

Physikalische Grundlagen der mobilen Kommunikation

Seminar Mobile Communications
SoSe 2001

Tom Eicher
teicher@student.ethz.ch

Zusammenfassung

Ein Hauptunterschied zwischen konventioneller und mobiler Kommunikation besteht darin, dass letztere meist ohne ein für sie reserviertes Medium auskommen muss. Für die also "drahtlosen" Verbindungen existiert nur ein einziges physikalisches Medium: der Raum.

Der Vortrag gibt eine Einführung über die Eigenheiten der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen im Raum und beschreibt verschiedene Zugriffstechniken, die in der mobilen Kommunikation Verwendung finden.

Insbesondere lässt sich der Raum mittels Multiplextechniken entlang vierer Dimensionen in mehrere Kanäle aufteilen, die vielen Teilnehmern das gleichzeitige Benützen des Mediums erlauben. Neben der bekannten Aufteilung nach Raum, Zeit und Frequenz ermöglicht es Codemultiplexing, beliebig viele Kanäle zu erhalten, die sich in den anderen Dimensionen überschneiden können. Zusammen mit anderen Eigenschaften wie Abhörsicherheit und Robustheit gegen schmalbandige Störungen macht dies CDMA (Code Division Multiple Access) zum Medienzugriffsverfahren der Wahl, sofern genügend Rechenressourcen zur Verfügung stehen.

Copyright Notice

Die meisten Abbildungen wurden verändert oder unverändert übernommen aus den Unterlagen zur Vorlesung "Mobile Communications" von Jochen H. Schiller, Freie Universität Berlin, 2001.

http://www.inf.fu-berlin.de/inst/ag-tech/mobile_communications.htm

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
1 Ausbreitung elektromagnetischer Wellen im Raum: Grundlagen	3
1.1 Signalausbreitung	3
1.1.1 Beeinflussung durch Objekte im Ausbreitungspfad	3
1.1.2 Mehrwegeausbreitung	4
1.2 Antennen	5
1.3 Frequenzspektrum	5
1.4 Modulation	6
1.4.1 Digitale Modulation	6
1.4.2 Analoge Modulation	7
2 Multiplexing und Medienzugriff	8
2.1 Raummultiplex	8
2.2 Frequenzmultiplex	8
2.3 Zeitmultiplex	9
2.3.1 Medienzugriff bei Zeitmultiplex	9
2.4 Codemultiplex	10
2.4.1 Bandspreizung (Spread Spectrum)	11
2.4.2 Direct Sequence Spread Spectrum	12
2.4.3 Frequency Hopping Spread Spectrum	15
2.4.4 Medienzugriff mittels Codemultiplex	16
3 Schlussfolgerung	17
A Referenzen	18

1 Ausbreitung elektromagnetischer Wellen im Raum: Grundlagen

In der mobilen Kommunikation werden Daten typischerweise mittels elektromagnetischer Wellen im Raum übertragen (also "drahtlos"), im Gegensatz etwa zu herkömmlichen Computernetzwerken und zum Telefon, die sich eines eigenen Mediums (Kabel) bedienen.

Kennzahlen elektromagnetischer Wellen sind:

- die Frequenz f (Anzahl Schwingungen pro Sekunde, $(f) = \text{Hz}$).
- die Wellenlänge λ (Abstand zweier Schwingungspositionen gleicher Phase, $(\lambda) = \text{m}$).
- die Ausbreitungsgeschwindigkeit (Phasengeschwindigkeit) c (in der Luft ungefähr $300\,000 \text{ km/s}$) ($c) = \text{m/s}$).

Es gilt der in Gleichung 1 dargestellte Zusammenhang zwischen Wellenlänge, Frequenz und Phasengeschwindigkeit:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Gleichung 1 – Zusammenhang von Wellenlänge und Frequenz

Dieses Kapitel geht auf die Eigenheiten der *Ausbreitung* elektromagnetischer Wellen im Raum ein, beschreibt, wie mittels *Antennen* Signale gesendet und empfangen werden können, und wie beides vom gewählten *Frequenzband* abhängt. Im letzten Abschnitt wird auf die *Modulation* eingegangen, welche die Umsetzung digitaler Information in elektromagnetische Wellen erlaubt.

1.1 Signalausbreitung

Elektromagnetische Wellen breiten sich im Raum grundsätzlich geradlinig aus; die Intensität der Strahlung und damit die Empfangsstärke nimmt dabei quadratisch mit der Entfernung vom Sender ab. Zudem haben Objekte im Ausbreitungspfad Einfluss auf die Signalausbreitung, wie sie vom Licht bekannt sind:

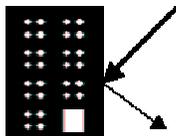
1.1.1 Beeinflussung durch Objekte im Ausbreitungspfad

- Dämpfung und Abschattung



Je nach Objekt und Medium wird die Strahlung gedämpft, im Extremfall sogar ganz abgeschattet.

- Reflektion an grossen Flächen



Ein Objekt wirft ein Signal zurück.

- Streuung an kleinen Objekten



Ein Signal wird räumlich aufgespreizt, wodurch seine Leistungsdichte verringert wird.

- Beugung an scharfen Kanten



Ein Signal wird in eine andere Richtung umgelenkt.

Um ein Signal zu beeinflussen muss die Grösse eines Objekts mindestens in der Grössenordnung der Wellenlänge liegen; die beschriebenen Effekte sind also frequenzabhängig. So wird das Kurzwellenradio ($\lambda \approx 20$ m) durch ein kleines Hindernis wie etwa ein Strassenschild viel weniger gedämpft als etwa der Mobilfunk ($\lambda \approx 1$ cm).

Abbildung 1 zeigt die Wellenausbreitung eines Senders in einem Stockwerk, z.B. die eines Wave LAN Routers.

