

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 034 513

②1 N° d'enregistrement national : 15 52861

⑤1 Int Cl⁸ : G 01 C 3/06 (2016.01), G 01 S 7/28, 13/02

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 02.04.15.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 07.10.16 Bulletin 16/40.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : STMICROELECTRONICS (GRE-
NOBLE 2) SAS Société par actions simplifiée — FR.

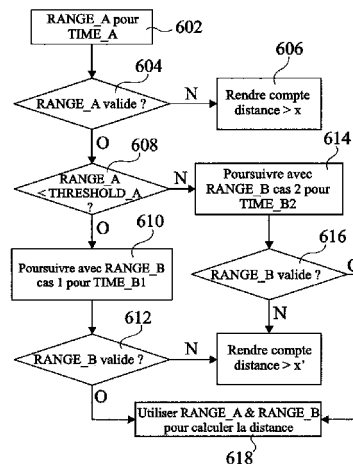
⑦2 Inventeur(s) : DRADER MARC et MELLOTT PASCAL.

⑦3 Titulaire(s) : STMICROELECTRONICS (GRENOBLE
2) SAS Société par actions simplifiée.

⑦4 Mandataire(s) : CABINET BEAUMONT.

⑤4 PROCÉDE ET CIRCUIT DE MESURE DE DISTANCE A REBOUCLAGE.

⑤7 L'invention concerne un procédé d'estimation de la distance d'un objet comprenant: déterminer, par un dispositif de mesure de distance, une première valeur de distance (RANGE_A) sur la base d'un temps de parcours d'une première pluralité d'impulsions optiques ayant une période d'une première durée; déterminer, par le dispositif de mesure de distance, une deuxième valeur de distance (RANGE_B) sur la base d'un temps de parcours d'une deuxième pluralité d'impulsions optiques ayant une période d'une deuxième durée différente de la première durée; et estimer la distance sur la base des première et deuxième valeurs de distance (RANGE_A, RANGE_B).



FR 3 034 513 - A1



PROCEDE ET CIRCUIT DE MESURE DE DISTANCE A REBOUCLAGEDomaine

La présente description concerne le domaine des mesures de distance reposant sur un calcul de temps de parcours, et en particulier un circuit et un procédé pour déterminer la distance d'un objet sur la base d'une ou plusieurs lectures
5 faites par un dispositif de mesure de distance.

Arrière-plan

Les réseaux SPAD peuvent être utilisés dans diverses applications, comprenant la mesure de distance, la reconnaissance de mouvements en Z ou en 3D et l'imagerie 3D. Un
10 dispositif destiné à de telles applications comprend en général une source de lumière destinée à émettre une impulsion lumineuse dans la scène image. La lumière réfléchie par tout objet se trouvant dans la scène image est détectée par le réseau SPAD et
15 est utilisée pour déterminer le temps de parcours de l'impulsion lumineuse. La distance entre l'objet et le dispositif peut alors être déduite sur la base de ce temps de parcours.

La détection par le réseau SPAD de l'impulsion lumineuse renvoyée est basée sur une détection d'évènements dans
20 les cellules du réseau SPAD. En particulier, chaque cellule va fournir une impulsion de sortie lorsqu'un photon est détecté, et

en surveillant les évènements, on peut estimer l'instant d'arrivée de l'impulsion renvoyée.

Une difficulté pour obtenir une lecture de distance valide en utilisant un dispositif de mesure de distance tel qu'un réseau SPAD est que la plage dynamique du dispositif est en général limitée. En particulier, un dispositif comme un réseau SPAD fonctionne en émettant des impulsions optiques avec une certaine période. Plus cette période est courte, plus le système va fonctionner rapidement et donc plus vite la distance va être calculée. Toutefois, la distance qui peut être détectée va aussi être inférieure, puisque l'impulsion optique renvoyée va avoir moins de temps pour revenir avant qu'une impulsion suivante soit émise. En outre, l'impulsion renvoyée peut être détectée après qu'une impulsion optique suivante a été émise, et peut être prise par erreur pour le retour de l'impulsion optique suivante, ce qui conduit à une valeur de distance erronée.

On a donc besoin dans la technique d'un procédé et d'un circuit permettant, de manière performante du point de vue temporel, d'estimer une distance dans une grande plage de distances.

Résumé

Un objet de modes de réalisation de la présente description est de résoudre au moins partiellement un ou plusieurs besoins de l'art antérieur.

Selon un aspect, on prévoit un procédé d'estimation de distance d'un objet comprenant : déterminer, par un dispositif de mesure de distance, une première valeur de distance sur la base d'un temps de parcours d'une première pluralité d'impulsions optiques ayant une période d'une première durée ; déterminer, par le dispositif de mesure de distance, une deuxième valeur de distance sur la base d'un temps de parcours d'une deuxième pluralité d'impulsions optiques ayant une période d'une deuxième durée différente de la première durée ; et estimer la distance sur la base des première et deuxième valeurs de distance.

Selon un mode de réalisation, le procédé comprend en outre, avant de déterminer la deuxième valeur de distance, le fait de comparer la première valeur de distance à un premier niveau de seuil, et sélectionner la deuxième durée supérieure ou inférieure à la première durée en fonction de la comparaison.

Selon un mode de réalisation, la distance estimée est supérieure à une distance correspondant à l'une ou l'autre des première et deuxième valeurs de distance.

Selon un mode de réalisation, l'estimation de la distance sur la base des première et deuxième valeurs de distance comprend : déterminer le plus petit commun multiple des première et deuxième valeurs de distance ; et convertir le plus petit commun multiple en une valeur de distance.

Selon un mode de réalisation, la première durée est égale à N périodes d'un signal d'horloge, et la deuxième durée est égale à M périodes du signal d'horloge, N et M étant des entiers non égaux.

Selon un mode de réalisation, M est sélectionné égal à une valeur de M_L périodes d'horloge ou M_H périodes d'horloge, M_L étant inférieur à N et M_H étant supérieur à N, et le premier niveau de seuil est une valeur de distance maximum pour une période de M_L périodes d'horloge de l'impulsion optique.

Selon un mode de réalisation, la détermination de la distance sur la base des première et deuxième valeurs de distance comprend : incrémenter la première valeur de distance d'une distance correspondant à N périodes d'horloge ; et/ou incrémenter la deuxième valeur de distance d'une distance correspondant à M périodes d'horloge.

Selon un mode de réalisation, les première et deuxième valeurs de distance sont incrémentées jusqu'à ce qu'elles deviennent égales en valeur.

