



FOD Economie, KMO, Middenstand &
Energie
Dienst voor de Intellectuele Eigendom

(11) 1028366 B1

(47) Datum van verlening : 11/01/2022

(12) BELGISCH UITVINDINGSOCTROOI

(47) Publicatiedatum : 11/01/2022

(21) Aanvraagnummer : BE2020/5564

(22) Indieningsdatum : 07/08/2020

(62) Afgesplitst van basisaanvraag :

(62) Indieningsdatum basisaanvraag :

(51) Internationale classificatie : G01B 11/25, G01T 1/24, H04L 1/18, H04N 3/14, H04N 5/335, H04N 5/374

(30) Voorrangsgegevens :

29/05/2020 BE 2020/5385

(73) Houder(s) :

VoxelSensors srl
BV
1190, FOREST
België

(72) Uitvinder(s) :

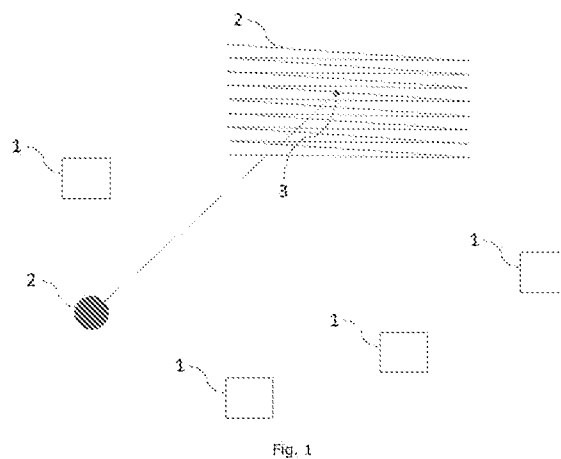
VAN DER TEMPEL Ward
3140 KEERBERGEN
België

PEETERS Johannes Willem
2000 ANTWERPEN
België

MIODEZKY André Bernard
1180 UKKEL
België

(54) PIXEL SENSOR SYSTEEM

(57)De huidige uitvinding betreft een hogesnelheidssensorsysteem voor beeldvorming, waarbij single-photon detectoren in een architectuur voorzien worden die aangepast is voor het aan hoge snelheid verwerken van de output van de detectoren met hoge betrouwbaarheid voor het uitfilteren van valse posities.



PIXEL SENSOR SYSTEEM

TECHNISCH DOMEIN

- 5 De uitvinding heeft betrekking op een verbeterd systeem en verbeterde methodiek voor hogesnelheidsbeeldvorming, waarbij in beperkte tijdspannes en sterk beperkte fotonbudgetten, een omgeving op betrouwbare gecapteerd kan worden.

STAND DER TECHNIEK

10

- In de stand der techniek wordt bij scanning active imaging een lichtstraal, typisch een laser, bewogen over een te capteren gebied, en wordt per tijdstip de locatie waar de straal invalt, vastgelegd via meerdere beeldsensoren. Door de verschillen in locatie vanuit de verschillende standpunten (sensoren) te verwerken, kan de effectieve afstand tot het beschreven doelwit bepaald worden, via triangulatie. Een dergelijke meting legt een voxel vast. De snelheid waarmee dit procedé kan uitgevoerd worden, de voxelrate, wordt enerzijds begrensd door enerzijds de snelheid waarmee het scannen met de lichtstraal gebeurt, maar anderzijds ook (het sterkst) beperkt door de verwerkingstijd die nodig is door de sensoren om de gereflecteerde lichtstralen te detecteren, zeker ten opzichte van achtergrondstraling (ambient light) en algemene thermische noise. Door specifiek deze tweede issue aan te pakken, kan de beeldvorming gevoelig versneld worden.

15

- 20

- Teneinde een voxelrate van tientallen of zelfs honderden miljoenen voxels per second te kunnen bereiken, moet iedere voxel vastgelegd worden in een tijdspanne van maximaal 10 ns. Hierdoor moet de sensor ook geschikt zijn om met beperkte fotonbudgetten (i.e. gedetecteerde invallende fotonen op de sensor die voldoende zijn voor een detectie) te kunnen opereren, zoals bijvoorbeeld 10 fotonen. Gezien de beperkte tijdspanne voor de verwerking, zal slechts een beperkt aantal fotonen kunnen opgevangen worden.

25

30

- Bestaande beeldverwerking- en vormingsystemen verwerken optische input verworven door de sensoren ofwel parallel voor alle pixels, in het geval van een zogenaamde 'global shutter', of gespreid over de tijd bij 'rolling shutter'. In beide gevallen hebben typische beeldvormingssystemen een versterkingsfactor (gain) van 10 μ V tot 1 mV per invallend elektron, om op die manier tot een signaal te komen dat een minimale detectiespanning overschrijdt en geregistreerd kan worden. In het

35

- bovenstaand bereik moet opgemerkt worden dat de bovengrens hiervan enkel door meer recente imagers kan gegarandeerd worden, die specifiek gemodificeerd zijn om fotonen te tellen, en focussen op zeer lage detectiehoeveelheden. Met dergelijke, gespecialiseerde sensoren kan voor 10 elektronen een signaal van 10 mV geproduceerd worden dat positief kan uitgelezen worden voor een bepaalde pixel. Om een invallend fotonpakket te detecteren, is een minimaal aantal van 10 fotonen nodig, die bovendien dus in een tijdspanne van 10 ns invallen op de sensor. Wat tot nu toe in de stand der techniek gebeurt, is het beperken van de blootstellingstijd van de sensor, tot bijvoorbeeld 10 ns, en vervolgens de sensor uit te lezen om via een drempelspanning een event (i.e. echte incidentie van gereflecteerde straal in plaats van een valse positieve uit ambient light of thermische noise) te detecteren. Het nadeel hiervan is dat dit, zeker bij imagers met hoge resolutie, dat de tijd nodig voor het uitlezen van de sensor het proces domineert, en typisch merkkelijk hoger ligt dan 10 ns, waardoor hier een bottleneck optreedt.
- Een alternatief is de sensor zelf laten beslissen of een minimale hoeveelheid fotonen is waargenomen binnen een bepaalde tijdspanne, wat neerkomt op de detectie van een voxel, in plaats van de sensor uit te lezen en op basis van de uitgelezen data te beslissen of er al of niet een event plaatsvond. Een probleem hierbij is echter dat de tijd die de sensor nodig heeft om te evalueren of er al of niet een event heeft plaatsgevonden, nog te hoog ligt, en momenteel in de meest recente uitvoeringen, zoals bij de sensoren van Prophesee, nog steeds minstens 1 μ s is. Bovendien is het bij dergelijke uitvoeringen quasi onmogelijk om valse positieven, door ambient light of thermische noise, te onderscheiden van echte events.
- WO 2013/018006, US 2012/257789 en US 2018/262705 beschrijven verwante systemen in de stand der techniek, die echter niet slagen om de besproken problematieken voldoende op te lossen.

Momenteel bestaan er geen systemen van sensorarchitectuur die in staat zijn om de gewenste detectiesnelheden te bereiken onder de voorgestelde karakteristieken zoals fotonbudget.

De huidige uitvinding beoogt een oplossing te vinden voor tenminste enkele van bovenvermelde problemen.

35

SAMENVATTING VAN DE UITVINDING

De uitvinding betreft een hogesnelheidssensorsysteem volgens de conclusies. De huidige architectuur betreft een systeem waarin hooggevoelige sensoren, zoals SPADs (single photon avalanche diodes) gebruikt om bij zeer geringe fotonbudgetten, wat een zeer korte scanning tijd toelaat, events waar te nemen, al of niet echte
5 detecties of foute waarneming door ambient light of thermische noise. De combinatie van deze features maakt het mogelijk om zeer snel aan beeldvorming te doen, ook bij hoge resoluties.

BESCHRIJVING VAN DE FIGUREN

10

Figuur 1 toont een schematische voorstelling weer van een rudimentaire versie van het systeem volgens de uitvinding.

15

Figuur 2 toont een schematische voorstelling weer van een systeem (1) volgens een uitvoeringsvorm van de uitvinding.

Figuur 3 toont een schematische voorstelling van een lichtgevoelige zone voorzien van detectoren en verbonden aan rij- en kolombussen.

20

Figuur 4 A-C tonen verdere uitvoeringsvormen op basis van Figuur 3.

GEDETAILEERDE BESCHRIJVING

25

Tenzij anders gedefinieerd hebben alle termen die gebruikt worden in de beschrijving van de uitvinding, ook technische en wetenschappelijke termen, de betekenis zoals ze algemeen begrepen worden door de vakman in het technisch veld van de uitvinding. Voor een betere beoordeling van de beschrijving van de uitvinding, worden de volgende termen expliciet uitgelegd.

30

"Een", "de" en "het" refereren in dit document aan zowel het enkelvoud als het meervoud tenzij de context duidelijk anders veronderstelt. Bijvoorbeeld, "een segment" betekent een of meer dan een segment.

35

Wanneer "ongeveer" of "rond" in dit document gebruikt wordt bij een meetbare grootheid, een parameter, een tijdsduur of moment, en dergelijke, dan worden variaties bedoeld van +/-20% of minder, bij voorkeur +/-10% of minder, meer bij

voorkeur +/-5% of minder, nog meer bij voorkeur +/-1% of minder, en zelfs nog meer bij voorkeur +/-0.1% of minder dan en van de geciteerde waarde, voor zoverre zulke variaties van toepassing zijn in de beschreven uitvinding. Hier moet echter wel onder verstaan worden dat de waarde van de grootte waarbij de term "ongeveer" of "rond" gebruikt wordt, zelf specifiek wordt bekendgemaakt.

De termen "omvatten", "omvattende", "bestaan uit", "bestaande uit", "voorzien van", "bevatten", "bevattende", "behelzen", "behelzende", "inhouden", "inhoudende" zijn synoniemen en zijn inclusieve of open termen die de aanwezigheid van wat volgt aanduiden, en die de aanwezigheid niet uitsluiten of beletten van andere componenten, kenmerken, elementen, leden, stappen, gekend uit of beschreven in de stand der techniek.

Het citeren van numerieke intervallen door de eindpunten omvat alle gehele getallen, breuken en/of reële getallen tussen de eindpunten, deze eindpunten inbegrepen.

In een eerste aspect betreft de uitvinding een hogesnelheidssensorsysteem voor beeldvorming, waarbij het systeem één of meerdere lichtbronnen omvat, en een array omvat met een veelheid single-photon detectoren (enkelvoudige-fotondetector of SPD), dewelke detectoren ruimtelijk verdeeld zijn over de array in een substantiële matrix-vorm, bij voorkeur op regelmatige intervallen van elkaar, waarbij de SPD geschikt zijn voor het detecteren van enkelvoudige fotonen, en het detecteren van het enkelvoudige foton registreert met een detectiesignaal; waarbij het systeem verder een veelheid aan rijbussen en kolombussen omvat, en waarbij de detectoren gegroepeerd zijn in rijen en/of kolommen, en waarbij de detectoren per rij aan één of meerdere rijbussen verbonden zijn en/of waarbij de detectoren per kolom aan één of meerdere kolombussen verbonden zijn aan de kolombus voor het aggregeren van signalen van de detectoren, waarbij per rijbus enkel detectoren uit één van de rijen aangesloten zijn aan de rijbus voor het aggregeren van signalen van de detectoren, waarbij per kolombus enkel detectoren uit één van de kolommen aangesloten zijn; het systeem verder omvattende een evaluatiecircuit, waarbij de rijbussen en de kolombussen verbonden zijn aan het evaluatiecircuit, het evaluatiecircuit aangepast zijnde voor het evalueren van de geaggregeerde signalen van de rijbussen en de kolombussen aan de hand van vooraf bepaalde confirmatiepatronen ter confirmatie van de detectie van een invallend foton en lokalisatie daarvan, waarbij genoemde confirmatiepatronen temporele en spatiale voorwaarden omvatten, en waarbij een detectie geconfirmeerd wordt aan de hand van een voldoen van de signalen van

rijbussen en kolombussen aan een voorafbepaald patroon. Daarbij betreffen de spatiale voorwaarden het waarnemen van een geaggregeerd signaal dat een detectiesignaal omvat uit minstens twee kolombussen horende bij aanpalende kolommen in een voorafbepaald tijdsvenster, en het waarnemen van een geaggregeerd signaal dat een detectiesignaal omvat in minstens twee rijbussen horende bij aanpalende rijen in een voorafbepaald tijdsvenster.

