



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2011129424/28, 18.07.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
18.07.2011

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
19.07.2010 US 12/838,742

(43) Дата публикации заявки: 27.01.2013 Бюл. № 3

(45) Опубликовано: 20.08.2015 Бюл. № 23

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: SU 1682766 A1 07.10.1991 . JPS 587515
A 17.01.1983. JPS 5618711 A 21.02.1981. US
4937445 A1 26.06.1990

Адрес для переписки:

191036, Санкт-Петербург, а/я 24, "НЕВИНПАТ",
пат.пов. А.В.Поликарпову

(72) Автор(ы):

БЕНДАЛЛ Кларк Александер (US)

(73) Патентообладатель(и):

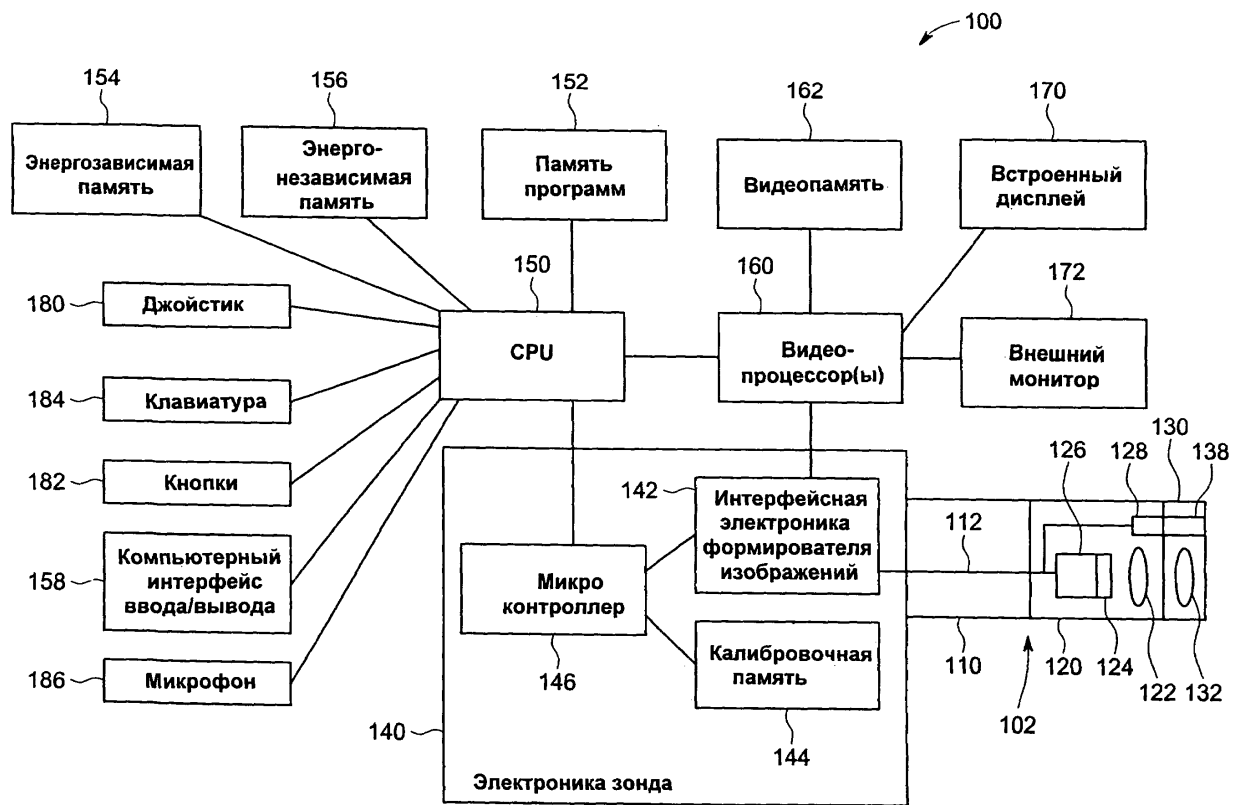
Дженерал Электрик Компани (US)

(54) СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРИРОВАННОГО СВЕТА

(57) Реферат:

В способе определения расстояния до объекта используется видеоизмерительное устройство, включающее первый излучатель света и второй излучатель света, при этом первый излучатель света может испускать свет через отверстие по меньшей мере с одним тенеобразующим элементом. Способ включает захват по меньшей мере одного первого изображения при включенном первом излучателе света и отключенном втором излучателе света, захват по меньшей мере одного второго изображения при включенном втором излучателе света и отключенном первом излучателе света,

определение первого множества значений яркости пикселей в упомянутом по меньшей мере одном первом изображении, определение второго множества значений яркости пикселей в упомянутом по меньшей мере одном втором изображении, определение отношений яркостей второго множества значений яркости к первому множеству значений яркости и определение расстояния до объекта с использованием упомянутых отношений яркости. Технический результат - повышение точности измерения. 2 н. и 18 з.п. ф-лы, 11 ил.



Фиг.1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

G01C 3/08 (2006.01)*G01B* 11/25 (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2011129424/28, 18.07.2011

(24) Effective date for property rights:
18.07.2011

Priority:

(30) Convention priority:
19.07.2010 US 12/838,742

(43) Application published: 27.01.2013 Bull. № 3

(45) Date of publication: 20.08.2015 Bull. № 23

Mail address:

191036, Sankt-Peterburg, a/ja 24, "NEVINPAT",
pat.pov. A.V.Polikarpovu

(72) Inventor(s):

BENDALL Klark Aleksander (US)

(73) Proprietor(s):

Dzheneral Ehlektrik Kompani (US)(54) **MEASURING METHOD BASED ON STRUCTURING LIGHT**

(57) Abstract:

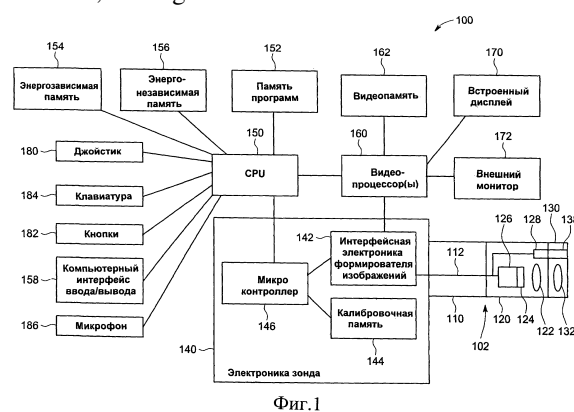
FIELD: measurement equipment.

SUBSTANCE: method for determining distance to the object involves a video scope including the first light emitter and the second light emitter; with that, the first light emitter can emit light through a hole with at least one shadow forming element. The method involves capture of at least one first image at the first activated light emitter and the second deactivated light emitter, capture of at least one second image at the second activated light emitter and the first deactivated light emitter, determination of the first variety of brightness values of pixels in the above at least one first image, determination of the second variety of brightness values of pixels in the above at least one second image, determination of ratios of brightness of the second variety of brightness values to the first variety of

brightness values and determination of distance to the object using the above brightness ratios.

EFFECT: higher measurement accuracy.

20 cl, 11 dwg



Предпосылки создания изобретения

[0001] Изобретение относится к измерениям на основе структурированного света и, в частности, к способу определения расстояния от зонда видеоизмерительного устройства до объекта.

5 [0002] Видеоизмерительные устройства находят применение в широком диапазоне приложений. В некоторых приложениях, например, при оптическом обследовании внутренних органов тела с использованием эндоскопа или при проверке дефектов в серийной аппаратуре, для пользователя видеоизмерительного устройства было бы полезно иметь возможность определять расстояние от зонда до исследуемого объекта
10 для выполнения измерений на этом объекте. Для решения этой и других задач наблюдения в существующих зондах применяют различные способы. Примеры способов измерений включают способы стереоскопии, способы с использованием тени и способы с проецируемой точечной сеткой.

[0003] В стереоскопических системах, как правило, применяют специальную
15 оптическую систему для наблюдения одной и той же сцены с двух положений, основываясь на деталях поверхности объекта в изображениях для установления соответствия между двумя изображениями. Расстояние до объекта определяют путем анализа небольших различий в изображениях. В способах с проецируемой точечной сеткой применяют источник света, например, лазер, для проецирования точек на объект.
20 Затем определяют расстояние между точками или положение точек на изображении для определения расстояния до объекта. В способах с использованием тени между источником света и объектом помещают одиночный непрозрачный элемент, например, линию. Этот элемент размещают на пути света, излучаемого источником света, с угловым смещением от осевой линии светового пучка и источника света. Если объект
25 находится в части светового поля, которая содержит тень, отбрасываемую упомянутым непрозрачным элементом, то при перемещении объекта ближе к устройству или дальше от устройства положение тени на изображении сдвигается, что может быть использовано для определения расстояния до объекта.

[0004] Существующие способы измерения имеют множество ограничений. Например,
30 стереоскопические системы имеют базовое разнесение в пространстве, ограниченное физическими размерами устройства, включающего двухфокусную оптику наблюдения. Базовое разнесение в пространстве определяет разрешение зонда. Увеличение базового разнесения в пространстве позволяет повысить точность измерения при фиксированном расстоянии до объекта. Кроме того, в стереоскопических системах для вычисления
35 расстояния до объекта одна и та же точка должна быть распознана на обоих изображениях. Многие поверхности лишены уникально распознаваемых признаков, что делает точное определение расстояния до объекта затруднительным или невозможным.

[0005] В способах с использованием тени в случае, когда объект не находится в части
40 поля обзора, содержащей тень, измерения невозможны. При этом измерения выполняют лишь в одной конкретной области, а не в большом поле обзора, поэтому неоднородности поверхности по полю обзора и ориентация объекта остаются необнаруженными.

[0006] Во многих стереоскопических измерительных системах и системах измерения
45 с использованием тени применяют два набора оптических инструментов. Первый набор оптических инструментов используется для наблюдения за объектом, а второй набор оптических инструментов - для измерений. Второй набор оптических инструментов, часто содержащийся в отдельном наконечнике зонда, должен чередоваться с первым

набором, если необходимо выполнить измерения. Например, в одной из систем измерения с использованием тени один и тот же источник света общего наблюдения используется для общего наблюдения и для измерений. Однако вместе с источником света общего наблюдения должен быть установлен отдельный наконечник для измерений с использованием тени, если обнаружен дефект или другой измеряемый признак. Замена наконечников зонда занимает дополнительное время и снижает эффективность использования зонда. Кроме того, оптика для измерений с использованием тени значительно заграждает выход света, вследствие чего хуже освещено поле обзора, что ограничивает расстояние наблюдения. Использование стереоскопической оптики также нежелательно для общего наблюдения, поскольку, как правило, она характеризуется меньшим разрешением изображения и меньшей глубиной обзора по сравнению со стандартной оптикой наблюдения.

[0007] В других примерах наличие человеческого фактора (например, при оценке местоположения тени или иной структуры на изображении дисплея и т.п.) ограничивает точность измерений и не позволяет автоматизировать измерения. Также многие зонды или узлы головок зондов являются крупными или объемными, часто вследствие сложности их конструкции и/или схемы расположения оптики наблюдения. Меньшая по размеру и/или более простая оптика наблюдения позволит уменьшить зонды и/или наконечники зондов и повысить способность управления ими в ограниченном пространстве или предоставит больше возможностей для проектирования и/или включения дополнительной функциональности.

[0008] Предпочтительно иметь возможность определения расстояния до поверхности объекта во время проверки без недостатков описанных выше систем.

Сущность изобретения

[0009] Предлагается способ определения расстояния до поверхности объекта, который позволяет преодолеть недостатки описанных выше систем.

[0010] В одном из вариантов осуществления изобретения раскрывается способ измерения на основе структурированного света для определения расстояния от зонда видеоизмерительного устройства до объекта. Видеоизмерительное устройство может включать первый излучатель света и второй излучатель света для испускания света на объект через отверстие по меньшей мере с одним тенеобразующим элементом с образованием множества теней на объекте при включенных излучателях света. Способ может включать захват по меньшей мере одного первого изображения объекта при включенном первом излучателе света и отключенном втором излучателе света, захват по меньшей мере одного второго изображения объекта при включенном втором излучателе света и отключенном первом излучателе света, определение первого множества значений яркости пикселей в упомянутом по меньшей мере одном первом изображении, определение второго множества значений яркости пикселей в упомянутом по меньшей мере одном втором изображении, определение отношений яркостей первого множества значений яркости пикселей в упомянутом по меньшей мере одном первом изображении ко второму множеству значений яркости пикселей в упомянутом по меньшей мере одном втором изображении и определение расстояния до объекта с использованием упомянутых отношений яркостей.

[00011] В одном из вариантов осуществления изобретения раскрывается способ измерений на основе структурированного света для определения расстояния от зонда видеоизмерительного устройства до объекта. Видеоизмерительное устройство может включать первый излучатель света и второй излучатель света, при этом первый излучатель света может испускать свет на объект через отверстие по меньшей мере с

одним тенеобразующим элементом с образованием по меньшей мере одной тени на объекте при включенном первом излучателе света. Способ может включать следующие шаги: захват по меньшей мере одного первого изображения объекта при включенном первом излучателе света и отключенном втором излучателе света, захват по меньшей мере одного второго изображения объекта при включенном втором излучателе света и отключенном первом излучателе света, определение первого множества значений яркости пикселей в упомянутом по меньшей мере одном первом изображении, определение второго множества значений яркости пикселей в упомянутом по меньшей мере одном втором изображении, определение отношений яркостей второго множества значений яркости пикселей в упомянутом по меньшей мере одном втором изображении к первому множеству значений яркости пикселей в упомянутом по меньшей мере одном первом изображении и определение расстояния до объекта с использованием упомянутых отношений яркостей.

