



HAL
open science

Conception d'une alarme cycliste par radio-opportunité

B. Mériaux, I Dabbebi, C Leconte, S. Meric

► **To cite this version:**

B. Mériaux, I Dabbebi, C Leconte, S. Meric. Conception d'une alarme cycliste par radio-opportunité. Journées Nationales Micro-ondes, May 2017, Saint-Malo, France. hal-02478189

HAL Id: hal-02478189

<https://hal.science/hal-02478189v1>

Submitted on 13 Feb 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Conception d'une alarme cycliste par radio-opportunité

B. Mériaux¹, I. Dabbebi², C. Leconte² et S. Méric²

¹ENS-Cachan

²IETR, Rennes

stephane.meric@insa-rennes.fr

Résumé — Cette communication présente une stratégie de détection d'un véhicule de type bus par un cycliste dans le contexte d'une cohabitation bus-vélo en milieu urbain. Nous présentons ici le prototype de réalisation d'un module embarqué sur un vélo pouvant détecter les bus aux alentours en interceptant les signaux radioélectriques émis par ces bus. La stratégie choisie est le développement d'un analyseur de spectre basé sur une clé RTL-SDR couplée avec une carte Raspberry pi 3. Sur cette carte, est embarqué un algorithme de traitement du signal assurant la fonction d'analyse spectrale des signaux reçus par la clé RTL-SDR. Le choix est fait de scruter le spectre des signaux émis dans le cadre de la liaison TETRA entre le bus et le poste de commande. L'ensemble de ce travail se situe dans le contexte du projet CYCLOPE (protection électronique pour cyclistes), labellisé par l'ANR en juillet 2014 et qui vise à renforcer la sécurité des cyclistes dans un contexte urbain. Ce projet multidisciplinaire rassemble des compétences scientifiques et techniques avec des approches de type sciences humaines et sociales pour traiter des comportements des usagers face à une information de présence du vélo (pour un conducteur de bus) et du bus (pour un cycliste). Ce travail présente donc le volet de détection de présence d'un bus.

1. Introduction

Ce travail est motivé par la demande croissante de sécurité de la part des cyclistes. L'approche proposée ici est de fournir au cycliste l'information de présence d'un bus dans son environnement proche (surtout si ce bus est silencieux -bus électrique) par détection d'un signal radio émis par ce bus. Cette détection est un préalable pour garantir la sécurité des cyclistes en les alertant de la présence d'un bus et les incitant ainsi à adapter leur comportement. Nous décrivons les différentes étapes d'analyse pour le développement d'un prototype de dispositif électronique intégrable dans l'équipement d'un cycliste permettant de détecter un signal radio. Ce dispositif doit être compact, à faible coût, autonome ou à faible consommation d'énergie. Le choix s'est porté sur une clé RTL-SDR assurant la fonction de réception du signal radio émis par le bus. Cette clé-récepteur est ensuite pilotée par une carte de type Raspberry Pi sur laquelle nous embarquons un outil de radio-logicielle.

Le principe de détection de la fréquence porteuse d'in-

térêt est basé sur une analyse spectrale du signal reçu. Une première étude a permis de caractériser les différents signaux radioélectriques émis par un bus [1]. Nous avons alors identifié une fréquence d'émission d'intérêt : signaux de dialogue entre le poste de commande centralisé (PCC) et le bus.

2. Signaux d'intérêt

Ces signaux sont entièrement décrits par le protocole du réseau TETRA. Le réseau TETRA (*TErrestrial TRunked RAdio*) est un système radio numérique mobile professionnel bidirectionnel utilisé par les services de secours, les forces de polices, les services de transport publics et l'armée. La liaison TETRA est basée sur la technique TDMA (*Time Division Multiple Access*) et correspond donc à une opération de multiplexage temporel et d'un codage numérique de la phase pour transmettre l'information [2]. Nous utilisons donc comme signal d'intérêt celui correspondant à l'émission du bus vers les stations relais ou vers le PCC. Dans le cadre de la liaison TETRA, des messages automatiques sont émis contenant des informations concernant la position GPS, des pannes ou retards éventuels. De même des appels entre le chauffeur et le PCC peuvent transiter et sont émis par le bus vers des stations relais ou vers le PCC. Les rapports de messages automatiques se font de manière périodique avec une période pouvant fortement varier selon la nature du message, notamment la transmission de la géolocalisation qui est effectuée de manière très brève au moins toutes les 20 secondes. La liaison TETRA utilise des canaux de largeur 25 kHz et opère sur différentes gammes de fréquence suivant la nature de la communication. Dans notre cas, la gamme de fréquence utilisée se situe autour de 415 MHz. Par la suite, ce sont ces signaux que l'on cherchera à intercepter pour détecter la présence éventuelle d'un bus dans l'environnement proche d'un cycliste par l'intermédiaire d'une analyse spectrale. Cette analyse requiert certaines caractéristiques (période d'échantillonnage, bande d'analyse) afin de pouvoir utiliser le signal reçu. Ainsi, connaissant la forme d'onde émise par le protocole TDMA, il convient maintenant de définir le matériel d'acquisition du signal et les différents logiciels afin d'assurer les développements permettant la détection de la présence d'un bus.

