



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G01S 19/03 (2006.01); *G01S 19/07* (2006.01); *G01S 19/38* (2006.01); *G01S 19/40* (2006.01); *G01S 19/43* (2006.01); *G01C 21/20* (2006.01); *G01C 21/28* (2006.01); *G01S 13/50* (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2016134853, 25.08.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
25.08.2016Дата регистрации:
16.07.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 25.08.2016

(43) Дата публикации заявки: 01.03.2018 Бюл. № 7

(45) Опубликовано: 16.07.2018 Бюл. № 20

Адрес для переписки:

105275, Москва, шоссе Энтузиастов, 29, АО
"Концерн "Моринсис-Агат", начальнику отдела
по управлению правами на РИД И.Б. Прусакову

(72) Автор(ы):

Дубинко Татьяна Юрьевна (RU),
Федотов Дмитрий Алексеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Российская Федерация, от имени которой
выступает МИНИСТЕРСТВО
ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2432585 C1, 27.10.2011. RU
2261417 C1, 27.09.2005. RU 2550299 C2,
10.05.2015. US 5751244 A, 12.05.1998. US
20100117894 A1, 13.05.2010. WO 2009034671
A1, 19.03.2009. EP 1275012 A1, 15.01.2003.

(54) СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ УГЛОВ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ
ОРИЕНТАЦИИ СУДНА В УСЛОВИЯХ НАРУШЕНИЯ СТРУКТУРЫ ПРИНИМАЕМЫХ СИГНАЛОВ
ГНСС СУДОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРОЙ

(57) Реферат:

Изобретение относится к способам повышения точности определения углов пространственной ориентации по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) путем компенсации влияния отраженных от объектов инфраструктуры судна с использованием геометрической модели отражений сигналов ГНСС на объекте (судне). Достижимый технический результат – защита от негативного влияния многолучевости. Указанный результат достигается путем построения

пространственной модели влияния отраженных от корпусных конструкций судна радиосигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) на изменение разностей фаз радиосигналов в приемных пространственно разнесенных антеннах, параметры пространственной модели определяются с учетом положения навигационных спутников ГНСС относительно корпуса судна и используются для коррекции разностей фаз от пространственно разнесенных приемных антенн ГНСС. 2 ил.

RU
2 661 336
С 2

RU
2 661 336
С 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

G01S 19/03 (2006.01); *G01S 19/07* (2006.01); *G01S 19/38* (2006.01); *G01S 19/40* (2006.01); *G01S 19/43* (2006.01); *G01C 21/20* (2006.01); *G01C 21/28* (2006.01); *G01S 13/50* (2006.01)

(21)(22) Application: **2016134853, 25.08.2016**(24) Effective date for property rights:
25.08.2016Registration date:
16.07.2018

Priority:

(22) Date of filing: **25.08.2016**(43) Application published: **01.03.2018** Bull. № 7(45) Date of publication: **16.07.2018** Bull. № 20

Mail address:

**105275, Moskva, shosse Entuziastov, 29, AO
"Kontsern "Morinsis-Agat", nachalniku otdela po
upravleniyu pravami na RID I.B. Prusakovu**

(72) Inventor(s):

**Dubinko Tatyana Yurevna (RU),
Fedotov Dmitrij Alekseevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Rossijskaya Federatsiya, ot imeni kotoroj
vystupaet MINISTERSTVO
PROMYSHLENNOSTI I TORGOVLI
ROSSIJSKOJ FEDERATSII (RU)**

(54) **METHOD FOR INCREASING THE ACCURACY IN DETERMINING THE ANGLES OF SPATIAL ORIENTATION OF A VESSEL IN CONDITIONS OF VIOLATION OF THE STRUCTURE OF RECEIVED GNSS SIGNALS BY VESSEL INFRASTRUCTURE**

(57) Abstract:

FIELD: navigation devices.

SUBSTANCE: invention relates to methods for increasing the accuracy of determining the angles of spatial orientation from the signals of global navigation satellite systems (GNSS) by compensating the effect of reflected from the infrastructure facilities of a vessel using the geometric model of GNSS signal reflections at the object (vessel). This result is achieved by constructing a spatial model of the effect of reflected from the hull structures of the vessel radio signals of

global navigation satellite systems (GNSS) on change of the phase differences of radio signals in receiving spatially separated antennas, parameters of the spatial model are determined taking into account the position of GNSS navigation satellites relative to a vessel body and are used to correct the phase differences from the spatially separated GNSS receiving antennas.

