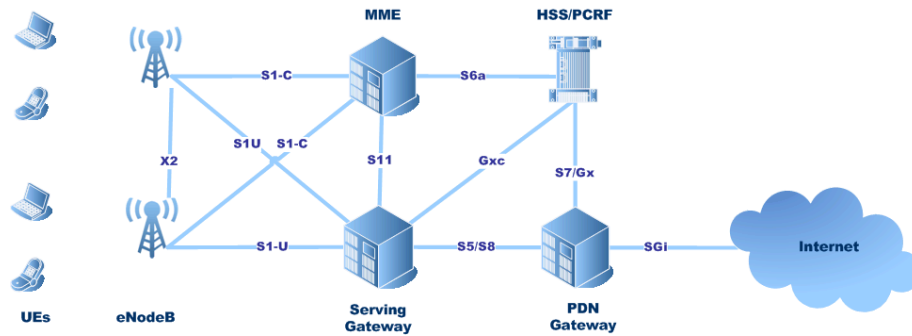


Projekt Mobile Systeme

Aufbau einer Internetverbindung von einem Huawei LTE-Stick über die eNodeB bis zur EPC mit Hilfe des OpenAirInterface.



René Zarwel, Fabian Uhlmann, Sebastian Frey, Michael Rödiger

Inhaltsverzeichnis

1	Abkürzungsverzeichnis	3
2	Einleitung	4
2.1	Projektüberblick und Ziele	4
2.2	Relevante Grundlagen zu LTE	4
2.3	OpenAirInterface (OAI)	6
2.4	Versuchsaufbau	7
3	Aufsetzen der Projektumgebung	8
3.1	Evolved Node B (eNodeB)	8
3.1.1	Konfiguration der Hardware/Software	8
3.1.2	OAI Installation	8
3.2	Evolved Packet Core (EPC)	8
3.2.1	Konfiguration der Hardware/Software	8
3.2.2	OAI Installation	9
3.2.3	Konfiguration von HSS, MME und S+P-GW	9
3.3	User Equipment (UE)	9
3.4	Aufbau der Projektumgebung	9
4	Herstellen einer Internetverbindung	10
5	Evaluation	11
5.1	Datenrate	11
5.1.1	Uplink	11
5.1.2	Downlink	11
5.1.3	Evaluierung der Messdaten	11
5.2	Latenz	11
5.2.1	Verzögerung der S1-Schnittstelle	11
5.2.2	Evaluierung der Messdaten	11
6	Fazit und Ausblick	12
7	Anhang	13
7.1	Arbeitsaufteilung	13
	Bibliography	14

1 Abkürzungsverzeichnis

Am Ende Alphabetisch sortieren!

LTE: Long Term Evolution

eNodeB/eNB: Evolved Node B

EPC: Evolved Packet Core

OAI: Open Air Interface

HSS: Home Subscriber Server

MME: Mobility Management Entity

S+P-GW: Serving Gateway (S-GW) + PDN (Paket Data Network) Gateway (P-GW) **3GPP:**
3rd Generation Partnership Project **SDR:** Software Defined Radio

EUTRAN: Evolved UMTS Terrestrial Radio Access

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

UE: User Equipment

2 Einleitung

Die vorliegende Projektdokumentation ist Teil der Veranstaltung „Mobile Netze“ an der Fakultät für Informatik und Mathematik (FK 07) der Hochschule München im Sommersemester 2017. Das Projekt dient der Vertiefung der in dem Vorlesungsanteil erworbenen Kenntnisse und Fähigkeiten durch praktisches Experimentieren mit mobiler Kommunikation. Im Fall dieses Projekts, geht es um das Verständnis für die grundlegenden Prinzipien von LTE-Netzwerken, sowie die Kenntnis und praktische Erfahrungen mit dort verwendeten Techniken und Standards.