Tot nu toe worden single-photon detectoren zeer beperkt gebruikt door de hoge gevoeligheid, waardoor valse positieven de beeldvorming te sterk impacteren. Bovendien, om deze valse positieven te verwijderen, is verdere processing nodig van de output van de SPD's, en wordt de verwerkingssnelheid verlaagd en de voordelen van SPD's de facto teniet gedaan. De huidige uitvinding slaagt erin vals-positieve detectiesignalen weg te filteren door enerzijds de input die verwerkt moet worden te beperken door de sensoren te groeperen en de individuele signalen te aggregeren (rijbussen en kolombussen) en op die manier te verwerken, waarbij aan de hand van vooraf gedefinieerde confirmatiepatronen valse events verwijderd worden. Zo kan eveneens de (relatieve) locatie van de detecterende sensor terug bepaald worden uit de geaggregeerde info. Het evaluatiecircuit controleert hierbij de signalen uit de bussen (rij- en kolom) en matcht deze aan de confirmatiepatronen om valse positieven te verwijderen. Deze confirmatiepatronen kunnen spatiale en/of temporele voorwaarden omvatten, waarbij spatiale voorwaarden gerelateerd zijn aan de (relatieve) positie van de sensoren (en/of de kolom- en/of rijbussen daarvan) waarvan het signaal een detectie aangeeft. Zo kan bij ontvangst van een signaal dat een detectie aangeeft uit twee kolombussen waarvan de sensoren naburig zijn (bijvoorbeeld kolom 17 en 18), dit geïnterpreteerd worden als een bevestiging dat het niet om een random misfire gaat door thermische noise bijvoorbeeld. Al of niet gecombineerd daarmee kunnen ook temporele voorwaarden opgelegd worden dewelke gerelateerd zijn aan het (absolute en/of relatieve) tijdstip waarop signalen een detectie aangeven, zoals de vereiste dat slechts bij ontvangst van twee (of meer) signalen die een detectie aangeven binnen een voorafbepaalde tijdsperiode, dit als een echte event en detectie geïnterpreteerd wordt, en aldus geconfirmeerd wordt.

De aanvrager merkte op dat in de meeste systemen in de stand der techniek, ofwel het evaluatiecircuit te veel input te verwerken kreeg, en dit dus niet in meer het geplande tijdsframe van 10 ns kon uitvoeren, of dat de sensoren zelf gemodificeerd werden om de data te preprocessen, wat resulteerde in oplossingen die bijzonder onpraktisch en/of duur zijn, doordat meer geavanceerde sensoren of add-ons nodig

zijn om deze functionaliteit toe te laten. Bovendien is het niet mogelijk om de sensoren zelf de signalen op betrouwbare wijze te verwerken zonder rekening te houden met de input van andere sensoren. Om dit op te lossen, zouden alle sensoren onderling verbonden moeten worden qua input, wat zoals gezegd een hoge impact heeft op kostprijs alsook energie-efficiëntie, snelheid en compactheid.

In een voorkeurdragende uitvoeringsvorm omvatten de spatiale voorwaarden het waarnemen van een geaggregeerd signaal dat een detectiesignaal omvat uit minstens twee kolombussen horende bij aanpalende kolommen in een voorafbepaald tijdsvenster, en het waarnemen van een geaggregeerd signaal dat een detectiesignaal omvat in minstens twee rijbussen horende bij aanpalende rijen in een voorafbepaald tijdsvenster.

Het gebruiken van spatiale voorwaarden kan onder meer toegepast worden onder de vorm van zogenaamde coincidence detection, waarbij de (relatieve en/of absolute) fysieke locatie van de origine van meerdere 'positieve' signalen wordt vergeleken om deze zo te kunnen bevestigen aan de hand van probabilistische schattingen. Zo kan in bepaalde omstandigheden verwacht worden dat naburige of aanpalende kolomgroepen of rijgroepen (eventueel met bijkomende beperking qua 'lengte', het aantal sensoren per groep) een bepaalde kans hebben op een (essentieel) gelijktijdig (in zelfde tijdspanne) positief signaal dat verwaarloosbaar is, bijvoorbeeld in omstandigheden met beperkt ambient light. In andere omstandigheden kunnen de voorwaarden strenger gesteld worden om valse positieven te vermijden, door bijvoorbeeld drie of meer aanpalende groepen te vereisen om over een geconfirmeerde detectie te spreken. Bijkomend of alternatief kunnen ook eisen gesteld worden over de sterkte van de signalen (drempelwaarde) van de bussen om over een positieve detectie te spreken, wat verder afhangt van type sensor en gevoeligheid, alsook variatie op de gain van de sensor.

Bij voorkeur wordt gebruik gemaakt van de relatieve locatie van de detectoren geassocieerd aan de kolombussen en rijbussen om op die manier de spatiale voorwaarden te kunnen verifiëren. Typisch wordt een array regelmatig onderverdeeld, met een vast aantal detectoren per kolombus en een vast aantal detectoren per rijbus (al of niet gelijk voor rijbussen en kolombussen), wat de logische programmering voor verificatie spatiale voorwaarden sterk vereenvoudigt. Eenmaal een detectiesignaal geconfirmeerd is, kan dan vanuit de gekende positie van de detectoren van rij- en kolombussen de effectieve locatie eenvoudig bepaald

worden. Het aggregeren van de signalen van verschillende detectoren tot één signaal voor een kolom- of rijbus, verlicht de computationele vereisten sterk. Het nadeel dat hier normaliter aan gekoppeld gaat, is dat een deel van de informatie verloren gaat, namelijk dat slechts detectie kan geconfirmeerd worden voor een groep detectoren
5 gekoppeld aan de kolom- of rijbus, maar dat niet kan gedetecteerd worden om welke detector(en) het specifiek gaat. Door dit zowel voor rij- als kolombussen uit te voeren, kan echter een detectie gelokaliseerd worden langs de kolombussen (equivalent aan een X-coördinaat in de array) en een detectie gelokaliseerd worden langs de rijbussen (equivalent aan een Y-coördinaat in de array), en samen een
10 benaderende 2D positie gevend voor de locatie van de detectie.

In een voorkeurdragende uitvoeringsvorm omvatten de temporele voorwaarden een temporele overlap van het waarnemen van een geaggregeerd signaal omvattende een detectiesignaal van minstens één rijbus, en bij voorkeur minstens twee rijbussen
15 horende bij aanpalende rijen, en van het waarnemen van een geaggregeerd signaal omvattende een detectiesignaal van minstens één, en bij voorkeur minstens twee kolombussen horende bij aanpalende kolommen, waarbij aan de hand van de kolombussen en rijbussen horende bij een geconfirmeerde detectie, de lokalisatie van de inval van het foton op de array bepaald wordt.

20 Opnieuw kunnen de temporele voorwaarden afhankelijk van de omstandigheden strenger of lossier ingesteld worden, en in bepaalde situaties zelfs dynamisch zodanig dat deze zich automatisch aanpassen op basis bijvoorbeeld van gemiddelde detectie van (al of niet vals-positieve) signalen in de bussen per tijdseenheid.

25 Algemeen vereisen de temporele voorwaarden dat, om een detectie te confirmeren, dat de afzonderlijke detectiesignalen uit rijbus(sen) en kolombus(sen) overlappen, wat hier betekent dat het begin (leading edge) van de detectiesignalen binnen een voorafbepaalde tijdspanne vallen van elkaar, kleiner dan 100 ns, zoals bijvoorbeeld lager dan 50 ns, of bij voorkeur zelfs lager dan 10ns, 5 ns, 2.5 ns, 2ns, 1.5 ns, 1.0
30 ns, of zelfs lager. Bij voorkeur overlappen de detectiesignalen voor een substantieel gedeelte (minstens 25%, bij voorkeur minstens 50% of zelfs 75% overlappend). Deze eis zorgt ervoor dat willekeurige signalen door thermische noise en dergelijke, statistisch onwaarschijnlijk zijn gezien deze in twee verschillende detectoren quasi gelijktijdig zouden opgemerkt moeten worden. Om deze betrouwbaarheid op te
35 drijven, kan de voorafbepaalde tijdspanne vernauwd worden en/of de mate van overlap, en/of eventuele andere factoren. Op basis hiervan kan ook bij detectie op meerdere rijbussen en/of kolombussen geverifieerd worden of het om afzonderlijke

events gaat. Ten slotte kan bij detectie op meerdere rijbussen en meerdere kolombussen, ook de juiste matching uitgevoerd worden tussen de verschillende kolombussen en rijbussen door vergelijking van de graad van overlap. Als bvb. op $t = 0.075$ ns een signaal gedetecteerd wordt op kolombus 208, en op $t = 2.45$ ns op kolombus 472; en op $t = 2.38$ ns op rijbus 171 en op $t = 0.081$ ns op rijbus 23, kan afgeleid worden dat hoogstwaarschijnlijk twee events zijn gedetecteerd, één op positie (rijbus / kolombus) 208 / 23 en één op positie 472 / 171.

Een tweede temporele correlatie wordt toegepast tussen opeenvolgende tijdsvensters. Immers, bij een scannend systeem is het te verwachten dat, indien bijvoorbeeld een juiste detectie is gebeurd in tijdsvenster 1, met gedetecteerde positie bvb [10,100], dat de verwachte detectie coördinaten voor tijdsvenster 2 hier dicht in de buurt zullen liggen. Op deze manier kan een overweging gemaakt worden om detecties die ver van de vorige gedetecteerde coördinaat liggen in beraad te houden en/of met mogelijke toekomstige informatie te bevestigen als waar of als vals. Op deze manier kan een spatio-temporele patroon gezocht worden in de detecties over een aantal tijdsvensters dat overeen moet komen of sterk moet lijken op het te verwachten patroon in functie van het scan patroon van de lichtbron.

Het concept van de uitvinding reduceert dus de computationele load, door signalen van detectoren te aggregeren, waardoor effectieve events snel kunnen waargenomen voor een bepaalde bus, en weet dan door ingenieus gebruik te maken van bijkomende constraints om de precieze locatie van het event terug te vinden.

Bij bijzondere voorkeur omvatten de spatiale voorwaarden het waarnemen van een geaggregeerd signaal dat een detectiesignaal omvat uit minstens twee kolombussen horende bij aanpalende kolommen in een voorafbepaald tijdsvenster, en het waarnemen van een geaggregeerd signaal dat een detectiesignaal omvat in minstens twee rijbussen horende bij aanpalende rijen in een voorafbepaald tijdsvenster, en waarbij genoemde confirmatiepatronen temporele en spatiale voorwaarden omvatten.

Door zowel spatiale als temporele voorwaarden op te leggen, wordt de betrouwbaarheid van confirmatie van detectie sterk verbeterd. Bovendien is het op deze manier ook mogelijk om meerdere events in een tijdspanne correct te interpreteren zoals in voorgaande paragrafen besproken werd.

In een voorkeurdragende uitvoeringsvorm is elke SPD uniek verbonden aan één kolombus en uniek verbonden aan één rijbus. Het voordeel is hierbij dat het aantal

detectoren beperkt wordt, en de locatie nauwkeuriger kan bepaald worden (X en Y coördinaat). Zo kan in een rij met 20 SPD's die daaraan geassocieerd zijn, de eerste 5 SPD's verbonden zijn aan een eerste rijbus voor die rij, de tweede 5 aan een tweede rijbus voor die rij, en de volgende sets van 5 aan een derde en vierde rijbus voor die rij. Elke SPD is dus maar verbonden aan één rijbus, maar omgekeerd kunnen de (rij)bussen verbonden zijn aan meerdere SPD's.

In een alternatieve voorkeurdragende uitvoeringsvorm is elke SPD uniek verbonden aan ofwel één kolombus ofwel één rijbus. Een dergelijk systeem zal eenvoudiger zijn qua architectuur, maar hierbij wel meer detectoren gebruiken. Een sterk voordeel is echter dat 'foute' detecties op een detector (door bijvoorbeeld ambient light en dergelijke) typisch niet zowel zullen doorgegeven worden aan kolom- en rijbus geassocieerd aan de detector, zoals in de vorige uitvoeringsvorm, hoewel dergelijke vals-positieven via andere voorwaarden kunnen uitgefilterd worden (zoals vereiste dat 2 of meer aanpalende bussen een detectiesignaal moeten ontvangen).

