

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **040950**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2022.08.23**

(51) Int. Cl. **G01S 3/784** (2006.01)  
**G01S 3/786** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**202091956**

(22) Дата подачи заявки  
**2019.03.07**

---

(54) **СЕНСОР ПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА СВЕТА**

---

(31) **1803670.7**

(32) **2018.03.07**

(33) **GB**

(43) **2021.03.31**

(86) **PCT/EP2019/055784**

(87) **WO 2019/170836 2019.09.12**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**УНИВЕРСИТЕТ И ОСЛО (NO)**

(72) Изобретатель:  
**Эстбю Юар Мартин, Хефлигер  
Филипп Доминик (NO)**

(74) Представитель:  
**Хмара М.В., Липатова И.И.,  
Новоселова С.В., Осипов К.В.,  
Пантелеев А.С. (RU)**

(56) FARIAN LUKASZ ET AL: "Miniaturized Sun sensor with in-pixel processing for Attitude Determination of micro space probes", 2015 INTERNATIONAL CONFERENCE ON EVENT-BASED CONTROL, COMMUNICATION, AND SIGNAL PROCESSING (EBCCSP), IEEE, 17 June 2015 (2015-06-17), pages 1-6, XP032795393, DOI: 10.1109/EBCCSP.2015.7300688 [retrieved on 2015-10-19] Section II; figures 1-7

US-A-4874937

US-A-5483060

GB-A-2266634

US-A1-2005007504

US-A1-2016123801

---

(57) Обеспечены сенсорное устройство 100, сенсорный модуль 200 и способы определения положения источника света. Сенсорное устройство 100 содержит множество сенсорных блоков 110, причем каждый сенсорный блок 110 имеет соответствующую сенсорную зону. Сенсорное устройство 100 также содержит маску 120, расположенную над множеством сенсорных блоков 110 и выполненную так, чтобы падающий свет от источника света освещал разные области сенсорной зоны каждого из сенсорных блоков 110 в зависимости от положения источника света относительно сенсорного устройства 100. Таким образом, положение источника света может быть определено на основании того, какие области сенсорной зоны сенсорных блоков 110 освещены. Кроме того, каждый сенсорный блок 100 является управляемым соответствующим контроллером 130 блока для определения положения источника света.

---

**B1**

**040950**

**040950**

**B1**

### **Область техники, к которой относится изобретение**

Настоящее изобретение относится к сенсору для определения положения источника света и к способам определения положения источника света с использованием сенсора. В частности, изобретение относится к солнечному сенсору для спутника.

### **Уровень техники**

Сенсоры для определения положения Солнца хорошо известны и варьируются от очень простых до чрезвычайно высокотехнологичных решений. Когда такие сенсоры предназначены для применения в космических спутниках или ракетах, важны их прочность и надежность. Кроме того, для космических микрозондов очень важны вес и объем.

Известен сенсор для космических микрозондов от Farian и др. (A Miniaturized Two-Axis Ultra Low Latency and Low-Power Sun Sensor for Attitude Determination of Micro Space Probes ("Миниатюрный двухосевой сенсор со сверхнизкой задержкой и малым энергопотреблением для определения положения космических микрозондов"), IEEE Transactions on Circuits and Systems (Транзакции по цепям и системам), 2017). Здесь раскрываются сенсорные блоки, содержащие два линейных сенсора, ортогонально ориентированные относительно друг друга. На фиг. 1 показан сенсор (датчик) согласно Farian. Сенсор 10 содержит сенсорный блок 12 на микросхеме 13. Маска 14 содержит прозрачную часть 15, которая обеспечивает попадание света 16 на сенсорный блок 12. Положение источника света может определяться по тому, какая часть сенсорного блока 12 освещена.

Однако Farian не рассматривает, как разместить сенсор в детекторном модуле. Как правило, чтобы обеспечить поле обзора (FOV, field of view) по полной полусфере, пять сенсоров прикрепляют к соответствующим поверхностям кубической опорной конструкции. В документе US 2016/0123801 A1 раскрывается конструкция сенсора, содержащая пирамидальную конструкцию, со светочувствительными областями и электрическими контактами на каждой обращенной наружу поверхности пирамиды. Положение источника света определяется путем сравнения сигналов от различных светочувствительных зон.

Однако остается потребность в прочном, надежном, легком и маленьком сенсоре с полным полусферическим полем обзора.

### **Сущность изобретения**

Согласно первому аспекту настоящего изобретения обеспечено сенсорное устройство для определения положения источника света, причем сенсорное устройство содержит: множество сенсорных блоков, причем каждый сенсорный блок имеет соответствующую сенсорную зону; и маску, расположенную над множеством сенсорных блоков и выполненную так, чтобы падающий свет от источника света освещал разные области сенсорной зоны каждого из сенсорных блоков в зависимости от положения источника света относительно сенсорного устройства, так что положение источника света может быть определено на основании того, какие области сенсорной зоны сенсорных блоков освещены; при этом каждый сенсорный блок является управляемым соответствующим контроллером блока для определения положения источника света.

Каждый из множества сенсорных блоков может использоваться для определения положения источника света, и, следовательно, может быть выполнено множество измерений положения источника света сенсорным устройством, одним для каждого из множества сенсорных блоков. Сенсорный блок может содержать любой подходящий механизм для обнаружения падающего на него света и может содержать множество светочувствительных пикселей в любой подходящей компоновке. Таким образом, светочувствительные пиксели сенсорного блока составляют сенсорную зону.

Маска содержит прозрачный участок, позволяющий свету от источника света проходить сквозь него, чтобы освещать различные области сенсорной зоны каждого из сенсорных блоков, и содержит непрозрачную часть, не допускающую попадания света на другие области сенсорной зоны каждого из сенсорных блоков. Маска отнесена от сенсорных блоков на заданное расстояние, так что для каждого положения источника света относительно сенсорного устройства будут освещены разные области сенсорных зон каждого сенсорного блока (т.е. затенение от маски будет разным для разных положений источника света с освещением разных областей сенсорных зон). Таким образом, путем измерения того, какие части сенсорной зоны освещены, можно определить положение источника света относительно сенсорного устройства.

Сенсорное устройство может быть, по существу, плоским и, следовательно, может определять вектор нормали, нормальный к плоскости сенсорного устройства.

Сенсорное устройство может представлять собой схему сенсора и может быть выполнено на одной печатной плате или чем-либо подобном. Таким образом, сенсорное устройство может иметь "поле обзора" (FOV), определяемое максимальным углом, под которым источник света может быть расположен к вектору нормали, все еще освещая область сенсорного блока и, следовательно, оставаясь обнаруживаемым. Сенсорное устройство может определять направление, в котором источник света расположен относительно сенсорного устройства.

Каждый сенсорный блок может содержать первую полосу и вторую полосу, по существу, ортогональную первой полоске, при этом маска может быть выполнена так, чтобы источник света освещал области обеих полосок каждого сенсорного блока одновременно. Т.е. каждый сенсорный блок (и соответ-

ствующая сенсорная зона) может иметь по существу L-образную форму, при этом маска может быть выполнена с возможностью одновременного освещения областей каждой линии этой L-образной формы. Сенсорные полосы сенсорных блоков могут непосредственно примыкать друг к другу (например, в углу L-образной формы) или могут слегка отстоять друг от друга. Хотя первая и вторая полосы предпочтительно ориентированы, по существу, ортогонально, они могут располагаться под любым углом друг к другу, например, при условии, что они проходят хотя бы на некоторое расстояние в двух измерениях.

Поскольку каждый сенсорный блок определяет сенсорную область, которая проходит в двух измерениях плоскости, каждый сенсорный блок может действовать для определения ориентации источника света относительно сенсорного устройства и, следовательно, может определять его направление относительно нормали к сенсорному устройству (т.е. полярные координаты источника света в сферической шапке, видимой для сенсорных блоков).

Первая и вторая полосы, предпочтительно, могут иметь, по существу, одинаковую длину, хотя при необходимости они могут иметь разную длину. Ортогональные полосы одинаковой длины могут обеспечивать одинаковое поле обзора в двух измерениях.

Каждая полоска сенсорных блоков может быть одной строкой пикселей или любым другим подходящим светочувствительным механизмом. Таким образом, измеряя, какой пиксель (какие пиксели) освещены на каждой полоске, и определяя их местоположение относительно маски, можно определить направление (т.е. относительное положение) источника света.

Сенсорные блоки могут быть выполнены таким образом, чтобы их пиксели генерировали сигнал, когда их аккумулированный заряд (от падающего света) превышает пороговое значение. Таким образом, сенсорные блоки могут быть "событийно-управляемыми", так что их показания обеспечиваются только при значащей освещенности. Таким образом, можно уменьшить обработку, необходимую для эксплуатации сенсорных блоков.

Сенсорные блоки могут быть смежными друг с другом. Сенсорные блоки могут быть расположены так, чтобы первые полосы каждого сенсорного блока были, по существу, параллельны, и вторые полосы каждого блока были, по существу, параллельны. Первые полосы сенсорных блоков могут быть смежными друг с другом, и вторые полосы могут быть смежными друг с другом. Таким образом, L-образные сенсорные блоки могут быть вложены вместе в компактную конструкцию. По существу, полосы сенсорных блоков могут проходить по двум сторонам квадрата, ограничивая, таким образом, половину этого квадрата. Если сенсорное устройство выполнено на печатной плате, то квадрат, который наполовину ограничен полосками, может быть заполнен другими соответствующими блоками, чтобы сделать сенсорное устройство относительно компактным.

Маска может содержать первую прозрачную прорезь и вторую прозрачную прорезь, по существу ортогональную первой прозрачной прорези. Т.е. прозрачная часть маски может быть L-образной. Первая прозрачная прорезь может быть расположена перпендикулярно первым полоскам сенсорных блоков, а ее середина может располагаться непосредственно над серединами каждой первой полоски. Вторая прорезь может быть расположена перпендикулярно вторым полоскам сенсорных блоков, а ее середина может располагаться непосредственно над серединами каждой второй полоски. Таким образом, маска может быть L-образной, как сенсорные блоки, но повернутой относительно них на  $180^\circ$  (в плоскости сенсорного устройства).

Каждая полоска каждого сенсорного блока может содержать множество пикселей, при этом пиксели каждой полоски могут быть смещены относительно пикселей каждой смежной полоски на расстояние, меньшее ширины каждого пикселя в направлении смещения. Пиксели могут быть смещены на долю ширины пикселя, равную величине, обратной числу сенсорных блоков в сенсорном устройстве. Например, при наличии трех сенсорных блоков пиксели могут быть смещены на одну треть ширины пикселя. За счет такого смещения можно повысить разрешающую способность сенсорного устройства, поскольку каждый сенсорный блок будет обнаруживать источник света в немного другом положении.

Сенсорное устройство может иметь градиентное экранирование для уменьшения интенсивности света, падающего на сенсорные блоки, чтобы противодействовать относительному уменьшению интенсивности света, падающего на сенсорный блок под углом. Уменьшение интенсивности света, падающего под углом, может относиться к уменьшению интенсивности света, падающего непосредственно на сенсорный блок. Маска может быть градуированной, чтобы противодействовать относительному уменьшению интенсивности света, падающего на сенсорный блок под углом. Свет, падающий на сенсорное устройство прямо (т.е. от источника света вдоль вектора нормали), будет передаваться через маску на соответствующие области сенсорных зон сенсорных блоков (например, на середину каждой полоски). Свет, падающий на сенсорное устройство под углом к нормали, будет проходить через маску под углом и падать на область сенсорной зоны под этим углом. Таким образом, его интенсивность будет уменьшена (пропорционально косинусу угла к нормали). Например, свет, падающий под углом  $60^\circ$  к нормали, будет иметь 50% интенсивности света, падающего по нормали, поскольку косинус  $60^\circ$  равен 0,5. Таким образом, прозрачность прозрачной части маски может быть градуированной или градиентной, чтобы она пропускала большую долю света, падающего под углом, чем света, падающего прямо сверху. Следова-

тельно, сенсорные блоки могут получать приблизительно одинаковую интенсивность света независимо от положения источника света.

Градуировка может быть сглаживающей, чтобы маска пропускала больше света через области, удаленные от ее центра, и пропускала меньше света через прозрачный участок маски прямо над сенсорными блоками. Градуировка может быть обратно пропорциональна косинусу угла падения вектора нормали на сенсорное устройство.

Сенсорное устройство может быть выполнено так, чтобы каждый сенсорный блок был частью соответствующего домена питания. Т.е. сенсорное устройство может быть выполнено так, чтобы при эксплуатации каждый сенсорный блок питался от отдельного источника питания, так что отказ какого-либо одного источника питания не повлияет на работу сенсорных блоков в других доменах питания.

