

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 16.11.15.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 19.05.17 Bulletin 17/20.

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 et  
STMICROELECTRONICS (RESEARCH & DEVELOP-  
MENT) LIMITED — GB.

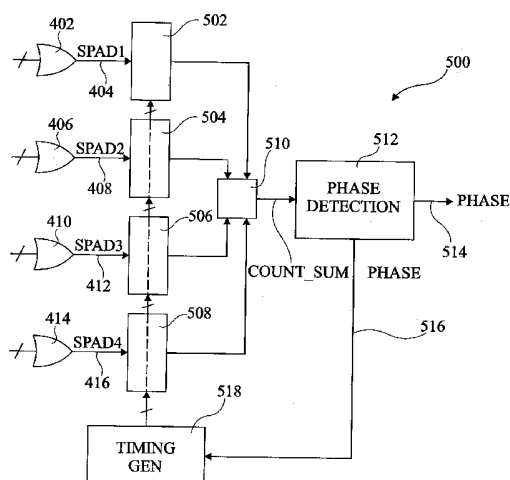
72 Inventeur(s) : MELLOTT PASCAL, MCLEOD STUART  
et DRADER MARC.

73 Titulaire(s) : STMICROELECTRONICS (GRENOBLE  
2) SAS Société par actions simplifiée, STMICROELEC-  
TRONICS (RESEARCH & DEVELOPMENT) LIMITED.

74 Mandataire(s) : CABINET BEAUMONT.

54 CIRCUIT DE LECTURE POUR DISPOSITIF DE MESURE DE DISTANCE.

57 L'invention concerne un dispositif de mesure de dis-  
tance comprenant: un réseau de dispositifs de détection de  
photons adapté à recevoir un signal optique réfléchi par un  
objet dans une scène image; des premier et deuxième dis-  
positifs logiques (402, 406) adaptés à combiner respective-  
ment les sorties d'une première et d'une deuxième pluralité  
des dispositifs de détection de photons; des premier et deu-  
xième circuits compteurs (502, 504) couplés respective-  
ment à une sortie des premier et deuxième dispositifs  
logiques et adaptés à générer des première et deuxième  
valeurs de comptage en comptant respectivement les évé-  
nements de détection de photons générés par les première  
et deuxième pluralités de dispositifs de détection de photons;  
et un circuit d'estimation de distance (512, 518) adapté à es-  
timer la distance de l'objet en estimant la position temporelle  
d'une ou plusieurs impulsions du signal optique sur la base  
des première et deuxième valeurs de comptage.



B14381 - 14-GR2-0767

1

**CIRCUIT DE LECTURE POUR DISPOSITIF DE MESURE DE DISTANCE**Domaine

La présente description concerne le domaine de la mesure de distance sur la base d'un calcul de temps de parcours, et en particulier un circuit de lecture d'un dispositif de mesure de distance.

Art antérieur

Les réseaux de SPAD (diodes à avalanche par photon unique) peuvent être utilisés dans diverses applications, comprenant la mesure de distance, la reconnaissance de gestes en Z ou 3D et pour l'imagerie 3D. Un dispositif pour de telles applications comprend en général une source de lumière pour émettre une impulsion optique vers la scène image. La lumière réfléchie renvoyée par tout objet se trouvant dans la scène image est détectée par le réseau SPAD, et est utilisée pour déterminer le temps de parcours de l'impulsion optique. La distance entre l'objet et le dispositif peut ensuite être déduite sur la base de ce temps de parcours.

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

B14381 - 14-GR2-0767

2

en surveillant les événements, l'instant d'arrivée de l'impulsion renvoyée peut être estimé.

Une difficulté dans un tel système piloté par événements est que, sous une lumière ambiante très forte et/ou avec une cible très réfléchissante et/ou proche, il peut y avoir un grand nombre d'événements à capturer et à traiter dans une courte trame temporelle, ce qui conduit à des encombrements. En effet, il serait inefficace et exigeant en ressources de traitement que de réaliser une estimation de distance sur la base de la sortie de chaque cellule SPAD. Par conséquent, les sorties de multiples SPAD sont combinées et traitées sous forme d'un seul signal. Cependant, une telle solution est limitée par les dispositifs utilisés pour combiner les sorties SPAD, puisque ces dispositifs ont tendance à devenir surchargés, ce qui conduit à des imprécisions de mesure.

#### Résumé

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

Selon un aspect, on prévoit un dispositif de mesure de distance comprenant : un réseau de dispositifs de détection de photons adapté à recevoir un signal optique réfléchi par un objet dans une scène image ; un premier dispositif logique adapté à combiner les sorties d'une première pluralité des dispositifs de détection de photons ; un premier circuit compteur couplé à une sortie du premier dispositif logique et adapté à générer une première valeur de comptage en comptant les événements de détection de photons générés par la première pluralité de dispositifs de détection de photons ; un deuxième dispositif logique adapté à combiner les sorties d'une deuxième pluralité des dispositifs de détection de photons ; un deuxième circuit compteur couplé à une sortie du deuxième dispositif logique et adapté à générer une deuxième valeur de comptage en comptant les événements de détection de photons générés par la deuxième pluralité de dispositifs de détection de photons ; et

B14381 - 14-GR2-0767

3

un circuit d'estimation de distance adapté à estimer la distance de l'objet en estimant la position temporelle d'une ou plusieurs impulsions du signal optique sur la base des première et deuxième valeurs de comptage.

5            Selon un mode de réalisation, le premier circuit compteur est adapté à générer la première valeur de comptage en comptant les événements de détection de photons générés par la première pluralité de dispositifs de détection de photons pendant une première fenêtre temporelle, et à générer une  
10 troisième valeur de comptage en comptant les événements de détection de photons générés par la première pluralité de dispositifs de détection de photons pendant une deuxième fenêtre temporelle consécutive à la première fenêtre temporelle ; le deuxième circuit compteur est adapté à générer la deuxième  
15 valeur de comptage en comptant les événements de détection de photons générés par la deuxième pluralité de dispositifs de détection de photons pendant la première fenêtre temporelle et à générer une quatrième valeur de comptage en comptant les événements de détection de photons générés par la deuxième  
20 pluralité de dispositifs de détection de photons pendant la deuxième fenêtre temporelle.