In een verder voorkeurdragende uitvoeringsvorm omvat de array M op N single-photon detectoren, dewelke in een matrix gepositioneerd zijn met M rijen en N kolommen, waarbij per rij de SPD's verdeeld zijn over twee of meer rijgroepen van, bij voorkeur in de rij opeenvolgende, SPD's, en waarbij eenzelfde verdeling van de SPD's per rij zich doorzet over alle rijen, waarbij de SPD's van een rijgroep verbonden zijn aan rijbus geassocieerd aan de rijgroep, en waarbij de spatiale voorwaarden bijkomend het waarnemen betreft van een geaggregeerd signaal dat een detectiesignaal omvat in minstens twee rijbussen horende bij aanpalende rijgroepen in een voorafbepaald tijdsvenster. Zo zijn er maximaal M rijbussen en N kolombussen, maar in de praktijk veel minder, gezien meerdere SPD's per rij- en kolombus gegroepeerd zijn.

In bepaalde omstandigheden, bij zeer hoge resoluties, ligt het aantal detectoren per rij zeer hoog, en is het computationeel efficiënter om de detectoren per rij verder te verdelen in een aantal rijgroepen per rij (bij voorkeur waarbij elke detector slechts bij één rijgroep kan horen, hoewel opties bestaan waarin een aantal tot zelfs alle detectoren tot twee of meer rijgroepen behoort), waarbij elke rijgroep een eigen geassocieerde rijbus heeft. Bij voorkeur beheert elke bus tussen de 1 en 20 detectoren, bij verdere voorkeur tussen 2 en 10, bij nog verdere voorkeur tussen 2 en 5, of zelfs tussen 2 en 4. Dit beperkt de hoeveelheid multiple events op een rijbus per tijdspanne, waardoor deze differentiatie minder rekenkracht vergt. Bovendien

verhoogt de kans, bij een zeer groot aantal detectoren per rij zonder onderverdeling in rijgroepen, dat meerdere detectoren quasi-gelijktijdig een event waarnemen en dit bij de aggregatie van de signalen naar de rijbus, achteraf niet meer, of met beperkte zekerheid, te differentiëren valt. Een geschikte keuze van aantal detectoren per rijgroep zal deze problematiek sterk beperken, en aan de hand van statistische waarnemingen kan een geoptimaliseerd aantal bepaald worden, dat ook kan afhangen van de toepassing van de array (veel of weinig ambient light). In bepaalde uitvoeringsvormen kan het aantal detectoren per rijgroep ook dynamisch of manueel aangepast worden, om te kunnen inspelen op de omstandigheden. Zo kunnen er een aantal voorafbepaalde verdelingen bestaan waartussen kan gekozen worden.

In een verder voorkeurdragende uitvoeringsvorm omvat de array M op N single-photon detectoren dewelke in een matrix gepositioneerd zijn met M rijen en N kolommen, waarbij per kolom de SPD's verdeeld zijn over twee of meer kolomgroepen van, bij voorkeur in de kolom opeenvolgende, SPD's, en waarbij eenzelfde verdeling van de SPD's per kolom zich doorzet over alle kolommen, waarbij de SPD's van een kolomgroep verbonden zijn aan kolombus geassocieerd aan de kolomgroep, en waarbij de spatiale voorwaarden bijkomend het waarnemen betreft van een geaggregeerd signaal dat een detectiesignaal omvat in minstens twee kolombussen horende bij aanpalende kolomgroepen in een voorafbepaald tijdsvenster.

Eenzelfde redenering als eerder beschreven voor de verdeling van de detectoren in een rij in rijgroepen, is hier van toepassing. Bij bijzonder voorkeur worden beide verdelingen (rijgroepen en kolomgroepen) gecombineerd zoals hierboven beschreven.

Alternatief kunnen de detectoren afwisselend toegewezen worden aan de meerdere rijbussen en/of kolombussen, wat voordelen biedt bij de coïncidentiebepaling. Zo zal bij een impact die bijvoorbeeld meerdere aansluitende detectoren in één rij triggert (wat vaak gebeurt), dit leiden tot twee of meer rijbussen horende bij de rij die een detectie waarnemen. Bij een sequentiële verdeling zal dit leiden tot maar één rijbus die getriggerd wordt (tenzij het net twee detectoren betreffen die op de overgang tussen twee rijgroepen liggen).

In een voorkeurdragende uitvoeringsvorm zijn de SPD's aangepast voor het voorzien van een signaal naar de verbonden rijbus en/of kolombus, waarbij genoemd signaal

substantieel binair van aard is en het al of niet detecteren van invallend foton door de SPD weergeeft.

5 In een voorkeurdragende uitvoeringsvorm is het systeem aangepast om de rijbussen en kolombussen met vastgezette tussenperiodes voor te laden, waarbij de rijbussen en kolombussen aangepast zijn om zich te ontladen bij ontvangst van een geaggregeerd signaal omvattende een detectiesignaal.

10 In een voorkeurdragende uitvoeringsvorm is het evaluatiecircuit aangepast voor het controleren van ruimtelijke consistentie, waarbij een laatste lokalisatie van de inval van het foton op de array vergeleken wordt met één of meerdere voorgaande lokalisaties, en waarbij het evaluatiecircuit de laatste lokalisatie verwerpt bij detectie van een ruimtelijke discrepantie tussen de laatste lokalisatie en de voorgaande lokalisaties boven een voorafbepaalde, al of niet dynamische, bovengrens.

15 Door bovenstaande aanpassing kan op basis van historische gegevens, namelijk 'gekende' invalspositie van gereflecteerde straal, een ruwe filtering uitgevoerd worden die valse signalen verwijdt zonder dat hier veel rekenkracht aan besteed wordt in de verdere verwerking.

20 In een voorkeurdragende uitvoeringsvorm omvat het systeem een synchronisatie-component voor het synchroniseren van de signalen uit de detectoren.

25 Om de dispariteit te bepalen tussen de detectoren en de lichtbronnen, wordt een synchronisatie-component voorzien die deze temporeel op elkaar afstemt en synchroniseert. Dit kan onder meer bereikt worden door het fysiek verbinden van de elementen (detectoren en lichtbronnen) via kabel en via de kabel de elementen van een synchronisatiesignaal te voorzien. Alternatief kan het optische signaal (signaal van de lichtbronnen) op zichzelf een synchronisatiemoment voorzien dat verkregen wordt bij de acquisitie. Dit kan onder meer door het pulsen van het optisch signaal volgens een voorafbepaald patroon dat 'herkend' wordt, bijvoorbeeld als start van het scannen, waarbij alle sensoren dit kunnen gebruiken als een lokaal tijdstip 0, en daardoor onderling gesynchroniseerd zijn, alsook ten opzichte van de lichtbronnen.

35 In een voorkeurdragende uitvoeringsvorm is het systeem aangepast om gedurende een gedeelte van een beeldvormingsprocedure enkel signalen van een variabele subset van de detectoren in rekening te brengen in het evaluatiecircuit tijdens de

beeldvorming en signalen van detectoren niet in de subset weerhoudt, waarbij het systeem de detectoren in de subset selecteert op basis van voorgaande lokalisaties en optioneel op basis van oriëntatie en/of positionering van de één of meerdere lichtbronnen, waarbij de detectoren in de subset maximaal 25%, bij voorkeur maximaal 10%, van het totaal aantal detectoren omvat, en waarbij de detectoren in een subset samen gegroepeerd zijn.

In de praktijk zal per tijdspanne het grootste deel van de detectoren op de array geen event ervaren. Door het systeem aan te passen om slechts signalen van een deel van de detectoren te verwerken in het evaluatiecircuit (en een deel dus effectief te negeren), kan de computationele last sterk gereduceerd worden. De moeilijkheid bestaat erin dat vooraf niet met zekerheid kan gesteld worden welke detectoren genegeerd mogen worden. Om die reden kan op statistische basis, en historische data, een schatting gemaakt worden van mogelijke variatie van de invalspositie van de gereflecteerde straal of stralen op het array, ten opzichte van de vorige gedetecteerde invalsposities, en bij voorkeur verder ook op basis van het scanning patroon van de lichtbron(nen). Door hiermee rekening te houden, kan een relevante zone gedefinieerd worden waar de gereflecteerde straal zal invallen met een voorafbepaalde statistische waarschijnlijkheid, waarbij detectoren buiten deze relevante zone niet in beschouwing genomen worden. Deze relevante zone kan substantieel cirkelvormig zijn, ovaal, rechthoekig, of grillig qua patroon. Op die manier moet een substantieel deel van de detectoren, zeker bij zeer grote arrays, niet in beschouwing genomen worden bij de verwerking. De bepaling van de relevante zone kan in bepaalde uitvoeringsvormen ook rekening houden met detecties in meerdere van de voorgaande tijdspannes, om zo een patroon hierin te herkennen waarmee rekening kan gehouden worden voor het voorspellen van de relevante zone.

Een zeer groot, bijkomend voordeel van het beperken tot een subset van de detectoren die actief zijn/in rekening gebracht worden, is dat op deze manier ook een groot aantal valse positieven (door thermische noise en dergelijke) niet verwerkt worden.

In een voorkeurdragende uitvoeringsvorm is het systeem aangepast om gedurende een gedeelte van een beeldvormingsprocedure slechts een variabele subset van detectoren te activeren tijdens de beeldvorming en detectoren niet in de subset deactiveert, waarbij het systeem de detectoren in de subset selecteert op basis van voorgaande lokalisaties en optioneel op basis van oriëntatie en/of positionering van

de één of meerdere lichtbronnen, waarbij de detectoren in de subset maximaal 25%, bij voorkeur maximaal 10%, van het totaal aantal detectoren omvat, en waarbij de detectoren in een subset samen gegroepeerd zijn.

5 In een voorkeurdragende uitvoeringsvorm omvatten de detectoren single-photon avalanche dioden (SPAD), en zijn deze bij voorkeur SPADs.

SPADs zijn halfgeleider-fotodetectoren die gebruik maken van een zeer hoge sperspanning, zodanig dat impactionisatie plaats vindt bij detectie, en er zo een lawine-effect optreedt, en dus een hoge stroom die zeer snel groeit. De keuze voor
10 SPADs is deels gestoeld op de snelheid waarmee de impactionisatie bereikt wordt, en het eenvoudig 'resetten' van deze detectoren.

In een voorkeurdragende uitvoeringsvorm zijn de detectoren voorzien van een quenching circuit dewelke het detectiesignaal van de detectoren normaliseert.
15

De aanwezigheid van een quenching circuit is noodzakelijk om de signalen (lawinestroom) te reduceren, om de detectoren te resetten, alsook om het signaal veroorzaakt door de lawinestroom te begrenzen. Het quenching circuit is bij voorkeur actief, bijvoorbeeld met behulp van een zogenaamde discriminator die de
20 sperspanning reduceert, maar kan alternatief ook passief zijn, zoals in de vorm van een weerstand in serie met de detector.

In een voorkeurdragende uitvoeringsvorm zijn per rijbus en per kolombus maximaal 100 detectoren, bij voorkeur maximaal 50 detectoren, verbonden.
25

Zoals aangegeven, is het efficiënter om het aantal detectoren per bus te begrenzen. Op deze manier is het eenvoudiger om meervoudige events op een bus te onderscheiden van elkaar, en kunnen er strengere spatiale voorwaarden opgelegd worden.
30

In wat volgt, zullen een aantal specifieke uitvoeringsvormen in de praktijk besproken worden, alsook aan de hand van schematische voorstellingen in de figuren.

VOORBEELDEN

35

In een eerste voorbeeld betreft de uitvinding een detectie-architectuur aangepast voor zeer snelle (i.e. over tijdspannes van 10 ns of minder) en laagdrempelige (i.e.

bij beperkte fotonbudgetten) fotondetectie, en vertaling daarvan naar duidelijk digitaal signaal om een event (effectieve detectie van gereflecteerde lichtstraal in tegenstelling tot ambient light of thermische noise) weer te geven.

5 Figuur 1 geeft een schematische voorstelling weer van een rudimentaire versie van het systeem volgens de uitvinding, omvattende minstens één lichtbron (2) en één, bij voorkeur N, detectoren of sensoren (1) die een bepaald tafereel in de omgeving capteren. De lichtbron verlicht het tafereel met een lichtstraal (laser of LED), typisch in een voorgeprogrammeerd patroon en/of op sequentiële wijze, zoals het scannen van het tafereel via een lichtpunt (3) in een dynamisch patroon (4). De N detectoren
10 (1) detecteren de positie van het lichtpunt (3) in het tafereel, bijvoorbeeld via triangulatie op basis van de output van de verschillende detectoren.

