



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01S 17/02 (2023.08)

(21)(22) Заявка: 2023124916, 28.09.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
28.09.2023

Дата регистрации:
11.01.2024

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 28.09.2023

(45) Опубликовано: 11.01.2024 Бюл. № 2

Адрес для переписки:
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, ТУСУР

(72) Автор(ы):

Андрей Мовчан (KZ),
Курячий Михаил Иванович (RU),
Капустин Вячеслав Валериевич (RU),
Бородина Наталья (KZ)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Томский государственный
университет систем управления и
радиоэлектроники" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: SU 1840824 A1, 27.05.2012. RU
2757559 C1, 18.10.2021. RU 2237283 C2,
27.09.2004. RU 2354936 C2, 10.05.2009. RU
2483324 C1, 27.05.2013. RU 2587641 C2,
20.06.2016. RU 2760845 C1, 30.11.2021. US
7813037 B2, 12.10.2010.

(54) Устройство формирования изображения карты дальностей до наблюдаемых объектов

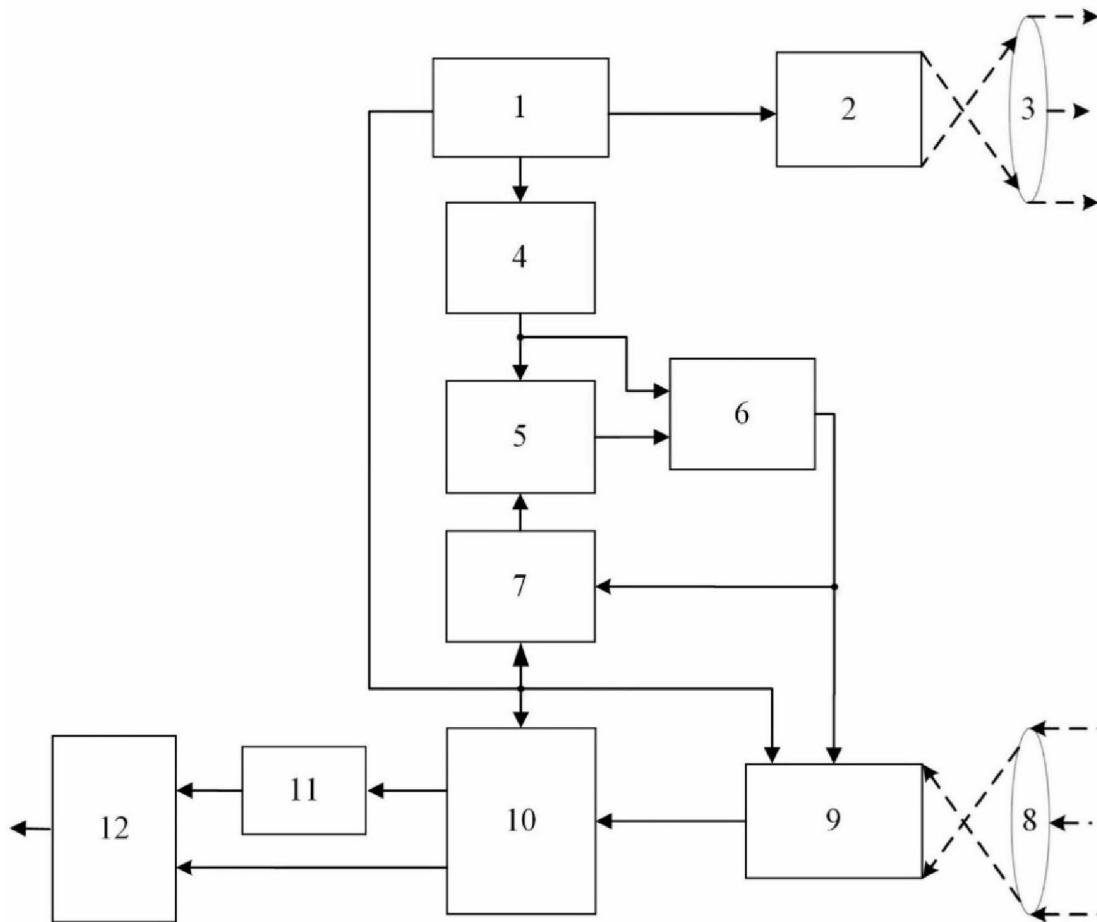
(57) Реферат:

