



HAL
open science

Balise à surface équivalente modulée active pour l'identification par radar Doppler de drones en phase d'atterrissage

Thibaut Despoisse, Anthony Ghiotto, Patrick Garrec

► To cite this version:

Thibaut Despoisse, Anthony Ghiotto, Patrick Garrec. Balise à surface équivalente modulée active pour l'identification par radar Doppler de drones en phase d'atterrissage. XXèmes Journées Nationales Microondes, May 2017, Saint-Malo, France. hal-01525540

HAL Id: hal-01525540

<https://hal.science/hal-01525540>

Submitted on 21 May 2017

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.

Balise à surface équivalente modulée active pour l'identification par radar Doppler de drones en phase d'atterrissage

T. Despoisse^{1,2}, A. Ghiotto¹, P. Garrec²

¹Laboratoire IMS, Bâtiment A31, 351 cours de la Libération, 33400 Talence

²Thales Systèmes Aéroportés, 25 avenue Gustave Eiffel, 33600 Pessac
thibaut.despoisse@ims-bordeaux.fr

Résumé – Ce papier présente une balise à surface radar équivalente modulée active étendant la portée de l'identification, par les systèmes radars Doppler, de drones en phase de décollage et d'atterrissage automatique. Après une courte présentation des solutions d'aide à l'atterrissage de drones et du système existant basé sur une rétro-modulation passive, une balise active est proposée. Elle permet d'étendre la portée de l'identification tout en gardant une complexité et un coût raisonnable. En effet, son modulateur très large bande innovant permet de réaliser la modulation active à moindre coût. Les essais réalisés ont permis de confirmer les résultats théoriques et de valider la compatibilité de la balise avec un radar Doppler existant.

1. Introduction

Les drones sont utilisés dans de nombreux domaines tels que les loisirs, la cartographie ou la surveillance. Il y a également une grande diversité de projets à l'étude comme la livraison de colis (Amazon), de matériel médical (CHU de Bordeaux) ou les transports autonomes. C'est un marché en plein essor qui a triplé son chiffre d'affaires entre 2012 et 2015 [1-2].

L'un des enjeux majeurs de ces systèmes autonomes est d'assurer leur atterrissage de manière automatique. Pour cela, il existe aujourd'hui plusieurs solutions de localisations telles que le positionnement par satellite (GNSS), le guidage laser ou le guidage radiofréquence. Si la première solution est aujourd'hui largement répandue pour sa simplicité de mise en œuvre, elle peut être perturbée, tout comme le guidage laser. Le guidage radiofréquence reste aujourd'hui la solution la plus robuste aux perturbations tout en offrant une grande précision [3].

Dans une première partie, le principe du guidage radiofréquence et le fonctionnement de la balise existante sont présentés. L'étude des limitations de cette dernière nous permettra d'introduire la balise active proposée. La réalisation d'un prototype et les résultats de mesure ayant permis de valider son fonctionnement font l'objet de la seconde partie. Enfin, les conclusions et les perspectives de ce projet sont exposées.

2. Conception d'une balise active

2.a. Principe du guidage radiofréquences

Cette solution est basée sur un radar Doppler : un signal continu est envoyé à la cible et l'écho permet de déterminer la vitesse de celle-ci. En effet d'après l'équation de la vitesse Doppler (1), la vitesse v de la cible se traduit par un écart de fréquence Δf entre le signal émis à la fréquence f et le signal reçu par le radar.

$$\Delta f = 2f \frac{v}{c} \quad (1)$$

L'ajout d'une balise répondeuse permet d'obtenir des informations supplémentaires de position ou d'identification du drone en modulant le signal continu. L'écart de fréquence mesuré par le radar est alors la somme du décalage dû au déplacement et celui engendré par la modulation. Elle permet également la détection d'une cible fixe pour laquelle le Doppler est nul. Les informations de guidage sont transmises ensuite par une station sol (cf. Figure 1).

