Rapport de projet de fin d'études :

Le Robot Hermes

Rémi Dulong
Client : Claude Villard (Direction des formations)
Tuteur : Daniel Ranc

Septembre 2017 - Janvier 2018

Résumé

Ce rapport est le résultat d'un projet de fin d'études, dans le cadre de la voie d'approfondissement "Systèmes embarqués et objets communicants" de Télécom SudParis.

Table des matières

Chapitre 1

Objectif du projet

1.1 Le projet Hermes

Le projet Hermes est la continuité d'un projet initié en Janvier 2017 et qui a été porté par deux équipes de projet Cassiopée l'an dernier. L'Objectif est de créer de toutes pièces une plate forme robotisée multi-fonctions, dont une des fonctions serait par exemple l'accueil et le guidage de personnes dans l'enceinte de notre campus. Le projet Cassiopée s'est terminé en Juin 2017, avant que je ne reprenne la suite du projet en Septembre, ce projet étant pleinement compatible avec le domaine d'expertise de ma voie d'approfondissement en Systèmes Embarqués. Cette plate forme robotisée est une demande du département Direction des Formations de Télécom SudParis, et plus particulièrement de Monsieur Claude Villard, directeur des formations de l'école.

1.2 Bilan des projets Cassiopée

Mon projet de fin d'études étant la suite directe de notre travail lors des projets Cassiopée, je vais commencer par définir le point de départ de mon travail :

La partie Hardware

Un des deux projets Cassiopée s'était consacré à la réalisation physique du robot, c'est-à-dire la conception et la réalisation de la mécanique et de l'électronique. Nous avions établi un cahier des charges permettant de proposer une base roulante robotisée évolutive, comportant les éléments insidpensables pour assurer sa mobilité partout dans le campus.

La partie Software

Afin de donner au robot les fonctionnalités nécessaires en terme d'interactions entre ses différents composants ainsi qu'avec son environnement, l'autre partie de l'équipe (dont je faisais partie) était responsable de la partie logicielle. Nous avons séparé ce travail en 4 grandes parties :

- Le programme embarqué sur le robot, responsable de ses fonctionnalités de base (en particulier le déplacement).
- Une application Android permettant le contrôle du déplacement en direct
- Une application Web permettant le pilotage du robot à distance via internet
- Notre distribution Linux minimaliste embarquée (conçue à l'aide de Yocto).

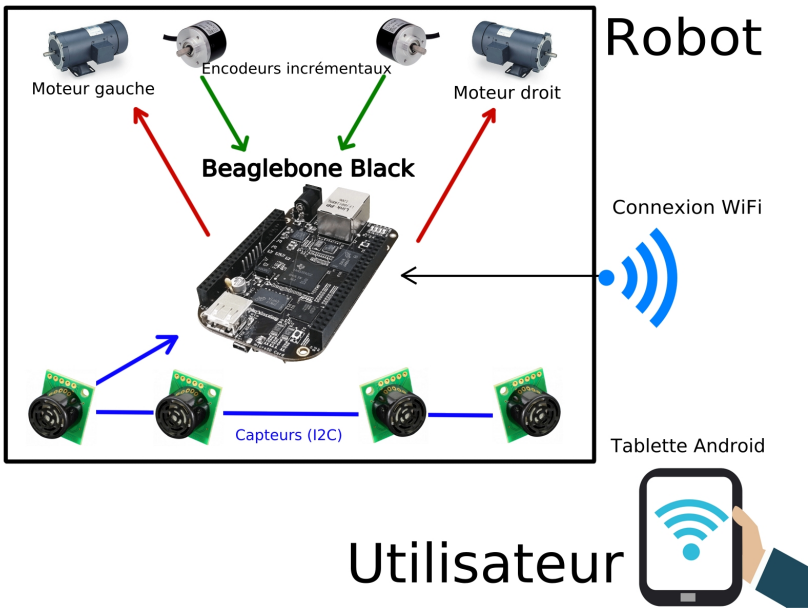
Résultats de Cassiopée

À la fin du projet Cassiopée, nous avions pu faire rouler la base du robot dans son mode de pilotage le plus simple, c'est à dire en pilotage direct (mode télécommandé). Cependant, nous avons pu remarquer des disfonctionnements pendant ce test. Tout d'abord, un souci d'origine inconnue a fait que nous avions détruit une des deux