Сенсорное устройство может быть микросенсором для спутника и т.п. Оно может быть меньше 1 на 1 см, может быть меньше 5 на 5 мм и может быть меньше 2,5 на 2,5 мм. Сенсорное устройство может быть, по существу, плоским, хотя и иметь достаточную глубину, чтобы маска могла отстоять от сенсорных блоков.

Согласно второму аспекту настоящего изобретения обеспечен сенсорный модуль для определения положения источника света, причем сенсорный модуль содержит: множество сенсорных устройств, раскрытых при рассмотрении первого аспекта изобретения; и множество контроллеров блоков, выполненных с возможностью управления одним сенсорным блоком в каждом из множества сенсорных устройств, при этом каждое сенсорное устройство содержит один из множества контроллеров блоков.

Каждый из контроллеров блоков может функционально отличаться от других и, таким образом, может функционировать полностью независимо от других. Следовательно, число контроллеров блоков может быть таким же, как и сенсорных устройств, причем каждый контроллер блока будет управлять сенсорным блоком в каждом из сенсорных устройств. Следовательно, в каждом сенсорном устройстве может быть то же число сенсорных блоков, что и сенсорных устройств в сенсорном модуле. Каждый контроллер блока может быть выполнен с возможностью управления только одним сенсорным блоком в каждом сенсорном устройстве.

Каждое сенсорное устройство может содержать соответствующий один из контроллеров блоков. Таким образом, контроллер блока каждого сенсорного устройства может быть выполнен с возможностью управления сенсорным блоком, находящимся в том же сенсорном устройстве, что и контроллер блока, и одним сенсорным блоком, находящимся в каждом из других сенсорных устройств. По существу, каждый контроллер блока может быть выполнен с возможностью управления сенсорными блоками, имеющими соответствующие поля обзора, определяемые ориентацией каждого сенсорного устройства. Сенсорные устройства могут быть ориентированы в разных направлениях, чтобы обеспечивать перекрывающиеся и/или комплементарные поля обзора. Таким образом, каждый контроллер блока может иметь поле обзора, включающее в себя поле обзора всех сенсорных устройств.

Сенсорный модуль может иметь поле обзора, охватывающее, по меньшей мере, полную полусферу, и, следовательно, способен определять положение источника света в любом месте этой полусферы (т.е. в любом направлении в этой полусфере). Таким образом, каждый контроллер блока каждого сенсорного устройства сенсорного модуля способен определять положение источника света в любом направлении полной полусферы. Следовательно, множество контроллеров блоков могут обеспечивать резервные средства определения положения источника света в случае, например, отказа одного или более контроллеров блоков.

Сенсорный модуль может быть выполнен так, чтобы каждый контроллер блока принадлежал соответствующему домену питания. Домены питания могут быть отдельными и отличающимися друг от друга, так что отказ одного домена не повлияет на работу других. Каждый домен питания может включать в себя контроллер блока, а также один сенсорный блок того же сенсорного устройства, что и контроллер блока. Домен питания может включать в себя все сенсорные блоки, управляемые контроллером блока.

Сенсорный модуль может содержать множество контроллеров модуля, при этом каждый контроллер модуля может быть выполнен с возможностью управления каждым из множества контроллеров блоков. Т.е. каждый контроллер модуля может управлять всеми контроллерами блоков, при этом число контроллеров модуля может быть тем же, что число контроллеров блоков и сенсорных устройств. Каждый контроллер модуля может функционально отличаться от других контроллеров модуля и, следовательно, может функционировать полностью независимо от них. Сенсорный модуль может быть выполнен так, чтобы только один из контроллеров модуля управлял контроллерами блоков в какой-либо момент времени.

Каждое сенсорное устройство может содержать соответствующий контроллер модуля, причем этот контроллер модуля выполнен с возможностью управления контроллером блока этого же сенсорного устройства, а также контроллерами блоков всех других сенсорных устройств в сенсорном модуле.

Каждый контроллер модуля может быть выполнен с возможностью взаимодействия с контроллером системы, такой как спутниковая система управления и т.п. Модуль может быть выполнен таким образом, чтобы только один контроллер модуля мог взаимодействовать с контроллером системы в какой-либо момент времени.

Сенсорный модуль может быть выполнен так, чтобы резервный контроллер модуля принимал на себя взаимодействие с контроллером системы в случае отказа контроллера модуля, который ранее взаимодействовал с контроллером системы.

Компоновка, раскрытая в настоящем документе, позволяет каждому сенсорному устройству быть идентичным, каждому содержащим множество сенсорных блоков, контроллер блока и контроллер модуля. Таким образом, можно упростить изготовление и конструкцию сенсорного модуля.

В одном из вариантов осуществления сенсорного устройства каждый из сенсорных блоков имеет, по существу, L-образную форму и примыкает друг к другу так, что они ограничивают две стороны квадрата или прямоугольника. Контроллер блока сенсорного устройства и/или контроллер модуля сенсорного устройства, каждый, может быть расположен, по меньшей мере, частично, (а может большей частью или полностью) внутри квадрата или прямоугольника, ограниченного сенсорными блоками. Контроллер блока и/или контроллер модуля могут быть смежными с первой и/или со второй полосками сенсорных блоков и могут быть смежными друг с другом. Таким образом, сенсорное устройство может быть компактным, а занимаемое им пространство можно сделать как можно меньшим.

Сенсорный модуль может содержать основание и три сенсорных устройства, расположенных на соответствующих гранях основания, при этом основание имеет форму, по меньшей мере, части тетраэдра. Основание может иметь форму тетраэдра без верхушки. Тетраэдрическое основание может иметь форму правильного тетраэдра и может поддерживать сенсорные устройства в заданном положении. На четвертой стороне тетраэдрическое основание может быть установлено на поверхности (например, спутника или любого другого подходящего устройства) и может, таким образом, обеспечивать покрытие сенсорным устройством по полусфере над поверхностью за счет расположения сенсорных устройств. Сенсорные устройства могут быть равномерно разнесены по тетраэдрическому основанию, чтобы обеспечить сенсорному модулю поле обзора, включающее в себя, по меньшей мере, всю полусферу над модулем (т.е.  $180^\circ$  по азимуту модуля и  $90^\circ$  по высоте модуля). Модуль может обеспечивать поле обзора больше полусферы. Соответственно, в одном из вариантов осуществления сенсорного модуля каждое из трех сенсорных устройств расположено параллельно плоскости поверхности тетраэдра, причем одно сенсорное устройство на каждой плоскости обращено наружу, если сенсорный модуль установлен на поверхности. В другом варианте осуществления сенсорного модуля каждое из трех сенсорных устройств расположено параллельно плоскости поверхности правильного тетраэдра, при этом, если сенсорный модуль установлен на поверхности, то по одному сенсорному устройству на каждой плоскости обращено наружу.

Альтернативно, для требуемого позиционирования сенсорных устройств сенсорный модуль может иметь основание любой подходящей формы. Например, основанием может быть квадратная пирамида, пятиугольная пирамида и т.д.

За счет такой компоновки каждый контроллер блока может функционировать для обнаружения (по меньшей мере одним сенсорным блоком в соответствующем сенсорном устройстве) источника света в любом положении в пределах полусферы над сенсорным модулем. Каждый контроллер модуля может сравнивать измерения от каждого из контроллеров блоков. Каждый контроллер модуля может быть выполнен с возможностью определения среднего значения измерений положения источника света, а также может быть выполнен с возможностью передачи этого среднего значения в контроллер системы. Каждый контроллер модуля может быть выполнен с возможностью определения положения источника света как среднего положения или как медианного положения. Выбирая медианное положение, можно пренебречь ошибочными или резко отклоняющимися измерениями, и можно повысить надежность сенсорного модуля.

Сенсорный модуль может быть космическим микронзондом и может быть размером менее 100 мм, размером менее 50 мм, а предпочтительно размером менее 25 мм. Сенсорный модуль может быть солнечным сенсором (датчиком) для спутника, ракетного зонда и т.п.

Согласно третьему аспекту настоящего изобретения обеспечена сенсорная система для определения положения источника света, при этом сенсорная система содержит множество сенсорных модулей, раскрытых в настоящем документе при рассмотрении второго аспекта, причем каждый сенсорный модуль выполнен с возможностью иметь другое поле обзора для обнаружения источника света.

Сенсорная система может быть выполнена с возможностью обнаружения источника света в более широком поле обзора, чем может быть доступно с использованием только одного сенсорного модуля. Сенсорные модули сенсорной системы могут быть выполнены с возможностью обнаружения источника света в противоположных направлениях. Сенсорная система может содержать два сенсорных модуля и может содержать только два сенсорных модуля. Два сенсорных модуля могут быть расположены так, чтобы каждый обнаруживал источник света в противоположных полусферах, и поэтому сенсорная система может обеспечивать поле обзора по всей сфере (т.е. поле обзора во всех направлениях), так что положение источника света может быть обнаружено в любом направлении с использованием по меньшей мере одного из сенсорных модулей.

Сенсорная система может содержать контроллер системы, выполненный с возможностью взаимодействия с и/или управления каждым из множества контроллеров модулей. Каждый из множества контроллеров модулей может быть выполнен с возможностью отправки сигнала системному контроллеру.

Согласно четвертому аспекту настоящего изобретения обеспечен спутник, содержащий сенсорную систему, раскрытую в настоящем документе при рассмотрении третьего аспекта изобретения, и/или содержащий сенсорный модуль, раскрытый в настоящем документе при рассмотрении второго аспекта настоящего изобретения, и/или содержащий сенсорное устройство, раскрытое в настоящем документе при рассмотрении первого аспекта настоящего изобретения.

Согласно пятому аспекту настоящего изобретения обеспечен способ определения положения источника света с использованием сенсорного устройства, раскрытого при рассмотрении первого аспекта, или с использованием сенсорного модуля, раскрытого при рассмотрении второго аспекта, включающий в себя: определение положения источника света как среднего из положений, определенных сенсорными блоками.

Способ может включать в себя определение среднего как среднего значения положений, или может включать в себя определение среднего как медианного значения положений. Используя медианное значение, можно уменьшить ошибки, искажающие результаты измерений.

Способ может включать в себя: (i) считывание цифровых выходных пиксельных значений с одного из сенсорных блоков; (ii) установка в 1 любых пиксельных значений, соседних с пиксельными значениями, составляющими 1; (iii) установка в 0 любых пиксельных значений, соседних со значением 0; (iv) повторение шага (iii) до тех пор, пока выполнение шага (iii) еще один раз не приведет к тому, что все пиксельные значения сенсорного блока будут установлены в 0; и (v) определение положения источника света с использованием оставшегося ненулевого пикселя или пикселей. Способ может содержать на шаге (ii) установку в 1 любых пиксельных значений, окруженных (т.е. соседствующих с обеих сторон) с пиксельными значениями, составляющими 1.

Оставшийся ненулевой пиксель или пиксели будут рассматриваться как освещенная область сенсорного блока. Если оставшийся ненулевой пиксель представляет собой единственный пиксель, то этот пиксель может быть принят в качестве измеренного положения освещенности от источника света. Если ненулевым остается множество пикселей, то измеренное положение освещенности от источника света может быть принято как среднее положение этих пикселей.

Способ может включать в себя применение сенсорной системы, раскрытой в настоящем документе при рассмотрении третьего аспекта, или спутника, раскрытого в настоящем документе при рассмотрении четвертого аспекта.

Согласно шестому аспекту настоящего изобретения обеспечен способ определения положения источника света с использованием сенсорного устройства, раскрытого при рассмотрении первого аспекта, или с использованием сенсорного модуля, раскрытого при рассмотрении второго аспекта, включающий в себя: (i) считывание цифровых выходных пиксельных значений с одного из сенсорных блоков; (ii) установка в 1 любых пиксельных значений пикселей, соседних с пиксельными значениями, составляющими 1; (iii) установка в 0 любых пиксельных значений, соседних со значением 0; (iv) повторение шага (iii) до тех пор, пока выполнение шага (iii) еще один раз не приведет к тому, что все пиксельные значения сенсорного блока будут установлены в 0; и (v) определение положения источника света с использованием оставшегося ненулевого пикселя или пикселей.

Способ может включать в себя повторение шага (ii) множество раз. Шаг (ii) может быть функцией "ИЛИ", которая устраняет пиксели типа "константный 0", и может выполняться в один или два шага. Шаг (iii) может быть функцией "И" и может исключать пиксели типа "константная 1", а также может находить световой центр тяжести (аналогичный, например, центру масс объекта). Способ может содержать на шаге (ii) установку в 1 любых пиксельных значений, окруженных (т.е. соседствующих с обеих сторон) пиксельными значениями, составляющими 1.