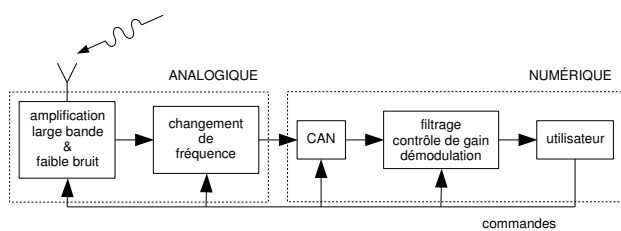
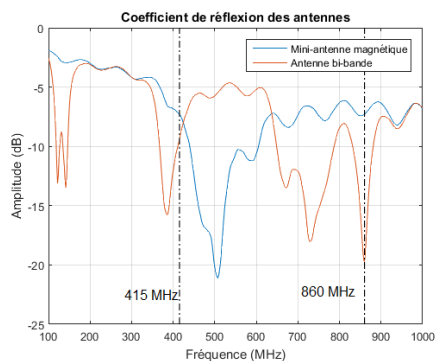
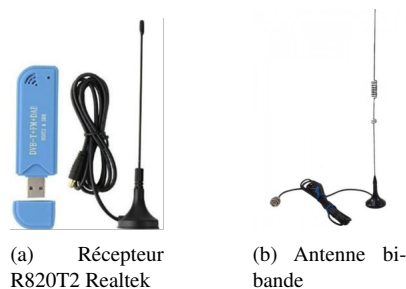


Figure 1. Description du principe de la radio logicielle.



(c) Mesures de S_{11}

Figure 2. Éléments constitutifs du système récepteur.

3. Réception d'un signal radiofréquence

Nous utilisons ici le concept de *Software Defined Radio* (SDR). Cette notion cherche à simplifier la structure d'un récepteur RF en effectuant le traitement de démodulation par une solution logicielle. L'intérêt est de pouvoir reconfigurer cette solution logicielle selon la modulation utilisée. Une solution radio logicielle regroupe un récepteur radio dont la fonction principale est d'effectuer soit la numérisation du signal soit la descente en fréquence avant numérisation. À la suite de ce récepteur, des traitements effectués sur le signal (filtrage, décimation, démodulation, décodage) sont réalisés à l'aide de matériel dédiés (DSP, FPGA, DsPIC) ou de PC traditionnel (voir figure 1).

Pour notre projet, nous avons choisi pour le récepteur une clé USB de type TNT DBVT/DAB/FM (voir figure 2(a)) basée sur la puce RTL2832U. Le récepteur couvre en réception une bande comprise entre 24 MHz et 1750 MHz. La fréquence d'échantillonnage est égale au maximum à 3,2 MHz mais le convertisseur analogique-numérique ne code l'information que sur 8 bits ce qui donne une dynamique de 48 dB. La clé RTL-SDR effectue l'envoi de données sur un port USB et sont traitées avec des logiciels de type SDR (SDR#, HSDR, GNU Radio, SDR-Radio,

