



HAL
open science

RFID sans puce longue portée pour des objets en translation à l'aide de tags dépolarisants modulés par effet Doppler

Ashkan Azarfar, Nicolas Barbot, Etienne Perret

► To cite this version:

Ashkan Azarfar, Nicolas Barbot, Etienne Perret. RFID sans puce longue portée pour des objets en translation à l'aide de tags dépolarisants modulés par effet Doppler. 23ème édition des Journées Nationales Microondes (JNM), Jun 2024, Juan Les Pins, France. hal-04776290

HAL Id: hal-04776290

<https://hal.science/hal-04776290v1>

Submitted on 11 Nov 2024

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.

RFID sans puce longue portée pour des objets en translation à l'aide de tags dépolarisants modulés par effet Doppler

Ashkan Azarfar¹, Nicolas Barbot¹, Etienne Perret¹

¹Univ. Grenoble Alpes, Grenoble INP, LCIS, 26000 Valence
ashkan.azarfar@lcis.grenoble-inp.fr

Résumé — L'article décrit comment des tags dépolarisants sans puce attachés à des objets sur un tapis roulant peuvent être lus de manière robuste à des distances beaucoup plus grandes par rapport à ce qui était classiquement atteint auparavant. L'idée clé est d'utiliser la modulation Doppler induite par le déplacement afin d'isoler la réponse du tag mobile de celle de l'environnement stationnaire, tandis que la propriété dépolarisante du tag est également utilisée pour supprimer la contribution de l'objet mobile qui lui est attaché. Le concept est étudié théoriquement et vérifié expérimentalement où le tag sans puce mobile peut être lu à des distances allant jusqu'à 4.5 m.

1. Introduction

La RFID sans puce a été introduite comme une technologie pouvant être utilisée pour la traçabilité, avec l'objectif d'être plus rentable que la RFID classique avec puce. La technologie sans puce a été améliorée en termes de capacité de codage et de robustesse de lecture au cours des dernières années [1]. Cependant, les portées de lecture restent limitées à 1 mètre pour les tags sans puce classiques. L'amélioration de cette distance de lecture reste un enjeu important, peu traité jusqu'à présent. On peut citer à ce sujet l'étude présentée dans [2] où le processus de lecture souffre de problèmes liés au dépointage des antennes. Cependant, dans [3], il a été prouvé que cette limitation de la plage de lecture s'explique par le fait que les tags stationnaires sans puce se comportent exactement comme des systèmes linéaires invariants dans le temps (LTI), et par conséquent, cette limite de distance de lecture ne peut être dépassée qu'en supprimant les propriétés de linéarité et/ou d'invariance en temps.

Le concept de communication par rétro-modulation basé sur des réflecteurs a été introduit par Stockman [4] dans les années 1940, et récemment, l'idée a été envisagée dans le domaine sans puce par [5, 6]. L'effet micro-Doppler produit par des mouvements périodiques comme la rotation a été récemment utilisé dans [6] pour briser la propriété LTI des tags sans puce et pour atteindre des distances de lecture allant jusqu'à 10 m. Cependant, cette idée ne peut pas être appliquée en pratique pour des scénarios d'identification réels dans lesquels les objets cibles sont généralement transportés sur un tapis roulant car le mouvement n'est plus périodique. De plus, en supposant

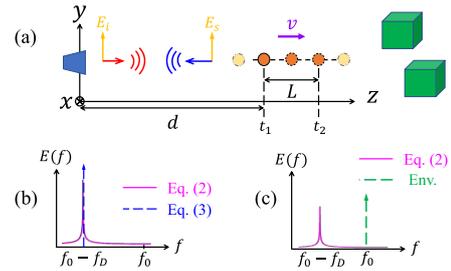


FIGURE 1. (a) Rétrodiffusion d'un tag en translation à vitesse constante. Représentation spectrale du champ rétrodiffusé à partir de (b) le tag en translation dans l'espace libre, (c) le tag en translation avec l'environnement réel.