Такой способ можно использовать для определения с помощью сенсорного блока центра освещенной области, тем самым упрощая измерение положения источника света. Таким образом, способ может упростить логику, необходимую для определения положения источника света, и может снизить динамическое энергопотребление сенсорного модуля.

Способ может включать в себя применение сенсорной системы, раскрытой в настоящем документе при рассмотрении третьего аспекта, или спутника, раскрытого в настоящем документе при рассмотрении четвертого аспекта. Способ может включать в себя определение положения источника света, раскрытое в настоящем документе при рассмотрении пятого аспекта.

#### **Перечень чертежей**

Некоторые предпочтительные варианты осуществления изобретения будут раскрыты ниже только в качестве примера и со ссылкой на прилагаемые чертежи, на которых:

- на фиг. 1 показан пример сенсорного устройства, содержащего единственный сенсорный блок;
- на фиг. 2 показан пример сенсорного устройства, содержащего множество сенсорных блоков;
- на фиг. 3А показано, как положение источника света может быть измерено сенсорным блоком;
- на фиг. 3В показан пример источника света, освещающего сенсорный блок под углом  $\alpha$ ;
- на фиг. 4 показан сенсорный модуль, содержащий множество сенсорных устройств;
- на фиг. 5 показана примерная компоновка сенсорного устройства;
- на фиг. 6 показана схема доменов сигнала и питания для трех сенсорных устройств сенсорного модуля;

на фиг. 7 показана схема иерархии доменов сигнала и питания для сенсорного модуля, содержащего контроллеры блоков и контроллеры модуля;

на фиг. 8 показан пример расположения пикселей в сенсорных блоках сенсорного устройства.

на фиг. 9 показано изменение интенсивности света, падающего на сенсорный блок под разными углами;

на фиг. 10 показаны пиксельные значения в соответствии с шагами способа цифровой обработки сигнала;

на фиг. 11 показаны данные на модульной шине между доменами сенсорного модуля;

на фиг. 12 показан пример интенсивности света на сенсорном блоке;

на фиг. 13 показаны пиксельные значения в соответствии со способом распределенной цифровой обработки сигналов;

на фиг. 14 показаны пиксельные значения согласно модифицированному способу распределенной цифровой обработки сигналов;

на фиг. 15 показана схема сенсорного модуля, включающего в себя домены сигнала и питания для трех содержащихся в нем сенсорных устройств;

на фиг. 16 показана схематическая иерархия управления для сенсорного модуля, содержащего три сенсорных устройства; и

на фиг. 17 показана схематическая иерархия управления для сенсорной системы, содержащей множество сенсорных модулей.

### **Подробное раскрытие изобретения**

На фиг. 2 показана сенсорная схема 100 (также называемая сенсорным устройством или сенсорным элементом) согласно настоящему раскрытию, содержащая множество сенсорных блоков 110, которые выполнены с возможностью работать независимо. Сенсорная схема 100 содержит маску 120, содержащую прозрачный участок 122 и непрозрачный участок 124. Прозрачный участок 122 и непрозрачный участок 124 позволяют свету освещать конкретные различные области сенсорных блоков 110 в зависимости от ориентации источника света по отношению к сенсорной схеме 100. Таким образом, положение источника света (или его направление относительно сенсорного устройства 100) может быть определено путем измерения того, какие области сенсорных блоков 110 освещены.

Какой-либо отказ одного L-образного сенсора 110 не повлияет на другие, поскольку каждый из них может функционировать независимо и может принадлежать соответствующим отдельным доменам сигнала и питания. Соответственно, надежность сенсорной схемы 100 может быть повышена без увеличения поверхности, необходимой для сенсорной схемы 100 (и, следовательно, без увеличения ее размера). Когда несколько сенсорных блоков 110 работают вместе, они также могут повысить разрешающую способность сенсорного устройства 100.

Каждый сенсорный блок 110 содержит первую полосу 112 и вторую полосу 114, расположенную перпендикулярно первой полоске 112. Таким образом, первая и вторая полоски 112, 114 проходят в двух измерениях в плоскости сенсорного устройства 100, обеспечивая двумерное измерение положения источника света. Прозрачный участок 122 маски 120 содержит первую прозрачную прорезь 126 и вторую прозрачную прорезь 128. Первая прозрачная прорезь 126 расположена перпендикулярно первым полоскам 112 каждого из сенсорных блоков 110, а вторая прозрачная прорезь 128 расположена перпендикулярно вторым полоскам 114 каждого из сенсорных блоков 110. Таким образом, прозрачный участок 122 маски 120 имеет L-образную форму, аналогичную форме сенсорных блоков 110, хотя и повернутую в плоскости сенсорного устройства на 180° относительно сенсорных блоков 110.

Первая прозрачная прорезь 126 расположена над (например, прямо над) центрами первых полосок 112 сенсорных блоков 110. Следовательно, перемещение источника света в направлении, определяемом первыми полосками 112, вызовет перемещение тени от маски 120, и, следовательно, света, проходящего через первую прорезь 126. Таким образом, свет, падающий на первые полоски 112 через первую прорезь 126, будет перемещаться в противоположном направлении по первым полоскам 112. Аналогично, перемещение источника света в направлении, определяемом вторыми полосками 114, вызовет перемещение света, проходящего через вторую прорезь 128, в противоположном направлении по вторым полоскам 114.

На фиг. 3А показаны местоположения освещенных областей на сенсорном блоке 110 в зависимости от положения источника света относительно сенсорного устройства 100. Координаты даны в произвольных единицах по осям X и Y, и для простоты показан только один сенсорный блок 110. Когда источник света находится прямо над сенсорным устройством 100 (т.е. в направлении вектора нормали от поверхности сенсорного устройства), первая прозрачная прорезь 126 прозрачного участка 122 маски 120 создаст первую освещенную область 127 на первой полоске 112 сенсорного блока 110 прямо под первой прорезью 126. Вторая прорезь 128 маски 120 создаст вторую освещенную область 129 на второй полоске 114 сенсорного блока 110 прямо под второй прорезью 128. Эта ситуация показана в центре фиг. 3 для координаты (0,0).

Если источник света перемещается от нормали только в направлении X, к координате (1,0), то вторая освещенная область 129 будет перемещаться в противоположном направлении X, тогда как первая

освещенная область 127 останется в том же месте на первой полоске 112 сенсорного блока 110. Если вместо этого источник света перемещается к координате  $(-1, -1)$ , то и первая, и вторая освещенные области 127, 129 будут перемещаться на сенсорном блоке 110, как показано. Различное положение источника света будет вызывать освещение разных областей сенсорного блока 110. Таким образом, положение источника света относительно сенсорного устройства 100 может быть определено на основании того, какие области сенсорного блока 110 освещены.

На фиг. 3В показан источник света, расположенный под углом  $\alpha$  от нормали к плоскому сенсорному устройству 100. Угол  $\alpha$  света и расстояние  $d$  между маской 120 и сенсорным элементом 110 определяют, где свет попадает на сенсорный блок 110. Поле обзора сенсорного устройства зависит от отношения  $L/d$ , где  $L$  - длина сенсорного блока в соответствующем направлении. Высокое отношение  $L/d$  дает большое поле обзора. В изображенном на фиг. 3В варианте реализации ширина ( $W$ ) прозрачной прорези составляет 50 мкм, толщина ( $h$ ) маски 120 составляет 100 нм, расстояние ( $d$ ) между маской 120 и сенсорным блоком 110 составляет 356 мкм, длина ( $L$ ) сенсорного блока составляет 2256 мкм, а пиксельный шаг - 11,75 мкм. Полоска сенсорного блока 100 содержит 192 пикселя, равномерно распределенных по ее длине, составляющей 2256 мкм.

Сенсорные блоки 110 расположены рядом друг с другом так, что первые полоски 112 являются параллельными и смежными, и вторые полоски 114 являются параллельными и смежными. Благодаря расположению множества сенсорных блоков 110 на сенсорном устройстве можно получать множество измерений положения источника света с использованием одной маски 120 и без значительного увеличения размера сенсорного устройства 100. Следовательно, сенсорное устройство 100 обеспечивает резервирование в отношении измерений положения источника света.

На фиг. 4 показан сенсорный модуль 200, содержащий три сенсорных элемента 100 (т.е. сенсорные устройства 100 или сенсорные схемы 100); при этом каждый из сенсорных элементов 100 расположен параллельно соответствующим плоскостям поверхности тетраэдра 210, по одному на каждой плоскости, обращенному наружу, если сенсорный модуль 200 установлен на поверхности. Это обеспечивает полное поле обзора (FOV) полусферы с помощью всего трех сенсорных элементов 100, занимая минимальный объем. Такая компоновка также обеспечивает перекрытие FOV, способствуя повышенному разрешению.

Настоящим изобретением также обеспечивается сенсорный модуль 200, который улучшен в отношении нескольких других технических результатов. Например, считывание пикселей может быть событийно-управляемым. После общего сброса пиксели генерируют сигнал события, когда их аккумулярованный заряд (от света) превышает пороговое значение. Это требует небольшой вычислительной мощности. Таким образом, в зависимости от количества сенсорных блоков 110 каждый сенсорный элемент 100 может содержать процессорные блоки 130. На фиг. 5 показан сенсорный элемент 100, содержащий процессорный блок 130, выполненный с возможностью управления сенсорными блоками 110 (т.е. контроллер 130 блоков). Контроллер 130 блока выполнен с возможностью управления одним сенсорным блоком 110 этого же сенсорного элемента 100. Контроллер 130 блока дополнительно выполнен с возможностью управления сенсорными блоками 110 из других сенсорных элементов 100 сенсорного модуля 200.

На фиг. 6 показан пример компоновки сенсорных элементов 100а, 100б, 100с. Контроллеры 130а-с блоков на каждом сенсорном элементе 100а-с принадлежат к разным доменам питания и сигнала и предназначены для управления соответствующими сенсорными блоками 110а-с, одним сенсорным блоком 110а-с на каждом сенсорном элементе 100а-с. Таким образом, каждый контроллер 130 блока может определять положение источника света с помощью любого из сенсорных элементов 100. Каждый сенсорный элемент 100а, 100б, 100с может содержать соответствующий контроллер (140а, 140б, 140с) модуля, как показано на фиг. 5.

Как показано на фиг. 6, благодаря расположению контроллера 130 блока и/или контроллера 140 модуля внутри квадрата, ограниченного L-образными сенсорными блоками 110, каждое сенсорное устройство 100 (т.е. сенсорный элемент 100) может быть компактно выполнено так, чтобы занимать как можно меньше места, и, следовательно, каждое сенсорное устройство и, следовательно, сенсорный модуль и сенсорная система могут быть как можно меньше.

Настоящее изобретение может содержать иерархическую организацию сенсорных элементов 100 и сенсорных блоков 110, которая обеспечивает устойчивую и надежную работу сенсорного модуля 200. На фиг. 7 показана схема иерархической компоновки доменов сигнала и питания сенсорного модуля 200. Сенсорный модуль содержит три отдельных домена, по одному для каждого из контроллеров 130 блоков. Каждый сенсорный элемент 100 содержит контроллер 140 модуля (например, мастер 140 модуля), действующий для управления всем сенсорным модулем 200 (см., например, фиг. 5). Каждый контроллер 140 модуля выполнен с возможностью управления всеми контроллерами 130 блоков (например, мастерами 130 доменов) и может быть подключен к каждому из доменов питания. Каждый контроллер 130 блока выполнен с возможностью управления одним (и только одним) сенсорным блоком 110 в каждом из сенсорных элементов 100.

Следовательно, каждый контроллер 130 блока независимо управляет множеством сенсорных бло-

ков 110, чтобы определять положение источника света. Соответствующие домены контроллеров 130 блоков также получают питание независимо. Каждый контроллер 140 модуля управляет всеми контроллерами 130 блоков и, следовательно, может быть выполнен с возможностью сравнения измеренных положений от всех из них и выполнения окончательного определения положения источника света. Каждый контроллер модуля может быть дополнительно выполнен с возможностью отправки сигнала, указывающего положение источника света, контроллеру системы. Сенсорный модуль 200 может быть выполнен так, чтобы в любой момент времени только один контроллер 140 модуля управлял контроллерами 130 блоков.

