



MULTIPLEX - VERFAHREN

EINE LERNAUFGABE ZU RAUM-, FREQUENZ- UND ZEIT-MULTIPLEX

RUEDI ARNOLD – AUGUST 2001

Einführung & Anleitung

- Diese Lernaufgabe ist als Vertiefung nach einer allgemeinen Einführung zu moderner Mobilkommunikation gedacht. Sie wurde als selbstständiger Lernteil im Anschluss an den Vortrag „Handy-Land“, der eine Einführung in moderne Mobiltechnologie gibt, konzipiert.
- Für die Bearbeitung inklusive Besprechung des Lösungsvorschlages sind mindestens zwei Stunden vorzusehen.
- Für diese Lernaufgabe ist kein spezielles technisches Vorwissen erforderlich, ausser was im Einführungsvortrag „Handy-Land“ vermittelt wurde.

Dieses Dokument ist wie folgt aufgebaut:

Was	Seite(n)	Für wen
Einführung Lehrperson	0	Lehrperson
Aufgabenstellung	1-6	Klasse zur Bearbeitung
Lösungsvorschlag	7-9	Lehrperson / Klasse nach selbständiger Bearbeitung

Im Anschluss an die Bearbeitung und Besprechung von Lösungen könnte die Lehrperson der Klasse Repetitionsfragen der folgenden Art stellen:

- Erklären Sie in eigenen Worten, was man allgemein unter dem Begriff Multiplex versteht. Machen Sie ein Beispiel.
- Wie funktioniert Raummultiplex in GSM? Wie stellen Sie sich das vor? Was sind Zellen?
- Beschreiben Sie, wie Zeitmultiplex in GSM funktioniert. Was geht da vor? Was ist ein Zeitrahmen? Wie können sich mehrere Gespräche einen Kanal teilen?
- Erklären Sie, wie Frequenzmultiplex in GSM angewandt wird. Wie stellen Sie sich das vor? Was ist Interferenz?



MULTIPLEX – VERFAHREN

EINE LERNAUFGABE ZU RAUM-, FREQUENZ- UND ZEIT-MULTIPLEX

Sie wissen jetzt einiges über den Mobilkommunikationsstandard GSM (Global System for mobile Communications). In dieser Lernaufgabe geht es darum, den Begriff Multiplex-Verfahren kennen zu lernen. Sie werden sehen, wo beim GSM Standard Multiplex eingesetzt wird. Dadurch können Sie erkennen, dass Multiplex eine wichtige Grundlage moderner Mobilkommunikation sind.

Vorgehen

- Als Hilfsmittel brauchen Sie Papier und Schreibzeug, aber kein Buch o.ä. Unterlagen.
- Lesen Sie die Aufgaben genau durch. Überlegen Sie sich Ihre Lösung und halten Sie Ihre Lösung schriftlich fest.
- Versuchen Sie, Ihre Lösung(en) möglichst kompakt und verständlich zu notieren.
- Sie müssen am Schluss nichts abgeben. Ihre Leistung wird nicht bewertet.

Ziele

- Sie sollten in der Lage sein, sämtliche Aufgaben selber zu bearbeiten und sich Ihre eigenen Gedanken dazu zu machen.
- Sie können in eigenen Worten erklären, was Multiplex bedeutet.
- Sie kennen drei verschiedene Arten von Multiplex und wissen, wie sie funktionieren.
- Sie haben eine Vorstellung vom Einsatz von Multiplex-Verfahren in GSM.

Multiplex = Mehrfachnutzung

Kurz gesagt bedeutet Multiplex Mehrfachnutzung. Der folgende Text erklärt diesen technischen Begriff etwas genauer. Es handelt sich um einen Ausschnitt aus einem Buch über Mobilkommunikation.

