

(19) SU (11) 1 840 483 (13) A1

(51) МПК
G01S 17/88 (2006.01)



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО
ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ СССР

(21), (22) Заявка: 2229751/09, 20.12.1977

(45) Опубликовано: 27.03.2007 Бюл. № 9

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: Патент Франции №2126447, кл. G01S 9/62, 1974 г. Кулытин В.Н., Трехполосный оптический доплеровский измеритель скорости. Известия вузов, Физика, 1975, №10, стр.82-86.

Адрес для переписки:

123424, Москва, Волоколамское ш., 95, НПО
"Астрофизика", пат.отдел

(71) Заявитель(и):

Научно-производственное объединение
"Астрофизика"

(72) Автор(ы):

Бакут Петр Алексеевич (RU),
Логинов Вольмар Петрович (RU),
Матвеев Игорь Николаевич (RU),
Устинов Николай Дмитриевич (RU),
Фоменко Сергей Дмитриевич (RU),
Шумилов Юрий Петрович (RU)

(54) ДОПЛЕРОВСКИЙ ЛАЗЕРНЫЙ ЛОКАТОР

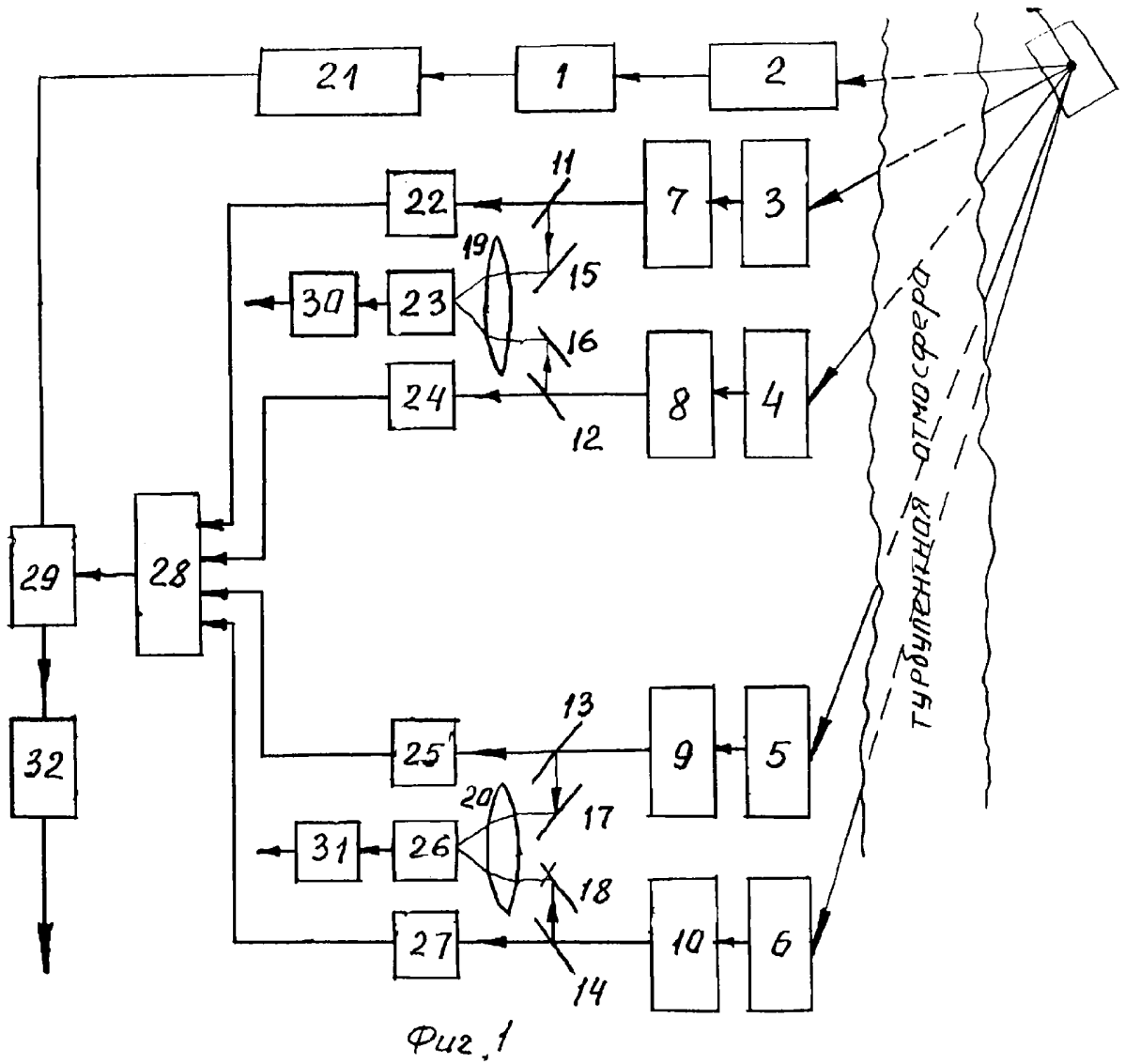
(57) Реферат:

