



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 184 981** ⁽¹³⁾ **C1**
(51) МПК⁷ **G 01 S 5/04, 11/04**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 2001128275/09, 18.10.2001
(24) Дата начала действия патента: 18.10.2001
(46) Дата публикации: 10.07.2002
(56) Ссылки: ЛЕВИН Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. - М.: Радио и связь, 1989, с.24-25. US 4339755 A1, 13.07.1982. RU 2072528 C1, 27.01.1997. RU 94014952 A1, 20.04.1996. EP 0237223 A1, 16.09.1987.
(98) Адрес для переписки:
394052, г.Воронеж, ул. Чапаева, 120, кв.80,
А.П.Варину

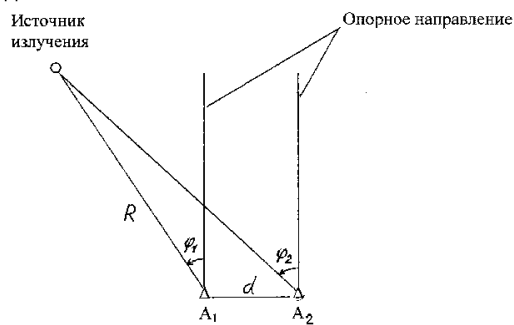
(71) Заявитель:
Варин Александр Петрович
(72) Изобретатель: Варин А.П.
(73) Патентообладатель:
Варин Александр Петрович

(54) УГЛОМЕРНО-БАЗОВЫЙ СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к радиотехнике, в частности к системам для определения дальности без использования отражения или вторичного излучения, и может быть использовано для определения дальности до пространственно распределенных источников излучения. Угломерно-базовый способ измерения дальности включает в себя прием излучения источника излучения с помощью двух расположенных на базовом расстоянии друг от друга приемников, оснащенных остронаправленными антеннами, измерение углов между направлениями приема излучения источника антеннами A_1 и A_2 соответственно и опорным направлением, в качестве которого принимается перпендикуляр к линии A_1A_2 , и вычисление дальности до источника излучения по формуле $R = d \cdot \cos \varphi_2 / \sin(\varphi_2 - \varphi_1)$, где R - расстояние от источника излучения до

антенны A_1 ; d - базовое расстояние между антеннами; φ_1 , φ_2 - углы между направлениями приема излучения источника антеннами A_1 и A_2 соответственно и опорным направлением. Достижимым техническим результатом предложенного способа является повышение точности измерения дальности. 3 ил.



Фиг. 1

RU 2 184 981 C1

RU 2 184 981 C1



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 184 981** ⁽¹³⁾ **C1**
 (51) Int. Cl.⁷ **G 01 S 5/04, 11/04**

RUSSIAN AGENCY
 FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 2001128275/09, 18.10.2001
 (24) Effective date for property rights: 18.10.2001
 (46) Date of publication: 10.07.2002
 (98) Mail address:
 394052, g.Voronezh, ul. Chapaeva, 120,
 kv.80, A.P.Varinu

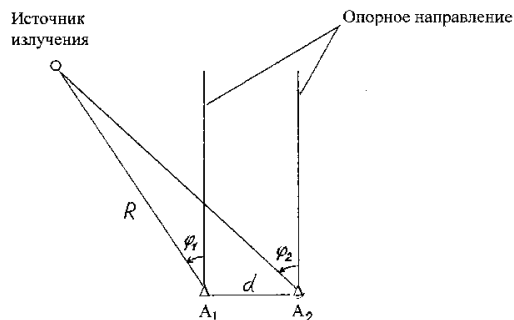
(71) Applicant:
Varin Aleksandr Petrovich
 (72) Inventor: **Varin A.P.**
 (73) Proprietor:
Varin Aleksandr Petrovich

(54) **GONIOMETRIC-BASE METHOD OF RANGE MEASUREMENT**

(57) Abstract:

FIELD: radio engineering. SUBSTANCE: invention is related specifically to systems determining range without use of reflection or secondary radiation and measuring range to spatially distributed radiation sources. Proposed method includes reception of radiation of radiation source with the help of two receivers placed at base distance one from another and fitted with narrow-beam antennas, measurement of angles of directions of reception of radiation of source by antennas A_1 and A_2 correspondingly with reference direction in which capacity perpendicular to line A_1A_2 is assumed and computation of range to radiation source by formula: $R = d \cdot \cos \varphi_2 / \sin(\varphi_2 - \varphi_1)$, where R is distance from radiation source to antenna A_1 ; d is base distance between antennas; φ_1 , φ_2 are

angles of directions of reception of radiation of source by antennas A_1 and A_2 correspondingly with reference direction. EFFECT: increased accuracy of measurement of range. 3 dwg



Фиг. 1

RU 2 184 981 C1

RU 2 184 981 C1

Изобретение относится к радиотехнике, в частности к системам для определения дальности без использования отражения или вторичного излучения, и может быть использовано в системах определения дальности до источников излучения.