В дополнение к работе в различных доменах сигналов, контроллеры 130 блоков (вместе с их соответствующими множествами сенсорных блоков 110), каждый, имеет отдельные домены питания. Т.е. каждый контроллер 130 блока функционирует полностью независимо от других, и если какой-либо из них пострадает от отказа своего соответствующего источника питания, другие, тем не менее, продолжают функционировать. По существу, сенсорный модуль 200 обеспечивает резервирование в случае, если на какой-либо из доменов питания повлияет сбой питания. Каждый контроллер 140 модуля может принадлежать к одному домену питания (например, тому же, что и контроллер 130 блока этого же сенсорного устройства 100) или может принадлежать к каждому из доменов питания. Такая компоновка означает, что сенсорный модуль 200 обеспечивает резервирование не только с точки зрения измерения положения источника света, но также с точки зрения сбоев питания в любом из доменов и/или сенсорных устройств 100.

На фиг. 8 показаны в увеличенном масштабе первые полосы 112 сенсорных блоков 110 каждого сенсорного устройства. Каждая полоска содержит множество пикселей 115, расположенных в линию. Пиксели 115 каждой полосы 112 смещены относительно пикселей соседних полосок 112. Такая компоновка может обеспечить повышенное разрешение сенсорного устройства 100. Каждая из изображенных линий пикселей 115 показывает часть полосок 112 сенсорного блока 110. Пиксели 115 каждой полосы 112 сдвинуты на  $1/3$  пиксельного шага относительно друг друга. За счет объединения информации от всех доменов, разрешающую способность сенсорного устройства 110 можно повысить на  $1/3$  от того, что каждый домен может обеспечить отдельно.

Сенсорные элементы 100 могут содержать градиентное экранирование пикселей. Такое экранирование может противодействовать снижению интенсивности, вызванному падением света на сенсорные блоки под углом к вектору нормали. На фиг. 9А показан пример изменения интенсивности первой освещенной области 127 при изменении угла. В первой освещенной области освещены пиксели 115 сенсорного блока 110. Число освещенных пикселей 115 будет одинаковым для света, попадающего в центр и на периферию. Однако на периферии интенсивность света будет меньше (максимум, умноженный на  $\cos(\alpha)$ ). Разрешение (градусы/пиксели) на периферии выше, чем в центре.

На фиг. 9В показано распределение уровня сигнала в зависимости от угла источника света относительно нормали. Также для справки показано максимальное альbedo Земли и максимальное альbedo Луны. На фиг. 9В также показано, что когда источник света находится под углом  $60^\circ$ , уровень сигнала составляет 50% от уровня сигнала, когда источник света находится под углом  $0^\circ$ .

Таким образом, градиентное экранирование пикселей можно использовать для требуемого уменьшения интенсивности падающего света, чтобы выровнять уровень сигнала по углам падения. Например, 50% поверхности центральных пикселей может быть в определенном порядке покрыто металлом. По мере увеличения угла можно использовать уменьшение покрытия, чтобы по краям сенсорного блока не требовалось экранирования. Экранирование может быть расположено требуемым образом внутри сенсорного устройства для требуемого предотвращения попадания света на пиксели. Например, экранирование может быть включено в маску 120.

В сенсорном модуле может использоваться распределенная цифровая обработка сигналов для повышения эффективности работы и снижения энергопотребления. На фиг. 10 показаны сигналы от сенсорной полосы в соответствии с последовательными шагами примерного способа распределенной обработки сигналов. В момент времени  $t_0$  каждый пиксель 115 либо зарегистрировал (1) событие, либо нет (0). На первом шаге любые пиксели 115, установленные в 0, которые окружены пикселями, установленными в 1, устанавливаются в 1. Это устраняет несоответствующие пиксели из сигнала. Результат показан в момент  $t_1$  на фиг. 10. На следующем шаге любые пиксели со значением 1, с которыми соседствуют пиксели со значением 0, устанавливаются в 0 (см.  $t_2$ ). Это повторяется до тех пор, пока повторение этого еще раз не приведет к тому, что все пиксели будут установлены в 0 (см. шаги  $t_3$ ,  $t_4$  и  $t_5$ ).

Этот процесс требует минимальной вычислительной мощности и определяет центр освещенной области (аналогично центру тяжести массы), который может использоваться для определения местоположения источника света.

На фиг. 15 показана схема сенсорного модуля 200, содержащего три сенсорных устройства 100a, 100b, 100c. Компоновка аналогична компоновке по фиг. 6, при этом для каждого сенсорного устройства 100a, 100b, 100c соответственно показаны контроллеры 130a, 130b, 130c блоков и контроллеры 140a, 140b, 140c модуля. Компоновка и иерархия управления являются такими же, как у сенсорного модуля по фиг. 6.

Домены сигнала и домены питания для сенсорного модуля 200 на фиг. 15 обозначены цветом или штриховкой. Контроллер 130а блока первого сенсорного устройства 100а находится в том же домене сигнала, что и сенсорный блок 110а на этом же сенсорном устройстве 100а. Домен сигнала содержит один сенсорный блок 110а каждого из трех сенсорных устройств 100а, 100b, 100с. Таким образом, каждый сенсорный блок 110а выполнен с возможностью отправки сигналов контроллеру 130а блока. Каждый контроллер 140 модуля может обнаруживать источник света посредством любого из трех доменов сигнала, управляемых контроллерами блоков (т.е. мастерами доменов) 130а, 130b и 130с. При сбое в каком-либо домене сигналов, два других будут доступны в качестве резервных, так что сенсорный модуль 200 может продолжать работать. Только один контроллер модуля (например, контроллер 140а модуля) будет выполнять роль мастера, управляющего сенсорным модулем 200 в какой-либо момент времени. Два других контроллера модуля (например, контроллеры 140b и 140с модуля) могут находиться в спящем режиме (например, быть готовыми принять управление от первого контроллера 140а модуля в случае неисправности) или могут работать параллельно, проверяя контроллер модуля (например, контроллер 140а модуля), играющий роль мастера. Если оба других контроллера модуля (например, контроллеры 140b и 140с) не согласны с ролью мастера модуля (например, контроллера 140а модуля), то тогда они могут передать роль мастера одному из других.

Контроллер 140а модуля первого сенсорного устройства 100а находится в том же домене питания, что и контроллер 130а блока первого (этого же) сенсорного устройства 100а, и сенсорные блоки 110а (т.е. сенсорные элементы 110а) этого же сенсорного устройства 100а и двух других сенсорных устройств 100b и 100с. Контроллер 140b модуля, контроллер 130b блока и сенсорные блоки 110b аналогичным образом находятся в том же домене питания, что каждый другой. То же самое относится к контроллеру 140с модуля, контроллеру 130с блока и сенсорным блокам 110с. Каждый домен питания является отдельным и независимым от других.

В компоновке, показанной на фиг. 15, каждый домен питания содержит те же компоненты, что и домен сигнала, плюс контроллер модуля на том же сенсорном устройстве, что и контроллер блока из домена сигнала. Каждый домен питания питается от отдельного, независимого источника питания, так что, если при эксплуатации произойдет сбой в каком-либо одном домене питания (например, отказ источника питания), то сенсорный модуль 200 имеет дополнительные доступные домены питания и может продолжить работу. Таким образом, сенсорный модуль 200 имеет тройное резервирование в этом отношении.

На фиг. 16 схематически показана иерархия сигналов и питания для сенсорного блока 200. Компоновка на фиг. 16 такая же, как на фиг. 7, и дополнительно показано каждое сенсорное устройство 100а, 100b, 100с. Каждое сенсорное устройство 100 является физическим блоком (например, схемным устройством и т.п.) и связано (например, логически и/или функционально) с другими сенсорными устройствами 100 в сенсорном модуле 200 в показанной иерархии сигналов и питания. Домен 150 питания контроллера 130а блока первого сенсорного устройства 100а показан пунктирным контуром. В этом случае домен 150 питания включает в себя один сенсорный блок 110а на каждом сенсорном устройстве 100а-с, а также контроллер 130а блока и контроллер 140а модуля. Таким образом, каждый домен питания и сигнала включает в себя сенсорные блоки 110 из каждого сенсорного устройства 100. В то время как сенсорные устройства 100 являются материальными компонентами, домены представляют собой логические (например, функциональные и/или электрические) группирования субкомпонентов сенсорных устройств 100.

В сенсорном модуле 200, показанном на фиг. 16, контроллер 140а модуля первого сенсорного устройства 100а управляет всем сенсорным модулем 200, так что каждый из контроллеров 130а, 130b, 130с блоков является управляемым им и посылает ему сигналы. Кроме того, через каждый из контроллеров 130а-с блоков все сенсорные 110а-с блоки на каждом из сенсорных устройств 100а-с управляются первым контроллером 140а модуля и отправляют ему сигналы.

Сенсорный модуль 200 содержит три домена питания, показанные цветом или штриховкой соответствующих компонентов или их контуров. Компоненты одинакового цвета или с одинаковой штриховкой принадлежат к одному домену питания и, следовательно, питаются от одного источника питания. Три домена питания сенсорного модуля 200 являются отдельными и независимыми. Сенсорные блоки 110а каждого сенсорного устройства 100а-с находятся в том же домене 150 питания (т.е. имеют тот же источник питания), что и первый контроллер 140а модуля и первый контроллер 130а блока. Другие сенсорные блоки 110, контроллеры 130 блоков и контроллеры 140 модуля других сенсорных устройств 100 имеют такую же компоновку.

На случай, если первый контроллер 140а модуля выйдет из строя, второй контроллер 140b модуля выполнен с возможностью взять на себя управление сенсорным модулем 200. Если второй контроллер 140b модуля выйдет из строя, то третий контроллер 140с модуля способен взять на себя управление сенсорным модулем 200. Таким образом, сенсорный модуль 200 имеет тройное резервирование в этом отношении.

Следует понимать, что термин "сенсорное устройство" используется здесь взаимозаменяемо с терминами "сенсорный элемент" и "сенсорная схема". Термин "контроллер блока" используется взаимоза-

меняемо с термином "мастер домена", а термин "контроллер модуля" используется взаимозаменяемо с термином "мастер модуля".

На фиг. 17 показана сенсорная система 300, содержащая только два сенсорных модуля 200a, 200b. Каждый из сенсорных модулей 200a, 200b аналогичен сенсорному модулю 200 на фиг. 16. Однако в первом сенсорном устройстве 100a второго сенсорного модуля 200b домен 160 сигналов не включает в себя первый контроллер 140a модуля. Домены питания каждого сенсорного модуля 200a, 200b обозначены цветом или штриховкой компонентов, так что компоненты одинакового цвета или с одинаковой штриховкой принадлежат к одному домену питания и, следовательно, получают питание от отдельных независимых источников питания.

Первым сенсорным модулем 200a в этом примере управляет первый контроллер 140a модуля, который является крайним правым на фиг. 17. Вторым сенсорным модулем 200b управляет первый контроллер 140a модуля, который является центральным на фиг. 17. Другие контроллеры 140b, 140c модуля каждого сенсорного модуля 200a, 200b могут управлять своими соответствующими сенсорными модулями 200a, 200b в случае неисправности или отказа первого контроллера 140a модуля.

На фиг. 17 показан домен 160 сигнала для контроллера 130a блока сенсорного модуля 200b. Все остальные контроллеры 130 блоков имеют аналогичный домен сигнала. Все контроллеры 140 модуля в одном модуле 200 имеют доступ ко всем доменам 160 сигнала через контроллеры 130 блоков.

Сенсорная система 300 содержит два сенсорных модуля 200, каждый с полем обзора, покрывающим полусферу или более. Сенсорные модули 200 могут быть выполнены с возможностью видеть противоположные полусферы, так что сенсорная система 300 может использоваться для обнаружения положения источника света по всей сфере (т.е. в любом направлении). Следовательно, можно использовать всего шесть сенсорных устройств 100 для обеспечения возможности обнаружения источника света по всем направлениям, обеспечивая при этом точность обнаружения и функциональное резервирование. Каждый сенсорный модуль 200 имеет множество резервов для обнаружения сигнала и подачи питания в очень компактном исполнении. Кроме того, наличие множества сенсорных блоков 110 в одном сенсорном устройстве 100 не только обеспечивает резервирование, но может использоваться, например, также для увеличения разрешения (например, путем смещения пикселей 115 соседних полосок 112 сенсорных блоков 110, как раскрывается при рассмотрении фиг. 8).

### Примеры

Ниже приводится список используемых здесь терминов.

Сенсорная линия/полоска: одномерная линия светочувствительных пиксельных сенсоров, реализованная на интегральной схеме CMOS (комплементарная структура металл-оксид-полупроводник).

Сенсорный блок (или L-образный сенсор): две сенсорные линии, ортогонально ориентированные в виде буквы "L". Сенсорный блок может определять положение освещающего объекта в двух измерениях.

Маска/прорезной экран: над сенсорным блоком находится экран с L-образным прозрачным отверстием, ориентированным на 180° относительно сенсорного блока.