Изобретение относится к лазерной локации. Технический результат заключается в повышении точности измерения. Сущность изобретения состоит в том, что устройство содержит лазер, передающий телескоп, фотосмеситель передающего канала, четыре приемных канала, каждый из которых состоит из последовательно расположенных приемного телескопа, фильтра, фотосмесителей приемных каналов. Выходы

фильтров через соответствующие собирающие линзы оптически сопряжены соответственно с первым и вторым фотосмесителями, выходы которых подключены к частотомерам. Выходы фотосмесителей приемных каналов через сумматор соединены с одним из входов смесителя, другой вход которого соединен с выходом фотосмесителя передающего канала, а выход - с частотомером. 2 ил.

S U 1 8 4 0 4 8 3 A 1

S U 1 8 4 0 4 8 3 A 1





STATE COMMITTEE
FOR INVENTIONS AND DISCOVERIES

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: 2229751/09, 20.12.1977

(45) Date of publication: 27.03.2007 Bull. 9

Mail address:
123424, Moskva, Volokolamskoe sh., 95, NPO
"Astrofizika", pat.otdel

(71) Applicant(s):
Nauchno-proizvodstvennoe ob"edinenie
"Astrofizika"

(72) Inventor(s):
Bakut Petr Alekseevich (RU),
Loginov Vol'mar Petrovich (RU),
Matveev Igor' Nikolaevich (RU),
Ustinov Nikolaj Dmitrievich (RU),
Fomenko Sergej Dmitrievich (RU),
Shumilov Jurij Petrovich (RU)

(54) DOPPLER LASER RADAR

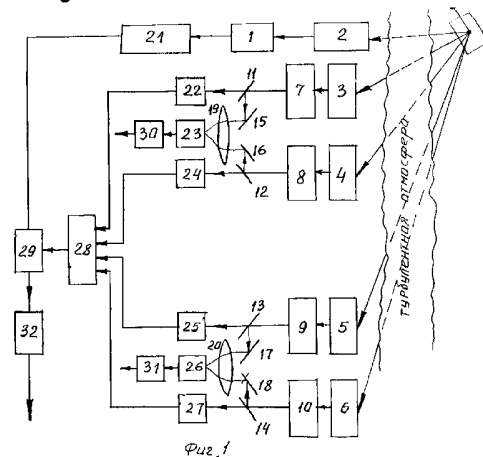
(57) Abstract:

FIELD: laser radar engineering.

SUBSTANCE: device has laser, transmitting telescope, transmitting channel photo-mixer, four receiving channels, each of which channels has receiving telescope connected in series with filter and receiving channels' photo-mixers. Outputs of filters are optically conjugated with first and second photo-mixers correspondingly through collecting lenses. Outputs of photo-mixers are connected with frequency meters. Outputs of mixer of receiving channels are connected with one input of mixer through adder. The other input of mixer is connected with output of photo-mixer of transmitting channel and output of mixer is connected with frequency meter.

EFFECT: improved precision of measurement.