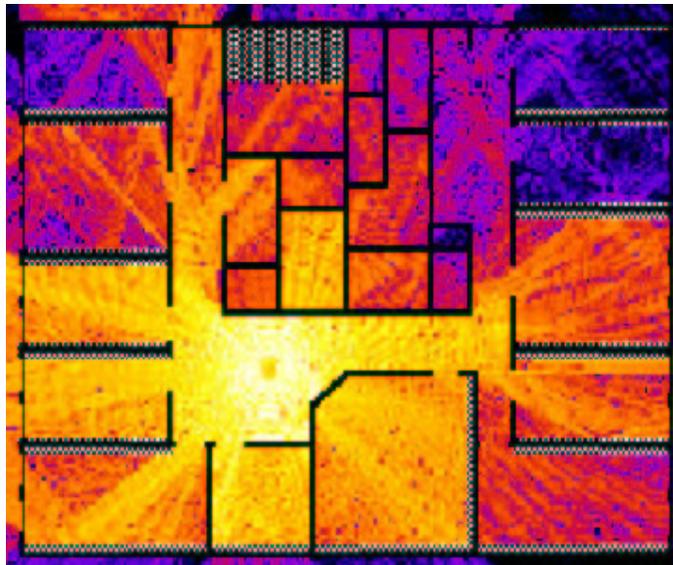


Abbildung 1 – Wellenausbreitung einer Wave LAN Basisstation in einem Büro

1.1.2 Mehrwegeausbreitung

Zusammen führen die oben beschriebenen Effekte zu *Mehrwegeausbreitung*, die besonders bei der mobilen Kommunikation ein wichtiges Problem darstellt, weil sich hier die entscheidenden Parameter (topografische und künstliche Hindernisse im Ausbreitungspfad, Distanz zwischen Sender und Empfänger) laufend ändern. Bei der Mehrwegeausbreitung wird ein Signal auf mehreren Pfaden, die sich in Laufzeit und Dämpfung unterscheiden können, zum Empfänger geleitet. Wenn der Laufzeitunterschied zweier Pfade grösser ist als die zeitliche Distanz zwischen zwei gesendeten Symbolen, so kommt es beim Empfänger zur Überlappung zweier Symbole, sogenannter Intersymbolinterferenz (ISI) (s. Abbildung 2).

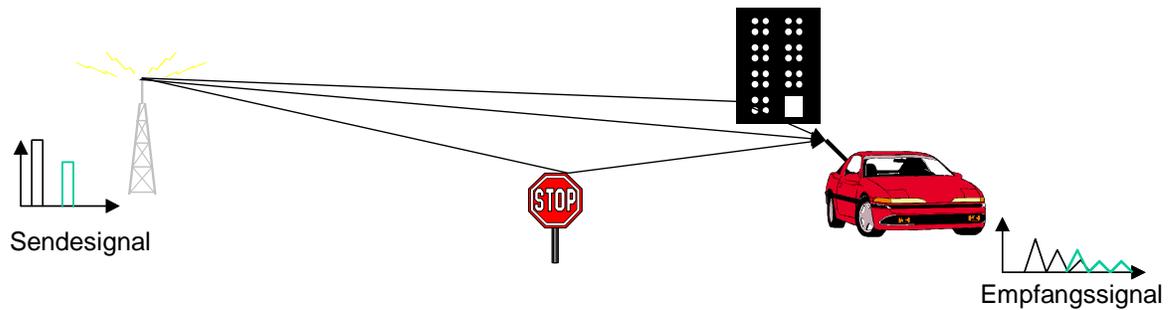


Abbildung 2 – Mehrwegeausbreitung

1.2 Antennen

Um elektromagnetische Wellen zu erzeugen werden *Antennen* benutzt. Antennen sind Schwingkreise, wobei im Allgemeinen schon ein Stück Draht genügt. Die Länge der Antenne wird durch die Wellenlänge bestimmt: normalerweise entspricht die Länge $\lambda/2$, wenn die Antenne einseitig geerdet ist auch $\lambda/4$.

Wegen der üblichen Baugrößen von mobilen Geräten (z.B. Mobiltelefonen) schränkt dies den für die mobile Kommunikation zur Verfügung stehenden Frequenzraum schon stark ein.

1.3 Frequenzspektrum

Die für Funkkommunikation sinnvoll nutzbaren Frequenzen werden national und international reglementiert; die meisten Frequenzen sind schon vergeben, weshalb kaum noch welche für neue Mobilfunkstandards zur Verfügung stehen. Wegen kollidierender nationaler Interessen ist es insbesondere schwierig, weltweit dieselben Frequenzbänder für eine Anwendung zu reservieren.

Für die mobile Kommunikation sind wegen der Antennenlänge und Reichweite vor allem Frequenzen im GHz-Bereich (Wellenlänge: ein paar cm) gefragt. Abbildung 3 zeigt das für Kommunikation benutzte Frequenzspektrum.

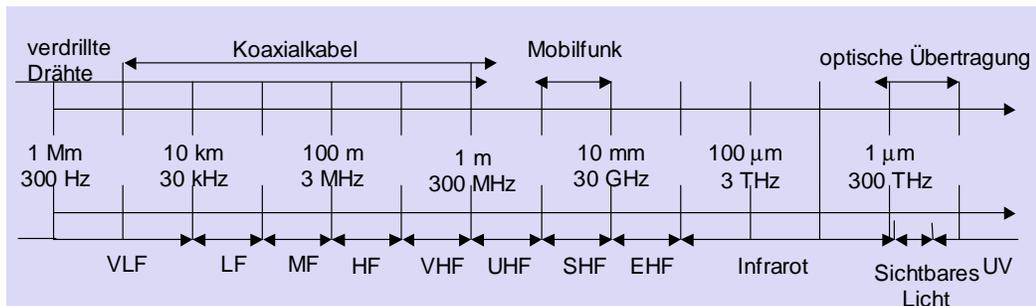


Abbildung 3 – Frequenzspektrum

1.4 Modulation

1.4.1 Digitale Modulation

Mittels digitaler Modulation werden digitale Daten in elektromagnetische Wellen umgewandelt. Die oft als Rechtecksignal vorhandene Information direkt als Welle im Raum zu übertragen ist ungünstig, da sich ein Rechtecksignal aus sehr vielen harmonischen Schwingungen zusammensetzt (Fouriergleichung) und damit eine theoretisch unendliche Bandbreite benötigt.

