Accroître la sécurité et la productivité des drones avec les capteurs à ondes millimétriques

Dennis Barrett
Manager marketing
Dan Wang
Ingénieur système
Adeel Ahmad
Ingénieur système
Vaibhav Mahimkar
Ingénieur application
Texas Instruments

Présentation

Les drones ont pris leur essor pour conquérir la livraison de colis, les loisirs et les événements sportifs, et sont désormais commercialisés dans tous les magasins d'électronique. Selon les prévisions, le marché des drones devrait atteindre plus de 21 milliards d'USD[1] d'ici 2022 et générer des services aux entreprises estimés à plus de 127 milliards d'USD[2]. Les secteurs des infrastructures, de l'agriculture, des transports, de la sécurité, des loisirs et des médias, de l'assurance, des télécommunications et de l'exploitation minière vont rapidement s'en trouver bouleversés.

La conception et la spécialisation des drones pour chaque secteur optimisent la productivité, accroissent la sécurité et réduisent l'impact environnemental des méthodes actuelles. Toutefois, les concepteurs de drones sont confrontés à de nombreux défis pour parvenir à un déploiement dans le monde réel, et notamment sur les points suivants :
Le fonctionnement quelles que soient les conditions. L'immobilisation des drones du fait d'intempéries, de la luminosité, du manque de visibilité causé par la fumée ou le brouillard ou les obstacles constitués par des arbres ou autres objets peut compromettre significativement la productivité réelle des systèmes de drones déployés. Il est donc nécessaire de concevoir des drones fonctionnant de manière fiable dans les multiples environnements.
La conception légère. La réduction du poids du drone accroît la durée de vol pour une même batterie. Plus le drone est léger, plus il est simple à déployer. La réduction du poids d'un drone permet d'augmenter le poids de la charge utile, c'est-à-dire des outils embarqués spécifiques à l'application. Ces facteurs accroissent fortement la productivité du drone.
La vitesse. Plus vite les drones se déplacent et réalisent leur tâche, plus ils sont productifs, mais les concepteurs doivent trouver un compromis entre vitesse et sécurité.

Les drones peuvent atteindre une vitesse horizontale de pointe de plus de 70 km/h. Deux drones se dirigeant l'un vers l'autre se rapprochent de 40 m/s, ce qui constitue un défi de taille au regard des fonctions de détection et d'évitement.

Le fonctionnement intelligent. Les moments de fonctionnement du drone les plus dangereux sont ceux où il est proche du sol lors du décollage ou de l'atterrissage, en raison de la marge d'erreur réduite par rapport au sol. Une erreur de l'opérateur à cet instant peut entraîner des dommages ou la perte totale du drone, ce qui nuit naturellement à la productivité. Une telle situation pose bien sûr de nombreux problèmes de sécurité. La vitesse à laquelle le drone approche du sol est un facteur clé : une précision de détection des distances de l'ordre du centimètre est donc critique. Une autre fonction incontournable est la capacité à détecter le type de surface en vue d'un atterrissage sûr, ainsi que la capacité à détecter si elle est humide ou sèche.

La détection et l'évitement des objets. Les drones sont déployés dans des environnements présentant des obstacles physiques. Leur capacité à détecter ces obstacles et à prendre des mesures d'évitement réduit le risque de dommages ou de perte de l'appareil et le risque de dommages à l'environnement. Étant données les vitesses élevées, ces mesures doivent être prises rapidement au moyen de calculs en temps réel.