2 dwg



SU 1 840 483 A1

SU 1 840 483 A1

Изобретение относится к области лазерной локации и может быть использовано при построении оптических локационных систем, позволяющих измерять совместно радиальную составляющую и составляющие угловой скорости движения объекта относительно локатора, а также может быть использовано в системах оперативной

5 подготовки данных для систем сопровождения цели.

Известен оптический доплеровский измеритель тангенциальных скоростей движения объекта см. патент Франции №216417 МКИ: G01p 3/00, который содержит лазер; расщепитель пучка, который расщепляет лазерный пучок на 2 равных по интенсивности пучка; полупрозрачное зеркало, собирающую линзу, фокусирующую каждый из

10 расщепленных пучков в разные точки объекта; два детектора, каждый из которых принимает излучение рассеянное одной точкой движущегося объекта; коррелятор электрических сигналов, поступающих с выхода детекторов, частота электрического сигнала измеряется и по ней определяется тангенциальная составляющая скорости движения объекта. Недостатком данного измерителя является то, что он не позволяет

15 измерять скорости объектов, удаленных на большие расстояния, а также не позволяет измерять радиальную составляющую скорости объекта, а также не исключает случайные фазовые искажения, обусловленные турбулентностью атмосферы.

Известен "Оптический доплеровский локатор с СВЧ-модуляцией, см. США М.Росс. Лазерные приемники. Мир, 1969 г., который содержит лазер, СВЧ-генератор,

20 электрооптический модулятор, который модулирует излучение лазера СВЧ-сигналом; фотодетектор, который принимает излучение, рассеянное движущимся объектом и выделяется СВЧ-сигнал, содержащий информацию о радиальной составляющей скорости объекта; СВЧ усилитель; СВЧ-смеситель, где происходит смешение СВЧ-сигнала, поступающего с генератора и СВЧ-сигнала, содержащего информацию о радиальной

25 скорости движения объекта; усилитель с полосой 0-1 МГц; частотомер с полосой 0-1 МГц.

Недостатком данного локатора является то, что он не позволяет измерять угловые составляющие скорости движения объекта относительно локатора.

Известен многочастотный доплеровский локатор, см. патент Англии №1318475 НКИ: НИС МКИ: G01p 9/62, который является наиболее близким по технической сущности к

30 заявляемому и взят заявителем за прототип.

Известное устройство содержит лазер, формирующий множество монохроматических синфазных продольных волн, разделенных равными частотными интервалами; телескоп, направляющий это множество волн на движущийся объект; приемный телескоп, принимающий множество электромагнитных волн, отраженных от движущегося объекта, и

35 несущих информацию о скорости движения объекта; оптический фильтр, устраняющий фоновое излучение; первый фотосмеситель, где происходит смешение различных монохроматических компонент отраженного сигнала, несущих информацию о скорости, и выделение сигнала биений между соседними монохроматическими компонентами; второго фотосмесителя, где происходит выделение сигнала биений между монохроматическими

40 волнами, отличающимися по частоте на одинаковую величину, которые поступают с лазера; смеситель, где происходит смешение электрических сигналов, поступающих с фотосмесителей и выделение сигнала биений, содержащего информацию о радиальной скорости движения объекта; частотомер, который измеряет частоту сигнала на выходе смесителя, по которой определяется радиальная составляющая вектора скорости объекта.

45 Существенным в данном устройстве является то, что электрический сигнал, содержащий доплеровский сдвиг частоты, возникает на выходе фотосмесителя, где происходит смешение волн, рассеянных в одной точке пространства, поэтому не возникает проблемы пространственного и временного согласования волновых фронтов взаимодействующих волн, а также исключаются случайные фазовые искажения, обусловленные

50 турбулентностью атмосферы.

Недостатком данного локатора является то, что он не позволяет измерять угловые скорости объекта, движущегося относительно локатора.

Целью настоящего изобретения является возможность совместного измерения

радиальной и составляющих угловой скорости объекта, движущегося относительно локатора и повышение точности измерения.

