

Un relooking pour le radar, mais la physique reste la même

Le radar agile et ses fondamentaux intemporels – l'équation de la portée d'un radar.

Par Giovanni D'Amore, Marketing Brand Manager RF&MW Products Keysight Technologies

Le radar a fait du chemin depuis la fin du 19ème siècle et a évolué au sein d'une multitude de technologies supportant un large éventail d'applications actuelles. Ces applications vont du radar simple à onde continue (CW), peu coûteux et de petite taille, utilisé par les forces de l'ordre pour détecter les excès de vitesse, aux réseaux complexes d'antennes actives à commande de phase utilisés dans les systèmes radar terrestres, navals et aériens. Un réseau actif typique à commande de phase ou un réseau actif à commande électronique (*Active Electronically Steered Array*, Aesa) se compose de plusieurs centaines ou milliers de modules d'émission/réception (transmit/receive, T/R), réalisés grâce des composants à semi-conducteurs de haute performance.

À mesure que les technologies radar évoluent vers des fréquences plus élevées et des largeurs de bande plus larges, de nouvelles applications précédemment inimaginables sont apparues. L'imagerie micro-onde à bande ultra large, non-ionisante et peu coûteuse, diffère par son approche des techniques d'imagerie existantes et s'avère prometteuse pour les applications dans le domaine des soins médicaux et de santé. La reconnaissance des gestes par radar avec une résolution atteignant la gamme sous-millimétrique offre aux utilisateurs de nouvelles façons d'interagir avec les machines¹. Les technologies radar permettent également la conduite autonome et les drones avec des capacités d'anticollision et d'évaluation de portée. La bande du THz caractérisée par ses propriétés spectrales uniques à l'égard de contenus chimiques et biologiques intéresse à la fois les communautés scientifiques et non scientifiques avec des applications potentielles dans l'imagerie, la prospection et la détection. Bien que le radar génère de nouvelles applications, nous proposons ici un résumé des immuables fondamentaux du radar.

Principe de fonctionnement

Le rôle intrinsèque du radar est de recueillir des informations physiques sur une ou plusieurs cibles : emplacement, vitesse, direction, forme, identité ou simplement présence. Ceci est réalisé en analysant les ondes électromagnétiques réfléchies dans le cas des radars primaires, ou provenant d'une réponse transmise dans le cas des radars secondaires. Dans la plupart des implémentations, un signal pulsé, RF ou microonde, est généré par le système radar, rayonné vers la cible en question et collecté par la même antenne qui a transmis le signal.

Le schéma fonctionnel d'un système radar à impulsions est représenté sur la figure 1. Dans ce schéma, l'horloge principale ou le générateur PRF (*Pulse Repetition Frequency*) est le bloc central du système. Le générateur PRF joue un rôle important pour synchroniser tous les composants du système radar via des connexions au modulateur d'impulsions, au duplexeur ou au commutateur d'émission/réception et au processeur d'affichage. En outre, les connexions au récepteur permettent de gérer les portes temporelle pour la protection de l'étage d'entrée ou le contrôle de gain dynamique tel que le contrôle de la sensibilité

en fonction du temps (*Sensitivity Time Control, STC*).

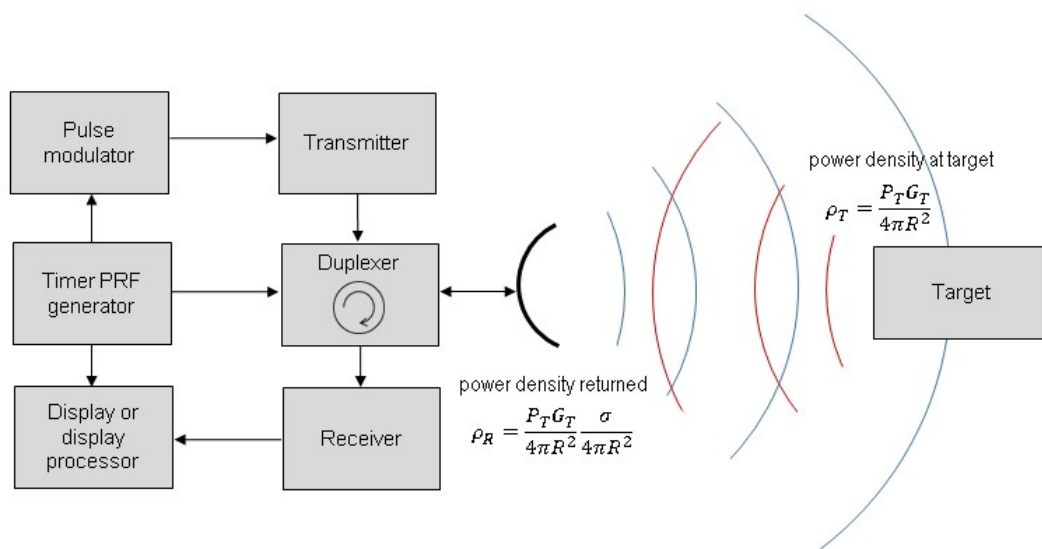


Figure 1. Exemple de bloc diagramme pour un système radar à impulsions

Translation figure:

Pulse modulator : Modulateur d'impulsion

Transmitter : Emetteur

Timer PRF generator : Générateur/compteur PRF

Duplexer : Duplexeur

Display or display processor : Afficheur ou processeur d'affichage

Receiver : Récepteur

Power density returned : Densité de puissance retournée

Power density at target : Densité de puissance à la cible

Etude de l'équation de la portée d'un radar

L'équation de la portée d'un radar réunit les principales variables caractéristiques d'un radar et permet donc de comprendre les mesures effectuées pour assurer une performance optimale. L'équation peut être présentée sous de nombreuses formes différentes. L'équation 1 donne la portée radar maximale en mètres. Pour mieux comprendre l'équation donnée et les hypothèses utilisées, les lecteurs sont encouragés à suivre

le lien proposé par la note 2.