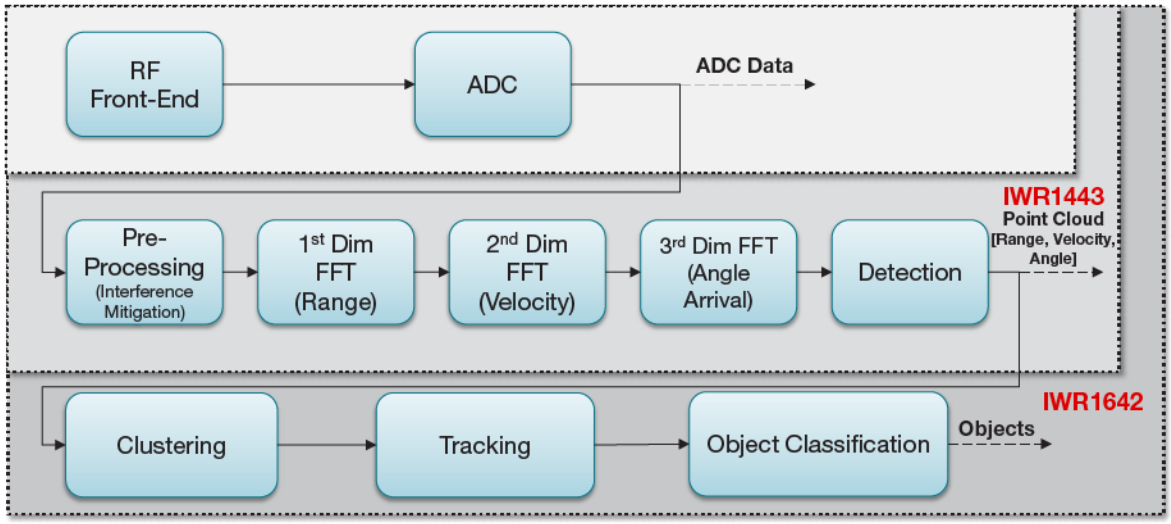


Figure 1 : traitement du signal millimétrique

Utilisation de capteurs à ondes millimétriques en technologie silicium

Les capteurs à ondes millimétriques de TI comprennent sur une simple monopuce CMOS un processeur de signal radio, un bloc de calibration, un convertisseur analogique-numérique haute vitesse, un microcontrôleur, un processeur de signal numérique et une mémoire, qui permettent de détecter avec exactitude la distance, la vitesse et l'angle entre les capteurs et objets situés à proximité du drone. Leur niveau d'intégration est celui d'une gamme d'appareils évolutive conçue en vue de différents types de traitements (cf. figure 1), pouvant être utilisée dans de nombreuses architectures système pour fournir au système de commande du drone des informations en temps réel sur l'environnement et les éventuels obstacles.

Ces informations en temps réel permettent aux concepteurs de réaliser des drones capables de fonctionner avec une productivité élevée dans le monde réel et de relever les défis de conception évoqués ci-dessus. La disponibilité de différents capteurs et

systèmes de détection accroît la redondance, et la détection à ondes millimétriques présente des avantages exceptionnels pour pallier ces difficultés.

Fonctionnement en toutes conditions

La technique de détection et de télémétrie radioélectrique radar mise au point par le physicien britannique Sir Robert Watson-Watt est utilisée depuis 1935[3]. Tout comme les radars à micro-ondes utilisés dans l'aviation moderne, les appareils à ondes millimétriques de la bande de fréquences de 30 à 300 GHz sont fonctionnels par toutes conditions atmosphériques. Comme indiqué à la figure 2, les capteurs à ondes millimétriques utilisent le spectre de fréquences situé entre les infrarouges lointains et les micro-ondes.

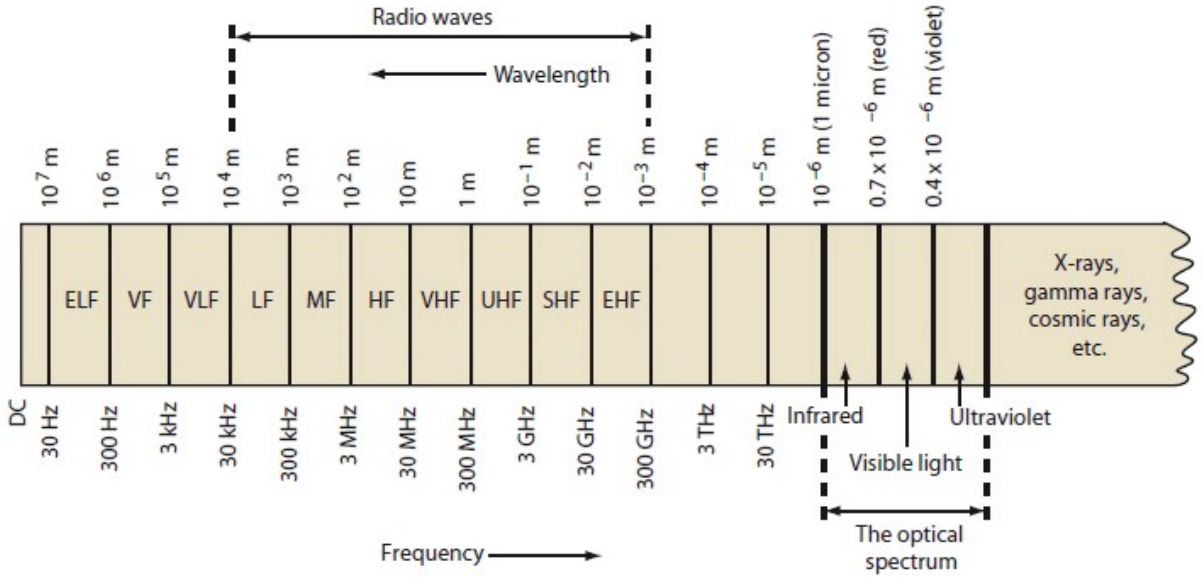


Figure 2 : spectre de fréquences

Le spectre des ondes millimétriques présente différents avantages pour les capteurs à ondes millimétriques et leur permet :