Домен: домен - это функциональная область, разделяющая сигнал и питание. Различные домены полностью независимы, и даже фатальные замыкания в блоке питания в одном домене не повлияют на другие. Домен может распространяться на несколько физических устройств, и одно физическое устройство может иметь несколько доменов.

Сенсорное/сенсорный/сенсорная устройство/элемент/схема/ASIC (специализированная интегральная схема): физическая интегральная схема, на которой размещается один или более сенсорных блоков из одного или более доменов.

Детекторный/сенсорный модуль: модуль, содержащий сенсорные схемы, другие компоненты, основание, шасси, корпус и т.д. для измерения полусферы.

Детекторная система: в зависимости от применения детекторная система может содержать один или более детекторных модулей. В случае спутника это могут быть два детекторных модуля, ориентированных в противоположных направлениях.

Оси X, Y и Z: оси X, Y и Z являются локальными ориентирами для каждой сенсорной схемы.

$\phi$  (фи) и  $\theta$  (тета): полярные координаты в детекторном модуле,  $\phi$  находится в диапазоне от 0 до 360° и в направлении X (со смещением 120°), а  $\theta$  находится в диапазоне от 0 до 90° и в направлении Y.

Обработка событий: каждое устройство инициирует флажковый сигнал ("отмашку") на совместно используемой линии, когда возникает определенная ситуация. Это отличается от "опроса", когда центральный блок запрашивает все элементы один за другим по очереди.

Известный сенсор состоит из одной сенсорной схемы с одним сенсорным блоком. Он был разработан для ракетных зондов и его функционирование и характеристики были подтверждены в лаборатории. Известная версия не имеет резервирования. Отсутствуют какие-либо радиационные требования, и поэтому он не был разработан для этого. Он имеет угол обзора 144° как по оси X, так и по оси Y. Требуется некоторая внешняя электроника для генерирования управляющих сигналов и т.д. Известная версия раскрыта у Faigán и др.

Сенсор согласно настоящему изобретению может содержать три одинаковые сенсорные схемы в

конструкции четырехугольной пирамиды. Он может быть разработан для более широкого диапазона применений - от спутников на геостационарных орбитах до солнечных панелей и оконных жалюзи, используемых на Земле. Такие варианты осуществления настоящего изобретения могут обеспечивать тройное резервирование и, таким образом, могут быть разработаны с учетом высокой радиационной стойкости. У него может быть угол обзора, значительно превышающий  $180^\circ$  (т.е. полусферу). Может потребоваться минимум внешних компонентов.

L-образный сенсор показан на фиг. 1 и состоит из двух ортогонально ориентированных рядов сенсоров, расположенных вдоль двух краев микросхемы ASIC размером  $2,5 \times 2,5$  мм, реализованной в процессе  $0,35$  мкм CMOS Opto от компании AMS. Считывание пикселей может быть событийно-управляемым. После общего сброса пиксели генерируют сигнал события, когда их аккумулярованный заряд (от света) превышает пороговое значение. Таким образом, время от сброса до события представляет собой интенсивность света. Число событий, которые могут быть считаны, является программируемым.

Поскольку единственным аналоговым элементом является сравнение пиксельного сигнала с общим пороговым значением внутри каждого пикселя, аналоговая часть поддерживается на абсолютном минимуме. Таким образом, отсутствует необходимость в аналогово-цифровых преобразователях или аналоговых блоках, которые могут быть чувствительными к излучению или шуму. Это упрощает конструкцию и повышает надежность. Устройство поддерживает довольно высокую скорость измерения. Если требуется лучшее разрешение и скорость недостаточно высока, то общий пороговый уровень может быть уменьшен. Это дает больше событий за период времени и больше данных для уменьшения стандартного отклонения.

Как показано на фиг. 1, сенсорная схема (самый большой красный квадрат) содержит две ортогонально ориентированные линии сенсоров (сплошные красные). Это закрыто непрозрачным прорезным экраном с двумя прозрачными прорезями (сплошные желтые) L-образной формы, ориентированными на  $180^\circ$  относительно сенсоров.

Сенсор и прорезь расположены таким образом, чтобы точки пересечения каждой из них находились в центре другой, когда Солнце перпендикулярно плоскости сенсора.

Интегральная схема (сенсор) имеет размер  $2,5 \times 2,5$  мм. Размер в упаковке составляет  $9,5 \times 9,5$  мм.

Как показано на фиг. 3B, угол падения солнечного света и расстояние между прорезным экраном и сенсорным элементом (d) определяют, где свет попадает на сенсор. Поле обзора зависит от отношения  $L/d$ , где высокое значение  $L/d$  дает большое поле обзора. В представленном варианте реализации  $W=50$  мкм,  $h=100$  нм,  $d=356$  мкм,  $L=2256$  мкм, пиксельный шаг= $11,75$  мкм, при этом по  $2256$  мкм равномерно распределены 192 пикселя.

Как показано на фиг. 9A, число освещаемых пикселей будет одинаковым для света, падающего по центру и на периферию. Однако на периферии интенсивность света будет меньше (максимальное значение, умноженное на  $\cos(\alpha)$ ). Разрешение (градусы/пиксели) на периферии намного выше, чем в центре.

На фиг. 3A показано, как Солнце будет падать на сенсорный элемент в зависимости от положения Солнца. Отметим, что максимальный угол  $\alpha$  к вектору нормали находится в обоих направлениях X и Y. Следовательно, покрываемые углы составляют  $\alpha\sqrt{2}$  к вектору нормали. По осям X и Y поле обзора (FOV) составляет  $2\alpha$ , а по диагоналям поле обзора составляет  $\alpha 2\sqrt{2}$ .

В следующей таблице сравниваются требования AO8884 с L-образным сенсором. Поле обзора (FOV) зависит от расстояния между сенсором и прорезью. При имеющемся расстоянии ( $d=356$  мкм) FOV составляет  $144^\circ$ , но точность не удовлетворяет требованию точности  $1^\circ$ . Однако в трехмерной конструкции с тремя сенсорами каждый сенсор должен покрывать только  $120^\circ$ . Если расстояние адаптировано к этому ( $d=651$  мкм), то аппаратная точность схемы составляет  $1,03^\circ$ . Число пикселей может быть увеличено со 192 до 256, а пиксельная точность пикселей будет составлять  $1,0^\circ$ . Точность еще больше повысится за счет интерполяции и смещения дублирующих сенсорных линий.

Технические данные AO8884			L-образный сенсор	
Области	Требования	Технические данные	L-образный сенсор	L-образный сенсор, адаптированный к FOV= $120^\circ$ ( $d=651$ мкм)
Стоимость		400000 евро	Имеющаяся версия ( $d=356$ мкм)	
TRL		5		
Функционал	Выдаваемые данные	Направление Солнца в кадре SC	Направление Солнца как пиксельные координаты XY самых ярких ячеек	
Производительность (по полной)	Угловая точность (включая устойчивость к	-По полному FOV ( $180^\circ$ ): $5^\circ$ ( $3\sigma$ )	Запас 0,9% (=30,9%-30,0%)	Запас 20% (=50,0%-30,0%)

## 040950

тепловой и динамической среде)	солнечным вспышкам, SEU, альbedo и рассеянному свету)	-Точное FOV (60°): 1° (3σ) (цель 0,5°)		>60°: 0,26°-0,76° <60°: 0,76°-1,03°
	Полный угол поля обзора	-полное FOV: Полусфера (180°) -Точное FOV: +/- 30° (60°)	144°	120°
Интерфейсы	Масса всей системы	400г	0,3гр*	
	Размеры сенсора (без электроники)	120 x 120 x 60 мм	2,5x2,5мм2*	
	Размеры электроники (если ссылаются)	100 x 100 x 50 мм		
	Среднее энергопотребление	2Вт	6,3мкВт*	
	Термическая аккомодация	2Вт	6,3мкВт*	
	Подаваемое напряжение	5В регулируемое ИЛИ (12В ИЛИ 28В ИЛИ 50В) нерегулируемое	3,3В регулируемое	
	Интерфейс данных	Цифровой: тип TBD (подлежит уточнению)	Цифровой	
Конструкция и РА	Резервирование	Внутреннее	Нет (большой потенциал)	
	Срок службы	15 лет на GEO	Предварительные испытания + 1 час в полете ракеты	
	Тепловые циклы	7000	Неизвестно	
	Надежность	100FIT @30°C	Неизвестно	
	Радиация	Электронные компоненты: 100 крд	Возможно, по меньшей мере, стандартные COTS (50-70крд)	
		Оптика: 300крд Детектор (при наличии): 1Мрд Устойчивый к SEU		
	Отсутствие ITAR - компонентов	Без ITAR	Без ITAR	
Условия эксплуатации	Динамика	Угловая скорость: +/-100°/s, т.е. 100S/сек	11300S/сек (вращающаяся ракета)	
	Температура	Хранения и рабочая_ от -40 до +75°C Расширение для подключения солнечных батарей: от -80 до +100°C (TBC)	Неизвестно, но возможно минимум от -40° до +125°	
	Вибрация и удары	Синусоидально: на пике 20 г Случайно: средне-квадратичное 27 г Удар: 3000г от 2 до 10 кгц	Без проблем для самого сенсора, зависит от упаковки	

\* это относится только к самому сенсорному элементу. Однако потребность в дополнительной электронике весьма ограничена, поэтому энергопотребление все равно будет низким по сравнению с альтернативами. Для увеличения размера, веса и т.д. потребуются только упаковка, печатная плата и т.п.

L-образный сенсор можно в общем охарактеризовать следующим образом.

Две ортогональные сенсорные линии.

Уменьшенная площадь и уменьшенное питание по сравнению со стандартными решениями с пиксельной матрицей. Та же самая производительность. Лучшее расположение и лучшее устранение ложных источников солнечного света (отражение, призрак и т.п.), чем у аналоговых систем.

Событийно-управляемый.

Пониженное энергопотребление и повышенная скорость.

Аналоговая часть сводится к простому компаратору в каждой пиксельной ячейке.

Это повышает радиационную стойкость и снижает чувствительность к шуму.

В одном из вариантов осуществления сенсорный модуль можно охарактеризовать следующим образом.

Модули расположены на тетраэдре с сенсорными схемами на трех сторонах (не на нижней).

Дает общее поле обзора более  $180^\circ$  (полусфера).

Каждая сенсорная схема содержит три сенсорных блока, каждый из которых принадлежит к трем различным доменам питания и сигнала. Домены полностью резервируются, и каждый домен обеспечивает полное поле обзора.

Повышенная надежность, гибкость, правильность и точность.

Кратковременный сбой в одном домене (попадание частицы и т.п.) будет сглажен двумя другими, составляющими большинство. При более длительном сбое есть возможность завершить работу одного домена и перезапустить его, в то время как два других остаются работающими. Постоянный неустранимый отказ в одном домене не повлияет на два других, поддерживающих полное обслуживание. Если один домен обеспечивает достаточную производительность, то два других можно отключить для экономии энергии.

Все сенсорные схемы одинаковы. Все схемы содержат три сенсорных элемента, мастер домена, мастер модуля и полную схему интерфейса. Однако в каждый отдельно взятый момент времени активно только один мастер модуля.

Упрощает логистику и развитие. Необходимо разработать только одно устройство, содержащее все необходимое для создания компактной полной системы с тремя схемами.

Распределенная цифровая обработка сигналов по каждой сенсорной линии.

Фильтрует одиночные и двойные пиксели "константный 0". Фильтрует вплоть до тройных пикселей "константная 1". Находит центр тяжести света.

Можно обходить и отключать для экономии энергии.

Градиентное экранирование пикселей для компенсации пониженной чувствительности по краям.

Обеспечивает более равномерную чувствительность по всей сенсорной линии. Полезно для ряда других применений.

Относительное смещение с шагом  $1/3$  пикселя между тремя сенсорными блоками на каждом чипе.

Разрешение увеличено на  $1/3$ .

Сенсорная измерительная система может содержать два сенсорных модуля, физически разделенных и расположенных в противоположных направлениях на космическом корабле. Каждый модуль имеет поле обзора (FOV)  $180^\circ$  плюс некоторое перекрытие.

На фиг. 4 показан тетраэдрический сенсорный модуль. Сенсорный модуль основан на трех сенсорных схемах, размещенных с трех сторон тетраэдрической пирамиды, причем общий угол (D) является ортогональным. Пирамида может включать или не включать в себя верхушку. Сенсорная схема - это интегральная схема, содержащая пиксельные ячейки, некоторую управляющую схему и некоторое устройство управления питанием. Такая конструкция гарантирует, что мы можем обеспечить угол обзора более  $180^\circ$  на основе сенсорных элементов, поле обзора которых чуть превышает  $120^\circ$ . Конструкция охватывает все углы выше основания тетраэдра и некоторые ниже.

