



HAL
open science

Modulation Non-Linéaire de Tag RFID UHF

Meng Yang, Nicolas Barbot

► **To cite this version:**

Meng Yang, Nicolas Barbot. Modulation Non-Linéaire de Tag RFID UHF. 23ème édition des Journées Nationales Microondes (JNM), Jun 2024, Juan les Pins, Antibes, France. hal-04864169

HAL Id: hal-04864169

<https://hal.science/hal-04864169v1>

Submitted on 4 Jan 2025

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.

Modulation Non-Linéaire de Tag RFID UHF

M. Yang¹, N. Barbot¹

¹Univ. Grenoble Alpes, Grenoble INP, LCIS, 26000 Valence, France
meng.yang@lcis.grenoble-inp.fr

Résumé — Cet article présente un nouveau schéma de modulation et de détection pour les tags RFID UHF. Le principe repose sur la génération d'un signal modulé par le lecteur combiné à la non-linéarité présente dans toute puce RFID (ou autre dispositif non linéaire). Dans des conditions spécifiques, nous montrons que les signaux rétrodiffusés du tag peuvent produire de nouvelles composantes fréquentielles situées autour de la fréquence porteuse utilisée par le lecteur. De plus cette détection peut se faire à une puissance nettement inférieure à la sensibilité de la puce ce qui permet de détecter la présence d'un tag à une distance supérieure à 20 m. Cette détection représente une amélioration de 30% par rapport à la distance de lecture classique.

1. Introduction

L'identification par radio-fréquence (RFID) est une technologie essentielle pour détecter et identifier de nombreux objets à longue distance et à débit élevé. Le principe repose sur la modulation du champ rétrodiffusé en faisant varier la charge connectée à une antenne en fonction de temps. Ce concept a été introduit par Stockman en 1948 [1].

A noter que toutes les communications réalisées depuis le tag vers le lecteur sont basées sur la modulation de charge dans laquelle le tag peut, lorsqu'il est activé, basculer la charge connectée à son antenne entre deux états d'impédance différents. Cette modulation de charge permet de transférer les informations du tag vers le lecteur mais aussi de séparer la contribution du tag de l'environnement.

La distance de lecture d'un tag UHF passif est généralement limitée par la sensibilité du tag P_{tag} ce qui correspond à la puissance minimale nécessaire pour activer le tag. Cette sensibilité peut atteindre -10 dBm pour les anciennes puces (e.g., Monza 1) et être aussi faible que -22 dBm pour les nouvelles puces (e.g., Monza M700). La distance de lecture peut être directement estimée sur la base de l'équation de Friis [2] :

$$d_{rr} \leq \sqrt{\frac{P_t G_t G_{tag} \lambda^2}{(4\pi)^2 P_{tag}}} \quad (1)$$

où $P_t G_t$ est la puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE) maximale, G_r est le gain de l'antenne du tag et

λ la longueur d'onde. Notez que pour des distances inférieures à (1), un tag UHF peut être lu (i.e., son identifiant peut être extrait par le lecteur) et détectée (i.e., la présence ou l'absence du tag peut être déterminée). Enfin pour les distances supérieures à (1), le tag ne peut pas être activé et par conséquent ne peut pas être lu ni détecté par aucun lecteur.

Cet article est un résumé de [3] où nous démontrons qu'il est possible de détecter la présence d'un (ou plusieurs) tag(s) UHF à une distance supérieure à sa (leurs) distance de lecture. Ce résultat est basé sur le comportement non linéaire des tags qui apparaît même si la puissance reçue est inférieure à leurs sensibilités. Le principe exploite à la fois un signal modulé spécifique envoyé par le lecteur vers un tag non linéaire, et une méthode de détection capable d'extraire la réponse du tag non linéaire de l'environnement (linéaire). Nous montrons que la non-linéarité de la puce est capable de générer de nouvelles composantes spectrales autour de la fréquence porteuse utilisée par le lecteur. Cette réponse permet au lecteur de détecter la présence du tag à une distance qui peut être supérieure à la distance de lecture prédite par l'équation de Friis [voir (1)].

2. Modèle Analytique

Considérons un tag UHF modélisée comme un dipôle vertical demi-onde chargé d'une impédance Z_c en espace libre. Ce dipôle est éclairé par une onde plane modulée polarisée verticalement.

$$E^i(t) = E_0(t) e^{jkx} e^{2j\pi f_0 t} \hat{z} \quad (2)$$

où $k = 2\pi/\lambda$. L'enveloppe complexe de la tension en circuit ouvert créée au niveau de la charge est directement liée à la longueur efficace l_e de l'antenne [4] :

$$V_0(t) = E_0(t) l_e \quad (3)$$

Notez que $|V_0(t)|$ est fonction de la puissance reçue par le tag.