Multiplex

Die Mehrfachnutzung eines Mediums durch verschiedene Nutzer wird allgemein als *Multiplex* bezeichnet und ist nicht nur in der Kommunikation, sondern auch im alltäglichen Leben sehr häufig anzutreffen. Multiplexverfahren beschreiben, wie verschiedene Nutzer ein gemeinsames Medium mit möglichst wenig gegenseitiger Beeinflussung nutzen können. Ein typisches Beispiel aus dem Alltag ist die Mehrfachnutzung einer Autobahn (Medium) durch verschiedene Autos (Nutzer) mit möglichst wenig Kollisionen (Interferenz). Dies wird unter anderem dadurch ermöglicht, dass Autos verschiedene Spuren gleichzeitig nutzen können (Raummultiplex) oder die gleiche Spur zu unterschiedlichen Zeiten nutzen (Zeitmultiplex).

[zitiert aus: Jochen H. Schiller: Mobilkommunikation - Techniken für das allgegenwärtige Internet. Addison-Wesley, 2000, ISBN 3-827-31578-6. Seite 69. Abschnitt 2.5 Multiplex.]



Raummultiplex (eine eigene Autobahnspur)

Eine erste Art von Multiplex ist Raummultiplex. Das Medium Raum wird aufgeteilt und kann so mehrfach genutzt werden. Im Autobahn-Beispiel bedeutet Raummultiplex, dass jedes Auto eine eigene Spur bekommt. Und jedes Auto kann zu beliebiger Zeit seine Spur ohne Kollision benutzen.

Beim GSM Standard wird der Raum geographisch aufgeteilt. Die einzelnen Raum-Segmente werden hier Zellen genannt. Schematisch werden Zellen meistens als Sechsecke von gleicher Grösse dargestellt. In Wirklichkeit haben sie andere, fast beliebige Formen. Und der Radius variiert von mehreren 100 m bis zu 35 km.

1. Aufgabe – Probleme an der Grenze

Ein Problem beim Raummultiplex entsteht, wenn es zwischen den einzelnen Räumen nicht genug Abstand hat. Bei der Autobahn könnte das so aussehen: Nehmen wir an, Autos sind 2 m breit und Spuren sind 2.1 m breit. Dann könnte es an den Spurgrenzen zu Berührungen oder Kollisionen kommen. Das wollen wir natürlich vermeiden.

Was könnte Abhilfe schaffen? Machen Sie mindestens zwei Vorschläge, wie solche Berührungen auf der Autobahn verhindert werden können.

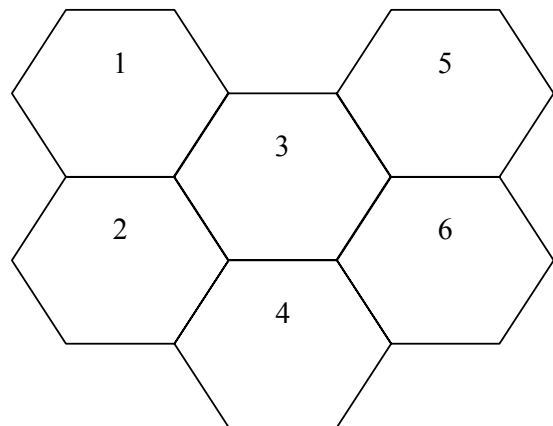
Ähnliche Probleme gibt es bei jeder Art von Multiplex. Die Lösung ist immer dieselbe. Sie ist einfach je nach Medium anders geartet.

Bei Raummultiplex in der Mobilkommunikation gibt es das gleiche Problem. Wenn in zwei nebeneinander liegenden Zellen dieselbe Frequenz verwendet wird, kann dies im Grenzbereich zu Überschneidungen, sogenannter Interferenz [vgl. Kanon im Vortrag] führen. Das soll verhindert werden. Trotzdem sollen die Zellen die gesamte Fläche abdecken.

2. Aufgabe – Zuordnung

Nehmen wir an, Sie müssen für die Swisscom die Frequenzen auf Zellen zuteilen. Für die sechs Zellen rechts stehen Ihnen vier Frequenzen zur Verfügung. Sie könnten hier für die Frequenzen symbolisch vier Farben verwenden.

