm 6-9$  dB**

Basic equation:

$$L_{Path} = k_1 + k_2 \cdot \ln(r) + \xi$$
$$\frac{C}{I} = \frac{C}{\sum_{User-I} I + N_0}$$

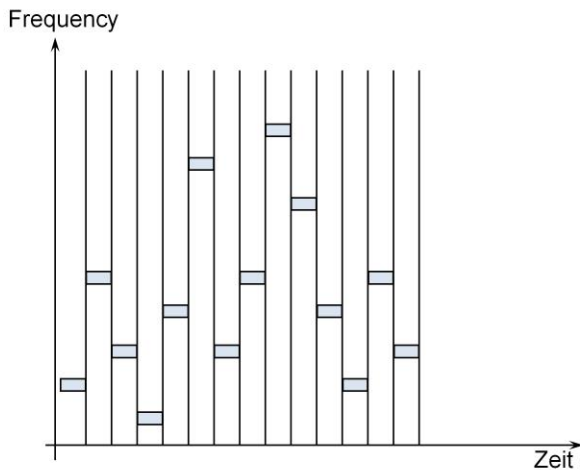
Goal: Determination of average transmission power to fulfil coverage probability

- $L_{Pfad}$  = Pfadverlust  
 $r$  = Abstand zum Sender  
 $C$  = Empfangsleistung Nutzsignal  
 $I$  = Störleistung  
 $k$  = Konstanten abhängig von der Umgebung, der Frequenz, der Sender- und Empfängerhöhe

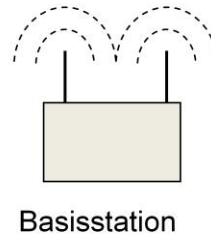




## "Slow Frequency Hopping"



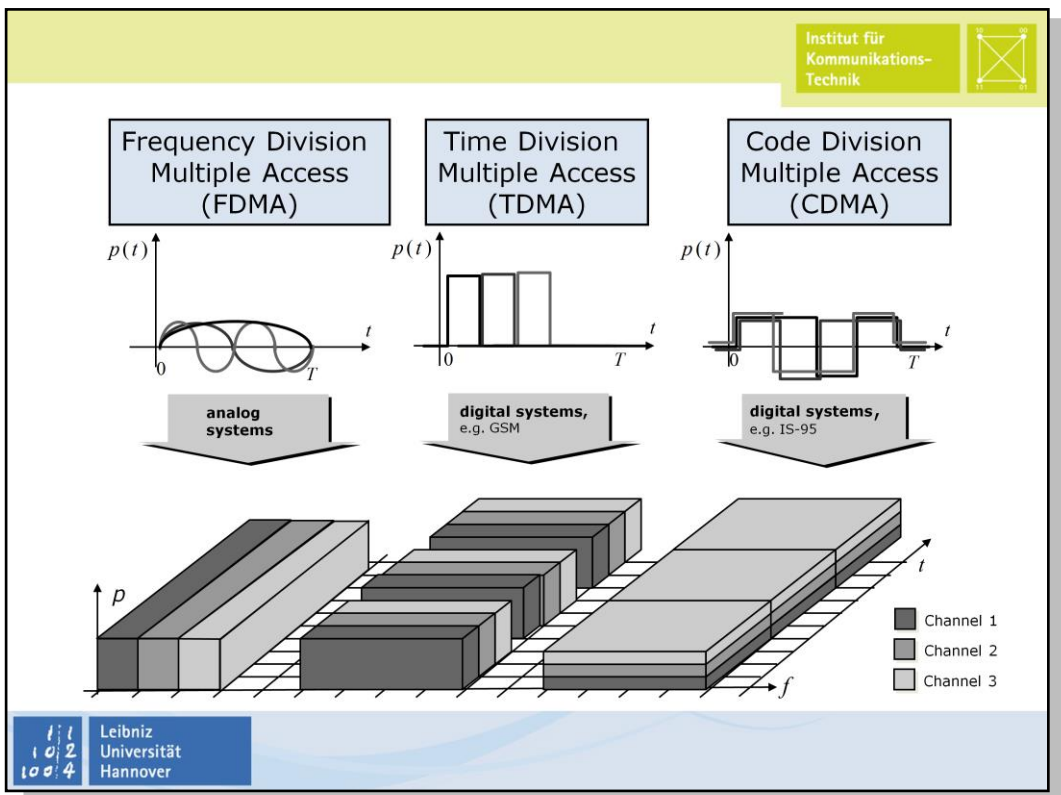
## Diversity Reception



"Frequency Hopping" stammt aus der militärischen Verschlüsselungstechnik (Spread Spectrum). Durch die Verwendung sollen frequenzselektive Störungen verringert werden.

### Diversity

⇒ Bei einem Diversity-Empfang wird die Sendeinformation aus unterschiedlichen Funkkanälen gewonnen. Der Empfänger wählt sich immer die stärkste Signalkomponente aus oder kombiniert geschickt die Empfangssignale. Hierdurch wird eine Verbesserung der Übertragungsqualität erzielt.



## Multiplex Methods

Multiplex methods are used to divide the limited frequency resources of a cell between the different subscribers and mobile stations in the cell. Three different methods are mainly used today:

Frequency Division Multiple Access (FDMA),

Time Division Multiple Access (TDMA) and

Code Division Multiple Access (CDMA).

Other multiplex methods are currently being researched or developed (for example, Space Division Multiple Access – SDMA)).

### Frequency Division Multiple Access (FDMA)

FDMA divides the available frequency range into channels with a specific bandwidth (frequency band). One of these frequency bands is made available to a single subscriber without restriction throughout the entire duration of a connection. Each subscriber in a cell therefore uses a different frequency band than the other subscribers. In this way undesirable noise can be avoided (or reduced as much as possible or as required).

### Time Division Multiple Access (TDMA)

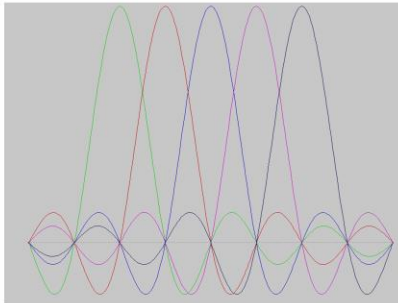
Unlike FDMA, a single frequency band is available to a number of different subscribers with TDMA. The frequency band is divided into TDMA frames for this purpose. Each frame is divided into  $n$  timeslots (TS). Each of the  $n$  timeslots of a frame can be assigned to a different subscriber. In this way, a single frequency band can carry up to  $n$  subscribers. The transmission of a single subscriber comprises individual timeslots assigned cyclically to the subscriber (generally 1 TS per frame; longer cycles are also possible). With TDMA, each frequency band is also used only by a single subscriber at a particular time. This prevents interference occurring between different subscribers (or prevents noise as much as possible or as required).

### Code Division Multiple Access (CDMA)

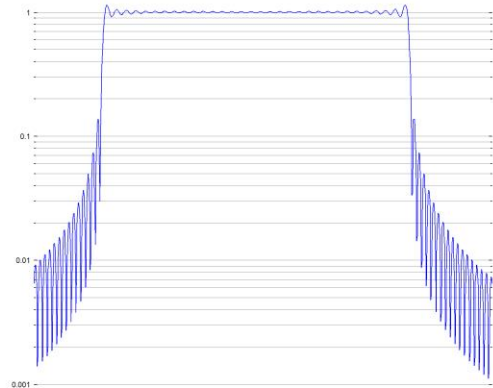
In contrast to TDMA and FDMA, multiple subscribers can use the same frequency band at the same time with CDMA. Each subscriber is provided with a unique (in the cell) code for this purpose. The transmitter links the original information with the code. The coded information is then transmitted over the radio interface. The original information is regenerated in the receiver using the same code.

# Orthogonal Frequency Division Multiplexing

## OFDM -> LTE



frequency



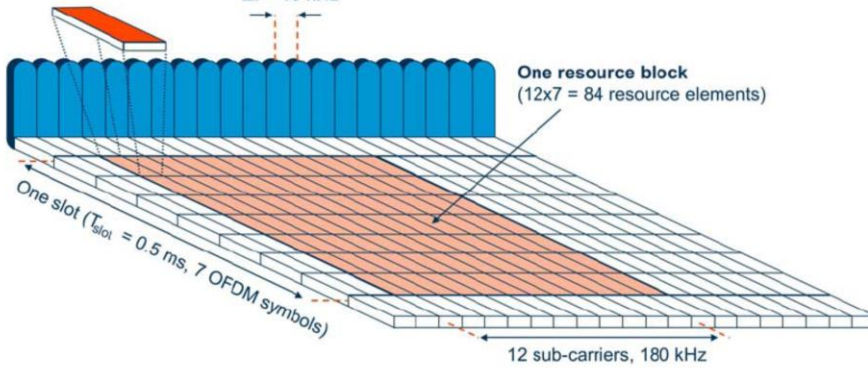
Mehrträgerverfahren unterscheiden sich von Einträgerverfahren dadurch, dass sie mehr als eine Trägerfrequenz zur Übertragung verwenden. Der Übertragungskanal wird dazu in  $M$  Teilkanäle unterteilt, die im allgemeinen die gleiche Bandbreite haben. Im einfachsten Fall wird jedem dieser Teilkanäle das gleiche Modulationsschema und damit die gleiche Übertragungsbitrate zugeordnet. Geschickter ist es jedoch, die Bitrate des einzelnen Teilkanals entsprechend seines Störbelags festzulegen. In Kanälen mit einem geringen Störbelag wird ein höherstufiges Modulationsverfahren verwendet als in Kanälen mit einem höheren Störanteil. Die hat den Vorteil, dass der Kanal nahezu optimal ausgenutzt werden kann. Mehrträgerverfahren sind bekannt unter der Bezeichnung Discrete Multitone Transmission (DMT) bzw. Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM).

