(19)

Евразийское <sup>(11)</sup> 042729 патентное ведомство

# (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

- (45) Дата публикации и выдачи патента 2023.03.20
- (21) Номер заявки 202190882
- (22) Дата подачи заявки 2019.10.04

#### G01S 17/894 (2020.01) (51) Int. Cl. G01S 7/4863 (2020.01) G01S 7/4865 (2020.01) G01S 7/497 (2006.01) G01S 17/10 (2020.01)

## (54) ВИЗУАЛИЗИРУЮЩИЙ ДАТЧИК

- (31) 10 2018 124 551.3; 10 2019 124 573.7
- (32) 2018.10.04; 2019.09.12
- (33) DE
- (43) 2021.07.02
- (86) PCT/EP2019/076963
- (87) WO 2020/070311 2020.04.09
- (71)(73) Заявитель и патентовладелец: ИРИС-ГМБХ ИНФРЭРЕД ЭНД ИНТЕЛЛИДЖЕНТ СЕНСОРЗ (DE)
- (72) Изобретатель: Тун-Хоэнштайн Андреас, Ледер Харальд, Вагнер Вильфрид Лотар (DE)
- (74) Представитель: Медведев В.Н. (RU)

(56) US-A1-2017257617 WO-A1-2017050633 EP-A1-3182162 WO-A1-2018172767

B

Визуализирующие трехмерные времяпролетные датчики в особой мере пригодны для обнаружения (57) объектов и людей в трехмерном пространстве. Эта способность является результатом основного принципа. В каждой точке изображения датчика по времени прохождения (англ. time-of-flight, времени пробега) световых импульсов определяется расстояние до находящихся в наблюдаемом пространстве объектов. Поэтому датчик предоставляет трехмерное изображение, которое может анализироваться с помощью соответствующих алгоритмов обработки. В определенных случаях применения, в частности при взаимодействии человека и машины, машины и машины или машины и пространства, необходимо, чтобы обнаружение выполнялось безопасно (англ. safe). Степень безопасности разделяется в разных нормах на уровни полноты безопасности (англ. SIL-safety integrity level).



## Краткое содержание

Визуализирующие трехмерные времяпролетные датчики (ТОГ-датчики) в особой мере пригодны для обнаружения объектов и людей в трехмерном пространстве. Эта способность является результатом основного принципа. В каждой точке изображения датчика по времени прохождения (называемому также временем пробега или (англ.) time of flight (tof)) световых импульсов определяется расстояние до объектов, находящихся в области регистрации датчика. Поэтому датчик подает выходной сигнал датчика, отражающий набор данных, в котором для каждой точки изображения (называемой также пикселем) датчика содержится значение расстояния, соответствующее расстоянию между соответствующей точкой изображения и участком поверхности объекта, отображенным на эту точку изображения. При этом датчик предоставляет трехмерное изображение, которое может анализироваться с помощью соответствующих алгоритмов обработки. Например, известно, что выходной сигнал датчика анализируется на предмет нахождения объектов в пределах заданного сектора пространства. В определенных случаях применения с помощью одного или нескольких визуализирующих трехмерных времяпролетных датчиков может обнаруживаться опасное приближение какого-либо человека и какой-либо части машины, например, в области действия машины.

В определенных случаях применения, в частности, при взаимодействии человека и машины, машины и машины или машины и пространства, необходимо, чтобы обнаружение выполнялось особенно надежно, то есть безопасно (англ. safe).

Степень безопасности разделяется в разных нормах на уровни полноты безопасности (англ. SILsafety integrity level):

автомобили (ISO 26262) QM ASIL-A ASIL-B/C ASIL-D-; общий (IEC-61508) - SIL-1 SIL-2 SIL-3 SIL-4; авиация (DO-178/254) DAL-E DAL-D DAL-C DAL-B DAL-A. Железная дорога: (CENELEC 50126/128/129) - SIL-1 SIL-2 SIL-3 SIL-4.

## Уровень техники

Известны трехмерные TOF-датчики, которые имеют по меньшей мере один оптический передатчик для испускания электромагнитного излучения предпочтительно (но не исключительно) в близкой инфракрасной области и датчик изображений, который состоит из системы приемников излучения. Отдельные приемники излучения соответствуют каждый одному пикселю (точке изображения) датчика изображений и вместе с тем трехмерного TOF-датчика.

Обычно приемники излучения разделены на две группы (приемники А излучения, приемники В излучения) и расположены в виде матрицы.

Каждый приемник излучения имеет фоточувствительный элемент (например, фотодиод или фотогейт) и по меньшей мере одну накопительную емкость.

Обычный принцип функционирования ТОГ-датчика следующий.

В момент времени t0 активируется передатчик, который в течение короткого времени ti (например, 30 нс) испускает световой импульс, имеющий соответствующую ti продолжительность светового импульса. Одновременно активируется приемник А излучения тоже на короткий период времени tA активации (например, тоже 30 нс). Световой импульс отражается от объекта и регистрируется приемником А излучения со сдвигом на время tof пробега. В течение периода времени tA активации энергия отраженного светового импульса вызывает высвобождение зарядов - а именно, фотоэлектронов - в фоточувствительном элементе. Являющееся результатом регистрации светового импульса количество заряда (соответственно количеству высвобожденных фотоэлектронов) сохраняется в накопительной емкости (А1). Приемник А может принимать только ту часть отраженного светового импульса, которая соответствует разности времени tA-tof, так как отраженный световой импульс попадает на фоточувствительный элемент с задержкой на время tof пробега относительно начала периода времени активации, так что период времени активации и продолжительность отраженного светового импульса только частично перекрываются во времени на продолжительность перекрытия. Продолжительность перекрытия обратно пропорциональна времени прохождения или пробега светового импульса (см. фиг. 1). Также количество высвобожденных фотоэлектронов, соответственно этому, по меньшей мере приблизительно обратно пропорционально времени прохождения или пробега светового импульса.

С задержкой во времени  $\Delta$ =t0+tA (в этом примере снова 30 нс) - т.е. непосредственно после конца первого периода времени tA активации - активируется приемник В излучения, t приемник В излучения активен в течение второго периода времени tB активации (в этом примере тоже 30 нс). Приемник регистрирует тоже только часть отраженного светового импульса, которая соответствует разности во времени  $\Delta$ =tof+ti-tA (если ti=tA, это tof), и при этом пропорциональна этой разности во времени (времени прохождения или пробега светового импульса). Соответствующее количество заряда сохраняется в накопительной емкости B1.

Так как отраженные сигналы в зависимости от степени отражения отражающего объекта и удаленности могут быть очень слабыми, необходимо предусматривать механизм усиления. Он достигается за

счет того, что вышеописанное измерение многократно повторяется, и зарегистрированное в каждом случае количество заряда аккумулируется в накопительной емкости, пока не будет достигнут достаточный уровень сигнала.

Тогда удаленность можно рассчитывать следующим образом:

E1=P(R)\*kref\*(T-tof);

E2=P(R)\*kref\*(tof+T-T)=P(R)\*kref\*tof;

где Е1; Е2 - энергии каждого считывания для приемников А или соответственно В;

T=tA=tB=ti - макс, время пробега=30 нс для макс, расстояния 4,5 м (область однозначности);

kref - коэффициент отражения мишени;

tof - время пробега импульса;

P(R) - отраженная мощность импульса при kref=1.

Количества заряда пропорциональны соответствующим значениям энергии для каждого процесса считывания.

Упрощенно для 200 аккумуляций можно было бы написать:

при

$$A = \sum_{n=1}^{200} pE_1$$
$$B = \sum_{n=1}^{200} pE_2$$

А; В - аккумулированные в накопительной емкости А или соответственно В количества заряда,

р - коэффициент пропорциональности, конкретные свойства которого для этих рассуждений не релевантны.

Посредством нормирования (деления на сумму аккумулированных в обеих емкостях количеств заряда) могут получаться независимые от степени отражения, нормированные количества Q1 и Q2 заряда.

Q1=A/(A+B) (при получении частного устранение зависимости от степени отражения),

Q2=B/(A+B) из нормированного количества заряда для каждой емкости могут получаться по одному значению времени пробега:

tof1= $(1-Q1)\bullet T$ ;

tof2=Q2•T.

В безошибочном идеальном случае два найденных таким образом времени tof1 и tof2 пробега равны: tof1=tof2. Возможные погрешности измерения могут уменьшаться посредством получения среднего значения:

tof = 1/2 (tof1+tof2) (среднее значение).

Измеренная удаленность между датчиком и отражающим объектом получается согласно:

S=1/2 (c\*tof) с - скорость света.

Расширенный вариант описанной конструкции заключается в том, что каждый приемник располагает двумя накопительными емкостями (приемник А - Аа и Аb; приемник В - Ва и Вb). Из этого свойства получаются расширенные функциональные возможности.

Первая возможность.

Приемники A и B работают идентично. Накопительные емкости Aa и Ab включаются со сдвигом - Ab выполняет функцию B (как описано выше).

