

Plan du Cours : Capteurs et Mesures en Télécommunications

Durée totale : 22,5 heures (15 séances de 1h30 chacune)

1. Description du cours

Ce cours propose une introduction complète aux principes et pratiques des systèmes de mesure et des capteurs spécifiques au domaine des télécommunications.

Les étudiants apprendront les caractéristiques clés qui définissent la qualité d'une mesure, exploreront une large gamme de capteurs (physiques et logiciels), et acquerront une expérience pratique

sur les instruments modernes de mesure utilisés pour tester les systèmes de télécommunication statiques et dynamiques.

Le cours se termine par des études de cas appliquant ces concepts à des scénarios réels tels que les réseaux de téléphonie mobile et IP.

2. Objectifs pédagogiques

À l'issue de ce cours, les étudiants seront capables de :

- Définir les caractéristiques fondamentales d'un système de mesure (ex. : exactitude, résolution, plage dynamique).
- Classer les capteurs selon leurs principes de fonctionnement (passifs/actifs) et leur mise en œuvre (matériel/logiciel).
- Expliquer les principes de fonctionnement des capteurs clés utilisés en télécommunications, tels que les microphones, capteurs optiques et capteurs de champ RF.
- Sélectionner les instruments de mesure appropriés (ex. : analyseurs de spectre, réflectomètres OTDR, analyseurs de protocole) pour des tâches spécifiques en télécommunications.
- Analyser les données de mesure afin d'évaluer la performance et la qualité d'un lien ou système de télécommunication.
- Concevoir un plan de mesure de base pour une étude de cas donnée (ex. : évaluation de la qualité VoIP, couverture du signal mobile).

3. Connaissances préalables recommandées

- Télécommunications fondamentales (types de signaux, modulation, bande passante, notions de base des réseaux).
- Télécommunications et applications (aperçu des systèmes de communication filaires, sans fil et optiques).

Contenu détaillé et calendrier (15 cours, 1h30 chacun)

Chapitre 1 : Caractéristiques d'un système de mesure (3 cours)

Cours 1 : Introduction à la métrologie

- Rôle de la mesure en télécommunications.
- Schéma-bloc d'un système de mesure généralisé : capteur/conditionnement de signal/sortie.
- Grandeurs physiques vs. signaux électriques : principes de transduction.

Cours 2 : Caractéristiques statiques

- Exactitude, précision et résolution.
- Plage et étendue de mesure.
- Sensibilité et linéarité (y compris l'erreur de non-linéarité).
- Hystérésis et bande morte.

Cours 3 : Caractéristiques dynamiques

- Temps de réponse, constante de temps, temps de montée.
- Bande passante d'un système de mesure.
- Rapport signal/bruit (SNR) dans les mesures.
- Introduction à l'étalonnage et aux normes de traçabilité.

Chapitre 2 : Classification des capteurs en télécommunications (3 cours)

Cours 4 : Fondamentaux des capteurs

- Définition d'un capteur/transducteur.
- Principe de fonctionnement : résistif, capacitif, inductif, piézoélectrique, photoélectrique, etc.

Cours 5 : Capteurs matériels : passifs et actifs

- Capteurs passifs : ne nécessitent pas d'alimentation externe (ex. : thermocouples, microphones piézoélectriques). Exemples dans les infrastructures télécom (surveillance de température).
- Capteurs actifs : nécessitent un signal d'excitation externe (ex. : jauges de contrainte, capteurs capacitifs). Exemples : capteurs de proximité pour antennes.

Cours 6 : Le rôle du logiciel comme capteur

- Introduction aux « capteurs virtuels » ou « définis par logiciel ».
- Exemples : perte de paquets comme indicateur de congestion réseau, gigue comme indicateur de stabilité, TEB comme indicateur d'intégrité du signal.
- Fusion de données de plusieurs capteurs logiciels pour mesurer la qualité de service (QoS).