Использование: изобретение относится к области неконтактного определения дальности до удаленных наблюдаемых объектов и может быть использовано для формирования изображений карт дальностей до наблюдаемых объектов. Сущность: в устройстве авторами предлагается формирование карты дальностей до наблюдаемых объектов с использованием одного матричного фотоприемника с импульсным динамическим экспонированием и одновременной обработкой нечетных и четных кадров, при этом каждый четный кадр изображения формируется за счет импульсной

экспозиции, соответствующей величине выбранного диапазона дальностей до наблюдаемых объектов, а каждый нечетный кадр изображения формируется с увеличением экспозиции по мере увеличения дальности, для формирования изображения карты дальностей до наблюдаемых объектов, а затем выполняется операция поэлементного деления значений амплитуд видеосигнала нечетного кадра на значения амплитуд видеосигнала четного кадра. Технический результат: повышение точности формирования изображения карты дальностей до наблюдаемых объектов. 2 ил.

RU 2 8 1 1 3 3 1 C 1

RU 2 8 1 1 3 3 1 C 1



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G01S 17/02 (2023.08)

(21)(22) Application: **2023124916, 28.09.2023**

(24) Effective date for property rights:
28.09.2023

Registration date:
11.01.2024

Priority:

(22) Date of filing: **28.09.2023**

(45) Date of publication: **11.01.2024** Bull. № 2

Mail address:
634050, g. Tomsk, pr. Lenina, 40, TUSUR

(72) Inventor(s):

**Andrei Movchan (KZ),
Kuriachii Mikhail Ivanovich (RU),
Kapustin Viacheslav Valerievich (RU),
Borodina Natalia (KZ)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniia «Tomskii gosudarstvennyi
universitet sistem upravleniia i radioelektroniki»
(RU)**

(54) **DEVICE FOR FORMING IMAGE OF MAP OF DISTANCES TO SURVEYED OBJECTS**

(57) Abstract:

FIELD: surveillance.

SUBSTANCE: non-contact determination of distance to distant observed objects used to generate images of range maps to surveyed objects. In the device, the authors propose the formation of a map of ranges to observed objects using one matrix photodetector with pulsed dynamic exposure and simultaneous processing of odd and even frames, while each even frame of the image is formed due to pulse exposure corresponding to the value of the selected range of distances to

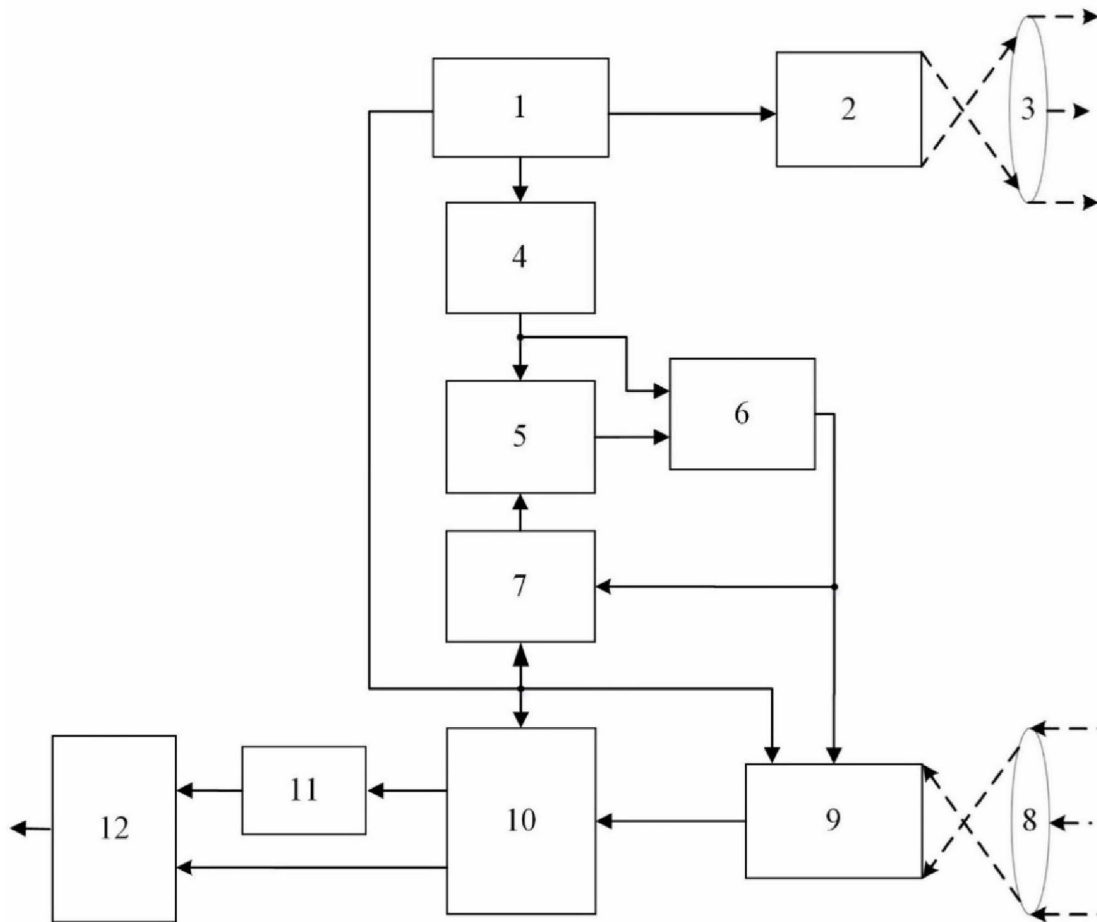
observed objects, and each odd image frame is formed with increasing exposure as the range increases to form an image of a map of ranges to the observed objects, and then the operation of element-by-element division of the video signal amplitude values of the odd frame by the video signal amplitude values of the even frame is performed.