Ihre Aufgabe: Färben Sie die sechs Zellen mit vier Farben ein. Verhindern Sie Interferenz an der Grenze! Interferenz kann auftreten, wenn anliegende Zellen die gleiche Frequenz [Farbe] haben.



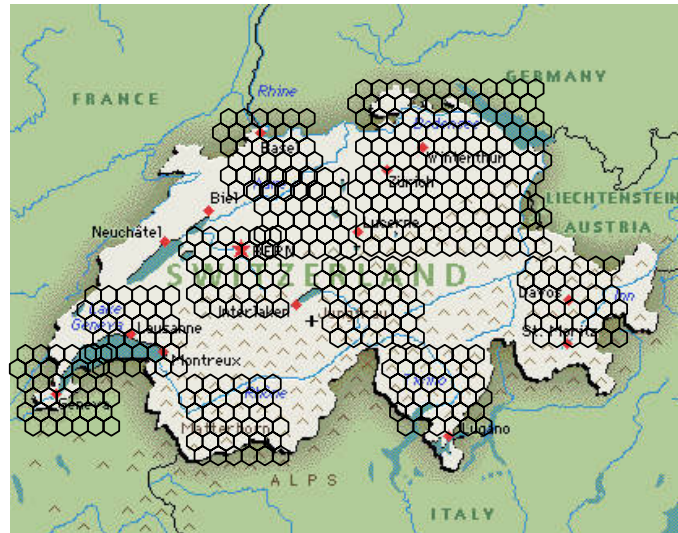
So funktioniert das auch in GSM. Bei GSM stehen einfach viel mehr Frequenzen zur Verfügung und es müssen noch viel mehr Zellen abgedeckt werden.



3. Aufgabe – Hauptvorteil Raummultiplex

Was ist in der Mobiltechnologie der Hauptvorteil des Einsatzes von Raummultiplex?
Antworten Sie in einem kurzen Satz.

Hinweis: Schauen Sie noch mal die Skizze der Teilaufgabe b) an. Dort haben Sie mit vier Frequenzen sechs Zellen abgedeckt. Wie war das möglich?

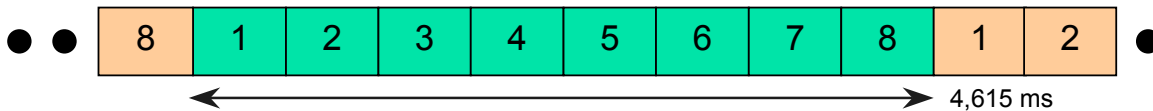




Zeitmultiplex (nacheinander eine Spur teilen)

Als Medium wird die Zeit zwecks Mehrfachnutzung aufgeteilt. Im Beispiel mit der Autobahn können verschiedene Autos dieselbe Spur abwechselungsweise benutzen, jeweils die ganze Spur für sich alleine. Dieses Recht steht jedoch einem Auto nicht für längere Zeit, und auch nicht zu beliebiger Zeit zu.

Beim GSM Standard sieht Zeitmultiplex in etwa so aus:



Das Bild ist so zu verstehen: Jede Frequenz in GSM ist in sogenannte Zeitrahmen von 4,615 ms aufgeteilt. Ein Telefongespräch in GSM bekommt einen Achtel eines Zeitrahmens zugeteilt.

In der Skizze steht einer Verbindung zum Beispiel jeder dritte von acht Zeitschlitz zu. Den Rest der Zeit darf dieses Gespräch nicht senden und ist passiv. Das heisst, ein Telefon-Gespräch mit einem Handy wird in einem Achtel der Zeit übertragen. Das funktioniert dank einer geschickten digitalen Codierung.

In GSM können also gleichzeitig auf einer Frequenz bis zu acht Gespräche übertragen werden. Als Telefoniererin merken wir jedoch nichts davon, für uns ist das Gespräch unterbruchlos.