Краткое описание чертежей

[00012] Для обеспечения понимания технических признаков предлагаемого изобретения подробное описание изобретения относится к конкретным вариантам его осуществления, некоторые из которых проиллюстрированы на приложенных чертежах. Однако следует отметить, что чертежи иллюстрируют лишь конкретные варианты осуществления изобретения и поэтому не должны рассматриваться как ограничение изобретения, поскольку настоящее изобретение включает также другие равно эффективные варианты его осуществления. Чертежи не обязательно выполнены в масштабе, акцент сделан на иллюстрации технических признаков конкретных вариантов осуществления изобретения. Таким образом, для лучшего понимания изобретения следует обратиться к подробному описанию и чертежам.

[00013] На фиг.1 представлена структурная схема видеоизмерительного устройства в одном из вариантов осуществления изобретения.

[00014] На фиг.2 схематически представлен вид сверху механической конфигурации узла головки зонда и съемного наконечника, проецирующего теневые картины в одном из вариантов осуществления настоящего изобретения с применением двух излучателей света и трех тенеобразующих элементов.

[00015] На фиг.3 проиллюстрировано пиксельное изображение плоского белого объекта, расположенного на расстоянии 50 мм от съемного наконечника, показанного на фиг.2, при этом изображение захвачено во время общего наблюдения с помощью съемного наконечника, показанного на фиг.2, и видеоизмерительного устройства, показанного на фиг.1, в одном из вариантов осуществления настоящего изобретения.

[00016] На фиг.4 проиллюстрирована одна строка пиксельного изображения плоского белого объекта, расположенного на расстоянии 50 мм от съемного наконечника, показанного на фиг.2, при этом изображение захвачено при включенном первом излучателе света в одном из вариантов осуществления настоящего изобретения.

[00017] На фиг.5 проиллюстрирована одна строка пиксельного изображения плоского белого объекта, расположенного на расстоянии 50 мм от съемного наконечника, показанного на фиг.2, при этом изображение захвачено при включенном втором излучателе света в одном из вариантов осуществления настоящего изобретения.

[00018] На фиг.6 проиллюстрированы профиль яркости изображения, показанного на фиг.4, и профиль яркости изображения, показанного на фиг.5, вдоль одной строки пикселей в одном из вариантов осуществления настоящего изобретения.

[00019] На фиг.7 проиллюстрированы отношения яркостей для профилей яркости, показанных на фиг.6, в одном из вариантов осуществления настоящего изобретения.

[00020] На фиг.8 представлена схема, иллюстрирующая определение пикселей с пиком отношения яркостей, каждый из которых содержит пик отношения яркостей, как показано на фиг.7, в одном из вариантов осуществления настоящего изобретения.

[00021] На фиг.9 показаны тенеобразующие элементы в одном из вариантов осуществления настоящего изобретения, в котором центральный тенеобразующий элемент является более узким, чем два боковых тенеобразующих элемента.

[00022] На фиг.10 показан профиль яркости одной строки пикселей каждого захваченного изображения плоского белого объекта, находящегося на расстоянии 50 мм от съемного наконечника, при этом одно изображение захвачено при включенном первом излучателе света, а второе изображение захвачено при включенном втором излучателе света в одном из вариантов осуществления изобретения с применением двух излучателей света и трех тенеобразующих элементов, причем центральный тенеобразующий элемент является более узким, чем боковые тенеобразующие элементы.

[00023] На фиг.11 проиллюстрированы отношения яркостей для профилей яркости, показанных на фиг.10, в одном из вариантов осуществления настоящего изобретения.

[00024] Чертежи не обязательно выполнены в масштабе, акцент сделан на иллюстрации принципов изобретения. Аналогичные цифровые обозначения на чертежах использованы для указания аналогичных частей в различных видах.

Подробное описание изобретения

[00025] На фиг.1 представлена структурная схема видеоизмерительного устройства 100 в одном из примеров осуществления изобретения. Следует понимать, что видеоизмерительное устройство 100, показанное на фиг.1, приведено только в качестве примера, и изобретение не ограничено конкретным видеоизмерительным устройством 100 и конкретной конфигурацией компонентов внутри видеоизмерительного устройства 100.

[00026] Видеоизмерительное устройство 100 может включать удлиненный зонд 102, включающий вставную трубку 110 и узел 120 головки, размещенный на наружном конце вставной трубки 110. Вставная трубка 110 может быть гибким трубчатым сегментом, через который проходят все соединения между узлом 120 головки и электроникой 140 зонда. Узел 120 головки может включать оптику 122 зонда для направления и фокусирования света от объекта на формирователь 124 изображений. Оптика 122 зонда может включать, например, однолинзовый объектив или многокомпонентный объектив. Формирователь 124 изображений может быть твердотельным датчиком изображений CCD (charge-coupled device, ПЗС, прибор с зарядовой связью) или CMOS (complementary metal-oxide semiconductor, комплементарный металлооксидный полупроводник), предназначенным для получения изображений целевого объекта. Узел 120 головки может также включать источник света 128 общего наблюдения для освещения целевого объекта. Источник 128 света общего наблюдения может быть выполнен множеством различных способов (например, в виде оптоволоконного жгута, передающего свет от расположенной поблизости лампы, светодиода или лазера, или от удаленно расположенной лампы или светодиода).

[00027] Съемный наконечник или адаптер 130 может быть расположен на наружном конце узла 120 головки. Съемный наконечник может включать оптику 132 наблюдения (например, объективы, окна или отверстия), работающие в сочетании с оптикой 122 зонда для направления и фокусирования света от целевого объекта на формирователе 124 изображений. Съемный наконечник 130 может также включать светодиоды подсветки (не показаны), если источник света для видеоизмерительного устройства 100 излучает свет от наконечника 130 или светопропускающего элемента 138 для

пропускания света из зонда 102 на целевой объект. Наконечник 130 может также обеспечивать возможность бокового наблюдения путем включения волновода (например, призмы) для поворота поля обзора камеры и испускания света в сторону. Элементы, которые могут быть включены в наконечник 130, могут также включаться

5 и в сам зонд 102.

[00028] Формирователь 124 изображений может включать множество пикселей, организованных в виде множества строк и столбцов, и может формировать сигналы изображения в форме аналоговых напряжений, представляющих свет, падающий на каждый пиксель формирователя 124 изображений. Сигналы изображения могут

10 распространяться через гибридную схему 126 формирователя изображений, которая обеспечивает электронику для буферизации и согласования сигналов, в жгут 112 формирователя изображений, который обеспечивает провода для передачи сигналов управления и видеосигналов между гибридной схемой 126 формирователя изображений и интерфейсной электроникой 142 формирователя изображений. Интерфейсная

15 электроника 142 формирователя изображений может включать источники питания, генератор тактовых сигналов для формирования тактовых сигналов формирователя изображений, внешний аналоговый интерфейс для оцифровки выходного видеосигнала формирователя изображений и цифровой сигнальный процессор для преобразования оцифрованных видеоданных формирователя изображений в более удобный видеоформат.

[00029] Интерфейсная электроника 142 формирователя изображений является частью

20 электроники 140 зонда и обеспечивает набор функций управления видеоизмерительным устройством 100. Электроника 140 зонда может также включать калибровочную память 144, которая хранит данные калибровки зонда 102 и/или наконечника 130. В состав электроники 140 зонда может также входить микроконтроллер 146, предназначенный

25 для связи с интерфейсной электроникой 142 формирователя изображений, для определения и задания установок усиления и экспозиции, хранения и чтения данных калибровки из калибровочной памяти 144, управления светом, передаваемым на целевой объект, и для связи с процессором CPU 150 видеоизмерительного устройства 100.

[00030] Кроме связи с микроконтроллером 146, интерфейсная электроника 142

30 формирователя изображений может также осуществлять связь с одним или более видеопроцессорами 160. Видеопроцессор 160 может принимать видеосигнал от интерфейсной электроники 142 формирователя изображений и выводить сигналы на различные мониторы, включая встроенный дисплей 170 или внешний монитор 172. Встроенный дисплей 170 может представлять собой жидкокристаллический экран,

35 встроенный в видеоизмерительное устройство 100 для отображения оператору различных изображений или данных (например, изображения целевого объекта, меню, курсоров, результатов измерений). Внешний монитор 172 может быть видеомонитором или компьютерным монитором, соединенным с видеоизмерительным устройством 100 для отображения различных изображений или данных.

[00031] Видеопроцессор 160 может предоставлять/принимать команды, информацию о состоянии, потоковое видео, статические изображения видео и графические наложения в процессор CPU 150 или от него и может включать матрицы FPGA, процессоры DSP или другие процессорные элементы, обеспечивающие такие функции как захват изображений, улучшение изображений, слияние графических наложений, исправление

45 искажений, усреднение по кадру, масштабирование, цифровое масштабирование, наложение, слияние, поворот, обнаружение движения, преобразование видеоформатов и сжатие.

[00032] Процессор CPU 150 может использоваться для управления пользовательским

интерфейсом путем приема ввода посредством джойстика 180, кнопок 182, клавиатуры 184 и/или микрофона 186 в дополнение к обеспечению других функций, включающих функции хранения и воспроизведения изображений, видеоинформации и аудиоинформации, функций управления системой и функции обработки измерений.

5 Джойстик 180 может управляться пользователем для выполнения таких операций как выбор пунктов меню, перемещение курсора, регулировка ползунка, управление сочленением зонда 102, и может включать функцию нажимной кнопки. Кнопки 182 и/или клавиатура 184 могут также быть использованы для выбора пунктов меню и подачи пользовательских команд в процессор CPU 150 (например, фиксирование или сохранение

10 статического изображения). Микрофон 186 может быть использован оператором для подачи голосовых инструкций для фиксирования или сохранения статического изображения.

[00033] Видеопроцессор 160 может также осуществлять связь с видеопамятью 162, которая используется видеопроцессором 160 для буферизации кадров и временного

15 хранения данных во время обработки. Процессор CPU 150 может также осуществлять связь с памятью 152 программ CPU, предназначенной для хранения программ, исполняемых процессором CPU 150. Кроме того, процессор CPU может быть связан с энергозависимой памятью 154 (например, RAM) и энергонезависимой памятью 156 (например, устройством флэш-памяти, жестким диском, DVD или устройством памяти

20 EPROM). Энергонезависимая память 156 является основным хранилищем потокового видео и статических изображений.

[00034] Процессор CPU 150 может также осуществлять связь с компьютерным интерфейсом 158 ввода/вывода, который обеспечивает различные интерфейсы к периферийным устройствам и сетям, таким как USB, Firewire, Ethernet, аудиоинтерфейс

25 ввода/вывода и беспроводные приемопередатчики. Упомянутый компьютерный интерфейс 158 ввода/вывода может быть использован для хранения, воспроизведения, передачи и/или приема статических изображений, потокового видео или аудио. Например, в компьютерный интерфейс 158 ввода/вывода может быть вставлены USB-драйв или карта памяти стандарта CompactFlash. Кроме того, видеоизмерительное

30 устройство 100 может быть сконфигурировано для передачи кадров изображений или потоковых видеоданных на внешний компьютер или сервер. Видеоизмерительное устройство 100 может включать стек протоколов связи TCP/IP и может входить в глобальную сеть, включающую множество локальных и удаленных компьютеров, каждый из которых также включает стек протоколов связи TCP/IP. В случае включения

35 стека протоколов TCP/IP видеоизмерительное устройство 100 включает несколько протоколов транспортного уровня, включая протоколы TCP и UDP, а также несколько протоколов других уровней, включая протоколы HTTP и FTP.

[00035] На фиг.2 представлен вид сверху механической конфигурации узла 220 головки зонда и съемного наконечника 230, проецирующего теневые картины в одном из

40 вариантов настоящего изобретения с использованием двух излучателей 211, 212 света и трех тенеобразующих элементов 289, 290, 291. Показанный на фиг.2 съемный наконечник 230 может крепиться на наружном конце узла 220 головки зонда. В корпусе съемного наконечника 230 может находиться набор оптики наблюдения, которая, в свою очередь, может состоять из оптики проецирования структурированного света и

45 светоприемной оптики.

[00036] В одном из вариантов осуществления изобретения съемный наконечник 230 может быть компонентом, выполненным отдельно от узла 220 головки зонда с возможностью крепления к узлу 220 головки зонда и отсоединения от узла 220 головки

зонда. В другом варианте осуществления изобретения, как указано выше, элементы съемного наконечника 230 могут быть размещены внутри корпуса узла 220 головки зонда или иным образом интегрированы в него. При этом элементы, описанные как размещенные в корпусе узла 220 головки зонда, могут быть размещены в корпусе съемного наконечника 230. Для упрощения описания рассматриваемые варианты осуществления изобретения относятся к съемному наконечнику 230, однако также возможны варианты осуществления изобретения, в которых элементы съемного наконечника 230 интегрированы в узел 220 головки зонда. Также для упрощения описания оптика наблюдения наконечника и оптика проецирования структурированного света или ее части описаны как находящиеся полностью внутри корпуса съемного наконечника 230. Однако эти компоненты могут быть размещены в соответствии с описанными выше вариантами осуществления изобретения, включающими их разделение между съемным наконечником 230 и узлом 220 головки зонда. В то время как описание относится к узлу головки 230 зонда видеоизмерительного устройства 100, может использоваться также и другое устройство.