Вместо двух фотоприемников применяется только один фотоприемник, имеющий соответственно две накопительные емкости:

$$Aa = \sum_{n=1}^{200} pE_1$$
$$Ab = \sum_{n=1}^{200} pE_2$$

Преимущество такой системы может заключаться при надлежащей конструкции в более высокой плотности приемников (лучшее разрешение).

Вторая возможность.

Применяют дополнительные накопительные емкости для 4-фазного считывания сигнала. В то время как на фиг. 1 описано считывание сигнала с двумя периодами времени интеграции (2-фазное), теперь сигнал может считываться многократно, при этом точки считывания сдвигаются каждая на 1/4 периода сигнала, см. фиг. 2. Для этого варианта осуществления в качестве испускаемого сигнала могут также применяться периодические последовательности импульсов, имеющие продолжительность Т периода.

Обусловленное временем tof пробега смещение  $\varphi$  фаз отраженного сигнала может рассчитываться из аккумулированных в емкостях количеств Aa, Ab, Ba и Bb заряда следующим образом.

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{Aa - Ab}{Ba - Bb}$$

Строго говоря, расчет угла фаз справедлив только для синусоидальных сигналов. После этого из смещения ф фаз может рассчитываться удаленность S между датчиком и отражающим объектом:

$$S = \frac{\varphi * T}{2 \pi}$$

Т - представляет собой в этом случае период периодического сигнала.

Представленные для второй возможности отношения справедливы даже тогда, когда в качестве периодического сигнала выбирается синусоидальная форма.

Какой метод целесообразен, в наибольшей степени зависит от конкретного случая применения и расчета системы ТОF-датчика.

В то время как метод, описанный на фиг. 1, как правило, применяют для очень мощных импульсов при очень малом коэффициенте заполнения (например, мощность импульса >25 Вт; 1:1000), отображенные на фиг. 2 последовательности импульсов применяются для коэффициента заполнения 1:1 при мощностях импульса от 1 Вт до 4 Вт. Аналогично происходит выбор пиковой мощности для синусоидальной модуляции источника света. Лимитирование применяемых мощностей следует учитывать, соблюдая безопасность для глаз.

Применение активно-пиксельных датчиков (англ. Active Pixel Sensor (APS)).

Известно, что для каждой точки изображения предусматривается активно-пиксельный датчик (APS). Активно-пиксельный датчик имеет обычно фотодиод и несколько (полевых) транзисторов. Свет, падающий на фотодиод, высвобождает заряды в запирающем слое фотодиода, так что (запирающее) напряжение на диоде вследствие попадающих фотонов уменьшается. Активно-пиксельный датчик работает следующим образом: в начале периода времени активации напряжение на фотодиоде посредством транзистора сброса устанавливается на заданное начальное значение. В течение периода времени активации емкость запирающего слоя фотодиода разряжается фототоком, вызываемым попадающим, отраженным импульсом света. При этом напряжение на фотодиоде опускается пропорционально интенсивности отраженного светового импульса и продолжительности той составляющей светового импульса, которая падает на период времени активации активно-пиксельного датчика. В конце периода времени активации значение напряжения, падающего на фотодиоде, считывается и подается на аналоговую последующую обработку или сразу же в аналого-цифровой преобразователь (ADU). Для этого каждый элемент изображения имеет усилительный транзистор, который посредством транзистора выбора, чаще всего по столбцам, включается на общий для всех элементов изображения провод выборки. Активно-пиксельные датчики могут имплементироваться в технологию КМОП (англ. CMOS, Complementary Metal-Oxide-Semiconductor, комплементарная структура металл-оксид-полупроводник). Заряды в запирающем слое фотодиода могут высвобождаться также, например, вследствие термических процессов, обычно происходит шум сигнала, который накладывается на собственный фотосигнал.

Двойная коррелированная выборка (ДКВ) (англ. Correlated Dual Sampling (CDS)).

Для уменьшения упомянутого шума сигнала, известно, что напряжение на фотодиоде измеряется не только один раз в конце периода времени активации, а еще один раз сразу после сброса фотодиода для восстановления полного запирающего напряжения (темнового напряжения), для получения таким образом референтного сигнала, с помощью которого могут по меньшей мере частично компенсироваться шумовые составляющие сигнала.

Датчики, которые осуществляют такую двойную коррелированную выборку, имеют для каждого пикселя соответствующую схему, которая здесь называется ДКВ-ступенью. ДКВ-ступень может реализовываться, например, с помощью операционных усилителей.

Структура пикселя.

Пиксель формирователя изображений может иметь следующие составные части.

датчик активного пикселя (называемый здесь также APS-ячейкой);

ДКВ-ступень, которая предназначена для APS-ячейки и ступень выборки и хранения (англ. Sample-and-Hold (S&H)) для считывания пикселя.

#### Изобретение

Целью настоящего изобретения является выполнить конструкцию вышеописанного TOF-датчика так, чтобы опасный выход из строя был очень мало вероятным, и предпочтительно мог возникать только с вероятностью меньше 1 в 1100 лет (SIL3, или соответственно кат. 4, PL е по ISO 13849-1).

В соответствии с изобретением для достижения этой цели предлагается трехмерный TOF-датчик, имеющий по меньшей мере одну пиксельную матрицу, которая имеет структуру пикселя, разделенную по меньшей мере на два пути сигнала (каналы A и B), причем пути сигнала проведены так, что времена прохождения сигналов в соответствии с локализацией пикселей для обоих каналов идентичны (Hдерево), и при этом каждый путь сигнала располагает собственным независимым аналоговым выходом сигнала (сигнал A и сигнал B), и при этом трехмерный TOF-датчик, кроме того, имеет по меньшей мере две оптические группы передатчиков, из которых каждая группа передатчиков содержит по меньшей мере один передатчик.

Предпочтительно передатчики выполнены, чтобы выдавать инфракрасный свет, так что они работают в инфракрасной спектральной области света.

Предпочтительно для каждого пути сигнала пиксельной матрицы предусмотрена собственная логика (логика пути сигнала А и пути сигнала В) для управления. Причем логика каждого пути сигнала предпочтительно выполнена для определения амплитуд и значений расстояний путем обработки значений сигналов обоих каналов, при этом происходит перекрестный обмен данными каналов.

По первому варианту изобретения оптически чувствительные поверхности пикселей первого канала (пиксели А) и пикселей второго канала (пиксели В) соединены оптически так, что те и другие пиксели всегда поглощают одинаковое количество света.

Оптически чувствительные поверхности пикселей первого канала (пиксели А) и пикселей второго канала (пиксели В) могут быть соединены посредством диффузора, который равномерно распределяет количество света по оптическим поверхностям всегда одного пикселя из канала А (пиксели А) и одного пикселя из канала В (пиксели В). Этот способ называется оптическим биннингом. При этом пути сигнала групп пикселей, включающих в себя каждая один пиксель А и один пиксель В, электрически не соединены друг с другом. В этом случае применения пиксельная матрица может считываться путем параллельной адресации пикселей в канале А и канале В. На выходе пиксельной матрицы, следовательно, всегда одновременно имеются значения сигнала А1 и сигнала В1; сигнала А2 и сигнала В2; ...; сигнала Ап и сигнала Вп.

Предпочтительно предусмотрена ступень компаратора, которая выполнена для сравнения друг с другом значений сигналов, имеющихся параллельно на выходах пиксельной матрицы. При этом оцифрованное выходное значение компаратора предпочтительно по меньшей мере в одной из логик А или В сравнивается с некоторым заданным значением. Тогда если два значения сигналов имеют большую разность, и при этом, например, превышается значение сравнения компаратора для этой разности, логика предпочтительно формирует аварийный сигнал, и процесс считывания пикселей трехмерного TOFдатчика прерывается.

Предпочтительно предусмотрен аналого-цифровой преобразователь (ADU), который предназначен для канала A или соответственно канала B и выполнен, чтобы оцифровывать аналоговые значения сигнала A и B в каждом канале и соответственно вводить в логику канала A или соответственно логику канала B. После этого оцифрованные значения каналов сравниваются. Для этого предпочтительно происходит перекрестный обмен данными каналов. Если рассчитанное значение разности превышает значение сравнения, логика предпочтительно формирует аварийный сигнал, и процесс считывания прерывается.

Предпочтительно трехмерный TOF-датчик выполнен, чтобы осуществлять дополнительный специальный этап обработки сигнала, и причем таким образом, что проверка функционирования фотоприемников осуществляется путем сравнения значений сигнала A и значений сигнала B на этом дополнительном специальном этапе обработки сигнала. Вместе с запуском передатчиков (по меньшей мере одной группы передатчиков) осуществляется одновременная активация пикселей A и пикселей B, точнее говоря, осуществляется активация накопительных емкостей каждых пикселей. Для двухфазного режима период времени активации соответствует двойной длине продолжительности светового импульса, а в четырехфазном режиме ровно длине продолжительности светового импульса. Благодаря этому этапу сигнала на выходе пиксельной матрицы с подвергнутыми оптическому биннингу пикселями ожидаются соответственно одинаковые значения сигналов на выходе двух каналов A и B. Одинаковые значения сигналов (пороговое значение компаратора не достигается) являются указанием на нормальное функционирование пикселей.

