



Création d'un outils d'intégration continue

Rapport d'élève ingénieur

Stage de 2^{ème} année

Filière F2 : Génie Logiciel et Systèmes Informatiques

Présenté par : **Rémi CHASSAGNOL**

Responsable ISIMA : TODO

Jeudi 23/03/2023

Stage de 5 mois

Campus des Cézeaux. 1 rue de la Chébarde. TSA 60125. 63178 Aubière CEDEX

Table des matières

Remerciements	3
Résumé	5
Abstract	5
Introduction	1
I Contexte du projet	2
1 CKsquare	2
2 Travail demandé	2
3 Environnement et outils à disposition	3
II Réalisation et conception	4
1 Choix du framework de test	4
1.1 Les critères de comparaison	4
1.2 Les frameworks	5
1.2.1	5
1.3 Le choix final	5
2 Organisation d'un projet CKsquare	5
2.1 Organisation des fichiers	5
2.2 Machines à états	5
3 Organisation des tests	5
3.1 Faux projet et gcc	6
3.2 Les versions test	6
3.3 L'émulation	6
3.4 Les tests	6
4 Simulation du stockage	6
4.1 Échec des threads	6
4.2 Interface I ² C	7
4.3 Interface SPI	7
5 Le Cctalk	7
5.1 Le protocole	7
5.2 Le code de l'entreprise	7
5.3 Émulation des composants	7
5.3.1 Émulation bas niveau	7
5.3.2 Émulation haut niveau	7
6 Le MDB	7
6.1 Le code de l'entreprise	7
6.2 Le protocole	7
6.3 Émulation des composants	7

7	Déroulement du projet	7
7.1	Les outils utilisés	7
7.1.1	Gestion de version	7
7.1.2	Doxygen	8
7.1.3	Compilation	8
7.1.4	GDB	8
7.1.5	Neovim	8
7.2	Planification des tâches	8
III	Résultats et discussions	9
1	L'outil final	9
2	Discussion et perspectives	10
	Conclusion	11
A	Diagramme de Gantt prévisionnel	14
B	Diagramme de Gantt réel	15

Remerciements

Les remerciements!!

Table des figures

Résumé

Le super résumer !

Mots-clés : **C/C++**, **intégration continue**, **tests**, **systèmes embarqués**, **émulation**

Abstract

the amazing abstract

Keywords : **C/C++**, **continuous integration**, **testing**, **embeded system**, **emulation**

Introduction

Introduction
plan!

Première partie

Contexte du projet

1 CKsquare

CKsquare est une entreprise d'ingénierie, d'étude et de conseil spécialisée dans la conception de systèmes de paiement automatisés. La société, au départ nommée cbsquare, a été créée en 2003 par Emmanuel Bertrand et compte aujourd'hui plus de 30 employés. Au départ, l'entreprise se tourne vers le secteur des stations de lavage auto en créant une gamme de distributeurs de jetons. Par la suite, elle élargie sa gamme de produits articulés autour de la monétique et se lance dans la conception de ses propres cartes électroniques.

L'entreprise conçoit des bornes principalement les stations de lavage auto ainsi que les laverie mais s'intéresse aussi à d'autres marchés comme l'hôtellerie. Un projet de casiers automatisés est aussi en train de se mettre en place. Ce nouveau projet innovant et écologique (car il privilégiera les producteurs locaux et évitera les voyages en voiture pour se rendre dans les grandes surfaces) permettra de faire face au déclin des stations de lavage auto à cause des sécheresses de plus en plus fréquentes. Aujourd'hui, plus de 40000 stations de lavage auto sont équipées de bornes CKsquare.

CKsquare est un groupe composé de quatre sociétés chacune chargée de la conception d'une partie des produits. Parmi ces entreprises, on compte la société M-Innov qui se charge de la conception et de l'installation des bornes et systèmes monétiques pour les aires de services, campings, parking, ou hôtels. La société Mecasystem International qui se charge de la tôlerie et de la mécanique pour les bornes CKsquare et M-Innov. Enfin, en plus de CKsquare, il y a la société Ehrse qui se charge de la fabrication des cartes électroniques. Ces quatre sociétés travaillent en coopération ce qui leur permet d'avoir la maîtrise de la conception et de la fabrication de tous les composants de leurs produits.