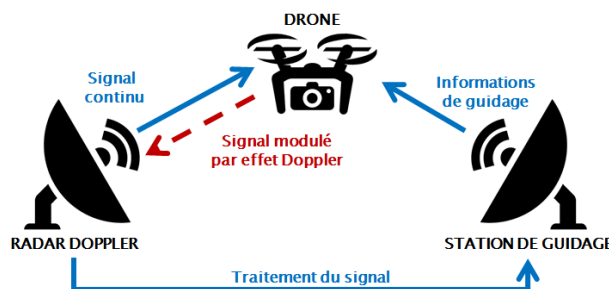


Figure 1. Schéma du guidage par radiofréquences

Plusieurs solutions sont aujourd'hui utilisées pour le guidage radio fréquence. En général, les balises reçoivent à une fréquence et réémettent à une autre fréquence le signal modulé [4]. Cela nécessite d'utiliser de nombreux composants (mélangeurs, filtres,...) et donc augmente grandement le coût et la complexité du système. La balise sur laquelle est basé cet article répond à la fréquence du signal reçu afin d'obtenir une solution simple et compacte.

2.b. Système existant

La balise existante [5] fonctionne sur le principe des tags RFID passifs : la modulation de la réponse est obtenue grâce à une variation de la charge de l'antenne. Lorsque l'on connecte une charge adaptée, l'énergie est absorbée donc la Surface Equivalente Radar σ vue par le

récepteur est minimale. A l'inverse, si on a un circuit ouvert, la balise réfléchit le signal, σ est maximale [6]. La commutation entre les deux états génère une modulation d'amplitude de type tout-ou-rien vue par le radar comme une fréquence Doppler (cf. Figure 2).

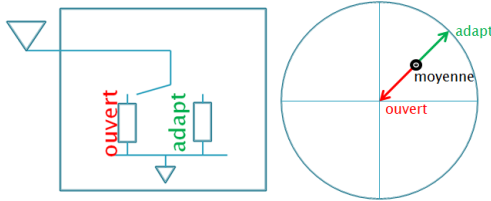


Figure 2. Schéma d'un répondeur passif et diagramme de Fresnel des deux états

L'avantage de cette solution, au-delà de sa simplicité, est que ses performances ne dépendent que du gain de l'antenne et des caractéristiques de l'interrupteur (pertes, isolation, vitesse de commutation). De plus, elle offre une grande flexibilité de fréquence de modulation, car celle-ci ne dépend que de la vitesse de l'interrupteur.

Cependant, elle présente une faible portée, à peine quelques centaines de mètres, à cause du caractère passif de la balise. En effet, d'après l'équation des radars (2), la puissance reçue P_r décroît en $1/R^4$ pour une telle balise passive. Avec R la distance entre la cible et le récepteur.

$$P_r = P_e * \frac{\lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad (2)$$

Le nouveau modèle devra donc intégrer une partie active afin d'amplifier suffisamment le signal pour augmenter la portée de détection tout en garantissant la même flexibilité sur la fréquence de modulation. Le principal défi de cette nouvelle architecture est de moduler un signal en bande X à 1 kHz tout en respectant les spécifications du radar en termes de pureté spectrale.

On peut noter que la distance de détection du système passif est grande comparativement aux tags traditionnels [7,8]. En effet, la puissance d'émission du radar est importante et le traitement du signal appliqué à la réponse de la balise permet d'augmenter considérablement les performances de détection.

2.c. Spécifications de la nouvelle balise

La nouvelle balise est inspirée des tags RFID actifs qui intègrent un amplificateur de puissance faible bruit et un circulateur [9]. Un bilan de liaison (cf. Figure 3) a permis de déterminer le gain nécessaire à l'obtention des spécifications (3). Celui-ci étant élevé, l'utilisation d'une seule antenne et d'un circulateur n'est pas pertinente. En effet, l'isolation demandée est trop importante donc on choisira une architecture à deux antennes. De plus, le modulateur sera détaillé en 2.d. donc il est pour l'instant représenté par un simple interrupteur.