2.1 Projektüberblick und Ziele

Das Projekt befasst sich mit dem experimentellen Aufbau eines LTE-Netzwerks und versucht sich über dieses Netzwerk mit einem LTE-Stick ins Internet zu verbinden. Das Netzwerk, bestehend aus einer Evolved Node B (eNodeB) und dem Kernnetzwerk (Evolved Packet Core, EPC), soll dabei mit Hilfe des OpenAirInterface (OAI) simuliert werden. Im Kern ist das Projekt in die folgenden drei Stufen unterteilt: - Stufe 1: Aufbau einer durchgehenden Verbindung von einem LTE-Stick über die eNodeB bis zur EPC (mit den Komponenten HSS, MME und S+P-GW) mit Hilfe des OpenAirInterface. - Stufe 2: Erweiterung der Verbindung durch Anschluss an das Internet. - Stufe 3: Evaluierung der Performance bzw. genauere Untersuchungen auf Protokollebene mit Wireshark.

Stufe 1 umfasst dabei die Minimalanforderungen an das Projekt. Die Stufen 2 und 3 sind entsprechende Erweiterungen der Mindestumsetzung. Der experimentelle Aufbau soll am Ende die Möglichkeit bieten, ein LTE-Netzwerk und dessen Zusammenhänge genauer zu untersuchen, um ein Verständnis für die Performance sowie die internen Abläufe der einzelnen Netzwerkkomponenten zu bekommen.

2.2 Relevante Grundlagen zu LTE

Der LTE (Long Term Evolution) Standard ist eine Weiterentwicklung von UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) und wurde als erste Version in 3GPP Release 8 spezifiziert (3GPP 2019). Mit 3GPP Release 10 (LTE Advanced) wurden zudem Erweiterungen spezifiziert, um das System noch schneller und effizienter zu machen.

Zu den wichtigsten Neuerungen von LTE gegenüber UMTS gehört zum einen ein neues Übertragungsverfahren und zum anderen der Fokus auf das paketvermittelnde Internet-Protokoll (IP). LTE verwendet das Übertragungsverfahren Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), das einen schnellen Datenstrom in viele langsamere Datenströme aufteilt und diese dann gleichzeitig überträgt. Dies führt zu einer erhöhten Datenrate unter LTE. „Während UMTS noch ein leitungsvermittelndes Kernnetz für Sprache-, SMS und andere Dienste hatte, gibt es in LTE nur noch ein paketvermittelndes Kernnetz, über das alle Dienste abgewickelt werden. Einzige Ausnahme ist der SMS-Dienst, der nach wie vor über Signalisierungsnachrichten abgewickelt wird.“ (Sauter 2015, S. 231 ff.)

Die LTE-Netzwerk-Architektur ist wie bei GSM und UMTS grob in ein Radionetz und ein Kernnetz unterteilt. Unter LTE wurde aber der Anteil logischer Komponenten reduziert, um die Effizienz zu steigern, Kosten zu senken und die Latenzzeiten zu minimieren.

Abbildung 1 zeigt alle Komponenten eines LTE-Netzwerks von den mobilen Endgeräten (UEs) bis ins Internet. Die Basisstationen (eNodeBs) bilden zusammen mit den UEs das oben bereits erwähnte Radionetz. Das Kernnetz besteht aus einer Teilnehmerdatenbank (HSS), dem Serving Gateway (Serving-GW), dem Paket Data Network Gateway (PDN-GW) sowie der Benutzerverwaltung (MME). Die MME ist der Netzknoten, der für die Signalisierung zwischen den eNodeBs und dem Kernnetz verantwortlich ist. Das Serving-GW ist verantwortlich für die Weiterleitung von Nutzerdaten in IP-Tunneln zwischen den eNodeBs und dem PDN-Gateway. Das PDN-Gateway bildet am Ende den Übergang zum Internet.