Selon un mode de réalisation, la première pluralité d'impulsions optiques et la deuxième pluralité d'impulsions optiques forment chacune : un signal d'onde carrée ; ou un

signal d'onde sinusoïdale ; ou un signal d'onde triangulaire ;
ou un signal d'onde en dents de scie.

Selon un autre aspect, on prévoit un circuit pour
estimer la distance d'un objet, le circuit comprenant : un
5 dispositif de mesure de distance adapté à déterminer : une
première valeur de distance sur la base d'un temps de parcours
d'une première pluralité d'impulsions optiques ayant une période
d'une première durée ; et une deuxième valeur de distance sur la
base d'un temps de parcours d'une deuxième pluralité
10 d'impulsions optiques ayant une période d'une deuxième durée
différente de la première durée ; et un circuit de traitement
adapté à estimer la distance sur la base des première et
deuxième valeurs de distance.

Selon un mode de réalisation, le dispositif de mesure
15 de distance comprend au moins un réseau de cellules SPAD
(détecteur à avalanche par un seul photon).

Selon un mode de réalisation, le circuit comprend en
outre : un circuit de génération d'impulsions optiques adapté à
générer les première et deuxième pluralités d'impulsions
20 optiques, le circuit de traitement étant en outre adapté à
comparer la première valeur de distance à une valeur de seuil,
et à contrôler le circuit de génération d'impulsions optiques de
telle sorte que la deuxième durée soit sélectionnée, en fonction
de la comparaison, supérieure ou inférieure à la première durée.

25 Selon un mode de réalisation, la distance estimée est
supérieure à une distance correspondant à l'une ou l'autre des
première et deuxième valeurs de distance.

Selon un mode de réalisation, le circuit de traitement
est adapté à estimer la distance sur la base des première et
30 deuxième valeurs de distance : en déterminant le plus petit
commun multiple des première et deuxième valeurs de distance ;
et en convertissant le plus petit commun multiple en une valeur
de distance.

Selon un autre aspect on prévoit un dispositif
35 électronique comprenant : le circuit susmentionné ; et une

source de lumière adaptée à émettre les première et deuxième pluralités d'impulsions optiques.

Brève description des dessins

Les caractéristiques et avantages susmentionnés, et
5 d'autres, apparaîtront clairement avec la description détaillée
suivante de modes de réalisation, donnés à titre d'illustration
et non de limitation, en faisant référence aux dessins joints
dans lesquels :

la figure 1 illustre schématiquement un dispositif
10 SPAD selon un exemple de réalisation de la présente
description ;

la figure 2 illustre schématiquement un circuit de
détection de retard de la figure 1 plus en détail selon un
exemple de réalisation ;

15 la figure 3 est un chronogramme illustrant des
exemples de signaux dans le circuit de la figure 2 selon un
exemple de réalisation ;

la figure 4 est un chronogramme représentant des
signaux renvoyés selon un exemple de réalisation ;

20 la figure 5 est un graphique représentant une valeur
de phase de retour en fonction de la distance pour trois
périodes de capture différentes selon un exemple de
réalisation ;

la figure 6A est un organigramme représentant des
25 étapes d'un procédé de détermination de la distance d'un objet
selon un exemple de réalisation ; et

la figure 6B est un organigramme illustrant la
détermination de la distance sur la base de deux lectures de
distance selon un exemple de réalisation.

30 Description détaillée

Dans la présente description, le terme "connecté" est
utilisé pour désigner une connexion électrique directe entre
deux éléments, alors que le terme "couplé" est utilisé pour
désigner une connexion électrique entre deux éléments qui peut
35 être directe, ou se faire par l'intermédiaire d'un ou plusieurs

autres composants comme des résistances, des condensateurs ou des transistors. En outre, tel qu'il est utilisé ici, le terme "environ" est utilisé pour désigner une plage de +/- 10 % par rapport à la valeur en question.

5 Bien que dans la présente description on décrit des modes de réalisation comprenant un dispositif de mesure de distance ayant la forme d'un réseau SPAD, les principes du circuit et du procédé décrits ici pour calculer une distance par rapport à un objet pourraient être appliqués à tout type de
10 dispositif de mesure de distance sur la base d'une estimation de temps de parcours.

La figure 1 illustre un dispositif SPAD 100 mettant en oeuvre une fonction de mesure de distance. Le dispositif 100 comprend une source de lumière 102, qui est par exemple un
15 laser, pour générer un faisceau d'impulsions lumineuses émis vers la scène image, par exemple par l'intermédiaire d'une lentille 104. Les impulsions lumineuses renvoyées sont par exemple reçues par l'intermédiaire d'une autre lentille 106.

Le dispositif SPAD 100 comprend en outre un circuit de
20 détection 108 pour déterminer la distance entre le dispositif 100 et un objet se trouvant dans la scène image contre lequel se réfléchissent les impulsions lumineuses. Le circuit de détection 108 comprend par exemple un réseau SPAD cible (TARGET SPAD) 110, qui reçoit, par l'intermédiaire de la lentille 106, les
25 impulsions lumineuses renvoyées. Le réseau SPAD cible 110 comprend par exemple un réseau comprenant entre 4 et quelques centaines de cellules SPAD. Dans un exemple, le réseau est un réseau de 12 par 12 comprenant 144 cellules SPAD.

Le circuit de détection 108 comprend aussi par exemple
30 un réseau SPAD de référence (REF SPAD) 112, qui a par exemple les mêmes dimensions que le réseau SPAD cible 110, et qui reçoit une réflexion interne des impulsions lumineuses émises. Un circuit de détection de retard (DELAY DETECTION) 114 est par exemple couplé au réseau SPAD cible 110 et au réseau SPAD de
35 référence 112, et estime le retard entre chaque impulsion

lumineuse émise et l'impulsion lumineuse renvoyée reçue par le réseau SPAD cible 110. Le circuit de détection 108 comprend aussi par exemple un circuit de génération de fréquence (FREQUENCY GENERATION) 116, qui génère un signal de tension VCSEL fourni à un circuit de modulation laser (LASER MOD) 118 pour générer un signal pour piloter la source lumineuse 102. Le circuit de détection de retard 114 fournit par exemple un signal de commande CTRL au circuit de génération de fréquence 116 pour contrôler la période du signal VCSEL.

10 La figure 2 illustre schématiquement plus en détail un circuit 200 faisant partie du circuit de détection de retard 114 de la figure 1 selon un exemple de réalisation. Le circuit 200 reçoit des signaux provenant des cellules du réseau SPAD cible 110. Un circuit similaire est par exemple prévu pour recevoir 15 les signaux provenant des cellules du réseau SPAD de référence 112.