L'objectif de la société CKsquare est de pouvoir fournir des produits configurables et adaptables aux besoins des différents clients. C'est pour cela que les bornes possèdent beaucoup d'options et que l'entreprise entretient un savoir faire quant à la gestion de la plupart des systèmes de paiements disponibles sur le marché. De plus, une équipe SAV reste à l'écoute du besoin des clients ce qui permet à l'entreprise de concevoir des solutions encore plus spécifiques et personnalisées.

Un des gros atouts de la société est son savoir faire concernant l'utilisation des cartes électroniques. En effet, les bornes CKsquare sont toutes équipées de cartes électroniques beaucoup plus fiables et moins énergivores que des PC. Cependant, ces cartes doivent assurer beaucoup de fonctionnalités et gérer un grand nombre de composants ce qui pose de gros problèmes en terme d'optimisation du stockage. De plus, l'utilisation d'outils de paiements implique encore plus de contraintes comme par exemple la nécessité de s'assurer que toutes les ventes sont correctement enregistrées puis envoyées sur le serveur.

2 Travail demandé

L'objectif est de réaliser un outil servant à faire de l'intégration continue pour valider les fichiers de la partie commune du code utilisé sur les bornes. L'outil doit permettre l'écriture de tests pour valider le code et doit pouvoir être automatisé dans une pipeline Gitlab. De plus, l'outil sera utilisé pour tester du code exécuté sur du matériel embarqué, il faudra donc un moyen de tester des fonctions qui interagissent avec le matériel électronique. Pour ce faire, il faudra émuler les interactions avec le matériel en créant des fonctions et des structures de données qui réagiront comme les composants électroniques. Par exemple, si une fonction doit modifier un registre sur une carte, il faut pouvoir émuler le registre pour vérifier

que les bonnes modifications ont été apportées. Il faudra aussi des fonctionnalités permettant de simuler l'interaction d'un utilisateur avec un composant pendant les tests. Par exemple, on doit pouvoir faire en sorte de tester le comportement du système lorsqu'un utilisateur appuie sur une séquence de touches. Il sera donc nécessaire d'émuler la mémoire des composants électroniques, les fonctions qui permettent d'interagir avec. Il faudra aussi des fonctions permettant de simuler les actions d'un utilisateur.

La première tâche sera de trouver le framework de test adapté pour la conception de l'outil. Le code à tester est écrit en C, cependant, la société souhaiterait aussi pouvoir tester les bibliothèques écrites par l'équipe Qt. Il serait donc intéressant que l'outil soit aussi adapté au C++.

Étant donné que les tests seront exécutés dans une pipeline (donc dans un docker), il faudra s'assurer que le code puisse compiler sous Linux. De plus, le code étant à la base fait pour s'exécuter sur une carte électronique, cela nécessitera d'émuler les composants pour que le code puisse fonctionner correctement. Il sera aussi nécessaire de simuler les interfaces permettant au code d'interagir avec les composants émulés en utilisant différents protocoles de communication comme le SPI ou encore le Cctalk. En plus de cela, il faudra pouvoir remplacer une partie des bibliothèques de la carte pour pouvoir simuler les composants.

Le résultat final doit être un outil qui doit pouvoir être facilement réutilisable et adaptable. La documentation et la structure du code doit pouvoir permettre d'aisément modifier ou copier les différents éléments. Par exemple, il faudra que tous les composants simulés aient la même structure et que cette structure soit suffisamment simple et générique pour pouvoir être copiée pour la création d'un nouveau composant.

À noter que l'objectif du projet n'est pas d'écrire des tests. Des tests ont été écrits durant le projet mais ces derniers ont pour objectif de valider le bon fonctionnement des composants simulés et non celui du code de la société.

3 Environnement et outils à disposition

Concernant les conditions de travail durant le stage il faut noter que ce projet se réalisait seul. Cependant, les développeurs de CKsquare étaient présents pour répondre aux différentes questions, guider le projet ou pour faire les choix importants.

Les horaires de travail ont été fixées de neuf heures à dix-sept heures avec une pause de une heure pour manger. Le travail a été réalisé entièrement en présentiel. De plus, les stagiaires étaient tous conviés aux réunions le mercredi, dans lesquelles chaque développeur parle pendant deux minutes du travail qu'il a réalisé et de ce qu'il compte faire ensuite.