Известен способ определения дальности до отражающей поверхности, включающий излучение сигналов в направлении отражающей поверхности, прием отраженных сигналов на объекте и определение дальности по соотношению направлений излучения и приема сигналов и известному расстоянию между точками их излучения и приема, причем в качестве излучаемых информационных сигналов используют сигналы видимого оптического диапазона, оси излучения которых лежат в плоскости, образованной прямой, соединяющей точки излучения, и прямой, проходящей через точку начала отсчета дальности на объекте и выбранную точку отражающей поверхности, изменяют направление осей излучения до их совмещения в выбранной точке отражающей поверхности, фиксируют углы наклона осей излучения сигналов, а затем определяют дальность до указанной точки отражающей поверхности из соотношения

$$R_1 = L_1 \sin K_1 / \sin(\alpha + K_1) = L_2 \sin K_2 / \sin(\alpha - K_2),$$

где L_j ($j=1, 2$) - длина отрезка прямой, соединяющей j -ю точку излучения сигнала на объекте с точкой приема отраженного сигнала;

K_j ($j=1, 2$) - углы наклона осей излучения сигналов к отрезку прямой, соединяющей точки излучения сигналов;

α - направление измерения дальности, отсчитываемое от направления отрезка прямой, соединяющей точки излучения сигналов [1. Патент РФ 2072528, кл. G 01 C 3/12, 1993].

Недостатками известного способа определения дальности являются невозможность определения дальности до пространственно распределенного излучающего объекта (фона), особенно если интенсивность его излучения близка к интенсивности отраженного излучения излучателей, так как в этом случае существенно затрудняется определение факта совмещения лучей излучателей в одной точке, а также необходимость применения излучателей. Кроме того, лучи излучателей должны иметь малую расходимость, в противном случае резко снижается точность определения углов K_j и α и, следовательно, дальности.

Известен способ измерения дальности до источника излучения, включающий прием излучения источника излучения с помощью двух приемников, размещенных на подвижном носителе, оснащенных остронаправленными антеннами, размещенными в непосредственной близости друг от друга, диаграммы направленности которых разнесены на фиксированный угол, в котором измеряют интервал времени между появлением сигналов источника излучения на выходах антенн, наличие которого обусловлено перемещением носителя, причем измерение производится по максимуму сигнала, и вычисляют дальность до источника излучения по формуле

$$R = v_H \cdot t_6 / [2 \sin(\varphi_p / 2)],$$

где R - расстояние от источника излучения до антенн;

v_H - скорость перемещения носителя;

t_6 - интервал времени между появлением сигналов источника излучения на выходах антенн;

φ_p - угол между осями диаграмм направленности антенн,

причем расстояние между антеннами много меньше величины измеряемых дальностей.

Недостатками известного способа измерения дальности являются невозможность измерения дальности до пространственно распределенного излучателя, а также необходимость применения подвижного носителя [2. А.Г. Николаев, С.В. Перцов. Радиотеплолокация. - М., Сов. Радио, 1964, с.157-161].

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому способу является угломерно-базовый способ измерения дальности, включающий прием излучения источника излучения с помощью двух расположенных на базовом расстоянии друг от друга приемников, оснащенных остронаправленными антеннами, измерение углов между направлениями приема излучения источника антеннами A_1 и A_2 соответственно и опорным направлением, в качестве которого принимается перпендикуляр к линии $A_1 A_2$, и вычисление дальности до источника излучения по формуле

$$R = d \cos \varphi_2 / \sin(\varphi_2 - \varphi_1),$$

где R - расстояние от источника излучения до антенны A_1 ,

d - базовое расстояние между антеннами;

φ_1, φ_2 - углы между направлениями приема излучения источника антеннами A_1 и A_2 соответственно и опорным направлением,

причем угловые отклонения влево от опорного направления считаются положительными, а вправо - отрицательными, измерение углов φ_1 и φ_2 производится путем сканирования антенн A_1 и A_2 и засечки угловых отклонений осей их диаграмм направленности от опорного направления, при которых сигналы на выходах приемников максимальны [3] (см. Фиг.1).

Недостатком известного угломерно-базового способа измерения дальности является невозможность измерения дальности до пространственно распределенных источников излучения, размеры которых превышают размеры зон визирования антенн A_1 и A_2 , или до их отдельных участков, визируемых одной из антенн в произвольный момент времени. Это связано с невозможностью отсчета

углов φ_1 и φ_2 по максимуму сигнала на выходе антенн A_1 и A_2 и соответствующих приемников, если источник излучения не является точечным. Например, известный способ не позволяет определять наклонную дальность от летательного аппарата до земной поверхности в направлении визирования одной из антенн, хотя земная поверхность и является источником излучения, имеющего тепловую природу, в широком диапазоне частот.

Целью данного изобретения является

обеспечение возможности измерения дальности от одной из антенн до фрагмента поверхности пространственно распределенного источника излучения, визируемого данной антенной в произвольный момент времени.

Поставленная цель достигается тем, что в способе измерения дальности, включающем прием излучения источника излучения с помощью двух расположенных на базовом расстоянии друг от друга приемников, оснащенных остронаправленными антеннами, измерение углов между направлением приема излучения источника антеннами A₁ и A₂ соответственно и опорным направлением, в качестве которого принимается перпендикуляр к линии A₁A₂, и вычисление дальности до источника излучения по формуле

$$R = d \cos \varphi_2 / \sin(\varphi_2 - \varphi_1), \quad (1)$$

где R - расстояние от источника излучения до антенны A₁;

d - базовое расстояние между антеннами;

φ_1, φ_2 - углы между направлениями приема излучения источника антеннами A₁ и A₂ соответственно и опорным направлением,