Предпочтительно трехмерный TOF-датчик выполнен, чтобы выполнять другой дополнительный этап обработки сигнала, на котором проверяется нормальное функционирование групп передатчиков. Вместе с запуском передатчиков (только одной группы передатчиков) осуществляется активация либо пикселей В, точнее говоря, осуществляется активация соответствующих накопительных емкостей каждых пикселей. Период времени активации осуществляется в каждом случае с двойной продолжительностью времени активации по сравнению с циклом обработки изображений. Для двухфазного режима продолжительность периода времени активации соответствует двойной продолжительности светового импульса, а в четырехфазном режиме ровно продолжительности светового импульса. В качестве результата этого другого дополнительного этапа сигнала на выходе пиксельной матрицы с подвергнутыми оптическому биннингу пикселями ожидаются соответственно разные значения сигналов на выходе двух каналов А и В.

Разность значений сигналов на выходе аналоговой пиксельной матрицы является указанием, что соответствующая группа передатчиков испустила световой импульс и является нормально функционирующей.

Если представлено подтверждение для одной группы передатчиков, то тот же самый способ может осуществляться для другой группы передатчиков. Один из предпочтительных способов представляет собой соответствующую смену групп передатчиков между двумя циклами обработки изображений.

Предпочтительно трехмерный ТОГ-датчик выполнен так, что запуск цикла обработки изображений

осуществляется вместе с проверкой первой группы передатчиков (п.10 формулы изобретения), и что затем осуществляется проверка фотоприемников (п.9 формулы изобретения), а затем осуществляется собственно процесс обработки изображений. Когда цикл обработки изображений закончен, то запускается следующий цикл обработки изображений вместе со следующей (то есть, по меньшей мере второй) группой передатчиков. Эта смена групп передатчиков продолжается сколь угодно, в зависимости от требования.

По одному из вариантов осуществления трехмерный ТОГ-датчик может быть выполнен, чтобы обходиться без этапа сигнала проверки первой группы передатчиков (п.10 формулы изобретения) благодаря тому, что группы передатчиков работают по меньшей мере в двух разных диапазонах длины волны (которые при известных условиях могут перекрываться), и пиксельная матрица построена так, что пиксели A и пиксели B с помощью соответствующего оптического фильтра настроены на один из двух разных диапазонов длины волны, при этом каждый оптический фильтр позволяет проходить только одному из этих двух диапазонов длины волны. Одним из особенно предпочтительных решений является применение длины волны 850 нм для первой группы передатчиков и пикселей канала A и 940 нм для второй группы передатчиков и пикселей канала B. Итак, когда выполняется этап сигнала по п.7 формулы изобретения, то в этом случае первая и вторая группа передатчиков активируются одновременно. Пиксели канала A принимают отраженный световой импульс в первом диапазоне длины волны (850 нм), а пиксели канала B принимают отраженный световой импульс во втором диапазоне длины волны (940 нм). Если затем на выходе каналов A и B имеются равновеликие значения сигналов или в заданном соотношении для соответственно адресуемых по соседству пикселей, то это является подтверждением, что как адресуемые фотоприемники двух каналов, так и обе группы передатчиков нормально функционирующими.

Предпочтительно при этом для улучшения согласования значений сигнала вышеизложенной оптической фильтрации по двум длинам волны дополнительно может быть также предусмотрен оптический биннинг.

Предпочтительно трехмерный ТОF-датчик может быть улучшен таким образом, чтобы поверхность фотоприемников канала A и канала B были адаптированы соответственно выбранной длине волны так, чтобы компенсировалась различная для разных длин волны квантовая эффективность, то есть при нормальном трехмерном ТОF-датчике на выходе каналов A и B имелись равновеликие значения сигналов.

Предпочтительно каждый канал располагает собственным процессором, который подключен к пути сигнала логики этого канала. Также процессоры предпочтительно соединены с входом соответственно другого канала. Поэтому каждому процессору передаются рассчитанные амплитуды и значения расстояний, найденные соответствующей логикой.

Логические операции каждой логики канала предпочтительно проверяются таким образом, что каждый процессор совершенно независимо от другого процессора рассчитывает по меньшей мере одно проверочное значение (случайное число). Обычно рассчитывается одно проверочное значение для двухфазного режима и два проверочных значения для многофазного режима. Каждое проверочное значение передается процессором в логику того же канала. Логика по переданным проверочным значениям и проверочным значениям другого канала рассчитывает по меньшей мере одно выводимое значение, предпочтительно два. Для расчета этого выводимого значения применяются такие же операции, что и для расчета амплитуд и значений расстояний. Выводимые значения передаются в процессор каждого канала. Процессор, со своей стороны, рассчитывает ожидаемые выводимые значения и проверяет полученные выводимые значения логики своего канала по самостоятельно рассчитанным выводимым значениям и при отклонении выдает аварийный сигнал.

В одном из предпочтительных вариантов осуществления предпочтительно один из двух процессоров представляет собой ориентированный на безопасность процессор. Ориентированный на безопасность процессор располагает по меньшей мере двумя независимыми, не имеющими обратной связи вычислительными ядрами и обрабатывает два входа на один выход (англ. loo2 - one out of two, один из двух). Предпочтительно эта архитектура применяется для разделения операций обработки изображений на безопасный и небезопасный процесс обработки изображений. Безопасный процесс исследует исключительно, возникают ли в заданном поле зрения трехмерного TOF-датчика отклонения отдельных точек изображения от ожидаемого нормального положения (преобразование трехмерного облака точек). Если такое отклонение подтверждается, выдается аварийный сигнал.

На небезопасном процессоре осуществляется комплексная обработка изображений с целью идентифицировать собственную причину преобразования облака точек (например, распознавание движения человека, руки, головы и т.д.).

По второму варианту изобретения предлагается трехмерный ТОГ-датчик, который отличается предпочтительно следующими признаками.

Трехмерный ТОF-датчик имеет датчик изображений, имеющий пиксельную матрицу, причем пиксельная матрица имеет по меньшей мере два независимых блока и передает данные по меньшей мере в внутреннего диаметра отдельных пути сигнала; и/или пиксели пиксельной матрицы датчика изображений располагают по меньшей мере одним фоточувствительным приемником и накопительной ячейкой для накопления носителей заряда и/или пути сигнала состоят по меньшей мере из аналогово-цифрового преобразователя (ADU), программируемой логики, накопительных ячеек, а также подключенного к ним процессора и/или датчик изображений располагает по меньшей мере одним общим для всех блоков затвором (глобальный затвор), который может приводиться в действие управляющим сигналом программируемой логики и может устанавливать минимальное время затвора меньше 100 нс, и/или пути сигнала проложены независимо друг от друга и без обратной связи, и/или пути сигнала проложены так, что возможен перекрестный обмен данными логик или процессоров, и/или для каждого блока датчика изображений предназначена собственная отображающая оптика, так, чтобы на блоках отображалось одно и то же изображение стороны объекта. Расстояние между оптиками выбирается столь малым, чтобы не могла сказываться ошибка параллакса, и/или для каждого блока предназначен по меньшей мере один источник освещения, который посредством логики синхронизируется с глобальным затвором (Global shutter).

Датчик изображений отличается предпочтительно тем, что каждый блок располагает отдельным глобальным затвором, управление которым может осуществляться логикой предназначенных для него путей сигнала.

Датчик изображений отличается предпочтительно тем, что глобальные затворы блоков зависят только от одного единственного сигнала логики одного единственного пути сигнала, и их зависимость установлена с помощью устанавливаемых времен задержки (регистровые значения).

Альтернативно или дополнительно датчик изображений отличается предпочтительно также тем, что для каждого блока предназначается узкая оптическая область спектра, с помощью оптического фильтра или системы оптических фильтров, и/или что система оптических фильтров образуется фильтрами непосредственно на датчике изображений, а также по меньшей мере одним другим фильтром в системе отображения оптики, и/или что оптические фильтры на блоках датчика изображений в виде отрезающих фильтров гарантируют острое спектральное разделение блоков, в то время как фильтр в оптической системе отображения выполнен в виде полосового фильтра и включает в себя спектральные области блоков, и/или что для каждой спектральной области блоков предназначено по одному источнику освещения, который эмитирует свет точно той длины волны, которая соответствует области пропускания оптических фильтров соответствующего блока.

Этому соответствует способ для надежной съемки двухмерных данных изображений с помощью датчика изображений вышеназванного вида, имеющий следующие этапы способа.

На первом этапе обработки осуществляется приведение в действие глобального затвора с определенным ранее временем экспозиции. Вследствие этого на каждом из двух блоков имеется изображение заряда в накопителях пикселей, которое соответствует отображению объекта.

