

Calculer la distance et détecter des objets grâce à la mesure du temps de vol

Auteur : Thomas Brand, ingénieur d'applications senior

L'aptitude à mesurer la distance et détecter des objets joue un rôle croissant dans de nombreux domaines d'application, que ce soit dans l'automatisation industrielle, la robotique ou la logistique. En matière de sécurité, cette technologie permet de détecter la présence d'objets ou de personnes à des distances spécifiques et de réagir en conséquence — par exemple pour interrompre le fonctionnement d'un bras robotisé dès qu'un opérateur pénètre dans son périmètre de sécurité.

La technologie ToF fonctionne selon le principe suivant : un rayon lumineux est émis par une source modulée — un laser, par exemple — et les faisceaux lumineux renvoyés par un ou plusieurs objets sont capturés par un capteur ou une caméra. La distance peut ainsi être mesurée en calculant le temps Δt qui s'écoule entre l'instant où la lumière est émise et le moment où la lumière réfléchie est reçue. Ce délai est proportionnel au double de la distance qui sépare la caméra et l'objet (aller-retour). Il est ainsi possible d'estimer la distance (ou la profondeur « d ») selon l'équation $[d = (c \times \Delta t)/2]$, où « c » désigne la vitesse de la lumière. Une caméra ToF produit des données en 2D, ainsi que les informations de profondeur requises.

La technologie ToF permet d'enregistrer une image entière en une seule fois, ce qui évite de procéder à un balayage ligne par ligne ou de mesurer le mouvement relatif entre le capteur et les objets observés. Souvent rattachée à la catégorie LIDAR (Light Imaging Detection And Ranging, c'est-à-dire détection et télémétrie par la lumière), la technologie ToF correspond davantage à une approche de type « LIDAR flash » que « LIDAR à balayage ».

Deux méthodes sont généralement employées pour mesurer le temps de vol d'une impulsion lumineuse avec la technologie ToF : le fonctionnement pulsé, qui repose sur la technologie des dispositifs à transfert de charges (CCD — Charge Coupled Device), et le fonctionnement en onde entretenue (CW — Continuous Wave).

Tandis que le temps écoulé entre l'émission et la réception de l'impulsion lumineuse est mesuré en mode pulsé, le décalage de phase entre les impulsions lumineuses modulées émises et reçues est déterminé en mode CW. Ces deux techniques présentent des avantages et des inconvénients. Le mode pulsé est plus robuste sous une lumière ambiante et à ce titre, davantage adapté aux applications extérieures ; en effet, cette technologie repose souvent sur des impulsions lumineuses à haute énergie émises en rafales de très courte durée pendant une brève fenêtre d'intégration. Pour sa part, le mode « onde entretenue » peut être plus facile à mettre en œuvre, dans la mesure où la source lumineuse ne doit pas nécessairement être très courte et afficher des fronts montants et descendants rapides. Toutefois, lorsque les exigences de précision deviennent plus strictes, des signaux de modulation de fréquence supérieure s'avéreront nécessaires et leur mise en œuvre risque d'être compliquée.

La taille des pixels existants va de pair avec des résolutions de circuit élevées, ce qui permet non seulement de mesurer des distances, mais également de reconnaître des objets et des gestes. Les distances pouvant être mesurées varient entre quelques centimètres (<10) et plusieurs mètres (jusqu'à 15).

Malheureusement, il est impossible de détecter tous les objets avec la même exactitude, dans la mesure où l'état, le facteur de réflexion (réflectance) et la vitesse de l'objet influencent la précision de la mesure.