- de fonctionner à travers divers matériaux, notamment pour la détection à travers le plastique, les cloisons sèches et les vêtements ;
- de fonctionner par temps de grésil, de pluie, de neige, de brouillard et autres conditions dangereuses ;
- de permettre la direction du faisceau avec une résolution angulaire d'un degré ;
- d'utiliser des longueurs d'onde courtes avec une précision en distance inférieure au millimètre ;
- d'utiliser des techniques optiques standard pour la focalisation et la direction ;
- d'utiliser de grandes largeurs de bande absolues, avec la possibilité de distinguer deux objets.

Conception légère

Grâce à l'utilisation de la technologie silicium CMOS pour l'intégration de la plupart des fonctions nécessaires sur un die monolithique, seuls les circuits intégrés TI de l'appareil à ondes millimétriques, de gestion de l'alimentation et de la PROM de démarrage ainsi qu'un circuit imprimé pour l'antenne embarquée suffisent à la mise en œuvre du capteur. La figure 3 montre la taille d'un module existant réalisé par D3 Engineering

utilisant le capteur à ondes millimétriques de TI dans une configuration d'antenne à 3 émetteurs et 4 récepteurs. Le tableau 1 compare les dimensions et le poids du module à ondes millimétriques avec ceux d'un télémètre lidar de pointe : le capteur est presque trois fois plus petit et au moins deux fois plus léger.

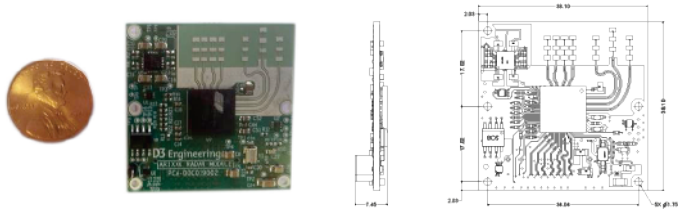


Figure 3 : conception typique d'un module à ondes millimétriques

	mmWave Module	LIDAR rangefinder Module	Reduction %
Module size	38 × 38 × 7.5 mm	20 × 48 × 40 mm	72%
Module weight	7.5 g	16 g Note 1	53%

Tableau 1 : comparaison des dimensions et du poids du module de capteur à ondes millimétriques D3 avec ceux du module lidar

Le format compact de la solution permet de placer aisément le capteur dans une enveloppe plastique, pour une conception robuste et un poids minimal. En comparaison avec une solution optique ou infrarouge nécessitant des logements de lentilles, un outillage et une calibration durant la production, le coût d'assemblage est vraisemblablement plus faible.

Vitesse

Les drones peuvent voler à une vitesse très élevée allant jusqu'à 72 km/h. Ainsi, les appareils de détection doivent être capables de mesurer les vélocités à de telles vitesses. La vélocité maximale mesurable ou V_{max} (vélocité maximale relative lorsque le capteur et l'objet sont en mouvement) est fonction de la période totale du chirp du signal millimétrique émis, selon l'équation 1 :

$V_{max} = \lambda/(4T_c)$ (1)

où T_c désigne la durée/période totale du chirp, λ est la distance parcourue en un cycle et V_{max} est exprimée en m/s.

Selon la fiche technique de l'appareil IWR1443, λ= 3,9 mm pour une fréquence de départ de 76,5 GHz. Ainsi, pour V_{max} = 72 km/h, T_c = 48,75 µs. Du fait de la proportionnalité inverse, tant que T_c reste inférieure à 48,75 □s, une V_{max} supérieure à 72 km/h est détectable. Le calcul de T_c pour une série de valeurs de V_{max} produit la courbe présentée à la figure 4.