## One resource element

QPSK, 2bits  
16QAM, 4bits  
64QAM, 6bits

$\Delta f = 15 \text{ kHz}$

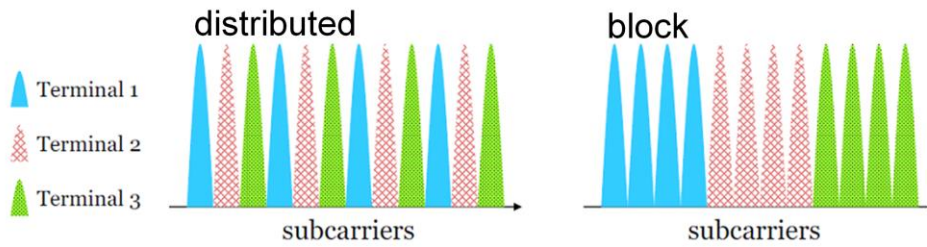
One resource block  
(12x7 = 84 resource elements)



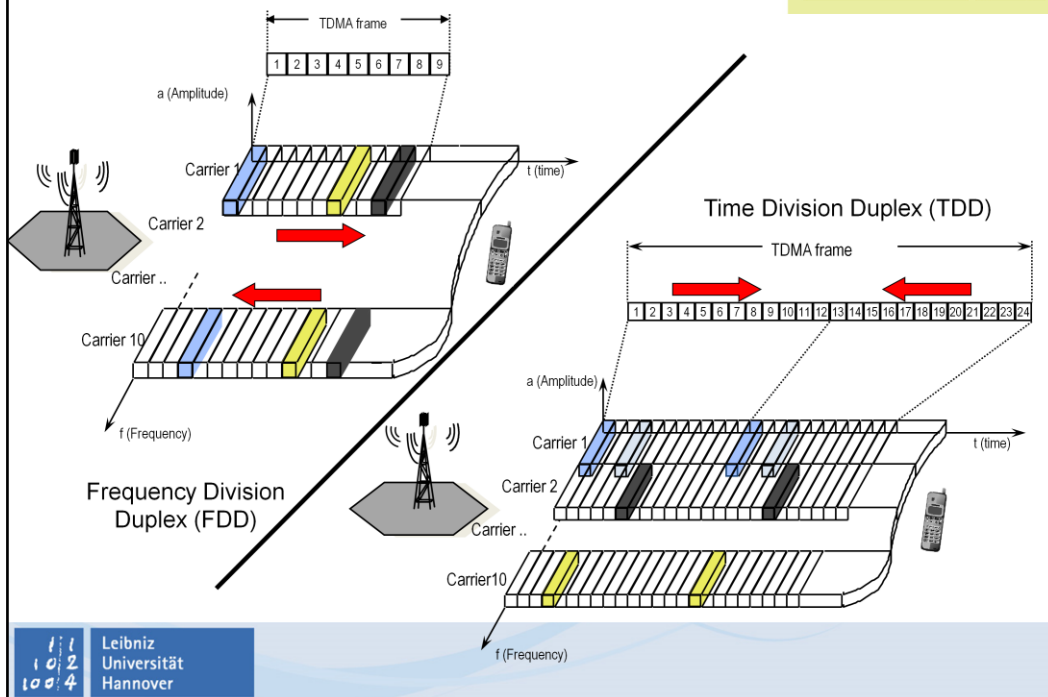
Quelle: Ericsson



- Sub-carrier can be assigned to different users oder links



# Duplex Separation



## Duplex & multiplex methods – Examples

### FDD / FDMA

Systems belonging to the 1st mobile communications generation (1G) generally use FDD methods for duplex transmission and FDMA for multiplex access. Subscriber UL and DL are in different frequency ranges. One frequency band in the frequency ranges is available without restrictions to individual subscribers in each case.

Examples of cellular FDD / FDMA systems are the 1G systems – AMPS, NMT, TACS and C450. The C450 system, for example, uses the frequency ranges 450 – 455.74 MHz and 460 – 465.74 MHz for UL and DL transmissions respectively. The frequency bandwidth is 20 kHz, the duplex distance 10 MHz.

### FDD / TDMA

Systems belonging to the 2nd mobile communications generation (2G) generally use FDD for duplex transmission and TDMA for multiplex access. Subscriber UL and DL are therefore in different frequency ranges. Usually one timeslot (TS) is cyclically available to individual subscribers in a frequency band in the frequency ranges. To enable faster data rates, multiple TS's of a frequency band can be grouped together for a subscriber in some cases. Examples of FDD / TDMA systems are the cellular 2G systems – GSM, D-AMPS and PDC.

GSM900, for example, uses the frequency ranges 890 – 915 MHz and 935 – 960 MHz for UL and DL transmissions respectively. The frequency bandwidth is 200 kHz and the duplex distance 45 MHz. The frequency bands are divided into TDMA frames, each 4.615 ms in duration. Each TDMA frame is divided into 8 TS's.

### TDD / TDMA

Low-range 2G systems sometimes use TDD for duplex transmission and TDMA for multiplex access. An example of TDD / TDMA transmission is DECT. DECT uses 10 frequency bands, each with a bandwidth of 1.728 MHz, in the frequency range 1880 – 1900 MHz. The frequency bands are divided into TDMA frames, each 10 ms in duration. Each TDMA frame is divided into 24 TS's. 12 TS's in a frame are used for UL transmission, 12 for DL.

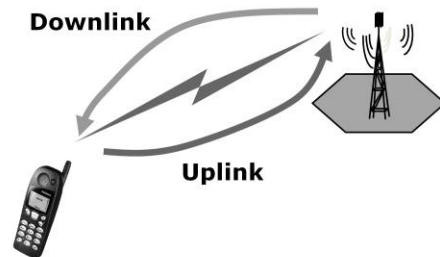
### FDD / CDMA

CDMA is used by a number of 2G systems, but mainly by 3G systems. An example of a 2G system that uses FDD for duplex transmission and CDMA for multiplex transmission is the IS-95 system



### Aim of duplex methods:

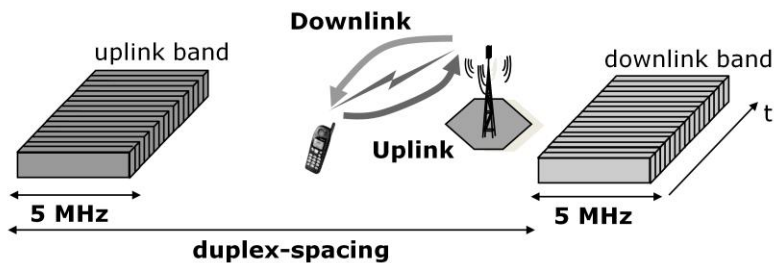
- separate the (weak) receive signal
- and the (comparatively strong) transmit signal



Ein Duplexverfahren trennt allgemein das Sende- und das Empfangssignal einer Station, die sowohl senden als auch empfangen kann. Die Trennung von Sende- und Empfangssignal verhindert, dass die Station ihr eigenes gesendetes Signal selbst empfängt und von dem gewünschten Empfangssignal unter Umständen nicht trennen kann, wodurch eine Kommunikation unmöglich wird. Wegen der für den Mobilfunk typischen großen Distanzen zwischen Sender und Empfänger und der damit verbundenen Singaldämpfung ist das Sendesignal viel stärker als das Empfangssignal, was die Notwendigkeit der Trennung von Aufwärtsstrecke (Uplink) und Abwärtsstrecke (Downlink) verstärkt.

Das Duplexverfahren teilt also die Funkressourcen eines Betreibers auf die beiden Übertragungsrichtungen Uplink und Downlink auf.

## Frequency Division Duplex (FDD)



- **separate frequency bands** for uplink- and downlink signal
- suited for symmetric services, e.g. speech or video conferencing
- paired frequency bands are required

Ein weit verbreitetes Verfahren zur Trennung von Auf- und Abwärtsstrecke ist das sogenannte Frequenzduplex Verfahren, Frequency Division Duplex (FDD). Hierbei senden und empfangen die Stationen in jeweils getrennten Frequenzbändern. Dabei ist das Sendeband der einen Station das Empfangsband der anderen Station und umgekehrt. Im zellularen Mobilfunk wählt man meist die höheren Frequenzen als Sendeband der Basisstationen und die niedrigeren Frequenzen als Sendeband der Mobilstationen, da elektromagnetische Wellen höherer Frequenz bei der Ausbreitung durch die Luft stärker gedämpft werden als Wellen niedrigerer Frequenz. Zur Überbrückung der selben Distanz benötigt die sendende Basisstation daher eine höhere Leistung als die Mobilstation.

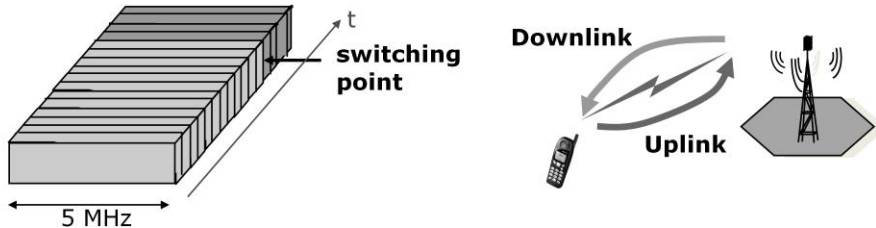
Der Abstand des Sende- und des Empfangsbandes ist im allgemeinen innerhalb eines Systems konstant und wird Duplex-Abstand genannt. Das FDD Duplexverfahren eignet sich gut zur Abbildung von symmetrischen Diensten, d.h. von Diensten, die in beiden Übertragungsrichtungen etwa gleich viel Daten mit gleicher Datenrate übertragen. Ein solcher symmetrischer Dienst ist z.B. der Sprachdienst oder Videotelefonie. Auch wenn die Bandbreite des Sende- und Empfangsbandes unabhängig von FDD Duplexverfahren unterschiedlich gewählt werden können, um beispielsweise unsymmetrische Dienste darzustellen, so findet diese Art der Spektrumsaufteilung in fast allen heute kommerziell betriebenen Mobilfunksystemen keine Anwendung.

Zur Realisierung eines FDD Systems ist ein gepaartes Frequenzband notwendig. Gepaart heißt, dass zu jedem Frequenzblock im Sendeband ein gleich großer Frequenzblock im Empfangsband existieren muss, der im allgemeinen die gleiche Breite hat. Es ist leicht einzusehen, dass zwei gleich große Frequenzbereiche im Spektrum schwieriger verfügbar zu machen sind als ungepaarte.

Ein typischer Vertreter eines FDD Systems ist GSM.



## Time Division Duplex (TDD)



- **separation** of uplink and down-link signals **in the time domain** within one frequency channel
- suited for both symmetric and asymmetric services
- no paired frequency bands needed

Ein weiteres Duplexverfahren, das im Mobilfunk und insbesondere in UMTS Verwendung findet, ist das Zeitduplex Verfahren, Time Division Duplex (TDD). Hierbei senden und empfangen die Mobil- und Basisstationen abwechselnd. Sende- und Empfangszeiten wechseln sich dabei periodisch ab. Das TDD Verfahren trennt also das Sende- und Empfangssignal im Zeitbereich.

Der Zeitpunkt, zu dem innerhalb einer Periode vom Senden zum Empfangen umgeschaltet wird, nennt man Umschaltpunkt oder auch Switching Point. Dieser Zeitpunkt kann prinzipiell beliebig innerhalb einer Periode gewählt werden, außerdem ist es möglich, innerhalb einer Periode mehrfach zwischen Aufwärts- und Abwärtsstrecke umzuschalten.

Durch diese Möglichkeit, Übertragungskapazität variabel auf Sende- und Empfangsrichtung aufzuteilen, eignet sich das Zeitduplexverfahren zur effizienten Abbildung von asymmetrischem Datenverkehr. Dabei muss im Gegensatz zum FDD Verfahren nur ein Frequenzblock im Frequenzspektrum zur Verfügung stehen. Es ist leicht einzusehen, dass im Spektrum einzelne Frequenzblöcke einfacher zu finden sind als gepaarte. Allerdings muss beim TDD Verfahren den möglicherweise unterschiedlichen Laufzeiten der Signale Rechnung getragen werden, um zu verhindern, dass sich die Sendesignale verschiedener Stationen am Empfänger überlappen. Die für eine Übertragungsrichtung zur Verfügung stehende Zeit kann daher meist nicht vollständig zur Datenübertragung genutzt werden, um Schutzzeiten zu realisieren. Solche Zeiten können auch erforderlich sein, um den Transceiver vom Sendezustand in den Empfangszustand zu versetzen und umgekehrt.