EFFECT: increasing the accuracy of image formation of a map of ranges to surveyed objects.

1 cl, 2 dwg

RU 2 8 1 1 3 3 1 C 1

RU 2 8 1 1 3 3 1 C 1



Фиг. 1

Изобретение относится к области неконтактного определения дальности до удаленных наблюдаемых объектов и может быть использовано для формирования изображения карты дальностей до наблюдаемых объектов, в том числе, при навигации автономных мобильных роботов, беспилотных автомобилей (для обнаружения препятствий на дороге), подводных аппаратах, выполняющих обследование дна, а также в военном деле для определения дистанций до объектов и их габаритных размеров.

Для обнаружения, наблюдения и измерения основных параметров объектов, а также построения их трехмерных визуализаций используются телевизионные системы с импульсным методом наблюдения пространства [Волков, В.Г. Техническое зрение / В.Г. Волков, П.Д. Гиндин // Инновации. – М.: ТЕХНОСФЕРА. – 2014. – 840 с.]. Телевизионная система с импульсным методом наблюдения пространства и возможностью проведения измерений каких-либо параметров наблюдаемых объектов называется активно-импульсной телевизионной измерительной системой (АИ ТИС).

Так как АИ ТИС работает по принципу оптического локатора, то эту особенность можно использовать для определения дальности до объектов, находящихся в поле зрения системы, а также формирования карты дальностей до наблюдаемых объектов, где каждому пикселю двумерной картины соответствует дальность до объекта, который проецируется на этот пиксель.

Известные АИ ТИС имеют невысокую точность измерения дальности до объектов. Так при наблюдении объекта, находящегося в активной зоне видения (АЗВ), которая имеет треугольную форму используя известное значение текущей задержки стробирования можно оценить дальность до данного объекта. Однако при проведении такого однократного измерения максимальная ошибка может составлять до половины протяженности АЗВ и по разным источникам составляет от ± 5 метров или более [Волков, В.Г. Активно-импульсные ПНВ и тепловизионные приборы. Анализ возможности применения / В.Г. Волков // Фотоника. – 2007. - № 4. – С. 24 – 28], [Белоконев, В.М. Активно-импульсный ночной бинокль / В. М. Белоконев, М. А. Баюканский, В. Г. Волков, В. Л. Саликов, С. А. Украинский // Прикл. Физика. – 2007. № 5. С 127 – 129]. В некоторых исследованиях, посвященных повышению точности определения расстояния до объектов наблюдения, практически не учитывается форма АЗВ. Достаточно основательно подошли к вопросу определения расстояния до объектов при помощи АИ ТИС в работе [Горобец, В.А. Активно-импульсные системы видения и алгоритмы определения расстояний до объектов / В.А. Горобец // Журнал прикладной спектроскопии. – 2014. – Т. 81. – №. 2. – С. 283-291]. Основной идеей авторов является расчет формы АЗВ и ее характерных точек. Недостатком данного метода при его реализации является то, что авторы не учитывают форму импульсов подсвета пространства (ИПП) и стробирования электронно-оптического преобразователя, проводя вычисления исключительно с идеальными формами сигналов в виде прямоугольных импульсов.