На втором этапе обработки данные изображений первого блока передаются на линию обработки первого блока (Readout Block считывающий блок 1), а данные изображений передаются на линию обработки второго блока (Readout Block считывающий блок 2) и т.д. Вследствие этого этапа в блоках имеются теперь данные изображений в цифровом виде.

Теперь необходимо пояснить изобретение подробнее на примерах осуществления со ссылкой на фигуры. На фигурах показано:

фиг. 1 иллюстрирует измерение удаленности по принципу TOF, который основывается на измерении времени прохождения испущенного светового импульса (англ. emitted pulse);

фиг. 2 иллюстрирует измерение времени прохождения аналогично фиг. 1 при четырехфазном считывании отраженного светового импульса;

фиг. 3 иллюстрирует принципиальную конструкцию предлагаемого изобретением трехмерного ТОF-датчика, имеющего два параллельных пути и перекрестное сравнение между ними;

фиг. 4 иллюстрирует, как изображенная на фиг. 3 принципиальная конструкция может реализовываться на пиксельном уровне трехмерного TOF-датчика;

фиг. 5а-5с иллюстрируют разные варианты, как пиксели пиксельной матрицы могут быть разделены на два канала (канал А и канал В);

фиг. 6а, 6b иллюстрируют на изображении в сечении, как может быть реализован оптический биннинг;

фиг. 7 иллюстрирует на примере пиксельной матрицы с фиг. 5а, как попарно оцениваемые пиксели каналов А и В благодаря оптическому биннингу могут быть включены оптически параллельно;

фиг. 8 иллюстрирует одновременное считывание отраженного светового импульса;

фиг. 9 показывает схему соединений для считывания пиксельной матрицы в соответствии с фиг. 6 и 7 по принципу, изображенному на фиг. 8;

фиг. 10 показывает, что также освещение для выдачи световых импульсов выполнено двойным и может иметь две группы передатчиков, имеющих по два передатчика, которые применяются попеременно;

фиг. 11 иллюстрирует, что вместо изображенного на фиг. 8 одновременного считывания пикселей А и В считывается только один из пикселей, то есть пиксель А или пиксель В, чтобы таким образом получить меру для количества света активированной группы передатчиков;

фиг. 12a, 12b иллюстрируют, что соответствующие пиксели А или пиксель В пиксельной матрицы могут быть чувствительны к различным длинам волны или соответственно различным диапазонам дли-

ны волны;

фиг. 13 показывает, что пиксели у пиксельной матрицы в соответствии с фиг. 12а или 12b могут иметь площадь разной величины, в случае если квантовая эффективность пикселей будет различной для каждой длины волны, чтобы в результате получить изображенные выходные сигналы, имеющие сравнимые уровни, при этом более низкая квантовая эффективность компенсируется большей площадью пикселей;

фиг. 14 показывает логическую схему, имеющую дополнительный компаратор для проверки каналов A и B, которые работают соответственно в двух диапазонах длины волны;

фиг. 15 показывает, что вместо двух идентичных процессоров А и В для оценки сигналов канала А и В могут применяться два разных процессора, один из которых является ориентированным на безопасность процессором;

фиг. 16 показывает принципиальная конструкция формирователя изображений, у которой операционный усилитель ДКВ-ступени путем расширения схемы действует в качестве компаратора для сравнения значений сигнала пикселей А и В на аналоговом пиксельном уровне;

фиг. 17 иллюстрирует цикл считывания;

фиг. 18 показывает ДКВ-ступень формирователя изображений с фиг. 16 в первом состоянии переключения;

фиг. 19 показывает ДКВ-ступень формирователя изображений с фиг. 16 во втором состоянии переключения;

фиг. 20 показывает ДКВ-ступень формирователя изображений с фиг. 16 в третьем состоянии переключения;

фиг. 21 показывает датчик изображений, имеющий высокое разрешение, который имеет несколько параллельных каналов считывания, служащих для считывания пикселей по блокам;

фиг. 22 показывает датчик изображений, имеющий два блока А и В пикселей, которые чувствительны каждый к различным диапазонам длины волны;

фиг. 23 иллюстрирует, что проверка функционирования пиксельной матрицы на уровне блока может выполняться точно так же, как и на уровне пикселей (сравн. с фиг. 8);

фиг. 24 показывает схему обработки изображений для считывания пиксельной матрицы, которая разделена на два блока А и В; и

фиг. 26 показывает датчик изображений, аналогичный датчику изображений с фиг. 22, у которого предусмотрен дополнительный оптический канал; и

фиг. 26 иллюстрирует последовательное считывание отраженного светового импульса посредством датчика изображений, который имеет только один единственный глобальный затвор.

Исходной точкой изобретения является общая система, которая описывается в EN ISO 13849 (Безопасность оборудования). Соответственно этому SIL-3 (кат. 4; PL е) может достигаться таким образом, что система выполняется по меньшей мере с двумя путями сигнала, так что полнота может достигаться путем перекрестного сравнения двух параллельных путей сигнала, см. фиг. 3.

В соответствии с изображенной на фиг. 3 принципиальной конструкцией трехмерного TOF-датчика 10 он имеет два блока 12А и 12А ввода, которые могут быть образованы пикселями; ср. фиг. 4. Генерируемые этими блоками ввода выходные сигналы, то есть, например, выходные сигналы пикселей, вводятся соответственно в логику 14А и 14В, которые оценивают выходные сигналы блока 12А или соответственно 12В ввода. Логики 14А и 14В соединены друг с другом с целью перекрестного сравнения. При перекрестном сравнении, в частности, проверяется, дает ли логика 14А и 14В всегда одинаковый выходной сигнал. В случае если перекрестное сравнение получается положительным, зарегистрированные блоками 12А и 12В ввода и обработанные логиками 14А и 14В сигналы выдаются в соответствующий блок 16А и 16В вывода.

Трехмерный ТОF-датчик с фиг. 3 и 4 имеет, таким образом, в каждом случае два параллельных пути сигнала, один из которых образуется блоком 12А ввода, обрабатывающей логикой 14А и блоком 16А вывода, и другой из которых образуется блоком 12В ввода, обрабатывающей логикой 14В и блоком 16В вывода. При этом первый путь сигнала образует канал A, а второй путь сигнала образует канал B. Итак, предлагается применить эту параллельную систему к трехмерному ТОF-датчику.

Поэтому далее термины "путь сигнала" и "канал" применяются синонимично.

## Первый вариант изобретения

В первом варианте изобретения вышеописанный принцип наличия по меньшей мере двух пикселей (пиксели A и B) применяется так, что достигается сплошная параллельная обработка со сравнением путей A и B сигнала. Сравнение сигналов выполняется на разных уровнях обработки сигналов, см. фиг. 4.

Все пиксели А и В располагаются в виде матрицы в соответственно одинаковых строках, столбцах или в виде шахматной доски.

Пути сигнала выполнены с последовательным разделением на канал A и канал B. Это относится как к аналоговому, так и цифровому пути сигнала, независимо от того, выполняется ли интегрированная в кремний матрица приемника исключительно аналоговой или аналоговой и цифровой, см. фиг. 5.

Итак, есть две возможности реализации, а именно, интеграция исключительно аналоговых частей

схемы в кремний и применение внешней логики к FPGA (ПЛИС), или полная интеграция всех компонентов в кремний или другой полупроводниковый материал.

Оптический биннинг/проверка функционирования приемников.

Технически известно объединение нескольких пикселей на уровне схемы. Этот способ применяется для:

уменьшения разрешения;

повышения скорости изображения; или

улучшения чувствительности и снижения шума.

В качестве новшества вводится оптический биннинг, для гарантии того, что пиксели А и В будут принимать идентичные оптические мощности (отображение).

Оптический биннинг может достигаться таким образом, что над пикселями A и пикселями B располагается гомогенизирующий диффузор. Это расположение может осуществляться так, чтобы оптически соединялись только соответственно участвующие оптически чувствительные поверхности (фотоприемники) пикселей A и B. Но можно также расположить диффузор над всей геометрией пикселей. Другой вариант получается при применении микрооптики, которая уже во многих случаях применяется для повышения коэффициента заполнения в КМОП-формирователях изображений. Тогда микрооптика располагается над диффузором.

В другом варианте осуществления первого варианта изобретения диффузор и микрооптика могут также реализовываться в одном элементе на микрооптической базе.

Применительно к матричной системе пикселей A и B оптически соединяются друг с другом соответственно A1 и B1, A2 и B2 ... An и Bn, при этом предполагается, что аналоговый путь сигнала A1 и B1 или соответственно A2 и B2, An и Bn для соблюдения одинаковых времен прохождения сигнала выполнен идентично по длине. Это требование относится также к цифровым управляющим сигналам переключающих транзисторов соответственно подвергнутых оптическому биннингу пикселей, см. фиг. 6 и 7.

Нормальное функционирование запараллеленных фотоприемников проверяется с помощью дополнительного этапа сигнала. Целью этого этапа сигнала является проверить, дают ли каналы A и B идентичное значение сигнала. Эти значения сигнала должны лежать заметно выше уровня шума (нулевой сигнал).