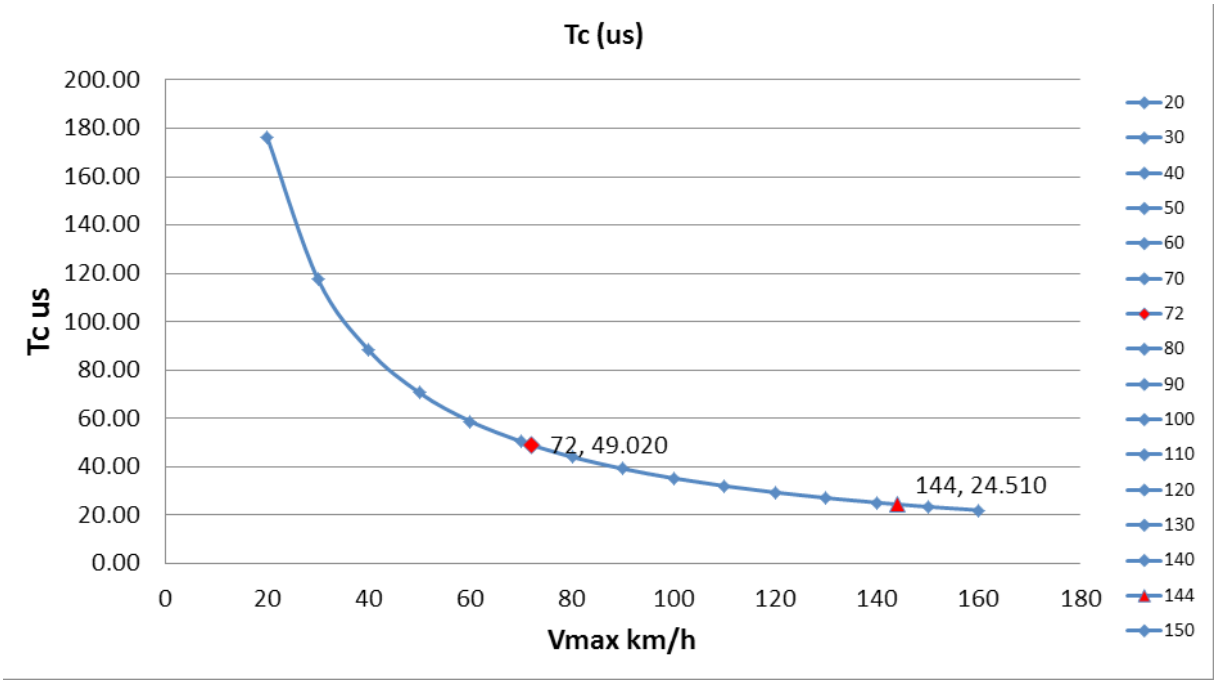


Figure 4 : vélocité mesurable maximale en fonction de la durée/période totale du chirp

Fonctionnement intelligent

Pour maximiser la productivité d'un drone dans les applications du monde réel, il est important de fournir aux opérateurs les informations recueillies par les capteurs du drone. Comme nous l'avons vu, le moment le plus risqué est celui où le drone est proche du sol, comme lors de l'atterrissage. La technologie à ondes millimétriques peut fournir des informations de navigation durant l'atterrissage et évaluer le caractère approprié de la zone d'atterrissage. Contrairement aux autres technologies de détection, les capteurs à ondes millimétriques ne sont pas sensibles aux tremblements ou à la poussière causés par la rotation des hélices à proximité du sol.

Au moyen du module d'évaluation à ondes millimétriques IWR1443, il est possible d'obtenir une précision de 2 cm jusqu'à 40 m du sol, à une vitesse de 0 à plus de 25 cm/s. La figure 5 présente une capture d'écran d'une démonstration d'atterrissage de drone. Le drone y est représenté à 19,73 cm d'altitude et à une vitesse de 22,55 cm/s.



Figure 5 : capture d'écran d'une démonstration d'atterrissage de drone

La précision des capteurs à ondes millimétriques peut également permettre de déterminer la nature de la zone d'atterrissage en fonction des mouvements causés à la surface par les hélices lors du vol stationnaire précédant l'atterrissage. Les expériences menées par TI au moyen du module d'évaluation à ondes millimétriques IWR1443 (en conditions stationnaires et non en vol) montrent que la terre ferme peut être distinguée de l'eau à partir des différences de réflectivité et des mesures de microvibrations de la surface, comme présenté à la figure 6. En cas de détection d'eau, le drone peut interrompre l'atterrissage et ainsi éviter des dommages ou une perte totale de sa charge, voire du drone lui-même.