Стремление к повышению точности измерения дальности в АИ ТИС приводит к методам, использующим множество двумерных изображений, получаемых изменением времени задержки импульса стробирования фотоприемника (ИСФ) относительно ИПП. К таким методам можно отнести метод максимального сигнала и метод сканирования по дальности поля зрения (depth scanning) [Kabashnikov, V., & Kuntsevich, B. (2017). Distance determination based on the delay time-intensity profile analysis in range-gated imaging. Applied Optics, 56(30), 8378-8384].

Используя метод максимального сигнала, ошибку измерения дальности можно достаточно просто уменьшить даже для протяженных АЗВ при условии их треугольной

формы. Для этого после обнаружения объекта необходимо изменять задержку стробирования до тех пор, пока яркость наблюдаемого объекта не станет максимальной, т.е. совместить середину треугольной АЗВ с положением данного объекта по дальности. Найденная таким образом задержка стробирования наиболее точно ($\pm 0,5$ м) укажет на дальность до объекта [Kabashnikov, V., & Kuntsevich, B. (2017, October). Method for distance determination using range-gated imaging suitable for an arbitrary pulse shape. In *Electro Optical and Infrared Systems: Technology and Applications XIV* (Vol. 10433, p. 1043309). International Society for Optics and Photonics]. Однако данный способ может быть весьма затратным по времени измерения, особенно при малом шаге изменения задержки стробирования. Кроме того перечисленные методы не обеспечивают условий для формирования карты дальностей до наблюдаемых объектов в реальном времени.

Для того чтобы сократить время измерения расстояний и формирования карты дальностей был предложен метод корреляции «расстояние-интенсивность» (range-intensity correlation). Принцип измерения расстояния, основан на использовании двух АЗВ, сдвинутых по задержке стробирования на время длительности ИПП. В настоящее время разработаны два варианта данного метода на основе разных АЗВ. Один вариант метода использует треугольные АЗВ [Xinwei, W., Yan, Z., Songtao, F., Jun, H., & Yuliang, L. (2011). Four dimensional flash trajectory imaging using time-delay-modulated range-gated viewing. *Optics letters*, 36(3), 364-366], а второй использует АЗВ трапецеидальной формы [Xinwei, W., Youfu, L., & Yan, Z. (2013). Triangular-range-intensity profile spatial-correlation method for 3D super-resolution range-gated imaging. *Applied optics*, 52(30), 7399-7406].

В работе [Кабашников, В.П. Погрешность определения расстояний методами корреляции расстояние-интенсивность для прямоугольной формы импульса подсветки / В.П. Кабашников, Б.Ф. Кунцевич // *Журнал прикладной спектроскопии*. – 2018. – 85 (4) – С. 645-651] проведен анализ погрешности определения расстояний данным методом в случае произвольной формы ИПП. Показано, что абсолютная ошибка пропорциональна длительности импульса отраженного сигнала. При этом для получения большого диапазона измерения дальности и соответственно большой протяженности карты дальностей требуется прямоугольная форма и большая длительность ИПП, что ограничивает разнообразность выбора импульсного лазерного источника и стробируемого фотоприемника.

Известно устройство, реализованное по способу определения пространственной формы объектов, патент SU 1840824 A1 [Варгин П.С. Способ определения пространственной формы объектов. АС СССР № 174185, заявка № 3015625 от 06.04.1981 г. Патент SU 1 840 824 A1. Бюл. 2012. № 15.], в котором объект подсвечивается импульсами лазерного излучения. Отраженный от объекта сигнал разделяют на два и каждый из этих сигналов преобразуют в двумерное изображение объекта. Оба изображения записывают, причем в процессе записи один из сигналов модулируют по интенсивности по выбранному закону и определяют пространственную форму удаленного объекта по форме двух записанных изображений, выбранному закону модуляции, форме импульсов и скорости распространения лазерного излучения.

Устройства, реализованные по данному способу, обладают недостатками, так как использование в прототипе двух неидентичных оптико-электронных каналов, включающих в себя два фотоприемных устройства и модулятор яркости будет приводить к существенному снижению точности определения дальности до объектов по полю изображения. Использование двух оптико-электронных каналов увеличивает массогабаритные параметры, стоимость устройства и снижает его надежность, а также требует калибровки яркостных и координатных искажений этих оптико-электронных

каналов.