Le circuit 200 comprend par exemple un arbre de portes OU (OR TREE) 202 ayant des entrées couplées respectivement à chacune des cellules SPAD SPAD1 à SPADN du réseau 110, et 20 fournissant, sur sa ligne de sortie 204, des impulsions générées à chaque fois qu'un évènement est détecté par l'une des cellules SPAD. La ligne de sortie 204 est couplée à des compteurs destinés à compter les évènements détectés. Dans l'exemple de la figure 2, la ligne de sortie est couplée à l'entrée d'horloge 25 d'un compteur montant (UP) 206 et d'un compteur descendant (DN) 208. Le compteur montant 206 est activé pendant une période de comptage montant, en fonction d'un signal UP reçu à partir d'un circuit de génération de synchronisation (TIMING GEN) 210, qui reçoit un signal d'horloge CLK. De façon similaire, le compteur 30 descendant 208 est activé pendant une période de comptage descendant, en fonction d'un signal DN reçu du circuit de génération de synchronisation 210. La sortie du compteur 206 est par exemple synchronisée par une bascule 212 sur la base du signal d'horloge CLK, et la sortie du compteur 208 est par 35 exemple synchronisée par une bascule 214 sur la base du signal

d'horloge CLK. Une différence entre les sorties des bascules 212 et 214 est produite par un module de soustraction 216 pour obtenir un signal COUNT_SUM. Ce signal est analysé par un circuit d'analyse 218 afin de générer un signal de phase (PHASE), qui est fourni au circuit de génération de synchronisation 210 et qui est utilisé pour déterminer les éléments temporels à appliquer dans un cycle de détection suivant.

Le signal de phase provenant du circuit 200 est par exemple fourni à un circuit de traitement (P) 220, qui génère le signal de commande CTRL pour le fournir au circuit de génération de fréquence 116 de la figure 1 pour contrôler la période du signal VCSEL. Le circuit de traitement 220 reçoit aussi par exemple un signal de phase PHASE' généré sur la base du signal reçu par le réseau SPAD de référence 112. Le circuit de traitement 220 détermine par exemple une valeur de distance RANGE sur la base des signaux de phase PHASE et PHASE' pour une pluralité de périodes VCSEL, comme on va le décrire plus en détail maintenant.

La figure 3 illustre une fenêtre de comptage (COUNT WINDOW) des compteurs 206, 208 de la figure 2 et les signaux DN et UP contrôlant les compteurs 206, 208, le signal COUNT_SUM et le signal VCSEL utilisé pour générer les impulsions optiques.

La fenêtre de comptage pour chaque phase de détection a par exemple une durée t_{CW} , et les fenêtres de comptage sont séparées par des périodes de temps mort de durée t_{DT} pendant lesquelles les compteurs 206, 208 sont désactivés. La somme des durées t_{CW} et t_{DT} est égale à la période des impulsions optiques, en d'autres termes à la période du signal VCSEL.

Le signal DN est par exemple activé pendant la première moitié de la fenêtre de comptage, et le signal UP est par exemple activé pendant la deuxième moitié de la fenêtre de comptage. Le signal VCSEL est par exemple le signal utilisé pour produire les impulsions lumineuses émises, et ainsi une différence de temps entre ces impulsions et le centre de la

fenêtre de comptage, moyennée sur plusieurs phases de détection, peut être utilisée pour déterminer un premier retard entre VCSEL et l'impulsion lumineuse renvoyée. De façon similaire, un deuxième retard entre VCSEL et l'impulsion de référence est par exemple calculé. La différence entre le premier retard et le
5 deuxième retard est par exemple déterminée afin d'estimer le temps de parcours.

La figure 4 est un chronogramme représentant le signal VCSEL utilisé pour générer les impulsions optiques, et les
10 caractéristiques temporelles des impulsions renvoyées (RTN PULSE). Dans deux premières phases de détection représentées en figure 4, la période d'impulsion optique 402 est relativement longue, par exemple égale à 18 périodes d'horloge du signal d'horloge CLK (non illustré en figure 4). Une impulsion haute du
15 signal VCSEL, et ainsi l'émission de l'impulsion optique, surviennent par exemple près du début de chaque période d'impulsion optique 402. L'impulsion renvoyée détectée arrive par exemple près de la fin de la période d'impulsion optique, et par conséquent dans cet exemple on peut déterminer une distance.

20 Toutefois, dans deux phases de détection suivantes représentées en figure 4, la période d'impulsion optique est réduite à une valeur 404 ayant une durée relativement courte, par exemple égale à 10 périodes d'horloge. Bien que le temps de parcours soit le même que dans les deux premières phases de
25 détection, l'impulsion renvoyée est maintenant reçue pendant une période d'impulsion optique suivante, ce qui signifie que la valeur de phase va être calculée comme si l'impulsion optique avait été émise pendant la période d'impulsion optique suivante. Ce phénomène va être appelé ici "rebouclage". En outre, dans
30 l'exemple de la figure 4, l'impulsion optique est reçue après l'impulsion haute suivante de VCSEL, et par conséquent l'impulsion envoyée va générer une valeur de distance valide mais erronée, qui va être inférieure à la phase réelle d'une valeur de temps égale à la période 404 des impulsions optiques.

Bien que la figure 4 illustre un cas dans lequel une impulsion optique émise dans une période d'impulsion optique donnée est détectée pendant une période d'impulsion optique suivante, pour des objets plus éloignés, l'impulsion renvoyée
5 pourrait être détectée dans des périodes d'impulsions optiques encore plus tardives.

Dans les exemples des figures 3 et 4, le signal VCSEL est un signal d'onde carrée, et les impulsions optiques produites forment aussi par exemple une onde carrée. Toutefois,
10 dans des variantes de réalisation, le signal VCSEL utilisé pour produire les impulsions optiques, et les impulsions elles-mêmes, pourraient prendre d'autres formes. Par exemple, le signal VCSEL et les impulsions optiques pourraient former un signal d'onde sinusoïdale continue, ayant des pics qui correspondent aux
15 impulsions optiques, et des creux dans lesquels le signal optique tombe à zéro. Dans un tel cas, la période du signal d'impulsion optique serait la période de la sinusoïde. Dans d'autres exemples, le signal VCSEL et les impulsions optiques pourraient avoir la forme d'ondes triangulaires ou de dents de
20 scie dans lesquelles les pics de ces signaux forment les impulsions optiques.

On va maintenant décrire un procédé pour déterminer la distance réelle dans des situations comme celles de la figure 4, en faisant référence aux figures 5, 6A et 6B.