[00037] Оптика проецирования структурированного света может включать два или более излучателя 211, 212 света и один или более тенеобразующих элементов 289, 290, 291. Тенеобразующие элементы 289, 290, 291 и излучатели 211, 212 света могут быть интегрированы в узел 220 головки зонда или подключаться как часть съемного наконечника 230 при общем наблюдении, так что тенеобразующие элементы 289, 290, 291 и излучатели 211, 212 света могут быть использованы для снятия измерений или для определения пространственных отношений наблюдаемого объекта 206 без смены наконечников наблюдения. Излучатели 211, 212 света могут быть отдельными светодиодами (light emitting diodes, LED), оптоволоконном, лазерами или иными источниками излучения света. Излучатели 211, 212 света могут одиночными или множественными, тонкими, удлиненными или имеющими любую требуемую форму. Может быть использован любой небольшой излучатель света высокой яркости, который формирует в должной степени равномерный выходной сигнал. Специалистам могут быть очевидны соответствующие альтернативы. Использование небольших излучателей 211, 212 света и меньшего их количества позволяет сохранить физическое пространство и достичь малого размера съемного наконечника 230 или большего пространства для увеличения степени интеграции съемного наконечника 230.

[00038] Излучатели 211, 212 света могут быть жестко закреплены относительно друг друга и/или относительно съемного наконечника 230. Одиночный кристалл 286 интегральной схемы может включать излучатели 211, 212 света, что, по существу, задает их относительное расположение. Излучатели 211, 212 света могут испускать свет через отверстие 292 на наружном конце съемного наконечника 230. Отверстие 292 может представлять собой открытое окно или окно, частично или полностью закрытое стеклом, пластиком или иным светопропускающим материалом. Излучатели 211, 212 света могут выступать в роли источника света при общем наблюдении, или при общем наблюдении весь свет может обеспечивать альтернативный источник 228 света общего наблюдения, возможно, связанный со светопропускающим элементом 238.

[00039] На пути света, испускаемого излучателями 211, 212 света через отверстие 292, могут быть расположены один или более тенеобразующих элементов 289, 290, 291. Эти тенеобразующие элементы 289, 290, 291 могут быть расположены в отверстии 292 или рядом с ним. Если в отверстии 292 помещен светопропускающий материал, то тенеобразующие элементы 289, 290, 291 могут быть расположены на упомянутом светопропускающем материале, закреплены на нем или интегрированы в него.

Тенеобразующие элементы 289, 290, 291 могут быть твердыми объектами или могут быть нанесены на прозрачное окно. Для формирования тенеобразующих элементов 289, 290, 291 может также применяться жидкокристаллический дисплей (liquid crystal display, LCD). В случае применения жидкокристаллического дисплея оператор имеет

5 больше возможностей для управления тенеобразующими элементами, изменяя их размер, форму, затемнение, положение, а также их наличие.

[00040] В примере осуществления изобретения, показанном на фиг.2, три тенеобразующих элемента 289, 290, 291 могут быть сконфигурированы для проецирования теней, имеющих форму линий, полос или прямоугольников, которые

10 становятся более темными в направлении от длинных сторон к центру. Однако может быть использовано любое количество тенеобразующих элементов 289, 290, 291.

Поскольку на фиг.1 представлен двумерный вид сверху, глубина (т.е. размерность в продольном направлении) тенеобразующих элементов 289, 290, 291 не показана. В одном из вариантов осуществления изобретения тенеобразующие элементы 289, 290,

15 291 могут быть уже ширины излучателей света. Сохранение необходимой формы проецируемых теней возможно путем применения тенеобразующих элементов 289, 290, 291, ширина которых не превосходит удвоенной ширины излучателей 211, 212 света.

В проиллюстрированном примере осуществления изобретения ширина тенеобразующих элементов 289, 290, 291 приблизительно равна ширине излучателей 211, 212 света.

20 Альтернативно, тенеобразующие элементы 289, 290, 291 могут иметь различную форму или размер для формирования теней необходимой ширины, длины или формы.

[00041] Тенеобразующие элементы 289, 290, 291 могут заграждать часть света, испускаемого излучателями 211, 212 света, так что впереди узла 220 головки зонда и/или съемного наконечника 230 могут проецироваться теневые картины 201, 202,

25 представляющие собой картины света и тени. Излучатели 211, 212 света могут включаться поочередно. Теневая картина 201 может проецироваться при включенном первом излучателе 211 света, а теневая картина 202 может проецироваться при включенном втором излучателе 212 света. Когда излучатели 211, 212 света включены, источник света 228 общего наблюдения может быть отключен. Излучатели 211, 212

30 света и тенеобразующие элементы 289, 290, 291 могут быть расположены и сконфигурированы таким образом, что если излучатели 211, 212 света испускают свет одновременно, то проецируемые теневые картины 201, 202 имеют чередующиеся области света и тени. Другими словами, если теневые картины 201, 202 накладываются друг на друга, то тени в наложенных теневых картинах 201, 202 могут не перекрываться.

35 Проецируемые тени могут иметь резкие границы или могут плавно переходить в светлую область. Однако по мере приближения к центру тени в направлении оси X от резкой границы или плавного перехода значения яркости тени уменьшаются.

[00042] Использование излучателей 211, 212 света с узким лучом обеспечивает относительно узкие тени. Использование узких тенеобразующих элементов 289, 290,

40 291, ширина которых примерно равна ширине излучателей 211, 212 света или находится внутри диапазона ширины излучателей 211, 212 света, способствует обеспечению относительно узких теней, которые не перекрываются. Если тенеобразующие элементы 289, 290, 291 слишком широкие, то проецируемые тени могут также иметь большой размер, при этом тени, проецируемые от одного излучателя 211, 212 света могут

45 перекрывать тени, проецируемые от другого излучателя 211, 212 света. Если тенеобразующие элементы 289, 290, 291 слишком узкие по сравнению с излучателями 211, 212 света, то свет может проходить под углом через тенеобразующие элементы 289, 290, 291 и попадать в центральную область проецируемой тени, в результате чего

ть может быть слабой или нечеткой. Увеличение ширины тенеобразующих элементов 289, 290, 291 до ширины, равной ширине источников 211, 212 света, обеспечивает относительно четкие и узкие тени, которые не перекрываются.

[00043] Питание излучателей света может осуществляться обычными способами.

5 Например, как показано на фиг.2, излучатели 211, 212 света могут принимать электрические сигналы, включая электропитание, по первому набору 240 проводов, соединенных с излучателями 211, 212 света. Первый набор 240 проводов может оканчиваться первым набором 250 электрических контактов, который, в свою очередь, может присоединяться, с возможностью отключения, ко второму набору электрических
10 контактов (не показаны), расположенному в корпусе узла 220 головки зонда. Такая схема обеспечивает возможность подключения съемного наконечника 230 к узлу 220 головки зонда и отключения его от узла 220 головки зонда. Второй набор электрических контактов (не показан) может соединять второй набор электрических проводов (не показан), проходящих через переднюю часть узла 220 головки зонда. Провода ведут
15 к схеме управления (не показана) и/или источнику питания (не показан, см. фиг.1). Специалистам также очевидны другие схемы расположения проводов.

[00044] Например, в одном из альтернативных вариантов осуществления изобретения вместе с непараллельными излучателями 211, 212 света для управления ими могут быть использованы двунаправленная схема управления (не показана), одиночный провод
20 240 и, если необходимо, одиночный контакт 250. В данном варианте осуществления изобретения узел 220 головки зонда может быть использован для электрического заземления.

[00045] Светоприемная оптика принимает свет, проецируемый оптикой проецирования структурированного света и отражаемый от объекта 206 в поле обзора. Если объект
25 206 находится перед узлом 220 головки зонда, то проецируемые теневые картины 201, 202 проецируются на объект 206. Свет отражается от объекта 206 обратно в узел 220 головки зонда, где светоприемная оптика передает этот свет в оптику 122 зонда и формирователь 124 изображений. В примере осуществления изобретения, показанном на фиг.2, светоприемная оптика включает объектив 234 и призму 236. Объектив 234
30 может быть расположен над излучателями 211, 212 света и тенеобразующими элементами 289, 290, 291, под ними или сбоку от них. Объектив 234 может фокусировать изображение через призму 236 в оптику 122 зонда и формирователь 124 изображений. В данном примере осуществления изобретения расстояние, на которое объектив 234 смещен в сторону от излучателей 211, 212 света и/или тенеобразующих элементов 289, 290, 291,
35 может определять базовое разнесение. Использование ограниченного числа излучателей 211, 212 света и тенеобразующих элементов 289, 290, 291 и/или применение небольших излучателей 211, 212 света и небольших тенеобразующих элементов 289, 290, 291 позволяет сохранить дополнительное пространство для большего сдвига объектива 234, что увеличивает базовое разнесение и, следовательно, точность и/или разрешение
40 видеоизмерительного устройства 100.

[00046] Призма 236 может иметь форму, подходящую для направления света в соответствующем направлении. Показанная на фиг.2 призма 236 имеет трапецеидальную форму. Как известно специалистам, расположение оптики наблюдения наконечника в устройстве может изменяться отчасти в зависимости от конкретного
45 видеоизмерительного устройства 100, к которому съемный наконечник 230 может быть прикреплен и от которого съемный наконечник 230 может быть отсоединен, или с которым могут быть интегрированы элементы съемного наконечника 230. Например, в одном из альтернативных вариантов осуществления изобретения, излучатели 211,

212 света и/или тенеобразующие элементы 289, 290, 291 могут располагаться по обеим сторонам светоприемной оптики, что потенциально позволяет использовать большее число излучателей 211, 212 света и/или большее число тенеобразующих элементов 289, 290, 291 и/или потенциально обеспечивает повышенную плотность данных. В другом варианте осуществления изобретения объектив 234 и призма 236 отсутствуют, используется только оптика 122 зонда, уже имеющаяся в существующем видеоизмерительном устройстве 100.

[00047] Проецируемые теневые картины 201, 202 имеют траектории проецирования теней, отбрасываемых на расстояние по оси Z от съемного наконечника 230 до объекта, равное 50 мм ($\approx 1,9685$ дюйма), при этом тени проецируют на плоскую матовую белую поверхность. Показанное двумерное распределение представляет собой вид сверху поля обзора. Траектории теней представлены линиями 221, 222, 231, 232, 241 и 242. Линии 313, 314 представляют собой границы поля обзора. Линии 221, 231 и 241 представляют тени, проецируемые с помощью трех тенеобразующих элементов 289, 290 и 291, когда включен первый излучатель 211 света. Линии 222, 232 и 242 представляют центры теней, проецируемых в поле обзора с помощью тех же трех тенеобразующих элементов 289, 290 и 291, когда включен второй излучатель 212 света. Центральный тенеобразующий элемент 290 расположен вблизи начала координат (0, 0). Излучатели 211, 212 света расположены по оси Z в направлении отрицательных значений от точки начала координат. За точку начала координат альтернативно может быть принято другое положение, например, положение одного из излучателей 211 или 212 света или центральная точка между излучателями 211 и 212 света.

[00048] Как показано на фиг.2, положения теней изменяются в зависимости от расстояния до съемного наконечника 230, и это изменение может быть предсказуемо. Следовательно, путем определения того, где в поле обзора на объект 206 падают тени, можно определять расстояние до объекта 206 в измеряемом положении и его масштаб. На основе известной геометрии элементов, например, оптики наблюдения в съемном наконечнике 230, видеоизмерительное устройство 100 может быстро и автоматически определять расстояние до объекта 206 посредством триангуляции без участия человека. Таким образом, видеоизмерительное устройство 100 может обеспечивать автоматическое измерение расстояния до объекта и других пространственных характеристик. Однако тени не всегда четко определены в изображениях, захваченных при освещении одним из излучателей 211, 212 света. Например, может оказаться непросто определить положение границ или центров теней с высокой точностью вследствие неоднородностей поверхности, вызывающих отражение света или создающих дополнительные тени. Однако могут быть более точно определены положения теней или точек в тени на объекте 206 в поле обзора.

[00049] Для запуска последовательности захвата изображений, обеспечивающей определение пространственных характеристик наблюдаемого объекта 206, включая расстояние до объекта, может быть захвачено изображение 300 общего наблюдения при включенным источнике 228 света общего наблюдения и выключенных излучателях 211, 212 света. На фиг.3 проиллюстрирована одна строка пиксельного изображения 300 общего наблюдения плоского белого объекта 206, расположенного на расстоянии 50 мм от съемного наконечника, показанного на фиг.2, при этом изображение 300 общего наблюдения захвачено во время общего наблюдения с помощью съемного наконечника, показанного на фиг.2, и видеоизмерительного устройства 100, показанного на фиг.1, в одном из вариантов осуществления настоящего изобретения. В качестве примера пиксельное изображение 300 общего наблюдения содержит 48 строк и 64

столбца пикселей. Строк и столбцов может быть гораздо больше, например, без ограничения этим, 640×480 или 1280×1024. Изображение 300 общего наблюдения может быть захвачено с использованием источника 228 света общего наблюдения без проецирования теней. Однако, альтернативно, при общем наблюдении может использоваться один или более излучателей 211, 212 света. Может быть захвачено более одного изображения 300 общего наблюдения, при этом полученные значения могут быть усреднены. Каждый пиксель может иметь связанное с ним значение яркости (например, по шкале серого от 0 до 255).