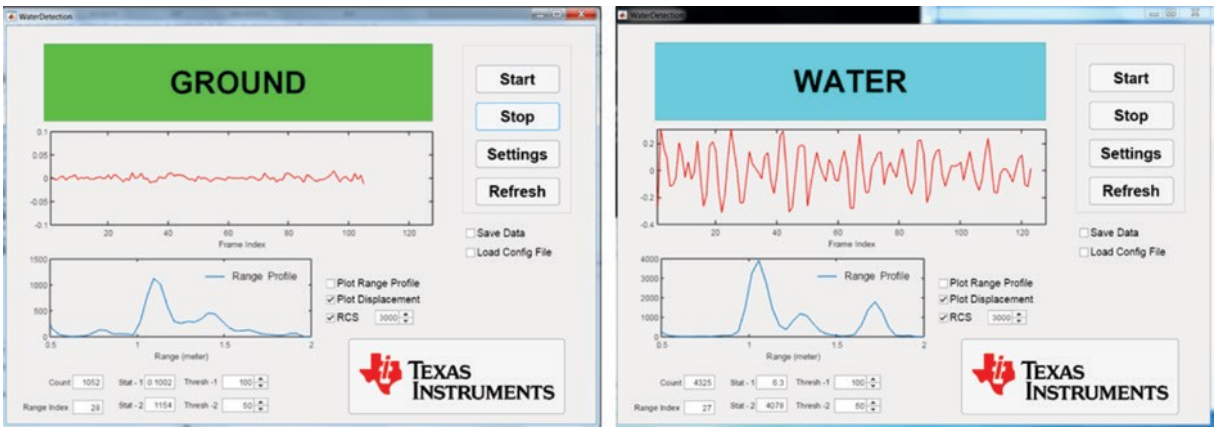


Figure 6 : utilisation des ondes millimétriques pour déterminer la nature d'une surface (terre ou eau)

Détection et évitement des objets

L'une des fonctions cruciales de la détection et de l'évitement intelligents des objets est la capacité du drone à détecter des obstacles probables sur son trajet qui pourraient entraîner des dommages ou la perte totale de l'appareil, ce qui réduirait la productivité. Les capteurs à ondes millimétriques peuvent détecter des objets en toutes conditions de

luminosité, y compris fumée, poussière et brouillard, mais aussi des objets difficiles à détecter au moyen des autres technologies de détection.
Il s'agit par exemple de la détection de câbles tels que les lignes à haute tension, les lignes téléphoniques, les antennes ou les grillages situés sur le trajet du drone. TI a réalisé diverses expériences dans sa chambre anéchoïque afin d'évaluer la détection de différents types de câbles. La figure 7 présente la configuration de l'essai.

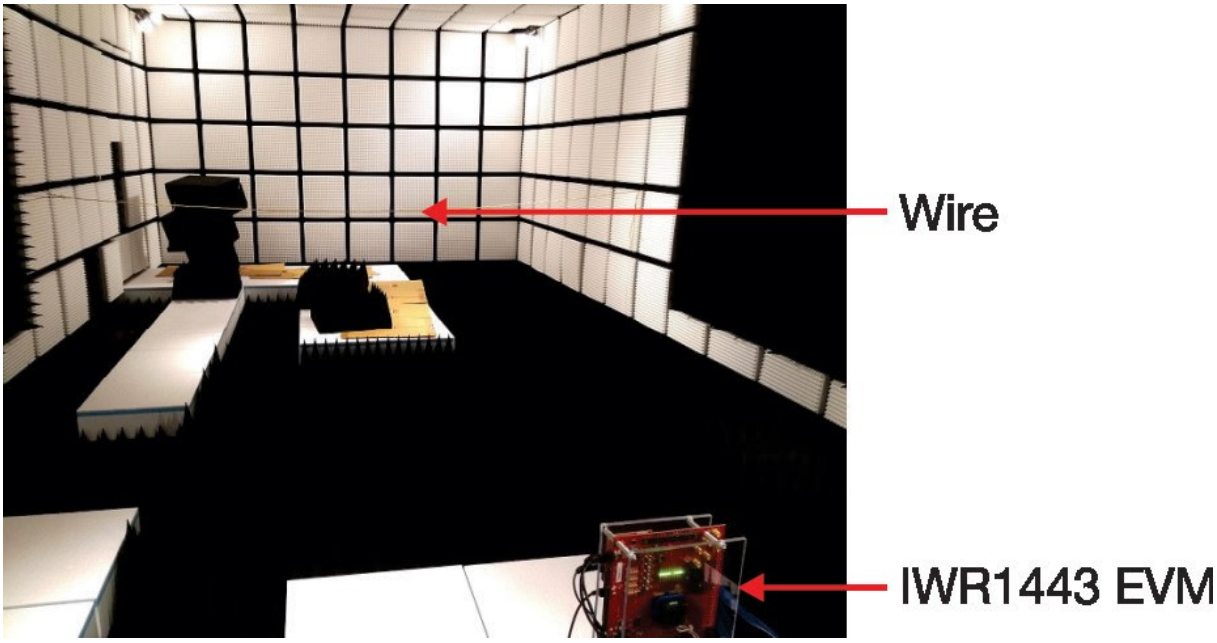


Figure 7 : configuration de l'essai de détection des câbles en chambre anéchoïque

Les types de câbles utilisés pour l'essai consistaient en une rallonge électrique, un câble Ethernet de catégorie 5, un câble non métallique (caoutchouc), deux fils de cuivre de 30 AWG torsadés et un fil de cuivre de 30 AWG, présenté à la figure 8.