Ein typischer Vertreter eines TDD Systems ist das DECT System.

# Outline



1. Transmission Chain
2. Principles Radio Interface
3. Basics CDMA
4. Basics UMTS CDMA Receiver

# CDMA (Code Division Multiple Access)

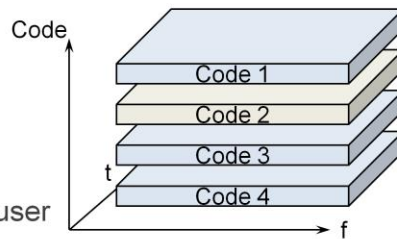


## Basic Principle

Analogy:  
"Cocktail party"

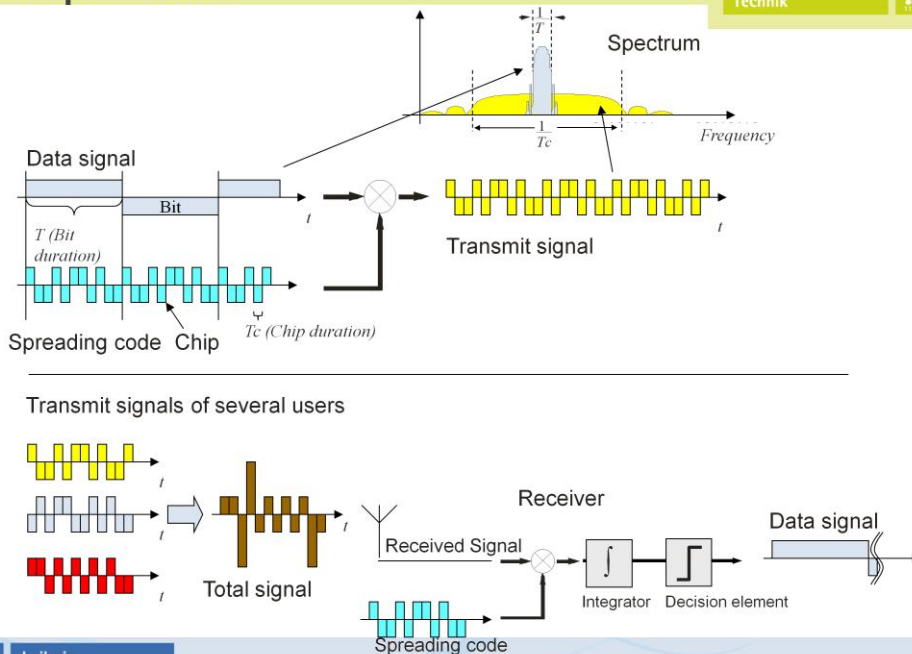
### Spread Spectrum:

- Bandwidth shared by all users
- One orthogonal code is allocated per user
- Signal is spread over the total
  - bandwidth (Direct Sequence)
  - a number of frequencies (Frequency Hopping)
  - time domain spreading
- Signals are less sensible to frequency selective fading
- User data rate, maximum path-loss and bit error rate are dependent on each other



- ⇒ CDMA is a Spread Spectrum Technology (SST). The origins of SST go back to the 1920's. SST's were used from the 1950's to the 1980's in the military sector – for example, for satellite navigation. CDMA has been released as an SST for civilian use since the mid-1980's. The first cellular mobile communications system to use CDMA for multiplex transmission was IS-95. It began commercial operation at the end of 1995.
- ⇒ In SST's a narrowband signal with high information concentration is transformed to a broadband signal with low information concentration – this is known as spreading..
- ⇒ The signals are very stable against the influence of narrowband natural or technical interference (background noise) and interfering transmitters (intentional jamming).
- ⇒ There are different ways of performing the spreading. For spreading subscriber information for CDMA, a unique (in the cell) code is provided for each subscriber. This code is referred to as the spreading code. The linkage of the high bit rate code with the original subscriber information transforms the original signal into a broadband signal. This broadband signal is transmitted together with broadband signals from other subscribers using the same frequency band over the radio interface. The receiver receives the sum of all of these signals. By relinking the summation signal with the (synchronized) subscriber code the original subscriber information is regenerated (a process known as de-spreading).
- ⇒ The remaining information stays in its broadband form and therefore constitutes an underlying signal. The information remains useful as long as the underlying signal does not dominate the despread signal. The information for the different subscribers can be separated because of the orthogonal (or quasi orthogonal) attributes of the code used.

# Principle CDMA



## Spreading / De-Spreading

In UMTS, the binary, digital subscriber data (1,0) is converted on the transmission side to bipolar data (+1, -1) before the spreading process takes place. The spreading code also consists of bipolar data. The value of a chip can be +1 or -1. The subscriber data is then multiplied by the high chip rate spreading code. The result is the coded data, which is then transmitted over the radio interface. The receiver multiplies the received, coded data sequence with the bipolar spreading code to obtain a bipolar data sequence. The original subscriber data is recovered by converting this data sequence to binary, digital data.

## Spreading Factor (SF)

The spreading factor (SF – also frequently known as the Processing Gain,  $G_p$ ) indicates the number of chips that spread a symbol each time (see below). The SF therefore states the relationship between the chip rate,  $R_c$  (chip/s) and the data rate of the subscriber (symbol/s or bit/s). SF also gives the relationship between the spread bandwidth  $B$  and unspread bandwidth  $W$ .

## Information Units: Chips, Bits, Symbols

The smallest unit of digital information is generally called a bit (an abbreviation derived from "binary digit"). To distinguish the smallest units in the original subscriber information, spreading code and data transmitted over the radio interface, different terms are used, namely: bit, chip and symbol respectively.

A symbol can have different numbers of bits depending on the modulation method used for transmission over the radio interface. Symbols have one bit each in the Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK) method used in GSM and in the Binary Phase Shift Keying (BPSK) method used for UMTS UL (FDD only) transmission. In the Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) method used generally for UMTS, a symbol has two bits, and in the 8 Phase Shift Keying (8PSK) method used in EDGE even three bits.

The example portrays CDMA transmission for two users. Orthogonal spreading codes with a spreading factor of 2 are used for both users (1/2). The original information of the two users (data users 1 and 2) are converted to bipolar data (1/2) and multiplied by the spreading code (1/2). The coded signals interfere with each other during transfer over the radio interface.

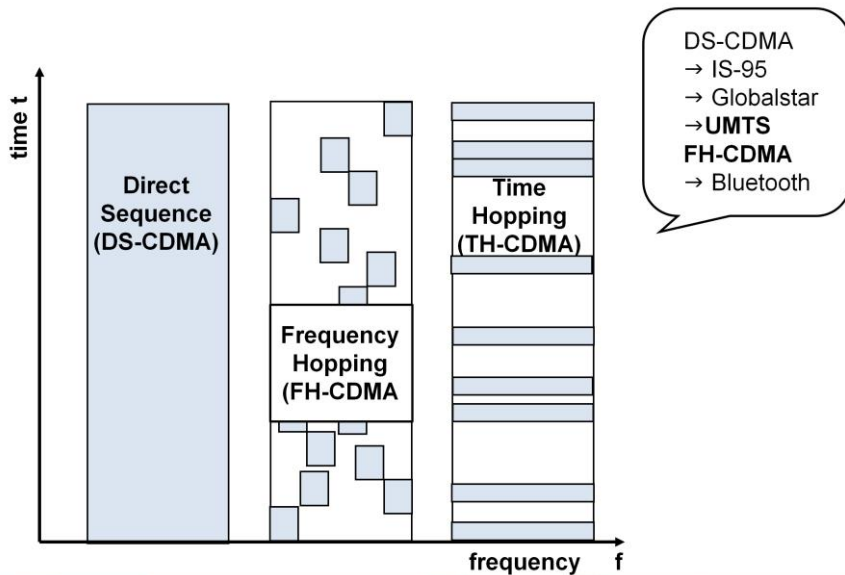
The receivers receive the overall signal (of both users). By multiplying the overall signals with the spreading code (1/2) different data sequences (de-spread data 1/2) are obtained for users 1 and 2. The sequences are integrated during the duration of a symbol. The information is interpreted as 1 for positive results and 0 for negative results. The final result is the original information of the two users 1/2.

## Integration / Capacity Restrictions

The integration of the data signals is an important component of the de-spreading process. If a single coded signal of a user is multiplied by the correct code and then integrated during the length of a symbol, information is obtained that can be clearly interpreted. The higher the spreading factor, the clearer ("stronger") the information. A high spreading factor therefore assures a high level of transmission security (but at a lower data rate however).

If the coded signal of a user is multiplied by a different code and then integrated, a zero is obtained for strict orthogonality of the codes – i.e., the result cannot be interpreted. With the quasi orthogonality used in practice there is little "mis-information" when compared with the process of multiplying with the correct code followed by integration. Care must be taken in practical applications to prevent the sum of the "mis-information" from outweighing the strong (correct) information – i.e., the system capacity is limited by the background noise from the transmissions of other users.

# CDMA Types



## Time Hopping CDMA (TH-CDMA)

The information-carrying signal is not continuously transmitted in the TH-CDMA method. Instead, information is transferred in bursts. The burst transmission time is specified by the spreading code. TH-CDMA was developed at the end of the 1940's as the first CDMA method, and was used for military purposes.

## Frequency Hopping CDMA (FH-CDMA)

The carrier frequency of the information-carrying signal is changed constantly during FH-CDMA. Very fast as well as slow changes are possible. The bandwidth at any particular time is relatively narrow. When considered over a longer period, FH-CDMA is just as much a broadband method as TH-CDMA and DS-CDMA. The change in carrier frequency is specified by the spreading code.

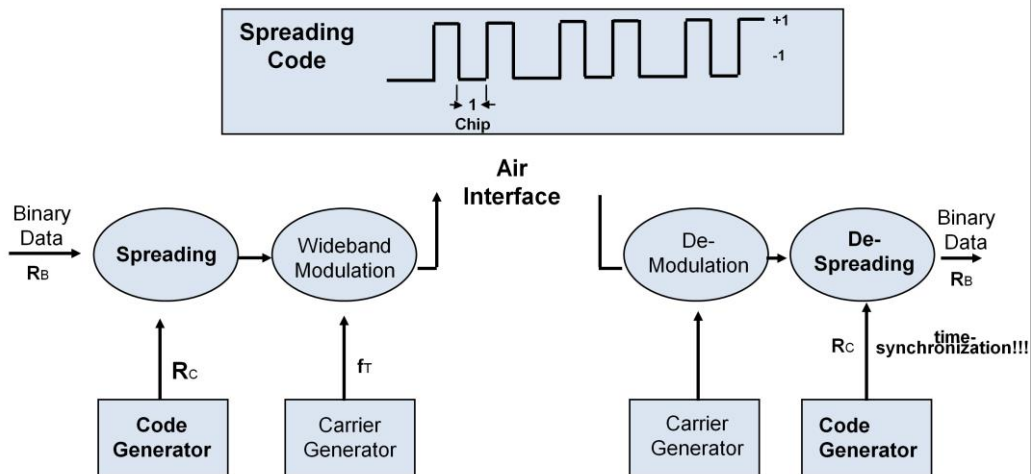
An example of the civil use of FH-CDMA is the so-called Bluetooth standard.

