
PFE Cycle ingénieur
Rapport Intermédiaire

Département Informatique, Microélectronique, Automatique
Polytech'Lille, Villeneuve d'Ascq

Capteurs Communicants Intelligents

Projet Artistique Wax Tailor



Elèves	Enseignants	Année Scolaire
Bastien CHALAUX Nicolas HUSSE	Alexandre Boé Thomas Vantroys	2013/2014

Contenu

Introduction.....	4
I Le Sujet	5
II Cahier des charges.....	6
III Travail réalisé à ce jour (19/12/2013)	8
3.1) Phase 1 : Expérimentation Xbee & Arduino.....	8
3.2) Phase 2 : Développement de prototypes.....	10
IV Planning pour la suite du projet.....	14
ANNEXE 1 : RSSI moyen reçu par le bracelet des différentes tourelles.....	15

Introduction

Dans le cadre de notre Projet de Fin d'Etudes (PFE) au sein de la formation Informatique Microélectronique Automatique (IMA), nous avons été amenés à travailler au sein du laboratoire de l'IRCICA sur un projet de capteurs communicants intelligents en collaboration avec l'artiste Wax Tailor et la région Nord Pas-de-Calais. Au-delà des enjeux scientifiques et technologiques lié à l'innovation, cette réalisation s'inscrit dans une collaboration artistique de grande envergure visant à améliorer l'expérience du publique lors d'un concert en mettant en œuvre des outils à la fois visuels mais aussi d'interaction et de participation à la représentation.

Ce rapport intermédiaire a pour vocation de :

- Présenter quelle partie en particulier de ce grand projet nous a été confié.
- Décrypter les attentes de notre Maître d'ouvrage afin d'en synthétiser un cahier des charges cohérent d'un point de vu scientifique
- Exposer les solutions techniques retenues.
- Faire état de l'avancement au 19/12/2013
- Révéler les axes de développement pour la suite du projet

I Le Sujet

Ce projet consiste en la réalisation de bracelets lumineux localisables en intérieur dans le but de réaliser un matrice de lumière à l'échelle d'un publique de théâtre (ex : Théâtre Sébastopol de Lille). Au-delà de former des images ou un ensemble de symboles les bracelets devront pouvoir interagir avec leur porteur au travers de lumières de vibrations et d'un accéléromètre (ex : vibration synchronisée avec les applaudissements). La technique de localisation est à la base du projet totalement libre mais il parait évident qu'il est nécessaire d'intégrer un module radio.



Images tirées du dossier de financement du projet

II Cahier des charges

Scénario d'interactivité imaginée (extrait de la demande artistique) :

1. Le public est invité à taper dans les mains pour appeler les artistes à monter sur scène. Chaque hand-clap provoque une réaction des bracelets.
2. Wax Tailor prend la main sur les bracelets, invite le public à placer ses mains en fonction du besoin, et mappe la salle de spectacle pour faire du public un espace d'interactivité et de projection d'image pixellisée. Chaque spectateur devient donc, par son bracelet, un PIXEL.

Voici un extrait de la demande formulée par notre client qu'en aux fonctionnalités que devra comporter le bracelet. Dans une optique d'ingénierie cela peut se traduire par la prise en compte des éléments suivants :

Partie 1 : Interaction Bracelet / Porteur du Bracelet

Dans sa partie la plus simplifiée le bracelet est considéré comme un système complètement isolé (des autres bracelets) ne relevant que des informations liées à son porteur. Pour détecter un « hand-clap » il faut pouvoir acquérir au moins un paramètre dynamique des mains du porteur. Une combinaison position/accélération donnant une meilleure précision. Ensuite acquérir cette information ce sert rien si elle n'est pas réutilisée pour améliorer l'expérience artistique du porteur, celui-ci devra donc réémettre cette information à son utilisateur d'une façon ou d'une autre. Le support pouvant être lumineux, vibratoire ou sonore. Cette dernière option étant mise de côté car cela représente peu d'intérêt de rajouter un son par-dessus celui produit par les mains de façon naturelle lors d'un concert.

Contraintes

Le système doit être sous la forme d'un bracelet, cela induit un certain nombre de considérations qu'en à la taille de ses composants, leur flexibilité ainsi que leur consommation énergétique. En effet le spectateur ne doit pas être gêné par le système est doit pouvoir l'utiliser tout au long du spectacle sans avoir à renouveler sa source d'alimentation où à le configurer. Toutes ces contraintes sont principalement liées à la forme

et à la structure du système.

