

## Rechnernetze - Media Networking (WiSe 2023/2024)

### Übung 07

#### Aufgabe 1

In einem fiktiven Funk-Netz wird Interleaving mit den folgenden Eigenschaften betrieben:

Alle Informationseinheiten werden in drei gleichgroße Teile aufgeteilt; ein ebenso großer XOR-Wert wird hinzugefügt. Diese vier Teile werden bei der Übertragung jeweils auf vier aufeinander folgende Zeitslots verteilt (siehe VL-Folien dazu). In einer auf diese Weise gebildeten Verbindung mit der Länge von 20 Zeitslots werden bei der Übertragung die Slots 3, 7, 10 und 12 gestört.

a) Können die übertragenen Informationen beim Empfänger komplett rekonstruiert werden? Wenn ja, wie gelingt dies? Wenn nein, was ist rekonstruierbar, was geht verloren? Kurze Begründung.

Wenn die Zeitschlitz 3, 7, 10 und 12 bei der Übertragung gestört werden, sind Informationsverluste unvermeidlich. Das liegt daran, dass 4 Teile einer Informationseinheit auf 4 aufeinanderfolgende Zeitschlitz verteilt sind. Dies bedeutet wiederum, dass der Abstand zwischen den gestörten Zeitschlitz mindestens 4 betragen muss, da wir mindestens 3/4 der Teile benötigen, um eine Informationseinheit zu rekonstruieren. Anhand der vorliegenden Angaben lässt sich schnell feststellen, dass diese Voraussetzung hier nicht erfüllt ist, da die Zeitschlitz 7, 10 und 12 zu dicht beieinander liegen.

Um sowohl die verlorenen als auch die empfangenen Informationseinheiten leicht zu ermitteln, können wir eine anschauliche Tabelle verwenden. In der Tabelle werden die Zeitschlitz in Zeilen und die übertragenen Teile in Spalten dargestellt:

Slot 1	1.1			
Slot 2	2.1	1.2		
Slot 3	3.1	2.2	1.3	
Slot 4	4.1	3.2	2.3	1.4
Slot 5	5.1	4.2	3.3	2.4
Slot 6	6.1	5.2	4.3	3.4
Slot 7	7.1	6.2	5.3	4.4
Slot 8	8.1	7.2	6.3	5.4
Slot 9	9.1	8.2	7.3	6.4
Slot 10	10.1	9.2	8.3	7.4
Slot 11	11.1	10.2	9.3	8.4
Slot 12	12.1	11.2	10.3	9.4
Slot 13	13.1	12.2	11.3	10.4
Slot 14	14.1	13.2	12.3	11.4
Slot 15	15.1	14.2	13.3	12.4
Slot 16	16.1	15.2	14.3	13.4
Slot 17	17.1	16.2	15.3	14.4
Slot 18	18.1	17.2	16.3	15.4
Slot 19	19.1	18.2	17.3	16.4
Slot 20	20.1	19.2	18.3	17.4

Wie man sieht, sind die verlorenen Informationseinheiten diejenigen, deren Teile mehr als einmal in Verlust geraten sind. Konkret sind dies die Informationseinheiten 7, 9, 10. Alle anderen, die sich in gestörten Zeitschlitzten befanden, konnten rekonstruiert werden, d.h.

- Slot 3  $\Rightarrow$  3, 2, 1
- Slot 7  $\Rightarrow$  6, 5, 4
- Slot 10  $\Rightarrow$  8
- Slot 12  $\Rightarrow$  12, 11

b) Welche Nachteile hat dieses Verfahren?

Eine der Herausforderungen des Interleavings besteht in der zusätzlichen Verzögerung. Insbesondere für anwendungsintensive Szenarien wie Telefonie, in denen geringe Latenzzeiten entscheidend sind und wo es auf die Datenkommunikation ankommt, kann die Aufteilung der Informationen in Teile und ihre Verteilung über verschiedene Zeitschlitzte zu einer erhöhten Signalverzögerung führen. Die erwähnten 600 Millisekunden zusätzlicher Verzögerung bei GSM könnten in bestimmten Einsatzgebieten problematisch sein.

Des Weiteren handelt es sich beim verwendeten FEC-Mechanismus nicht einfach nur um einen XOR-Wert, sondern um ein komplexes Verfahren, das von der Bedeutung des Informationsbits im Kontext des gewählten Kodierungsverfahrens abhängt. Diese Komplexität könnte die Implementierung und Wartung erschweren.