un lecteur fixe localement, les distances de lecture des tags varient avec le temps ce qui n'est pas considéré dans [6]. L'approche de lecture robuste pour les tags sans puce placés sur un tapis roulant est considérée dans [7] sur la base d'un moyennage dans le domaine du temps. Pour augmenter la probabilité de détection des tags dans [7], la mesure de l'environnement (qui doit être collectée en l'absence du tag) a été effectuée avant que le tag ne passe devant l'antenne du lecteur. De plus, plusieurs mesures ont été effectuées pendant le temps de passage, alors que pour chaque mesure le tag était supposé stationnaire. En fait, bien que le mouvement du tapis roulant soit utilisé dans [7], ce mouvement n'a pas été utilisé pour dépasser la limitation de la distance de lecture en RFID sans puce en considérant le tag sans puce comme un système linéaire variant dans le temps (LTV) modulé par effet Doppler. Par conséquent, la plage de lecture maximale dans [7] ne pouvait pas dépasser 1.3 m.

Dans cet article, la modulation Doppler due au mouvement de translation du tapis roulant est utilisée pour briser la caractéristique LTI du tag sans puce afin qu'il puisse être lu à des distances plus grandes par rapport à ce qui a été réalisé jusqu'à présent. En plus de l'effet Doppler qui est considéré pour isoler la réponse de l'objet en mouvement de la réponse de l'environnement stationnaire, le tag sans puce dépolarisant utilisé fournit un autre degré d'isolation pour séparer la contribution du tag de celle de l'objet afin d'obtenir une détection plus robuste et à grande distance. Notons également que toutes les évolutions pré-

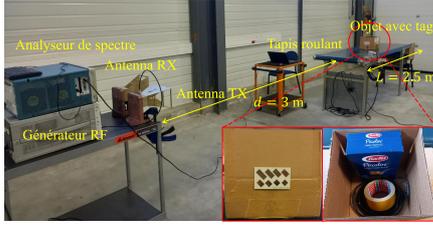


FIGURE 2. Banc de mesure utilisé pour l'identification des objets transportés par le tapis roulant. La vue latérale et intérieure de l'objet avec le tag est affichée dans l'encadré.

sentées ici ne nécessitent pas une nouvelle conception des tags sans puce. En effet, la méthode de mesure s'applique aux tags résonants chipless compatibles avec une lecture en polarisation croisée. Cela montre que l'approche est générale et ne concerne que le lecteur et la partie post-traitement du système RFID sans puce.

2. Modèle analytique

2.a. Rétrodiffusion à partir d'un tag en translation

La Figure 1 (a) montre un tag en translation le long de l'axe z . On s'intéresse à la rétrodiffusion monostatique du tag dépolarisants sans puce placé sur le tapis roulant. Le tag est supposé avoir une vitesse constante v dans la direction $+z$ pendant l'intervalle de temps entre t_1 et t_2 tandis que la distance entre le tag et l'antenne est d au temps t_1 , et $L = v(t_2 - t_1)$ est la distance parcourue par le tag pendant cet intervalle de temps. En conséquence, la position du tag peut être exprimée par $x(t) = 0$, $y(t) = 0$ et $z(t) = d + vt$ pour $t_1 < t < t_2$. L'onde sphérique rayonnée par l'antenne, polarisée suivant y , à la fréquence f_0 qui frappe le tag peut s'écrire sous la forme

$$\vec{E}_i(t) = \frac{E_0}{d + vt} e^{-jk(d+vt)} \hat{y} \quad (1)$$

pour $t_1 < t < t_2$ où $k = 2\pi f_0/c_0$ et c_0 est la vitesse de la lumière en espace libre. En conséquence, le champ rétrodiffusé en polarisation croisée du tag en translation lorsque $v \ll c_0$ peut être obtenu comme

$$\vec{E}_s(t) = \frac{E_0 S_{yx}(f_0)}{(z - d - vt)(d + vt)} e^{-j2k(d+vt)} e^{jkz} \hat{x} \quad (2)$$