Quant au matériel, un bureau avec un PC sous Ubuntu a été mis à disposition. La session sur le PC possédait les privilèges administrateur pour faciliter l'installation des différents logiciels utilisés pour le développement (compilateur, éditeur de texte, doxygen, ...). De plus, il a été fourni une boîte mail ainsi qu'un compte Gitlab. Un projet Gitlab a aussi été créé pour permettre de tester les frameworks de test. Il a aussi servi à stocker les notes prise sur le projet ainsi que la documentation. Enfin, la documentation des différents éléments comme les protocoles (Cctalk, Mdb) était disponible à la demande.

Deuxième partie

Réalisation et conception

1 Choix du framework de test

Le but du projet est de concevoir un outil permettant de tester du code, la première tâche à donc été de choisir un framework de test. Le framework de test constitue la base de l'outil, c'est donc un choix assez important. Dans cette partie nous traiterons de la procédure qui a été utilisée pour trouver et comparer des frameworks et des bibliothèques de test.

1.1 Les critères de comparaison

Étant donné le fait que le langage C est très utilisé, il y a beaucoup de choix quand aux différentes bibliothèques de test utilisables. Le premier travail a été de comparer bibliothèques et frameworks de tests existants. Une liste des frameworks disponibles sur Wikipédia [1] a permis de prendre connaissance des frameworks disponibles pour ensuite pouvoir faire plus de recherches. Ce travail de recherche a permis de faire un prés tri et d'éliminer les framework incomplets ou trop peu utilisés. Une fois la liste des meilleurs frameworks terminée, il a fallut trouver des critères pour comparer les frameworks.

Tout d'abord, l'équipe de développement souhaitait pouvoir tester à la fois du code **C** et du code **C++** pour certaines parties développées par l'équipe **Qt**. Ce critère était optionnel mais apprécié. À noter que lorsque l'on parle de pouvoir tester du code C++, cela ne prend pas seulement en compte le fait de pouvoir exécuter des fonctions basiques puisque c'est possible avec tous les frameworks C étant donné la compatibilité entre le C et le C++. Pour pouvoir tester du code C++, il faut aussi que le framework soit capable d'interagir avec les structures de données fournis par la bibliothèque standard de C++ ou encore de pouvoir traiter des exceptions. Étant donné ce critère, l'idée d'utiliser un framework écrit en C++ a été envisagé.

Un autre critère concerne la modernité et la facilité d'utilisation du framework. Cela peut sembler anodin mais l'écriture des tests est une tâche aussi longue que le développement. Pour ne pas perdre de temps, il est préférable que les tests soient le plus simple possible à mettre en place. De plus, les tests peuvent aussi servir de documentation, c'est donc un avantage non négligeable que d'avoir un framework qui permette d'écrire des tests simples, lisibles et compréhensibles. Enfin, ce critère impacte aussi le temps de conception de l'outil de test car le fait d'utiliser un framework trop complexe aurait nécessité la conception de fonctions et macros (pour réduire la complexité) et rallongé le temps d'écriture de la documentation. À noter que pour valider ce critère, la documentation des différents outils a aussi été étudiée, les frameworks devaient donc fournir une documentation suffisamment claire et précise permettant d'utiliser facilement toutes les fonctionnalités proposées.

Le critère le plus important est celui du statut du développement du framework. En effet, lorsque l'on souhaite utiliser un outil, une question importante à se poser est de savoir ce que l'on peut faire en cas de problème. Ici, il a fallut regarder la taille, la popularité et l'âge des projets. En effet, plus un projet est populaire plus il sera facile de trouver de l'aide en cas de problème. De plus, les projet important ont souvent beaucoup plus de collaborateurs ce qui peut accélérer la corrections des bugs ou la vitesse de réponse au issue. Enfin la dates de dernières mis à jours ont aussi été répertoriées car là aussi, il est beaucoup plus simple de résoudre les problèmes sur un projet qui est encore activement maintenu.