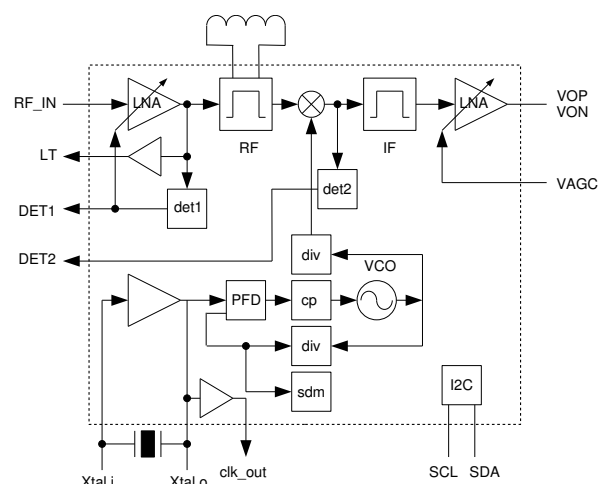


Figure 3. Description du tuner R820T2.

GQRX, etc) ou par simple programmation en C.

Une mini-antenne électrique SDR de gain égal à 0 dBi, est fournie avec la clé. Pour nos mesures, nous choisissons une autre antenne bi-bande (figure 2(b)) d'un gain de 2,15 dBi en VHF et 3,4 dBi en UHF dont les performances en S_{11} (figure 2(c)) nous indiquent une bonne adaptation à 415 MHz.

Le récepteur intégré dans la clé définit la gamme de fréquences. Les plus courants sont (R820T/R820T2). Pour notre projet, nous avons choisi de travailler avec une clé RTL-SDR à base d'un tuner R820T2. La figure 3 montre l'architecture de ce tuner, où nous pouvons voir un amplificateur à faible bruit (LNA) qui reçoit le signal issu de l'antenne de réception et l'envoie à un filtre RF passe-bande afin de sélectionner la gamme de fréquence désirée. Ensuite, le signal est transmis à un simple mélangeur qui va décaler le signal à une fréquence basse commandé par un oscillateur commandé en tension (OCT). Ensuite se trouve un filtre IF permettant de ne conserver que la composante $|f_{RF} - f_{LO}|$. En fin de chaîne, se trouve un amplificateur à gain variable commandé en tension.

En sortie du tuner de la clé RTL-SDR, le signal est ramené en fréquence intermédiaire permettant d'effectuer un échantillonnage sur 8 bits grâce à au convertisseur analogique-numérique. Cet échantillonnage intermédiaire permet d'atteindre en fin de chaîne une fréquence d'échantillonnage maximale de 3,2 MS/s. La sortie de cet échantillonneur intermédiaire permet aussi de commander les amplificateurs RF et IF situé dans la partie tuner (figure 3) ce qui représente une fonctionnalité de type « commande de gain ». Ensuite, une démodulation IQ permet une reconstitution des signaux $I(t)$ et $Q(t)$ dont le traitement peut déboucher sur le calcul d'une FFT ou d'un transfert sur une liaison USB. L'ensemble de la partie démodulateur est décrit sur la figure 4.

La clé RTL-SDR s'interface ensuite avec de nombreux logiciels dédiés à la radio logicielle et qui permettent une utilisation adaptée à la problématique posée. Ces logiciels sont généralement embarqués sur des PC mais il est possible aussi de choisir des cartes spécifiquement dédiées à

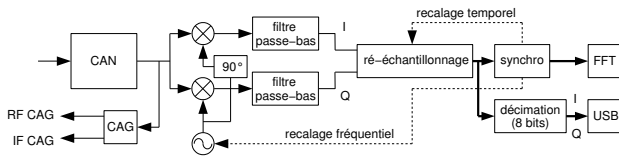


Figure 4. Description du tuner R820T2.



Figure 5. Prototype du système complet.

du traitement embarqué. Pour notre cas, nous utilisons une carte Raspberry Pi 3.

4. Carte de traitement Raspberry Pi 3

La carte Raspberry Pi 3 est un nano-ordinateur fonctionnant avec le système d'exploitation Linux. Pour la réception du signal, nous configurons la clé RTL-SDR avec 2 types de logiciels : GQRX et GNURadio. Pour cet article, nous présentons les résultats obtenus avec une procédure développée en C sur GPU et permettant de régler les différents paramètres de traitement avec entre autres la fréquence d'échantillonnage, les gains des amplificateurs, le nombre de points de la FFT appliquée et la fenêtre d'apodisation utilisée. La figure 5 illustre bien notre prototype après avoir ajouté quelques éléments : une alimentation adaptée (5 V sous 2,5 A), une carte MicroSD d'une capacité de 16 Go où sont installés les pilotes associés à la librairie RTL-SDR, un boîtier pour protéger la carte des risques, un clavier sans fil avec sa souris pour la phase de test, un écran tactile 3.5" pour l'affichage du signal reçu lors des essais.