Это достигается путем одновременного считывания отраженного светового импульса. Для двухфазного режима время считывания соответствует двойной длине (см. фиг. 8) продолжительности светового импульса, а в четырехфазном режиме ровно длине продолжительности светового импульса. И в этом случае цикл из передачи и считывания отраженного светового импульса предпочтительно должен повторяться несколько раз, пока достаточное количество заряда не будет аккумулировано как в накопителях пикселей A, так и B.

На фиг. 9 схематически изображена схема соединений. Накопители подвергнутых оптическому биннингу пикселей (A1 и B2) по истечении фазы интеграции выбираются одновременно и подаются на выход аналоговой матрицы. Количества заряда пикселей A1 и B1 в первый раз сравниваются в аналоговом пути сигнала (например, с применением компаратора). Проверяется, лежит ли разность напряжений между A и B ниже ранее заданного порогового значения. В зависимости от количества имеющихся в пикселе накопителей (двухфазный или четырехфазный), этот цикл может осуществляться один раз для каждого пикселя или два раза. Возможна также реализация схемотехнического запараллеливания накопителей а и b.

Далее, значения сигналов оцифровываются в аналого-цифровом преобразователе (ADU A и ADU B, см. фиг. 9) и второй раз сравниваются. Эти операции могут осуществляться как с помощью последующей логики и/или же с помощью следующего за данной логикой A или B процессора A или B. Логика A и логика B отличаются от процессора A и процессора B видом имплементации. Логики представляют собой схемы, которые осуществляют логические операции на уровне схемы и могут иметься, например, в виде FPGA (Field Programmable Gate Array программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС)). Принцип функционирования процессоров, в отличие от этого, задан программированием процесса (например, в виде фирменного программного обеспечения). Процессоры могут быть, например, цифровыми сигнальными процессорами (DSP).

Если заданное значение разности в аналоговой или в цифровой области превышается, то в логическом блоке инициируется аварийный сигнал, и съемка изображения останавливается. Этот аварийный сигнал по пути сигнала передается непосредственно на интерфейсы процессора (англ. Output, выход).

Тогда выход процессора в сочетании с безопасным управлением может приводить машину к безопасному останову, см. фиг. 9.

Двойное исполнение источников освещения/проверка функционирования передатчиков.

Как путь сигнала выполняется двойным, так и освещение трехмерного TOF-датчика, имеющего подвергнутые оптическому биннингу пиксели, выполняется по меньшей мере двойным. Попеременно применяются по меньшей мере две группы передатчиков, см фиг. 10.

Группа передатчиков состоит по меньшей мере из одного передатчика. На фиг. 10 изображено сдвоенное исполнение группы передатчиков и представлено соответственно двумя передатчиками. Пе-

редатчики 1 и 3, а также 2 и 4 работают каждые параллельно и попеременно. В качестве передатчиком могут применяться СИД (светоизлучающие диоды) или лазерные диоды (например, VCSEL, англ. Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers, вертикально-излучающие лазерные диоды), см. фиг. 10.

Расширенный цикл проверки функционирования передатчиков.

Благодаря оптическому биннингу и дополнительному этапу сигнала может проверяться, дают ли фотоприемники и конвейеры обработки сигналов одинаковые значения сигналов. Равенство значений сигналов может определяться по значению разности, которое должно лежать ниже устанавливаемого порогового значения.

На этом этапе не может делаться вывод о нормальном функционировании передатчиков. Заключение об этом может давать другой дополнительный этап обработки.

Если вместо описанного на фиг. 8 одновременного считывания отраженного светового импульса пикселя А и пикселя В считывается только один пиксель, т.е. либо А, либо В, то при нахождении значения разности в ступени компаратора (аналоговой) или в цифровой части логики возникает сигнал выше порогового значения, который служит мерой количества света активированной группы передатчиков; см. фиг. 11.

В текущем цикле обработки изображений для контроля путей сигнала собственному созданию изображения предшествуют этапы сигнала соответственно фиг. 8 и фиг. 11.

	Проверка	Процесс	Проверка	FOULDU	2
проверка группы т	проверка	обработки	проверка	группы	2
передатчиков	приемников	изображений	передатчиков		

Группа 1 передатчиков и группа 2 передатчиков активируются в цикле соответственно попеременно.

Альтернативный механизм проверки функционирования передатчиков путем разбиения длины волны передатчиков.

Один из особенно предпочтительных вариантов осуществления сплошной параллельности направления сигнала может достигаться таким образом, что группы передатчиков осуществляют передачу с различными длинами волны, в то время как пиксели А и пиксели В могут каждые селективно реагировать на соответственно различные длины волны, см. фиг. 12a и 12b.

Преимущество этого способа заключается в том, что описанный со ссылкой на фиг. 11 этап сигнала не должен осуществляться итеративно один раз для первой и второй группы передатчиков, а что этот этап может осуществляться одновременно, так как обе группы передатчиков могут активироваться одновременно, и благодаря селективности волн приемников могут распознаваться селективно.

Тогда оптический биннинг осуществляется селективно в отношении длин волн. Т.е. типовой вариант осуществления мог бы представлять собой использование узкополосных фильтров и функции гомогенизации с центральной длиной волны 850 нм, а также для второй группы приемников с центральной длиной волны 940 нм.

В одном из особых вариантов осуществления оптически чувствительная поверхность фотоприемников могла бы выполняться так, чтобы компенсировались различные квантовые эффективности разных длин волны (в кремнии квантовая эффективность для 940 нм падает примерно на 30% по сравнению с 850 нм). Большего размера чувствительная поверхность приемника, имеющая низкую квантовую чувствительность, могла бы компенсировать этот недостаток, см. фиг. 13.

На фиг. 12 изображены разные системы селективного в отношении волн решения. На фиг. 12а соответственно А и В работают с двумя длинами волны. Функциональность А и В проверяется для каждой длины волны. В этой последовательности может использоваться дополнительный компаратор. В зависимости от того, какая длина волны применяется, либо логика А, либо логика В обрабатывает сигнал компаратора (фиг. 14).

Если применяется система фильтров в соответствии с фиг. 12b, и на этапе проверки группы передатчиков активируются одновременно с двумя разными длинами волны, то проверка передатчиков и проверка приемников может осуществляться одновременно. Когда разностный сигнал на выходе компаратора между каналом A и B меньше заданного порогового значения, можно сделать вывод, что обе группы передатчиков и фотоприемники двух каналов являются нормально функционирующими.

Функционирование логик А и В.

Логика A дает управляющие сигналы для фотоприемников канала A, то есть, например, для управления выключателями изображенной на фиг. 18-20 ступени ДКВ для пути A сигнала. Логика B дает управляющие сигналы для фотоприемников канала B, то есть, например, для управления выключателями изображенной на фиг. 18-20 ступени ДКВ для пути B сигнала. Путем синхронизации логик гарантируется, что в процессе считывания всегда будет осуществляться адресация к правильным парам пикселей. Действительность значений сигналов определяется по сигналу компаратора.

В следующем шаге обработки цифровой сигнал разности каналов рассчитывается отдельно в каждой логике. Для этого логики обмениваются оцифрованными данными каналов, если эти данные каналов считаются действительными. Если оцифрованный сигнал разности пикселей А и В превышает пороговое значение, в соответствующий процессор передается аварийный сигнал.

Обе логики независимо друг от друга рассчитывают значения амплитуд сигналов, а также значения расстояний. Рассчитанные значения логики А передаются в процессор А, а значения логики В в процессор В. Кроме того, рассчитанные значения выдаются соответственно перекрестно. Затем каждый процессор осуществляет сравнение значений амплитуд и расстояний. Если сравнение приводит к отклонению, то соответствующий процессор выдает аварийный сигнал.

Функциональный тест логик.

Между циклами обработки изображений процессоры передают в предшествующие логики цифровое вводимое значение (случайное число). Логики вводят это случайное число в их конвейер обработки и рассчитывают по нему выводимое значение, которое проверяется стандартной программой каждого процессора на правильность. Процесс обработки содержит обмен вводимыми значениями между логиками. То есть процесс проверки для каждой логики производит расчет с помощью вводимых значений канала А и канала В.

Функции вычисления соответствуют операциям нахождения значений расстояний и амплитуд. В случае если сравнение в процессоре приводит к ошибке, соответствующим процессором выдается аварийный сигнал.

Функционирование процессоров А и В.

В первом варианте осуществления оба процессора всегда осуществляют идентичные операции. Каждый процессор располагает собственными запоминающими устройствами и собственными интерфейсами.

Выход ОUT A и OUT В обрабатывается на последующем уровне (например, ориентированное на безопасность управление).

Во втором варианте осуществления, который, в частности, предпочтителен для комплексных операций обработки изображений, например, анализов движений людей, в качестве одного из процессоров (например, канал А) применяется ориентированный на безопасность процессор.