Die folgenden grundlegenden Verfahren werden eingesetzt:

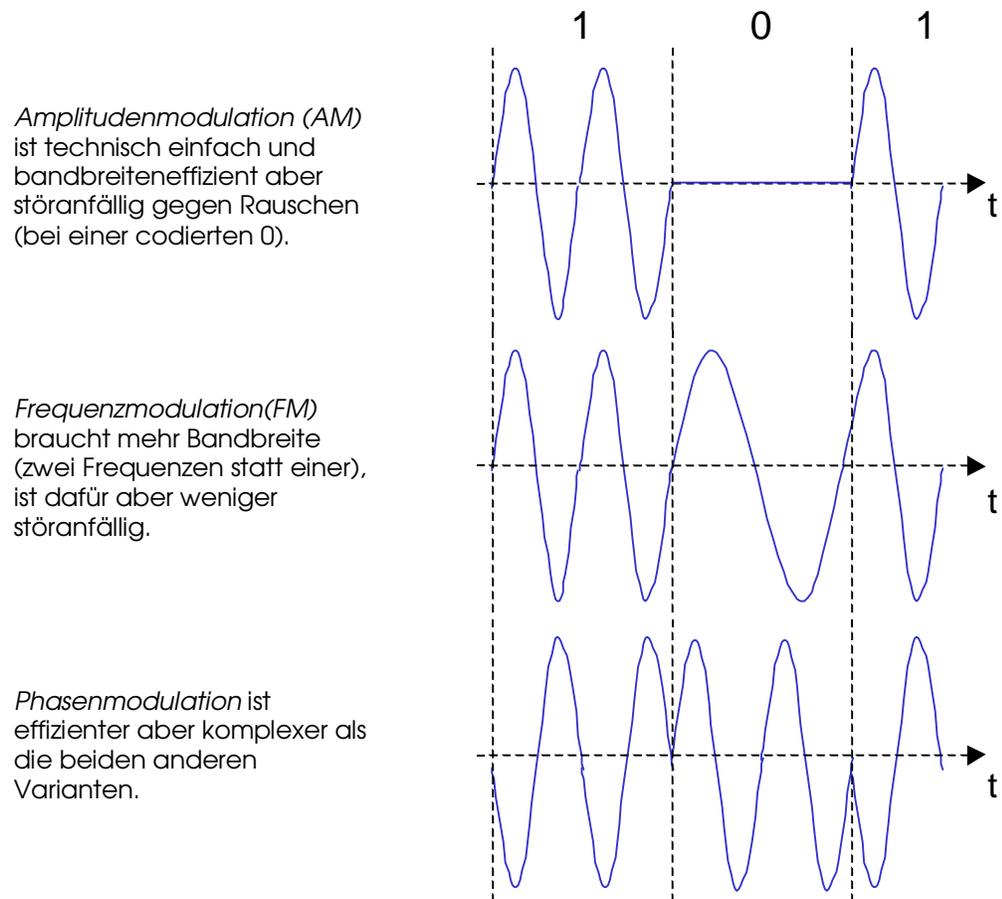


Abbildung 4 – Amplituden-, Frequenz- und Phasenmodulation

Für Funkkommunikation sind Amplituden- und Phasenmodulation zu störanfällig: AM wegen seiner Anfälligkeit gegen Rauschen (AM wird aber in Glasfasern eingesetzt), Phasenmodulation wegen der Probleme mit Mehrwegeausbreitung (wird in Modems und Satellitenfunk benutzt). Deshalb wird meist ein erweitertes Frequenzmodulationsverfahren eingesetzt, das abrupte Phasensprünge vermeidet¹. Diese sind unerwünscht, da bei Phasensprüngen hohe Frequenzen auftreten.

¹ Das verbreitete MSK (Minimum Shift Keying) wird in (1), p. 82, beschrieben.

1.4.2 Analoge Modulation

Die analoge Modulation verschiebt ein (analoges) Signal auf eine andere Trägerfrequenz. Die digitale Modulation erzeugt z.B. aus einem 1 MBit Datenstrom ein analoges Signal im 1 MHz Bereich. Wegen gesetzlicher Bestimmungen, der Antennenlänge, Frequenzmultiplex (s. Kapitel 2.2) oder Medieneigenschaften (Dämpfung etc.) ist es aber u.U. günstiger, das Signal im 1800 MHz Bereich (GSM) zu übertragen. Dies wird mittels analoger Modulation erreicht.

Für die analoge Modulation stehen im wesentlichen die oben beschriebenen Techniken (Amplituden-, Frequenz- und Phasenmodulation) zur Verfügung.

Abbildung 5 zeigt schematisch das Zusammenwirken von digitaler und analoger Modulation bzw. Demodulation.