[00050] Последовательность захвата изображений может быть продолжена захватом изображения 400 при отключенном источнике 228 света общего наблюдения, отключенном втором излучателе 212 и включенном первом излучателе 211. На фиг.4 проиллюстрирована одна строка пиксельного изображения 400 для плоского белого объекта 206, расположенного на расстоянии 50 мм от съемного наконечника, показанного на фиг.2, при этом изображение 400 захвачено при включенном первом излучателе 211 света и отключенных источнике 228 света общего наблюдения и втором излучателе 212 света с применением съемного наконечника 230, показанного на фиг.2. Также может быть захвачено множество изображений 400 при включенном первом излучателе, при этом значения, полученные из каждого изображения 400, могут быть усреднены. Каждый пиксель может иметь связанное с ним значение яркости (например, по шкале серого от 0 до 255). Центр каждой тени в проецируемой теневой картине 201 захвачен в пикселях C17, C37 и C57 строки R1 изображения. Каждая тень ослабляется по мере удаления от ее центра, то есть значения яркости каждого пикселя увеличиваются при перемещении влево или вправо от центра каждой тени.

[00051] Для продолжения последовательности захвата изображений может быть захвачено изображение 500 при отключенном источнике 228 света общего наблюдения, отключенном первом излучателе 211 и включенном втором излучателе 212. На фиг.5 проиллюстрирована одна строка пиксельного изображения 500 для плоского белого объекта 206, расположенного на расстоянии 50 мм от съемного наконечника, показанного на фиг.2, при этом изображение 500 захвачено при включенном втором излучателе 212 света и отключенных излучателе 228 света общего наблюдения и первом излучателе 211 света с применением съемного наконечника, показанного на фиг.2. Также могут захватываться множество изображений 500 при включенном втором излучателе, при этом значения, полученные из каждого изображения 500, могут быть усреднены. Каждый пиксель может иметь связанное с ним значение яркости (например, по шкале серого от 0 до 255). Центр каждой тени в проецируемой теневой картине 201 захвачен в пикселях C17, C37 и C57 строки R1 изображения. Каждая тень ослабляется по мере удаления от ее центра, то есть значения яркости каждого пикселя увеличиваются при перемещении влево или вправо от центра каждой тени.

[00052] Источник 228 света общего наблюдения и/или излучатели 211, 212 света могут включаться и/или выключаться быстро и/или автоматически после запуска последовательности захвата изображений для уменьшения смещения съемного наконечника 230 между захватами изображений и для большей способности захватывать изображения с идентичным полем обзора. Также, если применяют дополнительные излучатели света, могут быть захвачены дополнительные изображения при отдельном включении каждого дополнительного излучателя света.

[00053] В одном из вариантов осуществления изобретения первый излучатель 211 света может включаться для захвата съемным наконечником 230 и видеоизмерительным устройством 100 как изображения 400, так и изображения 500, при этом для захвата

отдельных изображений 400, 500 первый излучатель света может перемещаться из первого положения во второе положение.

[00054] В другом варианте осуществления изобретения второй излучатель 212 света может проецировать свет без тенеобразующего элемента 289, 290, 291, проецирующего тень. В этом случае излучатель 212 света может быть расположен таким образом, чтобы тенеобразующие элементы 289, 290, 291 не заграждали путь света, проецируемого от излучателя 212 света. Альтернативно, тенеобразующие элементы 289, 290, 291 могут быть подвижными, так чтобы они могли быть убраны на пути света излучателей 211, 212 света, если необходимо захватить изображение от одного из излучателей 212, 212 света без проецирования теневой картины 201, 202.

[00055] В другом варианте осуществления изобретения для захвата изображений съемным наконечником 230 и видеоизмерительным устройством 100 включают только первый излучатель 211 света и источник 228 света общего наблюдения.

[00056] На фиг.6 проиллюстрирован профиль 611 яркости первого изображения 400, показанного на фиг.4, и профиль 612 яркости второго изображения 500, показанного на фиг.5, вдоль одной строки пикселей, представляющей расстояние в направлении оси X в поле обзора. Яркость представлена с использованием шкалы от 0 до 1, где 1 соответствует наибольшей яркости. Профиль 611 яркости представляет значения яркости строки R1 первого изображения 400, захваченного при включенном первом излучателе 211 света. Профиль 612 яркости представляет значения яркости строки R1 второго изображения 500, захваченного при включенном втором излучателе 212 света.

Следовательно, впадины 621, 631 и 641 профиля яркости представляют затененные области в изображении 400, захваченном при включенном первом излучателе 211, а впадины 622, 632 и 642 профиля яркости представляют затененные области в изображении 500, захваченном при включенном втором излучателе 212. Основания соответствующих впадин 621, 631 и 641 профиля яркости представляют наиболее темные точки при включенном первом излучателе 211 света. Основания соответствующих впадин 622, 632 и 642 профиля яркости представляют наиболее темные точки при включенном втором излучателе 212 света. При расстоянии от съемного наконечника 230 до объекта, равном 50 мм, ширина поля обзора составляет приблизительно 80 мм, т.е. примерно от -40 мм до 40 мм. Основания впадин 622, 632 и 642 профиля яркости находятся приблизительно в положениях -38 мм, -8 мм и 21 мм, соответственно. Основания впадин 621, 631 и 641 профиля яркости находятся приблизительно в положениях -21 мм, -8 мм и 38 мм, соответственно.

[00057] Яркость каждой проецируемой теневой картины может быть откалибрована для окружающего света. Для уменьшения или устранения влияния окружающего света может быть захвачено изображение окружающего света, когда не включены ни излучатели 211, 212 света, ни источник 228 света общего наблюдения, чтобы можно было определить и вычесть яркость окружающего света.

[00058] На фиг.7 проиллюстрированы кривые 711, 712 отношений яркостей двух проецируемых теневых картин 201, 202 для одной строки пикселей, когда наблюдаемый объект 206 находится на расстоянии 50 мм от съемного наконечника 230 в одном из вариантов осуществления настоящего изобретения, показанном на фиг.2. Кривая 711 отношения яркостей показывает отношение значений яркости изображения 400 от первого излучателя, показанного на фиг.4, к значениям яркости изображения 500 от второго излучателя, показанного на фиг.5, а кривая 712 отношения яркостей показывает отношение значений яркости изображения 500 от второго излучателя, показанного на фиг.5, к значениям яркости изображения 400 от первого излучателя, показанного на

фиг.4, вдоль одной строки пикселей. Кривые 711, 721 отношений яркостей могут быть определены для получения более четких точек в тенях. Отношения яркостей могут быть определены путем деления каждого из профилей 611, 612 яркости по всей ширине проецируемых теневых картин 201, 202 в поле обзора на другой из профилей 611, 612 яркости. Кривая 711 отношения яркостей, имеющая локальный максимум отношения яркостей в каждом пике 721, 731 и 741 отношения яркостей, может быть получена путем деления значений яркости каждого пикселя в строке R1 изображения 500, полученного при включенном втором излучателе 212 света, на значения яркости каждого пикселя в строке R1 изображения 400, захваченного при включенном первом излучателе 211.

Вторая кривая 712 отношения яркостей, имеющая локальный максимум отношения яркостей в каждом пике 722, 732 и 742 отношения яркостей, может быть получена путем обратного деления. Каждая кривая 711, 712 демонстрирует острый пик отношения яркостей в центре каждой тени, где тень наиболее темная. Например, пик 742 отношения яркостей соответствует впадине 642 показанного на фиг.6 профиля яркости и показанной на фиг.2 линии 232 на расстоянии 50 мм. Пики 721, 731, 741, 722, 732, 742 кривых 711, 712 отношения яркостей могут быть практически параболическими, тогда как впадины 621, 631, 641, 622, 632, 642 профилей 611, 612 яркости могут быть практически линейными.

[00059] Если захватывают только изображение 400 первого излучателя с теневой картиной 201, то для получения значений отношения яркостей может выполняться аналогичная операция деления с использованием значений яркости изображения 400, а также либо значения яркости изображения 300 общего наблюдения, либо значения яркости изображения 500 от второго излучателя без проецирования теневых картин 201, 202. Острые пики 721, 731, 741 могут по-прежнему появляться, поскольку значения яркости в изображении без теневых картин 201, 202 могут быть высокими, а деление высоких значений на низкие значения в основаниях впадин 621, 631, 641 профилей яркости может дать в результате большие величины.

[00060] В проиллюстрированном примере V-образные впадины 621, 631, 641, 622, 632, 642, показанные на фиг.6, легко определимы. Однако, как правило, от неплоской, негладкой и/или неравномерной поверхности свет отражается неравномерно вследствие контуров поверхности и неоднородного поглощения света, что приводит к большим изменениям яркости изображения. Особенности поверхности, например, линии или трещины, создающие темные линии в изображении, трудно отличить от теней, и они могут изменять истинное положение теневых впадин. Тени могут также деформироваться контурами поверхности. В таких случаях V-образные впадины 621, 631, 641, 622, 632, 642 профиля яркости, показанного на фиг.6, может оказаться трудно определить непосредственно. Каждая параболическая показанная на фиг.7 кривая, полученная путем определения отношений яркостей, обеспечивает более четкую точку, которая может быть легче и в отдельности идентифицирована. Более острые пики 721, 731, 741, 722, 732 и 742 могут быть легче различимы в силу их остроты.

[00061] Расстояние до объекта также может быть определено с использованием локальных минимумов отношения яркостей. Например, впадины 751, 761 отношения яркостей, которые представляют собой локальные минимумы отношения яркостей между пиками 721, 731, 741 отношения яркостей, могут быть распознаны и использованы для определения расстояния до объекта. Впадины 751, 761 отношения яркостей могут коррелировать с соответствующим пиком 732, 742 отношения яркостей. Например, впадины 751, 761 отношения яркостей могут быть получены с помощью обратного деления, используемого для определения пиков 732, 742 отношения яркостей.

Аналогично, каждая впадина 752, 762 отношения яркостей (например, локальный минимум отношения между всеми пиками 722, 732, 742 отношения яркостей), которая может коррелировать с соответствующим пиком 721, 731 отношения яркости, может также быть распознана и использована для определения расстояния до объекта. Впадины 5 751, 761, 752, 762 отношения яркостей могут быть легче идентифицированы, если впадины 751, 761, 752, 762 отношения яркостей и/или пики 721, 731, 741, 722, 732, 742 отношения яркостей сгруппированы более плотно, что дает более острую и узкую кривую во впадинах 751, 761, 752, 762.

[00062] При определении отношения яркостей, изменения отражающей способности 10 наблюдаемой поверхности, как описано выше, влияют на результирующие отношения 711, 712 яркостей незначительно, поскольку теневые картины 201, 202 искажаются одинаково. Например, если одна из точек на наблюдаемой поверхности отражает 20% падающего света, то 20% света в теневой картине 201, имеющей яркость 1201 падающего света, отражается, что дает отраженную яркость $0.2 \cdot 1201$. 20% света в теневой картине 15 202, имеющей яркость 1202 падающего света, также отражается, что дает отраженную яркость $0.2 \cdot 1202$. Отношение этих отраженных яркостей составляет $0.2 \cdot 1201 / (0.2 \cdot 1202)$ или $1201/1202$. Таким образом, отражательная способность поверхности фактически не влияет на отношение яркостей.

[00063] Несмотря на то, что большинство областей, исследуемых с использованием 20 видеоизмерительного устройства 100, содержат мало окружающего света, в отдельных приложениях окружающий свет может оказывать влияние. Окружающий свет может уменьшить темноту проецируемых теней, если яркость окружающего света значительна в сравнении с яркостью проецируемых картин в теневых областях. В таких случаях значения пиков 721, 731, 741, 722, 732 и 742 отношения яркостей уменьшаются, и в 25 зависимости от степени их уменьшения может уменьшиться надежность и/или точность определения положения пиков отношения яркостей. Для противодействия этому эффекту в одном из вариантов осуществления изобретения захватывают одно или более изображений окружающего света при отключенных излучателях 211, 212 света и источнике 228 света общего наблюдения. Значения яркости пикселей в изображениях 30 окружающего света затем вычитают из значений яркости пикселей изображений 400, 500 излучателей перед определением отношений яркостей. Если окружающий свет в промежутке между моментами времени захвата изображений 400, 500 меняется незначительно, его воздействие сильно уменьшается, что в результате дает увеличенные пики отношения яркостей. В одном из вариантов осуществления изобретения все пики 35 отношения яркости ниже определенного порогового значения пика (например, 5), могут быть отфильтрованы для отбрасывания всех пиков, причиной которых может быть падающий свет и/или затемнение.

[00064] Может быть определен каждый пиксель локального экстремума отношения яркостей (например, каждый пиксель, содержащий пик отношения яркостей или впадину 40 отношения яркостей). На фиг.8 представлена схема, иллюстрирующая определение пикселей 802 пика отношения яркостей, соответствующих пикам 721, 731, 741, 722, 732, 742 отношения яркостей, для одной строки R1 пикселей в соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения. Каждый пиксель может быть проанализирован. Строка R1 иллюстрирует пиксели 802 с пиком отношения яркостей, 45 в которых находятся пики 721, 731, 741, 722, 732, 742 отношения яркостей, показанные в качестве примера на фиг.7. Пиксели 802 с пиком отношения яркостей, содержащие пики 721, 731, 741, 722, 732, 742 отношения яркостей, обозначены с помощью закрашенных прямоугольников в строке R1 и столбцах C7, C17, C27, C37, C47 и C57.