причем угловые отклонения влево от опорного направления считаются положительными, а вправо - отрицательными, измерение углов φ_1 и φ_2 производится путем сканирования антенн A₁ и A₂, сканирование антенн осуществляют в одной плоскости с одинаковой угловой скоростью таким образом, что во всем диапазоне измеряемых дальностей сектор сканирования поверхности источника излучения антенной A₂ включает в себя (перекрывает) сектор сканирования поверхности источника излучения антенной A₁, антенны A₁ и A₂ и соответствующие приемники выполняют идентичными, перемещение главных лучей диаграмм направленности антенн как слева - направо, так и справа - налево в каждом цикле сканирования начинают одновременно, угол $\varphi_1(t)$, под которым визируется антенной A₁ фрагмент поверхности источника излучения, дальность до которого измеряется, определяют по отклонению оси диаграммы направленности антенны A₁ от опорного направления в момент визирования выбранного фрагмента по формулам

$$\varphi_1(t) = \Phi_{11} - \omega t, \quad 0 \leq t \leq T_1, \quad (2)$$

- при перемещении антенны A₁ слева - направо;

$$\varphi_1(t) = \Phi_{12} + \omega t, \quad 0 \leq t \leq T_1, \quad (2')$$

- при перемещении антенны A₁ справа - налево,

где Φ_{11}, Φ_{12} - крайнее левое и крайнее правое отклонение антенны A₁ от опорного направления соответственно;

ω - угловая скорость сканирования антенн;

T₁ - период времени, в течение которого антенна A₁ перемещается из одного крайнего положения в противоположное в каждом цикле сканирования,

а угол $\varphi_2(t')$, под которым данный фрагмент визируется антенной A₂, определяют по формулам

$$\varphi_2(t') = \Phi_{21} - \omega \cdot (t + \tau_0), \quad 0 \leq t \leq T_2, \quad (3)$$

- при перемещении антенны слева -

направо;

$$\varphi_2(t') = \Phi_{22} + \omega \cdot (t + \tau_0), \quad 0 \leq t \leq T_2, \quad (3')$$

- при перемещении антенны справа - налево,

где Φ_{21}, Φ_{22} - крайнее левое и крайнее правое отклонение антенны A₂ от опорного направления соответственно;

T₂ - период времени, в течение которого антенна A₂ перемещается из одного крайнего положения в противоположное в каждом цикле сканирования;

τ_0 - значение временной задержки от момента визирования фрагмента поверхности источника излучения, дальность до которого измеряется антенной A₁ до момента визирования того же фрагмента антенной A₂, определяемое как величина τ , при которой функция

$$D(\tau) = \int_0^{T_1} [x_1(\xi) - x_2(\xi + \tau)]^2 d\xi, \quad \tau \in [0, (T_2 - T_1)], \quad (4)$$

где $x_1(t), x_2(t)$ - сигналы на выходах приемников, ко входам которых подключены антенны A₁ и A₂ соответственно;

$f(\xi)$ - четная функция, монотонно возрастающая при увеличении абсолютной величины ξ ,

принимает минимальное значение.

Сопоставительный анализ заявляемого решения с прототипом показывает, что предложенный способ отличается от известного наличием, во-первых, новых действий над сигналами: получением двух реализаций $x_1(t)$ и $x_2(t)$, представляющих собой временную развертку сигналов на выходах приемников, оснащенных антеннами A₁ и A₂ соответственно, при сканировании поверхности источника излучения, засечкой момента времени t визирования антенной A₁ фрагмента поверхности источника излучения, дальность до которого измеряется, вычислением функции D(τ) по формуле (4), нахождением значения τ_0 , при котором значение функции D(τ_0) минимально, и вычислением углов $\varphi_1(t)$ и $\varphi_2(t')$ по формулам (2), (2') и (3), (3') соответственно, во-вторых, новых условий осуществления действий над сигналами: идентичностью применяемых приемников и антенн, осуществлением сканирования антенн A₁ и A₂ в одной плоскости с одинаковой угловой скоростью таким образом, что во всем диапазоне измеряемых дальностей сектор сканирования поверхности источника излучения антенной A₂ включает в себя (перекрывает) сектор сканирования поверхности источника излучения антенной A₁, перемещение главных лучей диаграмм направленности антенн A₁ и A₂ как слева - направо, так и справа - налево в каждом цикле сканирования начинается одновременно.

При изучении других известных технических решений в данной области техники указанная совокупность признаков, отличающая изобретение от прототипа, не была выявлена.

При осуществлении предложенного способа измерения дальности основной задачей является определение углового

отклонения $\varphi_2(t')$ антенны A_2 от опорного направления, при котором она визирует тот же самый участок поверхности источника излучения, что и антенна A_1 в момент времени t .

Указанная задача решается следующим образом.

За счет сканирования антенн A_1 и A_2 в одной плоскости с одинаковой угловой скоростью они осуществляют обзор одной и той же полосы поверхности источника излучения, а масштаб временной развертки $x_1(t)$ и $x_2(t)$ получается одинаковым. При этом, поскольку сектор сканирования антенны A_2 включает в себя сектор сканирования антенны A_1 , то реализация сигнала $x_2(t)$ на интервале $[0, T_2]$ включает в себя реализацию $x_1(t)$ на интервале $[0, T_1]$. Если источник излучения является изотропным, то при визировании антеннами A_1 и A_2 одного и того же фрагмента поверхности источника излучения сигналы на выходах антенн будут одинаковыми. В то же время при визировании различных участков поверхности источника излучения сигналы на выходах антенн A_1 и A_2 в общем случае различны, причем каждому значению $\varphi_1(t)$ соответствует определенное значение $x_1(t)$, а каждому значению $\varphi_2(t)$ - определенное значение $x_2(t)$.