D'autres possibilités, disponibles avec la bibliothèque RTL-SDR, sont envisageables pour le traitement du signal. En effet, il existe des fonctions SDR qui permettent de paramétrer la clé à savoir :

- La fréquence à scruter.
- La fréquence d'échantillonnage.
- Le nombre d'échantillons souhaité.
- Le gain.
- Le fichier d'enregistrement (nom et format).

Les données brutes issues de la clé RTL-SDR sont sous format binaire, codées sur des mots de 8 bits non signés en alternant les canaux I et Q (notés i_{ch} et q_{ch}) avec une fréquence d'échantillonnage de 2,4 MHz. Pour reconstruire la variable complexe associée, il faut donc soustraire 128 et diviser par 255. En effet, la pleine échelle du convertisseur analogique-numérique est de 1 volt. La variable sur

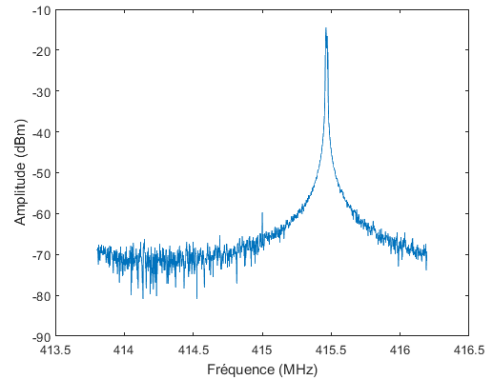


Figure 6. FFT calculée sur 1024 points à une fréquence d'échantillonnage de 2,4 MHz.

laquelle la FFT est calculée est donc :

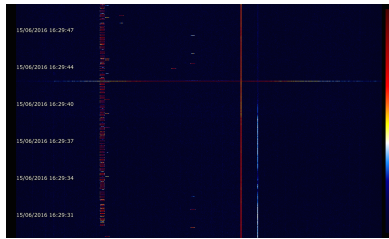
$$y = \frac{i_{ch} - 128}{255} + j \cdot \frac{q_{ch} - 128}{255}$$

Afin de réduire au maximum le temps de calcul de la FFT, nous utilisons une bibliothèque optimisant l'utilisation du GPU (Graphics Processing Unit). Le nombre de points de la FFT correspond au nombre d'échantillons reçus. Il est possible d'ajouter des zéros de bourrage (zéro-padding) afin d'améliorer la représentation fréquentielle. Cet ajout se fait lors d'opérations de post-traitement. Pour la réception des signaux, nous limitons entre 1024 et 2048, le nombre de points pour le calcul nous permettant un bon compromis entre la vitesse d'exécution et la précision d'affichage. À titre indicatif, l'algorithme de détection réalisant la collecte des données à 2,4 MHz, la conversion en échelle de tension et le calcul de la FFT sur 1024 points s'exécute en 120 ms. Le résultat graphique obtenu est décrit sur la figure 6 pour une mesure correspondant à un signal émis par un bus autour de 415,5 MHz.

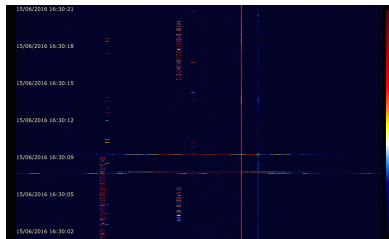
Nous avons effectué le choix des outils matériels et logiciels qui nous permettent de concevoir un système détecteur de bus. Il s'agit maintenant de valider ce système lors des différentes mesures faites suivant plusieurs configurations.

5. Traitements et mesures

Nous présentons ici quelques mesures des différentes campagnes réalisées. Il faut noter que pour des facilités de présentation, le traitement est effectué sur PC avec GQRX. Les résultats des figures 7(a) et 7(b) correspondent à une opération de FFT calculée sur 16384 points et à une fréquence d'échantillonnage de 2,4 MSps autour de 415 MHz et à une description du spectrogramme. Une analyse plus fine permet de retrouver les caractéristiques de la liaison TETRA avec le découpage de différentes émissions de message sur des bandes de fréquence de 25 kHz (voir figure 8). D'autres mesures sont effectuées entre les arrêts « La Salle » (figure 9(a)) et « Tournebride » (figure 9(b)) avec des conditions différentes de mesures (1024 points de mesure avec un échantillonnage de 2,4 MSps) et de concentrations de bus (arrêts éloignés de l'hypercentre donc concentration moindre de bus). Les consta-



(a) Place de la République



(b) Place de Bretagne

Figure 7. Mesures dans l'hyper centre.