Bluetooth allows the transmission of information at high data rates over small distances in the unlicensed frequency range (ISM Industry, Science and Medical) at 2.4 GHz.

## Direct Sequence CDMA (DS-CDMA)

In DS-CDMA, subscriber information (digital in 2G and 3G systems) is spread directly by linking with a sequence of the spreading code. This results in continuous (in contrast to TH-CDMA) transmission of the broadband signal over the entire bandwidth (in contrast to FH-CDMA). DS-CDMA is used for IS-95 and the Globalstar satellite system, for example. In 3G, UMTS is based on DS-CDMA.

# DS-CDMA: Transmission/ Reception

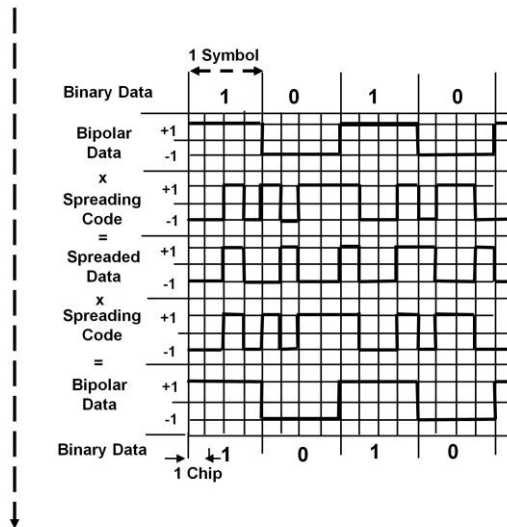


Digital, binary subscriber information is linked in the transmitter with the spreading code generated by a code generator –this process is termed spreading. The spreading code consists of a high bit rate code sequence. The smallest unit of information in the spreading code is referred to as a chip to distinguish it from the smallest unit of subscriber information, the bit. The rate of the spreading code is known as the chip rate. The information obtained by spreading is modulated to a carrier frequency. The higher the information rate (i.e., the chip rate), the wider the bandwidth of the resulting signal.

The broadband signal is transmitted over the radio interface. The receiver demodulates the signal and links the resulting information with the same spreading code used in the transmitter. This process is known as de-spreading. De-spreading produces the original subscriber information. It is vital for de-spreading that the code in the receiver be exactly synchronized in time with the code in the transmitter. A shift by just one chip prevents information from being regenerated.

# Spreading/ De-Spreading

Institut für  
Kommunikations-  
Technik



$$SF = R_c / R_s \\ = B / W$$

## Bit/Symbol → Modulation principle

e.g.:  
GMSK: 1/1 (Bit/Symbol)  
BPSK: 1/1  
QPSK: 2/1  
8PSK: 3/1

B = bandwidth, spreaded  
W = bandwidth, un-spreaded  
RS: Symbol Rate [symb/s]  
RB: Bit Rate [bit/s]  
RC: Chip Rate [chip/s]  
SF = Spreading Factor  
GMSK: Gaussian Minimum Shift Keying  
BPSK: Binary Phase Shift Keying  
QPSK: Quadrature PSK  
8PSK: Eight PSK

Leibniz  
Universität  
Hannover

## Spreading / De-Spreading

In UMTS, the binary, digital subscriber data (1,0) is converted on the transmission side to bipolar data (+1,-1) before the spreading process takes place. The spreading code also consists of bipolar data. The value of a chip can be +1 or -1. The subscriber data is then multiplied by the high chip rate spreading code. The result is the coded data, which is then transmitted over the radio interface. The receiver multiplies the received, code data sequence with the bipolar spreading code to obtain a bipolar data sequence. The original subscriber data is recovered by converting this data sequence to binary, digital data.

### Spreading Factor (SF)

The spreading factor (SF –also frequently known as the Processing Gain,  $G_p$ ) indicates the number of chips that spread a symbol each time (see below). The SF therefore states the relationship between the chip rate,  $R_c$  (chip/s) and the data rate of the subscriber (symbol/s or bit/s). SF also gives the relationship between the spread bandwidth  $B$  and unspread bandwidth  $W$ .

### Information Units: Chips, Bits, Symbols

The smallest unit of digital information is generally called a bit (an abbreviation derived from "binary digit"). To distinguish the smallest units in the original subscriber information, spreading code and data transmitted over the radio interface, different terms are used, namely: bit, chip and symbol respectively.

A symbol can have different numbers of bits depending on the modulation method used for transmission over the radio interface. Symbols have one bit each in the Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK) method used in GSM and in the Binary Phase Shift Keying (BPSK) method used for UMTS UL (FDD only) transmission. In the Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) method used generally for UMTS, a symbol has two bits, and in the 8 Phase Shift Keying (8PSK) method used in EDGE even three bits.

The example portrays CDMA transmission for two users. Orthogonal spreading codes with a spreading factor of 2 are used for both users (1/2). The original information of the two users (data users 1 and 2) are converted to bipolar data (1/2) and multiplied by the spreading code (1/2). The coded signals interfere with each other during transfer over the radio interface.

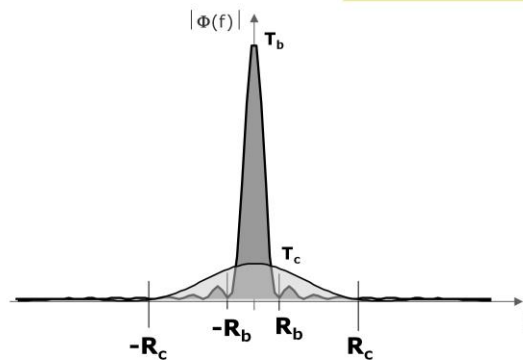
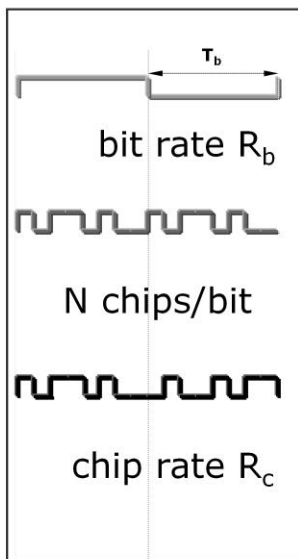
The receivers receive the overall signal (of both users). By multiplying the overall signals with the spreading code (1/2) different data sequences (de-spread data 1/2) are obtained for users 1 and 2. The sequences are integrated during the duration of a symbol. The information is interpreted as 1 for positive results and 0 for negative results. The final result is the original information of the two users 1/2.

### Integration / Capacity Restrictions

The integration of the data signals is an important component of the de-spreading process. If a single coded signal of a user is multiplied by the correct code and then integrated during the length of a symbol, information is obtained that can be clearly interpreted. The higher the spreading factor, the clearer ("stronger") the information. A high spreading factor therefore assures a high level of transmission security (but at a lower data rate however).

If the coded signal of a user is multiplied by a different code and then integrated, a zero is obtained for strict orthogonality of the codes – i.e., the result cannot be interpreted. With the quasi orthogonality used in praxis there is little "mis-information" when compared with the process of multiplying with the correct code followed by integration. Care must be taken in practical applications to prevent the sum of the "mis-information" from outweighing the strong (correct) information – i.e., the system capacity is limited by the background noise from the transmissions of other users.





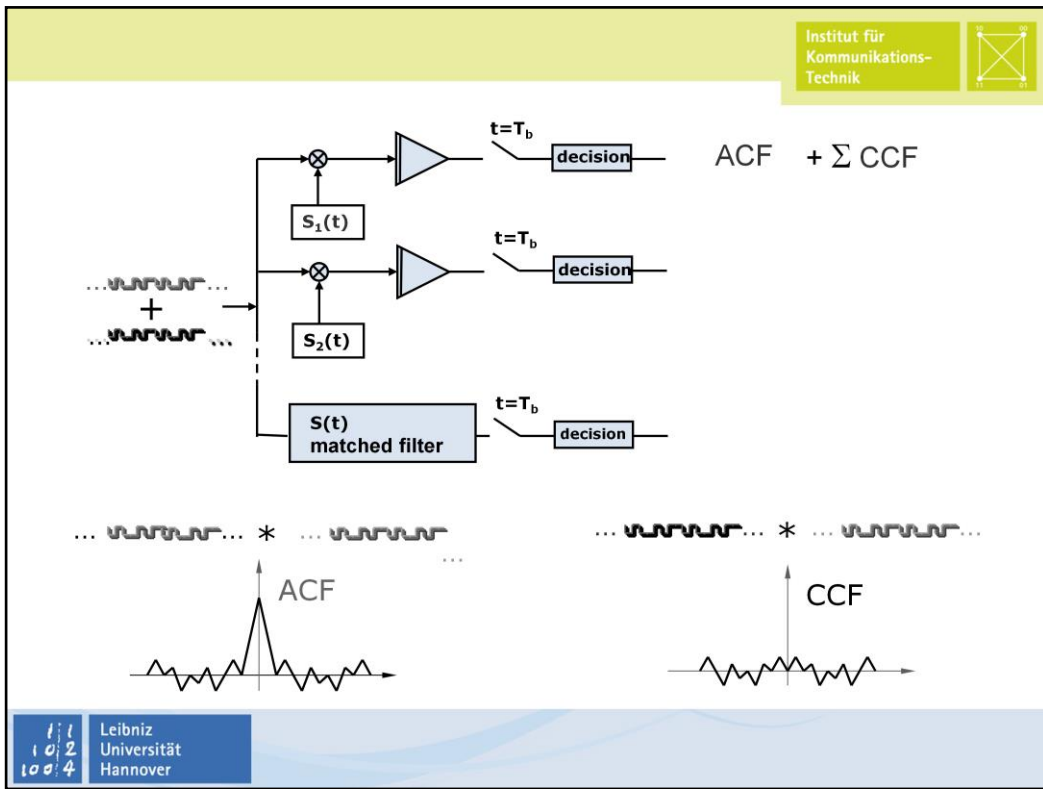
„spreading factor“  $SF = R_c/R_b$

$$S_F = T_b/T_c = N$$

DS - CDMA is a *spread spectrum* technique

Betrachtet man sich die Leistungsdichtespektren der Signale, so kann man folgendes feststellen: Der Bitstrom habe eine Rate  $R_b$ , die die Breite des Leistungsdichtespektrums charakterisiert. Durch die Multiplikation mit der Chipfolge entsteht wieder eine Chipfolge, deren Rate  $R_c$  ein Vielfaches der Bitrate ist. Das Leistungsdichtespektrum des entstehenden Chipstroms hat die gleiche Form wie das des Bitstroms, nur ist es um denselben Faktor breiter, um den die Chiprate größer ist als die Bitrate. Man sagt, das Leistungsdichtespektrum des Signals wird „gespreizt“, das bedeutet, dass sich das Spektrum, dass zur Übertragung der Bitfolge nach Multiplikation mit der Chipfolge gegenüber dem Spektrum ohne Multiplikation verbreitert. Man spricht bei CDMA daher auch von einem Spreizverfahren oder einem spread spectrum Verfahren.