В этом случае задача определения $\varphi_2(t')$ сводится к отысканию в реализации $x_2(t)$ отрезка длиной T_1 , совпадающего с реализацией $x_1(t)$. Процедура отыскания такого отрезка осуществляется путем вычисления функции $D(\tau)$ для различных значений τ , лежащих на интервале $[0, (T_2 - T_1)]$. Поскольку при совпадении реализации $x_1(t)$ с соответствующим отрезком реализации $x_2(t)$ функция $D(\tau)$ становится равной нулю (без учета собственных шумов и неидентичности выполнения антенн и приемников), то для каждого значения t в момент времени

$$t' = t + \tau_0$$

антенна A_2 визирует тот же фрагмент поверхности источника излучения, что и антенна A_1 в момент времени t . Следовательно, угловое положение этого фрагмента относительно опорного направления может быть определено по формулам (3), (3'), а дальность R до визируемого фрагмента - с помощью формулы (1).

На фиг. 1 приведен рисунок, поясняющий способ вычисления дальности до источника излучения в соответствии с выражением (1), который является общим для прототипа и предлагаемого изобретения.

На фиг. 2 приведен рисунок, поясняющий выбор сектора сканирования вспомогательной антенны A_2 , а также вычисление величин $\varphi_1(t)$ и $\varphi_2(t')$ по формулам (2), (2') и (3), (3') соответственно.

На фиг. 3 приведен рисунок, поясняющий принцип определения $\varphi_2(t')$ путем определения временного сдвига τ_0 реализации $x_1(t)$ относительно реализации $x_2(t)$, при котором функция $D(\tau)$ принимает минимальное значение.

Как следует из рисунка, приведенного на

фиг.1, для определения дальности до источника излучения необходимо определить углы φ_1 и φ_2 , под которыми визируется источник излучения антеннами A_1 и A_2 соответственно. Если источников излучения несколько, очевидно, прежде всего принимается решение о том, до какого источника будет измеряться дальность. В том случае, когда источник излучения является пространственно распределенным, выбирается фрагмент поверхности последнего, дальность до которого требуется определить.

Так как обе антенны осуществляют сканирование с одинаковой угловой скоростью, а перемещение антенн слева - направо и справа - налево начинается одновременно, то угловое положение любого фрагмента поверхности источника излучения, визируемого антеннами A_1 или A_2 , однозначно определяется интервалами времени от начала перемещения каждой из антенн до момента визирования данного фрагмента.

Таким образом, если от начала перемещения антенны A_1 до момента визирования фрагмента поверхности источника излучения, дальность до которого измеряется, прошло время t , то угловое отклонение антенны A_1 , соответствующее визированию данного фрагмента, может быть найдено с помощью формул (2) или (2').

Для того, чтобы гарантировать визирование антенной A_2 в процессе сканирования тех же фрагментов поверхности, которые визируются антенной A_1 , обе антенны осуществляют сканирование в одной плоскости, а сектор сканирования антенны A_2 делается таким, чтобы включать в себя сектор сканирования антенны A_1 . Как следует из рисунка, приведенного на фиг.2, для этого границы сектора сканирования антенны A_2 должны удовлетворять условиям

$$\text{tg}\varphi_{12} \geq \text{tg}\varphi_{11} + d/D_{\text{min}}, \quad (5)$$

$$\text{tg}\varphi_{22} \leq \text{tg}\varphi_{12} + d/D_{\text{max}}, \quad (5')$$

где D_{min} , D_{max} - минимальная и максимальная дальности до поверхности источника излучения в опорном направлении в плоскости сканирования антенн.

Для определения временного сдвига τ_0 от момента начала перемещения антенны A_2 до момента, когда данная антенна начинает визировать те же фрагменты поверхности источника излучения, что и антенна A_1 , вычисляется функция $D(\tau)$ для различных значений τ , лежащих на интервале $[0, (T_2 - T_1)]$.

Указанную процедуру иллюстрирует рисунок, приведенный на фиг.3, на котором для простоты значения сигналов и τ квантованы. Из рисунка следует, что при совпадении реализации $x_1(t)$ с соответствующим отрезком реализации $x_2(t)$ функция $D(\tau)$ принимает минимальное значение. Значит, определив величину τ_0 , при которой $D(\tau_0)$ минимальна, можно определить угол φ_2 визирования антенной A_2 любого фрагмента источника излучения, который визировался антенной A_1 в момент времени t , по формулам (3), (3') и дальность

до этого фрагмента по формуле (1).

Для оценки точности измерения дальности предложенным способом целесообразно привести следующие соображения.

Поскольку реализации $x_1(t)$ и $x_2(t)$ в выражении (4) заранее никогда не известны и в большинстве случаев являются результатом действия большого числа независимых факторов, то можно считать, что они являются реализациями случайного процесса. Следовательно, оценку точности измерения дальности предложенным способом необходимо производить статистическими методами.

С таких позиций данная задача сводится к оценке дисперсии ошибок вычисления $D(\tau)$.

Определение дисперсии ошибок вычисления $D(\tau)$ зависит от вида функции $f(x)$ и физического содержания понятия "сигнал $x(t)$ ".