25 La figure 5 illustre la phase du retour, représentée en périodes d'horloges du signal d'horloge CLK, pour des distances d'objets allant jusqu'à 600 cm, et pour trois périodes d'impulsions optiques. Tel qu'il est utilisé ici, le terme "distance", est utilisé pour désigner la valeur de phase du
30 retour, qui peut être erronée, et le terme "distance effective" est utilisé pour désigner la distance effective de l'objet.

Par exemple, une courbe 502 en trait interrompu représente la phase du retour pour une période d'impulsion optique de 10 périodes d'horloge CLK. Une telle période
35 d'impulsion optique fournit par exemple des valeurs de distance

allant jusqu'à une limite 504 correspondant par exemple à une distance effective d'environ 140 cm. Toutefois, pour réduire le risque d'écrêtage, la limite supérieure représentée par une ligne en trait interrompu 505 est par exemple appliquée aux valeurs de distance générées pour la courbe 502, correspondant par exemple à une distance effective d'environ 115 cm. En outre, après un rebouclage, des valeurs de distance qui sont obtenues correspondent par exemple à des distances effectives comprises entre environ 195 cm et une limite 506 correspondant par exemple à une distance effective d'environ 380 cm. Toutefois, pour éviter un écrêtage, une limite inférieure 507 est par exemple appliquée en plus de la limite supérieure 505, ce qui conduit à des distances valides correspondant à des distances effectives d'environ 240 cm à environ 365 cm. De façon similaire, des valeurs de distance valides sont ensuite de nouveau obtenues pour des distances comprises entre environ 480 cm et une limite non illustrée en figure 5. La courbe 502 se répète par exemple de cette façon périodique jusqu'à une limite de distance de transmission de l'impulsion optique qui est par exemple d'environ 13 m, mais qui pourrait être supérieure.

Une courbe en pointillé 508 représente la phase du retour pour une période d'impulsion optique de 14 périodes d'horloge CLK. Une telle période d'impulsion optique fournit par exemple des valeurs de distance allant jusqu'à une limite 510 correspondant par exemple à une distance effective d'environ 190 cm, mais ici encore une limite supérieure représentée par une ligne en trait interrompu 511 est par exemple appliquée pour éviter un écrêtage, ce qui conduit à ce qu'une distance valide est disponible pour des distances effectives allant jusqu'à environ 165 cm. En outre, après le rebouclage, et au vu des limites inférieure et supérieure 507, 511, une distance valide est par exemple obtenue pour la distance effective d'environ 330 cm jusqu'à une limite 512 correspondant par exemple à une distance effective d'environ 540 cm. La courbe 508 se répète par

exemple de cette manière périodique jusqu'à la limite de distance de transmission de l'impulsion optique.

Une courbe en trait plein 514 représente la phase du retour pour une période d'impulsion optique de 18 périodes d'horloge CLK. Une telle période d'impulsion optique fournit par exemple des valeurs de distance allant jusqu'à une limite 516 correspondant par exemple à une distance effective d'environ 230 cm, mais ici encore une limite supérieure représentée par une ligne 521 en trait interrompu est par exemple appliquée pour éviter un écrêtage, ce qui conduit à ce qu'une distance valide est disponible pour des distances effectives allant jusqu'à environ 220 cm. En outre, après le rebouclage, une distance valide est par exemple obtenue pour la distance effective d'environ 430 cm jusqu'à une limite supérieure à 6 m et non illustrée en figure 5. La courbe 514 se répète par exemple de cette manière périodique jusqu'à la limite de distance de transmission de l'impulsion optique.

Comme on peut le voir d'après la figure 5, pour la plupart des distances, il y aura au moins deux lectures de distance valides, en d'autres termes au moins deux phases renvoyées valides.

Un procédé de détermination de la distance effective d'un objet est par exemple basé sur au moins deux valeurs de distances obtenues en utilisant des périodes d'impulsion optique différentes, comme on va le décrire maintenant en faisant référence aux figures 6A et 6B.

La figure 6A est un organigramme illustrant des opérations dans un procédé de détermination de la distance d'un objet selon un exemple de réalisation. Ce procédé est par exemple mis en oeuvre sous forme de matériel, ou par du logiciel exécuté par un dispositif de traitement, dans le circuit de traitement 220.

Dans une opération 602, une première distance "RANGE_A" est déterminée en utilisant une période d'impulsion optique TIME_A. Cette période d'impulsion optique est par

]

13

exemple à un niveau intermédiaire parmi les périodes possibles pouvant être sélectionnées par le dispositif de mesure de distance. Par exemple, si le dispositif de mesure de distance est capable d'utiliser l'une de trois périodes d'impulsion
5 optique différentes, TIME_A correspond par exemple à la période d'impulsion intermédiaire. Dans un exemple où les périodes d'impulsions optiques sont égales à 10, 14 et 18 périodes d'horloge, TIME_A correspond par exemple à la valeur de 14 périodes d'horloge.

10 Dans une opération suivante 604, on détermine si la distance de la valeur RANGE_A est valide. Par exemple, si aucune lecture de phase ne peut être faite, le dispositif de mesure de distance fournit par exemple un code d'erreur, indiquant que la valeur de distance est non valide. En plus ou à la place, la
15 phase du retour est comparée aux seuils haut et bas représentés par la ligne 507 en figure 5. Si la phase est en dehors des limites définies par ces seuils, la distance est déterminée comme étant non valide, et dans une opération suivante 606, la distance est indiquée comme étant supérieure à x, où x est par
20 exemple la distance la plus grande qui peut être déterminée de façon fiable en utilisant une période d'impulsion optique de durée TIME_A. Dans l'exemple de la figure 5, x est par exemple choisi aux environs de 125 cm.

Si une distance valide est obtenue dans l'opération
25 604, dans une opération suivante 608, la valeur de distance RANGE_A est comparée à un seuil THRESHOLD_A. Ce seuil correspond par exemple à la distance de la ligne en trait interrompu 505 en figure 5, qui est légèrement inférieure aux limites 504, 506, etc., pour une période d'impulsion optique de 10 périodes
30 d'horloge.

Dans le cas où la valeur de distance RANGE_A est inférieure au seuil, dans une opération suivante 610, une nouvelle distance RANGE_B est déterminée par le dispositif de mesure de distance en utilisant une période d'impulsion optique
35 de durée TIME_B1, la durée TIME_B1 étant inférieure à la durée

TIME_A. Cela est par exemple obtenu en émettant, par le circuit de traitement 220, un signal de commande approprié CTRL vers le circuit de génération de fréquence 116 de la figure 1. La durée TIME_B1 correspond par exemple à 10 périodes d'horloge dans l'exemple de la figure 5. Dans une opération suivante 612, on détermine alors si la valeur de distance RANGE_B est valide, par exemple de la même façon que celle décrite précédemment en référence à l'opération 604, mais sur la base des limites inférieure et supérieure 507 et 505 représentées en figure 5.