Как показано на фиг. 2, форма L-образного сенсорного блока оставляет значительную часть площади неиспользуемой. В сенсорной схеме L-образный сенсор утроен, при этом каждый блок связан с разными независимыми доменами сигнала и питания. При таком решении у нас будет три сенсорных домена, все они представлены во всех направлениях. Каждый домен имеет поле обзора более  $180^\circ$ . Сигнал и питание (включая подвод контактов контактной площадки) полностью независимы. Единственная общая клемма - земля.

На фиг. 6 показана схема доменов для каждой сенсорной схемы. В известной версии форма L-образного сенсорного блока оставляет значительную часть площади неиспользованной. В раскрытой сенсорной схеме L-образный сенсорный блок утроен, при этом каждый блок связан с разными независимыми доменами сигнала и питания. При таком решении имеются три сенсорных домена, все они представлены во всех направлениях. Каждый домен имеет поле обзора, составляющее более  $180^\circ$ . Сигнал и питание (включая подвод контактов контактной площадки) полностью независимы. Единственная общая клемма - земля.

Как показано на фиг. 2, каждый сенсорный элемент содержит три L-образных сенсорных структуры, некоторую цифровую обработку сигналов, управление питанием и шинный интерфейс. Имея рас-

крытый L-образный сенсор, можно получить три полностью независимых (включая питание) L-образных сенсора на одном устройстве. Таким образом, любой отказ одного L-образного сенсора не повлияет на другие. Когда они работают надлежащим образом, все данные можно объединить для повышения разрешения и т.п.

Трехмерная сенсорная конструкция может иметь три независимых и одинаковых модуля цифровой обработки сигналов (показаны плоскими на фиг. 6). Три разных и полностью независимых домена питания показаны разной штриховкой/цветом. Короткое замыкание в одном из них не повлияет на остальные (за исключением отсутствия данных из этого домена). Два сенсора на каждом устройстве принадлежат к соседнему домену питания. Таким образом, например (красные) DSP1, S11, S21 (на устройстве 2) и S31 (на устройстве 3) принадлежат вместе. Это также относится к интерфейсам, т.е. к питанию площадок ввода-вывода и т.п. Если оба устройства 2 и 3 выйдут из строя, то устройство 1 по-прежнему будет иметь сенсоры во всех направлениях и сможет обеспечить полную полусферу ( $\geq 180^\circ$ ) FOV. Если все устройства работают нормально, то каждый DSP (digital signal processor, цифровой сигнальный процессор) имеет доступ ко всем девяти сенсорам и может использовать это для повышения разрешения.

L-образный сенсор был разработан с использованием стандартного CMOS-процесса 350 мкм от AMS (Austria Micro Systems). Он был разработан для ракетных зондов и, следовательно, не нуждался в долговременной радиационной стойкости, необходимой для этого применения. Однако IDEAS разработала радиационно-стойкую библиотеку для этого же охарактеризованного процесса согласно требуемым уровням радиации. Это - библиотека, разработанная и подтвердившая свою стабильность в течение долгого времени.

В одном из вариантов осуществления раскрытый L-образный сенсор содержит две линии сенсоров шириной в один пиксель и длиной 256 пикселей, ортогонально ориентированных в L-образной форме. Три L-образных сенсора на элементе могут иметь внутренний сдвиг с шагом 1/3 пикселя. Это повышает надежность и разрешение. L-образный сенсор может быть основан на событийной сигнализации. Пиксели содержат полупроводниковый (PN) диод, в котором заряд, генерируемый падающим светом, увеличивает напряжение по сравнению с емкостью. При превышении порогового значения пиксель генерирует сигнал события. Это сводит аналоговую часть к абсолютному минимуму. Отсутствует необходимость в аналоговой сигнализации, совместно используемых аналоговых блоках, аналогово-цифровых преобразователях и т.п., с преимуществами, которые это дает в отношении надежности, устойчивости к излучению, устойчивости к шуму, скорости обработки и энергопотребления. Допустимое временное окно для событий может быть задано фиксированным числом (по умолчанию) тактовых циклов задающего тактового генератора, программируемым числом циклов или программируемым числом событий.

В следующей таблице представлен обзор признаков из технической части конкурсной документации Европейского Космического агентства (ESA) для AO8884 по сравнению с L-образным сенсором и раскрытым сенсорным модулем.

Техническая часть конкурсной документации ESA для AO8884			L-образный элемент	Сенсорный модуль
Области	Требования	Технические данные	L-образный сенсор, адаптированный к FOV=120° (d=651мкм)	Три новых элемента в тетраэдре
Стоимость		400000 евро		
TRL		5		
Функционал	Выдаваемые данные	Направление Солнца в кадре SC	Направление Солнца как пиксельные координаты XY самых ярких ячеек	Направление Солнца в кадре SC
Производительность (по полной тепловой и динамической среде)	Угловая точность (включая устойчивость к солнечным вспышкам, SEU, альбедо и рассеянному свету)	-По полному FOV (180°): 5° (3σ)	Запас 20% (=50,0%-30,0%)	Запас: 70% (=100%-30%)
		-Точное FOV (60°): 1° (3σ) (цель 0,5°)	>60°: 0,26°-0,76° <60°: 0,76°-1,03°	0.16-0.5°
	Полный угол поля обзора	-полное FOV: Полусфера (180°)	120°	>180°

		-Точное FOV: +/-30° (60°)		
Интерфейсы	Масса всей системы	400г	0,3гр*	60гр +упаковка
	Размеры сенсора (без электроники)	120 x 120 x 60 мм	2.5x2.5мм2*	25мм + упаковка
	Размеры электроники (если есть ссылка)	100 x 100 x 50 мм		25мм + упаковка
	Среднее энергопотребление	2Вт	6,3мкВт*	<10 мВт
	Термическая аккомодация	2Вт	6,3мкВт*	<10 мВт
	Подаваемое напряжение	5В регулируемое ИЛИ (12В ИЛИ 28В ИЛИ 50В) нерегулируемое	3,3В регулируемое	5В
	Интерфейс данных	Цифровой: тип TBD (подлежит уточнению)	Цифровой	Цифровой
Конструкция и РА	Резервирование	Двойное	Нет (большой потенциал)	Почти на 100% тройное
	Срок службы	15 лет на GEO	Предварительные испытания + 1 час в полете ракеты	15 лет на GEO
	Тепловые циклы	7000	Неизвестно	7000
	Надежность	100FIT @30°C	Неизвестно	100FIT @30°C
	Радиация	Электронные компоненты: 100 крд Оптика: 300крд Детектор (при наличии): 1Мрд Устойчивый к SEU	Возможно, по меньшей мере, стандартные COTS (50-70крд)	Согласно требованиям
	Отсутствие ITAR - компонентов	Без ITAR	Без ITAR	Без ITAR
Условия эксплуатации	Динамика	Angular rate: +/- 100°/s i.e. 100S/s	11300S/s (spinning rocket)	11300S/s
Температура	Хранения и рабочая_от -40 до +75°C Расширение для подключения солнечных батарей: от -80 до +100°C (ТВС)	Неизвестно, но возможно минимум от -40° до +125°		Согласно требованиям
	Синусоидальное: на пике 20 г Случайное: средне-квадратичное 27 г Удар: 3000г от 2 до 10 кГц	Без проблем для самого сенсора, зависит от упаковки		Согласно требованиям

На фиг. 7 показана схема логической иерархии модулей. У всех доменов есть мастер домена. Под мастером домена находятся три сенсорных блока, расположенных на трех различных сенсорных схемах. У всех сенсорных схем также есть мастер модуля, но в отдельно взятый момент времени активен только один. Мастер модуля объединяет информацию от мастеров доменов и пересылает окончательные данные внешнему пользователю. Мастер модуля осуществляет весь контакт с внешним миром. Он принимает

данные настройки и перенаправляет их трем мастерам доменов. Если мастер модуля выйдет из строя, то один из других мастеров модуля будет готов к работе в кратчайшие сроки.

На фиг. 5 показан пример того, как может выглядеть сенсорная схема. Верхний и правый края показывают интерфейс, обращенный к сенсорным блокам на двух других сенсорных схемах. С левой стороны имеется шина для связи между мастерами модуля. Внизу слева имеется шина для внешней связи. Схема содержит три L-образных сенсорных блока, мастер домена и мастер модуля, как уже упоминалось. Она также содержит блок с протоколами и т.п. для внешних взаимодействий (например, SpaceWire, SPI и т.п.). Последний блок - это блок управления, измерения и контроля питания. Этот блок измеряет ток, потребляемый этим доменом, и отключает питание, если ток превышает определенный предел.

На фиг. 8 показаны смещенные пиксельные линии. Три пиксельные линии сдвинуты на 1/3 пикселя относительно друг друга. За счет объединения информации от всех доменов это повысит разрешение на 1/3 от того, что каждый домен может поддерживать отдельно.

Теперь будет описана связь и состояния сенсорного блока. В дополнение к питанию (и заземлению) между каждым сенсорным блоком и мастером домена имеется пять проводов: CLK, R/W, EN, X и Y. Первые три - это односторонние направления от мастера домена к сенсорному блоку. Последние два являются двунаправленными там, где направлением управляет сигнал R/W.

Сенсорный блок имеет четыре основных режима:

Idle - это неактивный режим. В этот режим можно перейти, установив EN на высокий уровень и установив R/W в положение записи;

Smeasure - это режим измерения, в котором пиксели аккумулируют свет. Пиксели переустанавливаются в первый раз, когда EN становится низким после вхождения в этот режим. Когда EN становится высоким, пиксельные события сохраняются в SR-защелках, а импульсы передаются по проводам X и Y. Когда EN снова становится низким, дальнейшие импульсы событий блокируются от шины событий и от настройки SR-защелок;

Sshift - это режим, в котором данные переходят на верхний регистр из сенсорного блока или настройки регистров переходят на нижний регистр. Будут ли считываться ли данные или спускаться настройки регистров, зависит от сигнала R/W;

Soptimize - это режим, в котором активирован распределенный цифровой фильтр. Фильтр будет пытаться исключить одиночный и двойной константный 0 и одиночную и двойную константную 1 (в зависимости от настройки) и найти световой центр тяжести.

Распределенная цифровая обработка сигнала будет раскрыта с рассмотрением фиг. 10. После окончания измерения (периода Smeasure) на сенсоре происходит простая и распределенная обработка сигнала. Сначала любые одиночные нули (окруженные единицами) заменяются единицей (см. фиг. 10, шаги с t0 по t1). Это необходимо для фильтрации пикселей, установленных в константный 0, фильтров с низким коэффициентом усиления и т.п. Затем происходит обратная фильтрация, когда пиксели, у которых есть сосед с нулевым значением (или сам нулевой), устанавливаются в ноль (см. фиг. 10, шаг с t1 до t2 до t3 до t4). Это найдет весовую точку для света (пиксель 5 на t4) и удалит отдельные единицы (окруженные нулями) (пиксель 12 на t1). Этот процесс будет повторяться до тех пор, пока на следующем шаге (t5) все пиксели не будут обнулены. Затем пиксель с 1, ближайший к контрольному концу (пиксель 5 на t4), выдаст свое положение на общей шине. Если следующий пиксель по линии равен единице, то это будет сигнализировать о том, что весовая точка находится между двумя пикселями. Эта фильтрация выполняется с помощью простой распределенной логики, требующей нескольких вентилях на пиксель. Динамическое энергопотребление будет низким, поскольку большинство пикселей останется нулевым.

Цифровая обработка сигнала может быть распределена по пиксельным линиям с несколькими логическими вентилями на каждом пикселе. Это может обеспечить более быструю и лучшую обработку и, возможно, также меньшее энергопотребление. Большинство из этих блоков останутся "0", и только некоторые из этих вентилях будут переключаться во время эксплуатации. Это решение может снизить энергопотребление, например, если статический ток утечки значительно ниже, чем динамическое энергопотребление переключаемых вентилях, как во многих технологиях CMOS.

Каждый пиксель может установить частную защелку, если сигнал проходит пороговый уровень в пределах временного окна события. Если порог выходит за пределы временного окна события, на защелку нельзя повлиять. Окно событий может быть запущено импульсом сброса. В зависимости от настройки окно событий может закрываться, например, когда: прошло заданное время, было сгенерировано несколько событий (одно или более) и/или прошло определенное время с момента последнего сигнала события. Учитываемые предпочтительные параметры сенсорного устройства, в среднем 4,5 пикселя будут освещены источником света (например, Солнцем). Интенсивность света показана линией 1201 на фиг. 12.