Для многих перспективных областей применения предложенного способа под сигналом $x(t)$ можно понимать напряжение на выходе радиометрического приемника миллиметрового диапазона волн (МДВ), представляющее собой аддитивную смесь полезного сигнала, пропорционального антенной температуре, соответствующей наблюдаемому участку поверхности источника излучения, и внутреннего шума, определяемого собственной шумовой температурой приемника,

$$x_j(t) = u_j(t) + n_j(t), \quad j=1, 2. \quad (6)$$

где $u_j(t)$, $n_j(t)$, $j=1, 2$ - полезный сигнал и внутренний шум на выходах первого и второго приемников соответственно.

В последующих расчетах, учитывая требование идентичности каналов, будем считать $n_j(t)$ стационарными случайными процессами, распределенными одинаково, с нулевыми средними значениями (поскольку последние всегда могут быть компенсированы), а также положим

$$f(x) = x^2. \quad (7)$$

Кроме того, не будем учитывать систематические ошибки, поскольку они характеризуют не рассматриваемый способ, а реализующее его устройство.

Перепишем с учетом сделанных замечаний выражение (4) в виде

$$D(\tau) = \int_0^{\tau_1} [x_1(t) - x_2(t+\tau)]^2 dt \equiv \int_0^{\tau_1} \Delta_x^2(t, \tau) dt = \quad (8)$$

$$= \int_0^{\tau_1} [u_1(t) - u_2(t+\tau) + n_1(t) - n_2(t+\tau)]^2 dt,$$

и определим сначала условные математическое ожидание и дисперсию подынтегрального выражения при условии, что наблюдались некоторые реализации $u_1(t)$ и $u_2(t)$.

Поскольку $n_1(t)$ и $n_2(t)$ независимы и распределены одинаково,

$$m_{1\text{усл}}\{\Delta_x\} = m_1\{u_1 - u_2 + n_1 - n_2\} = u_1 - u_2 \equiv \Delta_u, \quad (9)$$

где $m_1\{\cdot\}$ - математическое ожидание.

Здесь и далее, если это не затрудняет понимания, зависимости от t , τ опущены.

Аналогично

$$M_{2\text{усл}}\{\Delta_x\} = M_2\{n_1\} + M_2\{n_2\} = 2\sigma_n^2, \quad (10)$$

где $M_2\{\cdot\}$ - дисперсия;

σ_n^2 - дисперсия процессов $n_1(t)$ и $n_2(t)$.

Используя известную связь между начальными и центральными моментами [3. Б.Р. Левин. Теоретические основы статистической радиотехники. Книга 1. - М., "Сов. Радио". 1974], после ряда преобразований найдем условные математическое ожидание и дисперсию

величины Δ_x :

$$m_{1\text{усл}}\{\Delta_x\} = \Delta_u + 2\sigma_n^2, \quad (11)$$

$$M_{2\text{усл}}\{\Delta_x\} = 8\sigma_n^4 + 8\Delta_u\sigma_n^2. \quad (12)$$

Поскольку значения $u_j(t)$, $j=1, 2$, определяются большим числом независимых факторов, а, кроме того, функции $x_j(t)$ формируются после прохождения через фильтр приемника, полоса пропускания которого намного уже ширины спектра теплового излучения, функции $u_j(t)$, $n_j(t)$ и $\Delta_x(t)$ можно считать нормальными случайными процессами.

Если амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) приемника прямоугольная, то отсчеты $\Delta_x(t)$, следующие

$$\Delta t = 1/\Delta F, \quad (13)$$

где ΔF - полоса пропускания низкочастотной части приемника,

независимы. Тогда отсчеты $\Delta_x(t)$, следующие через те же интервалы, некоррелированные [3]. Значит, учитывая, что величина T_1 много больше, чем Δt , величину $D(\tau)$ можно считать нормальной и, заменяя в (8) интеграл соответствующей суммой отсчетов, определить ее математическое ожидание и дисперсию как сумму математических ожиданий и дисперсий отсчетов. Проводя указанное преобразование и возвращаясь к непрерывной форме записи, имеем

$$m_{1\text{усл}}\{D(\tau)\} = 2T_1 \sigma_n^2 + \int_0^{\tau_1} \Delta_u^2(t, \tau) dt, \quad (14)$$

$$M_{2\text{усл}}\{D(\tau)\} = 8T_1 \sigma_n^4 / \Delta F + 8\sigma_n^2 / \Delta F \int_0^{\tau_1} \Delta_u^2(t, \tau) dt. \quad (15)$$

Для получения безусловных значений m_1 и M_2 их необходимо усреднить по совместному распределению вероятностей сигналов u_1 и u_2 .

Проводя данную операцию и меняя при этом порядок интегрирования, а также полагая процессы $u_j(t)$, $j=1, 2$, стационарными и распределенными одинаково, получим безусловные значения математического ожидания и дисперсии величины $D(\tau)$:

$$m_1\{D(\tau)\} = 2T_1 \sigma_n^2 + 2T_1 [(m_u + \sigma_u) - B_u(\tau)], \quad (16)$$

$$M_2\{D(\tau)\} = 8T_1 \sigma_n^4 / \Delta F + 16T_1 \sigma_n^2 [m_u^2 + \sigma_u^2 - B_u(\tau)] / \Delta F, \quad (17)$$

где m_u , σ_u^2 - математическое ожидание и дисперсия процессов $u_j(t)$ соответственно;

$B_u(\tau)$ - корреляционная функция процессов

$u_j(t), j=1, 2.$

Величина среднеквадратического отклонения σ^τ значения τ от τ_0 , при котором $D(\tau)$ изменяется на величину своего среднеквадратического отклонения, в линейном приближении может быть найдена из уравнения

$$m_1\{D(\sigma^\tau)\} - m_1\{D(0)\} = \sigma_D, \quad (18)$$

где

$$\sigma_D = \sqrt{m_2\{D(\tau)\}},$$

- среднеквадратическое отклонение величины $D(\tau)$.