Außerdem ist der zusätzliche Overhead durch Interleaving und FEC möglicherweise weniger geeignet für Echtzeit kritische Anwendungen, bei denen eine schnelle und zuverlässige Datenübertragung unabdingbar ist.

Interleaving erfordert auch eine gewisse Menge an Redundanz, um die Auswirkungen von Störungen zu kompensieren. Dies führt zu einem höheren Bandbreitenbedarf, da mehr Daten übertragen werden müssen, um die gleiche Menge an nutzbaren Informationen zu gewährleisten.

Hinsichtlich der Effektivität von Interleaving kann diese bei Burst-Fehlern, bei denen aufeinanderfolgende Bits gestört sind, gut funktionieren. Allerdings kann sie bei anderen Arten von Störungen, insbesondere bei solchen, die über längere Zeiträume anhalten, an Wirksamkeit verlieren. Schließlich ist zu beachten, dass wenn Teile einer Informationseinheit über aufeinanderfolgende Zeitschlitzte verteilt sind und mehrere davon gestört sind, dies die Fähigkeit des Empfängers beeinträchtigen könnte, die Informationen zu rekonstruieren. Wenn beispielsweise die Zeitschlitzte 3 und 4 gestört sind, könnte die Rekonstruktion von Zeitschlitz 3 beeinträchtigt werden, da der XOR-Wert von Zeitschlitz 3 in Zeitschlitz 4 enthalten ist.

## Aufgabe 2

Wie viele Telefongespräche mit dem Festnetz kann man in einer maximal ausgebauten GSM-Zelle des in der Vorlesung vorgestellten 900 MHz-Bandes gleichzeitig betreiben? Wie viele Gespräche kann man gleichzeitig innerhalb dieser Zelle betreiben? Kurze Begründung.

(2 Punkte)

Die maximale Anzahl von Telefon-Gesprächen, die gleichzeitig in einer maximal ausgebauten GSM-Zelle des 900 MHz-Bandes betrieben werden können, lässt sich durch die angewendeten Multiplexing-Techniken berechnen.

Die Funkstrecke von der Mobilstation zur Basisstation wird Uplink genannt, in der Gegenrichtung Downlink.

Unser klassisches 900 MHz Frequenzband besteht aus zwei Subbänder:

25 MHz Uplink zwischen 890 - 915 MHz und

25 MHz Downlink zwischen 935 -960 MHz

Um dieses 25 MHz breite Band zwischen verschiedenen Nutzern gleichzeitig nutzen zu können, wird eine Kombination von verschiedenen Multiplexing Techniken eingesetzt.

Ein Space Multiplexing eine Frequenzmultiplexing ein Zeitmultiplexing und auch noch frequency Hopping

### FDMA:

Das 25 MHz breite Band wird in 124 Subbänder unterteilt, mit jeweils einer Trägerfrequenz innerhalb dieses Frequenzbereichs

### TDMA:

Jedes dieser Subbänder wird in 8 Zeitslots unterteilt (Je Frequenz 8 Zeitslots).

Das bedeutet, dass es insgesamt 8 parallele Verbindungen pro Trägerfrequenz gibt.

Das Space Multiplexing wird in Form einer Zellenstruktur umgesetzt, im Modell kann man sich diese Zellen wabenförmig vorstellen.

Wenn sich nun eine Station direkt auf der Grenze zwischen zwei Zellen befindet, empfängt sie unter Umständen die Signale von beiden Zellen in gleicher Qualität.

Das erklärt, dass in benachbarten Zellen nicht die gleichen Frequenzen verwendet werden sollten, da andernfalls möglicherweise zwei Ströme nicht sauber getrennt werden könnten.

Aus der Mathematik ist in diesem Zusammenhang das Vierfarbenproblem bekannt.

Niemals zwei Flächen der gleichen Farbe dürfen zusammenstoßen  $\Rightarrow n > 4$  Farben nötig.

Die theoretische maximale Anzahl von Transceivern in einer Zelle, gemäß dem Vierfarbenproblem und der Zellstruktur, beträgt 31.

Unsere 124 möglichen Frequenzbänder müssen also nochmal in 4 Gruppen unterteilt werden, wobei in jeder Zelle 31 unterteilt werden können.

Folgendes ist jedoch noch zu berücksichtigen:

Für den Uplink gilt, dass Slot 0 eines Transceivers für den Random Access Channel verwendet wird, das auf einer festen Frequenz festgelegt ist.  
Für den Downlink gilt das so ähnlich, bloß dass er für den Broadcast Channel reserviert wird (ebenfalls auf einer festen Frequenz).