Chapitre 3 : Exemples de capteurs (3 cours)

Cours 7 : Capteurs acoustiques et d'image

- Microphones : dynamiques vs. électrostatiques, utilisation dans les combinés et systèmes

de conférence.

- Capteurs d'image CCD/CMOS : principe de fonctionnement, rôle dans la visioconférence et la messagerie multimédia.

Cours 8 : Capteurs radiofréquence (RF)

- Mesureurs de champ RF et analyseurs d'antenne.
- Principes de fonctionnement : mesure de puissance, ROS/VSWR, impédance.
- Importance pour le déploiement et la maintenance des réseaux cellulaires.

Cours 9 : Capteurs optiques et numériques

- Capteurs optiques : photodiodes et phototransistors dans les récepteurs à fibres optiques.
- Capteurs logiciels numériques (approfondissement) : testeurs de débit réseau, outils de mesure de latence (ping, traceroute), analyseurs de protocole.

Chapitre 4 : Mesures statiques et dynamiques en télécommunications (4 cours)

Cours 10 : Mesures en courant continu et basses fréquences

- Multimètres numériques : tension, courant, résistance dans les systèmes d'alimentation télécom.
- Testeurs de câbles : réflectométrie temporelle (TDR) pour la localisation de défauts dans les câbles cuivre.

Cours 11 : Mesures en domaine fréquentiel

- Oscilloscopes : visualisation des signaux temporels.
- Analyseurs de spectre : principe de fonctionnement, mesure de puissance, harmoniques, émissions parasites.
- Analyseurs de réseaux vectoriels : introduction aux paramètres S pour caractériser filtres, amplificateurs et antennes.

Cours 12 : Mesures en communications optiques

- Mesureurs de puissance optique et sources lumineuses.
- Réflectomètres optiques (OTDR) : principe pour caractériser et dépanner les liaisons fibre optique.
- Analyse de diagrammes de l'œil pour évaluer la qualité des signaux à haut débit.

Cours 13 : Mesures de réseau et de protocole

- Testeurs de liaison (Ethernet, DSL) : vitesse, synchronisation, paramètres.
- Analyseurs de protocole : introduction à des outils comme Wireshark pour l'analyse du trafic IP.

Chapitre 5 : Études de cas (2 cours)

Cours 14 : Étude de cas 1 – Téléphonie mobile

- Mesure des indicateurs clés de performance d'un réseau cellulaire : RSSI, RSRP/RSRQ (LTE), SINR.

- Concepts de « drive tests » : couverture, qualité, analyse des handovers.
- Combinaison de capteurs RF et d'outils logiciels.

Cours 15 : Étude de cas 2 – Téléphonie IP (VoIP)

- Mesure de la qualité de la VoIP.
- Paramètres : gigue, perte de paquets, latence.
- Calcul du MOS et utilisation d'outils de mesure QoS.
- Synthèse du cours et préparation à l'examen.

Modalités d'évaluation

- Examen écrit final : 100 % de la note finale.

Format : examen écrit de 2h30 à livre fermé.

Contenu : tous les chapitres du cours, avec QCM, définitions courtes, analyses graphiques (ex. : courbe caractéristique d'un capteur, trace OTDR) et problèmes (ex. : calcul d'exactitude, choix d'un capteur ou instrument adapté).

Objectif : évaluer la compréhension des concepts fondamentaux, la capacité à appliquer les connaissances à de nouvelles situations et à synthétiser l'information.

Références et ressources recommandées

1. Principles of Measurement and Instrumentation, A. S. Morris.
2. A Beginner's Guide to Uncertainty of Measurement, Stephanie Bell.
3. Measurement Systems: Application and Design, Ernest O. Doebelin.
4. Manuels et notes d'application des fabricants : Keysight, Tektronix, Fluke, EXFO, Viavi.
5. Ressources en ligne : IEEE Xplore pour les articles sur la technologie des capteurs et les mesures en télécommunications.