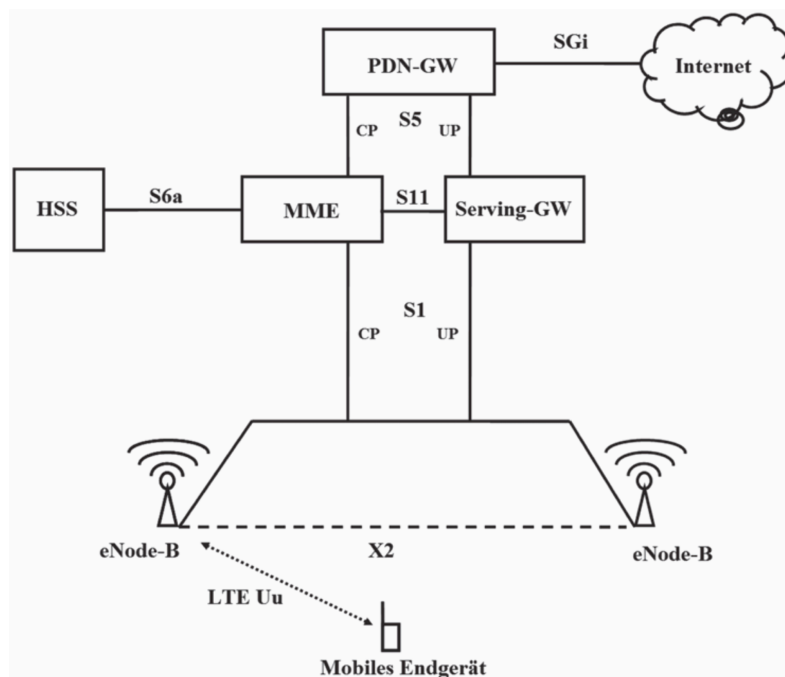


Abbildung 2.1: LTE-Netzwerk im Überblick

Verbunden sind alle Komponenten über die in Abbildung 1 gezeigten Schnittstellen, die nachfolgend aufgelistet und kurz beschrieben werden (Sauter 2015, S. 234 ff.):

- S6a: Schnittstelle für den Informationsaustausch zwischen HSS und MME über das IP-basierte DIAMETER-Protokoll.
- S1: Schnittstelle zwischen den Basisstationen und dem Kernnetz.
- S1-CP: Steuerebene (Control Plane) für die Kommunikation der eNodeBs mit dem Kernnetz (um sich beim Netzwerk anzumelden, um Status- und Keep-Alive-Nachrichten zu senden, um Konfigurationsinformationen vom Netzwerk zu erhalten) sowie dem Austausch benutzerspezifischer Signalisierung.
- S1-UP: Nutzerebene (User Plane) zur Übertragung der Nutzdaten über das GPRS Tunneling Protocol (GTP).
- S11: Schnittstelle für die Übertragung von Kommandos der MME zum S-GW, über das GPRS Tunneling Protocol (GTP), wenn die MME neue Tunnel und deren Modifikation erstellt. Dies wird immer dann notwendig, wenn eine neue eNodeB von einer anderen MME und einem anderen S-GW bedient wird.
- S5: Schnittstelle zwischen dem SGW und dem PGW
- S5-CP: Control Plane, über die die MME über das PGW eine IP-Adresse für ein Endgerät anfordert.
- S5-UP: User Plane, zur Übertragung von Nutzdaten zwischen SGW und PGW über das GPRS Tunneling Protocol (GTP).
- SGi: Schnittstelle ins Internet.

2.3 OpenAirInterface (OAI)

Das OpenAirInterface (OAI) ist eine Hardware und Software Technologie-Plattform zum Erstellen einer vollständigen und realitätsnahen LTE-Netzwerknachbildung. Die experimentelle LTE-Implementierung (Release 8 und partiell Release 10) des OAI ist in Standard C für mehrere Echtzeit-Linux-Varianten geschrieben, die für Intel x86 und ARM-Prozessoren optimiert und als freie Software unter dem OAI-Lizenzmodell veröffentlicht wurden. Die Implementierung beinhaltet sowohl EUTRAN (eNB und UE) als auch EPC (MME, S+P-GW, und HSS) und umfasst dabei den kompletten Protokoll-Stack des 3GPP Standards. Das OAI bietet eine umfangreiche Entwicklungsumgebung mit einer Reihe von integrierten Tools wie hoch realistische Emulationsmodi, Soft-Monitoring und Debugging-Tools, einen Protokollanalyser, Performance-Profiler und ein konfigurierbares Logging-System für alle Layer und Kanäle. ((OSA) 2019a)

Im vorliegenden Projekt wird das OAI dazu genutzt, um eine LTE Base Station (OAI eNB) und ein Core Network (OAI EPC) auf je einem PC zu bauen und einzurichten (siehe Abbildung 2 und 3). Die OAI eNB kann entweder mit kommerziellen UEs oder OAI UEs verbunden werden, um verschiedene Konfigurationen und Netzwerkaufbauten zu testen und das Netzwerk sowie das mobile Gerät in Echtzeit zu überwachen. Im Folgenden steht jedoch die Verwendung eines kommerziellen User Equipments (UE) im Fokus.