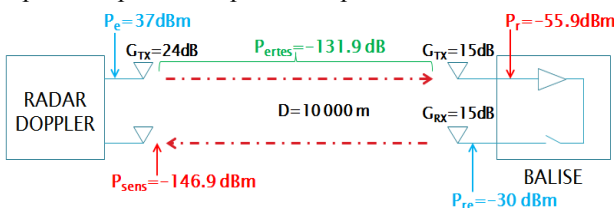


Figure 3. Bilan de liaison

$$Gain = P_{re} - P_r = 25.9 \text{ dB} \quad (3)$$

Vu le gain de la chaîne et la proximité des antennes d'émission et de réception, il faudra porter une attention particulière à leur isolation pour éviter le phénomène de Larsen.

2.d. Modulation du signal

Le cahier des charges fixe une modulation autour de 1 kHz. Celle-ci doit être réglable afin de fournir une information comme l'identification de deux drones différents. Le grand écart de fréquences entre la porteuse et le modulant élimine les solutions complexes à base de mélangeurs, trop coûteuses.

L'alternative la plus simple serait d'utiliser un interrupteur comme dans la balise existante afin de générer une modulation tout-ou-rien facilement réglable. Le spectre résultant de cette méthode présente plusieurs défauts : (cf. Figure 4) :

- Une raie fondamentale élevée perturbant la détection de cibles à faible distance (saturation du récepteur),
- Nombreuses harmoniques d'ordre supérieur à 1 dont l'intensité peut fausser la détection (accrochage du radar sur la mauvaise fréquence).

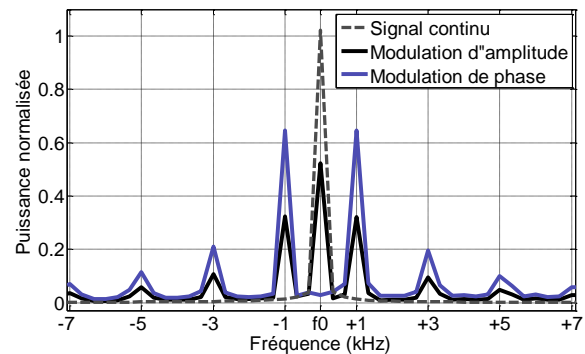


Figure 4. Spectres simulés de la porteuse, des signaux rétro-modulés par la balise active et spectre mesuré

Une autre possibilité est de réaliser une modulation de phase active en remplaçant l'interrupteur par un déphaseur réglable $0/180^\circ$. Le spectre obtenu en commutant entre les deux états à la fréquence de 1 kHz montre que le fondamental disparaît au profit des harmoniques (cf. Figure 4). On augmente donc la puissance de notre signal utile (harmoniques d'ordre 1), mais également des rayonnements non essentiels (harmoniques d'ordre supérieur). On peut noter que ces raies s'atténuent rapidement. Comme la fréquence de modulation est très faible face à la porteuse, l'occupation spectrale est extrêmement réduite (inférieure à $1/10^6$ de la bande).

L'effet des rayonnements non essentiels sur la détection est quantifié dans la partie suivante.

3. Fabrication d'un prototype et tests

Un prototype basé sur la modulation de phase présentée ci-dessus est réalisé. La chaîne (cf. Figure 5) a un gain théorique maximal de 44.5 dB à la fréquence de travail, et ce sans compter le gain des deux antennes.

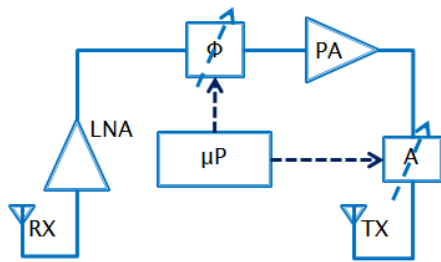


Figure 5. Schéma du prototype

La mesure du prototype (cf. Figure 6) montre que le gain de la chaîne, exprimé comme la différence entre la puissance du signal à fréquence continue en entrée et l'harmonique d'ordre 1 en sortie, est de 38 dB. On compte donc 6.5 dB de pertes qui proviennent de la modulation et des interconnexions. De plus, le gain calculé par rapport à l'harmonique 3 est de 28 dB. Le spectre mesuré est conforme à ce que prévoit la théorie en 2.d. En effet, on observe un fort gain du signal utile (cf. Figure 7, marqueurs 1 et 2), mais aussi une élimination de la raie principale et des harmoniques d'ordre impaire supérieur à 1 importantes.