Gezien het opzet van de uitvinding gericht is op het verwerken van miljoenen voxels per second, zonder het probleem te 'brute forcen', moet de snelheid waarmee gescand kan worden zeer hoog zijn, en de verwerking daarvan geoptimaliseerd
15 worden gezien het beperkte fotonbudget en korte tijdsframe.

Figuur 2 geeft een schematische voorstelling weer van een systeem (1) volgens een uitvoeringsvorm van de uitvinding, waarbij het systeem een lichtgevoelige zone (11) omvat, typisch een array van lichtgevoelige elementen of detectoren (bvb. SPAD)
20 omvattend. Het systeem omvat verder een evaluatie-circuit (12), dat een logica-circuit omvat, zoals een logische poort of variaties hierop, die verbonden is met de lichtgevoelige zone (11) en die aangepast is voor het determineren van de validiteit van de data verkregen van de detectoren van de lichtgevoelige zone. Verder omvat het systeem hier een logica-circuit (12 indien gecombineerd met logica-circuit voor
25 valideren van de data) voor het samenvoegen van de data/signalen verkregen van de detectoren tot een (enkelvoudige) datastream. Ook kan het systeem een synchronisatie-component omvatten voor het synchroniseren van de datastream en het optische signaal van de lichtbron(nen) en/of de data van de verschillende detectoren.

30 In een eerste specifiekere versie van dit voorbeeld, conceptueel weergegeven in Figuur 3, omvat de lichtgevoelige zone (11) een veelheid van SPADs (21) opgesteld in een array met M rijen en N kolommen, waarbij iedere SPAD voorzien is van een quenching circuit, passief of actief, en waarbij de SPADs voorgesteld worden als een vierkante cel. Merk op dat de twee connectiepunten per cel puur visueel zijn, en
35 dienen als verbindingspunt van de SPAD naar een rij- en/of kolombus. Alle SPADs zijn verbonden aan een kolombus (24) en aan een rijbus (23), waarbij per rij en/of kolom één of meerdere bussen voorzien zijn (bij voorkeur meerdere bussen per rij

en per kolom, hoewel het mogelijk is om alle SPADs op een rij of kolom op één bus te connecteren). In Figuur 3 worden per rij 2 rijbussen en per kolom 2 kolombussen gebruikt, waarbij de SPADs afwisselend aan de ene of de andere bus aangesloten worden. Alternatief kan dit ook sequentieel gebeuren (eerste X opeenvolgende SPADs op eerste bus, rest op tweede bus).

Bij detectie van een foton op SPAD, zal dit leiden tot detectie van een event op de geassocieerde rij- en kolombus.

In Figuur 4A wordt het voorbeeld gegeven van een fotonimpact die gedetecteerd wordt op 4 verschillende, naburige SPADs (zie cirkel). Indien elke impact voldoende is om een detectie te triggeren op de SPAD (laagenergetische impact kan onvoldoende zijn om de SPAD tot avalanche breakdown te leiden), wordt een detectie doorgegeven op 4 rij(groep)bussen en 4 kolom(groep)bussen, zoals te zien is aan de hand van de signalen links voor de rijbussen, en onderaan voor de kolombussen.

In Figuur 4B wordt ook een event gedetecteerd op een enkele SPAD (linksboven, tweede rij, eerste kolom), die leidt tot een doorgegeven detectie op één rijbus en één kolombus.

Het evaluatiecircuit (12) die de signalen ontvangt van de rij- en kolombussen legt hierbij een aantal voorwaarden op voor het evalueren van de inkomende signalen, om al of niet een geconfirmeerde event aan te geven. Zo zal het evaluatie-circuit typisch solitaire events, zoals de detectie linksboven, beschouwen als een valse detectie, terwijl meervoudige detecties bij naburige bussen (zoals op rij 3-4, kolom 3-4), typisch wel zullen beschouwd worden als echte events.

In Figuur 4C wordt nog een bijkomende solitaire event gedetecteerd op rij 5, kolom 2. Dit leidt tot een vermeend event op twee naburige kolombussen (kolombus 2 en 3), die echter afkomstig is van twee afzonderlijke events. Door echter ook rekening te houden met de rijbussen, kan men zien dat dit gaat om afzonderlijke solitaire events, die beiden weerhouden kunnen worden.

Om te vermijden dat solitaire events kunnen leiden tot een patroon dat voldoet aan de voorwaarden van het evaluatie-circuit (voorafbepaald patroon of patronen), is het voordelig om voldoende bussen te voorzien per rij en kolom SPADs, gezien dit de kans beperkt om op naburige bussen toevallig events waar te nemen in eenzelfde tijdsframe.

Echte events (i.e. echte impact van gereflecteerde lichtstraal op array) leiden normaliter echter wel tot detecties die voldoen aan de voorwaarden van het evaluatie-circuit, gezien het triggeren niet beperkt blijft tot één SPAD, maar ook één

of meer naburige SPADs zal triggeren, en bovendien in een zeer beperkt tijdsframe, wat de correlatie tussen de afzonderlijke detecties zal bevestigen bij evaluatie.

De uitvinding maakt hierbij gebruik van coïncidentie detectie op basis van de ruimtelijke positie van de pixels (detectoren) in de array, door confirmatiepatronen te zoeken in de signalen van de rij- en kolombussen, om zo te bepalen of een echt fotonpakket (en dus een gereflecteerde lichtstraal) gedetecteerd werd.

In Figuur 4C wordt een bijkomende maatregel voorzien, namelijk het beperken van de actieve/in rekening gebrachte detectoren tot een subset van de detectoren, door middel van een zogenaamde "enable window" (22). De term "enable window" draagt geen beperking op vorm of grootte, en kan dynamisch variëren hierin. Deze window fungeert als voorspellende zone waarin verwacht wordt het lichtpunt te detecteren op basis van historisch data (zoals voorgaande detecties, bewegingspatroon over vorige detecties heen, sterke van ambient licht, etc.). Op deze manier wordt een substantieel deel van de SPADs niet mee in rekening gebracht voor de lokalisatie van inval van de lichtstraal, wat enerzijds de valse positieven sterk reduceert (gezien deze voor een groot deel at random verspreid zijn, en door het aantal SPADs te beperken, het aantal valse detecties in dezelfde graad beperkt wordt), en anderzijds ook het aantal te verwerken signalen beperkt, en wordt vermeden dat de bussen gesatureerd worden door solitaire events.

Alternatief, of aanvullend aan voorgaande, kan ook de gevoeligheid van de detectoren aangepast worden, al of niet dynamisch, om op die manier verzadiging van de kolom- en/of rijbussen te vermijden. Als gevolg hiervan zal meer energie moeten gebruikt worden in het actief optisch signaal (i.e. lichtbron) om de kans op voldoende fotonen die samen invallen (coïncidentie) te verhogen. Op deze manier kan achtergrondstraling en thermische noise efficient gefilterd worden.

Door een aantal confirmatiepatronen te definiëren, kan het systeem eenvoudig, snel (en eventueel dynamisch) aangepast worden voor verschillende situaties. Bijvoorbeeld kan in situaties met beperkt omgevingslicht, zoals 's nachts, indoor, etc., de spatiale voorwaarde verwijderd of versoepeld worden. Ook kunnen 'ongewenste' events gefilterd worden door de ruwe detecties te vergelijken met een verwacht verlichtingspatroon, dat bijvoorbeeld rekening houdt met het patroon waarmee de verlichtingsbron het tafereel scant. Zo kan in een uitvoeringsvorm de lichtbron geprogrammeerd zijn om het tafereel te scannen aan de hand van een Lissajous patroon, wat een impact zal hebben op de waargenomen detecties, die

typisch een soortgelijk patroon zullen aannemen, zij het verstoord. Hierbij kunnen dan sterk afwijkende detecties ten opzichte van het verwachte verlichtingspatroon verworpen worden als noise en dergelijk.

- 5 In bepaalde uitvoeringsvormen kunnen bovendien meerdere 'confirmatiestromen' van geëvalueerde detecties die voldoen aan verschillende confirmatiepatronen in parallel gehouden worden. Zo kunnen deze afgetoetst worden aan metingen in latere tijdspannes om zo tot een grotere zekerheid te komen welke de correcte confirmatiestroom was.

10

De communicatie van detector naar bus kan bijvoorbeeld via een pull-down (of pull-up) element aan de bus, waarbij een detectie een signaal genereert dat zorgt voor ontlading van de voorgeladen bus. Na afloop van elke tijdspanne van detectie worden de bussen terug voorgeladen ter afwachten van het voorkomen of niet van een
15 detectie vanuit de SPAD. Het voordeel hiervan is dat deze pull-down ontladingen zeer eenvoudig detecteerbaar zijn voor het evaluatie-circuit. Optioneel kan een versterkercircuit voorzien worden voorafgaand aan het discretiseren van de signalen. Aan de hand hiervan, kan het systeem per tijdspanne een lijst voorzien van locaties in de array waar confirmatiepatronen gedetecteerd werden.

20

In een alternatieve uitvoeringsvorm, betreft de uitvinding een systeem waarbij het lichtgevoelig deel op 1 laag geïmplementeerd is en de verwerkings-circuits en -logica op een 2de laag. De lagen zijn op elkaar gestapeld en verbonden met 1 of meer elektrische connecties per pixel of per pixel group. Het zoeken naar verwachte
25 detectiepatronen in de sensor kan nu nog lokaler gebeuren, waarbij in plaats van detectiepatronen op projecties (rij-/kolombussen) een twee-dimensionaal patroon gezocht kan worden in elk sub-venster van de sensor array.

30

Another embodiment of the invention introduced a stacking layer in which the spad detector triggers are combined and analysed. When working on a single layer, the assertions need to be monitored on the 'projections', either on column and row busses, or different projections such as diagonal or other busses. The introduction of a second layer provide more local monitoring of spad detector clusters, monitoring their co-inciding event creation. Due to the more local monitoring, less spad detector
35 devices can be considered per cluster and saturation of the busses can be avoided when high amounts of ambient event are being generated.

Also, the assertion pattern can now be considered as a 2 dimensional assertion pattern that can be compared with each detection cluster under test. When a match is found with the wanted assertion pattern a detection can be considered with high confidence.

- 5 In een alternatieve uitvoeringsvorm, betreft de uitvinding een systeem met een array aan pixels, waarbij elke pixel één of meerdere single-photon detectoren, bij voorkeur SPADs, omvat. De pixels kunnen daarbij (gedeeltelijk) overlappen, waarbij naburige pixels detectoren kunnen delen.

- Door thermische noise en achtergrondstraling die op de pixels invalt, zullen de
10 detectoren een detectiesignaal uitsturen aan een rate gelijk aan de DCR (dark count rate) en BGR (background rate). Deze events zijn onderling niet temporeel gecorreleerd, waardoor de detectoren los van elkaar zullen getriggerd worden. Door in het confirmatiepatroon of de temporele en spatiale voorwaarden op te nemen dat enkel een detectie geconfirmeerd wordt wanneer één of meerdere SPADs in een pixel
15 getriggerd worden in een voorafbepaalde tijdsframe, wordt het aanvaarden van valse positieven drastisch verminderd, gezien de events van valse positieven niet gecorreleerd zijn.

- In contrast daarmee, wanneer een pixel bestraald wordt met een actieve lichtstraal
20 (i.e. afkomstig van belichting van het tafereel door de lichtbron(nen)) binnen de voorafbepaalde tijdspanne (van bijvoorbeeld 10 ns), waarbij het energiebudget van de lichtstraal zodanig aangepast is dat een SPAD of andere detector die belicht wordt door een gereflecteerde straal, ook effectief één of meer fotonen waarneemt en zo getriggerd wordt. Op deze wijze verhoogt de kans ook sterk dat een pixel meerdere
25 events waarneemt in de afzonderlijke detectoren of SPADs van de pixel. Dit berust verder op coïncidentie detectie. In de huidige uitvinding wordt het principe van coïncidentie detectie gebruikt als signaal zonder dat hierbij een exacte tijdstempel voorzien wordt gekoppeld aan het event, gezien enkel de locatie van het event op de array nodig is.