Ориентированный на безопасность процессор сам располагает внутри запараллеленной архитектурой без обратной связи. Такие процессоры известны (например, HICore 1 - https://www.hima.com/en/products-services/hicore-1/) и имеют, например, т.н. конфигурацию loo2 (one out of two). Процесс обработки в этом случае разбивается на безопасный процесс и небезопасный процесс.

Необходимо пояснить это разделение на следующем примере.

Для контроля рабочего пространства важно, предотвращать попадание руки в область защиты или останавливать машину, если рука проникает в эту область.

Так как для распознавания руки нужны определенные сложные операции обработки изображений (реальное время), процесс разделяют таким образом, что определенная область задается в виде трехмерной зоны защиты. Ориентированный на безопасность процессор контролирует в дальнейшем только положение облака точек в этой заданной в FOV (англ. field of view, зона видимости) зоне защиты. Отклонение (преобразование) облака точек приводило бы к аварийному сигналу. Контроль положения облака точек представляет собой относительно простую операцию.

На другом процессоре исследуется, какой объект проник в зону защиты. Соответствующие операции являются комплексными и имплементируются на современных языках высокого уровня. Если речь идет о руке, то отсюда следует, например, указание оператору, см. фиг. 15.

Кроме того, существует возможность реализации операционного усилителя ступени ДКВ путем расширения схемы также в виде компаратора для сравнения значений сигналов пикселей А и пикселей В на аналоговом пиксельном уровне.

На фиг. 16 показана принципиальная конструкция соответствующего формирователя изображений. На последующих фиг. 18-20 более детально изображены ступени ДКВ в разных состояниях переключения.

Пиксель состоит здесь, в качестве примера, из APS-ячейки, ступени ДКВ и ступени выборки и хранения (обозначенной на фиг. S&H).

Ступень ДКВ служит, с одной стороны, в качестве аккумулятора для необходимых многократных экспозиций и одновременно в качестве ступени для подавления составляющих шума от сброса фотодиода APS-ячейки, а также отделения фонового света.

Итак, в качестве новшества вводится перекрестное сравнение с соседним пикселем в соответствии с уже поясненной последовательно в ступени ДКВ.

Фиг. 17 иллюстрирует цикл считывания.

Принцип функционирования хорошо поясняется на функционировании ступени ДКВ. Фаза 1.

В пикселе А - выключатели S1a, S3a замкнуты, выключатели S2a, S4a и S5a разомкнуты.

В пикселе В - выключатели S1b, S3b замкнуты, выключатели S2b, S4b и S5b разомкнуты.

Получаем следующие соотношения:

В пикселе А:

Q'la=Cla (Va-Vref); Q'2a=C2a(Vref-Vouta(n)). В пикселе В:

Q'1b=C1b (Vb-Vref); Q'2b=C2b(Vref-Voutb(n)).

На фиг. 18 показаны пиксель А и пиксель В в первом состоянии переключения ступеней ДКВ, которое они принимают на фазе 1.

Фаза 2.

В пикселе А - выключатели S2a, S4a замкнуты, выключатели S1a, S3a и S5a разомкнуты.

В пикселе В - выключатели S2b, S4b замкнуты, выключатели S1b, S3b и S5b разомкнуты. В пикселе А:

Q"1a=C1a (Vb-Vref); Q"2a=C2a(Vref-Vouta(n+1)).

В пикселе В:

Q"1b=C1b (Va-Vref); Q"2b=C2b(Vref-Voutb(n+1)).

Тогда по первому закону Кирхгофа можно написать:

В пикселе А:

Q'1a+Q'2a=Q"1a+Q"2a.

Если подставить отношения для зарядов в это уравнение, после соответствующего преобразования получится следующий результат:

Vouta(n+1)=C1a(Vb-Va)+C2aVout(n).

Эквивалентно этому на выходе пикселя В получают соотношение:

Voutb(n+1)=C1b(Va-Vb)+C2bVout(n).

Фаза 1 и фаза два повторяются многократно (N раз) для достижения достаточного выходного напряжения на конденсаторе C2a или соответственно C2b.

На фиг. 19 показан пиксель А и пиксель В во втором состоянии переключения ступеней ДКВ, которое они принимают на фазе 2.

Фаза 3 - фаза проверки.

Все выключатели разомкнуты, только выключатели Sa5 и Sb5 замкнуты. На этой фазе операционный усилитель действует в качестве компаратора в обоих пикселях.

При этом результирующее напряжение на конденсаторах Ca2 и Cb2 сравнивается соответственно с референтным напряжением.

На фиг. 20 показан пиксель А и пиксель В в третьем состоянии переключения ступеней ДКВ, которое они принимают на фазе 3.

На емкость Ca2 подают многократно аккумулированное разностное напряжение Vb-Va.

На емкость Cb2 подают многократно аккумулированное разностное напряжение Va-Vb.

Тогда сравним 3 случая.

1. N×Vouta(n+1)=N×Voutb(n+1) - это был бы идеальный случай, если бы пиксель А и пиксель В давали одинаковое значение. Этот идеальный случай вследствие физических свойств реальных конструктивных элементов имеет только теоретический характер.

2. N×Vouta(n+1)≈N×Voutb(n+1) - это значение на выходе пикселя А и пикселя В примерно одинаково. Одно из значений несколько выше или несколько ниже, чем другое. В этом случае оба пикселя могут считаться нормально функционирующими.

На обоих выходных проводах компаратора появляется логический 0.

3. N×Vouta(n+1)≠N×Voutb(n+1) - выходное значение пикселя А либо намного больше, либо намного меньше выходного значения пикселя В. Один пиксель может считаться дефектным.

В этом случае на выходе пикселя А имелась бы логическая 1, если Vb>>Va.

В случае если Vb<<Va, логическая 1 имелась бы на выходе пикселя В.

После сравнения ступень ДКВ сбрасывается, и может начинаться новый цикл.

Управление выключателями каждой ступени ДКВ осуществляется с помощью предназначенной для соответствующего пути сигнала логики A или соответственно B.

Дополнительный рабочий режим.

Введенное составление разности Vb-Va и Va-Vb, может также очень предпочтительно применяться в 4-фазном режиме. В этом случае составление разности для расчета угла фаз можно использовать без считывания отдельных значений, как описано выше, при этом смещение ф фаз рассчитывается следующим образом:

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{Aa - Ab}{Ba - Bb}$$

Предпосылкой является использование двух других пикселей. Так, чтобы одна группа из четырех пикселей или одна группа из двух пикселей, но имеющая всего четыре накопительные ячейки, давала полную 4-фазную архитектуру.

## Второй вариант изобретения

По второму варианту изобретения датчики изображений (англ. Imager, формирователи изображений) устраиваются, например, по технологии КМОП с высоким разрешением предпочтительно с несколькими параллельными каланами считывания; см. фиг. 21. Целью этой архитектуры является достичь высокой скорости передачи изображений, несмотря на высокое разрешение. Каналы считывания объединяют, как правило, либо несколько строк, либо несколько столбцов матрицы датчика изображений. Далее мы называем такое объединение блоком или блоком формирователя изображений; см. фиг. 22.

В частности, на фиг. 22 показано:

1 - датчик изображений,

2 - оптически чувствительная поверхность,

4 - блок А формирователя изображений, имеющий спектральный фильтр А,

5 - блок В формирователя изображений, имеющий спектральный фильтр В,

7 - канал считывания для блока А формирователя изображений,

8 - Канал считывания для блока В формирователя изображений.

Второй вариант изобретения использует это разделение поля изображения на блоки считывания.

Другой вариант изобретения поясняется подробнее далее на первом примере осуществления.

Поле изображения, которое предпочтительно имеет очень высокое разрешение, например, 1280×1024 точек изображения, разделяется на блоки соответственно выполненным каналам считывания. Каждый блок считывания работает с глобальным затвором, который может приводиться в действие отдельно.

Для каждого блока предназначается также собственная оптика отображения. Расстояние между этими оптиками очень мало, так что уже на небольшом расстоянии до объекта на стороне изображения больше не сказывается параллакс. Т.е. на каждом блоке создается одинаковое отображение стороны объекта.

Эта система из оптики и датчика изображений применяется в запараллеленной схеме считывания и обработки изображений в соответствии с фиг. 4.

Расчет глубинного изображения.

Этот пример осуществления исходит из двухканальной конструкции. Датчик изображений (формирователь изображений) разделен на блок А и блок В. В настоящем примере осуществления каждый блок имеет 640×1024 точек изображения. Цифровые каналы считывания для блока А и блока В проведены к соответствующим логикам А и В. При этом не имеет значения, содержат ли уже эти логические блоки части интегрированной схемы или внешнюю логическую схему, например, FPGA.

Логики A и B управляют соответствующими сигналами глобального затвора и соответственно также освещением LA и LB. Источники освещения работают синхронно. Оба источника приводятся в действие одновременно с сигналом глобального затвора блока A в момент времени t0 с продолжительностью ti=tA. Световой импульс отражается от мишени и регистрируется всеми приемниками A блока A со сдвигом на время tof пробега. Являющееся результатом регистрации светового импульса количество заряда (фотоэлектроны) сохраняется в принадлежащей каждому приемнику накопительной емкости (A1). Приемники блока A могут принимать только некоторую часть отраженного светового импульса, которая пропорционально соответствует разности времени tA-tof.