EFFECT: achieved technical result is the protection from the negative influence of multipath.

1 cl, 2 dwg

Изобретение относится к способам повышения точности при определении углов пространственной ориентации судна (курса, крена и дифферента) по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Предлагаемый способ может быть использован в мультиантенных системах ГНСС - судовых спутниковых компасах (при количестве приемных антенн ГНСС не менее трех), определяющих в реальном времени углы пространственной ориентации судна на основе разностных уравнений фазовых измерений с разрешением фазовой неоднозначности.

Спутниковый компас состоит, по крайней мере, из трех приемных антенн ГНСС, трех приемников ГНСС, формирующих измерения по фазе несущей, и вычислителя для решения задачи пространственной ориентации судна.

В качестве опорной системы координат для определения пространственной ориентации судна используют топоцентрическую систему координат (ТЦСК), которая связана с судном, и ее оси направлены соответственно: ось Y вдоль по местному меридиану, ось X дополняет систему до правой системы координат и направлена на восток по горизонтали, ось Z направлена вертикально вверх. Тогда углы пространственного положения судна относительно ТЦСК - курс, дифферент, крен, - определяются следующим образом: курс - угол вращения вокруг оси Z, дифферент - угол вращения вокруг оси X, крен - угол вращения вокруг оси Y.

В процессе решения задачи по разностям фазовых измерений ГНСС определяют координаты векторов, по крайней мере, двух антенных баз (векторов, соединяющих фазовые центры приемных антенн ГНСС) в прямоугольной геоцентрической системе координат, путем решения системы линейаризованных уравнений с оценкой фазовой неоднозначности в области целых чисел:

$$\Delta\Phi_{AB} = \vec{r}_B - \vec{r}_A + \Delta t_{AB} + N_{AB} + n_{AB}, \quad (1)$$

где \vec{r}_A , \vec{r}_B - вектора положения антенн А и В в прямоугольной геоцентрической системе координат (ГЦСК);

Δt_{AB} - расхождение шкал времени приемников ГНСС А и В;

N_{AB} - целое число циклов первых разностей фазовых неоднозначностей;

n_{AB} - шумовая составляющая погрешности фазовых измерений.

Затем вычисляют проекции базовых линий в ТЦСК с помощью матрицы перехода:

$$[\vec{r}_B - \vec{r}_A]_{\text{ТЦСК}}^T = \begin{bmatrix} -\sin\varphi \cdot \cos\lambda & \cos\varphi \cdot \sin\lambda & \cos\lambda \\ \sin\lambda & \cos\lambda & 0 \\ \cos\varphi \cdot \cos\lambda & \sin\varphi \cdot \cos\lambda & \sin\lambda \end{bmatrix} \cdot [\vec{r}_B - \vec{r}_A]_{\text{ГЦСК}}^T \quad (2)$$

где φ , λ - значения широты и долготы, соответствующие началу отсчета ТЦСК и системы координат, связанной с объектом (в общем случае - фазовый центр антенны А).

Аналогичным образом определяется вектор между фазовыми центрами антенн А и В для второй антенной базы.

Углы пространственной ориентации судна определяются из взаимной ориентации векторов антенных баз соответственно в ТЦСК, и в системе координат ОСК, связанной с судном (определяется конфигурацией антенной системы) из соотношения

$$[\vec{r}_B - \vec{r}_A]_{\text{ОСК}}^T = R(K, \Theta, \Psi) \cdot [\vec{r}_B - \vec{r}_A]_{\text{ТЦСК}}^T \quad (3)$$

где $R(K, \Theta, \Psi)$ - матрица последовательных вращений вокруг оси Z (по часовой стрелке) и вокруг осей Y и X (против часовой стрелки).

Инфраструктура судна, как правило, не позволяет обеспечить при установке

приемных антенн ГНСС полностью открытое для приема спутниковых сигналов верхнее полупространство. Расположение вблизи антенной системы ГНСС мачт, труб и иных объектов является типичным для условий судна и вызывает так называемый эффект многолучевости, заключающийся в приеме суперпозиции прямого и отраженного от объекта инфраструктуры сигнала ГНСС. Эффект многолучевости может оказывать существенное негативное влияние на точность и надежность навигационных определений, особенно сильно это влияние может сказаться на качестве прецизионных дифференциальных решений на основе технологий обработки измерений ГНСС по фазе несущей (лежащих в основе алгоритмов определения курса, крена и дифферента мультиантенной системой ГНСС). Искажение фазового сигнала приводит не только к снижению точности вырабатываемых угловых навигационных параметров, но и к неприемлемому увеличению времени старта спутникового компаса, ложным фазовым решениям, срывам решения в контуре определения угловых параметров.