Selon un mode de réalisation, le dispositif de mesure de distance comprend en outre : un premier additionneur adapté à additionner les première et deuxième valeurs de comptage pour  
25 générer une première valeur de comptage combinée ; et un deuxième additionneur adapté à additionner les troisième et quatrième valeurs de comptage pour générer une deuxième valeur de comptage combinée, le circuit d'estimation de distance étant adapté à déterminer la position temporelle desdites une ou  
30 plusieurs impulsions sur la base des première et deuxième valeurs de comptage combinées.

Selon un mode de réalisation, le circuit d'estimation de distance est adapté à calculer la différence entre les première et deuxième valeurs de comptage combinées, et à

B14381 - 14-GR2-0767

4

déterminer la position temporelle desdites une ou plusieurs impulsions sur la base de la différence.

Selon un mode de réalisation, le circuit d'estimation de distance comprend un détecteur de phase sigma-delta.

5        Selon un mode de réalisation, le dispositif de mesure de distance comprend en outre un émetteur optique adapté à émettre le signal optique en direction de l'objet dans la scène image.

10       Selon un mode de réalisation, les premier et deuxième dispositifs logiques sont des arbres de portes OU.

Selon un mode de réalisation, les dispositifs de détection de photons sont des dispositifs SPAD (diode à avalanche par photon unique).

15       Selon un autre aspect, on prévoit un procédé comprenant : recevoir, par un réseau de dispositifs de détection de photons, un signal optique réfléchi par un objet dans une scène image ; combiner, par un premier dispositif logique, les sorties d'une première pluralité des dispositifs de détection de photons ; générer, par un premier circuit compteur couplé à une  
20       sortie du premier dispositif logique, une première valeur de comptage en comptant les événements de détection de photons générés par la première pluralité de dispositifs de détection de photons ; combiner, par un deuxième dispositif logique, les sorties d'une deuxième pluralité des dispositifs de détection de  
25       photons ; générer, par un deuxième circuit compteur couplé à une sortie du deuxième dispositif logique, une deuxième valeur de comptage en comptant les événements de détection de photons générés par la deuxième pluralité de dispositifs de détection de photons ; et estimer, par un circuit d'estimation de distance la  
30       distance de l'objet en estimant la position temporelle d'une ou plusieurs impulsions du signal optique sur la base des première et deuxième valeurs de comptage.

35       Selon un mode de réalisation, la génération de la première valeur de comptage comprend le comptage des événements de détection de photons générés par la première pluralité de

B14381 - 14-GR2-0767

5

dispositifs de détection de photons pendant une première fenêtre temporelle et la génération de la deuxième valeur de comptage comprend le comptage des événements de détection de photons générés par la deuxième pluralité de dispositifs de détection de photons pendant la première fenêtre temporelle, le procédé comprenant en outre : générer une troisième valeur de comptage en comptant les événements de détection de photons générés par la première pluralité de dispositifs de détection de photons pendant une deuxième fenêtre temporelle consécutive à la première fenêtre temporelle ; et générer une quatrième valeur de comptage en comptant les événements de détection de photons générés par la deuxième pluralité de dispositifs de détection de photons pendant la deuxième fenêtre temporelle.

Selon un mode de réalisation, le procédé comprend en outre l'addition des première et deuxième valeurs de comptage pour générer une première valeur de comptage combinée, et l'addition des troisième et quatrième valeurs de comptage pour générer une deuxième valeur de comptage combinée, la détermination de la position temporelle desdites une ou plusieurs des impulsions étant basée sur les première et deuxième valeurs de comptage combinées.

Selon un mode de réalisation, le procédé comprend en outre le calcul de la différence entre les première et deuxième valeurs de comptage combinées et la détermination de la position temporelle desdites une ou plusieurs impulsions sur la base de la différence.

Selon un mode de réalisation, le procédé comprend en outre l'émission, par un émetteur optique, du signal optique en direction de l'objet dans la scène image.

Selon un mode de réalisation, le signal optique est 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.

B14381 - 14-GR2-0767

6

Brève description des dessins

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

la figure 1 illustre schématiquement un dispositif de mesure de distance selon un exemple de réalisation de la présente description ;

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

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

la figure 4 illustre schématiquement un réseau SPAD selon un exemple de réalisation de la présente description ;

la figure 5 illustre schématiquement un circuit de lecture du réseau SPAD de la figure 4 selon un exemple de  
20 réalisation de la présente description ;

la figure 6 illustre schématiquement un circuit compteur du circuit de lecture de la figure 5 selon un exemple de réalisation de la présente description ;

la figure 7 est un chronogramme illustrant des  
25 exemples des signaux dans le circuit de la figure 6 ; et

la figure 8 illustre schématiquement un circuit de détection de phase du circuit de lecture de la figure 6 plus en détail selon un exemple de réalisation.

Description détaillée

30 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 être directe, ou qui peut se faire par l'intermédiaire d'un ou  
35 plusieurs autres composants comme des résistances, des

B14381 - 14-GR2-0767

7

condensateurs ou des transistors. En outre, tel qu'il est utilisé ici, le terme "autour de" est utilisé pour désigner une plage de +/- 10 pourcent autour de la valeur en question.

Bien que dans la présente description, on décrive 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 des réseaux constitués d'autres types de dispositifs de détection de photons.

La figure 1 illustre schématiquement un dispositif de mesure de distance 100 mettant en oeuvre une fonction de mesure de distance. Le dispositif 100 comprend une source de lumière 102, qui est par exemple un laser, pour générer un signal optique, constitué par exemple d'un faisceau d'impulsions optiques, transmis dans la scène image, par exemple par l'intermédiaire d'une lentille 104. Les impulsions optiques renvoyées sont par exemple reçues par l'intermédiaire d'une autre lentille 106.

Le dispositif de mesure de distance 100 comprend en outre un circuit d'estimation de distance 108 pour estimer la distance entre le dispositif 100 et un objet dans la scène image contre lequel se réfléchissent les impulsions optiques. Le circuit d'estimation de distance 108 comprend par exemple un réseau SPAD cible (TARGET SPAD) 110, qui reçoit les impulsions optiques renvoyées par l'intermédiaire de la lentille 106. Le réseau SPAD cible 110 comprend par exemple un réseau constitué d'entre 4 et plusieurs centaines de cellules SPAD.