- Поставленная цель достигается тем, что в лазерный доплеровский локатор введены четыре отражающих зеркала, четыре полупрозрачных зеркала, две собирающие линзы, сумматор и дополнительно введены три приемных телескопа, три фильтра, пять фотосмесителей, два частотомера, приемные телескопы с фильтрами установлены на взаимноперпендикулярных осях попарно симметрично, относительно точки их пересечения, выходы каждой пары телескопов, расположенных на одной оси, оптически связаны с парой полупрозрачных зеркал, установленных под углом 45° к оптическим осям телескопов и оптически связаны с парой отражающих зеркал параллельных полупрозрачным зеркалам; каждая пара отражающих зеркал оптически связана с собирающей линзой, в фокальной плоскости которой установлен фотосмеситель, выход которого соединен с частотомером, а остальные фотосмесители оптически связаны по входу с полупрозрачными зеркалами, а по выходу с сумматором, выход которого соединен со смесителем, при этом расстояние между приемными телескопами, расположенными на одной оси, не превышает эффективной ширины корреляционной функции принимаемого поля, прошедшего турбулентную атмосферу.

На фиг.1 представлена блок-схема доплеровского лазерного локатора.

- Допплеровский лазерный локатор содержит лазер 1, передающий телескоп 2, четыре приемных телескопа 3-6, четыре фильтра 7-10, четыре полупрозрачных зеркала 11-14, четыре отражающих зеркала 15-18, две собирающие линзы 19-20, семь фотосмесителей 21-27, сумматор 28, смеситель 29, три частотомера 30-32. Выходы частотомеров являются выходами устройства.

На фиг.2 представлена схема расположения телескопов.

- Приемные телескопы расположены попарно симметрично относительно передающего телескопа на расстояниях l_x и l_y .

Лазер 1 генерирует совокупность продольных TEM_{00n} мод монохроматического излучения, причем каждая мода излучения отличается от соседней по частоте на величину

- $$f_b = \frac{c}{2nL},$$
- где c - скорость света в вакууме, n - показатель преломления активного тела

лазера, L - длина полости резонатора. Число таких мод излучения:

$$m = \frac{w}{f_b} = \frac{w2nL}{c},$$

- где w - ширина линии люминесценции активного тела лазера. Так, например, для рубинового лазера с $L=60$ мм, $n=1,7$, $w=300$ ГГц, получает $f_b=1500$ МГц, а $m=200$. Известно (см. Peter W. Smith Mode Locking of Lasers - in Proc of IEEE. V58, P1312 1970 г.), что если в резонаторе присутствуют динамические или статические потери, то будет наблюдаться явление динамической синхронизации или самосинхронизации мод излучения лазера, что означает, что разность частот любых соседних TEM_{00n} и TEM_{00n+1} мод излучения одинакова и все TEM_{00n} моды синфазны. Таким образом, поле волны, которое формируется лазером излучения, можно записать следующим образом:

$$U_{изл} = \operatorname{Re} \sum_{n=-m}^m A_n \exp [i(\omega_0 + 2\pi n f_b) t], \quad (1)$$

- где ω_0 - центр, мода излучения лазера.

Это электромагнитное поле направляется излучающим телескопом на объект, движущийся со скоростью \vec{v} , отраженный сигнал принимается телескопами, апертуры которых расположены на расстоянии l_x и l_y от излучающего телескопа.

- Поле волны, отраженной от движущегося объекта для одной монохроматической компоненты с частотой w в точке \vec{r} см. фиг.2 можно записать в виде:

$$U_{\omega}^{отр}(\vec{r}, t) = \operatorname{Re} \eta A l^{\omega} \left(1 - \frac{2\vec{n}_0 \vec{v}}{c} + \frac{\vec{v} \vec{r}}{RC} \right) t + i\varphi_R(\vec{r}) + \varphi_0, \quad (2)$$

где \mathbf{n} - единичный вектор направления на объект;

R - расстояние до объекта $\varphi_R(\vec{r})$ - случайный фазовый набег в точке \vec{r} волны,

рассеянной на расстоянии R ;

5 η - коэффициент ослабления;

φ_0 - постоянный фазовый сдвиг.