- 30 Een pixel kan op deze wijze coïncidentie events detecteren en doorgeven aan de kolom- en rijbus om aan te geven dat een event heeft plaatsgevonden.

- Het mechanisme voor evaluatie van de coïncidentie kan voorzien worden per pixel of alternatief per set pixels. Alternatief kan het ook geïntegreerd zijn in de periferie van
35 de systemen, wat de array zelf sterk vereenvoudigt, gezien geen lokale coïncidentie evaluatie meer nodig is, en enkel quenching circuits. Elke SPAD zal een waarneming doorgeven aan de rij- en/of kolombus aan dewelke de SPAD geassocieerd is. De

periferie kan hierbij een massief parallel verbonden digitaal circuit omvatten, dat over elke voorafbepaalde tijdspanne (10 ns) de toestand van de bus monitort. Indien in deze tijdspanne events gedetecteerd worden in:

- 5 - 2 naburige kolommen en voor eenzelfde lijn (in geval een 2X1 confirmatiepatroon voldoende is); of
- 2 naburige lijnen en voor eenzelfde kolom (voor een 1X2 confirmatiepatroon); of
- 2 naburige lijnen en twee naburige kolommen (voor een 2x2 confirmatiepatroon); of
- 10 - een ander voorafbepaald confirmatiepatroon;

dan wordt een event geconfirmeerd en gerapporteerd. Vervolgens kan het eventueel voorzien worden van een tijdsstempel en gecommuniceerd worden aan een verder toestel.

- 15 Het is verondersteld dat de huidige uitvinding niet beperkt is tot de uitvoeringsvormen die hierboven beschreven zijn en dat enkele aanpassingen of veranderingen aan de beschreven voorbeelden kunnen toegevoegd worden zonder de toegevoegde conclusies te herwaarderen.

CONCLUSIES

1. Hogesnelheidssensorsysteem voor beeldvorming, waarbij het systeem één of meerdere lichtbronnen omvat, en een array omvat met een veelheid single-photon detectoren (enkelvoudige-fotondetector of SPD), dewelke detectoren ruimtelijk verdeeld zijn over de array in een substantiële matrix-vorm, bij voorkeur op regelmatige intervallen van elkaar, waarbij de SPD geschikt zijn voor het detecteren van enkelvoudige fotonen, en het detecteren van het enkelvoudige foton registreert met een detectiesignaal; waarbij het systeem verder een veelheid aan rijbussen en kolombussen omvat, en waarbij de detectoren gegroepeerd zijn in rijen en/of kolommen, en waarbij de detectoren per rij aan één of meerdere rijbussen verbonden zijn en/of waarbij de detectoren per kolom aan één of meerdere kolombussen verbonden zijn aan de kolombus voor het aggregeren van signalen van de detectoren, waarbij per rijbus enkel detectoren uit één van de rijen aangesloten zijn aan de rijbus voor het aggregeren van signalen van de detectoren, waarbij per kolombus enkel detectoren uit één van de kolommen aangesloten zijn; het systeem verder omvattende een evaluatiecircuit, waarbij de rijbussen en de kolombussen verbonden zijn aan het evaluatiecircuit, het evaluatiecircuit aangepast zijnde voor het evalueren van de geaggregeerde signalen van de rijbussen en de kolombussen aan de hand van vooraf bepaalde confirmatiepatronen ter confirmatie van de detectie van een invallend foton en lokalisatie daarvan, waarbij genoemde confirmatiepatronen temporele en spatiale voorwaarden omvatten, en waarbij een detectie geconfirmeerd wordt aan de hand van een voldoen van de signalen van rijbussen en kolombussen aan een voorafbepaald patroon, waarbij de spatiale voorwaarden het waarnemen betreft van een geaggregeerd signaal dat een detectiesignaal omvat uit minstens twee kolombussen horende bij aanpalende kolommen in een voorafbepaald tijdsvenster, en het waarnemen betreft van een geaggregeerd signaal dat een detectiesignaal omvat in minstens twee rijbussen horende bij aanpalende rijen in een voorafbepaald tijdsvenster.
2. Hogesnelheidssensorsysteem voor beeldvorming volgens conclusie 1, waarbij de temporele voorwaarden een temporele overlap betreffen van het waarnemen van een geaggregeerd signaal omvattende een detectiesignaal van minstens één rijbus, en bij voorkeur minstens twee rijbussen horende bij aanpalende rijen, en van het waarnemen van een geaggregeerd signaal

- omvattende een detectiesignaal van minstens één, en bij voorkeur minstens twee kolombussen horende bij aanpalende kolommen, waarbij aan de hand van de kolombussen en rijbussen horende bij een geconfirmeerde detectie, de lokalisatie van de inval van het foton op de array bepaald wordt
- 5 en bij voorkeur volgens conclusie 2 en waarbij genoemde confirmatiepatronen temporele en spatiale voorwaarden omvatten.
3. Hogesnelheidssensorsysteem voor beeldvorming volgens één van de voorgaande conclusies 1 tot en met 2, waarbij elke SPD uniek verbonden is
- 10 aan één kolombus en uniek verbonden is aan één rijbus.
4. Hogesnelheidssensorsysteem voor beeldvorming volgens de voorgaande conclusie 3, waarbij de array M op N single-photon detectoren omvat dewelke
- 15 in een matrix gepositioneerd zijn met M rijen en N kolommen, waarbij per rij de SPD's verdeeld zijn over twee of meer rijgroepen van, bij voorkeur in de rij opeenvolgende, SPD's, en waarbij eenzelfde verdeling van de SPD's per rij zich doorzet over alle rijen, waarbij de SPD's van een rijgroep verbonden zijn
- aan rijbus geassocieerd aan de rijgroep, en waarbij de spatiale voorwaarden bijkomend het waarnemen betreft van een geaggregeerd signaal dat een
- 20 detectiesignaal omvat in minstens twee rijbussen horende bij aanpalende rijgroepen in een voorafbepaald tijdsvenster.
5. Hogesnelheidssensorsysteem voor beeldvorming volgens één van de voorgaande conclusies 3 of 4, waarbij de array M op N single-photon
- 25 detectoren omvat dewelke in een matrix gepositioneerd zijn met M rijen en N kolommen, waarbij per kolom de SPD's verdeeld zijn over twee of meer kolomgroepen van, bij voorkeur in de kolom opeenvolgende, SPD's, en waarbij eenzelfde verdeling van de SPD's per kolom zich doorzet over alle kolommen, waarbij de SPD's van een kolomgroep verbonden zijn aan
- 30 kolombus geassocieerd aan de kolomgroep, en waarbij de spatiale voorwaarden bijkomend het waarnemen betreft van een geaggregeerd signaal dat een detectiesignaal omvat in minstens twee kolombussen horende bij aanpalende kolomgroepen in een voorafbepaald tijdsvenster.
- 35 6. Hogesnelheidssensorsysteem voor beeldvorming volgens één van de voorgaande conclusies 1 tot en met 5, waarbij de SPD's aangepast zijn voor het voorzien van een signaal naar de verbonden rijbus en/of kolombus,

waarbij genoemd signaal substantieel binair van aard is en het al of niet detecteren van invallend foton door de SPD weergeeft.

- 5 7. Hogesnelheidssensorsysteem voor beeldvorming volgens één van de voorgaande conclusies 1 tot en met 6, waarbij het systeem aangepast is om de rijbussen en kolombussen met vastgezette tussenperiodes voor te laden, waarbij de rijbussen en kolombussen aangepast zijn om zich te ontladen bij ontvangst van een geaggregeerd signaal omvattende een detectiesignaal.
- 10 8. Hogesnelheidssensorsysteem voor beeldvorming volgens één van de voorgaande conclusies 1 tot en met 7, waarbij het evaluatiecircuit aangepast is voor het controleren van ruimtelijke consistentie, waarbij een laatste lokalisatie van de inval van het foton op de array vergeleken wordt met één of meerdere voorgaande lokalisaties, en waarbij het evaluatiecircuit de laatste
15 lokalisatie verwerpt bij detectie van een ruimtelijke discrepantie tussen de laatste lokalisatie en de voorgaande lokalisaties boven een voorafbepaalde, al of niet dynamische, bovengrens.
- 20 9. Hogesnelheidssensorsysteem voor beeldvorming volgens één van de voorgaande conclusies 1 tot en met 8, waarbij het systeem een synchronisatie-component omvat voor het synchroniseren van de signalen uit de detectoren.
- 25 10. Hogesnelheidssensorsysteem voor beeldvorming volgens één van de voorgaande conclusies 1 tot en met 9, waarbij het systeem aangepast is om gedurende een gedeelte van een beeldvormingsprocedure enkel signalen van een variabele subset van de detectoren in rekening te brengen in het evaluatiecircuit tijdens de beeldvorming en signalen van detectoren niet in de subset weerhoudt, waarbij het systeem de detectoren in de subset selecteert
30 op basis van voorgaande lokalisaties en optioneel op basis van oriëntatie en/of positionering van de één of meerdere lichtbronnen, waarbij de detectoren in de subset maximaal 25%, bij voorkeur maximaal 10%, van het totaal aantal detectoren omvat, en waarbij de detectoren in een subset samen gegroepeerd zijn.
- 35 11. Hogesnelheidssensorsysteem voor beeldvorming volgens één van de voorgaande conclusies 1 tot en met 10, waarbij het systeem aangepast is om gedurende een gedeelte van een beeldvormingsprocedure slechts een

- variabele subset van detectoren te activeren tijdens de beeldvorming en detectoren niet in de subset deactiveert, waarbij het systeem de detectoren in de subset selecteert op basis van voorgaande lokalisaties en optioneel op basis van oriëntatie en/of positionering van de één of meerdere lichtbronnen, waarbij de detectoren in de subset maximaal 25%, bij voorkeur maximaal 10%, van het totaal aantal detectoren omvat, en waarbij de detectoren in een subset samen gegroepeerd zijn.
- 5
12. Hogesnelheidssensorsysteem voor beeldvorming volgens één van de voorgaande conclusies 1 tot en met 11, waarbij de detectoren single-photon avalanche dioden (SPAD) omvatten en bij voorkeur SPADs zijn.
- 10
13. Hogesnelheidssensorsysteem voor beeldvorming volgens één van de voorgaande conclusies 1 tot en met 12, waarbij de detectoren voorzien zijn van een quenching circuit dewelke het detectiesignaal van de detectoren normaliseert.
- 15
14. Hogesnelheidssensorsysteem voor beeldvorming volgens één van de voorgaande conclusies 1 tot en met 13, waarbij per rijbus en per kolombus maximaal 100 detectoren, bij voorkeur maximaal 50 detectoren, verbonden zijn.
- 20
15. Hogesnelheidssensorsysteem voor beeldvorming volgens één van de voorgaande conclusies 1 tot en met 14, waarbij het evaluatiecircuit aangepast is voor het controleren van ruimtelijke consistentie, waarbij een laatste lokalisatie van de inval van het foton op de array vergeleken wordt met één of meerdere voorgaande lokalisaties, en waarbij het evaluatiecircuit de laatste lokalisatie verwerpt bij detectie van een ruimtelijke discrepantie tussen de laatste lokalisatie en de voorgaande lokalisaties boven een voorafbepaalde, al of niet dynamische, bovengrens.
- 25
- 30