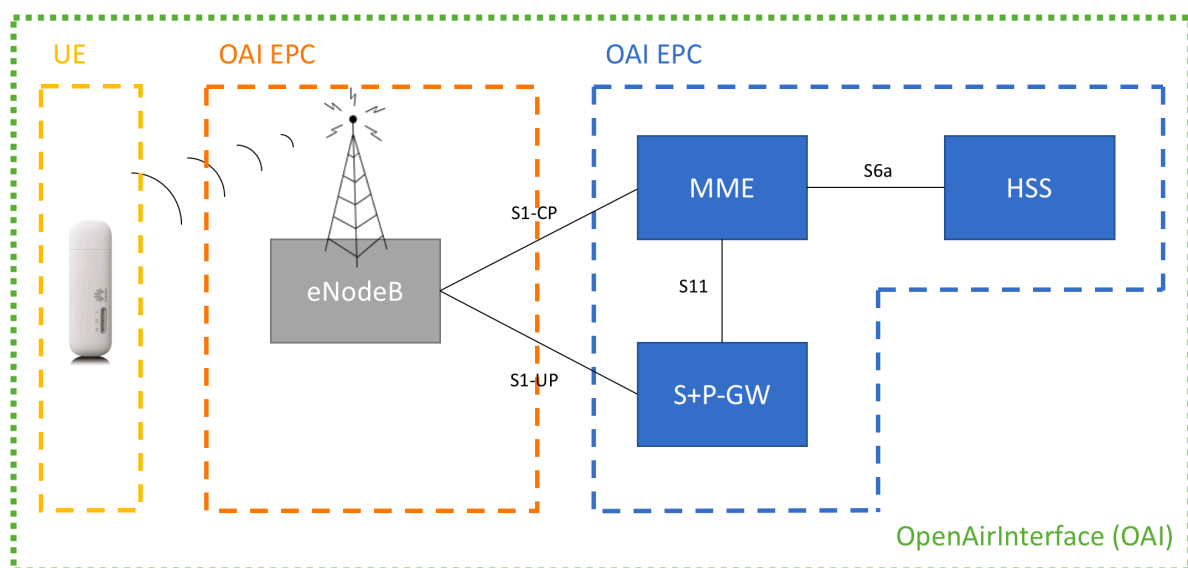


Abbildung 2.2: OpenAirInterface und dessen Bestandteile

Im Vergleich zum Standard LTE-Netzwerk aus Abbildung 1 werden im OpenAirInterface die beiden Komponenten SGW und PGW zu einer gemeinsamen Komponente (S+P-GW) zusammengeschlossen. Dadurch fällt auch die Schnittstelle S5 (CP und UP) als solches weg und wandert ins Innere von S+P-GW.

Des Weiteren ist zu erwähnen, dass für die Erstellung der LTE-Netzwerknachbildung zum einen zahlreiche Tutorials ((OSA) 2019b) als auch entsprechende Mailing-Lists ((OSA) 2019c) über die Homepage des OAI abrufbar sind. Diese kommen beim Aufsetzen der Projektumgebung (Kapitel 3) vermehrt zum Einsatz.

2.4 Versuchsaufbau

Der in diesem Projekt verwendete Versuchsaufbau ist der untenstehenden Abbildung 3 zu entnehmen. Er besteht aus vier zentralen Komponenten, die nachfolgend kurz beschrieben werden. Das mobile Endgerät, sprich die UE, besteht aus einem Huawei LTE-Stick (E3372), welcher mit der Basisstation (eNodeB) verbunden ist. Die eNodeB wird durch das OAI abgebildet und läuft auf einem physikalischen PC. Da im Umfeld dieses Projekts nicht gefunkt werden darf, ist die Verbindung vom UE zur eNodeB kabelgebunden. Dafür wird neben einem Software Defined Radio (USRP B210) auch ein LTE Band7 Duplexer sowie entsprechende Dämpfungsglieder zwischengeschaltet. Die EPC, bestehend aus der MME, der HSS und dem S+P-GW, wird ebenfalls durch das OAI abgebildet und läuft auf einem zweiten physischen PC. Die vierte und letzte Komponente stellt dann noch das Internet dar, mit dem sich am Ende der LTE-Stick über die eNodeB und den EPC verbinden soll.