Le circuit d'estimation de distance 108 comprend aussi par exemple un réseau SPAD de référence (REF SPAD) 112 qui a par exemple les mêmes dimensions, ou des dimensions plus petites, que le réseau SPAD cible 110, et qui reçoit une réflexion interne des impulsions optiques transmises. Dans certaines modes de réalisation, le réseau SPAD de référence est un réseau



B14381 - 14-GR2-0767

8

monodimensionnel, ayant par exemple seulement une rangée ou une colonne de cellules SPAD.

Un circuit de détection de retard (DELAY DETECTION) 114 est par exemple couplé au réseau SPAD cible 110 et au réseau SPAD de référence 112, et estime le retard entre chaque impulsion optique émise et l'impulsion optique renvoyée reçue par le réseau SPAD cible 110, afin de fournir une estimation de distance (RANGE ESTIMATION) de l'objet. Le circuit d'estimation de distance 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 de lumière 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.

La figure 2 illustre schématiquement un circuit 200 faisant partie du circuit de détection de retard 114 de la figure 1 plus en détail selon un exemple de réalisation dans lequel les sorties de toutes les cellules SPAD du réseau SPAD cible 110 sont combinées sur une seule ligne. En particulier, 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 fournissant, sur sa ligne de sortie 204, des impulsions générées à chaque fois qu'un événement est détecté par l'une quelconque des cellules SPAD.

La ligne de sortie 204 est couplée à des compteurs pour compter les événements détectés. Dans l'exemple de la figure 2, la ligne de sortie 204 est couplée à l'entrée d'horloge 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, sur la base d'un signal UP reçu d'un circuit de commande de compteur (COUNTER CONTROL) 210, qui reçoit un signal d'horloge CLK. De façon similaire, le compteur

B14381 - 14-GR2-0767

9

descendant 208 est activé pendant une période de comptage descendant, sur la base d'un signal DN reçu du circuit de commande de compteur 210. La sortie du compteur 206 est par exemple cadencée par une bascule 212 sur la base du signal d'horloge CLK, la sortie du compteur 208 est par exemple cadencée par une bascule 214 sur la base du signal d'horloge CLK. Une différence entre les sorties des bascules 212 et 214 est générée par un module de soustraction 216 pour obtenir un signal COUNT\_SUM. Ce signal est analysé par un circuit de détection de phase 218, qui est par exemple un détecteur de phase sigma-delta, afin de générer un signal de phase (PHASE) indiquant par exemple la position temporelle du centre de chaque impulsion optique reçue par le réseau SPAD cible 110. Le signal de phase PHASE est fourni au circuit de commande de compteur 210 et est utilisé pour déterminer la synchronisation à appliquer pour un cycle de détection ultérieur. En particulier, le signal de phase est par exemple utilisé pour contrôler les caractéristiques temporelles des signaux UP et DN, comme on le décrit maintenant plus en détail.

Bien que cela ne soit pas illustré en figure 2, le circuit de détection de retard 114 comprend en outre par exemple un circuit similaire au circuit 200 pour générer un signal de phase de référence PHASE' indiquant la position temporelle du centre de chaque impulsion optique reçue par le réseau SPAD de référence 112. Le circuit de détection de retard 114 estime par exemple le temps de parcours des impulsions optiques sur la base de la différence de temps entre les signaux de phase PHASE et PHASE'.

La figure 3 est un chronogramme illustrant des exemples d'une fenêtre de comptage (COUNT WINDOW) des compteurs 206, 208 de la figure 2, et des signaux DN et UP contrôlant les compteurs 206, 208, du signal COUNT\_SUM et du signal VCSEL utilisé pour générer des 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 par exemple égale à la période d'impulsion optique, en d'autres termes à la période du signal VCSEL.

5           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 générer les impulsions optiques émises. Le signal de phase PHASE  
10           généré par le circuit 218 indique par exemple la position temporelle du centre de la fenêtre de comptage pour une impulsion optique renvoyée suivante, sur la base de la différence (COUNT\_SUM) entre les comptes montant et descendant. Le signal de phase PHASE' est par exemple généré de manière  
15           similaire sur la base de la position temporelle du centre de la fenêtre de comptage pour des impulsions optiques de référence, et la différence de temps entre les signaux de phase PHASE et PHASE' est ainsi utilisée pour estimer le temps de parcours de l'impulsion optique à partir de la scène image.

20           Dans l'exemple de la figure 3, le signal VCSEL est un signal à onde carrée, et les impulsions optiques générées forment aussi par exemple une onde carrée. Cependant, dans des variantes de réalisation, le signal VCSEL utilisé pour générer les impulsions optiques, et les impulsions optiques elles-mêmes,  
25           pourraient avoir d'autres formes. Dans certains exemples, le signal optique est un signal optique périodique. Par exemple, le signal VCSEL et les impulsions optiques pourraient former un signal d'onde sinusoïdale continue, ayant des pics qui correspondent aux impulsions optiques, et des creux dans lesquels le  
30           signal optique tombe à zéro. Dans un tel cas, la période du signal d'impulsion optique pourrait être la période de l'onde sinusoïdale. Dans d'autres exemples, le signal VCSEL et les impulsions optiques pourraient avoir la forme d'ondes triangulaires ou en dents de scie dans lesquelles les pics de ces  
35           signaux forment les impulsions optiques. Bien sûr, bien que le

B14381 - 14-GR2-0767

11

signal optique puisse être périodique, dans certains cas, la période peut varier d'un cycle au suivant, par exemple en raison de la gigue, ou en raison d'une variation de la fréquence des impulsions dans le temps.

5 Plus le réseau SPAD cible 110 est grand, plus la sensibilité à la lumière reçue de la scène image est grande, et de même pour l'impulsion optique renvoyée. Cependant, dans des conditions de forte lumière ambiante, ou dans le cas d'objets cibles fortement réfléchissants et/ou proches, le nombre  
10 d'événements détectés par les cellules SPAD peut surcharger l'arbre de portes OU 202, ce qui conduit à des pertes d'événements, provoquant une dégradation dans la précision de l'estimation de distance.

La figure 4 illustre schématiquement le réseau SPAD  
15 cible 110 et une partie du circuit de lecture selon un exemple de réalisation qui réduit au moins partiellement le risque de surcharge. Le réseau SPAD cible 110 comprend par exemple un réseau de 16x16 cellules SPAD. Le réseau est par exemple divisé en quatre sous-réseaux, qui correspondent chacun à un quadrant  
20 du réseau cible 110.