cartes électroniques responsables de l'alimentation d'un des deux moteurs de propulsion. Cette carte (conçue par nos soins et réalisée par un industriel) avait, pour la cloture des projets Cassiopée, été remplacée en urgence par une autre carte que nous avions dû réaliser "à la main" (gravure sur plaques en époxy cuivrées). Cela s'est traduit par une asymétrie considérable rendant le robot difficile à contrôler, même via la télécommande en direct. De plus, une partie des fonctionnalités nécessaires au robot n'ont pas pû être développées par manque de temps, comme par exemple l'implémentation des capteurs de proximité dans le programme de pilotage. Enfin, le robot avait été pensé avant tout pour être piloté à distance via l'interface Web, ce qui avait engendré des complications conséquentes pour acheminer les ordres d'un utilisateur jusqu'au programme pilote, notamment à cause de la contrainte du réseau wifi à utiliser dans l'école, Eduroam.

1.3 Architecture du Robot

Le système que nous avons développé est conçu selon l'architecture suivante :



Cette architecture est axée autour de deux éléments principaux : La Beaglebone Black, et la tablette Android.

La Tablette Android

La tablette Android est une des interfaces possibles pour l'interaction entre le robot et son utilisateur. En effet, il est également prévu de pouvoir contrôler le robot depuis une interface Web. Nous avions développé une application pour Android permettant le pilotage direct du robot (afin de tester le protocole de communication et la mobilité de la plateforme). Cependant, il s'agissait de la seule forme d'interaction possible en utilisant la tablette embarquée, ce qui était assez limité, et ne permettait pas encore le guidage d'un utilisateur dans le campus.

1.4 Objectif du Projet de fin d'études

L'objectif du PFE était de se focaliser davantage sur l'interaction directe entre les utilisateurs et le robot. Afin de pouvoir servir de guide,

il fallait que le robot puisse recevoir des requêtes (de la forme "guide moi à l'amphi 10") de la manière la plus naturelle qui soit. Pour cela, nous avions choisi dans le cahier des charges d'utiliser une tablette tactile posée sur le robot. De plus, le projet devait rendre la base roulante utilisable en complétant les fonctionnalités qui n'avaient pas été implémentées lors du Cassiopée, en particulier la gestion des capteurs, et en tentant de corriger les anomalies constatées lors des tests à la fin du projet Cassiopée.

Chapitre 2

Déroulement du PFE

2.1 Intégration des capteurs

2.1.1 Description des capteurs

2.1.2 Mise en application

2.2 Interaction avec les utilisateurs

Afin de rendre les communication avec le robot les plus naturelles possible pour les utilisateurs, nous avons choisi d'utiliser de la reconnaissance vocale. Le fonctionnement du système de reconnaissance vocale est organisé selon un modèle client - serveur :

2.2.1 Le client

Le client que nous avons développé est une application Android. Ce choix n'est pas arbitraire, il permet en effet d'offrir des fonctionnalités particulièrement intéressantes :

La simplicité de l'interaction

L'utilisation d'une tablette, qu'elle soit accompagnée ou non de reconnaissance vocale, était déjà prévue au début du projet Hermes. En effet, elle permet d'obtenir une forme d'interaction simple pour l'utilisateur grâce à son écran tactile. Celui ci devait permettre notamment de montrer une carte du lieu, ainsi qu'un écran pour rechercher le bureau d'une personne sur le campus simplement à partir de son nom.

L'API de Google

Nous avons choisi d'utiliser une tablette sous Android, pour la simplicité de développement que cela implique, mais aussi pour avoir l'accès à l'API de reconnaissance vocale de Google. Cette API est composée de deux éléments complémentaires :

— Le STT (Speech to text) : c'est l'outil capable de traduire le fichier audio contenant la requête vocale de l'utilisateur en une requête sous forme de chaîne de caractères.

— Le TTS (Text To Speech) : il s'agit de l'outil faisant le travail inverse. À partir d'une chaîne de caractères, le TTS génère un fichier audio contenant une voix synthétisée lisant la chaîne de caractères.