$$R_{max} = [P_T G_T G_R \lambda^2 \sigma / kTB(S/N)(4\pi)^3]^{1/4} \quad (1)$$

Où :

R = distance maximale en mètres

P_T = puissance d'émission en watts

G_T = gain de l'antenne d'émission

G_R = gain de l'antenne de réception

λ = longueur d'onde du signal radar en mètres

σ = section transversale du radar (*Radar Cross Section*, RCS) de la cible en mètres carrés

k = constante de Boltzmann

T = température ambiante en degrés Kelvin

B_n = largeur de bande du bruit du récepteur en Hertz

F_n = coefficient de bruit

S/N = rapport signal/bruit minimal requis

L'étude commence par l'analyse d'un modèle sphérique simple de propagation pour un rayonnement isotrope ou une antenne de type point source. Comme les systèmes radar utilisent des antennes directrices pour focaliser l'énergie rayonnée sur une cible, le gain de l'antenne est défini comme le rapport de la puissance dirigée vers la cible par rapport à la puissance d'une antenne isotrope idéale. L'équation explique les gains directifs d'antenne G_T et G_R pour respectivement la transmission et la réception. Si la même antenne est utilisée pour la transmission et la réception, les deux termes peuvent être remplacés par G pour simplifier.

Une partie de la densité de puissance transmise qui frappe la cible sera réfléchiée dans diverses directions et une partie de l'énergie reviendra vers le système radar. La quantité de cette densité de puissance incidente qui est retransmise vers le radar est fonction de la surface équivalente radar (RCS ou σ) de la cible. La surface équivalente radar RCS (σ) est donnée en unités de surface et est une mesure de la taille de la cible, du point de vue du radar.

Une partie de ce signal réfléchi par la cible sera interceptée par l'antenne radar. Cette puissance de signal sera égale à la densité de puissance de retour à l'antenne multipliée par la surface effective de l'antenne. Le facteur principal limitant le récepteur est le bruit et le rapport signal/bruit (S/N) résultant.

La puissance de bruit (limite théorique) à l'entrée du récepteur est décrite comme un bruit Johnson ou bruit thermique. C'est le résultat du mouvement aléatoire des électrons qui est proportionnel à la température. La puissance de bruit disponible à la sortie du récepteur sera toujours supérieure au bruit thermique de Johnson. Ceci est dû au bruit supplémentaire généré dans le récepteur. Par conséquent,

l'équation 1 prend en compte le bruit généré dans le récepteur en multipliant la puissance de bruit de Johnson par le facteur de bruit F_n et le gain du récepteur.

L'équation 1 décrit la portée maximale de cible pour notre radar en fonction de la puissance de l'émetteur, du gain d'antenne, du RCS de la cible, du facteur de bruit du système et du rapport signal/bruit minimum. En réalité, il s'agit d'un modèle simplifié pour caractériser le système. Il existe de nombreux facteurs qui affecteront également les performances du système, y compris des modifications dans les hypothèses faites pour obtenir cette équation. Deux éléments supplémentaires qui devraient être pris en considération sont les pertes du système et l'intégration des impulsions qui peuvent être appliquées pendant le traitement du signal. Des pertes dans le système se produiront dans le chemin d'émission L_T et dans le chemin de réception L_R .

Dans une application radar à impulsions classique, on pourrait supposer que des impulsions multiples seraient reçues, à partir d'une cible donnée, pour chaque position de l'antenne radar (parce que la largeur du faisceau de l'antenne du radar est supérieure à zéro, on peut supposer que le radar restera sur la cible durant une certaine période de temps). Donc, ces impulsions multiples pourraient être intégrées ensemble pour améliorer les performances du système radar. Comme cette intégration idéale n'est pas réalisable, un terme d'efficacité d'intégration $E_i(n)$ en fonction du nombre d'impulsions intégrées sera utilisé pour décrire l'amélioration de l'intégration. En incluant ces termes, l'équation radar devient:

$$R = [P_T G_T G_R \lambda^2 \sigma E_i(n) / kTB(S/N)(4\pi)^3 L_T L_R]^{1/4} \quad (2)$$

Où :

$E_i(n)$ = facteur d'efficacité d'intégration

L_T = pertes dans le chemin d'émission

L_R = pertes dans le chemin de réception

Pour les radars à antennes multiples, la portée du radar augmenterait proportionnellement au nombre d'éléments, en supposant une performance égale de chaque élément.

Interprétation de l'équation de la portée du radar

La puissance du signal observée dans le récepteur de radar est directement proportionnelle à la puissance transmise, au gain d'antenne (ou à la taille d'ouverture) et à la surface équivalente radar (RCS) (c'est-à-dire le degré avec lequel la cible réfléchit le signal du radar). Plus précisément, la puissance du signal est indirectement proportionnelle à la valeur puissance 4 (d^4) de la distance à la cible. Compte tenu de la grande atténuation qui se produit lorsque le signal se déplace vers et depuis la cible, il est très souhaitable d'avoir une puissance élevée. Cependant, avoir une puissance élevée est difficile en raison de problèmes pratiques tels que la chaleur, les contraintes de tension, les besoins énergétiques instantanés, la taille et le coût du système.

Dans le prochain sujet, nous couvrirons les caractéristiques, les techniques de compression et la mesure du signal radar pulsé.

Références:

1. <https://atap.google.com/soli/>
2. <http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5992-1386EN.pdf?id=2715324>