pour $t_1 < t < t_2$ où $S_{yx}(f_0)$ est le coefficient de rétrodiffusion en polarisation croisée du tag défini dans le plan du tag (et donc indépendant de la distance). A noter que, pour $d \gg L$ qui est le cas habituel dans les applications radar, à l'emplacement de l'antenne ($z = 0$), le champ diffusé sera simplifié comme

$$\vec{E}_s(t) = [-E_0 S_{yx}(f_0)/d^2] e^{-2jk(d+vt)} \quad (3)$$

où l'amplitude du champ diffusé est supposée invariante dans le temps et $f_D = 2v/\lambda$ est la fréquence de décalage Doppler classique, associée à la modulation de phase du champ rétrodiffusé [représentée par une impulsion bleue sur la Figure 1 (b)]. Cependant, dans le cas de la RFID

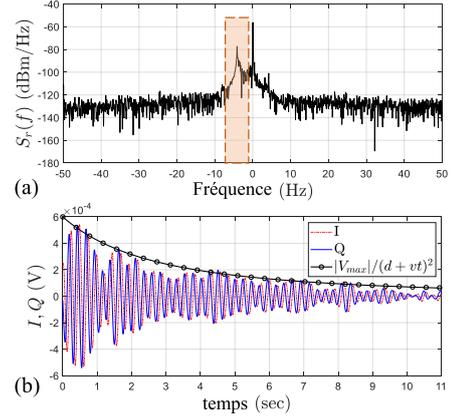


FIGURE 3. (a) DSP mesurée provenant de la rétrodiffusion d'un objet avec le tag à $f_0 = 3,59$ GHz. (b) Les données I, Q traitées, correspondent à la réponse de l'objet avec le tag en translation après avoir supprimé la réponse de l'environnement.

sans puce utilisant des tapis roulants, d est comparable à L et la modulation d'amplitude induite par le mouvement modifie le spectre de fréquence du champ rétrodiffusé de telle sorte qu'il ne s'agira plus d'une onde continue située uniquement à la fréquence Doppler (f_D). On peut montrer que, le spectre exact, prenant en compte à la fois la modulation d'amplitude et de phase, reste concentré à f_D , cependant il présente une queue décroissante autour de f_D qui peut être significative lorsque la vitesse v augmente comme le montre la Figure 1 (b). De plus, étant donné que le tag est situé dans un environnement stationnaire [indiqué par des cases vertes sur la Figure 1 (a)], la rétrodiffusion depuis l'environnement sera exactement à f_0 [indiquée par une impulsion verte dans Figure 1 (c)] qui n'affecte pas la réflexion du tag et assure par conséquent la suppression de la réponse de l'environnement.

2.b. SER différentielle

La SER différentielle σ_d a été initialement définie pour les tags UHF basés sur une modulation de charge à deux états. Récemment, la définition de la SER différentielle a été généralisée pour tous les tags modulant en utilisant une analyse dans le domaine fréquentiel [8] qui a été utilisée pour obtenir le σ_d de tag sans puce en rotation dans [6] basé sur la modulation micro-Doppler. De la même manière que dans [6], la SER différentielle du tag sans puce peut être définie en fonction de (1) et (2). Cependant, contrairement à [6], le tag modulé en translation ne reste pas à une distance fixe pendant la mesure, et par conséquent, le champ rétrodiffusé a une amplitude qui varie dans le temps. En conséquence, pour rendre la SER différentielle indépendante de la distance, nous proposons de redéfinir σ_d en fonction de l'expression du champ dans le domaine temporel (selon [8] qui démontre que les définitions exprimées en temps ou en fréquence sont équivalentes) comme

$$\sigma_d(f_0) = 4\pi \frac{\overline{(d+vt)^4 |E_s(t)|^2} \Big|_{t_1}^{t_2} - \overline{(d+vt)^2 E_s(t)} \Big|_{t_1}^{t_2} \Big|_{t_1}^2}{\overline{(d+vt)^2 |E_i(t)|^2} \Big|_{t_1}^{t_2}} \quad (4)$$