Поле волн, приходящих на приемные апертуры, получается из (2) подстановкой вместо \vec{r} значений $+\ell_x, -\ell_x, +\ell_y, -\ell_y$ и суммированием по различным монохроматическим компонентам.

10 Таким образом, поле принимаемой волны, например, для телескопа, расположенного на оси X на расстоянии ℓ_x в положительном направлении оси будет:

$$U(+\ell_x, t) = \operatorname{Re} \sum_{n=-m}^m \eta A_n \exp \left[i(\omega_0 + 2\pi n f_b) \left(1 - \frac{2\vec{n}_0 \vec{v}}{c} + \left(\frac{V_x}{R} \right) \cdot \frac{\ell_x}{c} \right) t + i\varphi_R(+\ell_x) + i\varphi_0 \right]$$

15 где V_x - проекция вектора \vec{v} на ось X , или вводя $\Omega_x = \frac{V_x}{R}$ и $\Omega_y = \frac{V_y}{R}$ - угловые скорости

$$U(+\ell_x, t) = \operatorname{Re} \eta e^{i\varphi_R(+\ell_x) + i\varphi_0} \sum_{n=-m}^m A_n \exp \left[i(\omega_0 + 2\pi n f_b) \left(1 - \frac{2\vec{n}_0 \vec{v}}{c} + \frac{\Omega_x \ell_x}{c} \right) t \right] \quad (4)$$

20 Фильтры устраняют фоновое излучение. Принятое профильтрованное излучение с помощью системы полупрозрачных, отражающих зеркал и линз фокусируется на поверхности фотосмесителей.

Сигнал на выходе фотосмесителя 23 равен:

$$25 I_{\phi \text{ эз}} = A [U(+\ell_x, t) + U(-\ell_x, t)]^2 \quad (5)$$

A - эффективность фотосмесителя.

Подставляя выражение для $u(+\ell_x, t), u(-\ell_x, t)$ из (4) получим:

$$30 I_{\phi \text{ эз}} = 2A \operatorname{Re} |\eta|^2 e^{-\frac{1}{2} D_R(2\ell_x)} \left\{ \sum_{n=-m}^m |A_n|^2 \exp \left[2i(\omega_0 + n f_b) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \frac{\Omega_x \ell_x}{c} t + \sum_{n \neq k} A_n A_k^* \exp \left[i 2\pi f_b (n - k) t \left(1 - \frac{2\vec{n}_0 \vec{v}}{c} \right) + i(2\omega_0 + (n + k) f_b) t \frac{\Omega_x \ell_x}{c} \right] \right\}$$

где $D_R(2\ell_x)$ - структурная функция фазы волны в точках $+\ell_x$ и $-\ell_x$. (см. А.С.Гуревич,

35 А.И.Кон и др. "Лазерное излучение в турбулентной атмосфере, изд."Наука", 1976 г.).

Ограничивая спектр выходного сигнала, можно выделить сигнал:

$$40 I_{\phi \text{ эз}} = 2A \operatorname{Re} |\eta|^2 e^{-\frac{1}{2} D_R(2\ell_x)} \cdot \sum_{n=-m}^m |A_n|^2 \exp \left[2i(\omega_0 + n f_b) \frac{\Omega_x \ell_x}{c} t \right] \approx \\ \approx 4A_m |\eta|^2 |\bar{A}|^2 e^{-\frac{1}{2} D_R(2\ell_x)} \cdot \cos \left(2\omega_0 \cdot \frac{\Omega_x \ell_x}{c} t \right).$$

Измеряя частоту которого, определяют Ω_x .

Аналогично для Ω_y .