Partie 2 : Interaction Wax Tailor / L'ensemble des bracelets de la salle

« Wax Tailor [...] mappe la salle de spectacle pour faire du public un espace d'interactivité et de projection d'image pixellisée »

Dans ces propos il apparait comme indispensable que nous devrions localiser chaque bracelet de façon unique afin de pouvoir lui attribuer l'adresse d'un pixel dans le motif final. Cette localisation est donc forcément active, c'est-à-dire que la scène doit pouvoir communiquer avec chaque bracelet de façon indépendante afin à la fois de relever et de communiquer des informations.

Contraintes

Bien que l'artiste soit prêt à mettre à contribution le public pour aider à la localisation, celle-ci doit être le plus rapide possible et ne nécessiter qu'une vingtaine de seconde pour cibler l'ensemble de la salle. Ce temps peut être considérablement augmenté à l'échelle de plusieurs minutes si la localisation ne nécessite pas de position particulière du bracelet.

La conception du bracelet doit prendre en compte des aspects d'industrialisation et de répétabilité dans sa réalisation de part le grand nombre (plus de 2000) de personnes constituant le public.

Le bracelet doit pouvoir acquérir des données, les stocker et les restituer à un système principal situé sur scène.

La localisation et la communication se faisant par radio il faut pouvoir gérer un grand nombre d'émetteurs avec lequel il peut se produire des collisions de données.

Les bandes de fréquences utilisées doivent être libre d'utilisation en Europe et ne doivent pas perturber les autres équipements de la scène ou de la régie.

Le système doit pouvoir s'installer et être utilisé très facilement pour s'adapter aux utilisateurs finaux.

III Travail réalisé à ce jour (19/12/2013)

Au regard des différentes attentes du cahier des charges nous avons fait le choix d'équiper le bracelet d'un émetteur radio capable de mesurer le niveau de puissance reçu et de l'enregistrer. Ce niveau de puissance ou RSSI servira à le localiser par trilatération vis-à-vis d'émetteurs (ou TOURELLES) de référence à l'aide d'un calcul barycentrique. Afin de stocker le RSSI et les informations liées à l'image qu'il devra représenter, le bracelet sera également équipé d'un microcontrôleur, d'une mémoire flash et de différents capteurs et de LEDs pour connaître sa position. Pour que tout ces systèmes soient coordonnés et communiquent de façon efficace nous implémenterons un Protocol de communication bit à bit le plus optimisé possible couplé à des calculs de CRC pour détecter les trames corrompues.

3.1) Phase 1 : Expérimentation Xbee & Arduino



3.1.a) Choix techniques

De part la complexité du sujet nous n'avons pas pu directement concevoir un prototype. Le cahier des charges imposant une conception complète du système, c'est-à-dire à la fois matériel et logiciel il a fallu établir un point de départ pour nos expérimentations et ainsi

choisir quelque chose de simple dont nous serions sûrs de la fiabilité d'un point de vue matériel.

C'est pour cela que nous avons décidé de faire nos premières mesures de RSSI et donc de localisation à l'aide de platines de développement Arduino et de modules Xbee 2,4 GHz. En effet ce matériel directement disponible à l'IRCICA et fabriqué de façon industrielle nous a permis de rapidement développer un code permettant la mesure du niveau de puissance lors de la réception de messages entre 2 modules radios fiables.

3.1.b) Description des expériences

L'idée est simple, trois paires Arduinos UNO avec un shield Xbee jouent le rôle de TOURELLES de référence. Afin de supprimer la station de BASE, superflue ici, chacun écoute ce qui se passe et sait à quel moment émettre ses trames grâce à un ordre de priorité indiqué en dur dans le code de chaque tourelle. Un quatrième Arduino UNO avec un shield Xbee joue le rôle de BRACELET. Il a pour but de récupérer la puissance RSSI reçu lors de la réception d'un paquet d'une tourelle et de l'associer à l'ID émise par celle-ci. Pour pouvoir réaliser le test, le BRACELET est déplacé à plusieurs points de la salle.

3.1.c) Résultats

Ces premières expérimentations dans le petit amphithéâtre de l'IRCICA nous a permis de constater plusieurs choses.