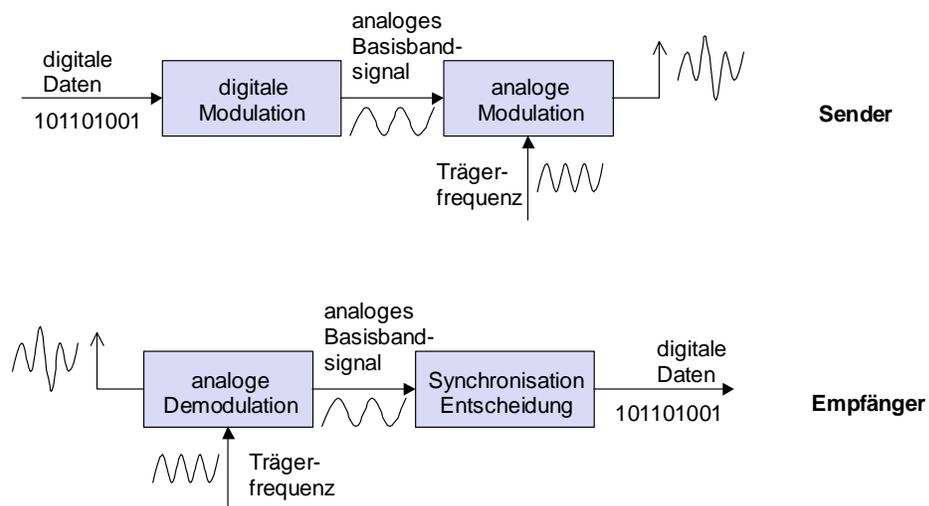


Abbildung 5 - Digitale und analoge Modulation / Demodulation

2 Multiplexing und Medienzugriff

Ein gewichtiger Unterschied zwischen der herkömmlichen und der Funkkommunikation besteht darin, dass bei letzterer alle Teilnehmer über dasselbe Medium – den Raum – kommunizieren, und nicht über ein reserviertes Medium wie ein Kabel verfügen. Mit *Multiplex-Techniken* wird der Raum in mehrere Kanäle aufgeteilt und *Medienzugriffsverfahren* regeln den gemeinsamen Zugriff der Teilnehmer auf diese Kanäle, um zu verhindern, dass sich die verschiedenen Sender gegenseitig stören.

Multiplexing wird erreicht, indem der Signalraum entlang seiner vier Dimensionen partitioniert wird: dem *Raum*, der *Frequenz*, der *Zeit*, und dem verwendeten *Code*. Diese Techniken werden in der Praxis selten einzeln eingesetzt, sondern miteinander kombiniert.

Die folgenden Kapitel zeigen die grundlegende Idee hinter jeder Multiplex-Technik und erläutern, wie die zugehörigen Medienzugriffsverfahren arbeiten.

2.1 Raummultiplex

Beim Raummultiplex wird der Raum geographisch aufgeteilt in verschiedene Zellen. Wegen der begrenzten Reichweite elektromagnetischer Wellen können Frequenzen in mehreren Zellen benützt werden, ohne dass Interferenzen auftreten. Zwischen Zellen mit gleichen Frequenzen muss ein genügend grosser *Schutzabstand* eingeplant werden, um Störung durch Rauschen oder sogar Interferenzen zu umgehen.

Abbildung 6 zeigt drei Zellen in denen die anderen drei Dimensionen frei verfügbar sind. Abbildung 7 illustriert, wie mittels Kombination von Frequenz- und Raummultiplex der Schutzabstand eingehalten werden kann: die gleichen Frequenzen werden jeweils erst nach zwei Zellen wieder eingesetzt. In der Realität sind kaum solche regelmässigen Muster anzutreffen, da meist topographische (Berge) und demographische (Bevölkerungsdichte) Randbedingungen bestehen.

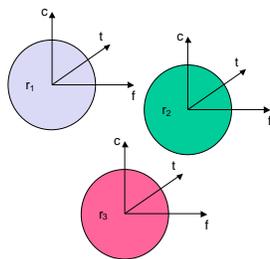


Abbildung 6 – Raummultiplex

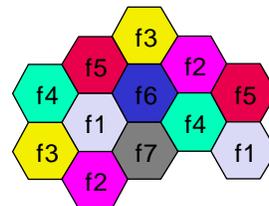


Abbildung 7 – Zellenstruktur mit sieben Frequenzen

Weil die Raumaufteilung meist statisch im Voraus erfolgt, eignet sich Raummultiplex nicht für die dynamische Kanalzuteilung. Sie wird aber von fast jeder Anwendung benützt, um die notwendige Sendeleistung klein zu halten und kleinere, einfacher zu handhabende Übertragungsbereiche zu erhalten.

Beispiele sind die Rundfunkfrequenzen (sie werden national vergeben) und die Zellen der GSM Funktelefone.

2.2 Frequenzmultiplex

Wie schon erwähnt, kann der Signalraum entlang der Frequenzen in mehrere *Frequenzbänder* partitioniert werden. Sender und Empfänger blenden mittels Hoch- und Tiefpassfiltern die anderen Frequenzen aus, so dass keine Interferenzen entstehen; allerdings ist auch hier ein Schutzabstand zwischen Frequenzbändern nötig, um kleinere Schwankungen auszugleichen.

Abbildung 8 zeigt schematisch die Aufteilung des Signalraums in mehrere Frequenzbänder, in denen die Dimensionen Code und Zeit beliebig nutzbar sind.

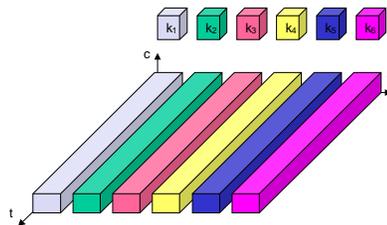


Abbildung 8 – Frequenzmultiplex

Frequenzmultiplex wird wegen seiner Kompatibilität mit analogen Signalen überall da eingesetzt, wo Koexistenz mit diesen nötig ist. Insbesondere werden die Frequenzbänder für Rundfunk und Fernsehen, aber auch für alle anderen Bereiche, von (inter-)nationalen oder regionalen Institutionen vergeben. Dieses System ist zwar starr und lässt sich nicht dynamisch dem Bedarf anpassen, braucht aber auch keine laufende Koordination der verschiedenen Sender.

Im (digitalen) Mobilfunk ist Frequenzmultiplex allein nicht einsetzbar, weil dafür nicht genügend Frequenzen vorhanden sind. Zusammen mit Zeitmultiplex wird es aber nach wie vor, z.B. bei GSM, eingesetzt. Weil das Zusammenfügen und Trennen von verschiedenen Lichtfrequenzen direkt durch optische Komponenten viel schneller möglich ist, als die Verarbeitung in elektronischen Bausteinen, ist Frequenzmultiplex zudem in der Glasfasertechnik von grosser Bedeutung.