Chaque cellule SPAD se trouvant dans le quadrant supérieur gauche a sa sortie couplée à un arbre de portes OU 402, qui combine les signaux provenant des cellules SPAD pour générer un signal SPAD1 sur une ligne de sortie 404. De façon  
25 similaire, chaque cellule SPAD se trouvant dans le quadrant supérieur droit a sa sortie couplée à un arbre de portes OU 406, qui combine les signaux pour fournir un signal de sortie SPAD2 sur une ligne de sortie 408 ; chaque cellule SPAD se trouvant dans le quadrant inférieur gauche a sa sortie couplée à un arbre  
30 de portes OU 410, qui combine les signaux pour fournir un signal de sortie SPAD3 sur une ligne de sortie 412 ; et chaque cellule SPAD se trouvant dans le quadrant inférieur droit a sa sortie couplée à un arbre de portes OU 414, qui combine les signaux pour fournir un signal de sortie SPAD4 sur une ligne de sortie  
35 416.

Bien que dans le mode de réalisation de la figure 4, le réseau SPAD 110 soit divisé en quatre groupes de cellules SPAD et bien qu'il y ait quatre arbres de portes OU couplés respectivement aux sorties des cellules SPAD de chaque groupe, dans des variantes de réalisation, les cellules SPAD du réseau SPAD 110 pourraient être divisées en une pluralité quelconque de groupes couplés à un nombre correspondant d'arbres de portes OU. En outre, bien qu'on ait illustré un exemple dans lequel les circuits destinés à combiner les sorties SPAD sur des lignes uniques soient mis en oeuvre par des arbres de portes OU, dans des variantes de réalisation, on pourrait utiliser d'autres circuits logiques.

La figure 5 illustre schématiquement un circuit 500 faisant partie du circuit de détection de retard 114 de la figure 1 selon une variante de réalisation par rapport au circuit 200 de la figure 2.

Le circuit 500 comprend quatre circuits compteurs 502, 504, 506 et 508 couplés respectivement aux sorties des arbres de portes OU 402, 406, 410 et 414. Chacun des circuits 502 à 508 est adapté à compter, pendant des périodes descendantes et montantes DN, UP, les événements de détection de photons générés par les dispositifs de détection de photons auxquels il est couplé par l'intermédiaire de l'arbre de portes OU correspondant 402, 406, 410, 414. Les valeurs de comptage résultantes sont fournies à un circuit d'addition/soustraction 510, qui additionne les valeurs de comptage DN et les valeurs de comptage UP, et détermine la différence COUNT\_SUM entre les valeurs de comptage DN et UP. La différence COUNT\_SUM est fournie à un circuit de détection de phase (PHASE DETECTION) 512. Comme le circuit de détection de phase 218 de la figure 2, le circuit de détection de phase 512 est par exemple un détecteur de phase sigma-delta. Le circuit 512 génère, sur la base du signal COUNT\_SUM, le signal de phase PHASE indiquant la position temporelle du centre de chaque impulsion optique reçue par le réseau SPAD cible 110. Comme cela est représenté par la ligne de

B14381 - 14-GR2-0767

13

rétroaction 516, le signal de phase PHASE généré par le circuit 512 est aussi par exemple transmis à un circuit de génération de synchronisation (TIMING GEN) 518, qui génère des signaux de commande pour contrôler la synchronisation des circuits compteurs 502 à 508 sur la base du signal de phase.

La figure 6 illustre schématiquement le circuit compteur 508, le circuit d'addition/soustraction 510, et le circuit de détection de phase sigma-delta 512 plus en détail selon un exemple de réalisation.

Le générateur de synchronisation (TIMING GEN) 518 reçoit par exemple le signal d'horloge CLK, et génère des signaux de commande ENABLE et HALFWAY sur la base du signal d'horloge. Les signaux de commande ENABLE et HALFWAY, et le signal d'horloge CLK, sont par exemple fournis à chacun des circuits compteurs 502, 504, 506 et 508.

Le circuit compteur 508 comprend par exemple une bascule 604 cadencée par le signal d'horloge CLK et ayant son entrée de données couplée de façon à recevoir le signal de commande HALFWAY, et une bascule 606 cadencée par le signal d'horloge CLK et ayant son entrée de données couplée de façon à recevoir le signal de commande ENABLE. Les sorties des bascules 604 et 606 sont chacune couplées à des entrées correspondantes d'une porte ET 608, qui par exemple génère sur sa sortie le signal UP. La sortie de la bascule 604 est aussi couplée à une entrée inversée d'une autre porte ET 610 et la sortie de la bascule 606 est par exemple couplée à l'autre entrée de la porte ET 610. La porte ET 610 génère par exemple le signal DN.

Comme dans le circuit de la figure 2, le signal UP sur la sortie de la porte ET 608 est couplé à une entrée de validation du compteur 206, qui a son entrée d'horloge couplée à la ligne 416 pour recevoir le signal SPAD4. De façon similaire, le signal DN sur la sortie de la porte ET 610 est couplé à une entrée de validation du compteur 208, qui a son entrée d'horloge couplée à la ligne 416 pour recevoir le signal SPAD4.

B14381 - 14-GR2-0767

14

La sortie du compteur 206 est par exemple cadencée par une bascule 212 sur la base du signal d'horloge CLK. De façon similaire, la sortie du compteur 208 est par exemple cadencée par la bascule 214 sur la base du signal d'horloge CLK.

5 Les autres circuits compteurs 502, 504, 506 sont par exemple mis en oeuvre par des circuits similaires au circuit 508, excepté que les compteurs 206, 208 se trouvant dans les circuits 502, 504 et 506 respectivement reçoivent les signaux SPAD1, SPAD2, et SPAD3.

10 La sortie de la bascule 212 est couplée à un additionneur 620 du circuit d'addition/soustraction 510. L'additionneur 620 reçoit aussi les sorties correspondantes provenant des circuits compteurs 502 à 506, et ajoute toutes les valeurs entre elles pour fournir une valeur de comptage de sortie  
15 SUM\_UP. La sortie de la bascule 214 est couplée à un additionneur 622 du circuit d'addition/soustraction 510. L'additionneur 622 reçoit aussi les sorties correspondantes provenant des circuits compteurs 502 à 506, et ajoute toutes les valeurs entre elles pour obtenir une valeur de comptage de  
20 sortie SUM\_DN.

Le circuit d'addition/soustraction 510 comprend aussi par exemple un soustracteur 624, qui par exemple soustrait la valeur de comptage SUM\_DN de la valeur de comptage SUM\_UP pour générer la valeur de comptage COUNT\_SUM.