Активно-импульсный прибор наблюдения – прототип заявляемого устройства содержит лазерный излучатель, приемник излучения, генератор импульсов включения излучателя и приемника, имеющий возможность регулировки задержки строба включения приемника относительно импульса излучателя, а также контроллер, автоматически задающий последовательность задержек импульсов включения приемника относительно импульсов включения излучателя переменной длительности [Голицын А. В. Активно-импульсный прибор наблюдения. Патент RU 2757559 C1, заявка № 2021102654 от 04.02.2021, Бюл. 2021 № 29, G01S 17/02].

Недостатком прототипа является низкая точность измерения дальности до наблюдаемых объектов.

Общими признаками прототипа и заявляемого изобретения являются: наличие лазерного излучателя (блок подсвета с оптической передающей системой), приемника излучения (приемной оптической системой со стробируемым матричным фотоприемником), генератора импульсов включения излучателя и приемника (генератора управляющих импульсов).

Целью настоящего изобретения является повышение точности формирования изображения карты дальностей до наблюдаемых объектов.

Поставленная цель достигается тем, что в устройстве авторами предлагается формирование карты дальностей до наблюдаемых объектов с использованием одного матричного фотоприемника с импульсным динамическим экспонированием и одновременной обработкой нечетных и четных кадров, при этом каждый четный кадр изображения формируется за счет импульсной экспозиции, соответствующей величине выбранного диапазона дальностей до наблюдаемых объектов, а каждый нечетный кадр изображения формируется с увеличением экспозиции по мере увеличения дальности, для формирования изображения карты дальностей до наблюдаемых объектов, а затем выполняется операция поэлементного деления значений амплитуд видеосигнала нечетного кадра на значения амплитуд видеосигнала четного кадра.

Устройство формирования изображения карты дальностей до наблюдаемых объектов, содержит генератор управляющих импульсов, первый выход которого формирует импульс подсвета пространства и соединен с входом блока подсвета, последовательно соединенного с оптической передающей системой, а также приемную оптическую систему, последовательно соединенную со стробируемым матричным фотоприемником, дополнительно введены в устройство линия задержки, вход которой соединен со вторым выходом генератора управляющих импульсов, формирующим импульс стробирования фотоприемника, а ее выход соединен с входом управляемой линии задержки и первым входом логической схемы «И», второй вход которой соединен с выходом управляемой линии задержки, при этом вход управления величиной задержки соединен с разрядными выходами счетчика, а его сбросовый вход в нулевое состояние соединен с третьим выходом генератора управляющих импульсов, формирующим сигнал логической «1» в нечетных кадрах, который также соединен с синхронизирующим входом стробируемого матричного фотоприемника, при этом четный вход счетчика соединен с выходом логической схемы «И», который также соединен с входом стробирования матричного фотоприемника, при этом его оптический вход соединен с выходом приемной оптической системы, а выход соединен с входом демультиплексора, управляющий вход которого соединен с третьим выходом генератора управляющих импульсов, при этом на первом выходе демультиплексора формируются изображения нечетных кадров, а на его втором выходе изображения четных кадров,

при этом, изображения с первого выхода демультиплексора подаются на вход линии задержки на кадр, выход которой соединен с первым входом делителя изображений, а, при этом, его второй вход соединен со вторым выходом демультиплексора и на выходе делителя изображений, который является выходом устройства, формируются
5 изображения карты дальностей до наблюдаемых объектов, как результат деления изображений в нечетных кадрах на изображения в четных кадрах.

На фиг.1 изображена схема устройства для формирования карты дальностей до наблюдаемых объектов при лазерной локации.

Работа устройства заключается в том, что объекты пространства подсвечиваются
10 импульсами лазерного излучения. Отраженный от объектов пространства оптический сигнал поступает на стробируемый матричный фотоприемник на котором формируется двумерное изображение объектов в определенном диапазоне дальностей пространства. Стробируемый матричный фотоприемник динамически экспонирует четные и нечетные кадры, при этом в четных кадрах изображение формируется при импульсной экспозиции,
15 соответствующей заданной величине выбранного диапазона дальностей до наблюдаемых объектов, а в нечетных кадрах с увеличением экспозиции по мере увеличения дальности до наблюдаемых объектов и для формирования изображения карты дальностей до наблюдаемых объектов выполняется поэлементное деление значений амплитуд видеосигнала нечетных кадров на значения амплитуд видеосигнала
20 четных кадров.