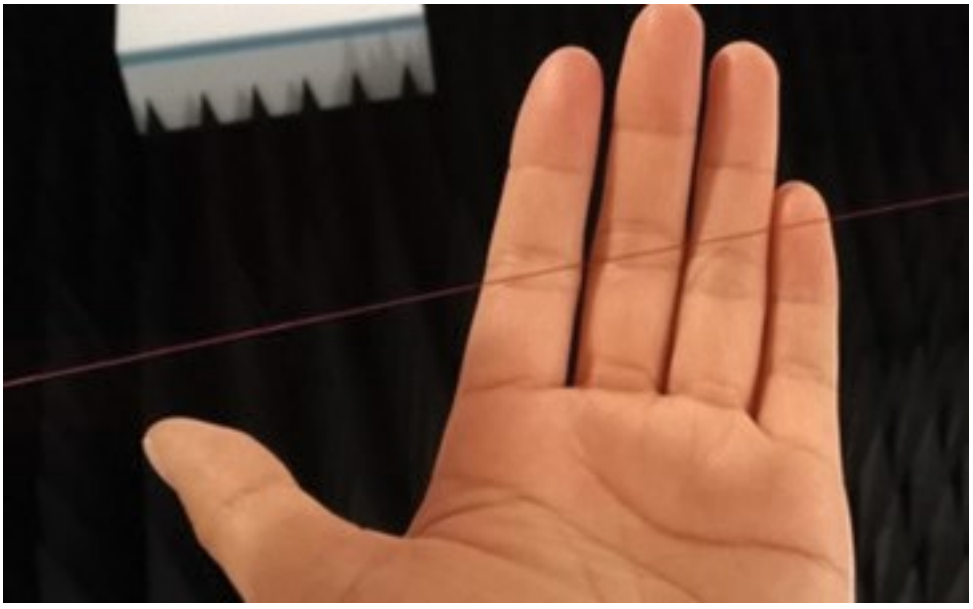


Figure 8 : fil de cuivre de 30 AWG

L'antenne du module d'évaluation à ondes millimétriques IWR1443 a recueilli des mesures en position verticale et horizontale (avec changement de suffixe) à une distance de 1 m. Les résultats sont rapportés dans le tableau 2. Les rapports signal sur bruit (SNR) obtenus en orientation horizontale étaient plus élevés que ceux obtenus en orientation verticale. Cette valeur plus élevée était due à un brouillage réduit dans la chambre anéchoïque avec cette configuration, notamment pour le câble fin (fil simple non torsadé).
Un gain de 6 dB a également été observé en réalisant un beamforming numérique à la réception en utilisant l'antenne à quatre récepteurs sur le module d'évaluation IWR1443.

Parameter	Value
Start frequency	77 GHz
Frequency slope	33 MHz/µs
Sampling rate	10 MHz
ADC samples_3.3G	1000

	CFAR SNR	
Test	no BF	BF
ethernet_1m	21	24
ethernet_1m_flip	21	28
extend_1m	12	14
extend_1m_flip	21	33
rubber_1m	21	31
rubber_1m_flip	8	18
thin_1m	–4	–6
thin_1m_flip	10	18
twist_1m	17	24
twist_1m_flip	14	23

Tableau 2 : analyse du rapport signal sur bruit avec le module d'évaluation IWR1443

Outre le module d'évaluation à ondes millimétriques IWR1443, un circuit de caractérisation interne et une antenne cornet ont été utilisés lors de l'essai de détection des câbles. Le faisceau de l'antenne cornet est bien plus étroit, ce qui permet une réduction significative du brouillage. Durant cet essai, chaque câble a été placé à 4,5 m et le rapport signal sur bruit avec taux de fausses alarmes a été mesuré pour chaque câble. L'équation 2 exprime la portée maximale de détection du câble :
$SNR \sim 1/R^3$ (2)
La figure 9 présente la portée maximale de détection de chaque câble attendue pour un seuil de puissance de 15 dB.