10 Par contre, dans le cas où, dans l'opération 608, la valeur de distance "RANGE_A" est déterminée comme étant supérieure à la valeur de seuil THRESHOLD_A, dans une opération suivante 614, une nouvelle distance RANGE_B est déterminée par le dispositif de mesure de distance en utilisant une période d'impulsion optique de durée TIME_B2, la durée TIME_B2 étant supérieure à la durée TIME_A. Ici encore, cela est par exemple obtenu en émettant, par le circuit de traitement 220, un signal de commande CTRL approprié vers le circuit de génération de fréquence 116 de la figure 1. La durée TIME_B2 correspond par exemple à 18 périodes d'horloge dans l'exemple de la figure 5. Dans une opération suivante 616, on détermine alors si la valeur de distance RANGE_B est valide, par exemple de la même façon que celle décrite précédemment en référence à l'opération 604, mais sur la base des limites inférieure et supérieure 507 et 521 représentées en figure 5.

25 Le seuil THRESHOLD_A appliqué dans l'opération 608 est par exemple choisi de telle sorte que les distances situées en-dessous de ce seuil puissent être mesurées de façon valide en utilisant des impulsions optiques ayant la période TIME_B1.

30 Si dans les opérations 612 ou 616, la valeur de distance RANGE_B est déterminée comme étant non valide, elle est par exemple indiquée comme étant supérieure à une distance x', x' étant par exemple égale à la même distance x que celle de l'opération 606 si la période d'impulsion optique a été réduite à une durée TIME_B1, ou égale à la distance la plus grande qui

35

peut être déterminée de façon fiable en utilisant une période d'impulsion optique de durée TIME_B2, par exemple égale à environ 2 m. Toutefois, si la distance est valide, dans une opération suivante 618, la distance est déterminée sur la base
5 des valeurs de distance RANGE_A et RANGE_B. Un exemple de mise en oeuvre de l'opération 618 va maintenant être décrit en faisant référence à la figure 6B.

La figure 6B est un organigramme illustrant un exemple de procédé de détermination de la distance d'un objet sur la
10 base de deux valeurs de distances.

L'exemple de la figure 6B est basé sur le cas où les valeurs de distance RANGE_A et RANGE_B sont respectivement des valeurs RANGE_14 et RANGE_10 basées sur des périodes d'impulsion optique de respectivement 14 et 10 périodes d'horloge, comme
15 cela est représenté dans l'opération 620 de la figure. Toutefois, on pourrait appliquer le même procédé à des distances obtenues sur la base de périodes différentes des impulsions optiques. On supposera que chacune des valeurs de distance est représentée par un nombre de périodes d'horloge mesuré avant de
20 prendre en compte les caractéristiques temporelles mesurées de l'impulsion renvoyée de référence. Dans des variantes de réalisation, le procédé pourrait être appliqué après que les valeurs de distance ont été converties en valeurs de distance réelles.

25 Dans une opération 622, on détermine si la valeur RANGE_10 est inférieure à la valeur RANGE_14. Si oui, la valeur de RANGE_10 est par exemple incrémentée de 10 périodes d'horloge dans une opération 624, puis l'opération 622 est par exemple répétée. L'opération 622 est répétée jusqu'à ce que la valeur de
30 RANGE_10 soit égale ou supérieure à la valeur de RANGE_14, puis l'opération suivante est l'opération 626.

Dans l'opération 626, la valeur de RANGE_10 est de nouveau comparée à la valeur de RANGE_14, et si elle est supérieure, l'opération suivante est l'opération 628, dans
35 laquelle 14 périodes d'horloge sont ajoutées à la valeur

RANGE_14. L'opération 622 est ensuite par exemple répétée. Ainsi, les opérations 622 et 626 vont être répétées jusqu'à ce que le plus petit commun multiple de ces valeurs de distance soit trouvé, puis l'opération suivante est l'opération 630.

5 Dans l'opération 630, la distance est déterminée comme étant la moyenne des valeurs RANGE_14 et RANGE_10.

 Dans un exemple, la valeur de distance RANGE_10 est initialement égale à 6,5, et la valeur de distance RANGE_14 est initialement égale à 2,5, ce qui correspond à une distance
10 d'objet de 360 cm représentée par une ligne 522 en trait interrompu en figure 5. Ainsi, dans l'opération 622, la valeur RANGE_10 est supérieure à la valeur RANGE_14, et par conséquent dans l'opération 626 la valeur RANGE_14 est incrémentée de 14, ce qui conduit à une valeur de 16,5. Le procédé revient ensuite
15 à l'opération 622, dans laquelle cette fois RANGE_14 (16,5) est supérieure à RANGE_10 (6,5), et par conséquent 10 est ajouté à RANGE_10 dans l'opération 624. Maintenant, les valeurs RANGE_10 et RANGE_14 sont égales, et ainsi dans l'opération 630 la
20 distance va correspondre à une conversion de 16,5 en une valeur de distance d'environ 360 cm. Par exemple, la relation entre la distance et la phase est donnée par l'équation $\text{Distance} = (\text{Phase-offset}) \times F$, où dans l'exemple de la figure 5, le décalage offset est égal à environ 2, et le facteur F est égal à environ 25 cm. Dans certains modes de réalisation, la
25 distance peut être modifiée sur la base d'une valeur de phase de l'impulsion renvoyée de référence détectée par le réseau SPAD de référence 112 de la figure 1.

 Un avantage des modes de réalisation décrits ici est que la portée du dispositif de mesure de distance peut être
30 notablement étendue en bénéficiant de l'effet de rebouclage et en reposant sur plus qu'une seule valeur de distance déterminée en utilisant des périodes d'impulsion optique de durées différentes.

Avec la description ainsi faite d'au moins un mode de réalisation illustratif, diverses altérations, modifications et améliorations apparaîtront facilement à l'homme de l'art.

5 Par exemple, il apparaîtra clairement à l'homme de l'art que le fait d'utiliser des périodes d'impulsion optique de 10, 14 et 18 périodes d'horloge est simplement un exemple, et que de nombreuses valeurs différentes seraient possibles.

10 En outre, la génération du signal d'impulsion optique VCSEL sur la base d'un nombre de périodes d'horloge est simplement un exemple, et il apparaîtra clairement à l'homme de l'art que des variantes de réalisation seraient possibles pour la génération du signal d'impulsion optique.