45 Часть излучения, прошедшего полупрозрачное зеркало, поступает на фотосмесители 22, 24, 25, 27, сигнал на выходе которых записывается следующим образом:

$$50 I_{\phi \text{ э2}} = A [U(+\ell_x, t)]^2 = \\ = \frac{A}{2} \operatorname{Re} |\eta|^2 \sum_n \sum_k A_n A_k^* \exp \left[i(n - k) 2\pi f_b \left(1 - \frac{2\vec{n}_0 \vec{v}}{c} + \frac{\Omega_x \ell_x}{c} \right) t \right]$$

ограничивая спектр, можно выделить сигнал:

$$I_{\phi \text{ э2}} \approx 2A_m |\eta|^2 |\bar{A}|^2 \cos 2\pi f_b \left(1 - \frac{2\vec{v} \vec{n}_0}{c} \right) t$$

Сумматор суммирует сигналы со всех фотосмесителей, и сигнал на выходе сумматора записывается в виде:

$$I_{\text{сумм}} = I_{\phi \text{ c}22} + I_{\phi \text{ c}24} + I_{\phi \text{ c}25} + I_{\phi \text{ c}27} = 4I_{\phi \text{ c}22}$$

- 5 Часть излучения от лазера направляется на фотосмеситель 21, если проделать аналогичные выкладки, то сигнал на выходе 21 будет:

$$I_{\phi \text{ c}21} = B \cos(2\pi f_b t + \varphi).$$

Смеситель смешивает сигналы $J_{\phi \text{ c}21}$ и $J_{\text{сумм}}$, легко получить, что сигнал на выходе смесителя будет:

$$10 \quad I_{\text{с}29} = 8AB_m |\eta|^2 |\bar{A}|^2 \cos\left(2\pi f_b t \frac{\vec{n}_0 \vec{V}}{c} + \varphi\right)$$

- Измеряя частоту сигнала $I_{\text{с}29}$, можно получить значение радиальной составляющей скорости. Как легко понять, случайные фазовые набег не влияют на сигнал $I_{\text{с}29}$, содержащий информацию о радиальной скорости. Влияние фазовых набегов на сигнал $I_{\phi \text{ c}23}$, содержащий информацию об угловых скоростях, учитывается множителем $e^{-\frac{1}{2}D_R(2\ell_x)}$. Значение максимального разнесения телескопов определяется из выражения:

$$D_R(2\ell_{x\text{max}}) = 2 \quad \text{при } \ell_x > \ell_{x\text{max}}$$

- 20 случайные фазовые набег будут существенно ухудшать сигнал, содержащий информацию об угловых скоростях.

- Использование новых элементов: зеркал, линз, сумматора и дополнительно введенных телескопов, фотосмесителей позволяет сделать доплеровский лазерный локалатор многоцелевым, т.е. измерять также, кроме радиальной, и угловые скорости движения объекта, причем с большей точностью, чем в известных устройствах, за счет использования многочастотного метода и предлагаемого варианта расположения телескопов, что позволяет устранить влияние турбулентной атмосферы.

Формула изобретения

- 30 Допплеровский лазерный локалатор, содержащий лазер, оптически связанный по выходу с передающим телескопом и первым фотосмесителем, выход которого подключен через смеситель ко входу первого частотомера, а также содержащий первый приемный канал, включающий последовательно расположенные и оптически связанные приемный телескоп, фильтр и фотосмеситель, отличающийся тем, что, с целью повышения точности измерения, в него дополнительно введены второй, третий и четвертый приемные каналы, сумматор, первая и вторая собирающие линзы, первый и второй фотосмесители, первый и второй частотомеры, при этом приемные телескопы первого и второго, третьего и четвертого приемных каналов соответственно через фильтры и первую и вторую собирающие линзы оптически связаны с первым и вторым фотосмесителями, выходы которых подключены ко входам первого и второго частотомеров, выходы фотосмесителей приемных каналов подключены к соответствующим входам сумматора, выход которого соединен с другим входом смесителя, оси приемных телескопов первого и третьего, второго и четвертого приемных каналов соответственно расположены симметрично друг относительно друга во взаимно перпендикулярных плоскостях на расстоянии не
- 45 превышающем эффективной ширины корреляционной функции отраженного от объекта и прошедшего турбулентную атмосферу измерения, а ось передающего телескопа совмещена с линией пересечения плоскостей расположения осей приемных телескопов.