Wie ist es nun möglich, aus der Summe aller empfangenen Teilnehmersignale das Signal eines Teilnehmers wieder zu rekonstruieren? Die einfachste Möglichkeit ist die Verwendung des in der Abbildung dargestellten Korrelationsfilter-Empfängers. Wie oben bereits erläutert, muss zur Rekonstruktion des Bitstroms der empfangene Chipstrom im Empfänger wieder mit dem Spreizcode multipliziert werden. Empfängt der Empfänger die Summe mehrerer Teilnehmersignale, so wird diese Summe mit dem Spreizcode des betrachteten Teilnehmers multipliziert.

Um nun den Einfluss aller anderen Teilnehmersignale zu eliminieren, wird das entstehende Produkt aus Empfangssignal und Spreizcode periodisch für die Dauer eines Bits integriert und das entstehende Signal zum Ende einer Periode abgetastet. Eine solche Architektur mit Multiplikator und Integrator stellt bezüglich des Abtastzeitpunktes am Ende einer Bitdauer ein sogenanntes signalangepasstes Filter (matched filter) dar.

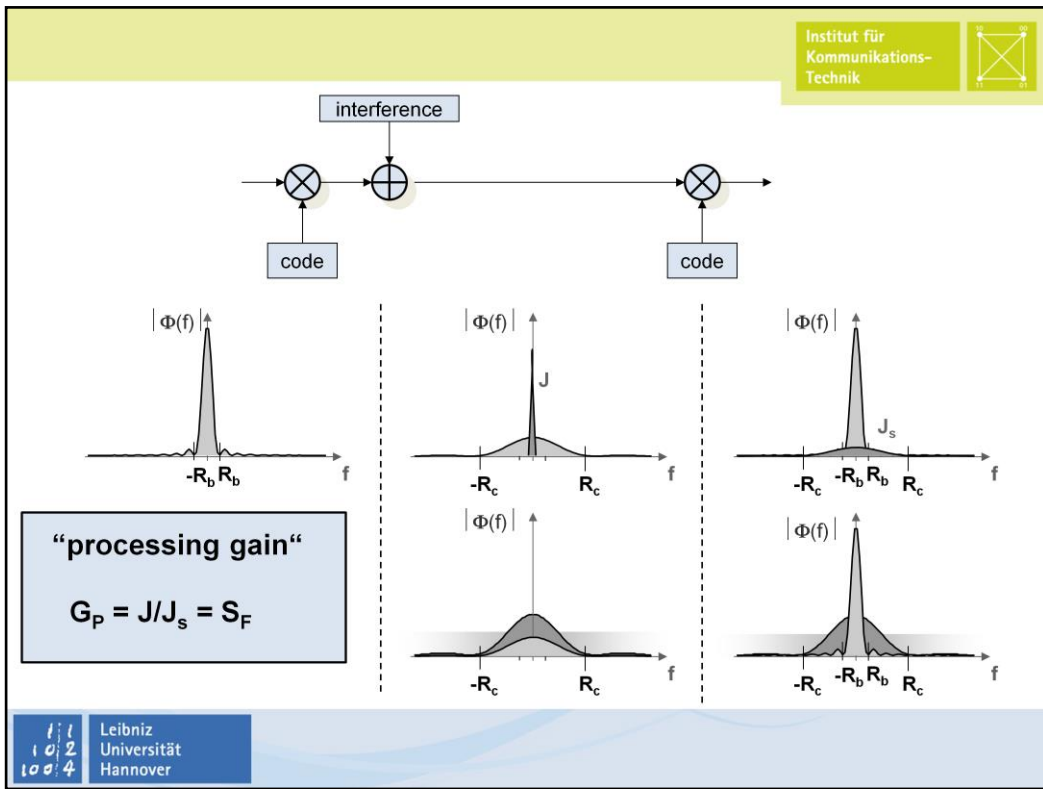
Ein Matched Filter bildet die Korrelationsfunktion des empfangenen Signals mit einer Musterfunktion, hier der Codefolge. Der Wert der Korrelationsfunktion ist ein Maß für die Ähnlichkeit des empfangenen Signals mit der Musterfunktion. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass man den Wert der Korrelationsfunktion durch Integrieren des Produktes aus Signal und Musterfunktion über eine Periode erhält. Diese mathematische Operation wurde bereits einige Abschnitte weiter oben, bei der Einführung der Vielfachzugriffsverfahren, erwähnt. Hier diente sie dazu festzustellen, ob zwei Trägerfunktionen zueinander orthogonal sind. Sie sind es dann, wenn das Integral zu null wird.

Entspricht das empfangene Signal der Musterfunktion, so erhält man am Ausgang eines Matched Filters die Autokorrelationsfunktion (AKF) der Musterfunktion. Die Autokorrelationsfunktion hat ihr Maximum dann, wenn die Phasenverschiebung zwischen empfangenem Signal und Musterfunktion gleich null ist.

Entspricht das empfangene Signal nicht der Musterfunktion, so erhält man am Ausgang des Matched Filters die Kreuzkorrelationsfunktion (KKF) der Musterfunktion mit dem empfangenen Signal. Bei einer phasenrichtigen Multiplikation entspricht die Integration genau dem oben erwähnten Test auf Orthogonalität zwischen Empfangssignal und Musterfunktion, hier dem Spreizcode.

Da der Empfänger die Summe aller gespreizten Teilnehmersignale empfängt, erhält man am Ausgang eines Zweiges des in der Abbildung gezeigten Korrelationsfilter-Empfängers am Ende einer Periode die Summe aus Autokorrelation des Spreizcodes eines Teilnehmers und der Kreuzkorrelationen der Spreizcodes aller anderen Teilnehmer mit dem Muster-Spreizcode.

Es ist leicht einzusehen, dass der störungsfreie Empfang der einzelnen Teilnehmersignale dann möglich ist, wenn die Beiträge der Kreuzkorrelationen verschwinden. Im Sinne der Definition von oben ist dies der Fall, wenn die Spreizcodes der verschiedenen Teilnehmer zueinander orthogonal sind. Wie in den anderen vorgestellten Vielfachzugriffsverfahren sorgen also auch im CDMA Verfahren orthogonale Trägerfunktionen, hier die Spreizcodes, dafür, dass die Gesamtbandbreite auf die einzelnen Teilnehmer aufgeteilt werden kann.



Die spektrale Spreizung der Teilnehmersignale führt zu einer besonderen Resistenz von CDMA Systemen gegenüber Störungen. Betrachtet werde ein vereinfachtes DS-CDMA Übertragungssystem, bei dem die gespreizten Signale bei der Übertragung über den Funkkanal gestört werden. Betrachten wir zunächst eine schmalbandige Störung, deren Leistungsdichtespektrum in der Abbildung schematisch dargestellt ist. Schmalbandig bedeutet hierbei, dass die Bandbreite des Störsignals wesentlich schmäler ist als die Bandbreite des gespreizten Teilnehmersignals.

Im Empfänger wird die Summe aus Teilnehmer und Störsignal mit dem Spreizcode des Teilnehmers multipliziert. Hierdurch wird die ursprüngliche Bitfolge des Teilnehmers wieder rekonstruiert, das entstehende Bitsignal hat eine um den Spreizfaktor geringere Bandbreite als das gespreizte Signal, man sagt daher auch, das Signal werden „entspreizt“. Dem Störsignal gegenüber stellt sich die Multiplikation mit einer Codefolge aber wie der Spreizvorgang dar, den das Teilnehmersignal im Sender durchlaufen hat. Das Störsignal wird also im Empfänger gespreizt. Die Leistungsdichte des Störsignals verringert sich idealerweise um den Spreizfaktor während sich die Leistungsdichte des Teilnehmersignals um den Spreizfaktor erhöht. CDMA Systeme sind deshalb resistent gegen schmalbandige Störsignale und werden daher oft auch in der Militärtechnik eingesetzt. Die CDMA-Technik hat hier ihren Ursprung.

Betrachtet man einen breitbandigen Störer, z.B. andere Teilnehmersignale, so bleibt das breitbandige Signal auch nach der Multiplikation mit dem Spreizcode ein breitbandiges Signal. Die Codefolge eines störenden Teilnehmers wird mit einem fremden Spreizcode multipliziert. Hieraus resultiert aber wieder eine Codefolge, die Rate ändert sich dabei nicht. Ein CDMA-Empfänger macht also aus einem breitbandigen Störer wieder einen breitbandigen Störer. Gleichzeitig wird aber das Teilnehmersignal entspreizt und damit die Leistungsdichte des Nutzsignals erhöht.

Der Betrag, um den die Leistungsdichte des Nutzsignals im Empfänger erhöht wird, nennt man auch Spreizgewinn oder processing gain. Der Wert des Spreizgewinn entspricht dem Spreizfaktor und damit der Anzahl übertragener Chips pro Bit. Der schmalbandige Störer wird im Empfänger etwa um den Spreizgewinn gedämpft.

Weißes Rauschen stellt sich dem Empfänger gegenüber als breitbandige Störung dar. Breitbandige Störungen bleiben breitbandig. Wie in der Abbildung dargestellt ist es möglich, bei ausreichend großem Spreizfaktor, das Teilnehmersignal mit einer geringeren spektralen Leistungsdichte als die des thermischen Rauschens zu übertragen und das Teilnehmersignal im thermischen Rauschen zu „verstecken“, so dass das Teilnehmersignal nur bei Kenntnis des Spreizcodes erkennbar ist. Auch dies ist ein Grund dafür, dass CDMA in der Militärtechnik Verwendung findet.