FIGUREN

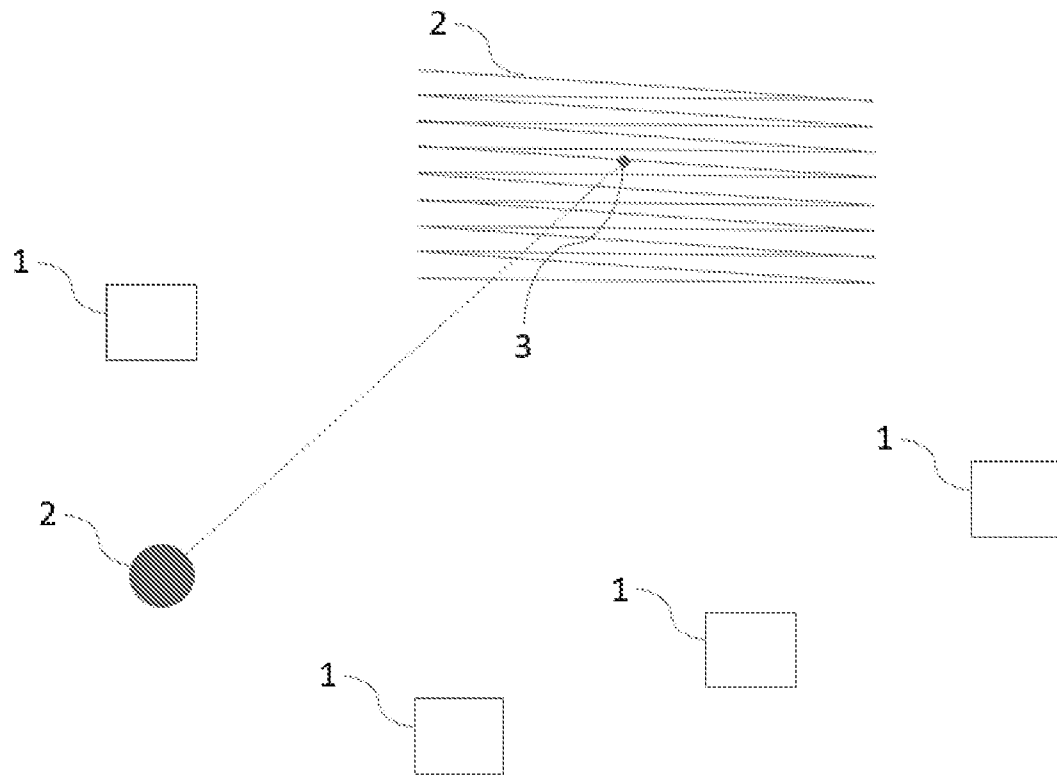


Fig. 1

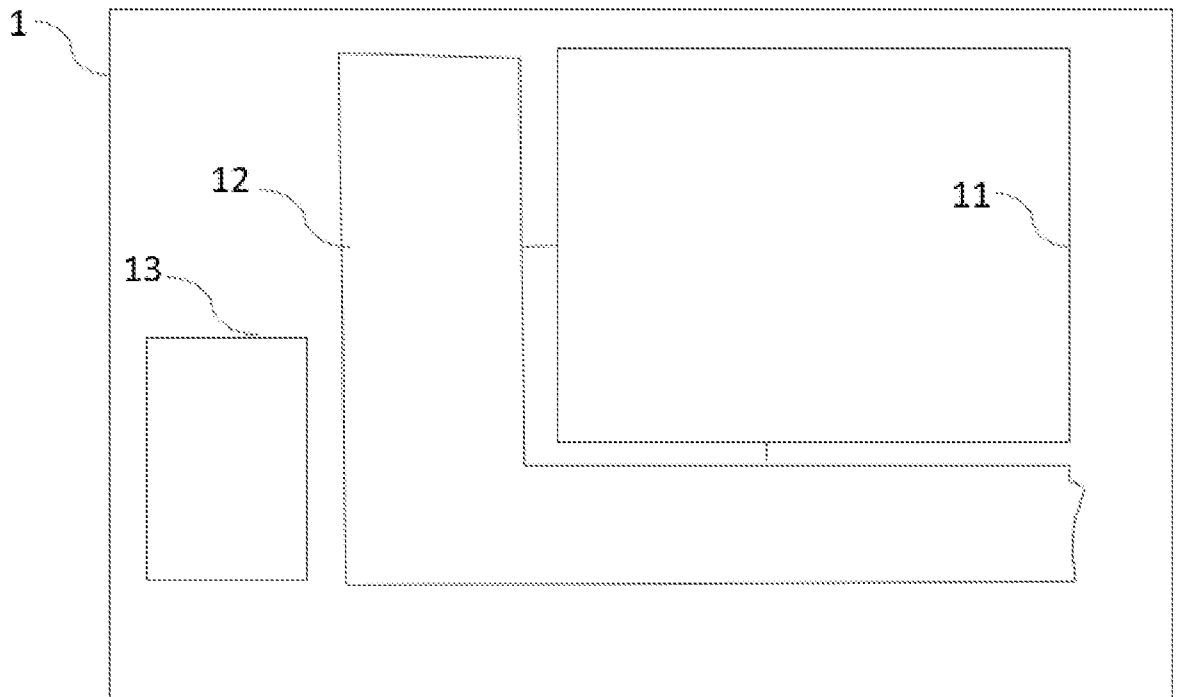


Fig. 2

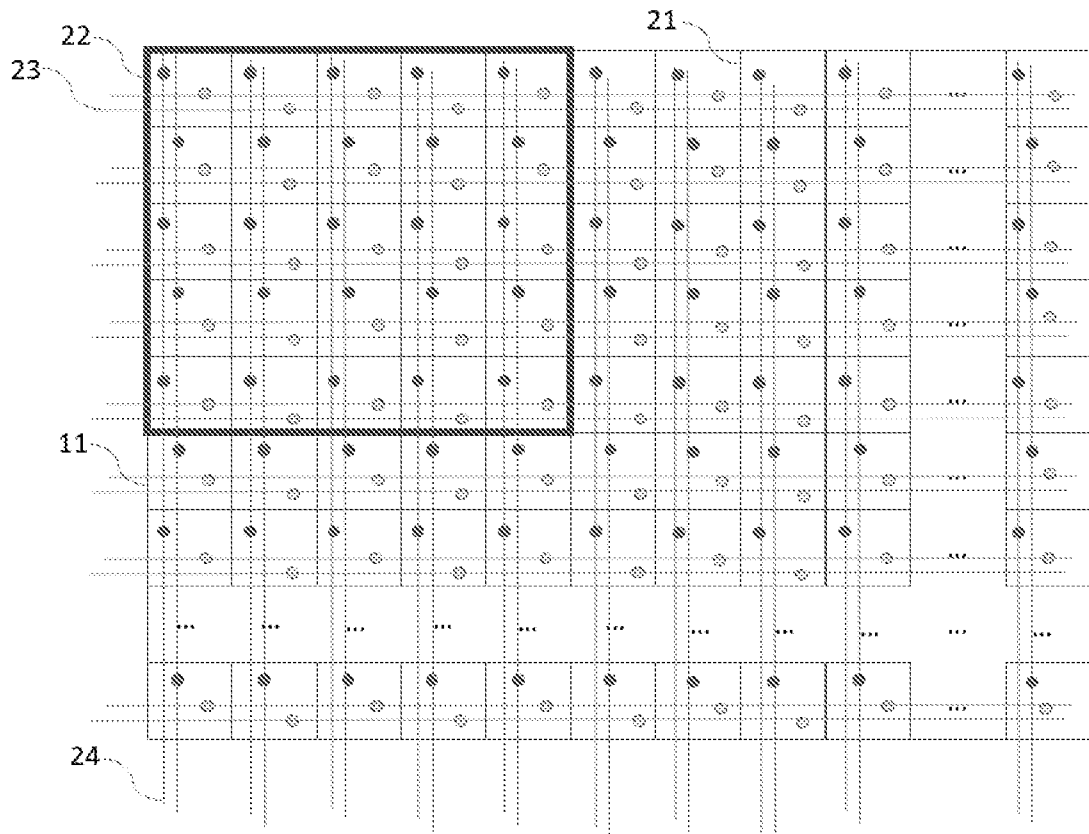


Fig. 3

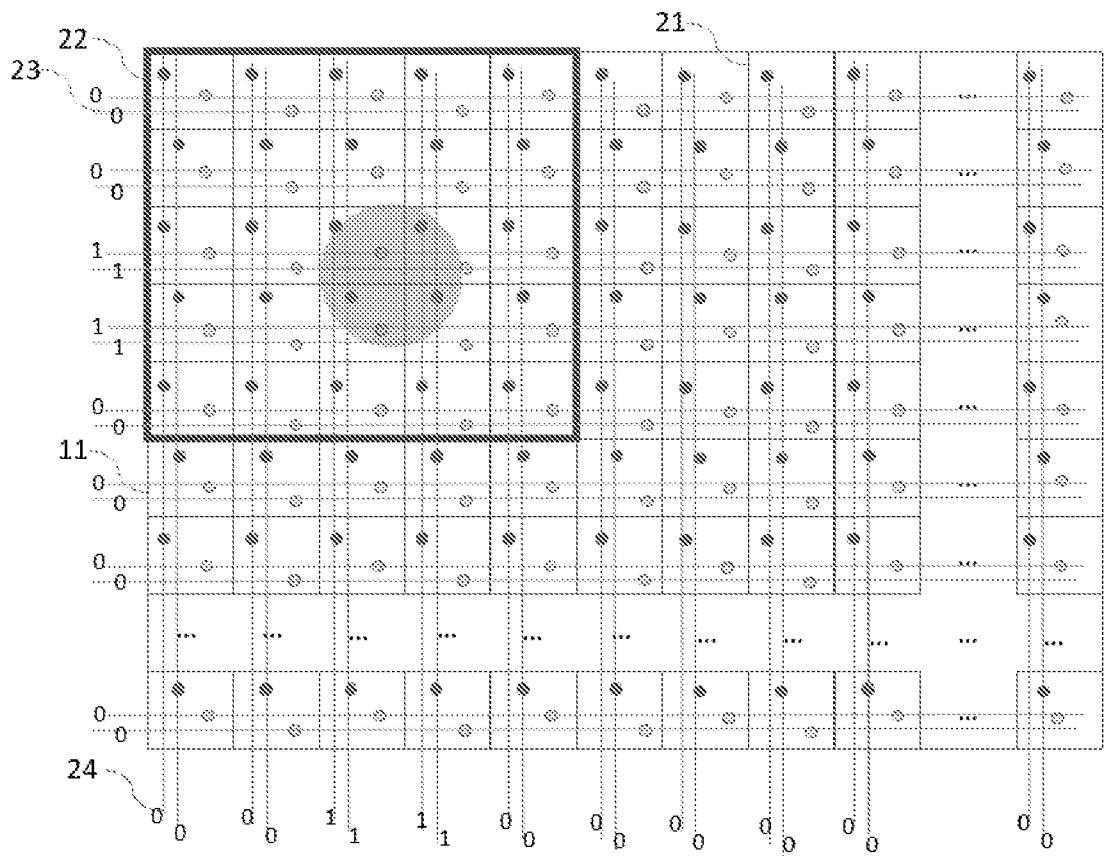
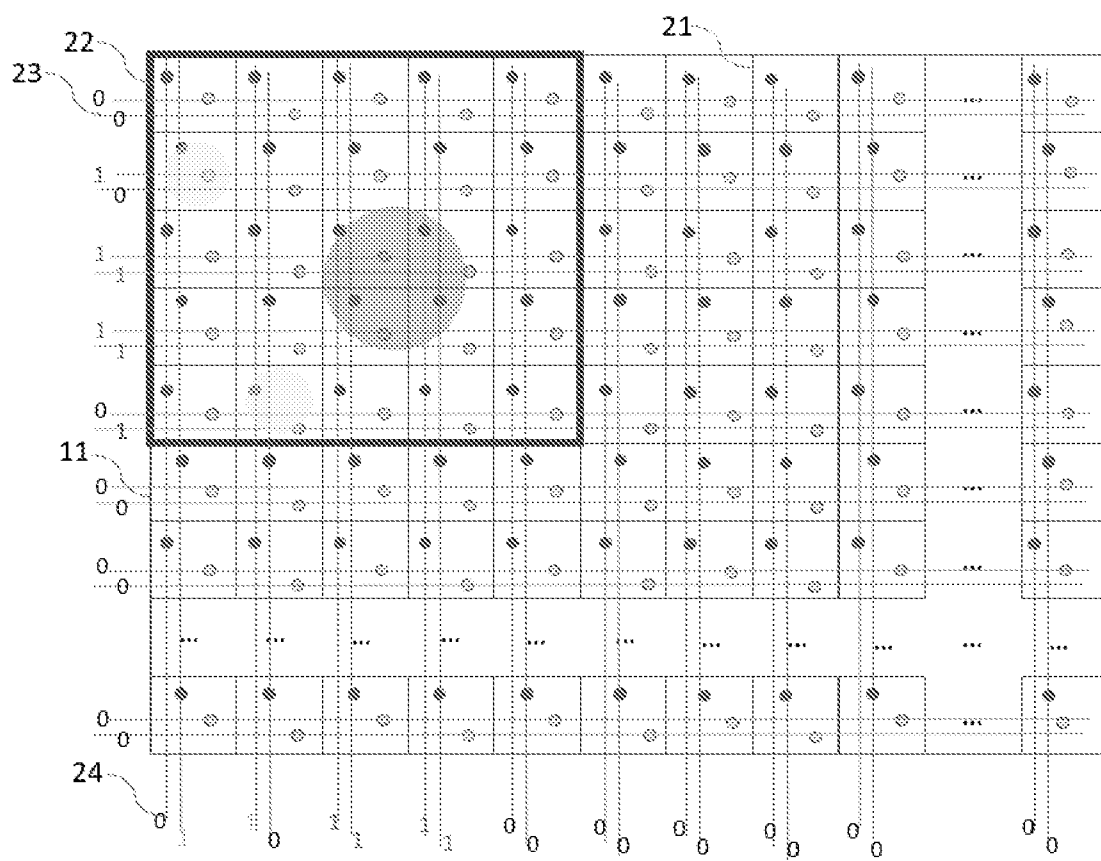
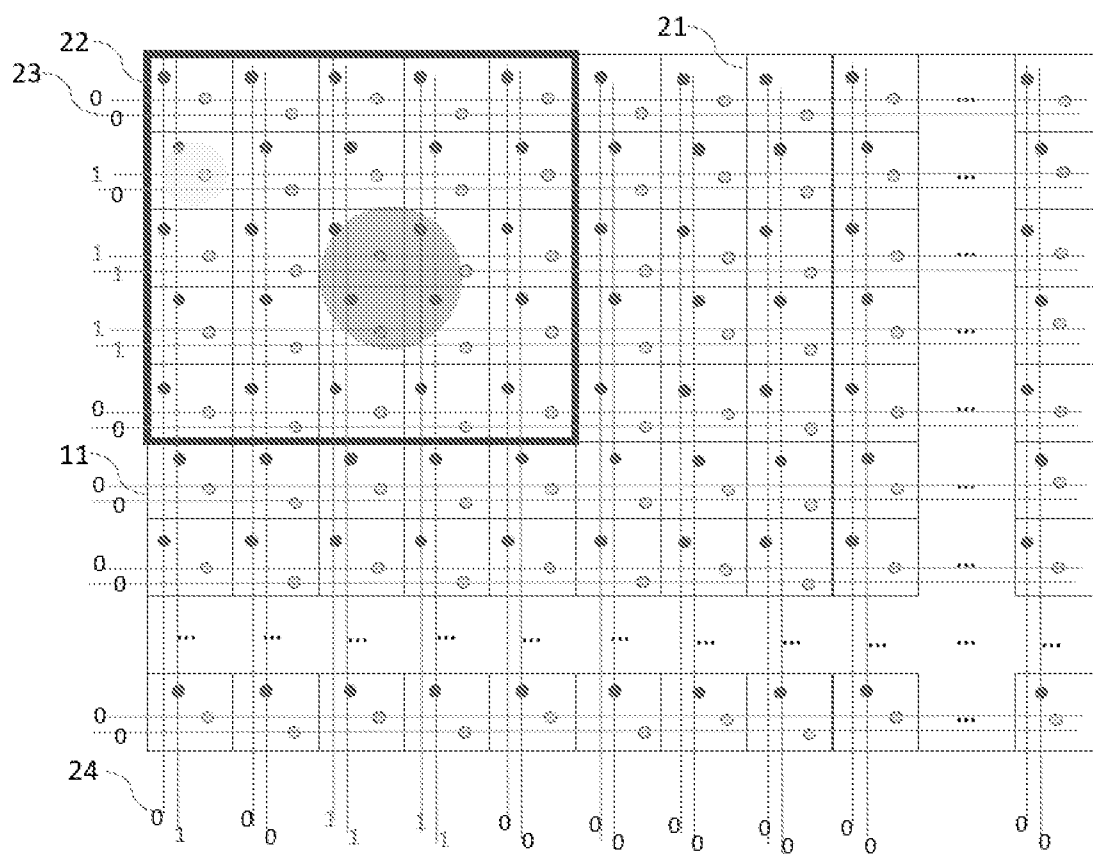