2.3 Zeitmultiplex

Dieses Verfahren teilt den Signalraum in Zeitschlitze (engl. Timeslot oder Timeslice) auf. Da die Zuteilung an die Teilnehmer meist *dynamisch* erfolgt, sind die Zugriffsverfahren auch aufwendiger als bei Raum- oder (statischen) Frequenzmultiplex. Dafür kann die Zuteilung auch laufend dem Bedarf angepasst werden.

Abbildung 9 illustriert im Stil der vorherigen Abbildungen, wie diese Aufteilung erfolgt; in Abbildung 10 wird die Kombination mit Frequenzmultiplex dargestellt, wie sie etwa bei GSM eingesetzt wird.

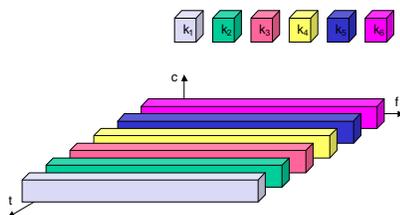


Abbildung 9 – Zeitmultiplex

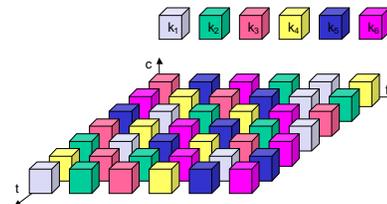


Abbildung 10 – Zeit- und Frequenzmultiplex

2.3.1 Mediengriff bei Zeitmultiplex

Der Mediengriff kann bei Zeitmultiplex sowohl statisch wie auch dynamisch erfolgen. Statisch wird jedem Teilnehmer ein fester Zeitschlitz zugewiesen. Somit verfügt jeder Teilnehmer über eine Kanal mit garantierter Bandbreite, weshalb statisches Zeitmultiplex bei traditionellen, sprachorientierten Systemen zum Einsatz kommt. Die Zuteilung erfolgt beispielsweise durch eine Basisstation, die auch den Wettbewerb unter den verschiedenen Teilnehmern regelt.

Ist aber die benötigte Bandbreite zeitlich nicht konstant (beispielsweise diejenige einer Internetverbindung), so ist die statische Zuteilung sehr ineffizient, weil Bandbreite verschwendet wird (etwa währenddem ein Benutzer gerade eine Seite liest und keine neue anfordert). Dynamisches Zeitmultiplex, insbesondere wenn keine zentrale Instanz wie eine Basisstation besteht, ist aber wesentlich komplexer als statisches.

Die naheliegende Verwendung derselben Algorithmen, wie sie in Kabelnetzwerken Verwendung finden (CSMA/CD²) ist aber nicht günstig. In mobile Netzwerken treten zwei Effekte auf, die die beiden Grundeigenschaften von CSMA/CD, das Feststellen, ob das Medium frei ist (Carrier Sense, CS), und die Kollisionsdetektion (Collision Detection, CD), untergraben. Sie werden in den beiden folgenden Abschnitten beschrieben.

2.3.1.1 Verstecktes Endgerät (Hidden Terminal)

Zwei Endgeräte (A und C) wollen mit Gerät B kommunizieren (s. Abbildung 11); da A und C aber nicht im gegenseitigen Empfangsbereich liegen, kann C nicht feststellen, dass A bereits zu B sendet (CS versagt) und beginnt auch zu senden. Weder A noch C können die Kollision feststellen (CD versagt).

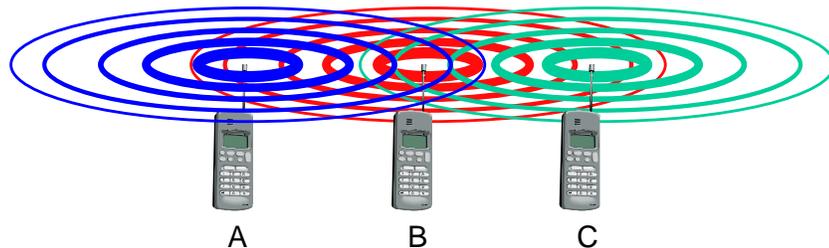


Abbildung 11 – Hidden Terminal, Exposed Terminal

2.3.1.2 Ausgeliefertes Endgerät (Exposed Terminal)

Endgerät B sendet zu A. Endgerät C will mit irgendwem (weder A noch B) kommunizieren, meint aber, dass das Medium von B besetzt sei. Eigentlich könnte C aber senden, da der Empfang von A nicht durch Senden von C beeinträchtigt wird (s. Abbildung 11).

Statt CSMA/CD können andere bekannte Medienzugriffsverfahren verwendet werden, zum Beispiel Aloha³ oder CSMA/CA⁴ (CSMA with Collision Avoidance), auf die hier nicht näher eingegangen werden soll.

2.4 Codemultiplex

Dieses Verfahren erlaubt es allen Teilnehmern zur gleichen Zeit im selben Frequenzband und am selben Ort zu senden, ohne dass es zu Interferenzen kommt. Dies wird mittels Bandspreiztechnik erreicht.

² Für eine eingehende Beschreibung von CSMA/CD siehe (2), pp. 250 ff

³ Für eine eingehende Beschreibung von Aloha und Slotted Aloha siehe (2), pp. 246 ff

⁴ Für eine eingehende Beschreibung von CSMA/CA siehe (1), p. 116

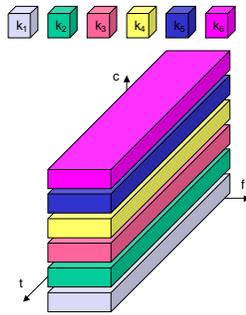


Abbildung 12 – Codemultiplex

2.4.1 Bandspreizung (Spread Spectrum)

Bandspreizung erzeugt aus einem schmalbandigen Signal ein breitbandigeres. Es verteilt also die enthaltene Information auf einen grösseren Frequenzbereich. Dies macht ein Signal weniger anfällig gegen schmalbandige Störungen. Abbildung 13 illustriert den Ablauf der Signalübertragung mit Bandspreizung; die Diagramme zeigen die Leistungsdichte des Signals in Funktion der Frequenz. Die Fläche unter der Kurve gibt die Gesamtleistung eines Signals an.