15 En outre, il apparaîtra clairement à l'homme de l'art que les divers éléments décrits en relation avec les divers modes de réalisation pourraient être combinés, dans des variantes de réalisation, selon des combinaisons quelconques.

REVENDICATIONS

1. Procédé d'estimation de la distance d'un objet comprenant :

déterminer, par un dispositif de mesure de distance, une première valeur de distance (RANGE_A) sur la base d'un temps de
5 parcours d'une première pluralité d'impulsions optiques ayant une période d'une première durée ;

déterminer, par le dispositif de mesure de distance, une deuxième valeur de distance (RANGE_B) sur la base d'un temps de
10 parcours d'une deuxième pluralité d'impulsions optiques ayant une période d'une deuxième durée différente de la première durée ; et

estimer la distance sur la base des première et deuxième valeurs de distance (RANGE_A, RANGE_B).

2. Procédé selon la revendication 1, comprenant en outre, avant de déterminer la deuxième valeur de distance
15 (RANGE_B), le fait de comparer la première valeur de distance (RANGE_A) à un premier niveau de seuil, et sélectionner la deuxième durée supérieure ou inférieure à la première durée en fonction de la comparaison.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel
20 l'estimation de la distance sur la base des première et deuxième valeurs de distance comprend :

déterminer le plus petit commun multiple des première et deuxième valeurs de distance ; et

25 convertir le plus petit commun multiple en une valeur de distance.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la première durée est égale à N périodes d'un signal d'horloge, et la deuxième durée est égale à M périodes du signal d'horloge, N et M étant des entiers non égaux.

30 5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel M est sélectionné égal à une valeur de M_L périodes d'horloge ou M_H périodes d'horloge, M_L étant inférieur à N et M_H étant supérieur à N, et le premier niveau de seuil est une valeur de distance

maximum pour une période de M_T périodes d'horloge de l'impulsion optique.

5 6. Procédé selon la revendication 4 ou 5, dans lequel la détermination de la distance sur la base des première et deuxième valeurs de distance (RANGE_A, RANGE_B) comprend :

incrémenter la première valeur de distance (RANGE_A) d'une distance correspondant à N périodes d'horloge ; et/ou

incrémenter la deuxième valeur de distance (RANGE_B) d'une distance correspondant à M périodes d'horloge.

10 7. Procédé selon la revendication 6, dans lequel les première et deuxième valeurs de distance sont incrémentées jusqu'à ce qu'elles deviennent égales en valeur.

15 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel la première pluralité d'impulsions optiques et la deuxième pluralité d'impulsions optiques forment chacune :

un signal d'onde carrée ; ou

un signal d'onde sinusoïdale ; ou

un signal d'onde triangulaire ; ou

un signal d'onde en dents de scie.

20 9. Circuit pour estimer la distance d'un objet, le circuit comprenant :

un dispositif de mesure de distance adapté à déterminer :

25 - une première valeur de distance (RANGE_A) sur la base d'un temps de parcours d'une première pluralité d'impulsions optiques ayant une période d'une première durée ; et

- une deuxième valeur de distance (RANGE_B) sur la base d'un temps de parcours d'une deuxième pluralité d'impulsions optiques ayant une période d'une deuxième durée différente de la première durée ; et

30 un circuit de traitement (220) adapté à estimer la distance sur la base des première et deuxième valeurs de distance (RANGE_A, RANGE_B).

10. Circuit selon la revendication 9, dans lequel le dispositif de mesure de distance comprend au moins un réseau (110, 112) de cellules SPAD (détecteur à avalanche par un seul photon).

5 11. Circuit selon la revendication 9 ou 10, comprenant en outre :

un circuit de génération d'impulsions optiques (116, 118, 102) adapté à générer les première et deuxième pluralités d'impulsions optiques, le circuit de traitement (220) étant en outre adapté à comparer la première valeur de distance à une
10 valeur de seuil (THRESHOLD_A), et à contrôler le circuit de génération d'impulsions optiques (116, 118, 102) de telle sorte que la deuxième durée soit sélectionnée, en fonction de la comparaison, supérieure ou inférieure à la première durée.

12. Circuit selon l'une quelconque des revendications 9
15 à 11, dans lequel le circuit de traitement (220) est adapté à estimer la distance sur la base des première et deuxième valeurs de distance :

en déterminant le plus petit commun multiple des première et deuxième valeurs de distance ; et

20 en convertissant le plus petit commun multiple en une valeur de distance.

13. Dispositif électronique comprenant :

le circuit de l'une quelconque des revendications 9 à
12 ; et

25 une source de lumière (102) adaptée à émettre les première et deuxième pluralités d'impulsions optiques.