où $\overline{(\cdot)} \Big|_{t_1}^{t_2} = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} (\cdot) dt$ est défini la moyenne temporelle du signal. L'amplitude décroissante des champs est compensée par la distance variable dans le temps ($d+vt$) telle que la quantité σ_d soit indépendante de la distance. Bien que (4) soit défini dans le domaine temporel, on note qu'il a la même interprétation que σ_d dans [8] et [6], puisque le numérateur de (4) est lié à la puissance rétrodiffusée variable dans le temps P_{bsd} (le premier terme est proportionnel à la puissance rétrodiffusée totale et le deuxième terme est la puissance rétrodiffusée statique (valeur moyenne) qui est soustraite pour obtenir la partie variable dans le temps) et le dénominateur de (4) est lié à la densité de puissance incidente. De plus, on peut montrer que dans la situation pratique d'un tapis roulant ($v > 0,1$ m/sec), le terme statique de la puissance rétrodiffusée dans la bande de fréquence UWB est négligeable de sorte que la SER différentielle peut être simplifiée comme suit :

$$\sigma_d(f_0) = 4\pi |S_{yx}(f_0)|^2 = \sigma(f_0) \quad (5)$$

ce qui signifie que contrairement à [6], la valeur σ_d ne dépend pas des propriétés de mouvement (comme le rayon de rotation dans [6]) et elle est théoriquement égale à la SER (σ) du tag qui donne dans ce cas une efficacité de modulation proche de 100%.

3. Résultats et discussion

3.a. Banc de mesure

La configuration de mesure dans un environnement réel est présentée Figure 2. Le banc est composé d'un générateur de signal RF (HP 8720D) et d'un analyseur de spectre (Tektronix RSA3408A) respectivement connectés aux antennes TX et RX (A.H. Systems SAS- 571) en configuration monostatique à polarisation croisée. Les deux instruments sont synchronisés à l'aide d'un signal de référence commun de 10 MHz. Le tapis roulant d'une longueur de $L = 2,5$ m et d'une vitesse de $v = 0,19$ m/s est situé à $1 < d < 3$ m de distance des antennes. Un prototype fabriqué du tag sans puce dépolarisant présenté dans [9] a été utilisé pour les mesures illustrées sur la Figure 4 (b). L'objet avec le tag, montré dans l'encadré de la Figure 2, est une boîte en carton remplie d'objets comme un paquet de pâtes, un rouleau de ruban adhésif et un câble LAN. La puissance de sortie P_t est de 5 dBm, et pour mesurer σ_d dans la bande $3,2 < f_0 < 3,8$ GHz l'objet est placé sur le tapis roulant tandis que le signal rétrodiffusé est acquis pendant 11 secondes avec un taux d'échantillonnage de 256 S/s par l'analyseur de spectre. On note que pour réaliser l'ensemble des acquisitions (les différentes fréquences), l'objet a été positionné plusieurs fois sur le tapis.

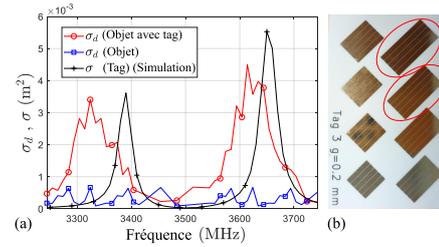


FIGURE 4. (a) SER différentielle mesurée de l'objet en translation avec et sans tag respectivement affiché en rouge et bleu, et la ESR simulé de l'étiquette en noir.

(b) Le prototype fabriqué du tag sans puce dépolarisant proposé dans [9] avec $g=0,2$ mm, $w=2$ mm, $l_1=21$ mm, et $l_2=19$ mm.