Cependant, les puces RFID sont des dispositifs non linéaires, ce qui signifie que l'impédance Z_c de la puce dépend également de la puissance reçue. Dans le cas d'un champ incident modulé, la puissance reçue dépend du temps, donc $|V_0(t)|$ et $Z_c(t)$ sont également tous deux fonction du temps. Étant donné que les dipôles sont des antennes à diffusion minimale, le courant sur l'antenne



Figure 1. Circuit équivalent d'une antenne à diffusion minimale avec une tension en circuit ouvert $V_0(t)$ et chargée par une puce RFID $Z_c(t)$ sortie par un signal modulé.

peut simplement être extrait à partir du circuit électrique présenté en Fig. 1 [5].

$$I(t) = \frac{V_0(t)}{Z_a + Z_c(t)} = \frac{V_0(t)}{2R_a} (1 - \rho^*(t)) \quad (4)$$

Le champ rétrodiffusé $E^s(t)$ par le dipôle peut s'écrire :

$$E^s(t) = \frac{-j\eta k I(t) l_e(\theta) e^{-jkr}}{4\pi r} \quad (5)$$

Notez que les variations de $Z_c(t)$, $I(t)$ et $E^s(t)$ ne sont pas produites par la commutation de la charge au niveau du tag mais par la combinaison de la puissance modulée (envoyée par le lecteur) et la non-linéarité de la puce (présente sur le tag).

3. Résultats

3.a. Caractérisation de la puce

Afin de caractériser l'impédance de la puce en fonction de la puissance incidente, nous avons réalisé un circuit imprimé permettant de connecter la puce à un connecteur SMA. Le paramètre " S_{11} mesuré" est déterminé à l'aide d'un analyseur de réseau vectoriel (VNA). La puce considérée est une NXP UCODE G2XM avec une sensibilité de $P_{tag} = -15$ dBm. Notez que d'autres puces peuvent être utilisées et les résultats présentés ici sont applicables à n'importe quelle puce. Le balayage de puissance a été réalisé de $P = -30$ dBm à 10 dBm à 915 MHz et aucune adaptation n'a été ajoutée. La Fig. 2 présente le paramètre " S_{11} mesuré" tracé dans l'abaque de Smith.

Notez d'abord que, puisque toute impédance (linéaire) est indépendante de la valeur de la puissance d'entrée, elle doit apparaître sous la forme d'un point sur l'abaque de Smith. Cependant, et comme indiqué dans la section 2., l'impédance de la puce n'est pas linéaire en fonction de la puissance, donc le paramètre " S_{11} mesuré" est également fonction de la puissance et décrit une courbe dans l'abaque de Smith. Notez que l'amplitude et la phase du signal réfléchi sont modifiées pendant le balayage de puissance.

3.b. Détection du Signal du Tag

Le signal reçu par le lecteur correspond à la sommation complexe du champ rétrodiffusé par le tag, et d'une partie du champ incident dues aux réflexions présentes dans l'environnement. L'objectif de cette section est de déterminer

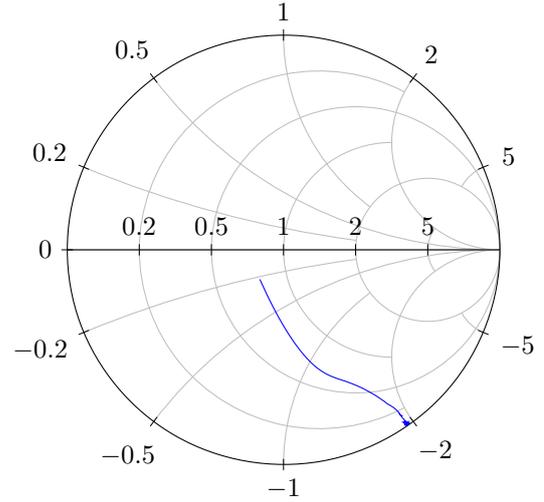


Figure 2. Abaque de Smith du paramètre " S_{11} mesuré" à 915 MHz avec un balayage de puissance de -30 dB à 10 dB pour une puce RFID UHF NXP UCODE G2XM mesurée avec le VNA.

un estimateur permettant de détecter la présence d'un tag parmi le signal total reçu. Comme nous le verrons, cette détection peut être réalisée avec précision dans le domaine fréquentiel.