Fig. 4



Betreffende Item V

Beargumenteerde verklaring met betrekking tot nieuwheid, inventiviteit of industriële toepasbaarheid; referenties en toelichting ter ondersteuning van deze verklaring

Er wordt verwezen naar de volgende documenten:

- D1 WO 2013/018006 A1 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL] ET AL.)
7 februari 2013 (07-02-2013)
 - D2 US 2012/257789 A1 (LEE JUN HAENG [KR] ET AL) 11 oktober 2012
(11-10-2012)
 - D3 US 2018/262705 A1 (PARK KEUN JOO [KR] ET AL) 13 september 2018
(13-09-2018)
- 1 De onderhavige aanvraag voldoet niet aan de criteria van octrooieerbaarheid, omdat de materie volgens de conclusies 1 en 17 geen inventiviteit omvat.
 - 1.1 In D1, dat wordt geacht de meest nabijgelegen stand van de techniek bij de materie volgens conclusie 1 te zijn, wordt geopenbaard in figuur 1: een hogesnelheids-SPAD-arraybeeldsensor met kolom- en rijbussen die elk een geaggregeerd detectiesignaal uitvoeren voor respectievelijk iedere rij en kolom van de beeldsensor.
 - 1.2 Het verschil tussen de materie volgens conclusie 1 en dit bekende document D1 is derhalve dat de sensor voorts een evaluatiecircuit omvat dat een vooraf bepaald patroon gebruikt ter confirmatie van de detectie van een foton, waarbij temporele en/of spatiale voorwaarden worden gebruikt. De materie is derhalve nieuw.
 - 1.3 Het technisch gevolg is verbeterde detectie door de detectiesignalen temporeel en/of spatiaal te filteren.
 - 1.4 Derhalve kan het objectieve technische probleem worden geformuleerd als het voorzien in een systeem dat het bovengenoemde technisch gevolg ondersteunt.
 - 1.5 Een deskundige in het vakgebied, die met het probleem van detectieverbetering wordt geconfronteerd, zou verdere stand van de techniek raadplegen en in D2 ontdekken dat eventsignalen van een sensor verder geanalyseerd en gefilterd kunnen worden door de signalen te clusteren en deze spatiaal (figuur 5) en/of temporeel (figuur 6) te filteren. Zie eveneens D2: conclusies 1-8 voor verdere details omtrent de spatio-temporele correlatie waarbij groepering, clusters en patronen worden gebruikt.

- 1.6 D3: in figuur 18 wordt een verder voorbeeld beschreven van filtering door middel van temporele correlatie tussen gedetecteerde events binnen een groep events, welke spatiaal gecorreleerd is en soortgelijke tijdstempels bevat en een resultaat genereert dat de bepaling van een defecte pixel mogelijk maakt.
- 1.7 In D2 en D3 wordt getoond dat filtering van events op basis van temporele en spatiale voorwaarden bekend is en in dezelfde voordelen als in de onderhavige aanvraag voorziet. Een deskundige in het vakgebied zou het derhalve als een normale ontwerpoptie beschouwen om dergelijke verwerking op te nemen in de sensor als beschreven in D1, teneinde het gestelde probleem op te lossen.
- 1.8 Derhalve kan de oplossing die wordt voorgesteld in conclusie 1 van de onderhavige aanvraag niet worden geacht inventiviteit te omvatten.
- 1.9 Dezelfde redenering geldt, mutatis mutandis, voor de materie volgens de corresponderende onafhankelijke conclusie 17, welke nog ruimer is dan conclusie 1, aangezien deze uitsluitend verwijst naar clusters en niet rijen en kolommen, welke als een type cluster kunnen worden beschouwd. De materie volgens conclusie 17 wordt derhalve eveneens niet geacht inventief te zijn.
- 2 De afhankelijke conclusies 2-16 bevatten geen maatregelen die in combinatie met de maatregelen volgens een der conclusies waarnaar zij verwijzen, voldoen aan de eisen van inventiviteit.
- 2.1 De aanvullende maatregelen volgens de afhankelijke conclusies 2-7, 9-11, 13-14 en 16 worden beschreven in D1, D2 of D3, waarbij in dezelfde voordelen als in de onderhavige aanvraag wordt voorzien. Een deskundige in het vakgebied zou het derhalve als een normale ontwerpoptie beschouwen om deze maatregelen op te nemen in het systeem als beschreven in D1, om het gestelde probleem op te lossen. De materie volgens de afhankelijke conclusies 2-7, 9-11, 13-14 en 16 omvat derhalve geen inventiviteit. In de volgende tabel staan de aanvullende maatregelen volgens de afhankelijke conclusies 2-7, 9-11, 13-14 en 16 met de corresponderende maatregelen in D1, D2 of D3:

conclusies	aanvullende maatregel	corresponderende maatregel in D1, D2 of D3
2, 3	detectie bij signaal in twee aanpalende rijen binnen een zelfde tijdsvenster	D1: bladzijde 12, tweede alinea
4	iedere SPAD is uniek verbonden aan een rij en	D1: figuur 1, conclusie 4, bladzijde 6, regels 5-6:

	kolom	"bedrade OF-functie"
3, 5, 6	gedetecteerde signalen binnen een cluster, horend bij (meerdere) aanpalende rijen / kolommen	D2: figuur 5 / 6 D3: de figuren 12-17
7	SPAD voorziet in binair signaal of het foton wel of niet is gedetecteerd	D1: bladzijde 7, derde alinea
9, 16	verwerp detectie bij ruimtelijke discrepantie	D3: de figuren 14 / 15
10	synchroniseren van outputs	D1: figuur 2
11	variabele subset van detectoren	D2: figuur 5 / 6
13	SPAD's als detectoren	D1: figuur 1
14	SPAD's met quenching	D1: figuur 2: 82

- 2.2 De maatregelen volgens de afhankelijke conclusies 8, 12 en 15 zijn veeleer voor de hand liggende mogelijkheden die een deskundige in het vakgebied, afhankelijk van de omstandigheden en zonder uitvindingswerkzaamheid, zou kiezen om de gestelde problemen op te lossen.

Betreffende Item VIII

Bepaalde opmerkingen aangaande de aanvraag

Hoewel de conclusies 1 en 17 als afzonderlijke onafhankelijke conclusies zijn opgesteld, lijken deze feitelijk dezelfde materie te betreffen en uitsluitend van elkaar te verschillen met betrekking tot de definitie van de materie waarvoor bescherming wordt gezocht en/of met betrekking tot de terminologie die wordt gebruikt voor de maatregelen van die materie. De hiervoor genoemde conclusies zijn derhalve onvoldoende beknopt.

SAMENWERKINGSVERDRAG INZAKE OCTROOIEN

VERSLAG BETREFFENDE HET ONDERZOEK VAN HET INTERNATIONALE TYPE OPGESTELD KRACHTENS ARTIKEL XI.23., §10 VAN HET BELGISCH WETBOEK VAN ECONOMISCH RECHT

IDENTIFICATIE VAN DE NATIONALE AANVRAGE	KENMERK VAN DE AANVRAGER OF GEMACHTIGDE VOXE-001-Beprovo-BE
Belgische nationale aanvraag nr. 202005564	Datum van indiening 07-08-2020
	Ingeroepen voorrangsdatum 29-05-2020
Aanvrager (Naam) VoxelSensors srl	
Datum van het verzoek voor een onderzoek van internationaal type 15-08-2020	Door de Instantie voor Internationaal Onderzoek aan het verzoek voor een onderzoek van internationaal type toegekend nr. SN76742
I. CLASSIFICATIE VAN HET ONDERWERP (bij toepassing van verschillende classificaties, alle classificatiesymbolen opgeven)	
Volgens de internationale octrooi classificatie (CIB), of tezelfdertijd volgens de nationale classificatie en de CIB Zie onderzoeksrapport	
II. ONDERZOCHE GEBIEDEN VAN DE TECHNIEK	
Onderzochte minimum documentatie	
Classificatiesysteem	Classificatiesymbolen
IPC	Zie onderzoeksrapport
Onderzochte andere documentatie dan de minimum documentatie, voor zover dergelijke documenten in de onderzochte gebieden zijn opgenomen	
III. ☐ MEN IS VAN OORDEEL DAT BEPAALDE CONCLUSIES NIET HET ONDERWERP KONDEN UITMAKEN VAN EEN ONDERZOEK (opmerkingen op aanvullingsblad)	
IV. ☐ GEBREK AAN EENHEID VAN UITVINDING EN/OF VASTSTELLING BETREFFENDE DE OMVANG VAN HET ONDERZOEK (opmerkingen op aanvullingsblad)	