3.b. Identification basée sur la SER différentielle

Sur la base des signaux acquis en phase et en quadrature I_r , Q_r à $d = 1,2$ m et $f_0 = 3,59$ GHz (la deuxième fréquence de résonance du tag), la Densité spectrale de puissance (DSP) $S_r(f)$ du signal rétrodiffusé est calculée à l'aide de la FFT. Elle est donnée sur la figure 3 (a). Comme cela a été prédit par le modèle de la Figure 1 (c), la puissance modulée est principalement concentrée autour de la fréquence de décalage Doppler correspondante $f_D = -4,5$ Hz qui est mise en évidence sur la Figure 3 (a) et la réflexion de l'environnement stationnaire est située à $f = 0$ (correspond à f_0 avant la démodulation).

Pour supprimer la réponse de l'environnement des données brutes I_r , Q_r dans le domaine temporel et conserver simplement la réponse du tag, un filtre [illustré par la zone en sur-brillance sur la Figure 3 (a)] avec une bande passante $-5 < f < -3$ Hz est appliqué à $S_r(f)$. Puis en utilisant une IFFT, les données I , Q sont obtenues et présentées Figure 3 (b) en fonction du temps. L'amplitude du signal rétrodiffusé mesuré diminue avec le temps comme illustré sur la Figure 3 (b) [courbe noire]. On note que le taux de décroissance est exactement proportionnel à l'inverse du carré de la distance [Équation (2)]. De plus, la fréquence des oscillations pour les données I , Q est en accord avec la fréquence Doppler prédite $|f_D| = 4,5$ Hz. En utilisant la tension reçue $V_r(t) = I_r(t) + jQ_r(t)$ donnée à $f_0 = 3,2 : 0,02 : 3,8$ GHz et basée sur (4), la SER différentielle calculée pour l'objet avec le tag et pour de l'objet sans le tag est présentée sur la Figure 4 (a) en fonction de la fréquence porteuse. Notez que (4) peut être directement appliquée au champ rétrodiffusé total (contribution de l'objet avec le tag et de l'environnement) puisque la réponse de l'environnement est incluse dans le terme statique du numérateur, et est soustrait pour obtenir la P_{bsd} . Pour utiliser (4), les champs rétrodiffusés et incidents sont respectivement obtenus par $E_s(t) = [\sqrt{4\pi\eta}/Z_0 G \lambda^2] V_r(t)$ et $E_0 = \sqrt{2\eta P_t G}/4\pi$ où G est le gain de l'antenne, η est l'impédance des ondes en espace libre et $Z_0 = 50 \Omega$ est l'impédance de référence de l'analyseur de spectre et du générateur de signal. Les deux premières résonances de l'étiquette sans puce [liées aux résonateurs indiqués sur la Figure 4 (b)] par des

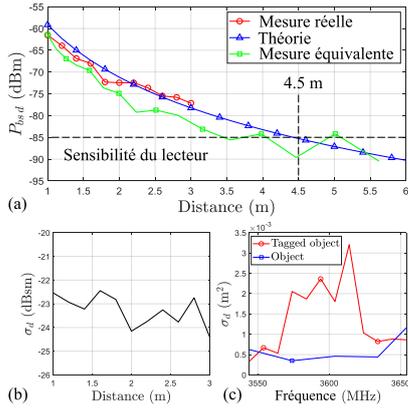


FIGURE 5. (a) La puissance rétrodiffusée différentielle mesurée pour l’objet avec le tag en translation en fonction de la distance d entre les antennes et le tapis roulant. (b) La SER différentielle calculée du tag sans puce en translation en fonction de la distance. (c) La SER différentielle mesurée pour l’objet en translation (avec et sans tag) à une distance de 3 m.

lignes rouges] peuvent évidemment être détectées à partir de σ_d calculé sur la Figure 4 (a). Ceci prouve la possibilité d’identification basée sur la SER différentielle. De plus, le SER simulée de l’étiquette σ est comparée au σ_d mesuré sur la Figure 4 (a) ce qui vérifie (5) et le fait que l’efficacité de la modulation est supérieure à 95% dans cette configuration.