4. Aufgabe - Hauptproblem Zeitmultiplex

- Was ist wohl das Hauptproblem bei der Anwendung von Zeitmultiplex? Überlegen Sie, was schwierig sein könnte, wenn Sie so ein System bauen müssten.
- Wie könnte das bei a) erkannte Problem gelöst werden? Machen Sie stichwortartig mindestens zwei Vorschläge.

Zeitmultiplex benutzen wir oft im täglichen Leben. Der Vorteil davon ist, dass jeder Benutzer das Gefühl hat, ihm „gehöre“ das Medium alleine. Er kann es nur zu einer bestimmten Zeit nutzen. Aber diese Zeit reicht aus, um die Bedürfnisse des Benutzers abzudecken.

5. Aufgabe – Zeitmultiplex im Alltag

Finden und beschreiben Sie ein eigenes Beispiel für Zeitmultiplex aus dem Alltag.

Ein Beispiel: In vielen grösseren Wohnhäusern wird der Waschraum mit Zeitmultiplex benutzt. Jede Wohnung hat den Waschraum an einem festgelegten halben Tag pro Woche zugeteilt. Der Waschraum steht zu dieser vereinbarten Zeit zur freien Verfügung der entsprechenden Wohnung.



Sie haben oben gesehen, dass bei GSM die Zeit in acht Zeitschlitz aufgeteilt wird. Jedem Benutzer wird ein Zeitschlitz zugeteilt. Für die Übertragung eines Gespräches reicht das aus. Aber für Datenübertragung (z.B. Internet, Email...) ist eine höhere Übertragungskapazität wünschenswert.

6. Aufgabe – Erweiterung zu GSM

Machen Sie in wenigen kurzen Sätzen einen Vorschlag, wie eine höhere Übertragungskapazität erreicht werden könnte.





Frequenzmultiplex (verschiedene Radiostationen)

Bei Frequenzmultiplex werden die Frequenzen aufgeteilt und mehrfach benutzt.

Im Beispiel mit der Autobahn lässt sich keine Analogie herstellen. Frequenzmultiplex ist das, was Radiostationen mit ihren unterschiedlichen Frequenzen betreiben. Jede Radiostation hat eine Frequenz zugeteilt und kann diese permanent und ohne Störung nutzen um ihr Programm auszusenden. Wer ein bestimmtes Programm empfangen will, muss zuhause am Empfänger die entsprechende Frequenz einstellen.

GSM funktioniert analog. Bei GSM stehen zwischen 890 und 960 MHz 124 doppelte Frequenzkanäle zur Verfügung. Sie können sich das in etwa so vorstellen:



Doppelte Frequenzkanäle deshalb, weil für die Übertragung vom Sender zum Natel eine andere Frequenz als für die Übertragung vom Handy zum Sender verwendet wird. Diese beiden Frequenzen gehören als Paar zusammen und werden beide für ein Gespräch über einen GSM-Kanal gebraucht.

Radiostationen senden typischerweise 24 Stunden pro Tag, oder zumindest viele Stunden pro Tag. Eine Radiohörerin kennt die Frequenz ihres Lieblingssenders und diese Frequenz ändert sich nicht. Im Gegensatz dazu werden Handys typischerweise pro Tag nur im Bereich von Minuten benutzt. Und die Anzahl der zur Verfügung stehenden Frequenzen ist begrenzt.

7. Aufgabe – Feste Zuteilung?

Überlegen Sie: Soll einem Handy eine feste Frequenz zugeteilt werden? Was sind Vor- und Nachteile? Nennen Sie mindestens ein Argument dafür und ein Argument dagegen.