Premièrement qu'il est important d'adapter la puissance d'émission des TOURELLES en fonction de la surface que l'on cherche à couvrir. En effet si les BRACELETS n'entendent pas les TOURELLES ceux-ci ne peuvent évidemment pas faire de relevé de puissance, au même titre qu'une puissance trop élevée sature les récepteurs et fausse toutes mesures.

Deuxièmement le comportement du système dans l'environnement de travail dépend de la fréquence de fonctionnement des modules radios. En effet même si à ce jour nous n'avons pas pu le prouver en faisant une comparaison entre plusieurs bandes de fréquences, nous constatons de fortes irrégularités dans les mesures si l'on ajoute un obstacle biologique (ex : humain) entre l'émetteur et le récepteur. Cela peut s'expliquer par le fait que les modules Xbee travaillent en 2,4 GHz qui se trouve également être la fréquence de résonance de

l'eau (phénomène bien connu utilisé dans les fours à micro-ondes). Ces irrégularités étant beaucoup moins prononcées dans le cas d'un obstacle non biologique.

3.2) Phase 2 : Développement de prototypes

Au regard de ces résultats que nous avons décidé de lancer la phase 2 du projet (toujours en cours à ce jour), à savoir la réalisation de notre propre système de communication basé sur une puce à faible coût dans la bande des 868Mhz. Nous avons découpez cette phase en 4 tâches pouvant être conduites en parallèles, interrompues et reprisent à tous moments selon les besoins du projet.

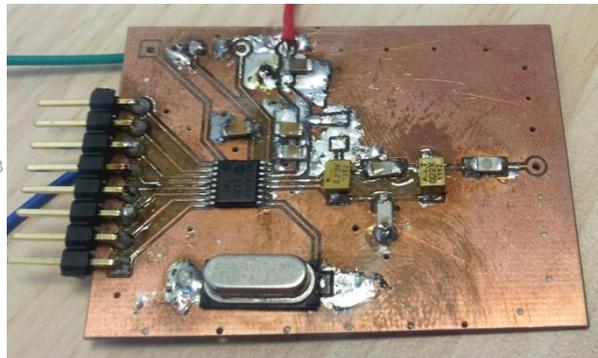
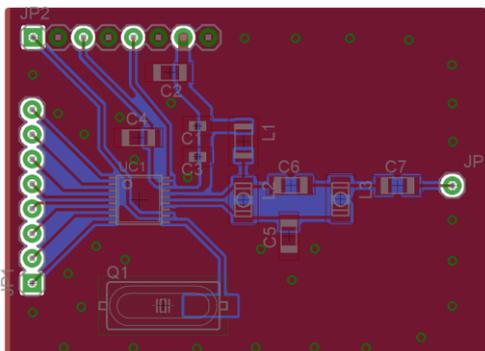
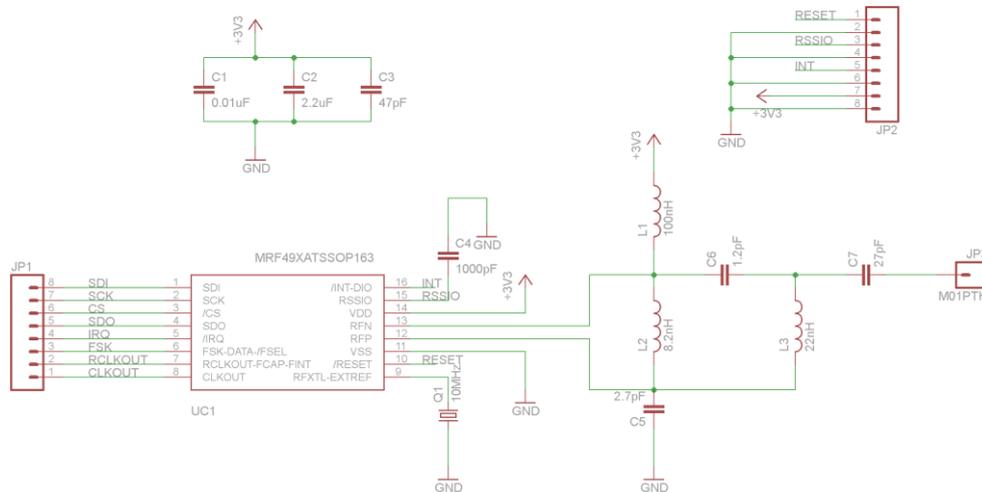
3.2.a) Tâche 1 : Réalisation d'un PCB minimaliste pour le MRF49XA

Nous étions à l'origine partie sur le développement d'un prototype incluant le microcontrôleur ATmega328p ainsi que le MRF49XA. Mais sous les conseils de nos professeurs encadrant, nous nous sommes orientés vers un prototype n'incluant que le MRF49XA ainsi que son ballun.