Поскольку в рассматриваемом варианте осуществления изобретения поверхность гладкая и плоская, продемонстрированные закрашенные прямоугольники будут также проходить в прямых столбцах через остальные строки при условии, что тенеобразующие элементы 289, 290, 291 достаточно длинны и проецируют тень в направлении оси Y, которая полностью покрывает представленное поле обзора. Эти столбцы представляют проецируемые теневые картины 201, 202 в плоскости X-Y.

[00064] Неплоская и/или негладкая поверхность вводит дополнительную размерность Z, которая может быть захвачена в этом представлении X-Y с линиями, которые выглядят изогнутыми, разорванными или другим образом искривленными. Плоскость X-Y можно рассматривать как двумерную плоскость, полученную в результате сворачивания трехмерного пространства, занятого наблюдаемым объектом 206.

Упомянутое трехмерное пространство может быть свернуто в плоскость X-Y пикселей в направлении наблюдения объектива 234. В этом случае, поскольку объект 206 плоский, плоскость X-Y представляет собой, действительно, только двумерную плоскость. Тени могут проецироваться от съемного наконечника 230 так, что любые изменения объекта 206 по оси Z могут быть захвачены вдоль путей проецируемых теней как изменения теней вдоль оси X. Изменения теней вдоль оси X могут быть отмечены сдвигом пика отношения яркостей влево или вправо от закрашенных пикселей 802 с пиком отношения яркостей, показанных на фиг.8.

[00066] Таким образом, положения теней в плоскости X-Y могут быть использованы для определения расстояния до объекта по оси Z в этих положениях. Расстояние до объекта по оси Z каждой тени от съемного наконечника 230 может быть предсказано на основе положения пикового значения отношения яркостей в плоскости X-Y пикселей, на основе известной геометрии излучателей 211, 212 света, тенеобразующих элементов 289, 290, 291 и/или другой оптики наблюдения в наконечнике, например, объектива 234 (например, с использованием триангуляции по известным точкам и углам элементов). Например, при использовании известной геометрии оптики наблюдения в наконечнике, если известно, что пиксель 802 с пиком отношения яркостей в строке R1 и столбце C7 будет содержать пиксель с пиковым значением отношения яркостей, связанный с траекторией 222 тени, когда наблюдаемый объект 206 находится в действительном положении, представленном пикселем в строке R1 и столбце C7, на расстоянии 50 мм от съемного наконечника 230, то, если проецируемые теневые картины 201, 202 порождают изображения с пиковым значением отношения яркостей в строке R1 и столбце C7, то этот пик определяют как связанный с теневой траекторией 222, и может быть определено, что объект 206, представленный строкой R1 и столбцом C7, находится на расстоянии 50 мм от съемного наконечника 230.

[00067] Изображения 400, 500 излучателей, захваченные каждым излучателем 211, 212 света, могут коррелировать с изображением 300 общего наблюдения, захваченным с использованием источника 228 света общего наблюдения. Следовательно, расстояние до объекта по оси Z, определенное для конкретных пикселей в изображениях 400, 500 излучателей, захваченных с использованием излучателей 211, 212 света, может также коррелировать с соответствующими пикселями в изображении 300 общего наблюдения, захваченном при включенном источнике 228 света общего наблюдения. Поскольку в примере, показанном на фиг.8, известно, что расстояние до положения на объекте 206, представленного пикселем 802 с пиком отношения яркостей в строке R1 и столбце C7 и теневой траекторией 222, составляет 50 мм, тот же пиксель в строке R1 и столбце C7 в изображении 300 общего наблюдения будет иметь расстояние до объекта, равное 50 мм. Оператор может определить расстояние от съемного наконечника 230 до

наблюдаемого объекта 206 или пространственные характеристики наблюдаемого объекта 206 в конкретных положениях объекта 206 с использованием изображения 300 общего наблюдения объекта 206.

[00068] Оптика проецирования структурированного света может быть сконфигурирована для формирования плотно сгруппированных пиков отношения яркостей. Подобная плотная группировка позволяет получить больше точек данных для достижения лучшего представления объекта 206. Расстояние до объекта в положениях объекта, в которых имеются промежутки между пиками отношения яркостей, может быть оценено на основе данных пикселей, расположенных вблизи пиков отношения яркостей, и/или могут быть вычислены или интерполированы пространственные характеристики областей с малым количеством или отсутствием данных на основе полученных данных. Например, если известны координаты X , Y и Z или строка, столбец и координата Z для каждого положения пика отношения яркостей или каждого пикселя 802 с пиком отношения яркостей, для определения функции $Z=f(X, Y)$ или $Z=f(\text{строка, столбец})$ может быть использована аппроксимация кривой. Прямота линий пиков теней в столбцах C7, C17, C27, C37, C47 и C57 в сочетании с равномерным интервалом между линиями в столбцах C7, C17, C27, C37, C47 и C57 указывают на постоянное расстояние до объекта в каждом положении, коррелированном с пикселями 802 пика отношения яркостей в столбцах C7, C17, C27, C37, C47 и C57. Такая равномерность в этих положениях указывает на плоскую гладкую поверхность. Если, например, вдоль всей длины пространства, представленного столбцом C17, был выявлен однородный выступ, то можно считать, что этот выступ равномерно спадает до полученных расстояний до объекта в столбцах C7 и C27.

[00069] Поскольку расстояние до объекта 206 вдоль оси Z меняется, в конкретном пикселе могут появляться различные тени. Различение теневых областей может быть важным для определения того, какая теневая область используется для определения расстояния до объекта. В одном из вариантов осуществления изобретения идентификация теневой области может выполняться путем проецирования одной из теневых областей отличным от других образом. Например, вместо тенеобразующих элементов 289, 290, 291 равной ширины, как показано на фиг.2, один из тенеобразующих элементов 289, 290, 291 может быть шире или уже других, в результате чего одна проецируемая тень отличается от остальных. Например, на фиг.9, центральный тенеобразующий элемент 290 является более узким, чем два боковых тенеобразующих элемента 289, 291. Все тенеобразующие элементы 289, 290, 291 расположены в отверстии 292.

[00070] На фиг.10 проиллюстрированы профили 911, 912 яркости одной строки пикселей для захваченных изображений плоского белого объекта 206 на расстоянии 50 мм от съемного наконечника 230, при этом одно изображение захвачено при включенном первом излучателе 211 света и одно изображение захвачено при включенном втором излучателе 212 света в одном из вариантов осуществления настоящего изобретения с применением двух излучателей 211, 212 света и трех тенеобразующих элементов 289, 290, 291, причем центральный тенеобразующий элемент 290 является более узким, чем боковые тенеобразующие элементы 289, 291. Фиг.10 идентична фиг.6 для расстояния 50 мм, за исключением влияния более узкого центрального тенеобразующего элемента 290, показанного на фиг.10. Две результирующие центральные тени, одна из которых формируется и захватывается при включенном первом излучателе 211 света, а вторая формируется и захватывается при включенном втором излучателе 212 света, могут быть более узкими и не такими темными в центре по сравнению с остальными тенями. Впадины 931 и 932 профиля яркости

демонстрируют эту отличительную особенность. Впадины 931 и 932 профиля яркости не так глубоки или не так широки по сравнению с впадинами 921, 922, 941 и 942 профиля яркости, что показывает, что тени, связанные с впадинами 931 и 932 профиля яркости, являются менее темными (например, имеют большую освещенность) и более узкими.

5 Это отличительное качество теней может более сильно проявляться в соответствующем отношении яркостей, показанном на фиг.11.

[00071] На фиг.11 показаны кривые 1011, 1012 отношения яркостей, которые представляют собой отношения яркостей профилей 911, 912 яркости, показанных на фиг.10. Два пика 1031, 1032 отношения яркостей, соответственно связанные со
10 значениями яркости профилей 911, 912 яркости во впадинах 931, 932 профиля яркости, значительно короче, чем остальные пики 1021, 1022, 1041, 1042 отношения яркостей и, следовательно, могут быть использованы для определения того, какая теневая траектория связана с каждым пиком отношения яркостей. Распознаваемые пики отношения яркостей могут быть использованы для определения расстояния от съемного
15 наконечника 230 до наблюдаемого объекта 206.

[00072] Могут применяться также и другие способы различения теневых областей. Например, в одном из вариантов осуществления изобретения для оценки расстояния до объекта на основе предполагаемой отражающей способности поверхности могут
20 быть использованы яркость изображения, усиление камеры, параметры экспозиции камеры и параметры управления излучателями света. Это оцененное расстояние до объекта может быть затем использовано вместе с известной геометрией проецирования для определения того, какая теневая область используется в этой геометрии, для определения правильного расстояния от съемного наконечника 230 до точек на поверхности наблюдаемого объекта 206.

25 [00073] В другом варианте осуществления изобретения может проецироваться еще одна теневая картина из другого положения на съемном наконечнике 230. Относительные положения проецируемых теневых картин 201, 202 могут быть использованы для различения линий пика отношения яркостей, например, показанных на фиг.8.

30 [00074] В данном описании представлены примеры, раскрывающие изобретение и включающие предпочтительный вариант его осуществления, которые служат для обеспечения специалистам возможности практической реализации изобретения, включая создание и применение любых устройств или систем и выполнение любых способов изобретения. Объем изобретения определяется формулой изобретения и может включать
35 другие примеры, очевидные специалистам. Такие примеры находятся в рамках формулы изобретения, если они имеют структурные элементы, не отличающиеся от указанных в формуле изобретения, или если они включают эквивалентные структурные элементы с несущественными отличиями от указанных в формуле изобретения.

Список обозначений

40 100 - видеоизмерительное устройство 102 - удлиненный зонд 110 - вставная трубка
112 - жгут формирователя изображений
120, 220 - узел головки зонда
122 - оптика зонда
124 - формирователь изображений
45 126 - гибридная схема формирователя изображений
128, 228 - источник света общего наблюдения
132 - оптика наблюдения в наконечнике
130, 230 - съемный наконечник

- 138, 238 - светопропускающий элемент
- 140 - электроника зонда
- 142 - интерфейсная электроника формирователя изображений
- 144 - калибровочная память
- 5 146 - микроконтроллер
- 150 - CPU
- 142 - память программ
- 154 - энергозависимая память
- 156 - энергонезависимая память
- 10 158 - компьютерный интерфейс ввода/вывода
- 160 - видеопроцессор(ы)
- 162 - видеопамять
- 170 - встроенный дисплей
- 172 - внешний монитор
- 15 180 - джойстик
- 182 - кнопки
- 184 - клавиатура
- 186 - микрофон
- 201, 202 - теневые картины
- 20 206 - наблюдаемый объект
- 211 - первый излучатель света
- 212 - второй излучатель света
- 221, 222, 231, 232, 241, 242 - линии, представляющие траектории теней
- 234 - объектив
- 25 236 - призма
- 240 - электрические провода
- 250 - контакты
- 286 - кристалл микросхемы
- 289, 291 - боковой тенеобразующий элемент
- 30 290 - центральный тенеобразующий элемент
- 292 - отверстие
- 300 - изображение общего наблюдения
- 313, 314 - линии, представляющие границы поля обзора
- 611, 612 - профили яркости
- 35 621, 622, 631, 632, 641, 642 - впадины профиля яркости
- 711, 712 - кривые отношения яркостей
- 721, 722, 732, 732, 741, 742 - пики отношения яркостей
- 751, 752, 761, 762 - впадины отношения яркостей
- 911, 912 - профили яркости
- 40 921, 922, 931, 932, 941, 942 - впадины профиля яркости
- 1011, 1012 - кривые отношения яркостей
- 1021, 1022, 1032, 1032, 1041, 1042 - пики отношения яркостей

Формула изобретения

- 45 1. Способ измерения на основе структурированного света для определения расстояния от зонда видеоизмерительного устройства до объекта, при этом видеоизмерительное устройство имеет первый излучатель света и второй излучатель света для испускания света на объект через отверстие по меньшей мере с одним тенеобразующим элементом

с образованием на объекте множества теней при включенных излучателях света, включающий следующие шаги:

захват по меньшей мере одного первого изображения объекта при включенном первом излучателе света и отключенном втором излучателе света, при этом упомянутое
5 первое изображение имеет первую тень, образованную упомянутым по меньшей мере одним тенеобразующим элементом,

захват по меньшей мере одного второго изображения объекта при включенном втором излучателе света и отключенном первом излучателе света, при этом второе изображение имеет вторую тень, образованную упомянутым по меньшей мере одним
10 тенеобразующим элементом,

определение первого множества значений яркости пикселей в упомянутом по меньшей мере одном первом изображении,

определение второго множества значений яркости пикселей в упомянутом по меньшей мере одном втором изображении,

определение отношений яркостей первого множества значений яркости пикселей в упомянутом по меньшей мере одном первом изображении ко второму множеству значений яркости пикселей в упомянутом по меньшей мере одном втором изображении
и
15

определение расстояния до объекта с использованием упомянутых отношений яркостей.
20

2. Способ по п.1, в котором шаг определения расстояния до объекта с использованием отношений яркостей включает распознавание по меньшей мере одного пикселя с экстремумом отношения яркостей в упомянутом по меньшей мере одном первом изображении, при этом упомянутый по меньшей мере один экстремум отношения
25 яркостей соответствует появлению первой тени, а также использование координат упомянутого по меньшей мере одного пикселя с экстремумом отношения яркостей для определения расстояния до объекта.

