

Cahier des charges : Développement d'un système embarqué de télémétrie, navigation GNSS et détermination d'attitude avec station sol LoRa et interface Web

Dans le cadre des bureaux d'étude de la formation M2 IDIM autour du kit pédagogique CubeSat, l'objectif est de développer et valider une chaîne complète d'acquisition, de traitement et de transmission de données entre un système embarqué et une station au sol. Une carte Heltec Wireless Stick Lite V3 embarquée sera associée à trois sous-systèmes de mesure : un capteur environnemental Grove BME680, un récepteur GNSS SparkFun u-blox NEO-M9N et une centrale inertielle Grove IMU 9DOF basée sur un ICM20600 et un AK09918. Les données environnementales, GNSS et d'attitude seront transmises en LoRa 868 MHz vers une seconde Heltec Wireless Stick Lite V3 utilisée comme station sol.

La centrale inertielle ne fournissant pas directement une attitude fusionnée, les étudiants devront développer la chaîne de calibration et de fusion des mesures issues de l'accéléromètre, du gyroscope et du magnétomètre afin d'estimer l'orientation du système. Le résultat devra être disponible sous la forme des angles Roll, Pitch et Yaw et/ou d'un quaternion, puis être intégré aux trames de télémétrie avec les données environnementales et GNSS.

La station au sol devra assurer simultanément la réception LoRa, la création d'un réseau Wi-Fi et l'hébergement d'un serveur Web asynchrone. Une interface Web accessible depuis un ordinateur ou un téléphone portable devra permettre à l'utilisateur de sélectionner les données qu'il souhaite recevoir et de définir leur fréquence de transmission. Ces choix devront être envoyés au système embarqué sous forme de télécommandes LoRa. L'interface devra également afficher les données reçues en temps réel et représenter l'orientation du système par un cube 3D animé à partir des angles ou du quaternion reçus.

Des essais devront permettre d'évaluer le fonctionnement de la chaîne complète : qualité des acquisitions, stabilité et dérive de l'attitude estimée, cohérence de la visualisation 3D, fonctionnement de la télécommande, portée et qualité de la liaison radio. Les performances LoRa seront notamment caractérisées à partir du RSSI, du SNR, du taux de paquets reçus et de la latence, en utilisant les antennes fournies avec les cartes ainsi que l'antenne sectorielle LoRa-7 de la station au sol.

Il sera enfin nécessaire de rédiger une documentation technique décrivant les cartes, les trois sous-systèmes de mesure, les méthodes de calibration et de fusion,

le protocole LoRa, le fonctionnement Wi-Fi et du serveur Web, ainsi que l'interface de visualisation. Un manuel d'utilisation devra détailler, étape par étape, la programmation et la mise en œuvre du système complet.

Matériels :

1. **2 cartes Heltec Wireless Stick Lite V3** : cartes déjà utilisées dans le kit pédagogique CubeSat. La version 863-870 MHz sera exploitée à 868 MHz. Une carte sera utilisée à bord pour l'acquisition, le traitement et l'émission LoRa ; la seconde sera utilisée au sol pour la réception LoRa, le Wi-Fi et l'hébergement du serveur Web asynchrone.
2. **1 capteur Grove Environmental BME680** : capteur environnemental 4-en-1 permettant la mesure de la température, de l'humidité relative et de la pression atmosphérique, ainsi que la détection de composés gazeux par mesure de la résistance de son élément sensible. La pression pourra également être exploitée pour estimer une altitude barométrique.
3. **1 carte SparkFun GNSS u-blox NEO-M9N** : récepteur multi-GNSS permettant notamment l'acquisition de la latitude, de la longitude, de l'altitude, de la vitesse, du cap de déplacement, de l'heure UTC et des informations relatives à la qualité du positionnement.
4. **1 capteur Grove IMU 9DOF (ICM20600 + AK09918)** : centrale inertielle regroupant un accéléromètre 3 axes, un gyroscope 3 axes et un magnétomètre 3 axes. Les mesures devront être calibrées et exploitées par les étudiants pour développer leur propre chaîne de fusion et de détermination d'attitude.
5. **1 antenne sectorielle Sector LoRa-7 et accessoires RF** : antenne directive destinée à la station au sol pour la bande 862-870 MHz, gain de 7 dBi, largeur de faisceau horizontale à -3 dB de 126°, polarisation verticale, impédance nominale de 50 Ω et connecteur N. Les antennes LoRa 868 MHz fournies avec les cartes Heltec, ainsi que les câbles et adaptateurs nécessaires, seront également utilisés lors des essais.

Work Packages :

- **WP1 – Acquisition des données et détermination d'attitude** – Une première partie du groupe travaillera sur le système embarqué autour de la Heltec Wireless Stick Lite V3. Elle devra prendre en main le capteur environnemental Grove BME680, le récepteur GNSS SparkFun u-blox NEO-M9N et la centrale inertielle Grove IMU 9DOF (ICM20600 + AK09918), puis développer l'acquisition des différentes mesures. Les données environnementales et GNSS devront être identifiées, datées et organisées dans un format adapté à leur traitement et à leur transmission. Les mesures de l'accéléromètre, du gyroscope et du magnétomètre devront être calibrées puis exploitées pour développer une fusion 9DoF permettant d'estimer

l'attitude du système. Le traitement devra fournir les angles Roll, Pitch et Yaw et/ou une représentation par quaternion. Le choix de l'algorithme de fusion devra être étudié, justifié et validé expérimentalement.