С задержкой t0+tA во времени активируется глобальный затвор приемников блока В. Приемник В активен в течение времени tB (в этом примере tA=tB). Этот приемник регистрирует тоже только некоторую часть отраженного светового импульса, которая пропорционально соответствует разности времени tof+ti-tA (когда ti=tA, это tof). Соответствующие количества заряда сохраняются в принадлежащей каждому приемнику блока В накопительной емкости B1.

Т.к. отраженные сигналы в зависимости от степени отражения мишени и удаленности могут быть очень слабыми, необходимо предусматривать механизм усиления. Он достигается за счет того, что вышеописанное измерение многократно повторяется, и регистрируемое в каждом случае количество заряда аккумулируется в надлежащих накопительных емкостях, пока не будет достигнут достаточный уровень сигнала. Этот процесс может повторяться, например, 100 раз.

В результате в накопительных емкостях A1 блока A имеется изображение в течение интервала времени t0-tA, в то время как в накопительных емкостях B1 имеется изображение в течение интервала времени tA-tB.

Эти два изображения передаются по соответствующему каналу считывания в соответствующую логику. После этого логики перекрестно обмениваются информацией об изображении, и каждая отдельно по пикселям рассчитывают глубинное изображение по в.н. предписаниям:

Q1=А/(А+В) (при составлении частного устранение зависимости от степени отражения).

Q2=B/(A+B). tof1=(1-Q1)\*T. tof2=Q2\*T. tof=1/2(tof1+tof2) (среднее значение).

## S=1/2(c\*tof).

При этом предписание для расчета применяется так, чтобы пиксели всегда рассчитывались соответственно их положению и матрице приемника. То есть A0,0 при B0,0; A0,1 при BOД; ... Am, n при Bm, n в соответствии с выбранной системой:

> A0,0 ..... A0,n . ...... Am,0 .... Am,n

B0,0 ..... B0,n

. .....

#### Bm,0 ..... Bm,n

В конце расчета обе логики содержат по одному изображению расстояния. Оба изображения расстояния должны быть идентичны, за исключением зависящего от температуры коэффициента калибровки, который может определяться однократно.

Проверка функционирования путем сравнения глубинного изображения.

Идентичность двух глубинных изображений A и B проверяется в следующей операции путем сравнения по пикселям. Это сравнение может осуществляться на обеих логиках или на подключенных процессорах.

Для сравнения может задаваться пороговое значение, сколько пар пикселей могут отличаться от заданного ожидаемого значения сравнения. Это пороговое значение задает, дает ли данная пара пикселей одинаковые значения или нет, и что следует считать одинаковым или соответственно неодинаковым. Кроме того, в качестве решающего параметра может использоваться количество неодинаковых пар.

Ели заданное пороговое значение по меньшей мере на одном процессоре превышается, то по меньшей мере один из процессоров создает на выходе аварийный сигнал.

Сравнение глубинных изображений A и B суммирует уже несколько функций сравнения. Сюда относятся чувствительность пикселей, функция затвора (интеграция/аккумуляция), считывание, ADU и логические операции.

Доказанность полноценного функционирования пиксельной матрицы может также достигаться путем сравнения по пикселям изображения амплитуды.

Проверка функционирования пиксельной матрицы на двухмерном изображении амплитуды.

Точно так же, как и на уровне пикселей (см. выше и фиг. 8 и 9), проверка функционирования пиксельной матрицы на двухмерном изображении амплитуды может выполняться также на уровне блока; см. фиг. 23 и 24. Это достигается путем одновременного считывания отраженного светового импульса как в блоке А, так и в блоке В. И в этом случае цикл из испускания и считывания отраженного светового импульса должен повторяться многократно, пока достаточное количество заряда не будет аккумулировано как в накопителях пикселей блока А, так и блока В.

По окончании цикла аккумуляции считываются изображения в блоке А и В и сравниваются по пикселям на обеих логиках. Значения сравнения могут оцениваться как в логике, так и в подключенных процессорах.

Для сравнения может задаваться пороговое значение, которое определяет, должны ли пиксели считаться одинаковыми или неодинаковыми. Кроме того, может задаваться, сколько пикселей могут отличаться друг от друга с заданным интервалом (неравны), прежде чем будет создан аварийный сигнал. Если заданное пороговое значение по меньшей мере на одном канале превышается, то по меньшей мере один из процессоров создает на выходе аварийный сигнал.

Проверка источников освещения.

Описанный цикл проверки подходит равным образом для проверки источников освещения. В этом примере осуществления применяются всего 4 источника освещения. По два из них в этом примере осуществления активируются логикой канала A или соответственно канала B.

Итак, источники освещения могут проверяться таким образом, что в каждом цикле проверки применяются либо источники канала A, либо источники канала B.

В противоположность сравнению значений сигналов приемников путем перекрестного сравнения, сравнение источников освещения осуществляется путем последовательного сравнения в каждом канале.

Процесс выполнения проверки осуществляется в настоящем примере осуществления следующим образом:

1. Запуск светового импульса, имеющего двойную длину по сравнению со съемкой глубинного изображения (например, 60 нс) источника освещения канала А.

2. Одновременный запуск глобального затвора в двух блоках А и с двойной длиной светового импульса (например, 120 нс).

3. Запоминание изображений блока A (изображение A0) и блока B (изображение B0) в логических блоках соответствующих каналов.

4. Запуск светового импульса, имеющего двойную длину по сравнению со съемкой глубинного изображения (например, 60 нс) источника освещения канала В.

5. Одновременный запуск глобального затвора в двух блоках А и В с двойной длиной светового импульса (например, 120 нс).

6. Запоминание изображений блока A (изображение A1) и блока B (изображение B1) в логических блоках соответствующих каналов.

7. Каждое пиксельное значение A(i, j) из части A матрицы и каждый пиксель B(i, j) из части B матрицы при экспозиции к источнику LA сравнивается с соответствующими значениями при экспозиции к источнику LB. Задается максимальное значение разности. При превышении этого значения имеет место дефект, и может инициироваться аварийный сигнал. Можно также инициировать аварийный сигнал только при превышении значения разности при заданном количестве пар пикселей. Значения сравнения могут оцениваться как в логике, так и в подключенных процессорах.

Изобретение поясняется на втором примере осуществления.

Как и в первом примере осуществления, поле изображения, которое предпочтительно имеет очень высокое разрешение, например, 1280×1024 точек изображения, соответственно выполненным каналам считывания делится на блоки. В отличие от первого примера осуществления, каждый блок считывания делится еще раз. Т.е. каждый блок считывания работает с двумя глобальными затворами, которые могут приводиться в действие отдельно.

Для каждого подблока (Aa, Ab, Ba, Bb) предназначается также собственная оптика отображения. Расстояние между теперь уже четырьмя оптиками очень мало, так что уже на небольшом расстоянии до объекта на стороне изображения больше не сказывается параллакс. Т.е. на каждом подблоке создается одинаковое отображение стороны объекта.

Эта система из оптики и формирователя изображений применяется в запараллеленной схеме считывания и обработки изображений в соответствии с фиг. 24.

Расчет глубинного изображения.

Этот пример осуществления также исходит из двухканальной конструкции. Но датчик изображений (формирователь изображений) теперь разделен на блок Аа и Аb и блок Ва и Bb. В настоящем примере осуществления каждый блок имеет 640×512 точек изображения. Цифровые каналы считывания для блока A и блока B проведены к соответствующим логикам A и B.

Логики A и B управляют соответствующими сигналами глобального затвора и соответственно также освещением LA и LB. Источники освещения работают синхронно.

В то время как в первом примере осуществления описано считывание сигнала с двумя периодами времени интеграции (2-фазное), теперь сигнал считывается четырехкратно, при этом точки считывания сдвинуты каждая на 1/4 периода сигнала.

Применительно к примеру осуществления со световым импульсом длиной 30 нс отсюда получилась бы последовательность считывания, которая могла бы быть описана следующим образом: подблок Аа от 0 до 30 нс, для подблока Ва 30-60 нс, для подблока Ab 60-90 нс и для подблока Bb 90-120 нс; см. также фиг. 2.

Представленные отношения справедливы даже тогда, когда в качестве периодического сигнала выбирается синусоидальная форма.

Так как отраженные сигналы в зависимости от степени отражения мишени и удаленности могут быть очень слабыми, необходимо предусматривать уже описанный выше механизм усиления. Он достигается за счет того, что измерение многократно повторяется, и регистрируемое в каждом случае количество заряда аккумулируется в надлежащих накопительных емкостях пикселей в подблоках, пока не будет достигнута достаточный уровень сигнала. Этот процесс может повторяться, например, 100 раз.