Tout d'abord, notons que les réflexions (de l'antenne et des objets présent dans l'environnement) ont les mêmes composantes spectrales que l'onde incidente puisqu'elles peuvent toutes être décrites par des systèmes linéaires invariants dans le temps. Cependant le spectre du signal rétrodiffusé par le tag peut être différent du fait de la non-linéarité de la puce. Cet effet peut en fait être utilisé pour détecter facilement la présence du tag non linéaire à l'intérieur de l'environnement.

Le spectre du signal rétrodiffusé par le tag $E^s(t)$ a les mêmes composantes que le spectre de $I(t)$. En prenant la transformée de Fourier de (4), on a :

$$I(f) = \frac{V_0(f)}{2R_a} * [\delta(f) - \rho^*(f)] \quad (6)$$

$$= \frac{1}{2R_a} [V_0(f) - V_0(f) * \rho^*(f)] \quad (7)$$

Notez que le premier terme de (7) a les mêmes composantes spectrales que $V_0(f)$ (et le signal transmis) et ne peut pas être facilement détecté. Pour le second terme, la convolution $V_0(f) * \rho^*(f)$ peut générer de nouvelles composantes spectrales pour le courant $I(f)$ et le champ rétrodiffusé $E^s(f)$. Ces nouvelles composantes peuvent facilement être détectées par le lecteur après la démodulation puisqu'elles ne sont pas présents dans le signal transmis.

A noter que n'importe quelle modulation peut être utilisée côté lecteur (tant que $|V_0(t)|$ est fonction du temps). Cependant, les modulations d'amplitude avec une variations produisant une enveloppe complexe de la forme :

$$V_0(t) = a + b \cos 2\pi f_m t \quad (8)$$

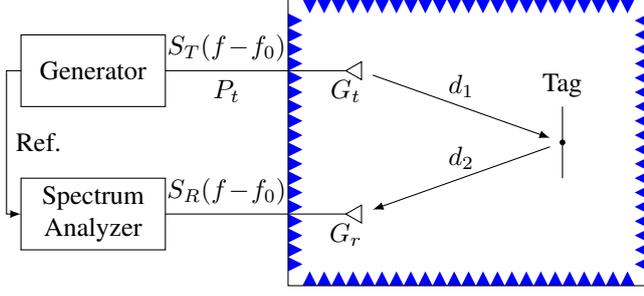


Figure 3. Banc de mesure permettant de mesurer le champ diffusé d'un tag UHF.

où a et b sont deux constantes, sont de bonnes solutions puisque le spectre associé est égal à :

$$V_0(f) = a\delta(f) + \frac{b}{2}(\delta(f + f_m) + \delta(f - f_m)) \quad (9)$$

et a un support dans le domaine fréquentiel limité à $\pm f_m$. Ainsi, les nouvelles composantes peuvent être facilement détectées dans le champs rétrodiffusé.

3.c. Banc de mesure

Le banc de mesure est présenté sur la Fig. 3 et correspond à une configuration bistatique. L'émission est basée sur un générateur vectoriel (Agilent N5182A) et un amplificateur de puissance (EMPOWER 2053-BBS3I4AAJ) pour transmettre le champ incident modulé autour de la fréquence porteuse $f_0 = 915$ MHz à une puissance de P_t dans l'intervalle $[-10; +30]$ dBm. La réception est réalisée par un analyseur de spectre temps réel (Tektronix RSA 3408A) à $f_0 = 915$ MHz sur une bande de $2B = 50$ kHz. Les deux instruments utilisent le même signal de référence de 10 MHz. A noter qu'une configuration monostatique peut également être utilisée avec un circulateur ou un coupleur directionnel. Le tag est placé à une distance de $d_1 = d_2 = 1.5$ m dans un environnement anéchoïque, en champ lointain des antennes (AH Systems inc. SAS-571). Notez que de simples antennes à bande étroite peuvent être utilisées puisque tous les signaux impliqués sont situés autour de f_0 . Enfin et sauf indication contraire, le générateur transmet une modulation double bande sans porteuse [*i.e.*, avec $a = 0$ et $b = 1$ in (8)] avec $f_m = 1$ kHz.

Pour les tags utilisés dans cette étude, nous avons considéré 6 tags UHF différents. Notez que n'importe quel tag peut être utilisé puisque toutes les tags sont des dispositifs non linéaires. Le tableau 1 présente les différents tags.