Уравнение (18) с учетом (16) преобразуется к виду

$$V_u(0) - V_u(\sigma^\tau) = \sigma_D^2 / (2T_1). \quad (19)$$

Поскольку в [3]

$$V_u(0) = m_u^2 + \sigma_u^2,$$

то, учитывая, что σ^τ близка к нулю, можем записать

$$\sigma_D^2 \approx 2\sigma_n^2 \sqrt{2T_1 / \Delta F}. \quad (20)$$

Определим корреляционную функцию $V_u(\tau)$.

Сигналы на выходах антенн представляют собой результат пространственной фильтрации изменений кажущейся температуры поверхности источника излучения. Антенны при этом выполняют роль пространственных фильтров, пространственно-частотная характеристика которых (ПЧХ) определяется как свертка функции распределения поля в раскрыве антенны с этой же функцией [2].

Полагая последнее равномерным в пределах раскрыва антенны в направлении перемещения луча антенны при сканировании, с учетом нормировки можем записать

$$H(\omega_x) = (1 - \omega_x / b^*), \quad (21)$$

где $H(\omega_x)$ - ПЧХ антенны,

ω_x - пространственная частота,

$$b^* = 2\pi b / (\lambda R); \quad (22)$$

b - ширина раскрыва антенны в направлении перемещения луча при сканировании;

λ - длина волны.

Здесь b^* - граничная частота пространственной полосы пропускания антенны [2].

В последующих вычислениях будем считать пространственный энергетический спектр кажущейся температуры поверхности источника излучения равномерным,

$$S_k(\omega_x) = 2\pi\sigma_T^2 / \omega_x^*, \quad 0 < \omega_x \leq \omega_x^*;$$

$$S_k(\omega_x) = 0, \quad \omega_x \leq 0; \quad \omega_x > \omega_x^* \quad (23)$$

где σ_T^2 - дисперсия кажущейся температуры поверхности источника излучения;

ω_x^* - граничная пространственная частота,

а также положим

$$\omega_x^* \geq b^*. \quad (24)$$

Тогда пространственный спектр сигнала на выходе антенны [3] с учетом (21) и (23)

$$S_A(\omega_x) = S_k(\omega_x) |H(\omega_x)|^2 = 2\pi\sigma_T^2 (1 - \omega_x / b^*)^2 / \omega_x^*, \quad 0 < \omega_x \leq b^*, \quad (25)$$

Выполняя обратное преобразование Фурье последнего выражения, получим пространственную корреляционную функцию сигнала на выходе антенны:

$$V_u(\delta x) = 2\sigma_T^2 [1 - \sin(\delta x) / (b^* \delta x)] / (b^* \omega_x^* \delta x^2), \quad (26)$$

где δx - величина смещения линии визирования антенны в направлении сканирования за время τ .

Учитывая, что

$$\delta x = v\tau, \quad (27)$$

где v - скорость перемещения точки визирования по поверхности источника излучения при сканировании,

$$v = \omega R, \quad (28)$$

и вводя параметр

$$k = 2\pi b \omega / \lambda, \quad (29)$$

окончательно получим

$$V_u(\tau) = 2\sigma_T^2 [1 - \sin(k\tau) / (k\tau)] / (k\omega R \tau^2). \quad (30)$$

Подставляя последнее в (19) с учетом (20) после несложных преобразований получим

$$k\sigma_n^2 \{1 - 6[1 - \sin(kT) / (kT)] / (kT)^2\} / (3\omega R) = \sigma_n^2 \sqrt{2T_1 / \Delta F}. \quad (31)$$

Величина σ_n представляет собой флюктуационную чувствительность радиометра и определяется как [4. Б.А. Розанов, С.Б. Розанов. Приемники миллиметровых волн. - М., "Радио и связь", 1989, с. 20]

$$\sigma_n = T_{np} / \sqrt{\Delta f t_n}, \quad (32)$$

где T_{np} - шумовая температура приемника;

Δf - полоса пропускания приемника по высокой частоте;

t_n - время накопления.

Учитывая, что пространственный спектр сигнала ограничен в рассматриваемом случае величиной b^* , естественно принять

$$t_n = 2\pi / (b^* v) = \lambda / b \omega, \quad (33)$$

и, соответственно,

$$\Delta F = 1 / t_n. \quad (34)$$

Для получения количественной оценки зададим следующие исходные данные:

$\lambda = 3 \cdot 10^{-3}$ м; $T_{np} = 900$ К; $b = 0,2$ м; $\omega = 1$ с⁻¹; $\Delta f = 2 \cdot 10^9$ Гц; $T_1 = 1$ с.

Подставляя эти значения в (31) и решая последнее численно, получим

$$\sigma_n \approx 0,72 \cdot 10^{-3} \text{ с},$$

откуда в линейном приближении среднеквадратическая ошибка определения угла φ_2 ,

$$\sigma_{\varphi} \approx \omega \sigma_n = 2,46'.$$

Получаемую при таком значении σ_{φ} погрешность измерения дальности оценим с помощью выражения (1), полагая

$$d = 2 \text{ м}; \quad \varphi_2 = 0; \quad R = 100 \text{ м},$$

и подставляя вместо φ_2 сумму или разность значений φ_2 и σ_{φ} .