- i) schmalbandiges Originalsignal
- ii) Originalsignal nach Bandspreizung, die Gesamtleistung des Signals bleibt dabei konstant, auch wenn die Leistungsdichte geringer ist und sogar kleiner als die des Hintergrundrauschens sein kann.
- iii) Während der Übertragung addieren sich breitbandige und schmalbandige Interferenz zum Signal hinzu.
- iv) Signal nach der Entspreizung: die schmalbandige Störung wird gespreizt, das Originalsignal wird entspreizt, die breitbandige Störung bleibt gespreizt.
- v) mittels eines Bandpassfilters grenzt der Empfänger das Signal ein; das Originalsignal kann decodiert werden, da es im gefilterten Spektrum die grösste Leistung aufweist.

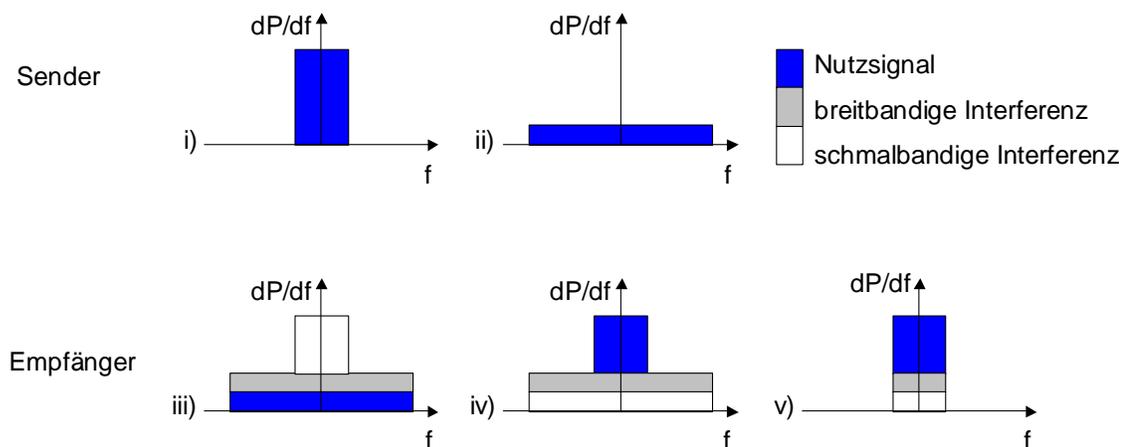


Abbildung 13 – Bandspreizung

Es gibt zwei Verfahren, wie diese Bandspreizung vorgenommen werden kann, Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) und Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS). Beide Techniken spreizen das Originalsignal, indem sie einen dem Sender eigenen, individuellen Code mit dem Signal vermengen.

2.4.2 Direct Sequence Spread Spectrum

Beim DSSS werden die Nutzdaten mit dem Code, der sogenannten Chipping Sequence, XOR-verknüpft, wie in Abbildung 14 dargestellt. Das resultierende Signal entspricht also je nach Originalbit der Chipping Sequence oder deren Komplement.

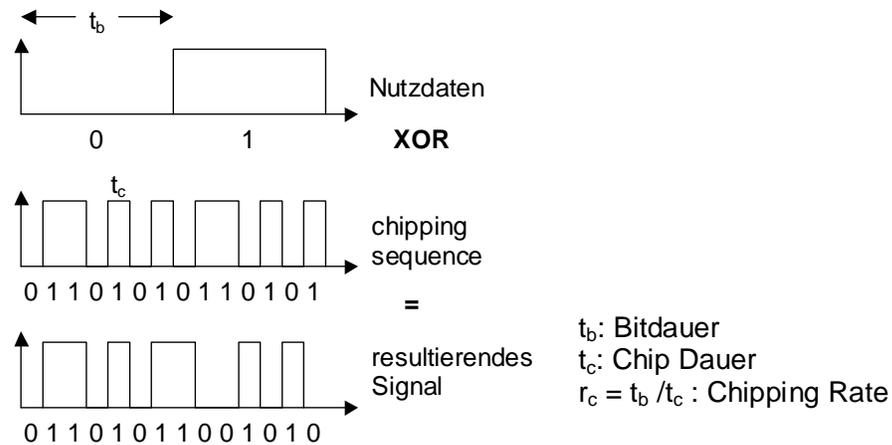


Abbildung 14 – DSSS

Die Länge der Chipping Sequence ist sehr unterschiedlich; für zivile Anwendungen beträgt sie zwischen 10 und $2^{42}-1$ bits, für militärische Anwendungen noch mehr, da mit Spread Spectrum sehr gute Abhörsicherheit erreicht wird. Das durch Spreizung erhaltene Signal wird dann auf eine Trägerfrequenz moduliert und übertragen.

Die Entspreizung gestaltet sich wesentlich komplexer als die Spreizung. Nach der Demodulation muss der Empfänger das erhaltene Signal exakt mit der (ihm bekannten) Chipping Sequence synchronisieren. Anschliessend wird aus dem Signal und der Chipping Sequence ein Produkt gebildet, was im Prinzip wieder einer XOR-Operation entspricht:

Das erhaltene Signal S_i weicht im Chip i um

$$D_i = S_i - S_{\text{avg}}$$

von der mittleren Signalstärke S_{avg} ab.