Согласно схеме, представленной на фиг. 1, устройство содержит, генератор управляющих импульсов 1, который формирует ИПП, ИСФ и сигнал нечетного кадра (СНК). При этом частота повторения ИПП и ИСФ кратно превышает кадровую частоту фотоприемника. ИПП поступает на блок подсвета 2, где формируется короткий
25 лазерный импульс, который после прохождения оптической передающей системы 3 в заданном угле поля зрения, например, 8x4 угловых градусов, облучает наблюдаемые объекты. Синхронно с ИПП со второго выхода блока 1 ИСФ поступает на линию задержки 4, которая определяет начало диапазона измерения дальности. Далее задержанный ИСФ поступает на управляемую линию задержки 5, задержка в которой
30 в случае формирования нечетного кадра определяется порядковым номером ИСФ. Управление величиной задержки в блоке 5 обеспечивается счетчиком 7 производящем подсчет ИСФ. Далее задержанный ИСФ с выхода блока 5 поступает на второй вход блока 6, выполняющего операцию логической схемы «И», на первый вход которой поступает ИСФ с выхода линии задержки 4. С выхода блока 6 сформированный по
35 длительности ИСФ поступает на вход стробирования матричного фотоприемника 9, а также на счетный вход счетчика 7. Таким образом в нечетном кадре задержка каждого следующего ИСФ линейно увеличивается, а его длительность сокращается, что в свою очередь обеспечивает на матричном фотоприемнике линейно нарастающую по дальности интегральную экспозицию.

40 При формировании четного кадра счетчик 7 находится в нулевом состоянии от СНК, при этом задержка в блоке 5 равна нулю и на выходе блока 6 формируется ИСФ с исходной длительностью и задержкой, что обеспечивает на формируемом матричном фотоприемнике фиксированное значение экспозиции в данном кадре.

На фиг. 2 приведен вид сигналов устройства:

45 а) СНК с третьего выхода блока 1, при формировании четного кадра;
б) сигнал ИПП с первого выхода блока 1 при формировании четного кадра;
в) сигнал ИСФ с выхода блока 6 при формировании четного кадра, при этом длительность $\tau_{исф}$ определяет диапазон определения дальности до объектов, а τ_0

определяет начало диапазона измерения дальности до объектов, и при формировании четного кадра $\tau_{исф}$ и τ_0 остаются постоянными для каждого из N импульсов за кадр;

г) сигнал нечетного кадра (СНК) с третьего выхода блока 1, при формировании нечетного кадра;

д) сигнал ИПП с первого выхода блока 1 при формировании нечетного кадра;

е) сигнал ИСФ с выхода блока 6 при формировании нечетного кадра, в данном случае при формировании нечетного кадра $\tau_{исф}$ линейно уменьшается, а τ_0 линейно увеличивается на величину $(n-1) \cdot \Delta t$ (где n – порядковый номер импульса) для каждого из N импульсов за кадр.

Отраженный оптический сигнал через приемную оптическую систему 8 поступает на фоточувствительную поверхность стробируемого матричного фотоприемника 9. Формируемые с выхода стробируемого матричного фотоприемника 9 (на синхронизирующий вход которого подается СНК с генератора управляющих импульсов) кадры разделяются на два потока демультиплексором 10 под управлением СНК. С выхода демультиплексора 10 нечетные кадры поступают на линию задержки на кадр 11, где задерживаются на время длительности кадра и далее поступают на первый вход делителя изображений 12. В тот же момент времени на второй вход делителя изображений 12 поступают четные кадры. В результате поэлементного деления значений амплитуд нечетных кадров на значения амплитуд четных кадров на выходе делителя изображений 12 формируются нормированные изображения с прямо пропорциональной зависимостью яркости от дальности до объектов в наблюдаемом пространстве.