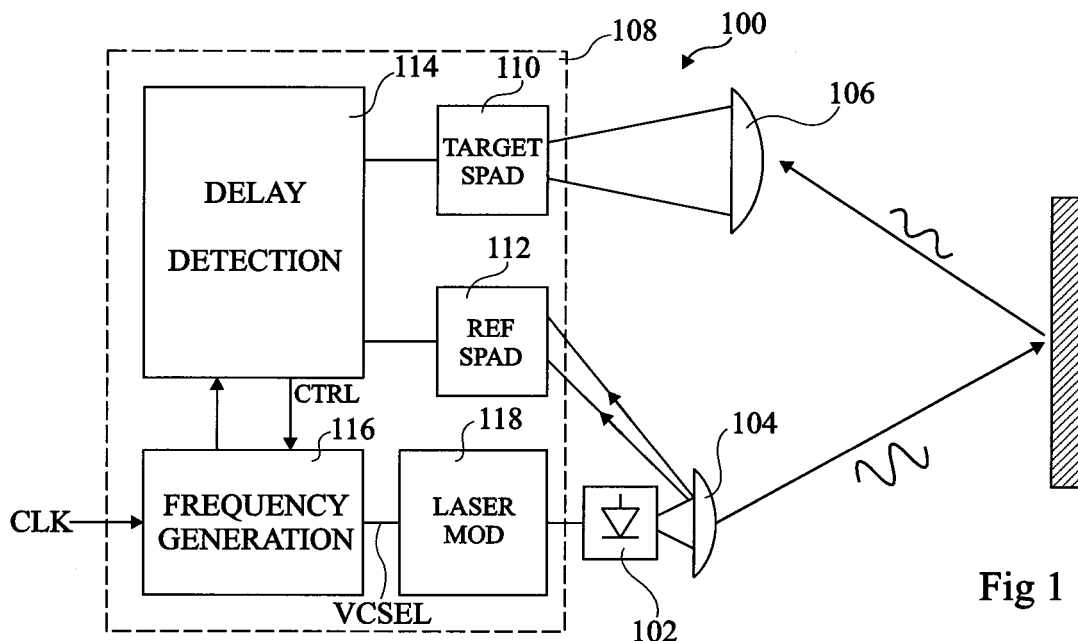


Fig 1

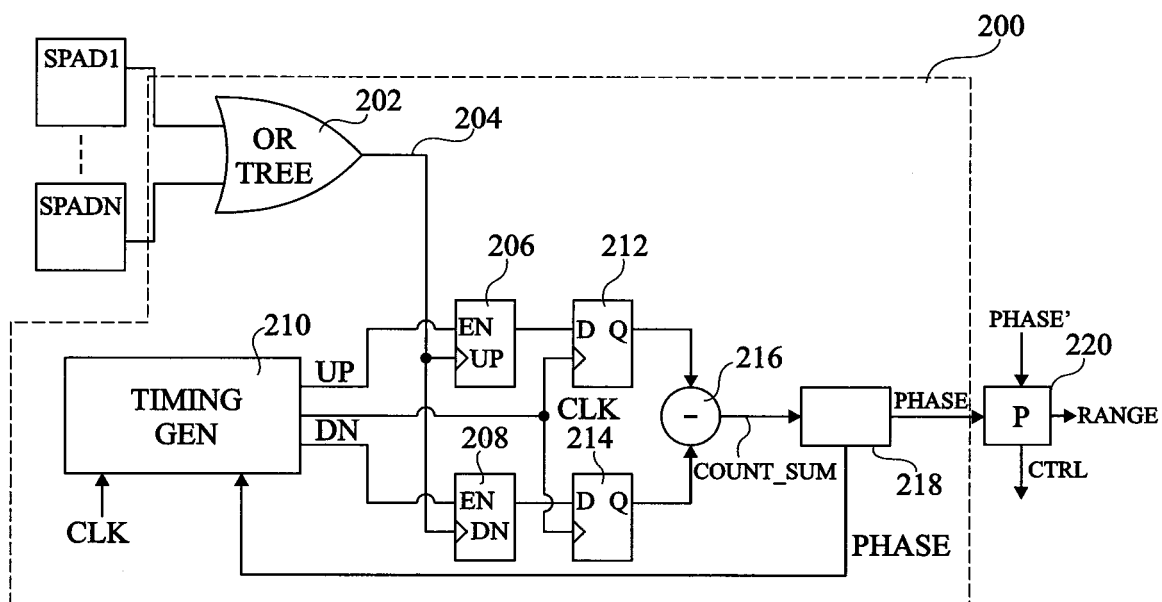


Fig 2

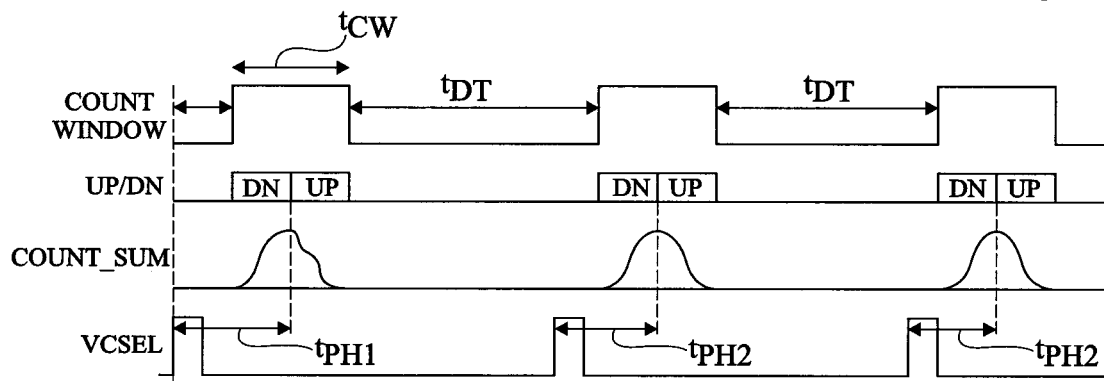


Fig 3

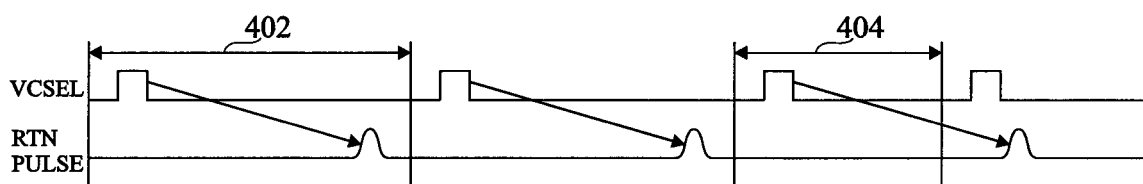


Fig 4

Phase du retour

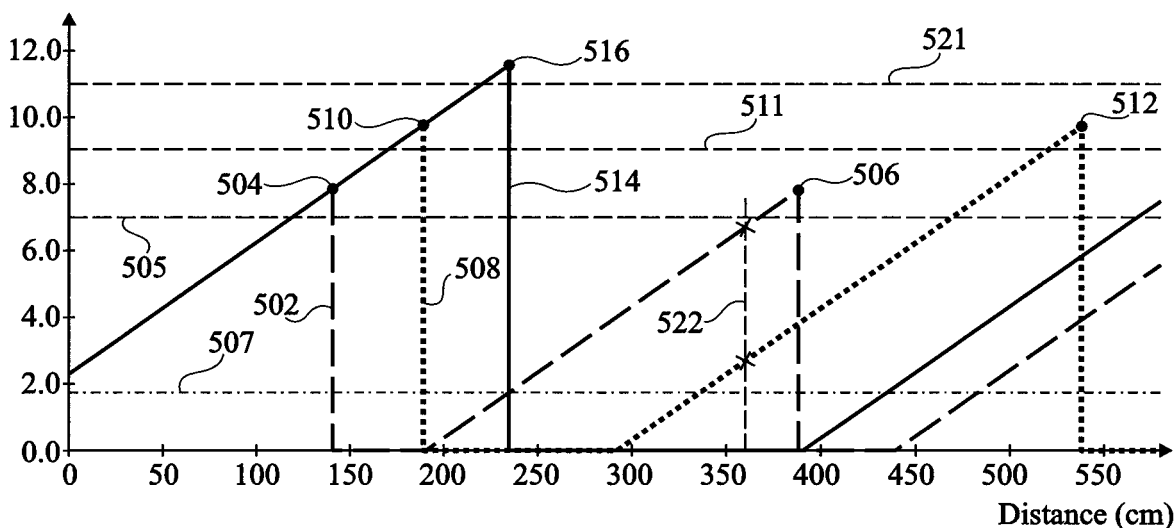


Fig 5

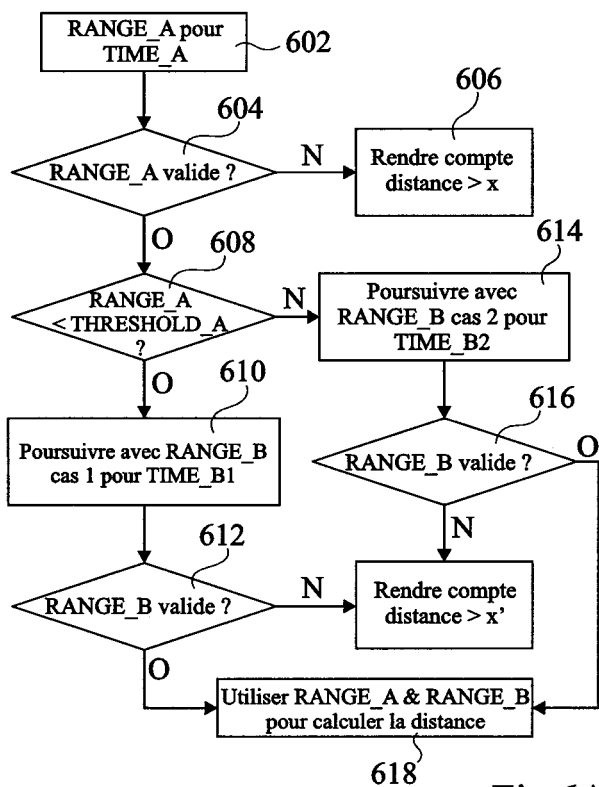


Fig 6A

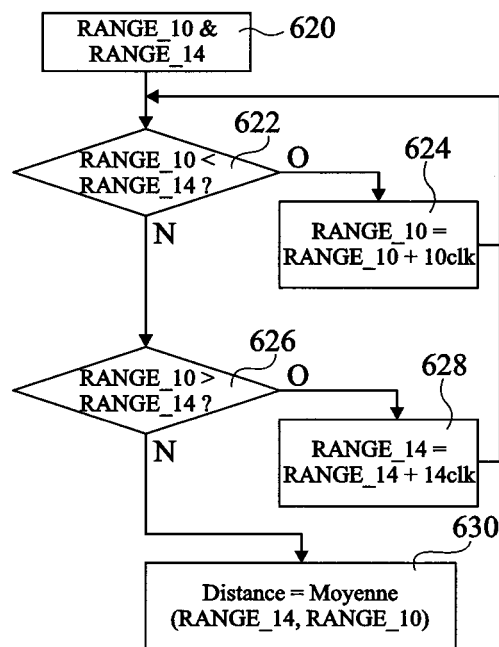


Fig 6B



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 815020
FR 1552861

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X A	US 2006/132754 A1 (GOGOLLA TORSTEN [DE] ET AL) 22 juin 2006 (2006-06-22) * alinéas [0023] - [0027]; figure 1 * -----	1,3-9, 12,13 2,11	G01C3/06 G01S7/28 G01S13/02
X A	US 2004/085526 A1 (GOGOLLA TORSTEN [DE] ET AL) 6 mai 2004 (2004-05-06) * alinéas [0095] - [0110] * -----	1,3-10, 12,13 2,11	
X A	US 2008/304043 A1 (BENZ PAUL [CH] ET AL) 11 décembre 2008 (2008-12-11) * alinéas [0023], [0038] - [0046] * -----	1,3-10, 12,13 2,11	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G01S
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
24 février 2016		Kern, Olivier	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1552861 FA 815020**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **24-02-2016**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2006132754 A1	22-06-2006	AT 443273 T	15-10-2009
		DE 102004060619 A1	06-07-2006
		EP 1672391 A2	21-06-2006
		JP 5416878 B2	12-02-2014
		JP 2006171004 A	29-06-2006
		US 2006132754 A1	22-06-2006

US 2004085526 A1	06-05-2004	AT 412023 B	26-08-2004
		CH 696677 A5	14-09-2007
		DE 10112833 C1	13-03-2003
		JP 4145536 B2	03-09-2008
		JP 2002323562 A	08-11-2002
		US 2004085526 A1	06-05-2004

US 2008304043 A1	11-12-2008	AT 512374 T	15-06-2011