Le champ rétrodiffusé peut être mesuré à l'aide du banc de mesure présenté sur la Fig. 3. Les résultats sans et avec un seul tag UHF (Tag 3) sont affichés sur la Fig. 4 à $f_0 = 915$ MHz, pour une puissance reçue de -20 dBm par le tag. Notez que le signal reçu lorsqu'aucun tag n'est présent (*i.e.*, dans un environnement linéaire) est simplement proportionnel au signal transmis modulé. Ce signal présente une légère distorsion puisque des harmoniques sont présentes à $\pm 3f_m$ en raison de la non-linéarité et de l'imperfection du générateur et de l'amplificateur. De plus,

Tableau 1. Tags UHF Considérés.

	Fabriquant	Modèle	Puce
Tag 1	Avery Dennison	AD-61-5	MB97R803A
Tag 2	Custom	FR4 (0.8 mm)	XRAG2
Tag 3	Rafsec	Dogbone	Monza 1
Tag 4	Intermec	AD-222	Monza 2
Tag 5	Alien	2015	Higgs-EC
Tag 6	LAB ID	106HU	Monza R6

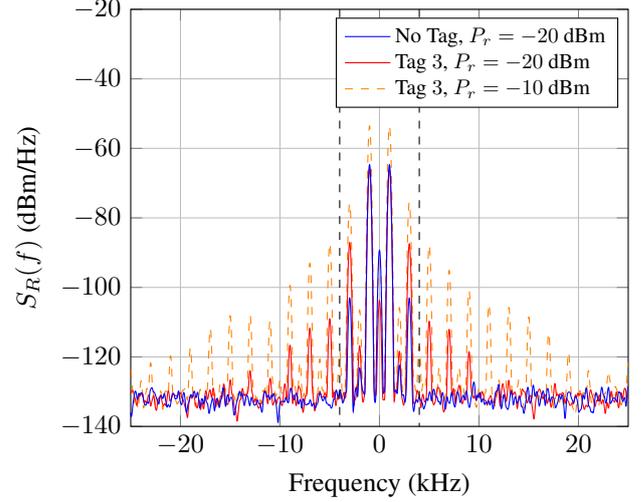


Figure 4. Spectre sans tag à $P_t = 0$ dBm (correspondant à $P_r = -20$ dBm) et avec Tag 3 et $P_t = 0$ et 10 dBm (correspondant à $P_r = -10$ dBm), à $f_0 = 915$ MHz en chambre anéchoïque. Le champ incident modulé est basé sur une modulation double bande sans porteuse.

un pic est visible à 0 Hz dû à la fuite et aux réflexions résiduelles présentes dans la chambre anéchoïque. Cependant, lorsque le Tag 1 est présent dans l'environnement, le spectre reçu présente de nouvelles composantes situées à $\pm n f_m$ avec $n \geq 2$. Des résultats similaires sont également observés lorsque plusieurs tags sont présents dans l'environnement. De plus ce comportement est d'autant plus visible que la puissance transmise augmente (tant en terme d'amplitude qu'en nombre de pics). Enfin, notez que le tag peut être détecté à une puissance inférieure à sa sensibilité (*e.g.*, Rafsec Dogbone avec la puce Monza 1 a une sensibilité de $P_{tag} = -14$ dBm). Ce résultat a des conséquences importantes sur la distance à laquelle un tag peut être détecté par la méthode proposée.

3.d. Distance de Détection

La distance à laquelle le comportement non linéaire du tag peut être détecté est différente de la distance de lecture à laquelle le tag peut être lu lors d'un cycle d'inventaire (telle que définie dans le protocole EPC Gen 2).

Pour les tags passifs basés sur la modulation de commutation de charge, la distance de lecture est générale-