In GSM werden Frequenzen nicht fest einem Handy zugeordnet. Frequenzmultiplex wird gemeinsam mit Zeitmultiplex verwendet. Konkret bedeutet dies, dass verschiedene Gespräche von einem Handy auf verschiedenen Frequenz übertragen werden. Auf der jeweiligen Frequenz wird in einem Achtel der Zeit übertragen, wie wir beim Zeitmultiplex gesehen haben. Die Frequenz kann während des Gesprächs gewechselt werden. Diese Dinge merkt der Handy-Benutzer nicht, sie laufen für ihn transparent ab.

Bei GSM wird Frequenz- und Zeitmultiplex kombiniert angewendet. Dies ermöglicht es, eine grössere Anzahl von Handys zu bedienen.

8. Aufgabe – Vorteile von kombiniertem Frequenz- und Zeitmultiplex

Warum können durch Kombination von Frequenz- und Zeitmultiplex mehr Handys bedient werden? Notieren Sie ihre Überlegungen in ein paar kurzen Sätzen.



Lösungsvorschlag

Raummultiplex (eine eigene Autobahnspur)

1. Aufgabe – Probleme an der Grenze

- Man könnte zwischen den Spuren jeweils einen Schutzabstand von 1 m frei lassen.
- Die Autos könnten schmaler gebaut werden. Dann wären 2.1 m breite Spuren kein Problem.
- Man könnte die Spuren breiter machen.
- Man könnte zwischen den Spuren eine Mauer oder einen Zaun erstellen.
- Die Autos könnten ganz langsam fahren und so exakt ihre Spur halten.

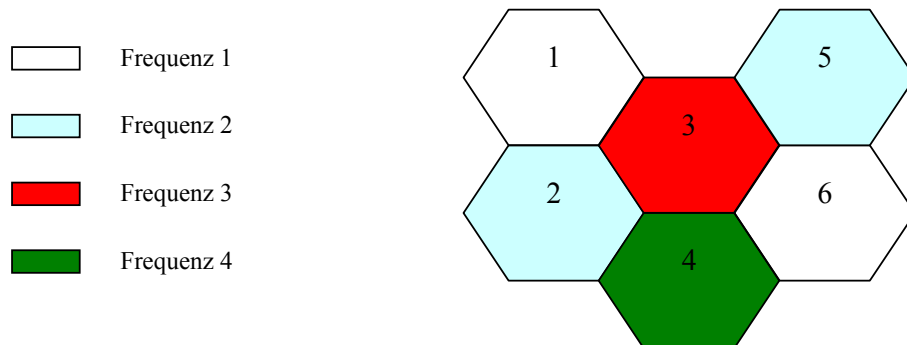
Das Problem von Schutzabständen gibt es bei jeder Art von Multiplex. Bei Raummultiplex ist der Schutzabstand räumlich. Bei der Mobiltelefonie geht das nicht, da die Gebiete komplett abgedeckt werden müssen. In GSM werden deshalb in anliegenden Zellen verschiedene Frequenzen verwendet. Somit besteht zwischen Zellen mit gleicher Frequenz trotzdem ein Schutzabstand.

Bei Zeitmultiplex wird zur Sicherheit und besseren Synchronisation ein Zeitbuffer zwischen den einzelnen Zeitschlitzten verwendet.

Um negative Überlappungen bei Frequenzmultiplex zu verhindern, werden die Frequenzen weit genug auseinander gewählt. Das entspricht der Idee, zwischen den Autobahnspuren einen Streifen unbenutzt zu lassen.

2. Aufgabe – Zuordnung

Eine Lösung kann hier zum Beispiel wie folgt aussehen:



3 Aufgabe – Hauptvorteil Raummultiplex

Die Frequenzen können wiederverwendet werden.

Damit können gleichzeitig viel mehr Benutzer bedient werden. Eine verwendete Frequenz muss nicht weltweit eindeutig sein, sondern bloss innerhalb der aktuellen Zelle!

Im GSM-900 Standard stehen zum Beispiel insgesamt 124 Frequenzpaare zur Verfügung.