Wenn der Slot für den Broadcast-Kanal der Basisstation reserviert ist, bedeutet dies, dass dieser spezielle Slot nicht für Telefonverbindungen genutzt werden kann.

Dadurch bleiben für die jeweilige Frequenz nur noch 7 Zeitslots für Telefongespräche offen.

Für die restlichen Frequenzen sind es wieder 8 Zeitslots.

Bei der klassischen GSM Kodierung wird 1 Slot pro Verbindung pro Richtung benötigt.

Das heißt wir kommen auf 31 Transceiver  $\times 8$  Zeitslots + 7 Zeitslots = **255 gleichzeitige**

**Telefongesprächen innerhalb der Zelle.**

7

123 Gespräche, da Kommunikation über BTS läuft

Bei 124 Subbänder innerhalb von vier Gruppen erhält man so für das 25 MHz Band  $7 + 4 \times 248$  (Weil der Slot 0 nur in einer Frequenz für den Broadcast Channel verwendet wird) = **999 mögliche Gespräche mit dem Festnetz.**

247 Gespräche

Zu berücksichtigen bezüglich der Gegenrichtung ist, dass ein Zeitslot pro Richtung gilt, also bleibt die Anzahl der Telefongespräche entsprechend die der verfügbaren Zeitslots (abzüglich der Slots für den Broadcast Channel und Random Access Channel).

1 Punkt

### Aufgabe 3

Eine Mobilstation bewegt sich wie in der Grafik auf der nächsten Seite angedeutet durch eine Gruppe von GSM-Zellen aus drei Location Areas. In Zelle a7 gibt es einen eingehenden Ruf, der in Zelle b4 beendet ist. Weitere Kommunikationsbeziehungen mit anderen Endsystemen gibt es im fraglichen Zeitraum nicht. Wie viele Zellenwechsel müssen verbucht werden? Begründung.

(1 Punkt)

### GSM-Funktechnik:

GSM steht für Global System for Mobile Communication. Es handelt sich hierbei um den klassischen digitalen Mobilfunk, der zunächst (primär) als Telefonie-Netz konzipiert worden war.

In den folgenden Ausführungen werden in Bezug auf GSM-Netze nur 900-MHz-Bänder betrachtet (GSM-900-Systeme, also D-Netze in Deutschland).

In einem Mobilfunknetz wird das Funkmedium für die Kommunikation zwischen einer Mobilstation und einer Basisstation verwendet. Die Basisstation ist möglicherweise leitungsgebunden an andere Knoten des Netzes angeschlossen und dadurch wird auch ein

Übergang ins Festnetz ermöglicht. Um ein bei GSM eingesetztes klassisches Frequenzband von 25 MHz Uplink (890-915 MHz) und 25 MHz Downlink (935-960 MHz) zwischen verschiedenen Nutzern nutzen zu können, sind verschiedene Multiplextechniken im Einsatz: Kombination aus Space Multiplexing + FDMA + TDMA + Frequency Hopping. Interessant an dieser Stelle ist das Space Multiplexing, welches durch eine Wabenstruktur (wie in Abbildung 1 und 2) veranschaulicht wird.

### **Architektur/Aufbau eines GSM-Netzes<sup>1</sup> (siehe Abbildung 1):**

#### **MS: Mobile Station – Mobiles Endgerät:**

- Mobilstationen haben die Eigenschaft, dass sie mobil sind und somit auch ihre Position bzw. Adresse ändern (dynamisch)
- SIM (Subscriber Identity Module): Identifiziert unter anderem den Vertrag zwischen Mobiltelefon und Eigentümer durch IMSI (International Mobile Subscriber ID). Befindet sich innerhalb der einzelnen Mobilstationen.
  - IMSI verweist auf einen Eintrag in eine Datenbank, dem HLR (Home Location Register), wo es weitere Informationen gibt (TIMSI)
  - PIN

#### **BTS:**

Die Base Transceiver Station stellt die Sende- und Empfangsstation dar. Sie bildet also den reinen Funkteil einer Base Station (BS) für das Senden und Empfangen.

- Weiterleiten der Informationen zwischen BSC und Mobilstation

#### **BSC:**

Der Base Station Controller ist der Steuerungsteil einer BS und kann mehr als eine BTS steuern. BTS und BSC bilden also zusammen eine BS – die sogenannte Funkfeststation. Dabei können mehrere BSC/Zellen zu einer Location Area zusammengeschlossen werden, was wichtig ist für eingehende Rufe.

- BSC führen ein komplexes Protokoll mit den Mobilstationen durch (Einbuchen, Verbindungen aufbauen, Handover, usw.)