D'autres critères ont permis de démarquer les frameworks comme par exemple le fait que les frame-

works fournissent des fonctionnalités supplémentaires comme l'export des résultats des tests dans différents formats comme TAP ou XML (utile pour faire des rapports) ou encore des générateurs de nombres pseudo-aléatoires pour faire des tests avec des entrées aléatoires, ... Une autre fonctionnalité intéressante est que les frameworks exécutent les tests dans des threads séparés ce qui permet de tester des signaux ou encore de ne pas stopper tous les tests à cause d'une sortie erreur. Le fait que les frameworks utilisent beaucoup de macros a aussi été pris en compte car bien que ces dernières permettent de rendre le code beaucoup plus simple, elles peuvent aussi être source de problèmes (elles ont parfois un comportement non souhaité et elles sont très compliquées à déboguer). Le framework qui a été choisi possède ce défaut et nous verrons les problèmes que cela pose lorsque nous détaillerons ce framework.

1.2 Les frameworks

Dans cette section, nous allons faire une revue de tous les frameworks de tests étudiés pendant le début du stage. Une fois ceci fait, nous présenterons le choix final.

1.2.1

1.3 Le choix final

TODO : problème macros

2 Organisation d'un projet CKsquare

L'outil créé pendant ce stage a été testé sur un projet de l'entreprise. Cela a permis dans un premier temps de pouvoir voir et comprendre comment le code à tester fonctionne puis ensuite cela a permis de vérifier la bonne intégration de l'outil dans le projet. Dans cette partie, nous détaillerons comment sont organisés les projets de CKsquare. Cela permettra une meilleure compréhension des choix qui ont été faits par la suite.

2.1 Organisation des fichiers

Découverte du code sur un projet simple. Config (solution personnalisée) = première difficulté, il faut savoir comment configurer le projet.

- myosismonnayeur - fichiers de bases - Les fichiers locaux - Fichiers à tester (commun_global, dev_pic) - les fichiers de Tests

2.2 Machines à états

Le code de CKsquare utilise principalement des machines à états.
contraintes => pas accès aux états dans les tests

3 Organisation des tests

Dans cette partie, nous allons détailler la structure du projet de tests. Cette structure s'appuie sur celle des projets de l'entreprise.

3.1 Faux projet et gcc

3.2 Les versions test

3.3 L'émulation

3.4 Les tests

4 Simulation du stockage

Une partie importante de l'émulation concerne le stockage et il y a plusieurs types composants à simuler, les registres, les eeproms, et la mémoire flash. L'émulation des périphériques de stockage est assez simple puisqu'il s'agit simplement de tableaux de caractères non signés (codés sur 8 bits sur la plupart des machines). La partie complexe de l'émulation du stockage concerne l'interface qui permet d'interagir avec les périphériques. Il y a deux protocoles qui sont utilisés avec le stockage. Tout d'abord il y a le protocole I²C qui est utilisé avec les registre et certaines eeproms. Ensuite il y a le protocole SPI qui est utilisé avec les eeproms et les mémoire flash.

Dans cette partie nous allons voir comment a été réalisée l'émulation de l'interface permettant d'utiliser le stockage avec les différents protocoles.

4.1 Échec des threads

La première solution qui a été implémentée utilisait des **threads**. L'objectif était de pouvoir simuler les composants de sorte à ce qu'ils se comportent comme les composants réels installés sur la carte. Pour se faire, il était souhaitable que les composants simulés soient actifs en même temps que la carte (représentée ici par le programme à tester) et c'est pour cela que les threads ont été utilisés. Le principe était que les composants étaient représentés par des machines à états qui bouclaient dans un état de base jusqu'à ce que le composant soit appelé (donc jusqu'à ce que le programme principal décide de lancer une communication en utilisant un des protocoles cités précédemment). Une fois le composant appelé, la machine à états permettait d'assurer la communication. Pour que les composants simulés s'exécutent en même temps que le programme principal, ils s'exécutaient dans des threads séparés.

Le problème des threads réside dans la synchronisation de ces derniers. Il y a différentes méthodes pour synchroniser des threads. Sur ce projet, il a au départ été utilisé des boucles infinies qui permettait de faire attendre les threads. Par exemple, le programme principal était stoppé par une boucle pour attendre que les composants émulés s'exécutent et le débloquent. Cette solution a été utilisée au départ car ce genre de boucles était déjà présentes dans l'implémentation de l'I²C. Par la suite, cette solution s'est avérée complexe d'utilisation et peu élégante, les boucles ont donc été remplacées par des sémaphores. Au final, la synchronisation des threads est devenue trop compliquée et très peu fiable (l'exécution du programme ne donnait pas toujours les mêmes résultats). L'objectif du projet étant de concevoir un outil qui soit facilement réutilisable, cette solution était trop complexe et donc pas adaptée. Il a donc été décidé de ne plus utiliser les threads même si la nouvelle solution devait être moins pratique d'utilisation au niveau de l'écriture des tests.