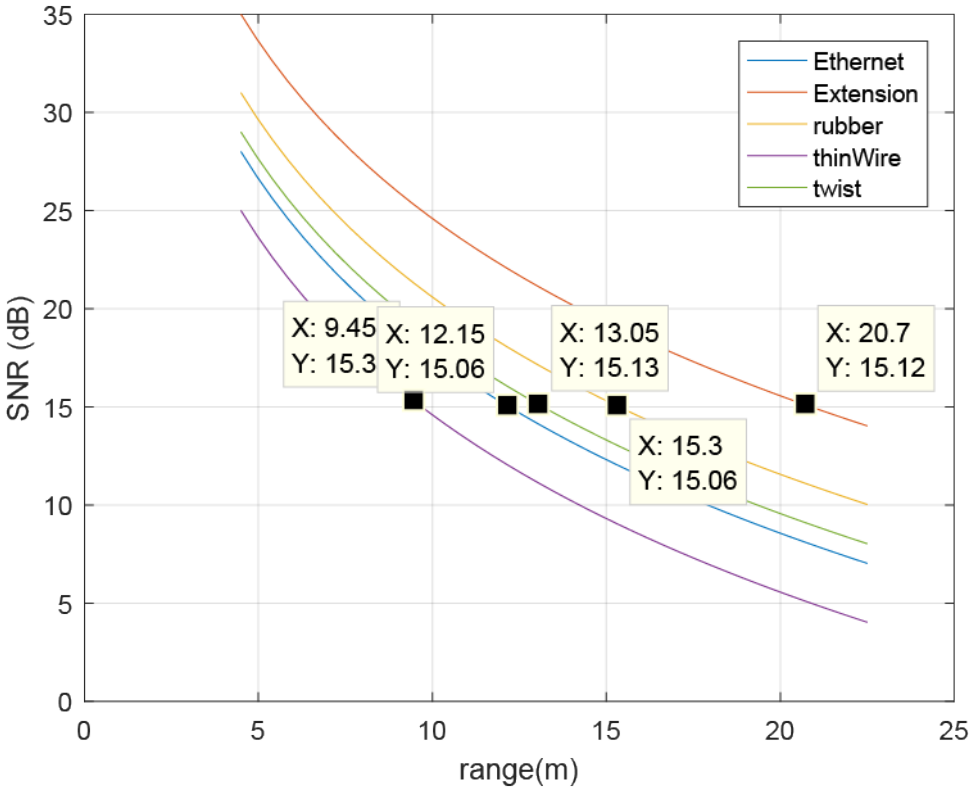


Figure 9 : extrapolation de la portée de détection par type de câble

L'analyse montre que les capteurs à ondes millimétriques de TI peuvent détecter tous les types de câbles utilisés lors de l'essai, avec une portée de détection extrapolée de 9 m pour le câble de 30 AWG à fil simple à 21 m pour le câble du plus grand diamètre, la rallonge électrique.

Le module d'évaluation à ondes millimétriques IWR1443, doté de la technologie MIMO, a recueilli des données relatives à des lignes haute tension en extérieur. Comme le montre la figure 10 à la page suivante, le module d'évaluation peut détecter les lignes à haute tension de manière fiable à une distance de 25 à 38 m pour la ligne du plus petit diamètre, à peine visible sur la photo (la quatrième à partir de la flèche rouge). Ces données concrètes indiquent que les câbles utilisés lors de l'essai en chambre anéchoïque étaient particulièrement difficiles à détecter et que les résultats obtenus par extrapolation sont pour le moins prudents.