25 La figure 7 est un chronogramme illustrant des exemples du signal PHASE, des signaux de commande ENABLE et HALFWAY, et des signaux descente/montée DN/UP du circuit de la figure 6.

Le signal HALFWAY monte par exemple à mi-chemin dans  
30 une impulsion du signal ENABLE. Par exemple, le signal ENABLE a une impulsion haute qui devient haute à l'instant t1, et basse à un instant t3. Le signal HALFWAY a par exemple une impulsion haute qui devient haute à l'instant t2, qui est par exemple à mi-chemin entre les instants t1 et t3. Le signal DN est activé  
35 lorsque le signal ENABLE est activé mais pas le signal HALFWAY,

B14381 - 14-GR2-0767

15

et ainsi il est activé entre les instants t1 et T2. Le signal UP est activé lorsque les deux signaux ENABLE et HALFWAY sont activés, et ainsi il est activé entre les instants t2 et t3.

La figure 8 illustre le circuit de détection de phase  
5 512 plus en détail selon un exemple de réalisation.

Comme cela est illustré, la sortie du soustracteur 624 fournissant le signal COUNT\_SUM est par exemple couplée à un accumulateur formé par un additionneur 802 et une bascule 804. L'additionneur ajoute la valeur COUNT\_SUM à une valeur présente  
10 sur la sortie de la bascule 804, et fournit le résultat à l'entrée de la bascule 804. La bascule 804 est cadencée par un signal d'horloge PERIOD. Le signal PERIOD a par exemple la même fréquence que les impulsions optiques et que les signaux UP et DN. Ainsi, pour chaque période du signal optique, de nouvelles  
15 valeurs UP/DN sont intégrées par l'accumulateur formé par l'additionneur 802 et la bascule 804. La sortie de la bascule 804 est couplée à un circuit de quantification, qui comprend par exemple deux comparateurs 806 et 808. Le comparateur 806 active par exemple un signal sur sa sortie si la sortie de  
20 l'accumulateur dépasse une limite LMT, alors que le comparateur 808 active par exemple un signal sur sa sortie si la sortie de l'accumulateur est en dessous de la limite LMT. Les sorties des comparateurs 806, 808 sont couplées respectivement à une entrée montante UP et une entrée descendante DN d'un compteur 810  
25 fournissant le signal de phase PHASE. Le compteur 810 incrémente par exemple le signal PHASE lorsque la sortie du comparateur 806 est activée, et décrémente le signal PHASE lorsque la sortie du comparateur 808 est activé.

Un avantage des modes de réalisation décrits ici est  
30 qu'on peut éviter des encombrements du circuit de lecture du réseau SPAD sans augmenter fortement la surface du circuit de lecture. En particulier, en prévoyant une pluralité de dispositifs logiques pour combiner des sorties de groupes de cellules SPAD en une pluralité de lignes, et en prévoyant un



B14381 - 14-GR2-0767

16

circuit compteur pour chacune de ces lignes, on peut réduire les encombrements dans les dispositifs logiques.

5 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. Par exemple, bien qu'on ait décrit une mise en oeuvre spécifique du circuit de lecture, d'autres mises en oeuvre seraient possible. En effet, la mise en oeuvre sigma-delta du détecteur de phase est simplement un exemple, et d'autres mises en oeuvre seraient  
10 possibles.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de mesure de distance comprenant :  
un réseau (110) de dispositifs de détection de photons adapté à recevoir un signal optique réfléchi par un objet dans une scène image ;
- 5 un premier dispositif logique (402) adapté à combiner les sorties d'une première pluralité des dispositifs de détection de photons ;
- un premier circuit compteur (502) couplé à une sortie du premier dispositif logique (402) et adapté à générer une
- 10 première valeur de comptage en comptant les événements de détection de photons générés par la première pluralité de dispositifs de détection de photons ;
- un deuxième dispositif logique (406) adapté à combiner les sorties d'une deuxième pluralité des dispositifs de
- 15 détection de photons ;
- un deuxième circuit compteur (504) couplé à une sortie du deuxième dispositif logique (406) et adapté à générer une deuxième valeur de comptage en comptant les événements de détection de photons générés par la deuxième pluralité de
- 20 dispositifs de détection de photons ; et
- un circuit d'estimation de distance (512, 518) adapté à estimer la distance de l'objet en estimant la position temporelle d'une ou plusieurs impulsions du signal optique sur la base des première et deuxième valeurs de comptage.
- 25 2. Dispositif de mesure de distance selon la revendication 1, dans lequel :
- le premier circuit compteur (502) est adapté à générer la première valeur de comptage en comptant les événements de détection de photons générés par la première pluralité de
- 30 dispositifs de détection de photons pendant une première fenêtre temporelle (DN), et à générer une troisième valeur de comptage en comptant les événements de détection de photons générés par la première pluralité de dispositifs de détection de photons

B14381 - 14-GR2-0767

18

pendant une deuxième fenêtre temporelle (UP) consécutive à la première fenêtre temporelle (DN) ;

le deuxième circuit compteur (504) est adapté à générer la deuxième valeur de comptage en comptant les événements de détection de photons générés par la deuxième pluralité de dispositifs de détection de photons pendant la première fenêtre temporelle (DN) et à générer une quatrième valeur de comptage en comptant les événements de détection de photons générés par la deuxième pluralité de dispositifs de détection de photons pendant la deuxième fenêtre temporelle (UP).

3. Dispositif de mesure de distance selon la revendication 2, comprenant en outre :

un premier additionneur (622) adapté à additionner les première et deuxième valeurs de comptage pour générer une première valeur de comptage combinée (SUM\_DN) ; et

un deuxième additionneur (620) adapté à additionner les troisième et quatrième valeurs de comptage pour générer une deuxième valeur de comptage combinée (SUM\_UP), le circuit d'estimation de distance (512) étant adapté à déterminer la position temporelle desdites une ou plusieurs impulsions sur la base des première et deuxième valeurs de comptage combinées.

4. Dispositif de mesure de distance selon la revendication 3, dans lequel le circuit d'estimation de distance (512) est adapté à calculer la différence entre les première et deuxième valeurs de comptage combinées (SUM\_DN, SUM\_UP), et à déterminer la position temporelle desdites une ou plusieurs impulsions sur la base de la différence.