Несущая частота отраженного сигнала близка к несущей частоте прямого сигнала. Разность их частот невелика и вызвана разницей доплеровских сдвигов в точках прямого приема и отражения. Эта небольшая разность частот вызывает медленноменяющийся сдвиг фазы отраженного сигнала относительно прямого.

На фиг. 1 показано внесение сдвига фазы при отражении сигнала от объекта вблизи приемной антенны ГНСС: а) прямой фазовый сигнал, б) сдвиг фазы при сложении прямого сигнала с отраженным. Периодичность этого фазового сдвига оценивается единицами - десятками (до сотен) секунд. Фазовый сдвиг почти линейно нарастает во времени с указанной выше периодичностью переходов через 2π . При этом ошибки по фазе несущей, вызванные многолучевостью, лежат в пределах $-4 \dots 4$ см, а интервал корреляции данной погрешности для неподвижных объектов может составлять до нескольких часов, что затрудняет ее фильтрацию. В условиях судна низкочастотный характер многолучевой погрешности также не позволяет выполнить эффективное усреднение на малых интервалах времени.

Согласно проведенному патентному поиску по информационным базам ФГБУ ФИПС, WIPO и USPTO, выявлены следующие основные методы уменьшения ошибки многолучевости:

- а) сглаживание измерений (RU 2432585);
- б) аппаратная защита приемных антенн ГНСС от нижних и боковых лучей (RU 2008148669, RU 2010148760);
- в) построение корреляторов следящих систем ФАП и ССЗ, отсекающих запаздывающий отраженный сигнал (US 6541950).

Предлагаемый способ защиты от негативного влияния многолучевости на основе построения и дальнейшего использования пространственной модели переотражений спутниковых сигналов от объектов инфраструктуры в окрестности установки антенной системы ГНСС не требует модернизации аппаратуры СНС и использует серийные мультиантенные спутниковые навигационные системы (спутниковые компасы), обеспечивает построения пространственной модели отражения радиосигналов ГНСС от инфраструктуры судна с помощью мультиантенных систем, непосредственно установленных на судне. Отличие предложенного способа от описанного в US 20080082266 в том, что в компенсации погрешностей используется построенная пространственная модель многолучевости судна и может быть реализована как в спутниковых компасах, так и в интегрированных навигационных системах с глубокой и слабой интеграцией.

Устройство, к которому относится заявленный способ, содержит три (или более)

приемных антенны ГНСС, три приемника ГНСС, формирующих измерения полной фазы несущей, и вычислитель, в котором по фазовым измерениям определяются углы пространственной ориентации судна, а также строится модель, определяющая величины погрешности, вносимой в фазовые измерения ГНСС при отражении спутниковых сигналов от объектов, окружающих антенную систему. Параметрами модели является пространственное направление прихода сигнала спутника на антенну.

В основе рассматриваемого способа лежит предположение о том, что при относительной неподвижности приемной антенны ГНСС и отражающего предмета друг относительно друга спутниковый сигнал, приходящий в различные моменты времени с одного и того же направления, вносит одну и ту же погрешность в измерительную информацию оборудования ГНСС.

Принцип построения пространственной модели переотражений заключается в построении зависимостей ошибки многолучевости от направления прихода спутникового радиосигнала в некоторой системе координат, жестко связанной с приемной антенной ГНСС и отражающим предметом:

$$\delta(Z) = f(\varphi, \theta),$$

где Z - измеренный параметр ГНСС;

φ - азимут источника радиосигнала в связанной с судном системе координат;

θ - угол возвышения источника радиосигнала в связанной с судном системе координат.

В качестве измеренного параметра Z в предлагаемом способе рассматриваются «первые фазовые разности» - разности фазовых измерений на двух антеннах по одному и тому же спутнику ГНСС.

$$\Delta\Phi_{AB} = \vec{r}_B - \vec{r}_A + \Delta t_{AB} + N_{AB} + \delta(Z) + n_{AB}$$

где \vec{r}_A, \vec{r}_B - вектора положения антенн А и В в геоцентрической системе координат (ГЦСК);

Δt_{AB} - расхождение шкал времени приемников А и В;

N_{AB} - целое число циклов первых разностей фазовых неоднозначностей;

$\delta(Z)$ - погрешность, вызванная влиянием многолучевости;

n_{AB} - шумовая составляющая погрешности фазовых измерений.