$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N} \cdot \frac{B}{R} = \frac{S}{N} \cdot G_p$$

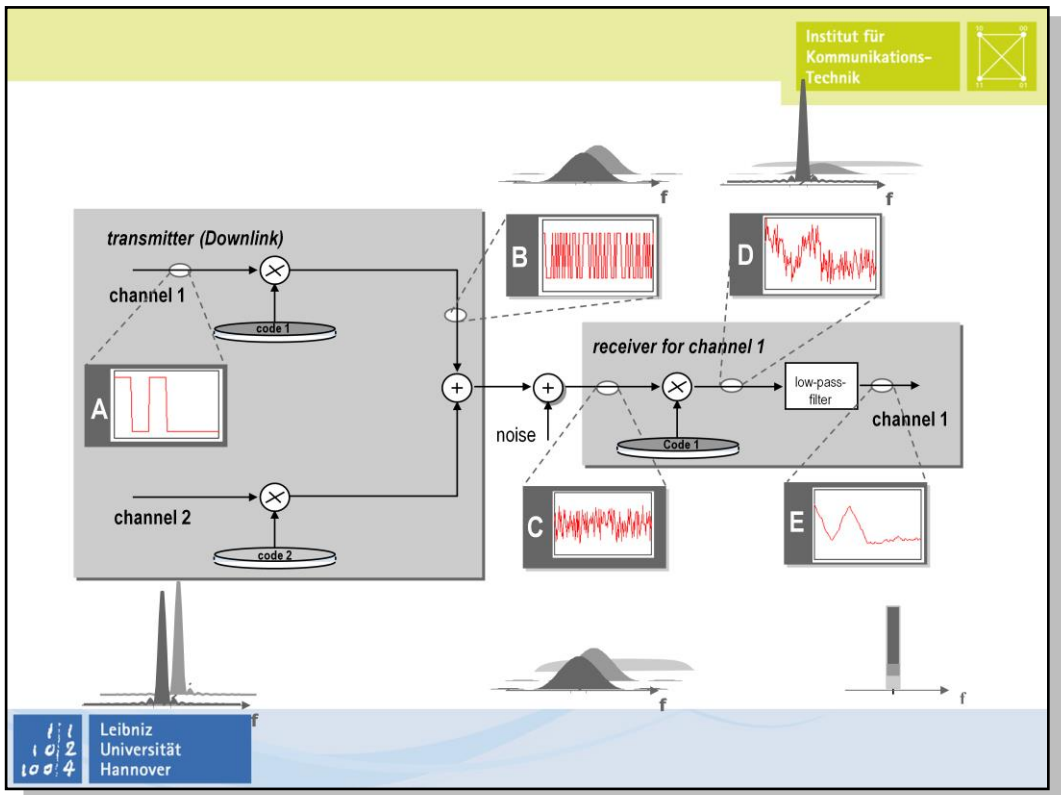
Diagram showing the derivation of the energy per bit to noise power spectral density ratio ( $E_b/N_0$ ). The equation is  $\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N} \cdot \frac{B}{R} = \frac{S}{N} \cdot G_p$ . Arrows indicate the following mappings:

- $\frac{S}{N}$  is labeled "signal-to-noise ratio" (implied from the title).
- $\frac{B}{R}$  is labeled "user bandwidth" (pointing to  $B$ ) and "data rate" (pointing to  $R$ ).
- $G_p$  is labeled "spreading gain" (pointing to  $G_p$ ).

The  $E_b/N_0$  is  $G_p$  times greater than the  $S/N$

Das Verhältnis der Energie, die bei der Signalübertragung auf ein Bit entfällt, und der Rauschleistungsdichte ist im Fall des Korrelationsfilter-Empfangs gleich dem Signal-zu-Rauschleistungsverhältnis multipliziert mit dem Verhältnis von Teilnehmerbandbreite und Datenrate. Dieser Zusammenhang gilt allgemein, auch bei Systemen, die kein CDMA verwenden. In CDMA-Systemen wird, wie oben beschrieben, das Teilnehmersignal auf eine Bandbreite gespreizt, die um den sogenannten Spreizfaktor größer ist als sie bei Übertragung ohne Spreizen notwendig wäre. Für ein Bandpasssystem ist zur Datenübertragung mindestens eine Frequenzbandbreite erforderlich, die der Datenrate entspricht. Für den Korrelationsfilter-Empfänger gilt also, dass das Bitenergie-zu-Rauschleistungsdichte Verhältnis gleich dem Produkt aus Signal-zu-Rauschabstand und Spreizgewinn ist, wobei der Spreizgewinn  $G_p$  im Idealfall gleich dem Spreizfaktor  $S_F$  ist.

In CDMA Systemen ist also das  $E_b/N_0$  typischerweise um den Spreizfaktor kleiner als das  $S/N$ . Dies ist auch der Grund dafür, dass in CDMA-Systemen Kommunikation stattfinden kann, obwohl das  $S/N$  am Empfänger für eine Verbindung typischerweise viel kleiner als eins ist.



Betrachten wir abschließend das in der Abbildung dargestellte CDMA System mit zwei Kanälen. Links dargestellt ist der Sender, der auf beiden Kanälen Daten überträgt, rechts dargestellt ist ein Empfänger für den oberen Kanal. Die Bitfolge (A) wird im Sender mit dem DS-CDMA Verfahren gespreizt, d.h. aus der Bitfolge (A) entsteht durch Multiplikation mit der Codefolge des oberen Kanals eine Chipfolge (B). Die Rate der Chipfolge ist ein Vielfaches der ursprünglichen Bitfolge. Das gleiche geschieht mit der Bitfolge, die über den zweiten Kanal übertragen wird. Beide Chipfolgen werden addiert und gemeinsam über einen durch Rauschen gestörten Kanal übertragen.

Am Empfänger liegt somit das verrauschte Summensignal (C) beider Kanäle an. Um die Bitfolge (A) wiederzugewinnen, wird das empfangene Signal wieder mit der Codefolge des ersten Kanals multipliziert und integriert bzw. tiefpass-gefiltert (ein Integrator ist auch ein Tiefpass-Filter). Das tiefpass-gefilterte Signal (E) muss jetzt nur noch zu den richtigen Zeitpunkten abgetastet werden, um die ursprünglich gesendete Bitfolge wieder zu rekonstruieren.

Bei diesem Beispiel wurde angenommen, dass die beiden Spreizcodes zueinander orthogonal sind, d.h. durch die Multiplikation des Summensignals (C) mit der Codefolge des ersten Kanals und anschließender Tiefpass-Filterung verschwindet der Anteil des zweiten Kanals. Ein Empfänger für den zweiten Kanal wäre genauso aufgebaut, würde aber den zweiten Spreizcode bei der Multiplikation verwenden.

Die in der Abbildung angedeuteten Leistungsdichtespektren der überlagerten Signale lassen erkennen, dass der Sender aus den ursprünglich schmalbandigen Signalen durch den Spreizvorgang breitbandige Signale macht. Beide Signale werden gemeinsam zur gleichen Zeit im gleichen Frequenzband übertragen, das S/N am Empfängereingang ist daher kleiner oder gleich eins. Durch das Entspreizen wird die Leistung des Signals des ersten Kanals wieder auf eine kleinere Bandbreite konzentriert, die Leistungsdichte des entspreizten Signals innerhalb dieser kleineren Bandbreite ist um den Spreizfaktor höher als die Leistungsdichte im gespreizten Fall. Der Signalanteil des zweiten Codekanals stellt sich gegenüber dem Empfänger für den ersten Codekanal wie ein breitbandiger Störer dar. Breitbandige Störer bleiben aber breitbandig, so dass das  $E_b/N_0$  Verhältnis letztlich um den Spreizfaktor größer ist als das S/N am Empfängereingang.



intentionally left blank

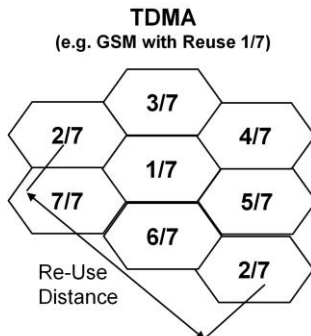
Wie bereits erläutert, sollten sich Spreizcodes dadurch auszeichnen, dass sie zueinander orthogonal sind, d.h. dass ihre Kreuzkorrelation verschwindet. In machen Fällen kann es auch ausreichen, wenn die Kreuzkorrelation nicht verschwindet, sondern nur klein ist, so dass sich verschiedene Teilnehmersignale nur wenig stören. In diesem Fall nennt man die Codes „quasi-orthogonal“.

Zur Detektion, Synchronisierung und Kanalschätzung eignen sich besonders Codes, deren Autokorrelationsfunktion im Nullpunkt eine ausgeprägte Impulsform aufweisen. Eine Menge von Codes, deren Elemente alle zueinander orthogonal oder quasi-orthogonal sind, nennt man auch eine Codefamilie. Für den Einsatz im Mobilfunk eignen sich große Codefamilien, d.h. Familien mit einer großen Zahl von Spreizcodes.

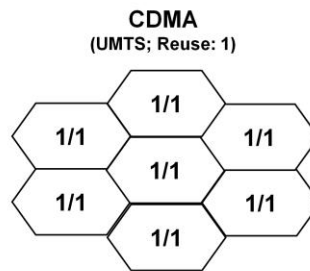
Bei konstanter Chiprate auf der Funk-Übertragungsstrecke ist die im Chipstrom dargestellte Bitrate eines Teilnehmersignals nur abhängig vom Spreizfaktor, da die Chiprate um den Spreizfaktor größer ist als die Bitrate. Der Spreizfaktor entspricht dabei der Anzahl von Chips pro Bit. Spreizt man jedes Bit eines Teilnehmers mit derselben Codesequenz, dann ist es sinnvoll Codefamilien zu verwenden, in die Codesequenzen verschiedener Längen enthalten, um variable Datenraten realisieren zu können. Ein Beispiel hierzu folgt.



## Frequency & radio network planing



- Stability → narrow-band interference
- Stability in Server environment  
(→ Multipath Advantage, Soft Handover)
- simple frequency planing (Re-Use:1)
- efficient radio resource usage
- „soft“ capacity limit
- but: fast Power Control essential



The CDMA principle is associated with many attributes that can have positive effects for transmission of information.

The coded transmission and the low information concentration of the CDMA signals were particularly important for the military applications. A transmitted signal can only be despread, and the data regenerated, if the receiver has the correct spreading code. The low information concentration allows information to be discretely transmitted – the signals are for all intents and purposes concealed in background noise.

The high level of stability of the broadband information transmission against the effects of narrowband background noise is vitally important for military and civil utilization. Frequency hopping is used in narrowband systems (such as GSM) to obtain this effect.

Yet another CDMA attribute is extremely important for civil applications in mobile communications systems. CDMA in principle allows the re-use of the same frequency band in all neighbouring cells (re-use =1). In contrast, the same frequency bands cannot be re-used in neighbouring cells in FDMA or TDMA systems. To prevent interference by subscribers at the same frequencies or in the same timeslots, cells with identical frequencies must be spatially separated. In FDMA and TDMA systems, cells are arranged in a careful, complicated frequency planning process. Re-use schemes of 1/7, 1/9, etc. are typical. As a result, only one part (1/7, 1/9, ...) of the theoretically available frequency band can be used in the one cell.

CDMA can therefore in principle do without complicated frequency planning, and allows efficient usage of the available (scarce) frequency resources. The limits to transmission capacities in FDMA and TDMA systems are determined by a fixed number of physical channels. With CDMA, however, there is a "soft" capacity limit. The capacity of CDMA systems is mainly restricted by the interference of other subscribers in a cell (so-called intra-cell interference) and interference from other cells (inter-cell interference).

Other advantages presented by CDMA, and in particular for transmission in treacherous terrain, are the use of multiple paths (multipath advantage) and soft handover. Both effects are described later.

However, CDMA is also accompanied by a number of problems. For example, a fast power control system is required.