3. Способ по п.2, в котором упомянутый по меньшей мере один экстремум отношения яркостей представляет собой пик отношения яркостей, а упомянутый по меньшей мере
30 один пиксель с экстремумом отношения яркостей представляет собой пиксель с пиком отношения яркостей.

4. Способ по п.2, в котором упомянутый по меньшей мере один экстремум отношения яркостей представляет собой впадину отношения яркостей, а упомянутый по меньшей мере один пиксель с экстремумом отношения яркостей представляет собой пиксель с
35 впадиной отношения яркостей.

5. Способ по п.2, включающий следующие шаги:

определение отношений яркостей второго множества значений яркости пикселей в упомянутом по меньшей мере одном втором изображении к первому множеству значений яркости пикселей в упомянутом по меньшей мере одном первом изображении,

распознавание пикселей с экстремумом отношения яркостей в упомянутом по меньшей мере одном втором изображении, при этом экстремумы отношения яркостей
40 соответствуют появлению второй тени, и

распознавание и определение расстояния до объекта для по меньшей мере одного из упомянутых пикселей с экстремумом отношения яркостей.

6. Способ по п.1, включающий захват по меньшей мере одного изображения объекта при общем наблюдении при включенном источнике света общего наблюдения и при отключенных первом и втором излучателях света, при этом упомянутое изображение
45 общего наблюдения не имеет множества теней, образуемых упомянутым по меньшей

мере одним тенеобразующим элементом, и это изображение общего наблюдения отображают во время выполнения измерений с использованием расстояния до объекта.

7. Способ по п.1, в котором шаг определения первого множества значений яркости пикселей в упомянутом по меньшей мере одном первом изображении выполняют на основе усреднения множества первых изображений.

8. Способ п.1, в котором шаг определения второго множества значений яркости пикселей в упомянутом по меньшей мере одном втором изображении выполняют на основе усреднения множества вторых изображений.

9. Способ по п.1, в котором первое множество значений яркости пикселей в упомянутом по меньшей мере одном первом изображении включает значения яркости для строки пикселей в упомянутом по меньшей мере одном первом изображении.

10. Способ по п.3, в котором шаг распознавания по меньшей мере одного пикселя с пиком отношения яркостей в упомянутом по меньшей мере одном первом изображении, в котором по меньшей мере один пик отношения яркостей соответствует появлению первой тени, включает следующие шаги:

определение порогового значения пика и

удаление всех пиков отношения яркостей с отношением яркостей ниже порогового значения пика.

11. Способ по п.6, в котором шаг определения расстояния до объекта для пикселей в упомянутом по меньшей мере одном изображении общего наблюдения, соответствующих пикселям с экстремумом отношения яркостей в упомянутом по меньшей мере одном первом изображении, основан на известной геометрии по меньшей мере первого излучателя света и тенеобразующего элемента.

12. Способ по п.1, включающий следующие шаги:

захват по меньшей мере одного изображения объекта в окружающем свете при отключенных первом и втором излучателях света,

определение третьего множества значений яркости пикселей в упомянутом по меньшей мере одном изображении в окружающем свете,

вычитание третьего множества значений яркости пикселей упомянутого по меньшей мере одного изображения в окружающем свете из первого множества значений яркости пикселей в упомянутом по меньшей мере одном первом изображении и

вычитание третьего множества значений яркости пикселей упомянутого по меньшей мере одного изображения в окружающем свете из второго множества значений яркости пикселей в упомянутом по меньшей мере одном втором изображении.

13. Способ по п.6, включающий шаг определения расстояния до объекта для пикселей первого изображения путем интерполяции расстояний до объекта для соседних пикселей в упомянутом по меньшей мере одном изображении общего наблюдения, соответствующих пикселям с экстремумом отношения яркостей в упомянутом по меньшей мере одном первом изображении.

14. Способ по п.2, в котором шаг определения расстояния до объекта включает определение множества расстояний до объекта с использованием пикселей с экстремумом отношения яркостей и использование этого множества расстояний до объекта для оценки расстояния до объекта в положении пикселя без экстремума отношения яркостей.

15. Способ по п.14, в котором упомянутый шаг использования множества расстояний до объекта включает выполнение аппроксимации кривой с применением упомянутого множества расстояний до объекта.

16. Способ измерения на основе структурированного света для определения

расстояния от зонда видеоизмерительного устройства до объекта, при этом видеоизмерительное устройство имеет первый излучатель света и второй излучатель света, причем первый излучатель света может испускать свет на объект через отверстие по меньшей мере с одним тенеобразующим элементом с образованием на объекте по меньшей мере одной тени при включенном первом излучателе света, включающий следующие шаги:

захват по меньшей мере одного первого изображения объекта при включенном первом излучателе света и отключенном втором излучателе света, при этом упомянутое первое изображение объекта имеет первую тень, образованную упомянутым по меньшей мере одним тенеобразующим элементом,

захват по меньшей мере одного второго изображения объекта при включенном втором излучателе света и отключенном первом излучателе света,

определение первого множества значений яркости пикселей в упомянутом по меньшей мере одном первом изображении,

определение второго множества значений яркости пикселей в упомянутом по меньшей мере одном втором изображении,

определение отношений яркостей второго множества значений яркости пикселей в упомянутом по меньшей мере одном втором изображении к первому множеству значений яркости пикселей в упомянутом по меньшей мере одном первом изображении,

и

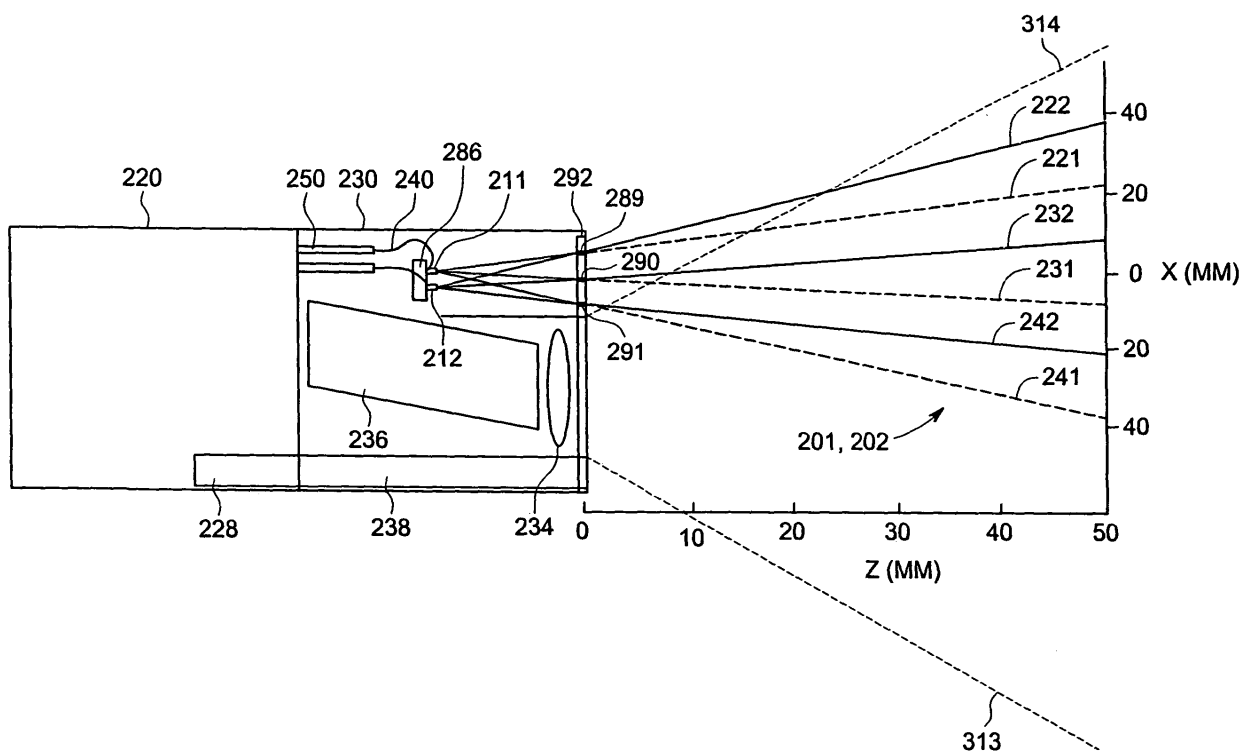
определение расстояния до объекта с использованием упомянутых отношений яркости.

17. Способ по п.16, в котором второй излучатель света испускает свет через отверстие с упомянутым по меньшей мере одним тенеобразующим элементом.

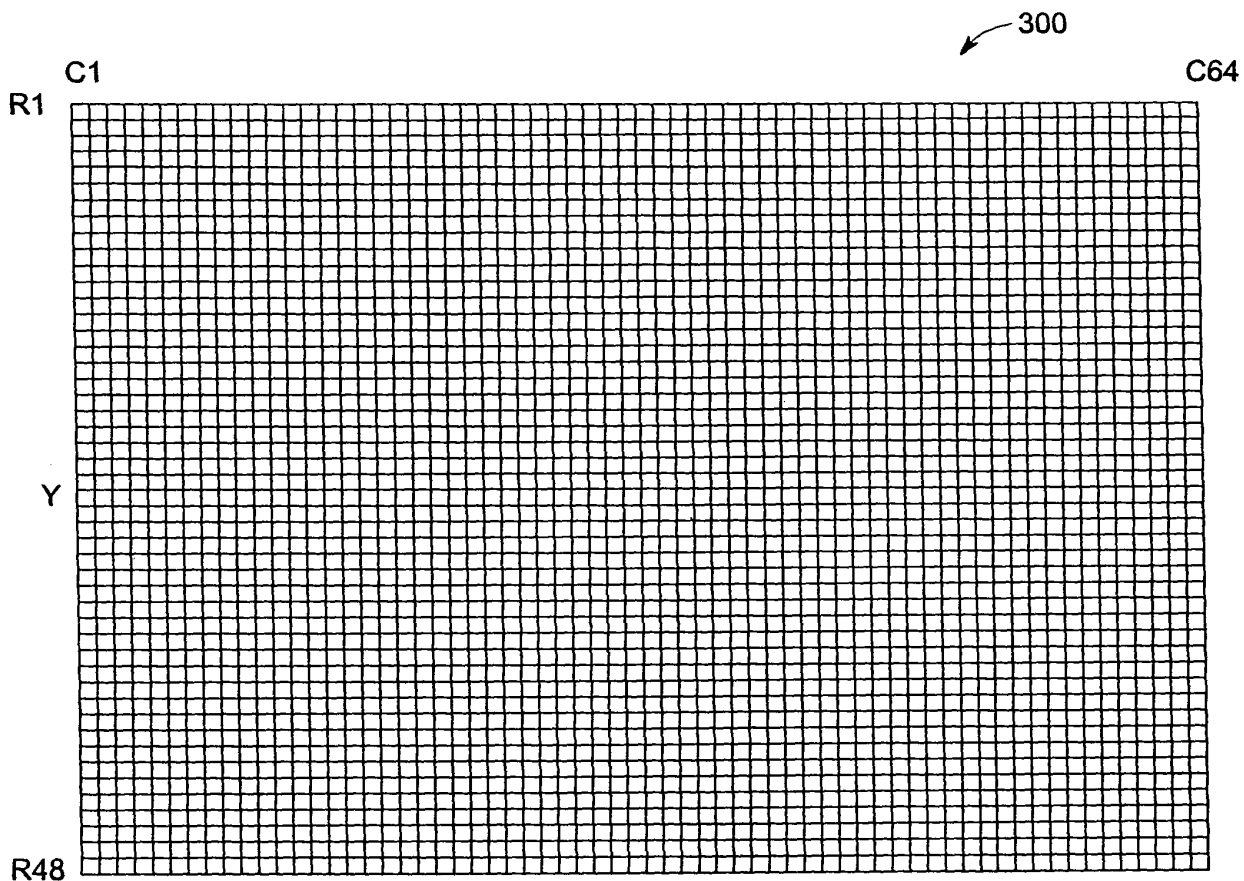
18. Способ по п.16, в котором первый излучатель света и второй излучатель света представляют собой единый излучатель света, а упомянутый тенеобразующий элемент выполнен с возможностью переключения между положением с образованием теней для захвата упомянутого по меньшей мере одного первого изображения и положением без образования теней для захвата упомянутого по меньшей мере одного второго изображения.

19. Способ по п.16, в котором упомянутые первый излучатель света и второй излучатель света представляют собой единый излучатель света, выполненный с возможностью переключения между состоянием с образованием теней для захвата упомянутого по меньшей мере одного первого изображения и положением без образования теней для захвата упомянутого по меньшей мере одного второго изображения.