Для указанных исходных данных получим $R = 96,55 - 103,71$ м.

Таким образом, предложенный способ действительно позволяет определять дальность до поверхности излучателя, причем при указанных исходных данных точность измерения дальности составляет около 3,5%.

В качестве ограничения на применение предложенного способа необходимо указать снижение точности измерения при уменьшении среднеквадратического отклонения кажущейся температуры поверхности излучателя σ_T или уменьшении ширины ее пространственного спектра. При σ_T или ω^* , равных нулю, предложенный способ неприменим, однако это не может считаться его серьезным недостатком, так как такие случаи на практике крайне редки.

Формула изобретения:

Угломерно-базовый способ измерения дальности, включающий прием излучения источника излучения с помощью двух расположенных на базовом расстоянии друг от друга приемников, оснащенных остронаправленными антеннами, измерение углов между направлениями приема излучения источника антеннами A_1 и A_2 соответственно и опорным направлением, в качестве которого принимается перпендикуляр к линии A_1A_2 , и вычисление дальности до источника излучения по формуле

$$R = d \cdot \cos \varphi_2 / \sin(\varphi_2 - \varphi_1),$$

где R - расстояние от источника излучения до антенны A_1 ;

d - базовое расстояние между антеннами;

φ_1, φ_2 - углы между направлениями приема излучения источника антеннами A_1 и A_2 соответственно и опорным направлением, причем угловые отклонения влево от опорного направления считаются положительными, а вправо - отрицательными, измерение углов φ_1 и φ_2 производится путем сканирования антенн A_1 и A_2 , отличающийся тем, что сканирование антенн осуществляют в одной плоскости с одинаковой угловой скоростью таким образом, что во всем диапазоне измеряемых дальностей сектор сканирования поверхности источника излучения антенной A_2 включает в себя (перекрывает) сектор сканирования поверхности источника излучения антенной A_1 , антенны A_1 и A_2 и соответствующие приемники выполняют идентичными, перемещение главных лучей диаграмм направленности антенн как слева-направо, так и справа-налево в каждом цикле сканирования начинают одновременно, угол $\varphi_1(t)$, под которым визируется

антенной A_1 фрагмент поверхности источника излучения, дальность до которого измеряется, определяют по отклонению оси диаграммы направленности антенны A_1 от опорного направления в момент визирования выбранного фрагмента по формулам

$$\varphi_1(t) = \Phi_{11} - \omega t, \\ 0 \leq t \leq T_1,$$

при перемещении антенны A_1 слева-направо;

$$\varphi_1(t) = \Phi_{12} + \omega t, \\ 0 \leq t \leq T_1,$$

при перемещении антенны A_1 справа-налево,

где Φ_{11}, Φ_{12} - крайнее левое и крайнее правое отклонение антенны A_1 от опорного направления соответственно;

ω - угловая скорость сканирования антенн;

T_1 - период времени, в течение которого антенна A_1 перемещается из одного крайнего положения в противоположное,

а угол $\varphi_2(t')$, под которым данный фрагмент визируется антенной A_2 , определяют по формулам

$$\varphi_2(t') = \Phi_{21} - \omega \cdot (t + \tau_0), \\ 0 \leq t \leq T_2,$$

при перемещении антенны слева-направо;

$$\varphi_2(t') = \Phi_{22} + \omega \cdot (t + \tau_0), \\ 0 \leq t \leq T_2,$$

при перемещении антенны справа-налево, где Φ_{21}, Φ_{22} - крайнее левое и крайнее правое отклонение антенны A_2 от опорного направления соответственно;

T_2 - период времени, в течение которого антенна A_2 перемещается из одного крайнего положения в противоположное;

τ_0 - значение временной задержки от момента визирования фрагмента поверхности источника излучения, дальность до которого измеряется, антенной A_1 до момента визирования того же фрагмента антенной A_2 , определяемое как величина τ , при которой функция