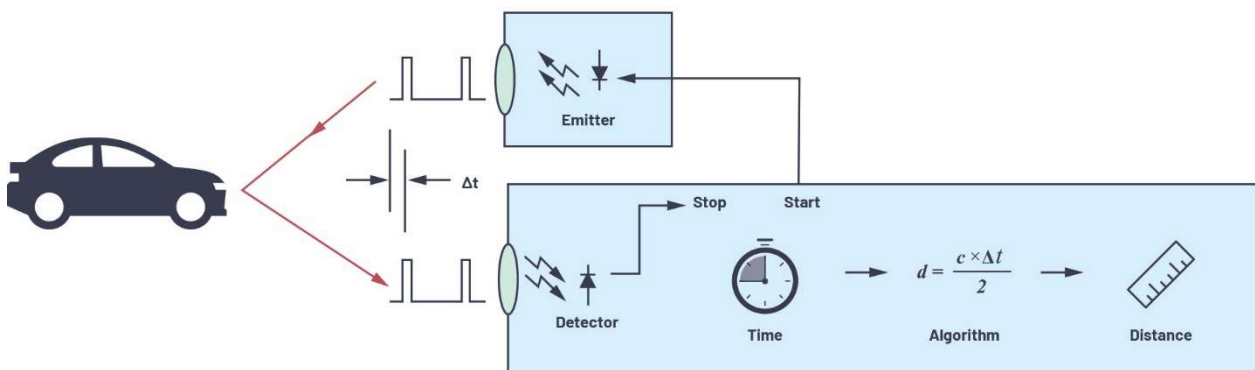


Figure 1. Principe de calcul de la distance par mesure du temps de vol.

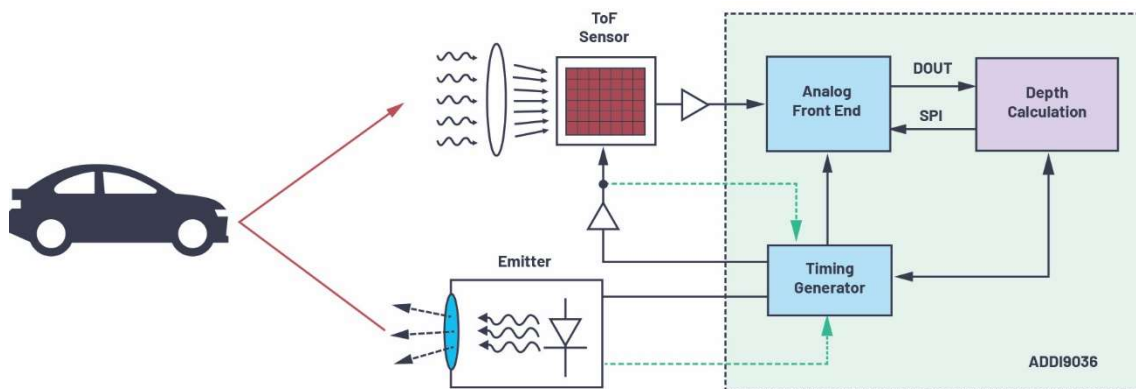


Figure 2. Synoptique d'un système ToF.

Le résultat de la mesure peut également être faussé par des facteurs environnementaux tels que le brouillard ou un ensoleillement élevé. Dans ce dernier cas, la possibilité de supprimer la lumière ambiante est appréciée.

Les fabricants de semiconducteurs comme Analog Devices (ADI) proposent des systèmes complets de calcul de la distance par mesure du temps de vol en 3D qui accélèrent la mise en œuvre de solutions ToF 3D. Ces produits intègrent notamment des fonctions de traitement des données, un pilote laser, une fonction de gestion de l'alimentation et un logiciel/micrologiciel au sein d'une seule et unique unité d'électronique de commande. D'autres composants sont utilisés : un émetteur pour envoyer le signal optique modulé en fréquence et un détecteur pour enregistrer le signal réfléchi. Le synoptique d'un montage ToF fonctionnel est présenté à la figure 2.

Des composants tels qu'un circuit frontal analogique (AFE) avec calcul de profondeur intégré sont précieux pour réaliser un système de ce type. L'ADDI9036 dispose notamment de cette fonction. Ce processeur de signal ToF complet avec CCD comprend un pilote de diode laser intégré, un convertisseur analogique/numérique 12 bits et un générateur d'horloge haute précision qui assure la synchronisation du dispositif à transfert de charges et du laser. Le processeur ADDI9036 assure le traitement des données d'image brutes collectées par un capteur CCD VGA pour générer des données de profondeur/d'image (pixel).

En collaboration avec différents concepteurs, ADI propose des modules finis et des plateformes de développement. Ces systèmes d'évaluation peuvent être utilisés pour développer des algorithmes spécifiques aux clients. Les plateformes et les modules finis permettent d'accélérer la phase de développement, ce qui est particulièrement important dans les domaines où le temps est un facteur décisif, par exemple dans l'industrie et l'ingénierie automobile.