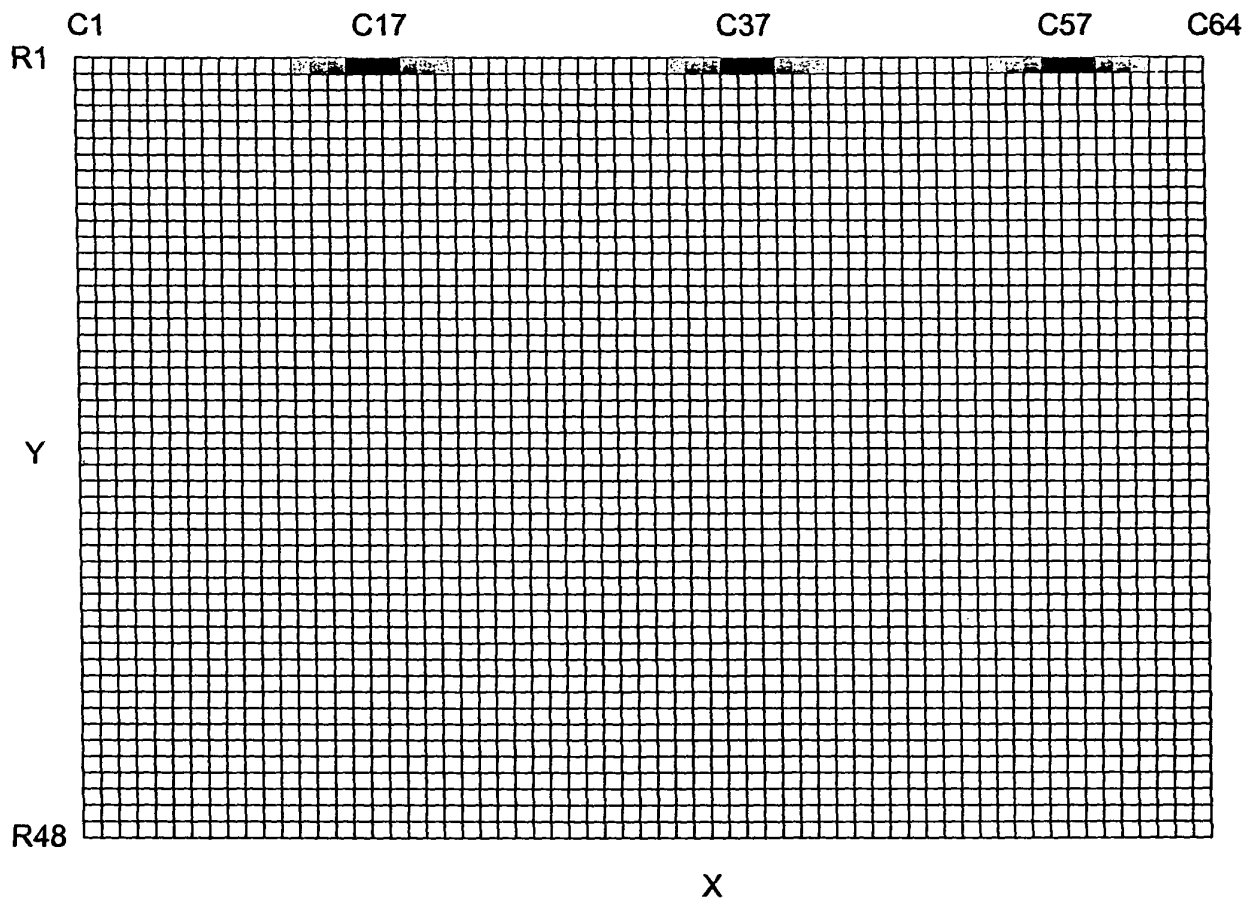
20. Способ по п.16, в котором упомянутый тенеобразующий элемент включает множество областей, которые могут переключаться между прозрачным и непрозрачным состоянием, при этом захватывают множество изображений, и каждое изображение из упомянутого множества изображений захватывают по меньшей мере с одной выбранной отличающейся непрозрачной областью.