3.c. Distance de lecture

Enfin, la portée maximale de lecture de l’objet étiqueté et transporté par le tapis roulant est étudiée expérimentalement. La puissance différentielle rétrodiffusée $P_{bs,d}$ est mesurée à $f_0 = 3,95$ GHz avec deux approches : 1) en augmentant la distance d de 1:0, 2:3 m avec un $P_t = 5$ dBm fixe (Mesure réelle) et 2) en diminuant P_t entre 5: -1: -25 dBm à une distance fixe de $d = 1$ m (Mesure équivalente). La Figure 5 (a) présente les deux résultats de mesure en fonction de la distance (d) en accord avec ce qui est obtenu en théorie en utilisant l’équation radar classique. En considérant un seuil de détection de -85 dBm, la distance de lecture maximale est de 4.5 m, ce qui dépasse significativement celle d’une étiquette sans puce classique comme dans [9] et [7] où on a une augmentation d’un facteur 15 et 4 respectivement. La Figure 5 (b) montre σ_d calculé pour la deuxième résonance en fonction de d ce qui vérifie la validité de (4) en obtenant une quantité indépendante de la distance. Enfin, l’identification de l’étiquette mobile est réalisée à $d = 3$ m à partir du σ_d mesuré qui est présenté sur la Figure 5 (c) et où on peut voir que la deuxième résonance de l’étiquette est bien détectée.

4. Conclusion

Ce papier montre qu’il est possible de lire des tags RFID sans puce dépolarisants attachées à des objets transportés par un tapis roulant. Les mesures sont faites en environnement réel à des distances allant jusqu’à 4.5 m (distance entre les antennes et l’extrémité la plus proche du

convoyeur) et en utilisant la modulation Doppler induite par la translation. On montre également qu’une augmentation de la distance de lecture peut être obtenue en travaillant sur la partie lecteur. En effet un gain sur la sensibilité du banc de mesure de 5 dB permettrait d’augmenter de 1,5 m la distance de lecture. Un modèle analytique basé sur la SER différentielle a été proposé et un tag a été détecté avec succès sur la base de la mesure de cette grandeur. Étant donné que le scénario du tapis roulant est un cas très répandu dans de nombreuses applications pratiques, l’idée peut être facilement appliquée dans le secteur de la logistique.

5. Remerciements

Ce travail a été soutenu par le European Research Council (ERC), Horizon 2020, projet ScattererID N° 772539.

Références

- [1] R. Rezaiesarlak and M. Manteghi, *Chipless RFID*. Springer, 2016.
- [2] M. A. Islam and N. C. Karmakar, “An 8×8 mm-wave LP ACMPA array for a long-range mm-wave chipless RFID tag-sensor reader,” *IEEE J. Radio Freq. Identif.*, vol. 5, no. 1, pp. 53–63, 2021.
- [3] N. Barbot *et al.*, “Classical RFID versus chipless RFID read range : Is linearity a friend or a foe ?” *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 69, no. 9, pp. 4199–4208, 2021.
- [4] H. Stockman, “Communication by means of reflected power,” *Proceedings of the IRE*, vol. 36, no. 10, pp. 1196–1204, 1948.
- [5] N. Barbot and E. Perret, “Linear time-variant chipless RFID sensor,” *IEEE Journal of Radio Frequency Identification*, vol. 6, pp. 104–111, 2021.
- [6] A. Azarfar *et al.*, “Chipless RFID based on micro-Doppler effect,” *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 70, no. 1, pp. 766–778, 2021.
- [7] F. Costa *et al.*, “Robust reading approach for moving chipless RFID tags by using ISAR processing,” *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 66, no. 5, pp. 2442–2451, 2017.
- [8] N. Barbot *et al.*, “Differential RCS of modulated tag,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 2, no. 9, pp. 10–15, 2021.
- [9] A. Vena *et al.*, “A depolarizing chipless RFID tag for robust detection and its FCC compliant UWB reading system,” *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 61, no. 8, pp. 2982–2994, 2013.