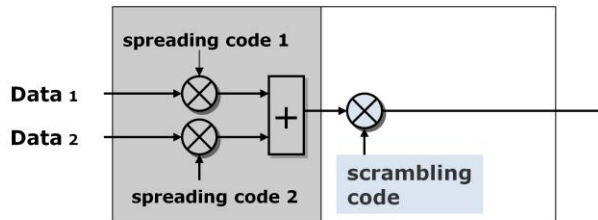
# Outline



1. Transmission Chain
2. Principles Radio Interface
3. Basics CDMA
4. Basics UMTS CDMA Receiver



Different physical channels of the same sender are separated using orthogonal codes of length  $2^k$  ( $k=0..9$ )



“quasi-orthogonal” separation of different senders by scrambling of the chip stream

In UMTS findet das DS-CDMA Verfahren Anwendung, wobei zwischen der Spreizung der einzelnen Bitströme und Verwüfelung des Summensignals einer Station unterschieden wird. Verschiedene Bitströme, die vom Sender aus parallel übertragen werden sollen, werden mit verschiedenen, orthogonalen Spreizcodes multipliziert und anschließend wie bereits für den allgemeinen Fall eines CDMA Systems gezeigt addiert.

Das Summensignal erfährt anschließend noch eine sogenannte Verwüfelung, die durch eine chipweise Multiplikation des Summensignals mit einem Verwüfelungscode erfolgt. Der Verwüfelungscode hat dieselbe Rate wie die gespreizten Chipströme der einzelnen Kanäle. Das Teilnehmersignal wird also durch die Verwüfelung nicht nochmals gespreizt, die Chirrate bleibt gleich. Vielmehr wird durch die Verwüfelung das Vorzeichen des Summensignals systematisch an einigen Stellen vertauscht.

Die Verwüfelungscodes sind prinzipiell Sender-spezifisch. Durch das Verwüfeln verlieren die Chipfolgen verschiedener Sender ihre Orthogonalität zueinander, sie sind nur noch quasi-orthogonal. Zwar geht damit ein Übersprechen der verschiedenen Codekanäle einher, gleichzeitig müssen die Signale verschiedener Sender aber nicht synchronisiert werden bzw. im Empfänger chipsynchron ankommen, da die quasi-orthogonalen Signale auch bei einer Zeitverschiebung quasi-orthogonal bleiben. Orthogonale Codes verlieren bei asynchronem Empfang ihre Orthogonalität, so dass ein CDMA Empfänger bei Verwendung orthogonaler Codes die laufzeitbedingte Verschiebung der einzelnen Teilnehmersignale kompensieren muss, wodurch der Decodierungsaufwand mit steigender Zahl von Teilnehmersignalen stark zunimmt.

Durch das Verwüfeln steht in UMTS jedem Sender die gesamte Familie der orthogonalen Codes zur Verfügung. Zwei verschiedene Sender können dieselben Spreizcodes verwenden, da die verschiedenen Verwüfelungscodes dafür sorgen, dass die Signale auf der Funk-Übertragungsstrecke quasi-orthogonal sind. Da die Menge an orthogonalen Codes prinzipiell begrenzt ist, würde das System an Flexibilität verlieren, wenn die Spreizcodes, die in einem Sender verwendet werden, nicht gleichzeitig in einer anderen Station verwendet werden dürften.

Im FDD-Modus von UMTS ist der Verwüfelungscode stationsspezifisch, d.h. jede Basisstation und jede Mobilstation verwendet einen anderen Verwüfelungscode. Im TDD-Modus ist der Verwüfelungscode zellspezifisch, d.h. die Mobilstationen derselben Zelle verwenden denselben Verwüfelungscode wie die Basisstation. Verschiedene Basisstationen verwenden verschiedene Verwüfelungscodes. Die Datenströme in einer Zelle werden also im Downlink mit demselben Verwüfelungscode übertragen, sie sind daher also orthogonal.

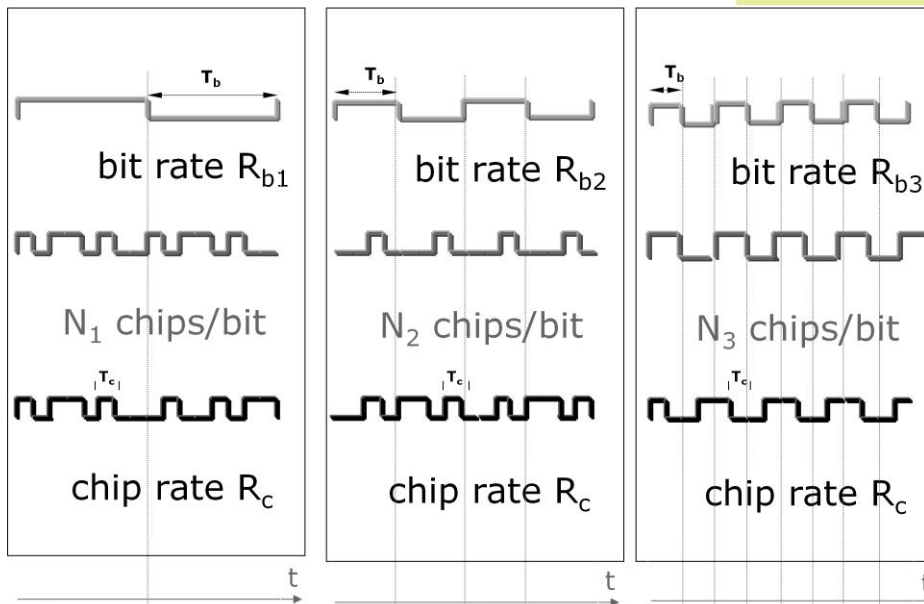
Dieser Unterschied hängt im wesentlichen damit zusammen, dass im TDD-Modus pro Zelle nur bis zu sechzehn Mobilstationen gleichzeitig senden können, im FDD-Modus aber wesentlich mehr.





Verwendet ein Teilnehmer den Spreizfaktor eins, so existiert kein weiterer Code, der diesen Code nicht als Muttercode hat, der Teilnehmer verwendet dann den Kanal exklusiv. Verwendet ein Teilnehmer aber den Spreizfaktor zwei, so kann ein weiterer Teilnehmer den Spreizfaktor zwei oder zwei weitere Teilnehmer den Spreizfaktor vier verwenden usw..

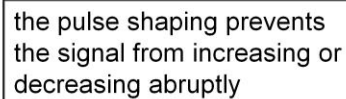
## Spreading with OVFS Codes



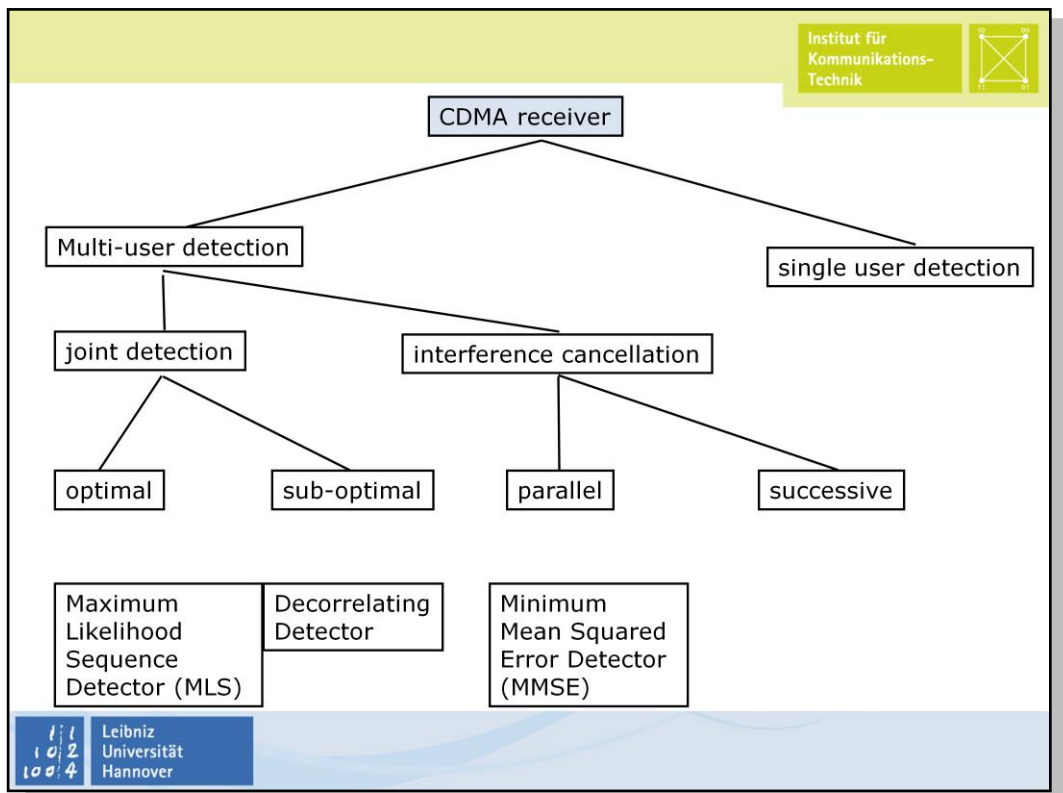
Wie bereits erläutert, sind solche Codefamilien für den Mobilfunk besonders geeignet, die aus verschiedenen langen orthogonalen Codesequenzen bestehen. Eine solche Familie bilden die sogenannten orthogonalen Codes mit variablem Spreizfaktor (OVFS Codes), die in UMTS Anwendung finden. Auf sie wird weiter unten noch genauer eingegangen.

Das Prinzip der Realisierung verschiedener Übertragungsraten ist in der Abbildung dargestellt. Drei Datenströme werden parallel in drei verschiedenen Codekanälen übertragen. Die Bitraten der Datenströme sind dabei verschieden. Die Bitströme werden gespreizt, so dass die entstehenden Chipströme die gleiche Rate haben. Hierzu wird jedes Bit des ersten Datenstroms mit einem Spreizcode von je acht Chips multipliziert. Die Übertragungsrate des entstehenden Chipstroms ist daher das Achtfache derjenigen des Bitstroms. Das gleiche geschieht mit dem zweiten und dritten Datenstrom, mit dem Unterschied, dass jedes Bit mit einem Spreizcode von je vier bzw. zwei Chips multipliziert wird. Die Chiprate ist dann viermal bzw. zweimal so groß wie die entsprechende Bitrate.

Der Empfänger, der die Summe aller Chipströme empfängt, muss in der Lage sein, durch Korrelation den gesendeten Bitstrom wie bereits gezeigt zu rekonstruieren. Dies ist nur dann möglich, wenn die Codefolgen verschiedener Chipströme zueinander orthogonal sind. Da während der Zeitdauer der ersten Codefolge genau viermal die dritte Codefolge verwendet wird, müssen auch vier Kopien der dritten Codefolge orthogonal zur Codesequenz des ersten Kanals sein. Das gleiche gilt für zwei Kopien der zweiten Codefolge. Schließlich müssen zwei Kopien der dritten Codefolge orthogonal zu einer Codesequenz des zweiten Codekanals sein.