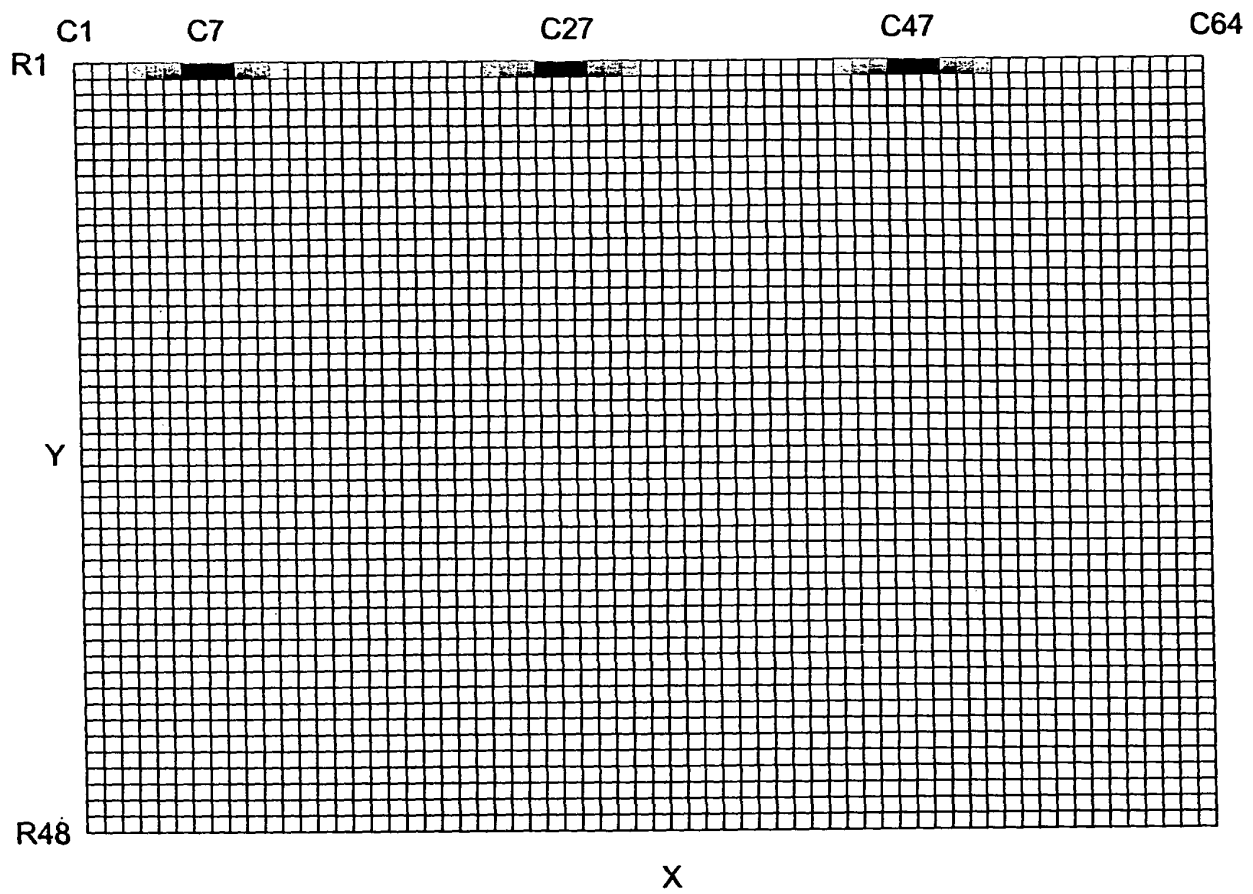
Фиг.2



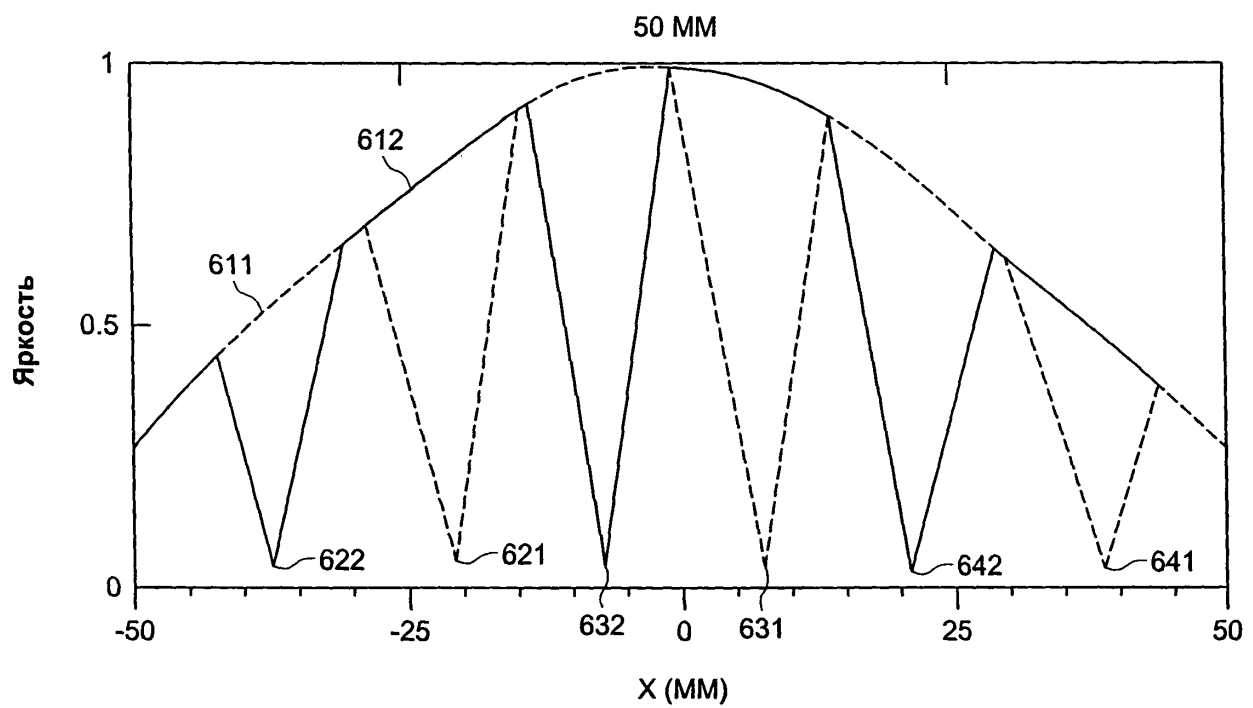
Фиг.3



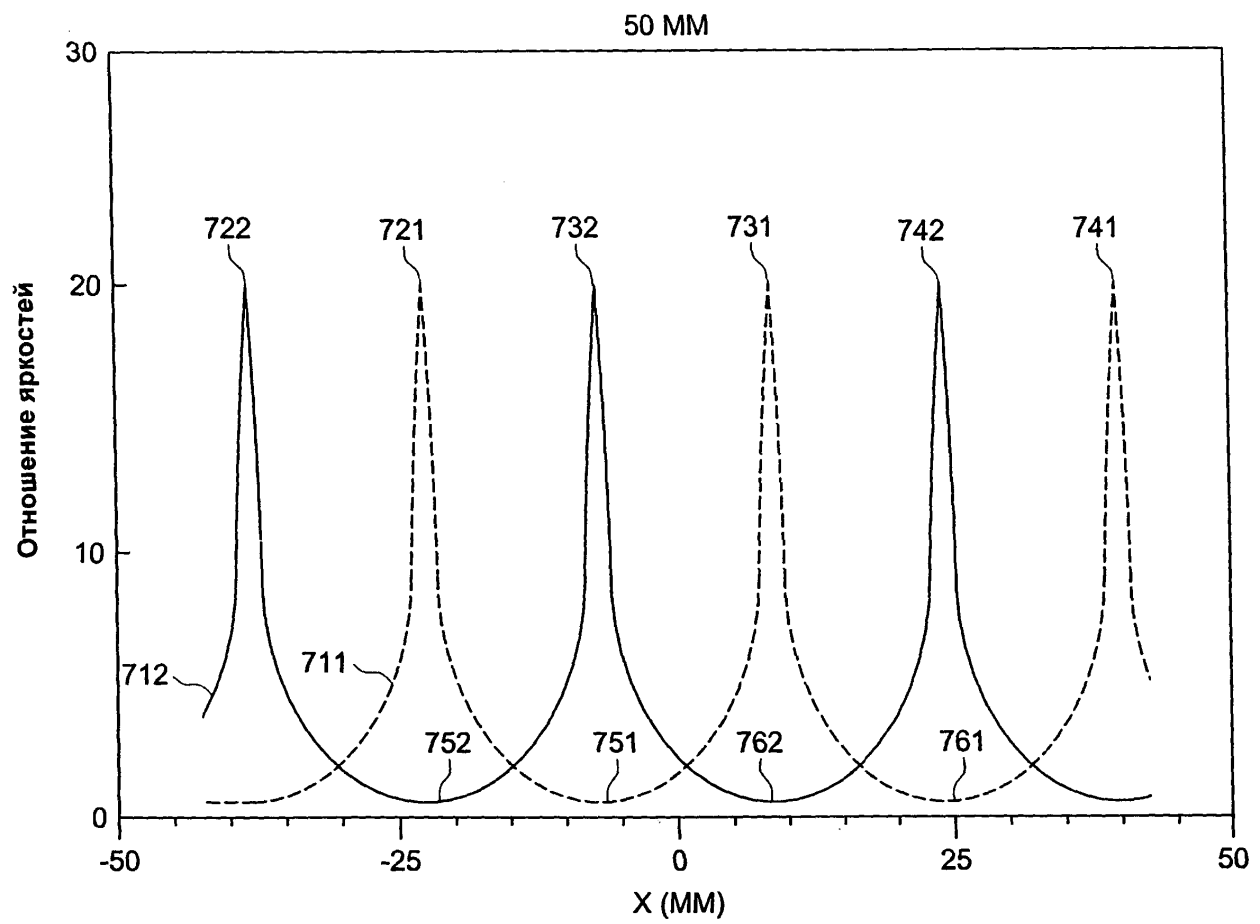
Фиг.4



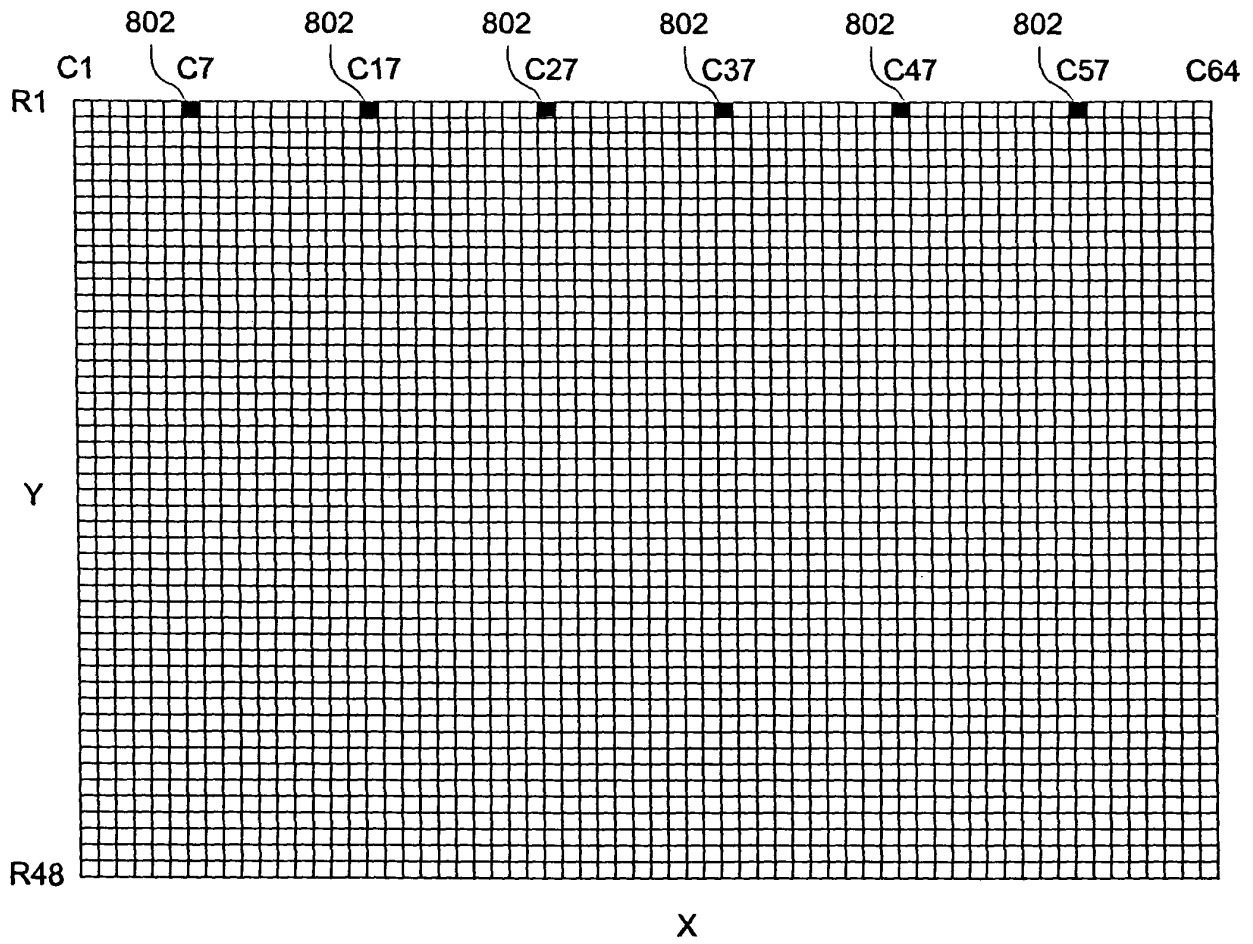
Фиг.5



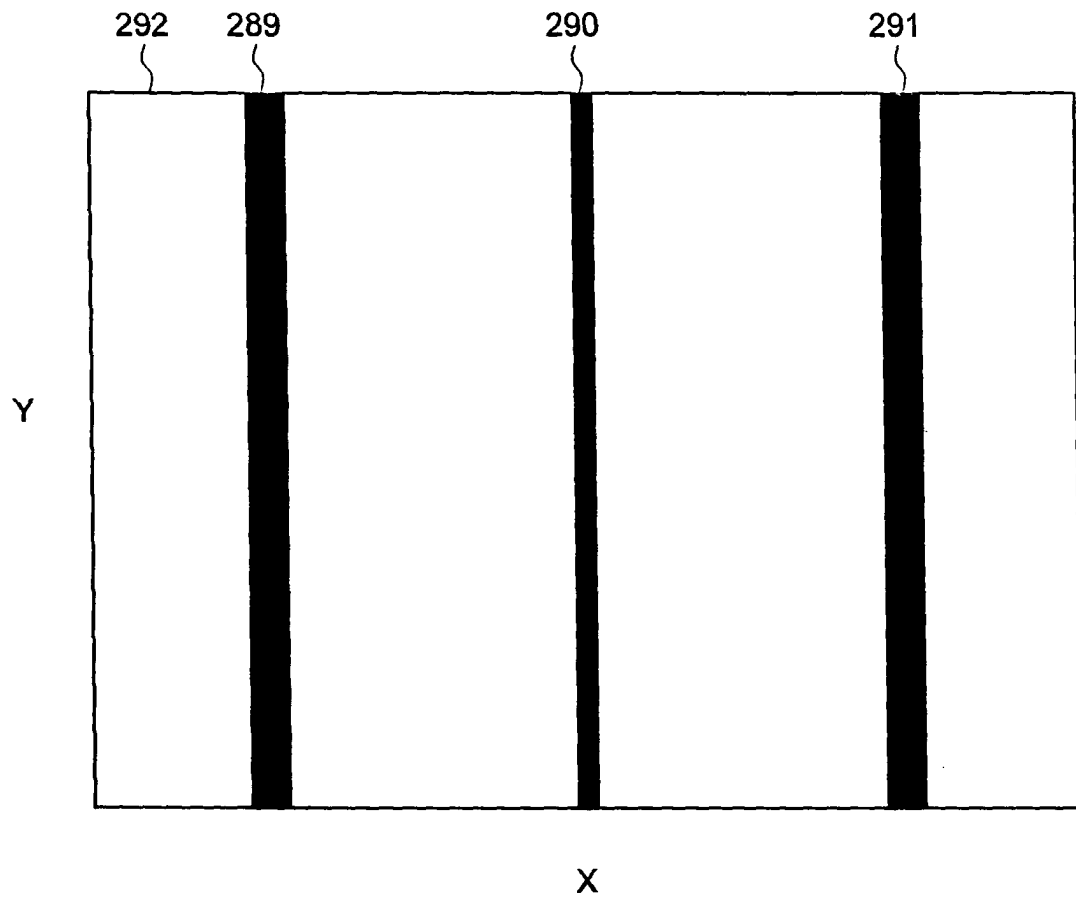
Фиг.6



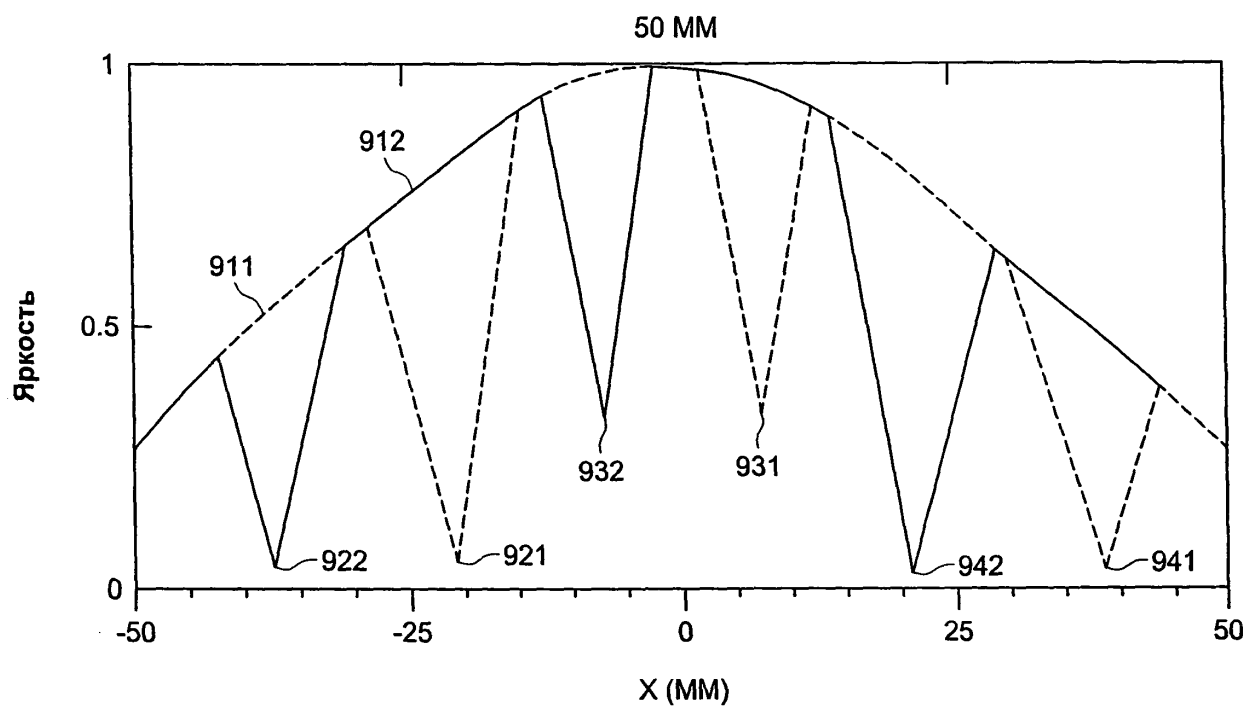
Фиг.7



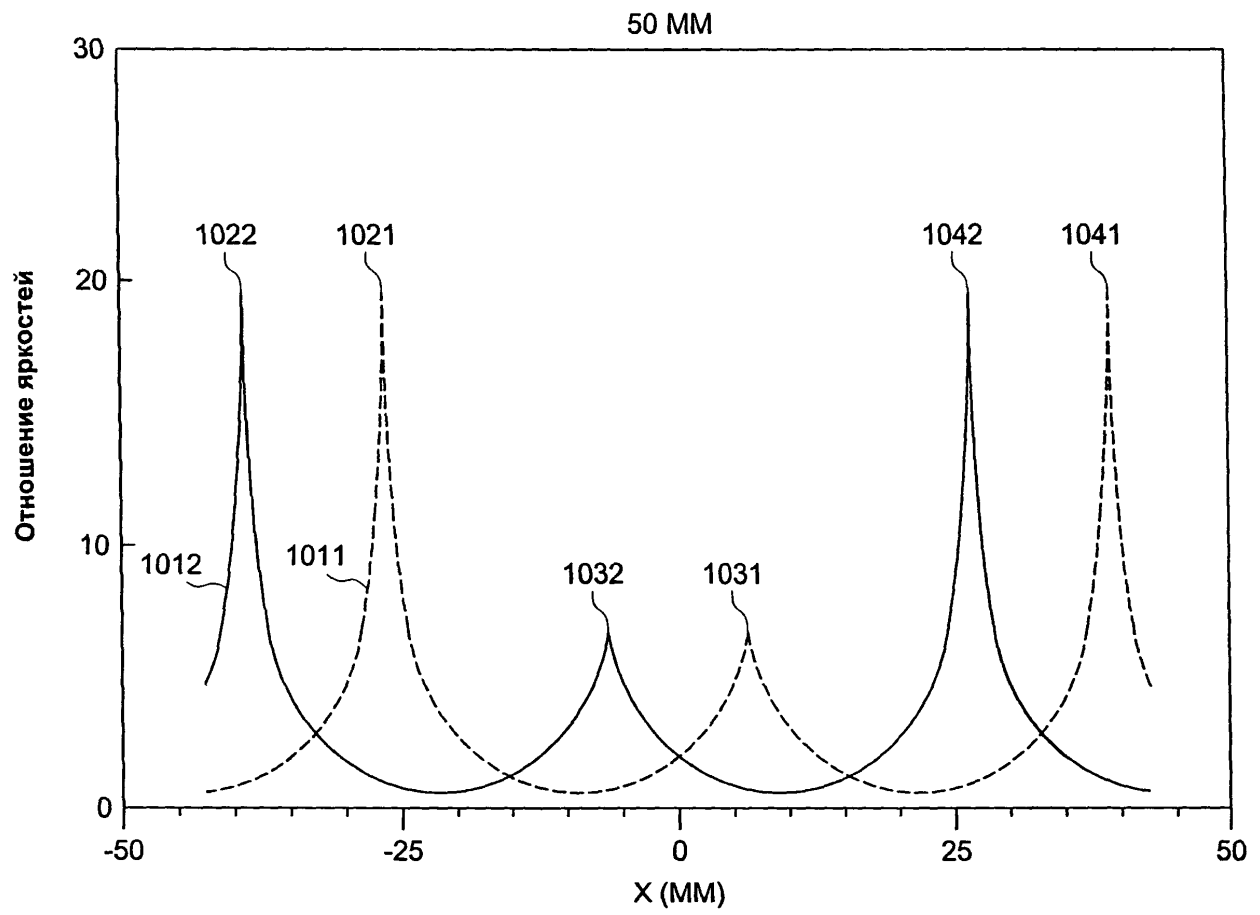
Фиг.8



Фиг.9



Фиг.10



Фиг.11