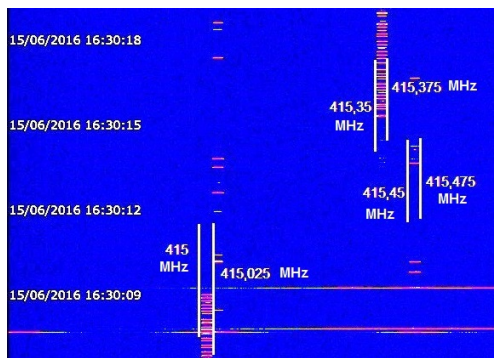
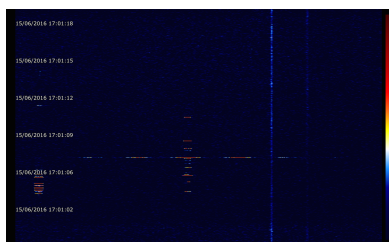
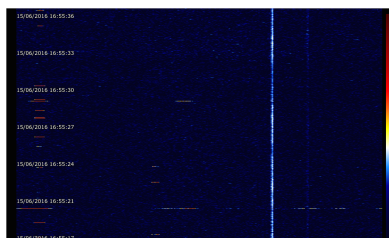


Figure 8. Analyse détaillée : République (Rennes).



(a) La Salle



(b) Tournebride

Figure 9. Mesures en périphérie de l'hyper-centre.
tations sont les suivantes :

1. La présence de signaux transmis est visible sur la bande analysée à savoir entre 414,5 MHz et 416,5 MHz.
2. L'envoi de trames se fait sur des largeurs de bande de 25 kHz.
3. La durée des trames qui sont utilisées pour le transfert d'informations peut varier de quelques secondes à plusieurs dizaines de secondes.
4. La récurrence d'envoi des informations n'est pas clairement établie pour ces mesures. L'utilisation d'un canal TDMA peut se faire sur un temps court (durée associée à la taille du message envoyé) ou sur un temps long (durée associée à l'utilisation du canal TDMA pour une opération de phonie).
5. Le nombre de points de mesure pour réaliser le spectrogramme est un paramètre important pour pouvoir assurer la captation des trames TDMA émises par les bus.

Dans nos mesures, il est important de noter que l'utilisation d'une seule antenne omnidirectionnelle ne permet pas d'effectuer de la discrimination en distance et/ou en angle.

6. Conclusion

Ces premières expérimentations de mesures d'un signal nous permettent d'indiquer qu'il est possible de capter des signaux de type TDMA qui seraient émis par un bus. De plus, ces mesures nous indiquent aussi la pertinence de l'utilisation d'un récepteur faible coût, basse consommation, faible encombrement pour réaliser la réception et le traitement du signal associé. La continuité de ce travail est double. Dans un premier temps, nous allons dimensionner notre propre récepteur permettant ainsi de passer outre les limitations de la clé RTL-SDR (essentiellement sur la bande d'analyse). De même, la carte d'analyse Raspberry pi sera remplacée par une carte de type DSP afin d'assurer un traitement optimal en temps réel. Dans un second temps, nous allons étudier la possibilité d'étendre le nombre de capteurs pour le récepteur pour réaliser des traitements de discrimination en distance et en angle d'arrivée des signaux émis par les bus.

7. Remerciements

Cette étude est réalisée grâce au soutien financier de l'ANR au travers du projet CYCLOPE.

Références

- [1] S. Méric, "Analyse de l'existant et scénarios critiques : description de l'environnement électromagnétique d'un bus," UMR CNRS 6164 IETR, rapport de projet (Lot 1, tâche 2), ANR CYCLO-PE, septembre 2015.
- [2] *Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Conformance testing specification; Part 1 : Radio*, European Standard (Telecommunications series), novembre 2007.