En effet, afin de pouvoir utiliser une antenne d'impédance 50 ohms, l'utilisation d'un ballun est nécessaire car la puce a une entrée d'impédance différentielle de 250 ohms. Une antenne sera par la suite conçue avec une impédance de 250 ohms afin de supprimer se ballun.

Sur ce prototype, toutes les pins de la puce sont accessibles afin de le rendre réutilisable. Cependant dans la prochaine version, seules les pins utiles seront connectées à l'Arduino.

Après avoir travaillé sur Eagle, et pris en compte les recommandations de conception de notre tuteur nous avons obtenu la version suivante de notre PCB.



Dès la réception de notre commande de composants, la carte a été gravée en trois exemplaires pour la réalisation des tests.

3.2.b) Tâche 2 : Développement du code de la station de BASE

Comme vu dans le cahier des charges, notre solution implique une station de BASE comme chef d'orchestre du système. C'est cette station qui émet les différentes commandes en broadcast pour par exemple, autoriser les TOURELLES à émettre chacun leur tour pour ne pas qu'il y est de collisions ou encore pour relever les différents niveaux de puissance enregistrés dans les bracelets. Pour que tout ceci fonctionne bien et soit optimisé en termes d'octets diffusés nous avons mis au point un protocole dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau suivant :

Nom	MRF Réveil	MRF Synchro	Mrf Taille Paquet	Type Emetteur	ID	CMD
Nb bits	8	16	8	2	16	4
Nom	ID	CMD	TX/RX CMD	DATA	Stuffing	CRC
Nb bits	16	4	1	32	1	8

Où les **DATA** ont la forme suivante :

CODE	CMD	TX	DATA [nb de bits]	Nb Bits	DESCRIPTION
STATION DE BASE					
0000	-	BASE	-	-	-
0001	TX TOUR	BASE	IDTOUR [16] / NBTRAME [3] / INTERVAL (x10ms) [8]	27	Autorise une Tourelle à Emettre
0010	RSSI TOUR	BASE	IDBRAC [16] / MASK [16]	16	Interroge un ou des bracelets pour connaître le RSSI des Tourelles
0011	RSSI MAX	BASE	IDBRAC [16] / MASK [16] / N [3]	19	Interroge un ou des bracelets pour connaître les N RSSI plus fort recus
0100	ENTENDU	BASE	IDBRAC [16]	16	Demande à tout les bracelets qui ont entendu un ID particulier de répondre
0101	PING	BASE	IDBRAC [16]	16	Ping un bracelet en particulier
TOURELLES					
0000	-	TOUR	Tout les bits à 1	-	la Tourelle envoie une trame de Test en Broadcast
0001	TX TOUR	TOUR	IDTOUR [16] / NUMTRAME [3] / NBTRAME [3] / INTERVAL [8]	30	Trame émise par une Tourelle
BRACELETS					
0000	-	BRAC	-	-	-
0001	-	BRAC	-	-	Ne fait rien ce sont les tourelles qui emettent
0010	RSSI TOUR	BRAC	IDTOUR [16] / NBTRAME [3] / RSSIMOY [10]	29	Le Bracelet renvoi le RSSI Moyen recu des tourelles qu'il a entendu
0011	RSSI MAX	BRAC	IDBRAC [16] / N [3] / RSSI [10]	29	Le Bracelet renvoi les N plus forts RSSI recu des autres bracelets entendus
0100	ENTENDU	BRAC	IDBRAC [16] / RSSI [10]	26	Le Bracelet renvoi le RSSI recu du bracelet recherché

A ce jour le programme de la station de base (qui est en fait un PC) écrit en C est capable de parser l'ensemble de ces commandes et de constituer une trame respectant les règles de notre Protocole tout ceci à l'intérieur d'un thread afin de ne rater aucune trame quand le système est en écoute. Le comportement autonome de la BASE lors de la réception de tel ou tel commande n'est pas encore implémenté mais mis à part le calcul final de localisation des bracelets à l'aide de toutes les données recueillies la plupart des commandes de ce Protocole n'implique comme réponse qu'une simple trame facile à construire.