Соответственно оцениваемый параметр $\delta(Z)$ представляет разность погрешностей, вызванных отраженным сигналом, на антеннах А и В.

Построение модели осуществляется путем калибровки, заключающейся в оценке величины погрешности $\delta(Z)$, вызванной переотражением сигналов, приходящих с различных направлений и выявлением закономерностей приведенного выше вида.

Продолжительное наблюдение всех видимых спутников ГНСС с фиксацией погрешности переотражения на каждую эпоху наблюдений позволяет построить сетку с минимально возможным шагом на верхней полусфере, связанной с антенной и отражающим объектом системы координат, и определить значения калибровочных поправок за влияние многолучевости в узлах этой сетки.

Модель строится на основе определения остаточных некомпенсированных погрешностей в первых разностях фазовых измерений, получаемых после оценки и исключения из этих измерений геометрических дальностей до спутников ГНСС, целочисленных фазовых неоднозначностей и расхождения шкал времени ГНСС и приемников. В предположении отсутствия иных погрешностей остаточные значения полагаются вызванными влиянием переотражений спутникового сигнала от окружающих предметов.

При построении модели каждому значению нескомпенсированной погрешности сопоставляется положение спутника на небесной полусфере в горизонтной системе координат (ГСК):

$$\delta(\Delta\Phi_{AB}) \leftarrow (\varphi_{ГСК}, \theta_{ГСК}),$$

5 где $\varphi_{ГСК}$ - азимут спутника, с которого получен сигнал;

$\theta_{ГСК}$ - угол возвышения спутника над горизонтом;

$\delta(\Delta\Phi_{AB})$ - нескомпенсированная погрешность первых разностей фазовых измерений для антенн А и В.

10 Ориентация объектовой системы координат (жестко связанной с судном) относительно ГСК однозначно определяется тремя углами пространственной ориентации объекта (K, Θ, Ψ) - курсом, креном и дифферентом, которые также определены с высокой точностью штатными средствами спутникового компаса.

15 Значения $\delta(\Delta\Phi_{AB})$, полученные по всем спутникам ГНСС за время проведения наблюдений, затем подвергаются обработке с целью формирования двумерного массива значений погрешностей многолучевости на полусферической сетке с основанием, совпадающим с плоскостью палубы судна, и заданным шагом Δ , определяемым длительностью наблюдений.

20 Значения в узлах сетки определяются по методу наименьших квадратов на основе всей накопленной информации. Путем анализа выявляются области, значения погрешности в которых превосходят по модулю $0,1$ фазового цикла (и, соответственно, могут оказывать негативное влияние на точность навигационных определений). Для каждой из выявленных областей строится пространственная модель многолучевости в виде разложения в двумерный ряд Тейлора:

$$25 \quad \delta(\varphi, \theta) = a_0 + a_1\varphi + a_2\theta + a_3\varphi^2 + a_4\theta^2 + a_5\varphi\theta,$$

где φ, θ - азимут и угол возвышения НКА в объектовой (связанной с судном) системе координат;

$a_0 \dots a_5$ - параметры модели.

30 Погрешность $\delta(\varphi, \theta)$ является функцией азимута и угла возвышения спутника ГНСС в объектовой (связанной с судном) системе координат (ОСК). Указанные направления прихода спутникового сигнала могут быть определены из значений азимута и угла возвышения спутника в ГСК с учетом текущих значений параметров полной пространственной ориентации судна:

$$35 \quad (\varphi, \theta) = f(\varphi_{ГСК}, \theta_{ГСК}, K, \Theta, \Psi),$$

где K, Θ, Ψ - курс, крен и дифферент судна соответственно;

$\varphi_{ГСК}$ - азимут спутника в ГСК;

$\theta_{ГСК}$ - угол возвышения спутника в ГСК.

40 Таким образом, учет калибровочных поправок модели в разностных уравнениях позволит компенсировать негативное влияние многолучевости в спутниковом компасе вне зависимости от ориентации судна относительно спутников ГНСС и его динамики.

Заявляемая модель изобретения пояснена на чертежах:

45 на фиг. 1 показано внесение сдвига фазы при отражении сигнала от объекта вблизи приемной антенны ГНСС: а) прямой фазовый сигнал, б) сдвиг фазы при сложении прямого сигнала с отраженным.

на фиг. 2.А схематично изображен прием отраженных от судовой инфраструктуры спутниковых сигналов; на фиг. 2.Б схематично изображена антенная система из трех

антенн ГНСС, используемая при определении углов пространственной ориентации.