В результате в накопительных емкостях пикселей подблоков имеется по одному изображению для каждой четверти периода. Отсюда по следующему правилу можно рассчитать фазу и вместе с тем расстояние S для каждого пикселя.

φ=tan^(-1) [(Ba-Bb)/(Aa-Ab)]

## S= $(\phi^*T)/(2\pi)$

Т - в этом случае период периодического сигнала.

Строго говоря, этот расчет угла фаз справедлив только для синусоидальных сигналов. При прямоугольных сигналах должны применяться соответствующие корректировки для высокой линейности характеристики расстояний. Одна из возможностей улучшения линейности характеристики расстояний при 4-фазном считывании может достигаться, в т.ч., путем считывания с T/2.

Описанные в первом примере осуществления процессы проверки осуществляются точно так же.

Далее мы поясняем третий пример осуществления, который отображен на фиг. 26.

Иначе чем в предыдущих примерах, для всей пиксельной матрицы мы располагаем только одним

глобальным затвором. В то время как в предшествующих примерах осуществления для фаз глубинного изображения использовались два глобальных затвора (см. фиг. 1, 8, 11 и 23), так что могли одновременно (параллельно) сниматься два изображения фаз, в основе примера осуществления, изображенного на фиг. 26, лежит датчик изображений, имеющий только один единственный глобальный затвор. В этом случае два изображения фаз должны сниматься друг за другом (последовательно), как иллюстрирует фиг. 26. В остальном может быть предусмотрена такая же оптическая конструкция, как и в первом примере осуществления. Пиксельная матрица делится вдоль двух каналов считывания на два блока A и B. Для каждого блока предназначается также собственная оптика отображения. Расстояние между двумя оптиками очень мало, так что уже на небольшом расстоянии до объекта на стороне изображения больше не сказывается параллакс. Т.е. на каждом блоке создается одинаковое отображение стороны объекта.

В отличие от первого примера осуществления, каждый блок получает дополнительно оптический фильтр или соответственно систему фильтров. Этот фильтр или система фильтров ограничивает пропускаемую длину волны каждого блока до узкой спектральной полосы, которая совпадает в каждом случае с длиной волны предназначенного для него источника света; см. фиг. 25.

Пример осуществления на фиг. 25 отличается от примера осуществления фиг. 22 дополнительным оптическим каналом 3 и дополнительным каналом 6 считывания. В частности, на фиг. 25 показано:

- 1 датчик изображений,
- 2 оптически чувствительная поверхность,
- 3 дополнительный оптический канал,
- 4 блок А формирователя изображений, имеющий спектральный фильтр А,
- 5 блок В формирователя изображений, имеющий спектральный фильтр В,
- 6 дополнительный канал считывания,
- 7 канал считывания для блока А формирователя изображений,
- 8 канал считывания для блока В формирователя изображений.

Для всех изображенных примеров осуществления можно сказать, что соответствующий трехмерный ТОF-датчик может быть выполнен, чтобы обходиться без этапа сигнала проверки первой группы передатчиков, благодаря тому, что группы передатчиков работают по меньшей мере в двух разных диапазонах длины волны (которые при известных условиях могут перекрываться), и пиксельная матрица построена так, что пиксели A и пиксели B (или блок A и блок B) с помощью соответствующего оптического фильтра настроены на один из двух разных диапазонов длины волны, при этом каждый оптический фильтр позволяет проходить только одному из этих двух диапазонов длины волны. Одним из особенно предпочтительных решений является применение длины волны 850 нм для первой группы передатчиков и пикселей канала A и 940 нм для второй группы передатчиков и пикселей канала B.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Трехмерный ТОF-датчик, имеющий по меньшей мере одну пиксельную матрицу, которая имеет структуру пикселя, разделенную по меньшей мере на два пути сигнала (каналы A и B), причем пути сигнала проведены так, что времена прохождения сигналов в соответствии с локализации пикселей для обоих путей сигналов идентичны (H-дерево), и при этом каждый путь сигнала располагает собственным независимым аналоговым выходом сигнала (сигнал A и сигнал B),

при этом трехмерный TOF-датчик, кроме того, имеет по меньшей мере две оптические группы передатчиков, из которых каждая группа передатчиков содержит по меньшей мере один передатчик, и

при этом оптически чувствительные поверхности пикселей первого канала (пиксели A) и пикселей второго канала (пиксели B) соединены оптически так, что и те и другие пиксели всегда поглощают одинаковое количество света.

2. Трехмерный ТОF-датчик по п.1, в котором передатчики работают в инфракрасной спектральной области.

3. Трехмерный TOF-датчик по п.1 или 2, в котором для каждого пути сигнала пиксельной матрицы предусмотрена собственная логика (логика пути сигнала A и пути сигнала B) для управления и для обработки значений сигналов, поступающих от пикселей соответствующего пути сигнала.

4. Трехмерный ТОF-датчик по п.3, в котором логика каждого пути сигнала выполнена для определения амплитуд и значений расстояний путем обработки значений сигналов обоих путей сигналов, за счет перекрестного обмена значениями сигналов.

5. Трехмерный ТОF-датчик по п.3, в котором оптически чувствительные поверхности пикселей первого канала (пиксели А) и пикселей второго канала (пиксели В) соединены посредством диффузора, который равномерно распределяет количество света по оптическим поверхностям соответственно одного пикселя из канала А (пиксель А) и одного пикселя из канала В (пиксель В).

6. Трехмерный ТОF-датчик по меньшей мере по одному из пп.1-5, имеющий ступень компаратора, которая выполнена для сравнивания значений сигналов, имеющихся параллельно на выходах пиксельной матрицы, друг с другом и/или с заданным значением как пороговым значением компаратора.

7. Трехмерный ТОF-датчик по меньшей мере по одному из пп.1-6, имеющий два аналого-цифровых

преобразователя (ADU), которые выполнены для оцифровывания аналоговых значений A и B сигналов в соответствующем пути A сигнала или соответственно пути B сигнала и соединены соответственно с логикой пути A сигнала или соответственно логикой пути B сигнала.

8. Трехмерный ТОF-датчик по меньшей мере по одному из пп.1-7, который выполнен для проверки функционирования фотоприемников путем сравнения значений сигнала A и значений сигнала B на дополнительном специальном этапе обработки сигналов, за счет того, что вместе с запуском передатчиков осуществляется одновременная активация пикселей A и пикселей B.

9. Трехмерный ТОF-датчик по меньшей мере по одному из пп.1-8, который выполнен для проверки функционирования передатчиков на другом дополнительном этапе обработки сигнала, за счет того, что вместе с запуском передатчиков только одной группы передатчиков осуществляется одновременная активация либо пикселей А, либо пикселей В.

10. Трехмерный ТОF-датчик по меньшей мере по одному из пп.1-9, отличающийся тем, что каждый путь сигнала располагает процессором, который подключен к пути сигнала логики канала, при этом каждому процессору передаются рассчитанные амплитуды и значения расстояний, которые передала соответствующая логика.

11. Трехмерный ТОF-датчик по п.10, в котором один из обоих процессоров представляет собой ориентированный на безопасность процессор, который располагает по меньшей мере двумя независимыми, не имеющими обратной связи вычислительными ядрами и обрабатывает два входа на один выход (loo2 - one out of two).

12. Трехмерный ТОF-датчик, имеющий визуализирующий датчик, который оснащен датчиком изображений, имеющим пиксельную матрицу, при этом

датчик изображений может считывать данные изображений в отдельных по меньшей мере двух независимых блоках пиксельной матрицы и передает данные по меньшей мере в два отдельных пути сигнала,

при этом пиксели пиксельной матрицы датчика изображений располагают по меньшей мере одним фоточувствительным приемником и накопительной ячейкой для накопления носителей заряда, и

пути сигнала имеют аналого-цифровой преобразователь, программируемую логику, накопительные ячейки и подключенный к ним процессор,

при этом датчик изображений располагает по меньшей мере одним глобальным затвором для всех блоков, который может приводиться в действие посредством управляющего сигнала программируемой логики и может устанавливать минимальное время затвора меньше 100 нс, и

пути сигнала проложены независимо друг от друга и без обратной связи, и

пути сигнала проложены так, что возможен перекрестный обмен данными логик или процессоров,

при этом с каждым блоком датчика изображений соотнесена собственная отображающая оптика таким образом, что на блоках отображается одно и то же изображение стороны объекта.

13. Трехмерный TOF-датчик по п.12, отличающийся тем, что с каждым блоком соотнесен по меньшей мере один источник освещения, который посредством логики синхронизируется с глобальным затвором.

14. Трехмерный ТОF-датчик по п.12 или 13, отличающийся тем, что датчик отличается тем, что каждый блок располагает отдельным глобальным затвором, управление которым может осуществляться логикой соответствующих путей сигнала.















c)

Фиг. 5



Фиг. 6

A1	A2	А	A	А	A
B1	B2	в	в	в	в
А	Α	Α	Α	Α	A
в	в	в	В	в	в
in the second				-	

























Евразийская патентная организация, ЕАПВ Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2