4.2 Interface I²C

4.3 Interface SPI

5 Le Cctalk

5.1 Le protocole

5.2 Le code de l'entreprise

5.3 Émulation des composants

5.3.1 Émulation bas niveau

Faite en premier car permettait de mieux comprendre le protocole et le fonctionnement du code. De plus, c'est la partie la plus importante car elle permet de tester tous les éléments du code ce qui n'est pas le cas de l'autre version.

5.3.2 Émulation haut niveau

6 Le MDB

6.1 Le code de l'entreprise

6.2 Le protocole

6.3 Émulation des composants

7 Déroulement du projet

7.1 Les outils utilisés

7.1.1 Gestion de version

Pour la réalisation du projet, le gestionnaire de version utilisé été Git. À noter que la société n'utilise Git que depuis un ans, le gestionnaire de version qu'ils utilisaient avant été SVN.

L'avantage de Git est qu'il est assez simple d'utilisation mais propose tout de même des fonctionnalités très complexes. De plus, par rapport à SVN, Git est décentralisé et permet de faire des branches ce qui a été très utile pour éviter que le projet de tests pose problème.

La philosophie de travail utilisé a consisté en une version réadapté de Gitflow. Le principe de Gitflow est d'avoir une branche master qui va contenir les versions du projet. Ensuite, il y a une branche dev qui est utilisée pendant le développement. La branche dev contient du code fonctionnel mais qui n'est pas encore déployé sur master. Entre les branches master et dev il doit normalement y avoir une branche release qui contient des prés-versions mais elle n'a pas été utile ici. Enfin, à partir de la branche dev, on créer des branches de features sur lesquelles on développe les nouvelles fonctionnalités. Étant donné que le travail se faisait seul, le fait d'utiliser Gitflow avec autant de branche n'était pas vraiment nécessaire. Cependant, cette méthode permet d'être très organisé. Cela permet par exemple de toujours avoir du

code fonctionnel présentable à un collègue. De plus, cette organisation des branches permet de ne pas se perdre et de ne jamais caser du code fonctionnel. L'avantage des branches est que l'on peut facilement faire des tests pour savoir si une solution est réalisable.

À noter que l'équipe de développement de CKsquare utilise l'application **gitahead**. Cette application n'a pas été utilisée pendant le développement du projet de tests. C'est l'interface en ligne de commande de Git qui a été privilégiée ainsi que l'utilisation du plugin **fugitive** sur neovim.

7.1.2 Doxygen

Génération automatique de la documentation à partir des commentaires laissés dans le code.

7.1.3 Compilation

L'objectif étant de pouvoir automatiser les tests dans une pipeline Gitlab, il fallait obligatoirement que les tests puissent compiler sur un docker et donc sur un Linux. L'outil le plus adapté pour ce genre de tâche est **Makefile** qui a été utilisé en début de projet. Le défaut de Makefile est qu'il reste assez proche du script et qu'il faut obligatoirement détailler toutes les commandes. Étant donné le fait qu'il y avait beaucoup de fichiers, le Makefile est vite devenu très compliqué et illisible et ce même si aucune compilation séparée n'a été mise en place au début du projet. Quand de plus en plus de fichiers ont été ajoutés au projet de test, il a fallu mettre en place de la compilation séparée pour ne pas tout recompiler à chaque fois. Faire cela avec Makefile est tout à fait possible mais cela aurait pris beaucoup de temps et le fichier final aurait été assez peu lisible et surtout assez compliqué à comprendre. Le but étant de faire un outil facilement compréhensible et utilisable par tous les membres de l'entreprise, il fallait trouver une solution plus simple. La syntaxe de **CMake** a permis de simplement lister les fichiers à compiler ainsi que les répertoires à inclure sans avoir besoin de détailler les options de gcc. Cet outil permet de générer un Makefile complet avec une syntaxe beaucoup plus simple. De plus, CMake permet nativement de faire de la compilation séparée ce qui a permis de gagner du temps pendant le développement étant donné le fait que seuls les fichiers modifiés sont recompilés lors de l'écriture des tests.