**ONDERZOEKSRAPPORT BETREFFENDE HET
RESULTAAT VAN HET ONDERZOEK NAAR DE STAND
VAN DE TECHNIEK VAN HET INTERNATIONALE TYPE**

Nummer van het verzoek om een onderzoek naar
de stand van de techniek

BE 202005564

A. CLASSIFICATIE VAN HET ONDERWERP INV. G01T1/24 H04N5/374 H04L1/18 H04N3/14 G01B11/25 H04N5/335 ADD.		
Volgens de Internationale Classificatie van octrooien (IPC) of zowel volgens de nationale classificatie als volgens de IPC.		
B. ONDERZOCHETE GEBIEDEN VAN DE TECHNIEK Onderzochte minimum documentatie (classificatie gevolgd door classificatiesymbolen) G01T G01V H04N H04L G01B G06K		
Onderzochte andere documentatie dan de minimum documentatie, voor dergelijke documenten, voor zover dergelijke documenten in de onderzochte gebieden zijn opgenomen		
Tijdens het onderzoek geraadpleegde elektronische gegevensbestanden (naam van de gegevensbestanden en, waar uitvoerbaar, gebruikte trefwoorden) EPO-Internal, WPI Data		
C. VAN BELANG GEACHTE DOCUMENTEN		
Categorie °	Geciteerde documenten, eventueel met aanduiding van speciaal van belang zijnde passages	Van belang voor conclusie nr.
Y	WO 2013/018006 A1 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL] ET AL.) 7 februari 2013 (2013-02-07) * bladzijde 6 - bladzijde 12; conclusie 4; figuren 1, 2 * -----	1-17
Y	US 2012/257789 A1 (LEE JUN HAENG [KR] ET AL) 11 oktober 2012 (2012-10-11) * conclusies 1-8; figuren 5, 6 * -----	1-17
Y	US 2018/262705 A1 (PARK KEUN JOO [KR] ET AL) 13 september 2018 (2018-09-13) * figuren 12-18 * -----	1-17
☐ Verdere documenten worden vermeld in het vervolg van vak C. ☒ Leden van dezelfde octrooifamilie zijn vermeld in een bijlage		
° Speciale categorieën van aangehaalde documenten "A" niet tot de categorie X of Y behorende literatuur die de stand van de techniek beschrijft "D" in de octrooiaanvraag vermeld "E" eerdere octrooi(aanvraag), gepubliceerd op of na de indieningsdatum, waarin dezelfde uitvinding wordt beschreven "L" om andere redenen vermelde literatuur "O" niet-schriftelijke stand van de techniek "P" tussen de voorrangsdatum en de indieningsdatum gepubliceerde literatuur "T" na de indieningsdatum of de voorrangsdatum gepubliceerde literatuur die niet bezwarend is voor de octrooiaanvraag, maar wordt vermeld ter verheldering van de theorie of het principe dat ten grondslag ligt aan de uitvinding "X" de conclusie wordt als niet nieuw of niet inventief beschouwd ten opzichte van deze literatuur "Y" de conclusie wordt als niet inventief beschouwd ten opzichte van de combinatie van deze literatuur met andere geciteerde literatuur van dezelfde categorie, waarbij de combinatie voor de vakman voor de hand liggend wordt geacht "&" lid van dezelfde octrooifamilie of overeenkomstige octrooipublicatie		
Datum waarop het onderzoek naar de stand van de techniek van internationaal type werd voltooid 29 oktober 2020		Verzenddatum van het rapport van het onderzoek naar de stand van de techniek van internationaal type
Naam en adres van de instantie European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		De bevoegde ambtenaar Dowsald, Daniel

**ONDERZOEKSRAPPORT BETREFFENDE HET
RESULTAAT VAN HET ONDERZOEK NAAR DE STAND
VAN DE TECHNIEK VAN HET INTERNATIONALE TYPE**

Informatie over leden van dezelfde octrooifamilie

Nummer van het verzoek om een onderzoek naar
de stand van de techniek

BE 202005564

In het rapport genoemd octrooigeschrift	Datum van publicatie	Overeenkomend(e) geschrift(en)	Datum van publicatie
WO 2013018006	A1	07-02-2013	
		CN 103733609 A	16-04-2014
		EP 2740262 A1	11-06-2014
		JP 6059722 B2	11-01-2017
		JP 2014529923 A	13-11-2014
		RU 2014107914 A	10-09-2015
		US 2014175294 A1	26-06-2014
		WO 2013018006 A1	07-02-2013

US 2012257789	A1	11-10-2012	
		KR 20120113847 A	16-10-2012
		US 2012257789 A1	11-10-2012

US 2018262705	A1	13-09-2018	
		CN 108574793 A	25-09-2018
		US 2018262705 A1	13-09-2018
		US 2020092507 A1	19-03-2020
		US 2020092508 A1	19-03-2020



SCHRIFTELIJKE OPINIE

Dossier Nummer SN76742	Indieningsdatum (dag/maand/jaar) 07.08.2020	Vorrangsdatum (dag/maand/jaar) 29.05.2020	Aanvraagnummer BE202005564
Classificatie (IPC) INV. G01T1/24 H04N5/374 H04L1/18 H04N3/14 G01B11/25 H04N5/335			
Aanvrager VoxelSensors srl			

Deze schriftelijke opinie bevat een toelichting en de corresponderende pagina's met betrekking tot de volgende onderdelen:

- ☒ Onderdeel I Basis van schriftelijke opinie
- ☐ Onderdeel II Voorrang
- ☐ Onderdeel III Formulering van een opinie inzake nieuwheid, inventiviteit en industriële toepasbaarheid niet mogelijk
- ☐ Onderdeel IV De aanvraag heeft betrekking op meer dan één uitvinding
- ☒ Onderdeel V Gemotiveerde verklaring ten aanzien van nieuwheid, inventiviteit en industriële toepasbaarheid; citaten en explicaties ter ondersteuning van deze verklaring
- ☐ Onderdeel VI Bepaalde geciteerde documenten
- ☐ Onderdeel VII Gebreken in de aanvraag
- ☒ Onderdeel VIII Opmerkingen betreffende de aanvraag

Form BE237A (Dekblad) (Januari 2007)	De Examinator Doswald, Daniel
--------------------------------------	----------------------------------

Onderdeel I Basis van de opinie

1. Deze opinie is opgesteld op basis van de conclusies ingediend voor aanvang van het onderzoek.
2. Met betrekking tot **nucleotide en/of aminozuur sequenties** die, in voorkomend geval, genoemd worden in de aanvraag, is deze opinie opgesteld op basis van de volgende elementen:
 - a. Aard van het element:
 - ☐ een lijst van de sequentie(s)
 - ☐ tabel(len) met betrekking tot de lijst van de sequentie(s)
 - b. Type drager:
 - ☐ op papier
 - ☐ in elektronische vorm
 - c. Moment van indiening of levering:
 - ☐ opgenomen in de aanvraag zoals ingediend
 - ☐ samen met de aanvraag elektronisch ingediend
 - ☐ later geleverd
3. ☐ Bovendien, wanneer er mer dan één versie of kopie van een sequentielijst of van één of meerdere tabellen die er betrekking op hebben, werd ingediend, zijn de benodigde verklaringen ingediend, dat de informatie, die later of bij wijze van aanvullende kopieën werd geleverd naar gelang het geval, identiek is aan diegene die oorspronkelijk werd geleverd en niet verder gaat dan de openbaarmaking in de internationale aanvraag zoals oorspronkelijk ingediend.
4. Aanvullende opmerkingen:

Onderdeel V Gemotiveerde verklaring ten aanzien van nieuwheid, inventiviteit en industriële toepasbaarheid; citaten en explicaties ter ondersteuning van deze verklaring

1. Verklaring

Nieuwheid	Ja: Conclusies 1-17 Nee: Conclusies
Inventiviteit	Ja: Conclusies Nee: Conclusies 1-17
Industriële toepasbaarheid	Ja: Conclusies 1-17 Nee: Conclusies

2. Citaten en explicaties:**Zie apart blad**

Onderdeel VIII Opmerkingen betreffende de aanvraag

Zie apart blad

Re Item V

Reasoned statement with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

Reference is made to the following documents:

- D1 WO 2013/018006 A1 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL] ET AL.)
7 februari 2013 (2013-02-07)
- D2 US 2012/257789 A1 (LEE JUN HAENG [KR] ET AL) 11 oktober 2012
(2012-10-11)
- D3 US 2018/262705 A1 (PARK KEUN JOO [KR] ET AL) 13 september 2018
(2018-09-13)

- 1 The present application does not meet the criteria of patentability, because the subject-matter of claims 1 and 17 does not involve an inventive step.
- 1.1 D1 is regarded as being the prior art closest to the subject-matter of claim 1, and discloses in fig. 1 a high-speed SPAD array image sensor with column and row busses that each output an aggregated detection signal for each row resp. column of the image sensor.
- 1.2 The subject-matter of claim 1 therefore differs from this known document D1 in that the sensor further comprises an evaluation circuit that uses a predetermined pattern to confirm the detection of a photon using temporal and/or spatial conditions and is therefore new.
- 1.3 The technical effect is improved detection by filtering the detection signals temporally and/or spatially.
- 1.4 Therefore, the objective technical problem can be formulated as to provide a system that supports the above stated technical effect.
- 1.5 Faced with the problem of improving detection, the person skilled in the art would consult further prior art and find in D2 that event signals from a sensor can be further analyzed and filtered by clustering the signals and filter them spatially (fig. 5) and/or temporally (fig. 6). See also D2: claims 1-8 for further details on the spatiotemporal correlation using grouping, clusters and patterns.
- 1.6 D3: fig. 18 describes a further example of filtering using temporal correlation between detected events within a group of events that is spatially correlated and contains similar timestamps and generates a result that allows to determine a defective pixel.

- 1.7 D2 and D3 show that filtering events based on temporal and spatial conditions is well known provides the same advantages as in the present application. The skilled person would therefore regard it as a normal design option to include such processing in the sensor described in D1 in order to solve the problem posed.
- 1.8 Hence, the solution proposed in claim 1 of the present application cannot be considered as involving an inventive step.
- 1.9 The same reasoning applies, mutatis mutandis, to the subject-matter of the corresponding independent claim 17 which is even broader than claim 1 as it only refers to clusters, not rows and columns which can be seen as a type of cluster. The subject-matter of claim 17 is therefore also considered not inventive.
- 2 Dependent claims 2-16 do not contain any features which, in combination with the features of any claim to which they refer, meet the requirements of inventive step.
- 2.1 The additional features of dependent claims 2-7, 9-11, 13-14 and 16 are described in D1, D2 or D3, providing the same advantages as in the present application. The skilled person would therefore regard it as a normal design option to include these features in the system described in D1 in order to solve the problem posed. Thus, the subject-matter of dependent claims 2-7, 9-11, 13-14 and 16 does not involve an inventive step. The following table lists the additional features of dependent claims 2-7, 9-11, 13-14 and 16 with the corresponding features in D1, D2 or D3:

claims	additional feature	corresponding feature in D1, D2 or D3
2, 3	detection when signal in two adjacent rows within a same time window	D1: page 12, second paragraph
4	each SPAD uniquely connected to a row and column	D1: fig. 1, claim 4, page 6 lines 5-6: "wired OR"

3, 5, 6	detected signals within a cluster belonging to (multiple) adjacent rows / columns	D2: fig. 5 / 6 D3: figs. 12-17
7	SPAD provide binary signal whether photon is detected or not	D1: page 7, 3rd paragraph
9, 16	reject detection if spatial discrepancy	D3: figs. 14 / 15
10	synchronizing outputs	D1: fig. 2
11	variable subset of detectors	D2: fig. 5 / 6
13	SPADs as detectors	D1: fig. 1
14	SPADS with quenching	D1: fig. 2: 82

- 2.2 The features of dependent claims 8, 12 and 15 are merely straightforward possibilities which the skilled person would select, depending on the circumstances, without exercising inventive skill, in order to solve the problems posed.

Re Item VIII

Certain observations on the application

Although claims 1 and 17 have been drafted as separate independent claims, they appear to relate effectively to the same subject-matter and to differ from each other only with regard to the definition of the subject-matter for which protection is sought and/or in respect of the terminology used for the features of that subject-matter. The aforementioned claims therefore lack conciseness.