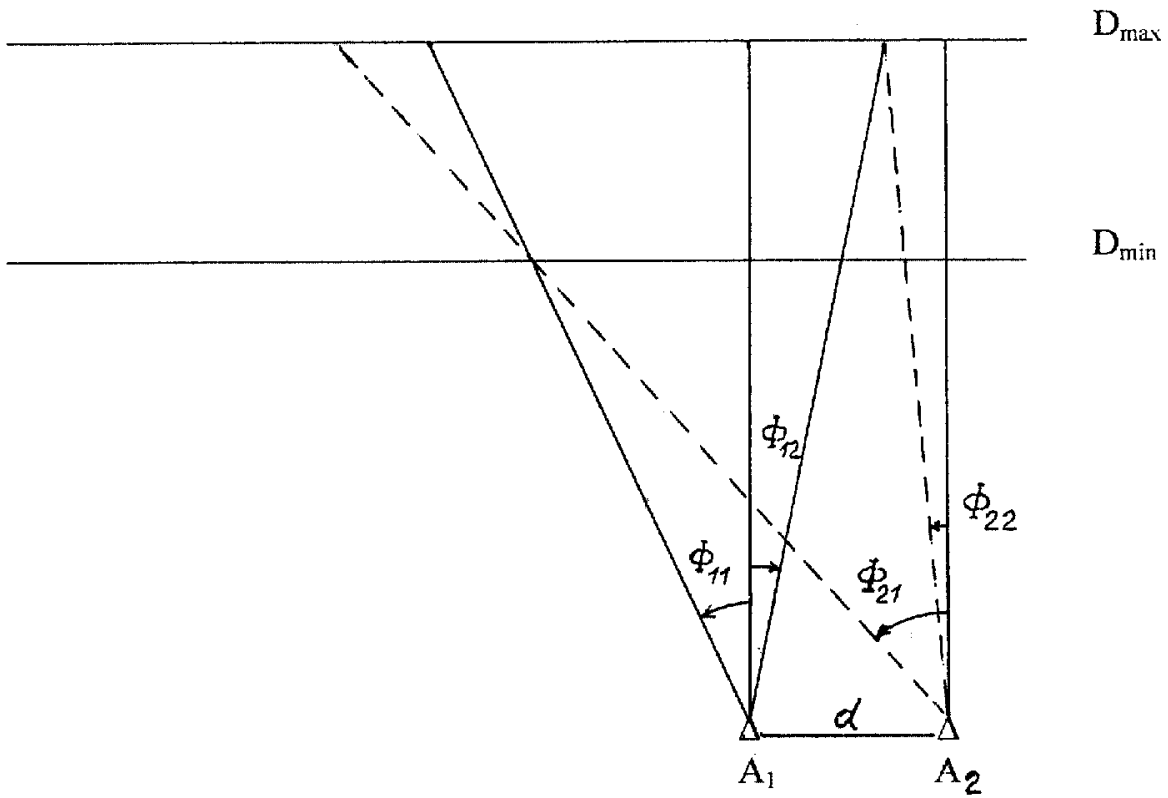
$$D(\tau) = \int_0^{T_1} f[x_1(t) - x_2(t + \tau)] dt,$$

$\tau \in [0, (T_2 - T_1)]$,

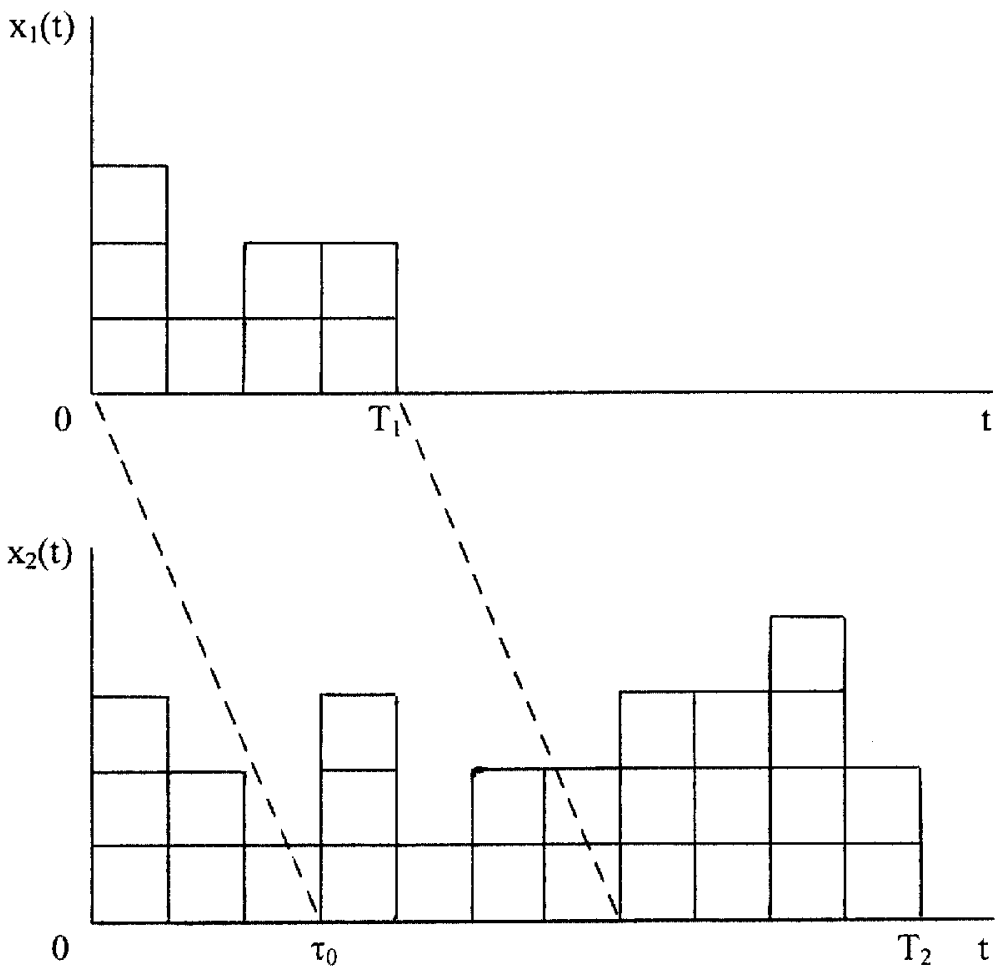
где $x_1(t), x_2(t)$ - сигналы на выходах приемников, ко входам которых подключены антенны A_1 и A_2 соответственно;

$f(\xi)$ - четная функция, монотонно возрастающая при увеличении абсолютной величины ξ ,

принимает минимальное значение.



Фиг. 2



Фиг. 3