

Projet : Mini système de communication radio avec SDR

Contexte

Les réseaux de communication radio modernes (4G, 5G) reposent sur des chaînes de transmission numériques complexes : modulation, synchronisation, trames, correction d'erreurs, etc.

L'objectif de ce projet est de **concevoir, implémenter et démontrer un mini-système de communication radio numérique réel**, à l'aide de **SDR ADALM-Pluto**, permettant d'illustrer concrètement les principes vus en cours.

Organisation du projet

- Travail seul ou en binôme
- 2 ADALM-Pluto par groupe
- Soutenance finale avec démonstration (10-15 min par groupe)
- Travail **en autonomie**: Vous pouvez utiliser toutes les ressources à votre disposition, y compris des IA génératrices, mais **vous devez comprendre, expliquer et documenter** ce que fait votre code. Le but est d'aller le plus loin possible par vous-même mais avoir un rendu propre, qui fonctionne et que vous comprenez.

Objectifs pédagogiques

À l'issue du projet, vous devrez être capables de :

- Comprendre et expliquer une **chaîne de communication radio numérique**
- Manipuler un **SDR (Software Defined Radio)**
- Implémenter une **modulation numérique simple**
- Mettre en œuvre un **mini-protocole de communication**
- Analyser les performances d'un lien radio réel
- Faire le lien avec les systèmes cellulaires (4G / 5G)

Travail demandé

1. Chaîne de communication radio

Vous devez implémenter une chaîne de communication numérique complète comprenant :

Émission

- Génération de données binaires
- Modulation numérique (**BPSK ou QPSK**)
- Mise en forme du signal (sur-échantillonnage, filtrage simple)
- Transmission radio via un ADALM-Pluto

Réception

- Réception du signal via un ADALM-Pluto
- Synchronisation (au moins grossière)
- Démodulation
- Décision sur les bits reçus
- Calcul d'un **taux d'erreur binaire (BER)** ou équivalent

Le système doit fonctionner **sur un lien radio réel**, et pas uniquement en simulation.

2. Mini-protocole de communication

Vous devez définir et implémenter un **protocole simple** au niveau trame, par exemple :

Le protocole doit inclure au minimum :

- Un **préambule connu** pour la synchronisation

- Un **payload utile** (texte ou données binaires)
- Un mécanisme simple de **détection d'erreur** (checksum ou CRC)
- Une détection correcte des trames côté récepteur

3. Analyse expérimentale

Vous devez analyser les performances de votre système en faisant varier :

- Les gains d'émission et de réception
- La distance ou l'atténuation
- Le bruit (réel ou artificiellement ajouté)

Résultats attendus :

- Constellations (avant/après démodulation)
- Mesures ou estimations de BER
- Analyse qualitative des limitations observées

4. Lien avec les réseaux 4G / 5G

Sans implémenter LTE ou 5G, vous devez, dans la documentation de votre projet comparer les éléments de votre système (synchronisation, la modulation, la trame radio) avec les principes utilisés en 4G/5G et discuter des différences d'échelle et de complexité.

Axes d'approfondissement

- Passage à une modulation plus complexe (16-QAM)
- Introduction d'un OFDM très simplifié
- Estimation du SNR
- Synchronisation plus robuste
- Comparaison BPSK vs QPSK
- Transmission de messages bidirectionnels

Livrables attendus

1. Code

- Code source complet (Python, GNU Radio, etc.)
- Code commenté et structuré
- Le projet doit être **exécutable facilement**

2. Documentation

Un document expliquant :

- Comment installer les dépendances
- Comment lancer l'émetteur et le récepteur
- Le fonctionnement global de la chaîne
- Le protocole implémenté
- Les choix techniques réalisés

La documentation doit permettre à un tiers de **reproduire votre démonstration**.

3. Support de soutenance

- Quelques slides claires de présentation
- Schémas de la chaîne radio
- Résultats expérimentaux

Soutenance finale

- Durée : **15-20 minutes par groupe**

- Contenu :
 1. Présentation du système
 2. Explication du protocole
 3. Analyse des performances
 4. **Démonstration fonctionnelle en direct**
 5. Discussion et questions

Critères d'évaluation

Evaluation durant la soutenance:

- Fonctionnement réel du lien radio : 33 %
- Qualité de la soutenance, compréhension et explications : 33 %
- Documentation et code source : 33 %