7.1.4 GDB

Un des objectifs de ce stage était de progresser sur l'outil GDB.

7.1.5 Neovim

I use vim btw

7.2 Planification des tâches

On voit ça sur le gantt.

Ce diagramme est disponible en index A pour plus de lisibilité.

Mais en fait on a fait ça parceque

On peut retrouver ce diagramme en index B.

conclusion

Troisième partie

Résultats et discussions

1 L'outil final

Description de l'outil final réalisé à la fin du stage.

2 Discussion et perspectives

Regard sur ce qui a été fait et comment cela a été fait (parler de l'échec des threads, manque de bibliographie, ...). Parler de ce qui reste à faire ou à améliorer.

Conclusion

CONCLUSION

Test affichage biblio :

- [2] : présentation du protocole I²C
- [3] et [4] : présentation du protocole SPI
- [5] : simulation pour CI sur systèmes embarqués
- [6] : intégration continue sur les systèmes embarqués.
- [7] : livre sur les frameworks de tests (p 41 : mocking)

Bibliographie

- [2] J. MANKAR, C. DARODE, K. TRIVEDI, M. KANOJE et P. SHAHARE, "Review of I2C protocol," *International Journal of Research in Advent Technology*, t. 2, n° 1, 2014. adresse : <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=314537daa1f601f83044b25b68e2af6c8f331f3f>.
- [3] P. DHAKER, "Introduction to SPI interface," *Analog Dialogue*, t. 52, n° 3, p. 49-53, 2018. adresse : https://b2.sisoog.com/file/zmedia/dex/cd38acc402d52de93a241ca2fcb833b5_introduction-to-spi-interface.pdf.
- [4] L. L. LI, J. Y. HE, Y. P. ZHAO et J. H. YANG, "Design of microcontroller standard SPI interface," in *Applied Mechanics and Materials*, Trans Tech Publ, t. 618, 2014, p. 563-568. adresse : https://www.researchgate.net/profile/Jianhong-Yang-2/publication/286761932_Design_of_Microcontroller_Standard_SPI_Interface/links/58bfe7eba6fdcc63d6d1bb37/Design-of-Microcontroller-Standard-SPI-Interface.pdf.
- [5] J. ENGBLOM, "Continuous integration for embedded systems using simulation," in *Embedded World 2015 Congress*, 2015, p. 18. adresse : <http://www.engbloms.se/publications/engblom-ci-ew2015.pdf>.
- [6] T. MÅRTENSSON, D. STÅHL et J. BOSCH, "Continuous integration applied to software-intensive embedded systems—problems and experiences," in *Product-Focused Software Process Improvement : 17th International Conference, PROFES 2016, Trondheim, Norway, November 22-24, 2016, Proceedings 17*, Springer, 2016, p. 448-457. adresse : https://www.researchgate.net/profile/Torvald-Martensson/publication/309706302_Continuous_Integration_Applied_to_Software-Intensive_Embedded_Systems_-_Problems_and_Experiences/links/5beb0d4e4585150b2bb4d803/Continuous-Integration-Applied-to-Software-Intensive-Embedded-Systems-Problems-and-Experiences.pdf.
- [7] P. HAMILL, *Unit test frameworks : tools for high-quality software development*. " O'Reilly Media, Inc.", 2004. adresse : https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=2ksvdhnnWQsC&oi=fnd&pg=PT7&dq=c+unit+test+framework&ots=AM5ZXbSUG4&sig=jP1lQzC00SPfnBQi6IKXWLPeNzo&redir_esc=y#v=onepage&q=c%20unit%20test%20framework&f=false.

Webographie

- [1] WIKIPEDIA CONTRIBUTORS, *List of unit testing frameworks — Wikipedia, The Free Encyclopedia*, [Online; accessed 29-May-2023], 2023. adresse : https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=List_of_unit_testing_frameworks&oldid=1143492860 (visité le 03/03/2023).

A Diagramme de Gantt prévisionnel

B Diagramme de Gantt réel