L'avantage pour nous est que Google fournit cette API dans tous les appareils Android, et qu'elle peut être utilisée sans connexion Internet (ce qui est intéressant pour nous puisqu'il fallait que le mode d'interaction avec le robot ne soit pas tributaire de la présence d'une connexion wifi ou non).

2.3 Le serveur

2.3.1 Le choix de l'architecture matérielle

Notre architecture avait pour objectif de tester les capacités d'un micro-ordinateur embarqué, afin de savoir si il était possible de gérer tous les éléments de base d'un robot depuis une unique carte. En effet, la plupart des architectures de robots que nous avions expérimenté pour l'instant (notamment au club de robotique de l'école) étaient constituées d'une carte dite "Bas niveau" et d'une carte dite "Haut Niveau". La première, souvent une carte de type Arduino, STM32, ou encore Teensy, avait pour rôle de gérer les problématiques de pilotage des moteurs et servomoteurs, tandis que la seconde permettait de gérer les problématiques de l'environnement du robot (grâce à l'interprétation des valeurs des capteurs) ainsi que la recherche de chemin (algorithme de Path Finding), mais aussi la communication avec l'utilisateur. Cette dernière, plus puissante, était souvent une Raspberry Pi. Cela nous obligeait donc à avoir un système de communication entre ces deux cartes, qu'il s'agisse d'une liaison série ou d'une connexion ethernet, transportant un protocole de communication simple réalisé par nos soins. Cependant, nous avions constaté des faiblesses qui pouvaient s'avérer critiques lorsque des déconnexions apparaissaient. Pour cette raison, nous voulions tester une autre forme d'architecture, en utilisant une seule et unique carte pour les applications haut et bas niveau.

Fonctionnalités indispensables

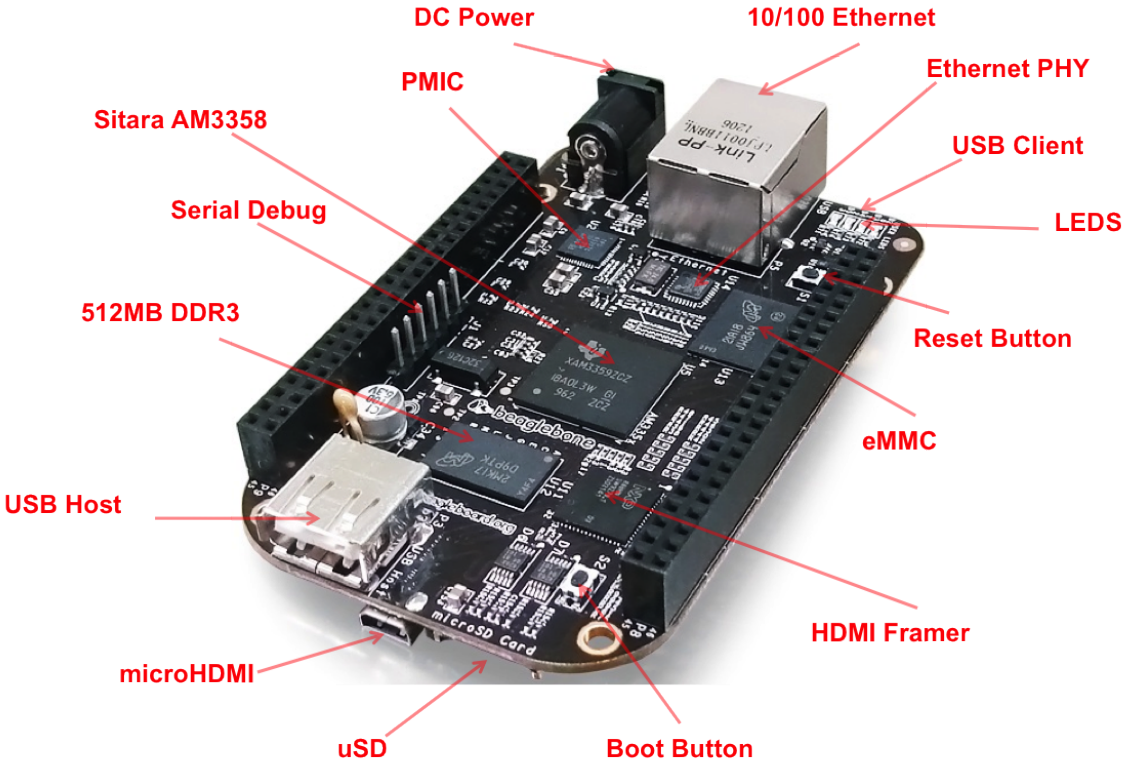
Afin de choisir l'ordinateur utilisé, nous avions deux contraintes principales : tout d'abord, la carte devait être suffisamment puissante pour permettre d'accueuillir des programmes "haut niveau" tels qu'un algorithme de recherche de chemin (relativement coûteux en terme de