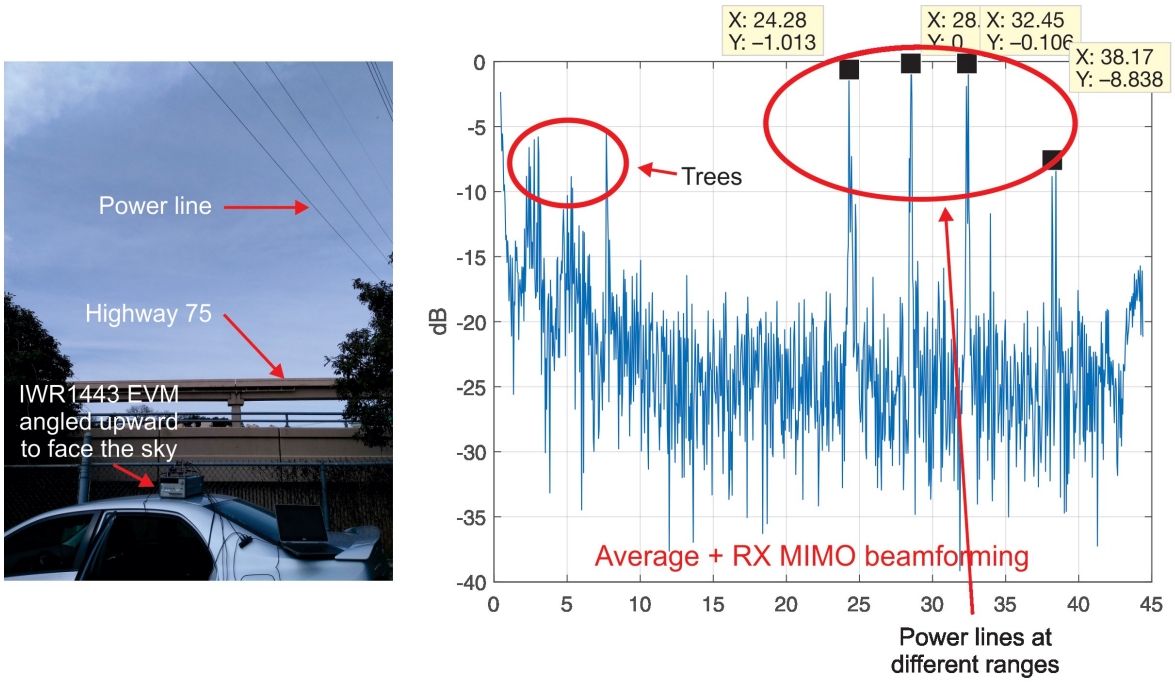


Figure 10 : détection de lignes haute tension en extérieur avec le module d'évaluation IWR1443

Par ailleurs, le feuillage des arbres représentés sur la photo de l'essai apparaissait également dans le champ de vision des capteurs. Les capteurs à ondes millimétriques de TI peuvent détecter le feuillage des arbres, qu'il soit en mouvement ou non, éclairé ou non, sans qu'une puissance de calcul trop gourmande en énergie soit nécessaire.
Les capteurs à ondes millimétriques peuvent détecter avec fiabilité les câbles allant du câble à fil simple très fin aux lignes à haute tension à une distance de presque 40 m.
Ce cas concret a été retenu pour l'analyse en raison des difficultés de détection et de calcul qu'il représentait pour les autres technologies de détection. Il illustre également le déploiement dans le monde réel des drones industriels, qui doivent détecter et contourner les objets pour atteindre la productivité et respecter les niveaux de sécurité attendus.

Conclusion

L'intégration par TI de capteurs à ondes millimétriques sur une monopuce en silicium permet aux concepteurs de créer des drones qui révolutionnent les processus industriels et accroissent leur rentabilité. Ces capteurs présentent une performance supérieure en toutes conditions et à des vitesses élevées, sont capables d'un atterrissage et d'un décollage intelligents et détectent les objets tels que les lignes à haute tension. De telles performances accessibles à des capteurs de petite taille, légers, robustes et aisément intégrés dans les éléments en plastique du drone ont fait des capteurs à ondes millimétriques de TI l'avant-garde des solutions de détection pour la fabrication de drones.

Texas Instruments propose un environnement de développement complet pour les ingénieurs réalisant des produits dotés de capteurs à ondes millimétriques qui comprend :

- des modules d'évaluation pour les appareils à ondes millimétriques IWR1443 et IWR1642 ;

- un kit de développement logiciel pour applications à ondes millimétriques comportant un système d'exploitation temps réel, des pilotes, des bibliothèques relatives au traitement du signal, une interface de programmation applicative pour technologies à ondes millimétriques et des solutions de sécurité (disponibles séparément) ;
- mmWave Studio, une boîte à outils de développement d'algorithmes et d'analyse pour la collecte de données, la visualisation et l'analyse du système.

Pour en savoir plus sur l'offre de TI pour la détection par ondes millimétriques, les outils et logiciels, rendez-vous à l'adresse www.ti.com/mmwave.

Sources

1. *Markets and Markets*, « Drones Market by Type (Fixed Wing, VTOL, STUAS, MALE, HALE, UCAS), Payload (Up to 25 Kg, Up to 150 Kg, Up to 600 Kg, Above 600 Kg), Application (Precision Agriculture, Retail, Media & Entertainment), Component, and Geography – Global Forecast to 2022 », octobre 2016.
2. *PwC*. « Clarity from above. PwC global report on the commercial applications of drone technology », mai 2016.
3. Invention of the Radar – Obstetric ultrasound.
4. RobotShop.com. LIDAR-Lite 3 Laser Rangefinder.