		CN 101080647 A	28-11-2007
		EP 1672382 A1	21-06-2006
		EP 1825294 A1	29-08-2007
		JP 5108526 B2	26-12-2012
		JP 2008524563 A	10-07-2008
		US 2008304043 A1	11-12-2008
		WO 2006063740 A1	22-06-2006



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 815020
FR 1552861

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X A	US 2006/132754 A1 (GOGOLLA TORSTEN [DE] ET AL) 22 juin 2006 (2006-06-22) * alinéas [0023] - [0027]; figure 1 * -----	1,3-9, 12,13 2,11	G01C3/06 G01S7/28 G01S13/02
X A	US 2004/085526 A1 (GOGOLLA TORSTEN [DE] ET AL) 6 mai 2004 (2004-05-06) * alinéas [0095] - [0110] * -----	1,3-10, 12,13 2,11	
X A	US 2008/304043 A1 (BENZ PAUL [CH] ET AL) 11 décembre 2008 (2008-12-11) * alinéas [0023], [0038] - [0046] * -----	1,3-10, 12,13 2,11	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G01S
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
24 février 2016		Kern, Olivier	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1552861 FA 815020**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **24-02-2016**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2006132754 A1	22-06-2006	AT 443273 T	15-10-2009
		DE 102004060619 A1	06-07-2006
		EP 1672391 A2	21-06-2006
		JP 5416878 B2	12-02-2014
		JP 2006171004 A	29-06-2006
		US 2006132754 A1	22-06-2006

US 2004085526 A1	06-05-2004	AT 412023 B	26-08-2004
		CH 696677 A5	14-09-2007
		DE 10112833 C1	13-03-2003
		JP 4145536 B2	03-09-2008
		JP 2002323562 A	08-11-2002
		US 2004085526 A1	06-05-2004

US 2008304043 A1	11-12-2008	AT 512374 T	15-06-2011
		CN 101080647 A	28-11-2007
		EP 1672382 A1	21-06-2006
		EP 1825294 A1	29-08-2007
		JP 5108526 B2	26-12-2012
		JP 2008524563 A	10-07-2008
		US 2008304043 A1	11-12-2008
		WO 2006063740 A1	22-06-2006