---

<sup>1</sup> [https://www.kaderali.de/fileadmin/vorlesungsskripte/Buch%20KP%20\(A4\).pdf](https://www.kaderali.de/fileadmin/vorlesungsskripte/Buch%20KP%20(A4).pdf)

### **MSC:**

Das Mobile Switching Center stellt die Funkvermittlungsstelle dar und dient somit zur Verbindungssteuerung. Einem MSC ist mindestens eine Base Station Controller zugeordnet.

- Übergang zwischen anderen MSCs bzw. ins Festnetz → globale Wegewahl
- Verwaltung der (aktuellen) Position von Mobilstationen (VLR, HLR)
  - HLR: Damit wird die SIM-Karte in einem Heimat-MSC registriert. Dabei enthält der zuständige HLR-Eintrag einen Vermerk auf das aktuell zuständige VLR
  - VLR (Visitor Location Register): hierbei handelt es sich um eine Liste der aktuell verfügbaren Mobilstationen, die sich im Einzugsgebiet dieses MSC aufhalten
- Registrierung von Mobilstationen und Nutzern/"Verträgen" (EIR, AuC): Datenbanken, die Bestandteil von MSC sind

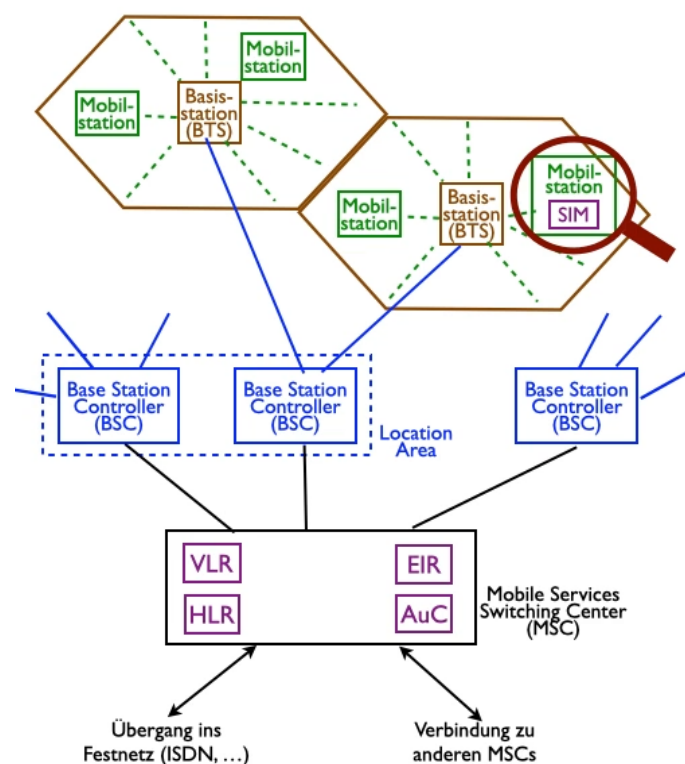


Abbildung 1

Wir betrachten das Einbuchen im Netz (nach Einschalten der Mobilstation),  
Eingehender Ruf von Mobilstation und Handover während eines Telefongesprächs.  
Das Einbuchen in das Netz: Basisstationen senden regelmäßig ihr Broadcast-Signal aus (ID, Netz usw...), was auf dem Broadcast-Channel geschieht. Wenn eine Mobilstation (irgendwo) eingeschaltet wird, wird die Signalqualität von (benachbarten) Zellen geprüft und das Ergebnis wird dann auf den Random Access Channel in der Zelle, die am besten "überkommt". Nach einigen Authentisierungsschritten (Einbuchen, TIMSI (...)), ist die Mobilstation empfangsbereit und "lauscht" auf den Broadcastchannels der nahen Zellen und prüft deren Qualität und ob ggf. ein Ruf reinkommt. Sofern man sich mit seinem Mobiltelefon weiterbewegt, kann es sein, dass die aktuelle Zelle verlassen wird und in eine andere gelangt.

In Zelle a7 gibt es einen eingehenden Ruf. Im MSC findet man den entsprechenden HLR-Eintrag, der - wie bereits erwähnt - einen Verweis auf das aktuelle VLR des MSC in dessen Einzugsbereich sich die Mobilstation sich aufhält (daher kann dieser Ruf an den MSC weitergeleitet werden) enthält. In dem VLR von dem MSC steht, welche Location Area zuständig ist, hier Location Area a. Der Ruf würde an alle angeschlossenen Zellen dieser Location Area a gehen (auf dem Paging Channel). Sobald die Mobilstation merkt, dass ein Ruf für sie rausgegangen ist, meldet sie sich auf dem RAC der gewählten Zelle, also der mit der besten Qualität (...).