D_i wird dann mit -1 multipliziert, falls der Wert des Codes C_i -1 ist (quasi XOR). Das Resultat R_i für den Chip berechnet sich aus diesem Wert addiert zur mittleren Signalstärke S_{avg} .

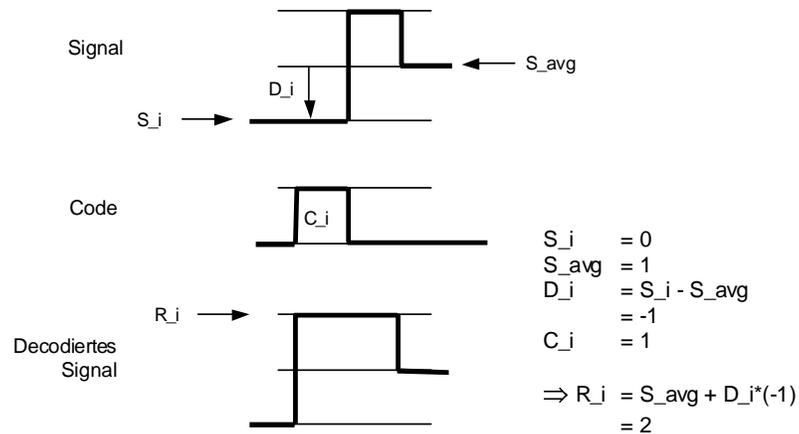


Abbildung 15 – DSSS, Decodierung im Detail

Ein Integrator summiert die dabei erhaltenen Werte für jedes Datenbit (also über r_c Chips) auf. Ist das Resultat grösser als die mittlere Signalstärke S_{avg} , so entscheidet ein Komparator für dieses Bit auf 1, sonst auf 0.

Das Verfahren erklärt auch, weshalb für Kommunikationssysteme auf Codemultiplex-Basis eine exakte Leistungssteuerung der Stationen nötig ist: eine zu starke Sendeleistung einer Station würde die mittlere Signalstärke verschieben, so dass die Signale schwächerer Sender nicht mehr eindeutig decodiert werden könnten.

Abbildung 16 illustriert die Vorgehensweise der Spreizung und Entspreizung für zwei Sender A und B. Obwohl deren Signale sich überlagern, kann ein Empfänger im Besitz des richtigen Codes die ursprüngliche Information decodieren.