Могут быть небольшие различия в смещении и усилении между пикселями. Это проиллюстрировано ступенчатой линией 1202 на фиг. 12. Если окно события закрывается только после одного или двух событий, окончательно определенное положение (например, световой центр тяжести) будет несколько левее, что снизит разрешение и точность. Следовательно, важно оставаться открытым для достаточного числа событий (или в течение достаточного времени), чтобы получить более точный центр тяжести. Это усложняют ошибочные пиксели, константно темные или светлые или с очень низким или высоким коэф-

фициентом усиления. Чтобы это улучшить, можно использовать описанную распределенную цифровую обработку сигналов.

Таблица на фиг. 13 показывает пример цифровой обработки. В верхнем ряду показаны значения пикселей (0 или 1), выбранные в течение временного окна события. Обработка сигнала для каждого пикселя идет вертикально вниз. Каждое новое значение (пример: оранжевый пиксель 1301) определяется на основании трех значений выше (пример: синие пиксели 1302) и параметра фильтра (синее И 1303). От каждого пикселя идет шестиступенчатая сигнальная линия. На ступени может быть три возможности: логическое ИЛИ для пикселя и его соседей, логическое И для пикселя и его соседей и ПРОПУСТИТЬ, которое пропускает сигнал без влияния соседей. Логическое ИЛИ устранил пиксели "константный ноль". Логическое И устранил "константную единицу" и найдет центр тяжести событий. Две первые ступени на фиг. 13 имеют только возможность И или ИЛИ, в то время как последние четыре ступени имеют только возможность И или ПРОПУСТИТЬ. На фиг. 13 показана начальная настройка фильтра для устранения одного ошибочного нуля (как показано для пикселя 6). С одним ИЛИ необходимы два И, чтобы отменить ошибочные единицы (пиксели 16, 23 и 27).

После вышеуказанной первоначальной настройки, в нижнем ряду нет "1". Затем необходимо изменить параметры фильтра (см. фиг. 14), пока строка 6 не станет полностью нулевой. Для этого строка 6 сначала изменяется на ПРОПУСТИТЬ. Поскольку это не помогает, строка 5 также изменяется на ПРОПУСТИТЬ. Теперь строка 6 не вся нулевая, а пиксель центра тяжести находится в строке 6.

К сенсорному элементу может применяться градиентное затенение пикселей. L-образный сенсор будет рассчитан на угол обзора чуть выше  $120^\circ$ . Проблема в том, что накопленная световая энергия уменьшается с косинусом падающего света от 100% в середине до 50% при угле  $60^\circ$ . При  $60^\circ$  Солнце будет иметь 50% эффективность, но все равно более высокий сигнал, чем у любого другого источника света, включая отражения от Земли, космического корабля и т.д. Возможным вариантом может быть компенсация этого отклонения путем покрытия металлом части соответствующей области чувствительного пикселя, соответствующей  $1/(2\cos(\alpha))$  угла  $\alpha$  (к вектору нормали сенсора). Если это будет сделано, то центральные пиксели будут покрыты металлом на 50%, а при  $\pm 60^\circ$  этот показатель уменьшается до 0%. Кроме экранирования, пиксели выравниваются, чтобы обеспечить максимально похожие динамические характеристики.

Такая ситуация показана на фиг. 9В. Уровень сигнала будет уменьшаться по направлению к концам в соответствии с косинусоидальной характеристикой. При  $60^\circ$  это составляет 50%, но все же выше максимального отражения от Земли и других естественных или искусственных источников света. Верхняя линия показывает чувствительность под разными углами. Нижние линии показывают максимальную силу альbedo от Земли и Луны при  $0^\circ$  (относительно Солнца при 0 градусах).

Как показано на фиг. 9С, при фиксированном шаге пикселя разрешение будет наихудшим в середине и улучшаться к концам. Предусмотренная фильтрация и комбинация данных о местоположении от трех доменов еще больше улучшат разрешение.

Что касается функциональности мастера домена (т.е. контроллера блока), то каждый из мастеров доменов получает данные положения от трех различных сенсорных элементов, которые вместе охватывают всю полусферу. Сначала он решает, который из них имеет самый сильный сигнал, и выбирает его в качестве вероятного положения Солнца. Затем он должен преобразовать локальное положение элемента по X в глобальное положение сенсорного модуля по  $\phi$ . Сначала угол вычисляют на основании положения из положения в соответствии с  $\alpha = 90 - \arctan((d + \Delta d)/(L + \Delta L))$ , где L - положение пикселя, d - предполагаемое расстояние между сенсором и прорезным экраном, а ( $\Delta d$  и  $\Delta L$ ) - полученные переменные. Сложение и деление должны выполняться на месте, в то время как для  $\arctan$ , вероятно, потребуется справочная таблица. Угол в локальном направлении по Y - это глобальное 0. Для этого каждый элемент должен знать свое положение в модуле. Это обеспечивается проводным вводом на двух контактах. На основе аппаратно-полученной информации о местоположении, угол (положение по X) добавляется по умолчанию на 0, 120 или  $240^\circ$ . Как вариант, альтернативно можно выбрать программируемые значения для компенсации отклонений из-за неточного механического положения сенсорных элементов и т.д. Изменение угла наклона подложки может быть обоснованно (и/или значительно) меньше разрешающей способности измерений и, следовательно, им можно пренебречь.

Код элемента	Левый сенсор	Этот сенсор	Правый сенсор
00	$0^\circ$	$0^\circ$	$0^\circ$
01	$240^\circ$	$0^\circ$	$120^\circ$
10	$0^\circ$	$120^\circ$	$240^\circ$
11	$120^\circ$	$240^\circ$	$0^\circ$

Вся вышеописанная обработка происходит параллельно в трех полностью независимых доменах сигнала и питания (показано штриховкой/цветом на чертежах). Это генерирует три пары положений, которые могут отличаться из-за вариаций измерения или более серьезных постоянных или временных ошибок.

Функциональность мастера модуля теперь будет раскрыта при рассмотрении фиг. 11. Из трех по-

ложений, сгенерированных мастерами доменов, мастер модуля выбирает среднее положение по  $\phi$  и среднее положение по  $\theta$  и направляет их в главную систему космического корабля. Эта процедура отфильтрует неправильное положение по  $\phi$  и неправильное положение по  $\theta$ . Если все они верны, то будет генерироваться наиболее точное положение с улучшенным разрешением. Единственный процесс, который требуется главному компьютеру спутника, - это узнавать, от какого из двух сенсорных модулей он принимает данные, и компенсировать это в направлении по  $\theta$ .

Этот мастер модуля играет важную роль, когда дело доходит до резервирования. Хотя все три элемента (т.е. сенсорные устройства) содержат этот модуль, только один может пересылать данные на главный компьютер. Мастер модуля будет выбран из последовательности, основанной на аппаратно-полученной информации положения. Если модуль не имеет питания, то задача будет передана следующему в последовательности.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Сенсорное устройство для определения положения источника света, содержащее: множество сенсорных блоков, причем каждый сенсорный блок имеет соответствующую сенсорную зону; и маску, расположенную над множеством сенсорных блоков и выполненную так, чтобы падающий свет от источника света освещал разные области сенсорной зоны каждого из сенсорных блоков в зависимости от положения источника света относительно сенсорного устройства таким образом, что обеспечивается возможность определения положения источника света на основании того, какие области сенсорной зоны сенсорных блоков освещены; причем каждый сенсорный блок является управляемым соответствующим контроллером блока для определения положения источника света, и каждый сенсорный блок содержит первую полосу и вторую полосу, по существу, ортогональную первой полоске, причем маска выполнена так, чтобы источник света освещал области обеих полосок каждого сенсорного блока одновременно.
2. Сенсорное устройство по п. 1, в котором сенсорные блоки расположены рядом друг с другом.
3. Сенсорное устройство по п.1 или 2, в котором маска содержит первую прозрачную прорезь и вторую прозрачную прорезь, по существу, ортогональную первой прозрачной прорези.
4. Сенсорное устройство по п.3, в котором первая прозрачная прорезь, по существу, перпендикулярна первым полоскам сенсорных блоков, а вторая прозрачная прорезь, по существу, перпендикулярна вторым полоскам сенсорных блоков.
5. Сенсорное устройство по любому из предшествующих пунктов, в котором каждая полоска каждого сенсорного блока содержит множество пикселей, причем пиксели каждой полоски смещены относительно пикселей каждой смежной полоски на расстояние, меньшее, чем ширина каждого пикселя в направлении смещения.
6. Сенсорное устройство по любому из предшествующих пунктов, содержащее градиентное экранирование для уменьшения интенсивности света, падающего на сенсорные блоки, чтобы противодействовать относительному уменьшению интенсивности света, падающего на сенсорный блок под углом.
7. Сенсорное устройство по любому из предыдущих пунктов, в котором каждый сенсорный блок выполнен с возможностью быть частью соответствующего домена питания.
8. Сенсорное устройство по любому из предшествующих пунктов, в котором каждый сенсорный блок связан с независимым доменом сигналов и связан с независимым доменом питания.
9. Сенсорный модуль для определения положения источника света, содержащий: множество сенсорных устройств по любому из пп.1-8; и множество контроллеров блоков, выполненных с возможностью управления одним сенсорным блоком в каждом из множества сенсорных устройств, причем каждое сенсорное устройство содержит один из множества контроллеров блоков.
10. Сенсорный модуль по п.9, в котором каждый контроллер блока принадлежит соответствующему домену питания.
11. Сенсорный модуль по п.9 или 10, содержащий множество контроллеров модуля, причем каждый контроллер модуля выполнен с возможностью управления каждым из множества контроллеров блоков.
12. Сенсорный модуль по любому из пп.9-11, содержащий основание и три сенсорных устройства, расположенных на соответствующих гранях основания, причем основание имеет форму, по меньшей мере, части тетраэдра.
13. Сенсорный модуль по любому из пп.9-12, содержащий три сенсорных устройства, каждое из которых расположено параллельно плоскости поверхности тетраэдра, причем одно сенсорное устройство на каждой плоскости обращено наружу.
14. Сенсорный модуль по любому из пп.9-13, в котором сенсорный модуль представляет собой солнечный сенсор для спутника.
15. Сенсорный модуль по любому из пп.9-14, выполненный с возможностью иметь поле обзора для обнаружения источника света, составляющее, по меньшей мере, полусферу.

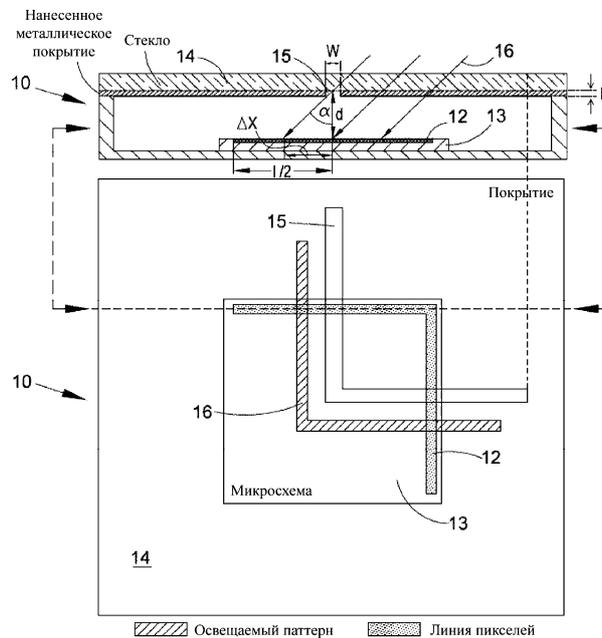
16. Сенсорная система для определения положения источника света, содержащая множество сенсорных модулей по любому из пп.9-15, в которой каждый сенсорный модуль выполнен с возможностью иметь различное поле обзора для обнаружения источник света.

17. Способ определения положения источника света с использованием сенсорного устройства по любому из пп.1-8 или с использованием сенсорного модуля по любому из пп.9-15, включающий в себя: определение положения источника света как среднего из положений, определенных сенсорными блоками.