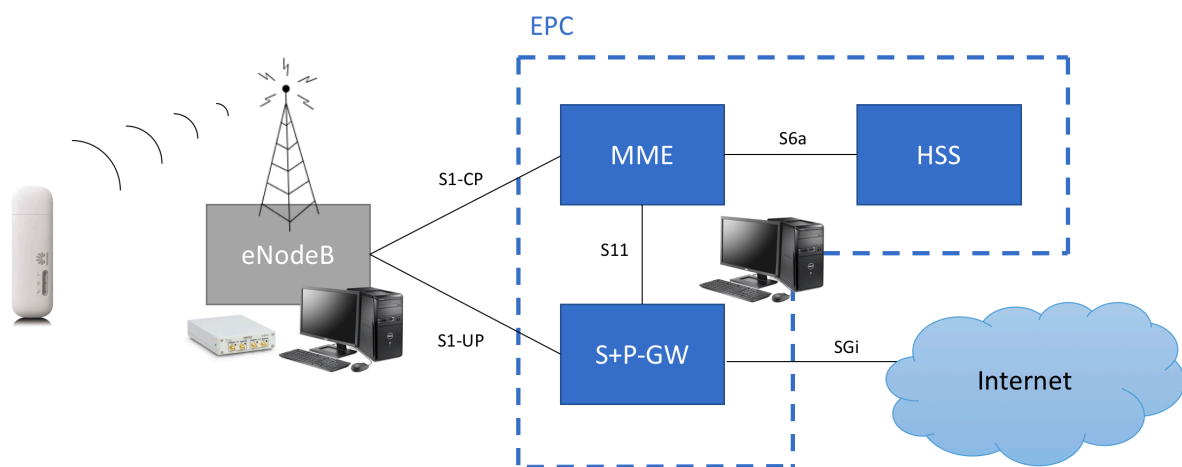


Abbildung 2.3: Versuchsaufbau

3 Aufsetzen der Projektumgebung

3.1 Evolved Node B (eNodeB)

3.1.1 Konfiguration der Hardware/Software

SW = Ubuntu 14.4_03 phy. PC mit USB 3 Ettus SDR (B210)

3.1.2 OAI Installation

3.2 Evolved Packet Core (EPC)

Der EPC ist das zentrale Element des aufzubauenden LTE-Netzwerkes. Es setzt sich aus den drei Komponenten HSS, MME und SPGW zusammen. Dabei ist es möglich die einzelnen Komponenten des EPC auf verschiedenen Rechnern zu installieren. Im Rahmen dieses Projektes wurden der Einfachheit halber jedoch die EPC Komponenten auf einem Rechner installiert. Die einzelnen Schritte zur Installation und Integration des OAI EPC's werden in den Folgenden Abschnitten erörtert.

3.2.1 Konfiguration der Hardware/Software

Als Betriebssystem für den EPC empfiehlt das OAI auf seiner Website Ubuntu 16.04 LTS (Xenial Xerus) auf einem dedizierten Rechner. Im Rahmen der Projektausführung wurde der EPC jedoch zuerst auf einer Virtuellen Maschine (VM) mit Ubuntu 14.04 LTS (Trusty Tahr) lauffähig installiert. Aufgrund eines Netzwerkproblems zwischen eNodeB-Rechner und der EPC-VM, wurde im weiteren Projektverlauf der EPC erneut auf einem dedizierten Rechner mit Ubuntu 16.04 LTS installiert. Verursacht wurde das Kommunikationsproblem durch den CiscoAnyConnect-VPN-Client auf dem eNodeB-Rechner, wodurch die beiden Komponenten über das erforderliche SCTP-Protokoll nicht miteinander kommunizieren konnten und somit ein Zusammenschluss beider Komponenten nicht möglich war.