Lösungsvorschlag

Zeitmultiplex (nacheinander eine Spur teilen)

4. Aufgabe - Hauptproblem Zeitmultiplex

- a) Zeitliche Synchronisation ist das Hauptproblem.

Das Hauptproblem besteht darin, die einzelnen Handys so abzustimmen, dass jedes genau weiss, wann es senden darf und wann nicht. Das ist nicht einfach. Die Handys können untereinander nicht kommunizieren, und die Zeitschlitzes müssen exakt eingehalten werden.

- b)
- Alle Handys müssen eine ganz genaue Uhr haben.
 - Alle Handys benutzen eine gemeinsame Uhr, oder einen gemeinsamen Taktgeber.
 - Jedes Handy teilt dem nächsten mit, wann es fertig ist. [Dafür müssten Handys jedoch untereinander kommunizieren können.] Und jedes Handy hat ein Limit für die Sendedauer.

5. Aufgabe – Zeitmultiplex im Alltag

Ein zweites Beispiel: Gemeinsame Autonutzung [zum Beispiel „Mobility“ von der SBB] funktioniert nach dem Prinzip Zeitmultiplex. Es stehen Autos zur Verfügung. Jeder Benutzer kann für eine begrenzte Zeit ein Auto reservieren und benutzen. Wir haben also zeitliche Mehrfachnutzung des Mediums Auto. Und wie beim Waschraum oder der Handyleitung reicht hier jedem einzelnen Benutzer sein Anteil an der Benutzung.

6. Aufgabe – Erweiterung zu GSM

Um eine höhere Übertragungskapazität zu erreichen, können einem Benutzer mehrere (oder theoretisch alle) der acht Zeitschlitzes zugeteilt werden.

Das wird unter dem Namen HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) gemacht und angeboten. Bei der Swisscom können so aktuell mit maximal vier Kanälen Datenraten von 57,6 kbit/s erreicht werden. Das ist fast soviel wie mit einem ISDN Anschluss.



Lösungsvorschlag

Frequenzmultiplex (verschiedene Radiostationen)

7. Aufgabe – Feste Zuteilung?

Vorteil einer festen Frequenz pro Handy:

Handys müssten nicht auf verschiedenen Frequenzen senden können. Handys müssten die Frequenz nicht während einem Gespräch ändern können. Das heisst: Handys könnten weniger kompliziert funktionieren.

Nachteil einer festen Frequenz pro Handy:

Jedes Handy bräuchte eine eigene Frequenz, da sonst Unklarheiten entstehen könnten. Die Anzahl verfügbaren Frequenzen ist aber beschränkt. Deshalb könnten so weniger Handy-Nutzer bedient werden. Genau dieser Frequenzmultiplex zusammen mit Zeitmultiplex ermöglicht es, eine grosse Anzahl von Handys zu haben. Wichtig ist, dass Handys im allgemeinen nur relativ wenig senden wollen. Sonst würde dieses Prinzip nicht funktionieren. (siehe 8. Aufgabe)

8. Aufgabe – Vorteile von kombiniertem Frequenz- und Zeitmultiplex

Durch Frequenz- und Zeitmultiplex kann einem Handy jeweils ein Zeitschlitz auf einer Frequenz zugeteilt werden. Das System ist somit sehr flexibel. Solange es auf einer Frequenz noch freie Zeitschlitze hat, können diese Handys zugeteilt werden. Die Kombination von Frequenz- und Zeitmultiplex ermöglicht hier also die grösstmögliche Anzahl Benutzer. Die Verwendung von Multiplex in nur einer Dimension würde die Anzahl der Handys mehr einschränken. Ein bestimmtes Handy könnte dann zum Beispiel nur im fünften Zeitschlitz senden und könnte so einen freien dritten Zeitschlitz auf einer Frequenz nicht nutzen.

In der Praxis funktionieren diese Multiplex-Verfahren bei Handys vor allem so gut weil Handys typischerweise nicht permanent senden müssen oder wollen.