18. Способ определения положения источника света с использованием сенсорного устройства по любому из пп.1-8 или с использованием сенсорного модуля по любому из пп.9-15, включающий в себя следующее:

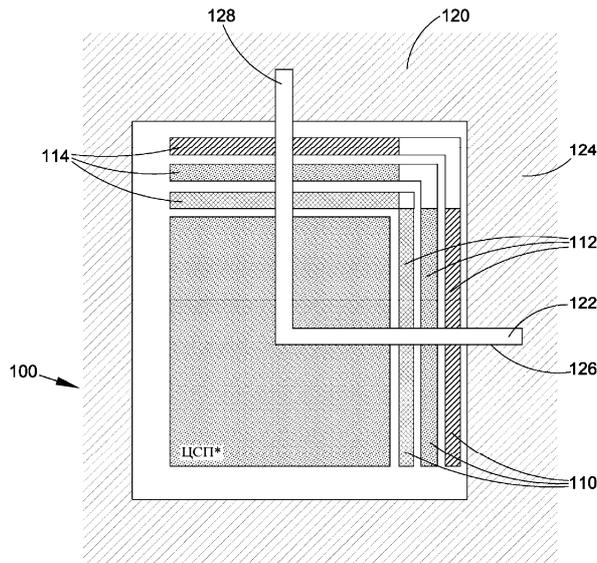
- (i) считывают цифровые выходные пиксельные значения с одного из сенсорных блоков;
- (ii) устанавливают в 1 любые пиксельные значения, соседние с пиксельными значениями, составляющими 1;
- (iii) устанавливают в 0 любые пиксельные значения, соседние со значением 0;
- (iv) повторяют шаг (iii) до тех пор, пока выполнение шага (iii) еще один раз не приведет к тому, что все пиксельные значения сенсорного блока будут установлены в 0; и
- (v) определяют положения источника света с использованием оставшегося ненулевого пикселя или пикселей.

19. Способ по п.18, включающий в себя повторение шага (ii) множество раз.



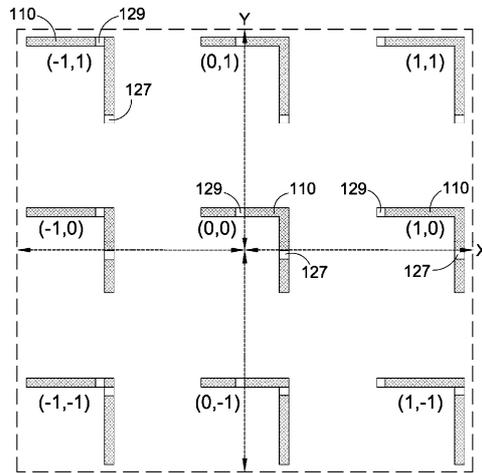
Вертикальный разрез и горизонтальный вид конструкции солнечного датчика,  
 $d = 356 \text{ мкм}$ ,  $h = 10 \text{ нм}$ ,  $W = 50 \text{ мкм}$ ,  $l = 2256 \text{ мкм}$

Фиг. 1

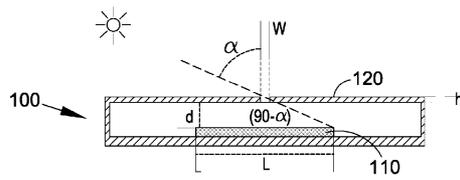


\* ЦСП (цифровой сигнальный процессор)

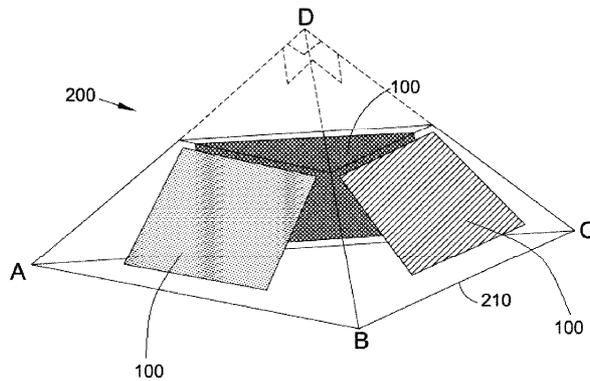
Фиг. 2



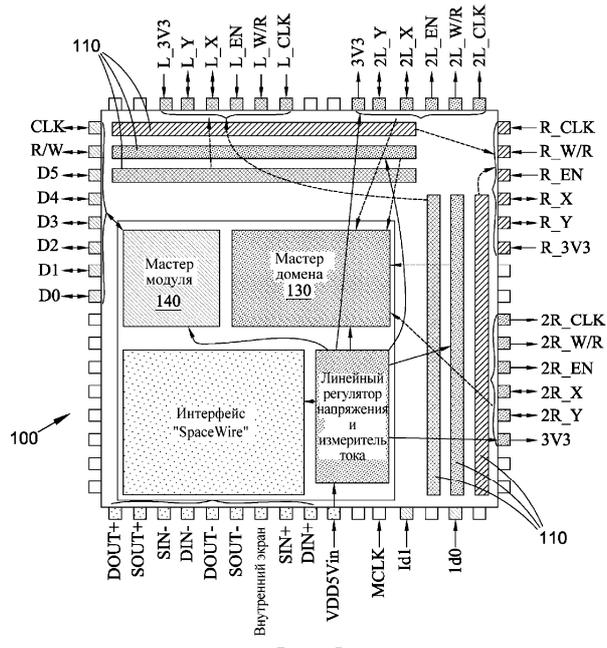
Фиг. 3А



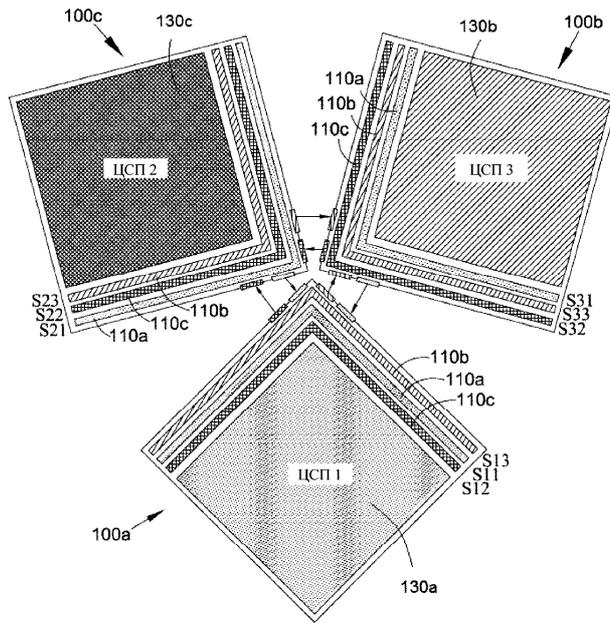
Фиг. 3В



Фиг. 4

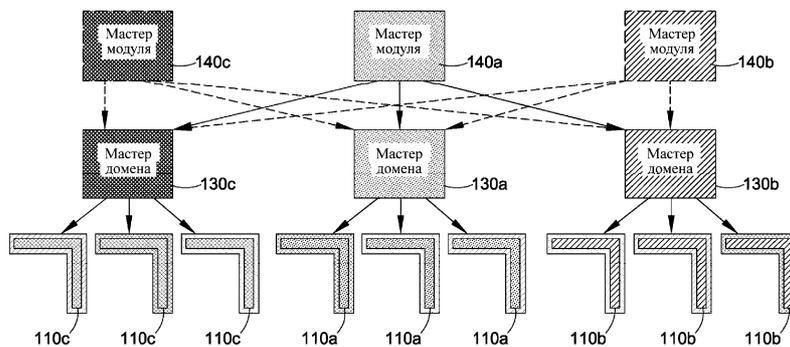


Фиг. 5

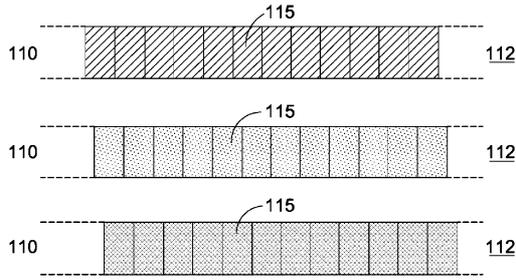


\* ЦСП (цифровой сигнальный процессор)

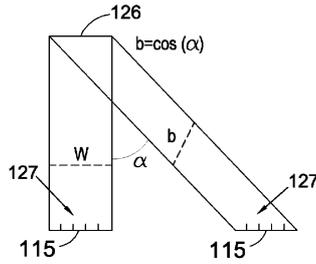
Фиг. 6



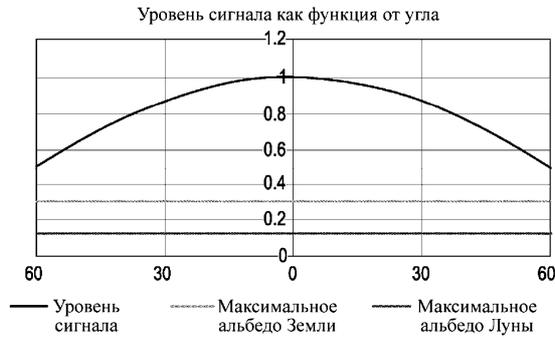
Фиг. 7



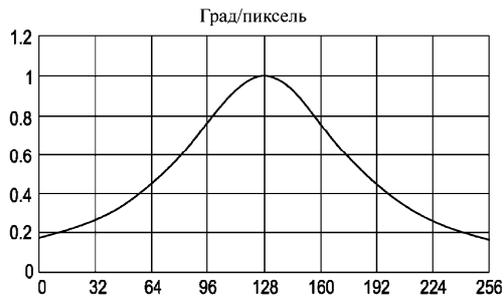
Фиг. 8



Фиг. 9А



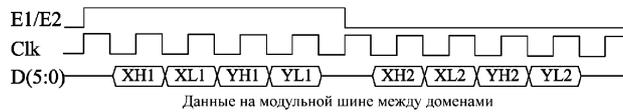
Фиг. 9В



Фиг. 9С

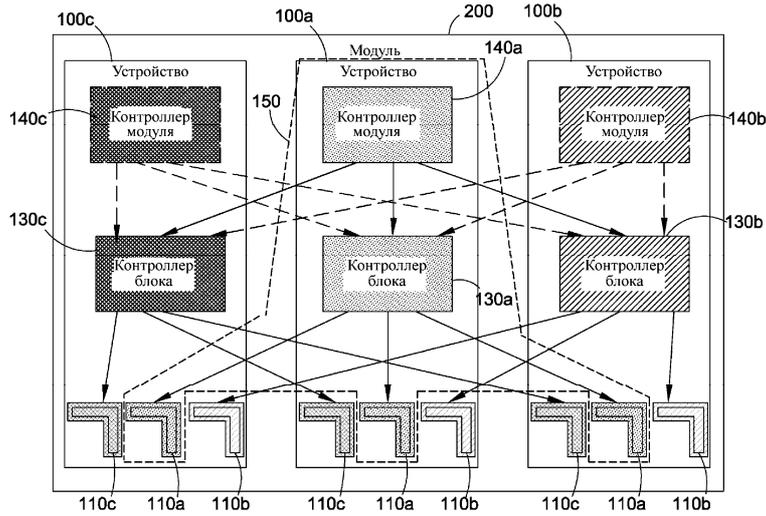
шаг	Номер пикселя	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
10	Исходный	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0
11	LP	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0
12	HP	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
13	HP	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
14	HP	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	HP(ноль)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Фиг. 10

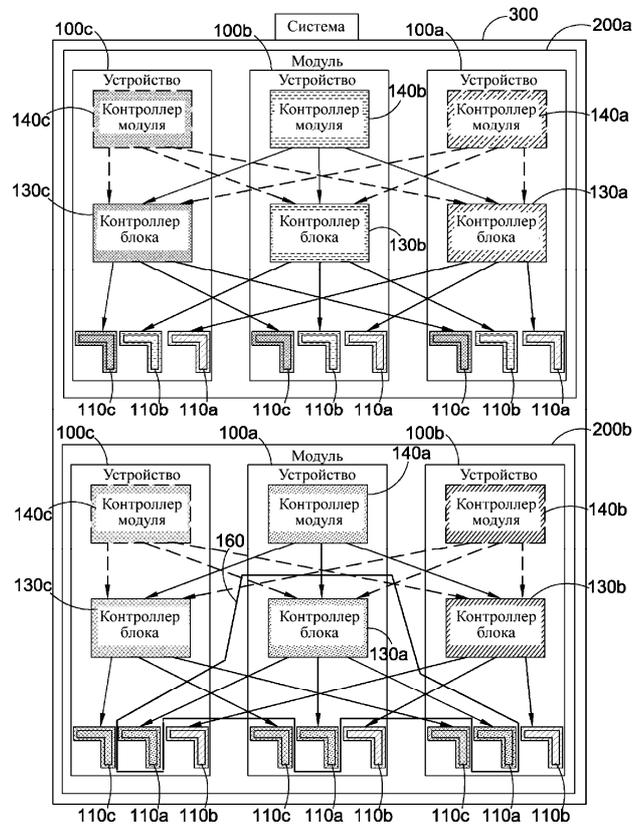


Фиг. 11





Фиг. 16



Фиг. 17