- **WP2 – Liaison LoRa bidirectionnelle** – Une deuxième partie du groupe travaillera sur la communication LoRa 868 MHz entre les deux cartes Heltec Wireless Stick Lite V3. Elle devra définir et développer un protocole de communication bidirectionnel permettant de transporter les données de télémétrie et les télécommandes. Les trames devront notamment permettre d'identifier les données transmises et intégrer un mécanisme d'accusé de réception, de temporisation et de retransmission lorsqu'une confirmation n'est pas reçue dans le délai prévu. La station sol devra pouvoir demander au système embarqué quelles données doivent être transmises, activer ou désactiver certaines informations et modifier leur fréquence de transmission. La liaison devra également être caractérisée à partir de paramètres tels que le RSSI, le SNR, le taux de paquets reçus, la latence et l'influence des principaux paramètres LoRa, en utilisant les antennes fournies avec les cartes ainsi que l'antenne sectorielle LoRa-7.
- **WP3 – Station sol, Wi-Fi, serveur Web et interface utilisateur** – Une troisième partie du groupe travaillera sur la Heltec Wireless Stick Lite V3 utilisée comme station sol. La carte devra créer un point d'accès Wi-Fi et héberger localement un serveur Web asynchrone ainsi que l'ensemble des ressources nécessaires à l'interface. La transmission en temps réel des données de la station sol vers le navigateur devra être réalisée à l'aide de Server-Sent Events (SSE), tandis que les commandes provenant de l'interface pourront être envoyées à la station par des requêtes HTTP avant d'être relayées vers le système embarqué par LoRa. Une interface en HTML/JavaScript devra permettre de sélectionner les données à recevoir et leur fréquence de transmission, d'afficher en temps réel les mesures environnementales, les informations GNSS, les données d'attitude et l'état de la liaison radio. Elle devra également intégrer une visualisation 3D représentant le système (cube) et reproduisant son orientation en temps réel à partir des angles Roll/Pitch/Yaw ou, de préférence, du quaternion reçu. Les données devront pouvoir être sauvegardées dans un format exploitable (.txt par exemple).
- **WP4 – Intégration et validation du système complet** – Ce Work Package concernera l'ensemble des étudiants. Les trois parties développées précédemment devront être regroupées et intégrées afin de réaliser un système complet et fonctionnel : acquisition des capteurs et fusion 9DoF sur la carte embarquée, liaison LoRa bidirectionnelle avec accusés de réception et retransmission, puis station sol Wi-Fi avec serveur Web, SSE et interface de visualisation. La chaîne complète devra être validée dans les deux sens, depuis la sélection d'une donnée et de sa fréquence dans l'interface Web jusqu'à la réception de la télécommande par le système embarqué, puis depuis l'acquisition de cette donnée jusqu'à son affichage dans le navigateur.

Les essais devront notamment vérifier le bon fonctionnement des télécommandes, la cohérence des fréquences demandées, la stabilité et la dérive de l'attitude estimée, la cohérence de la visualisation 3D, le fonctionnement des accusés de réception et des retransmissions ainsi que les performances globales de la liaison radio. Un essai de fonctionnement continu sur une durée de 3 heures devra être réalisé. L'ensemble du groupe devra enfin rédiger une documentation complète et professionnelle ainsi qu'un manuel d'utilisation décrivant la programmation, l'intégration et la mise en œuvre du système complet.

Approche par gestion de projet:

Ce projet devra être conduit en appliquant de manière **rigoureuse** les éléments dispensés lors du cours "**Gestion de projet**" planifié au démarrage du BE.

Entre autres, les étudiants devront s'assurer **tout au long du projet** que le résultat de leur réalisation est en **parfaite adéquation avec le besoin client**.

Pour cela, les étudiants auront la **responsabilité** d'organiser, planifier, spécifier et valider, tout au long du projet.

Les interactions développeurs/clients (autrement appelées "revues"), aussi fréquentes que possible, contribueront aussi à la bonne qualité du résultat

- Présentations orales en anglais
- Donner un **seul** document explicatif pour l'ensemble du système

Il contiendra une ou des figure(s) affichant l'ensemble des sous-systèmes présents ainsi que la liste des ressources logicielles nécessaires au fonctionnement et à l'exploitation de chaque sous-système. Cette présentation sera accompagnée d'un texte permettant au client de prendre en main le dispositif.

Le texte, rédigé en anglais, contiendra, à des endroits opportuns, un renvoi à une ou des références, sous forme de numéros entre crochets [x,y]. Ces références seront indiquées dans la bibliographie.

Le document doit contenir une présentation du principe de fonctionnement et le conditionnement nécessaire à la mise en œuvre des détecteurs / capteurs / microcontrôleurs embarqués.

Le document doit aussi contenir une présentation détaillée des drivers, applications Arduino, Python (ou autre) mis en œuvre pour répondre à ce cahier des charges.

- L'équipe doit imaginer puis proposer, en annexe, un énoncé de manipulation rédigé en français (3 feuilles recto-verso maximum) sur le sujet traité. Cet énoncé qui pourrait être proposé aux étudiant.es IDIM dans le futur, sera testé en condition réelle par le client AVANT la recette finale et avec l'assistance du groupe concerné. La durée du TP ne doit pas dépasser 3H00.
- Proposer des perspectives d'évolution et d'amélioration du système tant au niveau hardware que software.