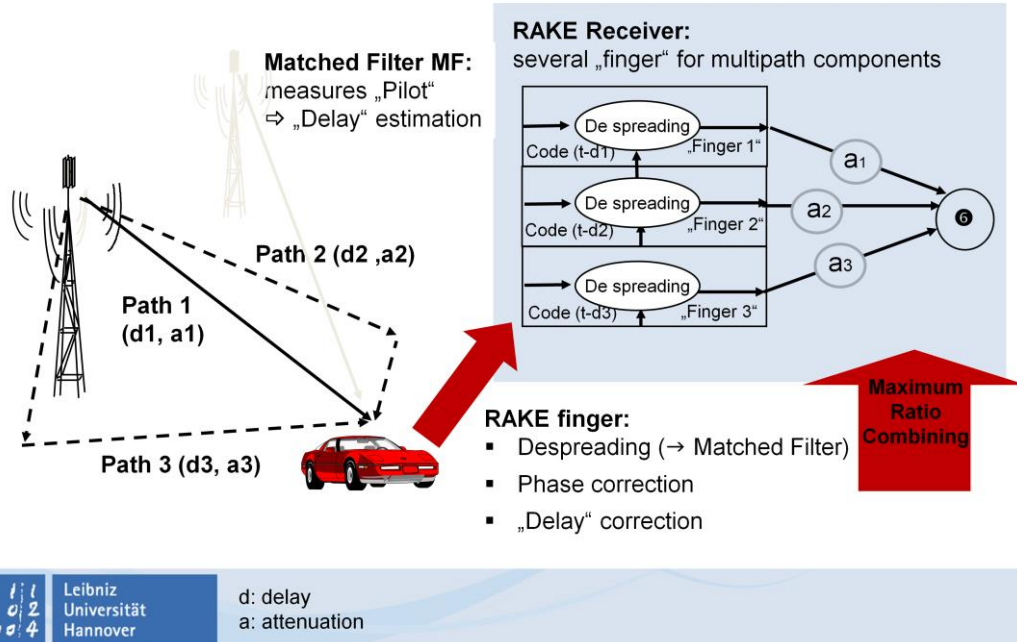
Die Modulationsrate ist 3,34 Mchip/s, wobei aufgrund des vierwertigen Modulationsverfahrens pro Modulationsschritt je zwei Chips übertragen werden. Zur Pulsformung wird ein Wurzel-Cosinus Filter (root-raised cosine) verwendet.



Zusammenfassend kann man die CDMA-Empfänger wie folgt klassifizieren: Wird bei der Decodierung eines Codekanals die Gegenwart anderer Codekanäle ignoriert, so spricht man von Einzeldetektion, andernfalls von Mehrteilnehmerdetektion. Im UMTS FDD Modus wird zunächst Einzeldetektion verwendet, da der Rechenaufwand für Mehrteilnehmerdetektion aufgrund der Länge der Verwürfelungscodes, der Asynchronität und aufgrund der Vielzahl von gleichzeitig aktiven Teilnehmern erheblich wäre. Im TDD Modus ist der Einsatz von Mehrteilnehmerdetektion aufgrund der kürzeren Verwürfelungscodes und der geringen Zahl gleichzeitig aktiver Teilnehmer möglich.

Verfahren zur Mehrteilnehmerdetektion sind die Gemeinsame Detektion und die Interferenzeliminierung. Neben dem perfekten gemeinsamen Detektor, dem Maximum Likelihood Sequence Detektor (MLS detector) gibt es eine Vielzahl von suboptimalen Verfahren, die eine erheblich geringere Rechenleistung erfordern.

Die Interferenzeliminierung kann, wie oben bereits erläutert, sowohl parallel für alle Codekanäle gleichzeitig oder sukzessiv durchgeführt werden.



CDMA can benefit from multipath propagation of radio waves with the use of a so-called RAKE receiver. The information for transmission reaches the receiver in practice not only by direct "line of sight", but also via echos from obstacles. Normally this increases the noise level, a situation that is not desirable. The reflected information passes over longer paths than the direct line of sight and is therefore delayed. If the delay is longer than one chip, the receiver usually regards the reflected information as undesirable noise. The use of RAKE receivers turns this disadvantage to an advantage.

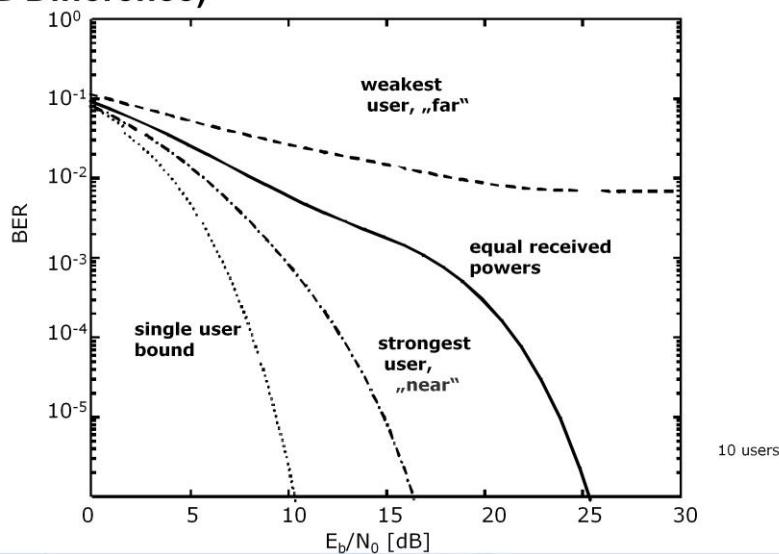
A RAKE receiver has a number of RAKE fingers. Each of these RAKE fingers changes (by de-spreading) broadband signals with different delays from the same source (i.e., with the same spreading code) back into user information by using the spreading code. This can be done because the different RAKE fingers apply the spreading code with delays.

The RAKE fingers obtain information from a so-called Matched Filter (MF) for the synchronization required. The MF compares incoming information with predefined data sequences. These sequences are shifted in time. If the incoming chip sequences match the predefined sequences, a power peak is registered. Predefined information and information in the UL /DL contain so-called pilot sequences or the mid-ambles of the TDD bursts. The MF returns information on the delays of the different user signals in this way. It also supplies information on the amplitude of the different user signals.

The RAKE fingers are responsible for the de-spreading of the user signals received by multipath propagation. The fingers also correct the information with regard to phase and adapt the timing of the information. Depending on the signal strength (MF information), the information components are summed (Maximum Ratio Combining).

A strong signal consisting of multipath components is therefore obtained in this way with a RAKE receiver.

## Bit Error Probability for Single User Detection & Unbalanced Receive Powers (0dB to 3dB Difference)



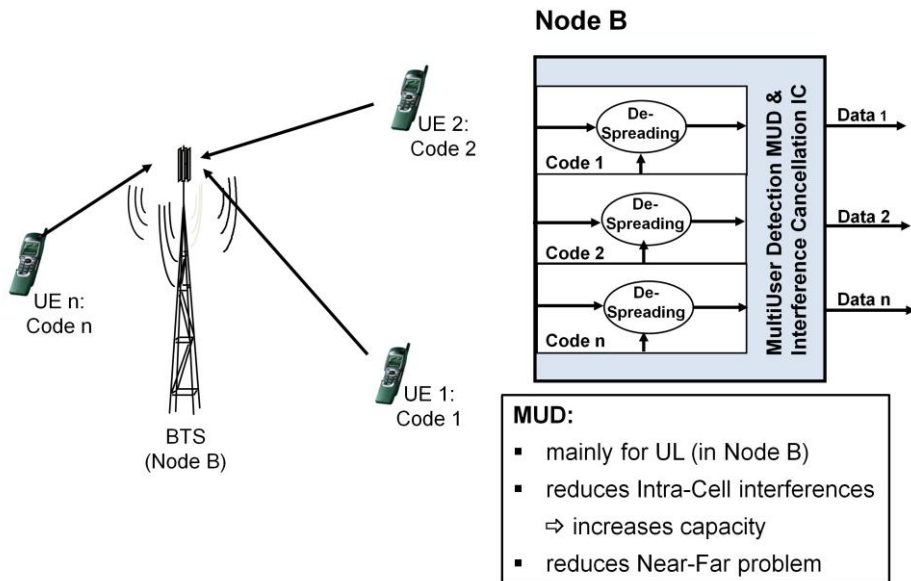
Welch signifikanten Einfluss auf die Systemleistung der Nah-Fern Effekt haben kann, zeigt die Abbildung. Hier ist die Häufigkeit von Detektionsfehlern auf der Aufwärtsstrecke als Funktion des Verhältnisses der Bitenergie zur Rauschleistungsdichte für eine Zelle mit zehn Teilnehmern dargestellt. Die durchgezogene Linie zeigt die Bitfehlerhäufigkeit für den Fall, dass die Empfangsleistung aller Teilnehmersignale exakt gleich sind.

Nimmt man nun an, dass sich die Empfangsleistungen der Teilnehmersignale um bis zu 3dB unterscheiden können, d.h. das schwächste Signal hat genau die halbe Leistung im Vergleich zum stärksten Signal, so zeigt sich ein extremer Unterschied in den Bitfehlerhäufigkeiten für den nahen und den fernen Teilnehmer. Die Bitfehlerhäufigkeit des fernen Teilnehmers kann um Größenordnungen größer sein als die des nahen.

Mit der im Beispiel gezeigten Bitfehlerhäufigkeit des schwachen Teilnehmers ist eine Kommunikation praktisch nicht mehr möglich. In einem CDMA-System mit Einzeldetektor ist daher unbedingt eine Leistungsregelung erforderlich, die die Empfangsleistung schnell und präzise anpasst. Aus diesem Grund existiert in CDMA-Systemen oft ein eigener physikalischer Kanal, der überwiegend Leistungssteuerungs-Kommandos mit einer hohen Rate überträgt.

Im UMTS FDD Modus werden Einzeldetektoren verwendet. Die Übertragungsrate der Leistungssteuerungs-Kommandos beträgt 1500 Kommandos pro Sekunde.

# Multi User Detection MUD



## MultiUser Detection (MUD)

- ⇒ MultiUser Detection (MUD) and Interference Cancellation (IC) can be used for clearing intra-cell noise. In doing so, the MUD /IC can
  - increase the capacity of the system. Different models indicate that MUD /IC can theoretically increase the system capacity by a factor of 2.8 and
  - reduce the "near-far" problem.
- ⇒ The broadband information of all UE in a cell generated with the use of different spreading codes is received by the receiver of a BTS (Node B). The information is despread in the receiver using the same spreading code. MUD processes the signals jointly in order to separate undesirable interference due to the other users in the cell from the signal wanted. Large parts of the intra-cell interference can be separated from the overall signal and canceled (Interference Cancellation IC).
- ⇒ The desired signal of a specific user is clearly distinguishable from the background. MUD therefore provides a much better signal to noise ratio (S/N). Since the capacity of CDMA systems is mainly limited by interference (there is however also a restriction regarding the number of available orthogonal codes), MUD /IC contributes to an increase in capacity. MUD /IC is a relatively complex method. It is consequently mainly recommended for applications in the UL direction – i.e. in Node B. However, there are also studies on the use of MUD /IC in user equipment (UE). The interferences of the most powerful "disturbers" can be canceled at least.