Nach der Installation von Ubuntu 16.04 auf dem dedizierten Rechner wird zuerst ein Kernelupgrade auf die Version 4.7 durchgeführt. Wichtig beim Upgrade des Kernels ist, dass dieser das GTP (GPRS Transport Protocol) Modul beinhaltet. Mit folgenden Kommandos kann der Kernel installiert werden:

```
cd ~/Documents
git clone https://gitlab.eurecom.fr/oai/linux-4.7.x.git
cd linux-4.7.x
sudo dpkg -i linux-headers-4.7.7-oaiepc_4.7.7-oaiepc-10.00.Custom_amd64.deb linux-
```

Mit dem Befehl `uname -r` lässt sich überprüfen ob die Kernelinstallation erfolgreich war oder nicht. Als Ausgabe in der Kommandzeile sollte hier `4.7.7-oaiepc` oder ähnlich erscheinen.

Im nächsten Schritt gilt es den Hostnamen des Rechners anzupassen. Für den EPC-Rechner wurde der Hostname hss gewählt.

```
sudo hostname hss
```

Außerdem muss die /etc/hosts-Datei angepasst werden.

```
nano /etc/hosts
```

```
127.0.0.1    localhost
127.0.1.1    hss.openair4G.eur    hss
```

3.2.2 OAI Installation

TODO ausformulieren

- Git Repositories openair-cn auschecken (Wichtig develop branch)
- Kernel > 4.7.x oai
- hostname und etc/hosts konfigurieren
- Konfigurationsdateien nach /usr/local/etc/oai kopieren
- Zertifikate kopiert + installiert
- installieren von hss,mme,spgw
- in mmeidentity-Tabelle epc hostnamen 'hss.openair4G.eur' eintragen, Achtung ID merken
- in users und pdn sim karte eintragen, außerdem in mmeidentity-Spalte (Fremdschlüssel auf mmeidentity-Tabelle) eintragen

3.2.3 Konfiguration von HSS, MME und S+P-GW

3.3 User Equipment (UE)

Huawei LTE-Stick

3.4 Aufbau der Projektumgebung

LTE- Stick, eNB + EPC

4 Herstellen einer Internetverbindung

5 Evaluation

5.1 Datenrate

5.1.1 Uplink

5.1.2 Downlink

5.1.3 Evaluierung der Messdaten

5.2 Latenz

5.2.1 Verzögerung der S1-Schnittstelle

5.2.2 Evaluierung der Messdaten

6 Fazit und Ausblick

Was haben wir im Verlauf des Projekts gelernt: - Verständnis, wie zellulare Mobilfunknetze funktionieren und wie sich Daten dort übertragen lassen

Umsetzungsstand:

Stufe	Umsetzungsgrad	dabei aufgetretene Probleme
1		
2		
3		

Wie kann das vorliegende Projekt zukünftig genutzt/weiter verwendet bzw. erweitert werden?

Ausblick bezüglich des OpenAirInterface (siehe 5G)

7 Anhang

7.1 Arbeitsaufteilung

Gliederungspunkt	Name
a	b

Bibliography

3GPP, 2019, *3GPP Release 8* [online]. September 2019. Available from: <http://www.3gpp.org/specifications/releases/72-release-8>

(OSA), OpenAirInterfaceTM Software Alliance, 2019a, *Towards Open Cellular Ecosystem* [online]. September 2019. Available from: http://www.openairinterface.org/?page_id=864

(OSA), OpenAirInterfaceTM Software Alliance, 2019b, *OAI Tutorials* [online]. September 2019. Available from: <https://gitlab.eurecom.fr/oai/openairinterface5g/wikis/OpenAirUsage>

(OSA), OpenAirInterfaceTM Software Alliance, 2019c, *OAI Mailing-Lists* [online]. September 2019. Available from: <https://gitlab.eurecom.fr/oai/openairinterface5g/wikis/MailingList>

SAUTER, M., 2015, *Grundkurs Mobile Kommunikationssysteme*. Springer Fachmedien, Wiesbaden.