5. Dispositif de mesure de distance selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel le circuit d'estimation de distance (512) comprend un détecteur de phase sigma-delta.

6. Dispositif de mesure de distance selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, comprenant en outre :

un émetteur optique (102, 104) adapté à émettre le signal optique en direction de l'objet dans la scène image.

7. Dispositif de mesure de distance selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel les premier et  
5 deuxième dispositifs logiques (402, 406) sont des arbres de portes OU.

8. Dispositif de mesure de distance selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel les dispositifs de détection de photons sont des dispositifs SPAD (diode à  
10 avalanche par photon unique).

9. Procédé comprenant :

recevoir, par un réseau (110) de dispositifs de détection de photons, un signal optique réfléchi par un objet dans une scène image ;

15 combiner, par un premier dispositif logique (402), les sorties d'une première pluralité des dispositifs de détection de photons ;

générer, par un premier circuit compteur (502) couplé à une sortie du premier dispositif logique (402), une première  
20 valeur de comptage en comptant les événements de détection de photons générés par la première pluralité de dispositifs de détection de photons ;

combiner, par un deuxième dispositif logique (406), les sorties d'une deuxième pluralité des dispositifs de  
25 détection de photons ;

générer, par un deuxième circuit compteur (504) couplé à une sortie du deuxième dispositif logique (406), une deuxième  
valeur de comptage en comptant les événements de détection de photons générés par la deuxième pluralité de dispositifs de  
30 détection de photons ; et

estimer, par un circuit d'estimation de distance (512, 518) la distance de l'objet en estimant la position temporelle d'une ou plusieurs impulsions du signal optique sur la base des première et deuxième valeurs de comptage.

35 10. Procédé selon la revendication 9, dans lequel :

B14381 - 14-GR2-0767

20

la génération de la première valeur de comptage comprend le comptage des événements de détection de photons générés par la première pluralité de dispositifs de détection de photons pendant une première fenêtre temporelle (DN) et la  
5 génération de la deuxième valeur de comptage comprend le comptage des événements de détection de photons générés par la deuxième pluralité de dispositifs de détection de photons pendant la première fenêtre temporelle (DN), le procédé comprenant en outre :

10 générer une troisième valeur de comptage en comptant les événements de détection de photons générés par la première pluralité de dispositifs de détection de photons pendant une deuxième fenêtre temporelle (UP) consécutive à la première fenêtre temporelle (DN) ; et

15 générer une quatrième valeur de comptage en comptant les événements de détection de photons générés par la deuxième pluralité de dispositifs de détection de photons pendant la deuxième fenêtre temporelle (UP).

20 11. Procédé selon la revendication 10, comprenant en outre :

additionner les première et deuxième valeurs de comptage pour générer une première valeur de comptage combinée (SUM\_DN) ; et

25 additionner les troisième et quatrième valeurs de comptage pour générer une deuxième valeur de comptage combinée (SUM\_UP), la détermination de la position temporelle desdites une ou plusieurs des impulsions étant basée sur les première et deuxième valeurs de comptage combinées.

30 12. Procédé selon la revendication 11, comprenant en outre le calcul de la différence entre les première et deuxième valeurs de comptage combinées (SUM\_DN, SUM\_UP) et la détermination de la position temporelle desdites une ou plusieurs impulsions sur la base de la différence.

35 13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 9 à 12, comprenant en outre :

B14381 - 14-GR2-0767

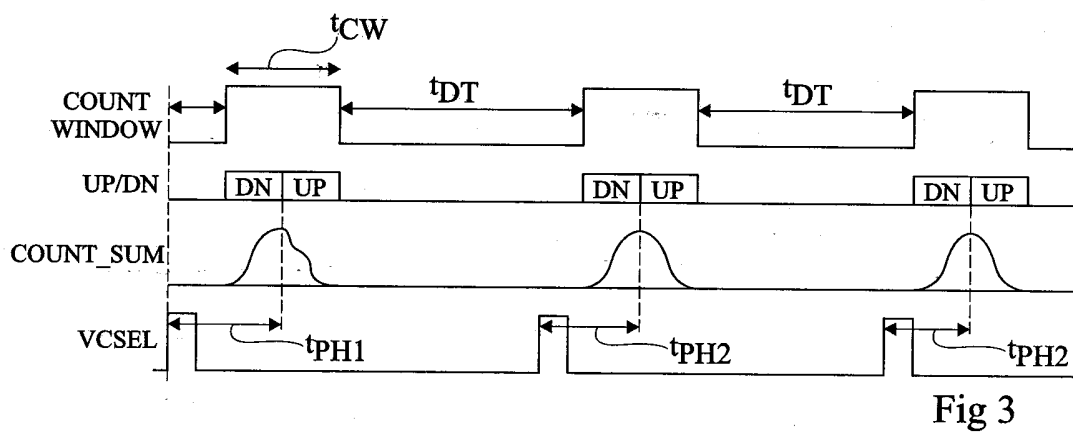
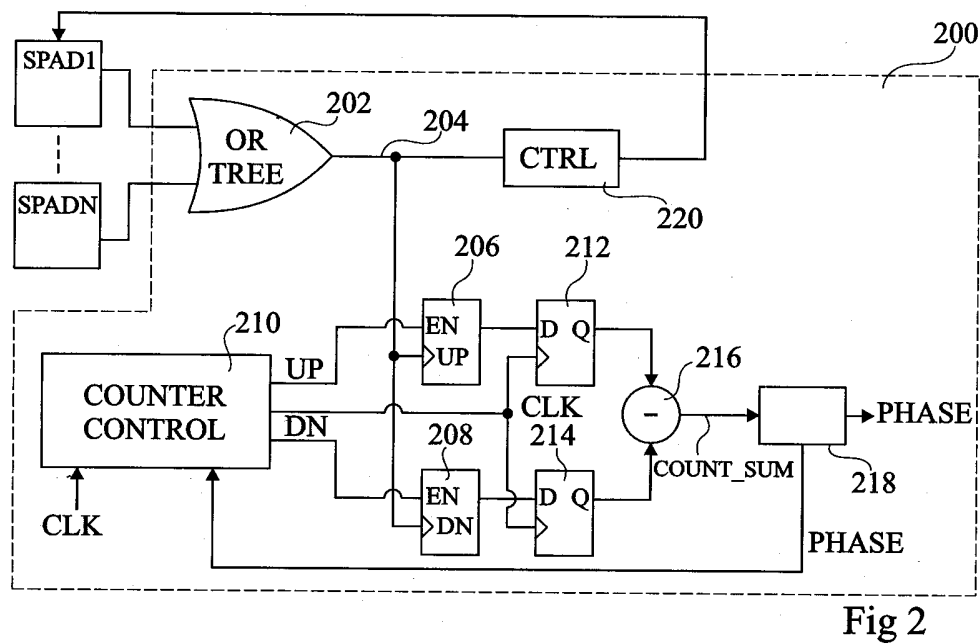
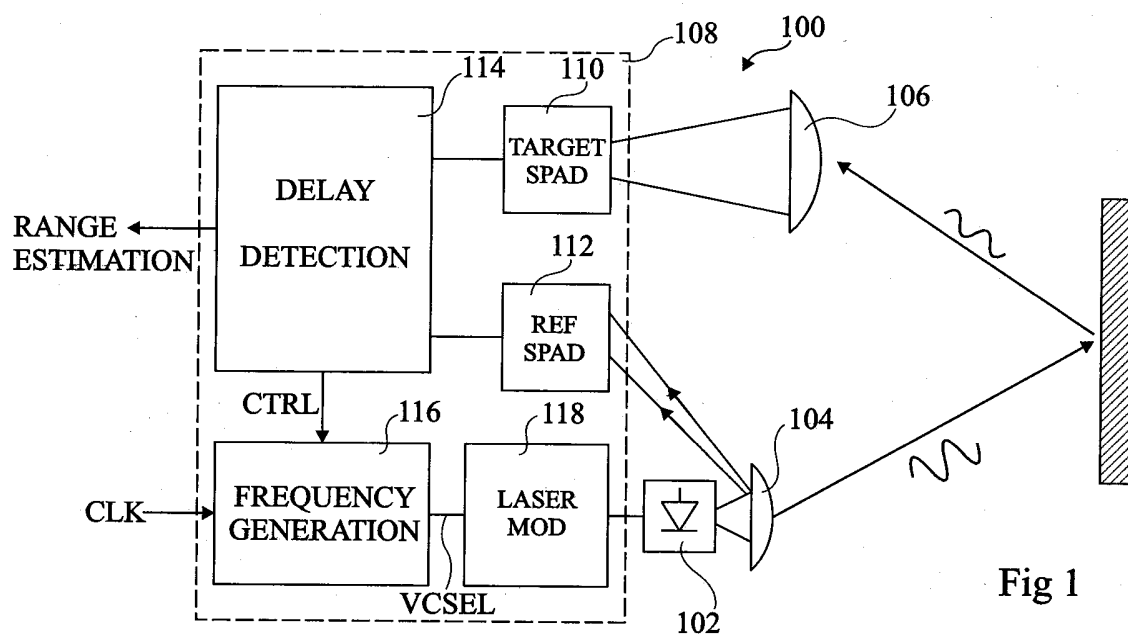
21

