

# Touchless Cardiopulmonary Monitoring : Measurements, Processing, and Modeling

Dany Obeid

17 septembre 2010 – Amphi Bonnin, INSA de Rennes

## Résumé

La détection sans contact du mouvement cardio-pulmonaire est utile dans de nombreuses situations où l'utilisation des électrodes de cardiographie est perturbante ou non applicable. Cela inclut la détection des battements de cœur des victimes de brûlures, les nouveaux nés, ou la détection de signes de vie de personnes sous les décombres. L'utilisation du radar Doppler est un outil important pour de telles applications. En effet, une cible en mouvement réfléchit le signal émis avec un déphasage qui dépend de la position de la cible. Par conséquent, le signal réfléchi par la poitrine d'une personne contient des informations sur le déplacement de la poitrine dû aux battements du cœur et à la respiration.

L'objectif de cette thèse est de proposer un système à micro-ondes pour la détection des activités cardio-respiratoires. Le système proposé prévoit la possibilité de détecter le signal de battement de cœur, à une distance de 1 m, en utilisant plusieurs fréquences de fonctionnement : 2,4, 5,8, 10, 16 et 60 GHz. Le choix de la fréquence de fonctionnement permet de couvrir différentes bandes (S, C, X, Ku, et V) ainsi que certaines bandes ISM. Outre la variabilité de la fréquence, le système proposé permet de faire varier la puissance d'émission. Afin de déterminer la puissance minimale possible pour une fréquence spécifique, le système a été testé à 2,4 GHz et pour différentes puissances d'émission, comprises entre -2 et -27 dBm. Ce serait plus sûr pour le patient et le personnel médical. Pour tous les signaux détectés à différentes fréquences de fonctionnement et à différentes puissances transmises, le rythme cardiaque et sa variabilité (HRV) sont extraits.

Sur la base de mesures effectuées, trois approches de modélisation représentant les activités cardio-pulmonaires sont proposées : un modèle sinusoïdal avec des fréquences constantes et amplitudes variables, un modèle sinusoïdal avec des fréquences variables et amplitudes variables, et un modèle triangulaire avec des fréquences variables et amplitudes variables. Les fréquences correspondent aux taux de respiration et de battements cardiaques ; alors que les variations de cette dernière conduisent à l'obtention du HRV. Les amplitudes correspondent aux variations de phase dues aux déplacements de la poitrine. La séparation des signaux cardiaque et respiratoire, et la détermination du rythme cardiaque, sont obtenues en utilisant plusieurs techniques de traitement du signal et pour un rapport signal sur bruit (SNR) variant entre 0 et -20 dB. En particulier, l'application de la transformée en ondelettes du signal modélisé montre la possibilité d'extraire à la fois le rythme cardiaque et sa variabilité, même à faible rapport signal sur bruit.

La détermination de la fréquence d'exploitation appropriée et les techniques de traitement du signal adaptées à la plus faible puissance d'émission est essentielle avant l'implémentation du système.

## Abstract

Touchless cardiopulmonary detection is useful in many situations where affixed electrodes of traditional electrocardiogram are perturbing or not applicable. This includes the heartbeat detection of burn victims, newly born infant, as well as the life signs detection of people under rubble. Microwave Doppler radar could provide a prominent tool in such applications. Indeed, a target with a periodic movement reflects a transmitted signal with its phase modulated by the time-varying position of the target. Hence, the reflected signal off a person's chest contains information about the chest displacement due to heartbeat and respiration.

The aim of this thesis is to propose a new microwave system for the detection of the cardiopulmonary activities. The proposed system provides the possibility of detecting the heartbeat signal, at a distance of 1 m, using several operational frequencies: 2.4, 5.8, 10, 16, and 60 GHz. The choice of the operational frequency allows covering different bands (S, C, X, Ku, and V) as well as operating within some ISM bands. Beside the changeability of the operational frequency, the proposed system shows the possibility of tuning the transmitted power. In order to determine the minimal possible transmitted power for a specific operational frequency, the system is tested at 2.4 GHz and for different power levels between -2 and -27 dBm. This would be safer for both patient and medical staff. For all the heartbeat signals detected at different operational frequencies and different transmitted power, both the heartbeat rate and the heart rate variability (HRV) are extracted.

Based on performed measurements, three modeling approaches representing the cardiopulmonary activities are proposed: sinusoidal model with constant frequencies and variable amplitudes, sinusoidal model with variable frequencies and variable amplitudes, and triangular model with variable frequencies and variable amplitudes. Noteworthy to mention that frequencies correspond to the heartbeat and respiration rates; variations in the heartbeat rate lead to HRV. The amplitudes correspond to the phase variations due to the chest displacements; variations in the amplitudes lead to several SNR. The separation of the heartbeat and the respiration signals, and the heartbeat rate finding, are achieved using several signal processing technique. These techniques, tested for SNR between 0 and -20 dB. Particularly, the application of wavelets transform to the modeling signal provides the possibility of extracting both the heartbeat rate and the HRV even at low SNR.

Determining the appropriate operational frequency and the signal processing techniques for the lowest transmitted power is essential prior the implementation process.