Während eines Telefongesprächs gibt es sogenannte Handover. Als Handover bezeichnet man den Wechsel der Funkverbindung während eines Gesprächs. Dabei sollte der Handover vom Teilnehmer nicht bemerkt werden, d. h., dass z.B. keine Störgeräusche entstehen sollten. Da ein Handover während eines Gespräches stattfindet, muss in unserem Fall die

fette Route beginnend in Location Area a in Betracht gezogen werden. Hierbei wird spätestens nach dem Übergang in eine neue Zelle ein Handover durchgeführt:

Demnach findet in den anderen Zellen (nicht fette Route) kein Gespräch statt. Die Mobilstation lauscht regelmäßig bei benachbarten Zellen und prüft, welche Zelle die beste Qualität hat. Sobald eine "bessere" Zelle entdeckt wird, gibt es eine Mitteilung an den aktuellen BSC mit der Bitte um Einrichtung eines Kanal über den entsprechenden BTS. Dabei kümmert sich der aktuelle BSC um die Umbuchung, also a7 → a9 (Bewegung in Location Area a). Man benötigt in der neuen Zelle einen Gesprächskanal. Deshalb meldet

sich die Mobilstation über ihre TIMSI bei ihrem BSC ab (unter Angabe in welche Zelle gewandert werden soll). Der BSC meldet dies entsprechend bei seinem MSC.

Als nächstes hat sich die Mobilstation gemäß der Richtung in der Abbildung bewegt und hat dabei die Grenze Location Area überschritten, also meldet sich die Mobilstation mit ihrer TIMSI in der BSC der Location Area b bzw. in der Zelle in der sie sich nun befindet, hier b2 (b9 → b2). MSCs müssen bei einem Location Area Wechsel ihre VLR entsprechend anpassen. 3 Wechsel:

a7 → a9

a9 → b2 (Location Area Wechsel)

b2 → b4

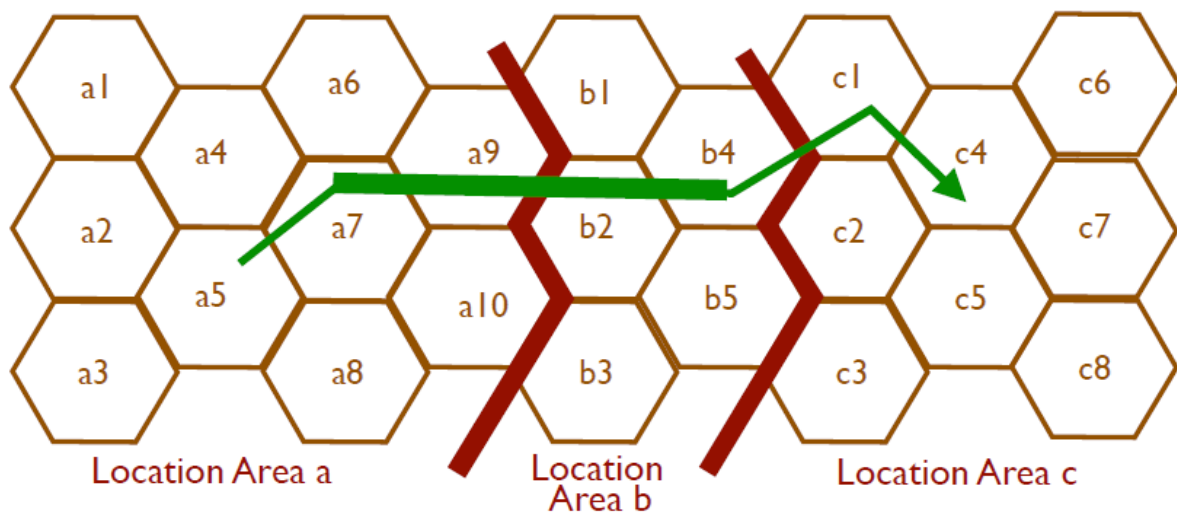


Abbildung 2 (Was passiert, wenn sich die Mobilstation bewegt, also ihre aktuelle Zelle verlässt und in eine andere Zelle übergeht?)

Außerdem eine (nachträgliche) Umbuchung in a7 beim Beginn des Telefongesprächs sowie Umbuchung von b4 zu c1 infolge Wechsel der Location Area.

0,5 Punkte