puissance de calcul) ou encore différents serveurs, comme par exemple notre serveur python en charge du traitement des phrases de la reconnaissance vocale. Tout cela fonctionnant en simultané avec le programme responsable de l'asservissement du robot, lui aussi potentiellement gourmand en ressources de calcul, de par la fréquence d'asservissement qui se doit d'être suffisamment élevée pour permettre de bons déplacements de la plate forme. Aussi, cette première contrainte nous obligeait à utiliser un système d'exploitation permettant d'installer et d'executer des programmes complexes et divers. C'est pour cela (et parce que nous le connaissions suffisamment) que nous avions choisi d'utiliser Linux. Puis, il fallait que la carte électronique possède les fonctionnalités hardwares indispensables pour pouvoir l'interfacer directement avec notre matériel, et en particulier avec les encodeurs incrémentaux permettant de mesurer la vitesse et la distance parcourue par le robot. En effet, ces systèmes ont pour sortie un signal dont nous devons pouvoir déduire le déplacement du robot en comptant simplement des fronts montants. Hors, ces fronts montants doivent êtres dénombrés grâce à des interruptions, il nous fallait donc choisir une carte embarquée disposant de gestion d'interruptions. Après quelques recherches, nous avions choisi d'utiliser une carte de type BeagleBone Black.

La BeagleBone Black

La carte Beaglebone black est un micro ordinateur destiné à être embarqué. Elle permet en théorie d'utiliser toutes les fonctionnalités requises par notre cahier des charges simultanément. Le processeur utilisé est un ARM Cortex A8 cadencé à 1GHz, auquel on associe 512 Mo cd mémoire RAM DDR3, ce qui lui apporte des capacités de calcul supérieures à une Raspberry Pi. De plus, cette carte est plus adaptée à être utilisée dans des projets embarqués : elle possède beaucoup plus de GPIO, dont par exemple 3 bus I2C différents, contre un seul pour la

Raspberry Pi 3. Dans la configuration actuelle du projet, un seul bus I2C peut suffir, cependant nous avions pensé à différentes améliorations qui pourraient demander des bus supplémentaires, ou davantage de GPIO. Enfin, la différence majeure avec une Raspberry Pi est que la Beaglebone possède des PRU (Programmable Real-Time Unit). Il s'agit en réalité de petits micro-controlleurs 32 bits indépendants situés dans la puce processeur de la carte, et qui permettent de faire cohabiter des fonctionnalités nécessitant du temps réel et un système d'exploitation qui ne l'est pas, dans notre cas, Linux. C'est cette différence fondamentale qui fait de la BeagleBone Black une carte bien plus adaptée à jouer le rôle d'ordinateur central unique pour un système robotisé.



2.4 L'architecture logicielle

2.4.1 Le projet Yocto

Comme nous souhaitions utiliser un système d'exploitation Linux, nous devions choisir quelle distribution de cet OS nous allions utiliser. Nous avions trois possibilités :

— Utiliser un OS

Les différentes fonctionnalités assurées par le serveur (c'est-à-dire la Beaglebone Black) sont réparties dans différents services. Dans le cadre de la nouvelle orientation du projet pour ce projet de fin d'études, à savoir l'utilisation du robot dans son mode "guidage" avec la tablette tactile comme interface avec l'utilisateur, il y a principalement deux programmes utilisés.