Figure 6. Photo du prototype

Afin de conclure cette étude, une campagne d'essais sur le terrain a été menée pour valider la compatibilité du nouveau système avec le radar existant. Elle a été concluante avec les résultats suivants :

- Une détection à 1 km à 1 m d'altitude, soit une accroche très précise pour un radar Doppler
- A 4.5 km un rapport signal à bruit mesuré de 30 dB au-dessus du seuil de sensibilité du radar
- Une portée supérieure à 20 km en extrapolant le résultat précédent

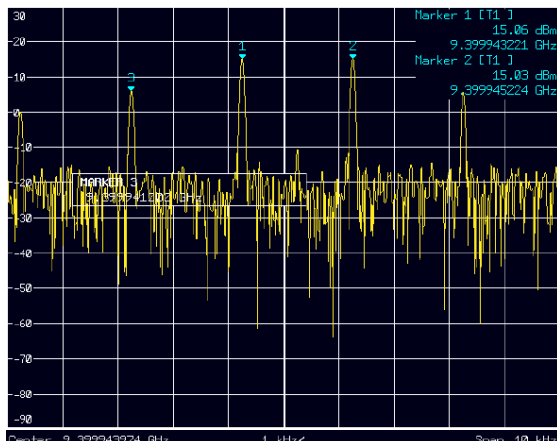


Figure 7. Spectre mesuré

Cependant, en dessous d'une certaine distance, le radar accroche les harmoniques d'ordre supérieur à 1. Si cela n'est pas gênant pour notre application vu les portées mises en jeu, il serait tout de même intéressant de les éliminer pour des projets futurs.

4. Conclusion et perspectives

Le système présenté dans ce papier permet de répondre au cahier des charges en réalisant une balise répondeuse longue portée avec un modulateur très large bande. La simplicité de la solution retenue permet d'augmenter les performances du système tout en réduisant le coût.

D'autres travaux ont été menés sur l'amélioration des performances de tags notamment dans [7] où une modulation de phase est également utilisée, mais pour des portées bien inférieures.

La suppression des harmoniques ou au contraire l'utilisation de celles-ci afin d'ouvrir une communication descendante [8] sont des perspectives intéressantes pour poursuivre ce travail. D'autres applications comme le radar PAR (Precision Approach Radar) ou comme ILS (Instrument Landing System) pour les pistes non équipées peuvent être envisagées. L'intégration du système complet sur une puce MMIC est également à l'étude.

Références

- [1] Conférence « Mieux connaître les drones », Onera.fr
- [2] Les domaines d'application, Techni-drone.com
- [3] « Automatic take-off and landing system », Thalesgroup.com
- [4] « Tactical automatic landing system », Sncorp.com
- [5] R. Levaufre, P. Cornic, « *Système de réponse à un signal émis par un radar et utilisation de ce système notamment pour tester les radars, en particulier de type MTI* », brevet France n°09/06290
- [6] A. Ghiotto, « *Conception d'antennes et de tags RFID UHF, application à la réalisation par jet de matière* », Thèse de l'Institut Polytechnique de Grenoble, Chapitre 3, 26 Novembre 2008
- [7] J. Kimionis et al., « *Enhancement of RF Tag Backscatter Efficiency with Low-Power Reflection Amplifiers* », IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 62, n° 12, December 2014
- [8] Y. Zang et al., « *Passive Backscatter Tags as Transponders for Unmanned Aircraft Systems* », Proceedings of the IEEE SoutheastCon 2015, April 9-12, 2015 – Fort Lauderdale, Florida
- [9] J. Prades et al., « *A microwave switchable low noise power amplifier for an active backscatter tag* », Microwave and Optical Technology Letters, vol. 56, n° 5, May 2014