(57) Формула изобретения

Устройство формирования изображения карты дальностей до наблюдаемых объектов, содержащее генератор управляющих импульсов, первый выход которого формирует импульс подсвета пространства и соединен с входом блока подсвета, последовательно соединенного с оптической передающей системой, а также приемную оптическую систему, последовательно соединенную со стробируемым матричным фотоприемником, отличающееся тем, что дополнительно введены линия задержки, вход которой соединен со вторым выходом генератора управляющих импульсов, формирующим импульс стробирования фотоприемника, а ее выход соединен с входом управляемой линии задержки и первым входом логической схемы «И», второй вход которой соединен с выходом управляемой линии задержки, при этом вход управления величиной задержки соединен с разрядными выходами счетчика, а его сбросовый вход в нулевое состояние соединен с третьим выходом генератора управляющих импульсов, формирующим сигнал логической «1» в нечетных кадрах, который также соединен с синхронизирующим входом стробируемого матричного фотоприемника, при этом счетный вход счетчика соединен с выходом логической схемы «И», который также соединен с входом стробирования матричного фотоприемника, при этом его оптический вход соединен с выходом приемной оптической системы, а выход соединен с входом демультиплексора, управляющий вход которого соединен с третьим выходом генератора управляющих импульсов, при этом на первом выходе демультиплексора формируются изображения нечетных кадров, а на его втором выходе изображения четных кадров, при этом, изображения с первого выхода демультиплексора подаются на вход линии задержки на кадр, выход которой соединен с первым входом делителя изображений, а, при этом, его второй вход соединен со вторым выходом демультиплексора и на выходе делителя изображений, который является выходом устройства, формируются изображения карты дальностей до наблюдаемых объектов, как результат деления изображений в нечетных

кадрах на изображения в четных кадрах.

5

10

15

20

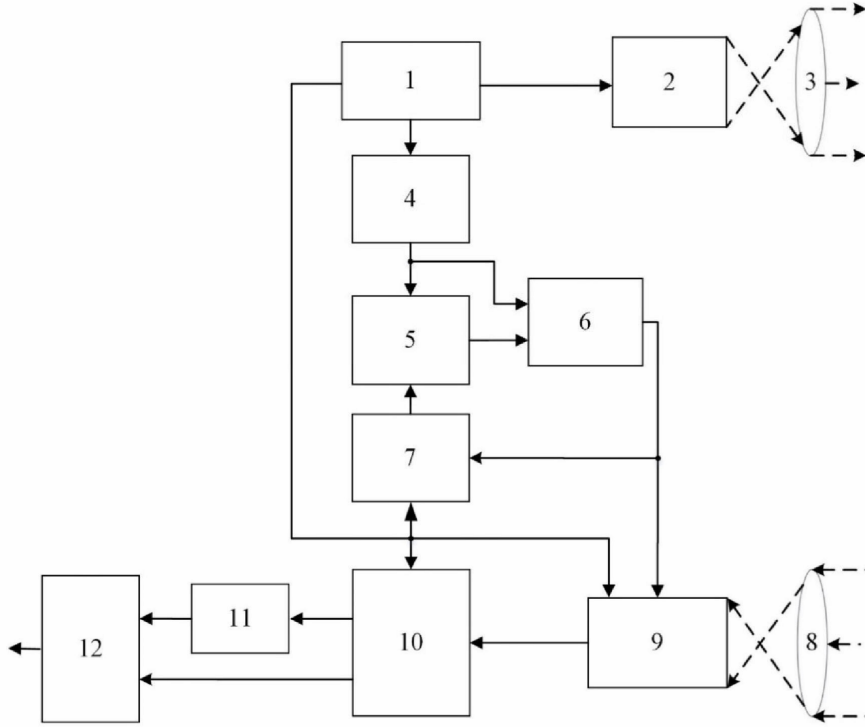
25

30

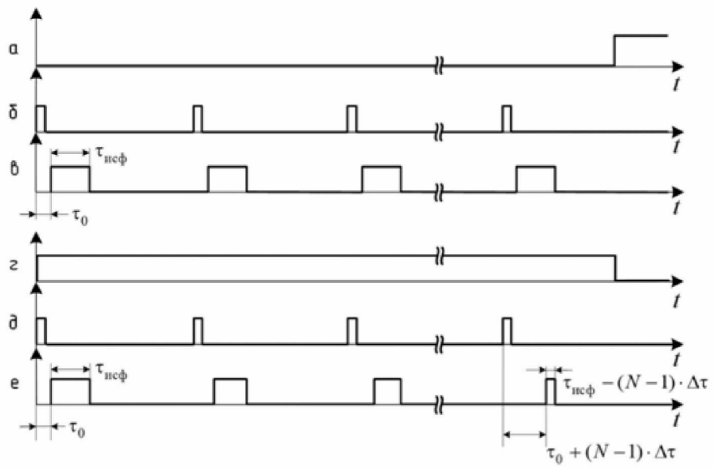
35

40

45



Фиг. 1



Фиг. 2