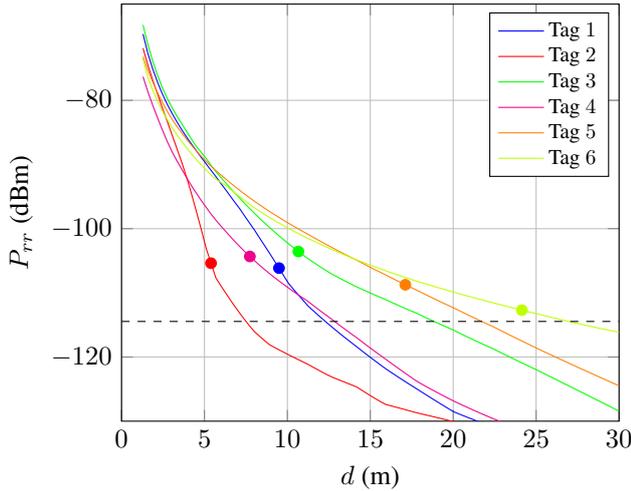


Figure 5. Puissance modulée reçue côté lecteur en fonction de la distance équivalente pour une PIRE de 36 dBm à 915 MHz en considérant $G_t = G_r = 7$ dBi. La distance de détection peut être déterminée avec l'intersection avec la puissance modulée minimale détectable $P_{rr\ min}$ (ligne pointillée).

ment limitée par la puissance reçue par le tag et peut être estimée, en espace libre, à l'aide de l'équation de Friis [voir (1)]. Cependant, lorsque le système de modulation proposé est utilisé par le lecteur, une modulation non linéaire du tag peut apparaître à une puissance qui peut être inférieure de plus de 10 dB à la puissance d'activation. Dans ce cas, la portée de détection n'est plus limitée par la sensibilité du tag mais par celle du lecteur et peut être estimée, en espace libre, par l'équation radar [6] :

$$d_{dr} \leq \sqrt[4]{\frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma_d}{(4\pi)^3 P_{rr\ min}}} \quad (10)$$

où $P_{rr\ min}$ est la puissance modulée minimale pouvant être détectée par le lecteur et σ_d est le delta RCS (Radar Cross-Section) du tag excité par la modulation non linéaire. Cette dernière quantité est fonction de la puissance reçue par le tag.

Remarquons aussi que la sensibilité de détection $P_{rr\ min} = 2N_0(b - \epsilon)$ est généralement inférieure à la sensibilité du lecteur classique puisque la bande passante requise est plus petite (50 kHz et 4 BLF (Backscatter Link Frequency) respectivement [7]).

Les résultats, en chambre anéchoïque, sont présentés sur la Fig. 5 pour les différents tags à 915 MHz en considérant $G_t = G_r = 7$ dBi. Pour la distance de lecture, une commande query est générée à l'aide du générateur vectoriel, la distance de lecture est extraite de la puissance minimale à laquelle la réponse du tag peut être détectée par l'analyseur de spectre temps réel. Pour la distance de détection, une modulation double bande sans porteuse [*i.e.*, avec $a = 0$ et $b = 1$ in (8)] est générée et le tag est détecté en fonction de la présence des harmoniques à $f_0 \pm 3f_m$. Notez que les mêmes instruments et la même configuration sont utilisés pour les deux configurations. Nous pou-

ons voir que la distance de détection est supérieure à la distance de lecture pour toutes les tags considérés. En moyenne, la distance de détection correspond à une amélioration de 30% par rapport à la distance de lecture.

4. Conclusion

Cet article présente une méthode capable de détecter la présence d'un tag à une distance supérieure à sa distance de lecture. Le principe est basé sur le comportement non linéaire du tag et peut être réalisé en modulant simplement le puissance transmise du lecteur. Les résultats montrent qu'il est possible de détecter un tag à une distance supérieure à 20 m. Ainsi, l'article montre qu'il est possible de détecter la présence d'un tag (avec un champ modulé lentement) avant de pouvoir la lire. (avec les commandes classiques Gen 2).

Références

- [1] H. Stockman, "Communication by means of reflected power," *Proceedings of the IRE*, vol. 36, no. 10, pp. 1196–1204, Oct. 1948.
- [2] H. Friis, "A note on a simple transmission formula," *Proceedings of the IRE*, vol. 34, no. 5, pp. 254–256, May 1946.
- [3] N. Barbot, "Non linear modulation of UHF tag," *IEEE Journal of Radio Frequency Identification*, vol. 7, pp. 38–44, Dec. 2023.
- [4] C. A. Balanis, *Antenna theory : analysis and design*. John Wiley & sons, 2015.
- [5] R. Harrington, "Electromagnetic scattering by antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 11, no. 5, pp. 595–596, Sep. 1963.
- [6] N. Barbot *et al.*, "Classical RFID vs. chipless RFID read range : Is linearity a friend or a foe ?" *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 69, no. 9, pp. 4199–4208, Sep. 2021.
- [7] —, "Differential RCS of modulated tag," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 69, no. 9, pp. 6128–6133, Sep. 2021.