émettre, par un émetteur optique (102, 104), le signal optique en direction de l'objet dans la scène image.

14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 9 à 13, dans lequel le signal optique est :

5

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.



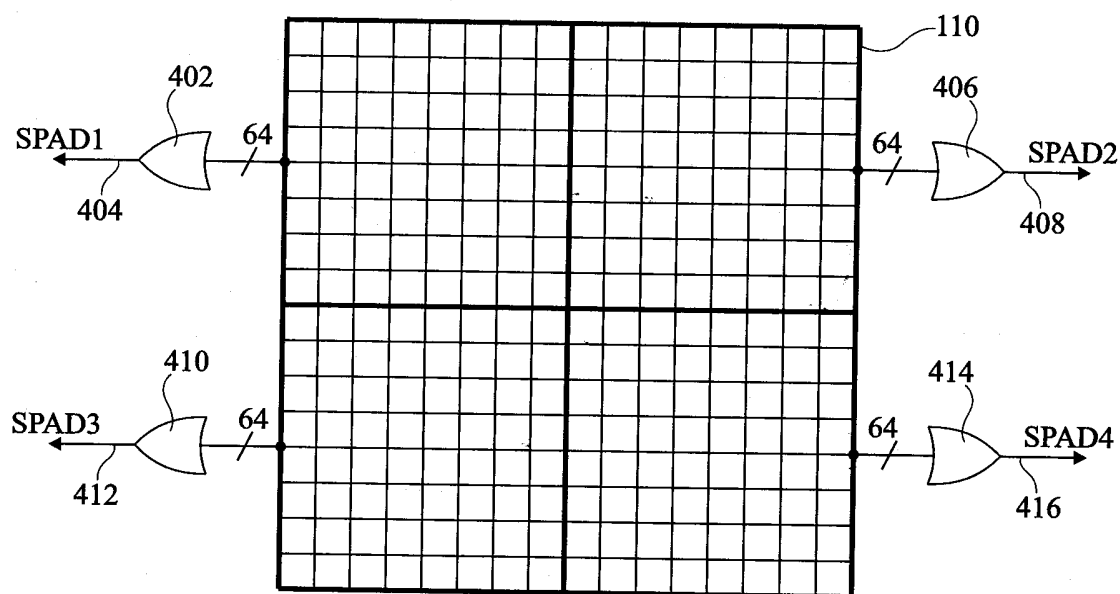


Fig 4

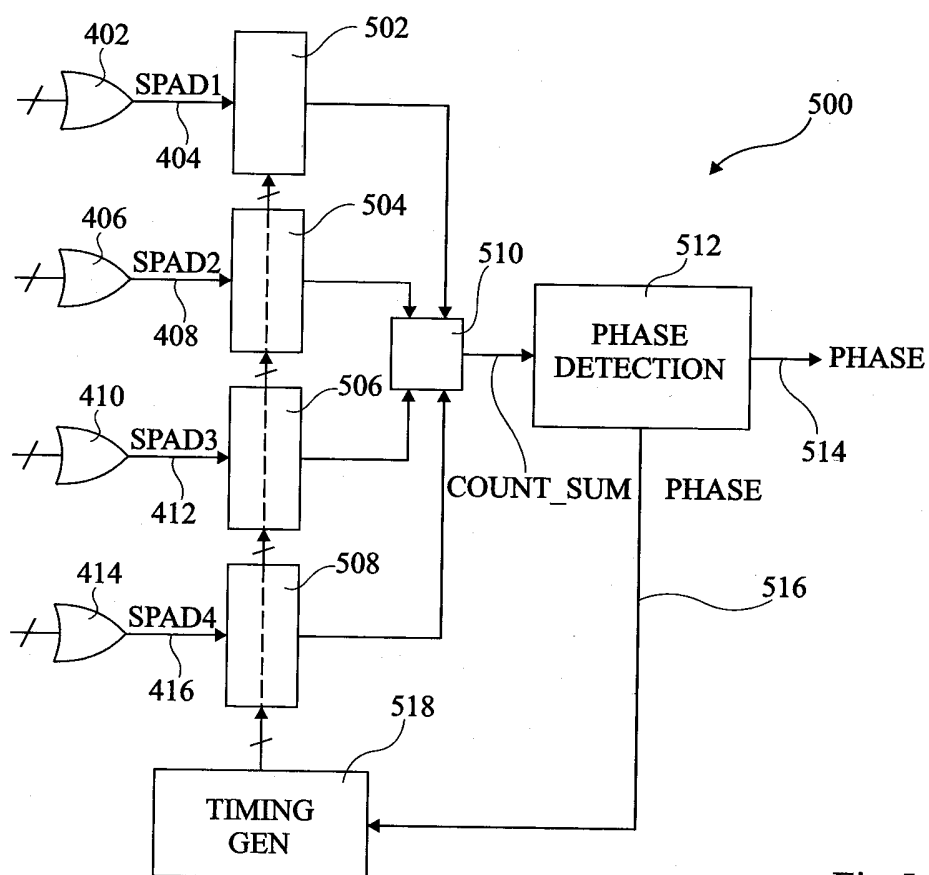


Fig 5



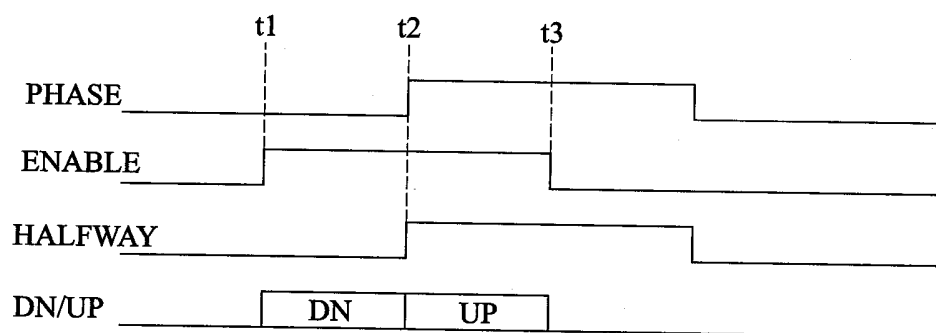
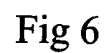


Fig 7

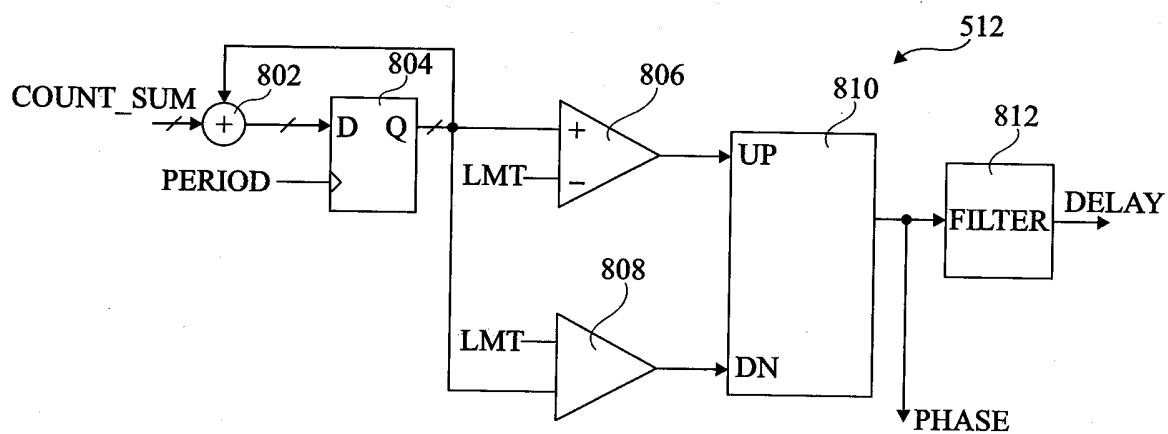


Fig 8



# RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement  
national

FA 820588  
FR 1560947

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		
Y	FR 2 985 570 A1 (ST MICROELECTRONICS GRENOBLE 2 [FR]) 12 juillet 2013 (2013-07-12)	1,2, 5-10,13, 14	G02B27/00 G02B21/00
A	* page 11, ligne 9 - page 15, ligne 9; figures 6A-6E,7-10 *	3,4,11, 12	
Y	RICHARD J WALKER ET AL: "A 128*96 pixel event-driven phase-domain -based fully digital 3D camera in 0.13 m CMOS imaging technology", SOLID-STATE CIRCUITS CONFERENCE DIGEST OF TECHNICAL PAPERS (ISSCC), 2011 IEEE INTERNATIONAL, IEEE, 20 février 2011 (2011-02-20), pages 410-412, XP032013792, DOI: 10.1109/ISSCC.2011.5746374 ISBN: 978-1-61284-303-2	1,2, 5-10,13, 14	
A	* le document en entier *	3,4,11, 12	
Y	FR 2 980 586 A1 (ST MICROELECTRONICS GRENOBLE 2 [FR]) 29 mars 2013 (2013-03-29)	1,2, 5-10,13, 14	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	* page 9, ligne 6 - page 19, ligne 25; figures 3-7 *	3,4,11, 12	G01S
A	EP 2 541 219 A1 (FOND BRUNO KESSLER [IT]) 2 janvier 2013 (2013-01-02) * le document en entier *	1-14	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
20 juillet 2016		Fanjul Caudevilla, J	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention 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. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE****RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1560947 FA 820588**

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 **20-07-2016**

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
FR 2985570 A1	12-07-2013	FR 2985570 A1	12-07-2013
		US 2013175435 A1	11-07-2013
FR 2980586 A1	29-03-2013	FR 2980586 A1	29-03-2013
		US 2013077082 A1	28-03-2013
EP 2541219 A1	02-01-2013	AUCUN	