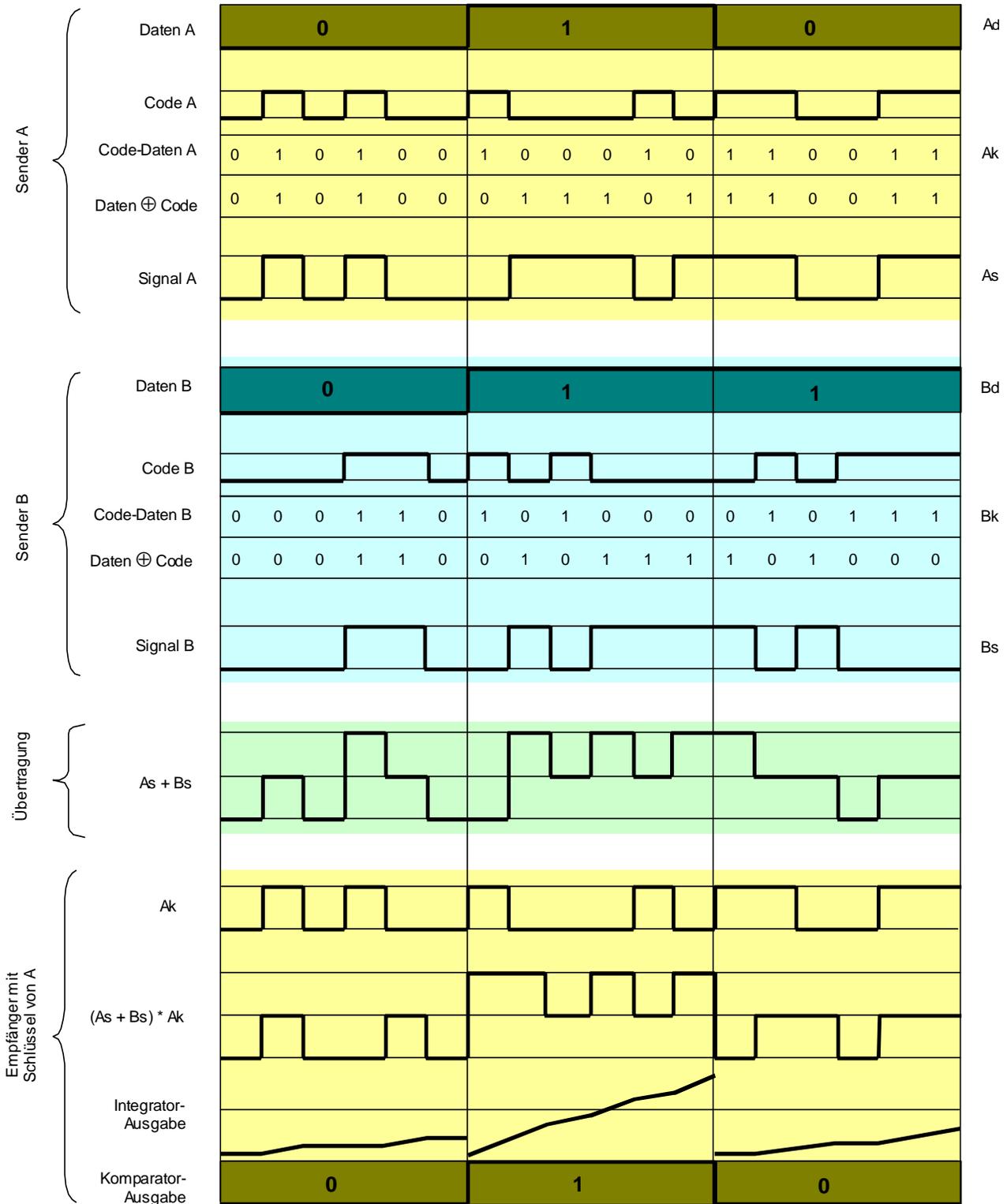


Abbildung 16 – DSSS auf Signalebene

In realen Anwendungen ist die Chipping Rate (Anzahl Chips pro Bit) viel höher, da die Chipping Rate die Anzahl gleichzeitig sendender Stationen begrenzt. Aus dem Beispiel ist auch ersichtlich, dass die Codes nicht beliebig gewählt werden können, sondern bestimmte Eigenschaften aufweisen müssen: im Idealfall sind alle Codes zueinander orthogonal, haben also ein Skalarprodukt von 0; allerdings gibt es in für Codes der Länge n Bit nur gerade n orthogonale Codes. In der Praxis sollten die Codes deshalb nur jeweils paarweise *möglichst geringe* Skalarprodukte aufweisen.

2.4.3 Frequency Hopping Spread Spectrum

Beim der Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) Technik bestimmt der Code des Senders, wann auf welche Frequenzen gesprungen wird. Ein zur Verfügung stehendes Frequenzband wird also in viele schmalbandigere Kanäle aufgeteilt (wie bei Frequenzmultiplex), die von den einzelnen Sendern jeweils nur kurze Zeit belegt werden (wie bei Zeitmultiplex).

Im Gegensatz zu den vorherigen Verfahren für Frequenz- und Zeitmultiplex wird aber in Kauf genommen, dass mehrere Sender zur gleichen Zeit die gleiche Frequenz belegen können; die dadurch entstehende Verfälschung des Signals wird durch die anderen Frequenzen ausgeglichen. Abbildung 17 veranschaulicht diesen Sachverhalt: die Störung auf Frequenz f_3 wird durch die Informationen auf f_1 und f_2 überbrückt.

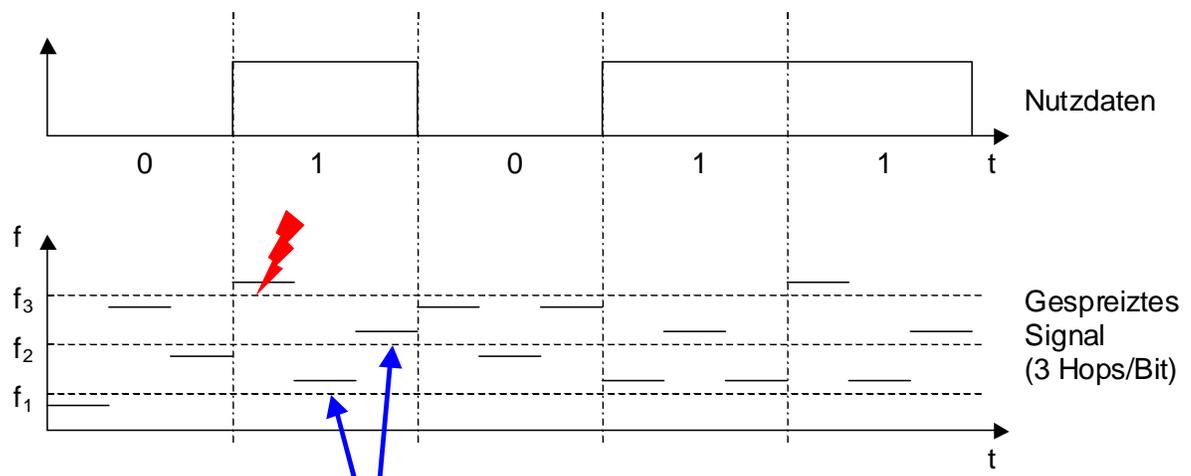


Abbildung 17 – FHSS (Fast Hopping mit drei Sprüngen pro Bit)

2.4.3.1 Slow Hopping

Um Störungen auf bestimmten Frequenzen auszugleichen (nicht aber als Medienzugriffsverfahren), verwenden einige Systeme ebenfalls die Frequency Hopping Technik. Allerdings wird im Gegensatz zum oben beschriebenen, auch Fast Hopping genannten Verfahren nicht mehrmals pro Datenbit die Frequenz gewechselt, sondern erst nach einer ganzen Anzahl Bits. Diese Technik wird Slow Hopping genannt und ist in Abbildung 18 dargestellt. Slow Hopping verhindert, dass ein Teilnehmer konstant auf einer gestörten Frequenz bleibt und wird von GSM optional eingesetzt, wenn eine schlechte Verbindung festgestellt wird.

3 Schlussfolgerung

Die Eigenheiten (insbesondere die Mehrwegeausbreitung) des Raums als einziges Übertragungsmedium bei der mobilen Kommunikation stellt besondere Anforderungen an die Übertragungstechnik und –algorithmen. Während die klassischen Multiplex-techniken (Raum-, Frequenzmultiplex) wegen der fehlenden dynamischen Regelbarkeit immer mehr an ihre Grenzen stossen und nur noch in Kombination mit anderen Techniken Sinn machen, ist heute Zeitmultiplex das am häufigsten eingesetzte Verfahren für dynamischen Medienzugriff. Wegen der einfacheren Koordination und der sinkenden Preise für digitale Signalprozessoren (DSPs) dürfte sich in Zukunft vermehrt Codemultiplex durchsetzen und hat auch schon Eingang in neue Systeme wie UMTS und Bluetooth gefunden.

A Referenzen

- (1) Jochen H. Schiller: Mobilkommunikation - Techniken für das allgegenwärtige Internet, Addison-Wesley, 2000
- (2) Andrew S. Tanenbaum: Computer Networks, Third Edition, Prentice-Hall, New Jersey, 1996
- (3) Jochen H. Schiller: Course "Mobile Communications" an der Freien Universität Berlin, 2001.
http://www.inf.fu-berlin.de/inst/ag-tech/mobile_communications.htm