3.2.c) Tâche 3 : Développement du Code côté TOURELLE et BRACELET

Toutes les considérations d'interprétation du Protocole développées du côté de la station de base sont presque totalement déployées sur l'Atmega328P, le microcontrôleur utilisé pour les bracelets. Deux techniques sont actuellement encore à l'étude, l'une consistant à réutiliser au maximum le code de parsing de la station de base, l'autre plus optimisée mais moins complète à simplement appliquer des masques binaires sur le code commande (CMD) et les data d'une trame. Cette dernière technique a pour inconvénient d'être lourde dès que l'on veut interpréter plus de 2 ou 3 commandes différentes elle reste donc plus adaptée pour les TOURELLES que pour les BRACELETS.

3.2.d) Tâche 4 : Développement d'une librairie pour le MRF49XA

Afin de garder le plus de place disponible pour stocker les images mais aussi pour gagner en autonomie, nous avons décidé de programmer directement à partir des librairies AVR et non plus celle de l'Arduino.

Pour cela, il a fallu reprogrammer la communication série et spi ainsi que la lecture du convertisseur analogique-numérique qui étaient auparavant géré par les librairies Arduino.

La librairie MRF49XA est composée d'un ensemble de fonction permettant de rapidement configurer les registres mais aussi l'envoi et la réception qui fonctionne à partir d'interruption.

Par exemple dans le cadre de l'envoi, l'Arduino indique au MRF49XA qu'il doit envoyer un paquet. Dès que le registre de transmission est disponible, le MRF49XA envoie une interruption à l'Arduino qui lui envoie alors un premier byte. De nouveau disponible, le MRF49XA envoie une nouvelle interruption et ainsi de suite.

Lors des essais de la librairie, nous avons dû faire face à plusieurs problèmes lors de l'émission d'octet par le MRF49XA qui semblaient liés à la communication SPI. En effet, les données reçues du MRF49XA par le port SPI semblaient erronées. Plusieurs tests indépendants (écriture/lecture d'une carte SD) de la puce ont permis de prouver le fonctionnement de la communication SPI. Le problème a été résolu en réalisant un reset de la puce dès le démarrage de l'AVR. Le MRF49XA gardant en état les précédents statuts de ses registres malgré le redémarrage de l'AVR bloqué son fonctionnement.

IV Planning pour la suite du projet

Durant les séances restantes, plusieurs étapes doivent être finalisées :

- Confirmer les précédents résultats à partir des prototypes actuels afin de valider notre protocole.
- Fiabiliser les prototypes (logiciel et matériel) et développer un nouveau prototype incluant tous les composants sur la cartes.
- Développer (ou trouver) une nouvelle antenne avec une impédance différentielle de 250 Ohm afin de supprimer le ballun.
- Tourelles : Valider les algorithmes embarqués dans celles-ci, calibrer leur puissance d'émission, les rendre robustes pour le déploiement
- Base : Implémenter « l'intelligence » du système afin que celui-ci soit le plus autonome possible, porter le programme sous une version de Linux adaptée à l'embarqué (pour cible Foxboard par exemple)
- Faire réaliser plusieurs bracelets en vu d'un test à petite/moyenne échelle avec la participation de spectateurs fictifs.
- Etablir la documentation pour l'aide à l'industrialisation et les utilisateurs finaux

ANNEXE 1 : RSSI moyen reçu par le bracelet des différentes tourelles.

Ces tableaux représente les premiers résultats obtenues dans l'amphithéâtre de l'IRCICA lors de la phase 1 (expérimentation avec Arduino) du projet où :

La Tourelle 1 se situe en haut à droite, la Tourelle 2 en bas à gauche et Tourelle 3 en bas à droite.

Chaque tourelle a toujours une ou plusieurs valeurs aberrantes par exemple la première tourelle semble avoir des valeurs fausses à la rangé du milieu. Il peut y avoir plusieurs causes possibles : nos propres mouvements, interférences à cause d'autre matériels fonctionnant sur des fréquences proches ou bien encore la structure de la salle.

Ces défauts pourront être annulés par la suite par plusieurs techniques mesures.

Les tableaux suivant représentent les sièges :

Tourelle 1				
		Sièges arrière		10,89
		22,07		
	13	10,33	11,3	
		23,5		
19,29		Sièges avant		

Tourelle 2				
				19,5
		27,52		
	16,26	20,53	29,85	
		18,92		
11,05				

Tourelle 3				
				22,16
		19,35		
	20,46	19,05	14,22	
		27,81		
32,81				