На фиг. 2.А, фиг. 2.Б введены следующие обозначения позиций: 1 - узлы сетки для построения пространственной модели; 2 - отражающий объект судовой инфраструктуры; 3 - отраженный спутниковый сигнал; 4 - прямой спутниковый сигнал; 5 - спутник ГНСС; 6 - приемная антенна ГНСС; 7 - определяемые антенны антенной системы ГНСС; 8 - базовая антенна антенной системы ГНСС.

(57) Формула изобретения

Способ определения курса, крена и дифферента судна по радиосигналам глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) путем измерения в реальном времени разностей фаз с разрешением фазовой неоднозначности радиосигналов от трех (и более) пространственно разнесенных антенн, расположенных на открытых для приема спутниковых радиосигналов частях судна в произвольной геометрической конфигурации, отличающийся тем, что строится пространственная модель влияния отраженных от корпусных конструкций судна радиосигналов на изменение разностей фаз радиосигналов в приемных пространственно разнесенных антеннах, параметры пространственной модели определяются с учетом положения навигационных спутников ГНСС относительно корпуса судна и используются для коррекции разностей фаз от пространственно разнесенных приемных антенн ГНСС.

20

25

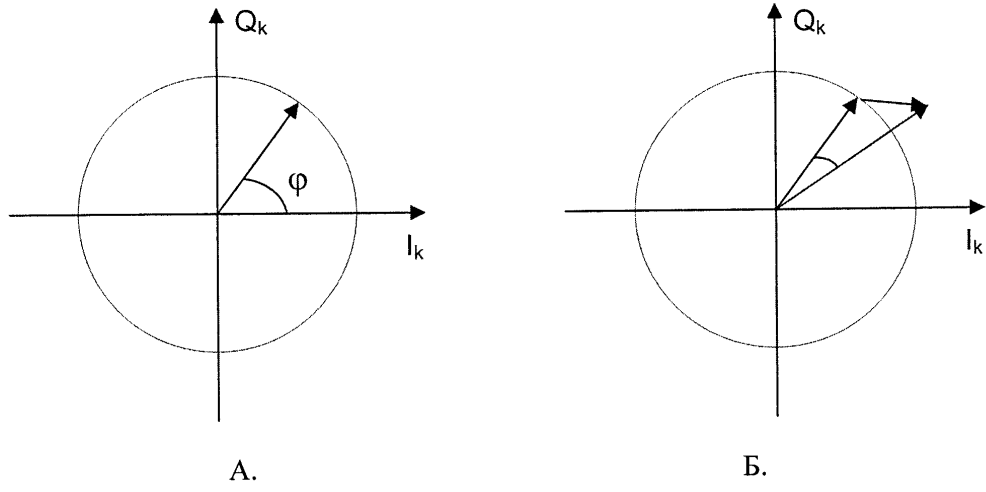
30

35

40

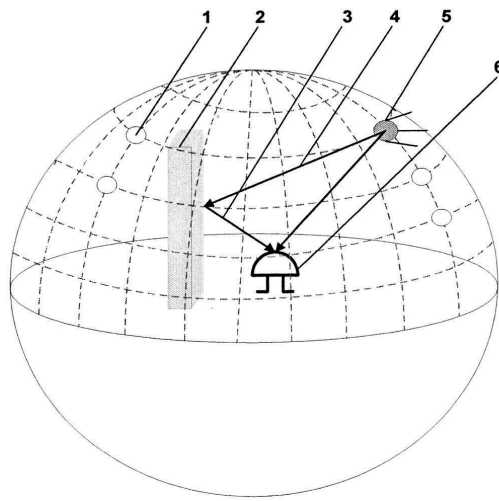
45

1

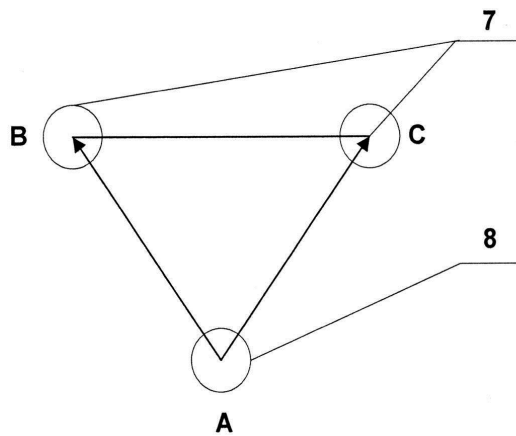


Фигура 1.

2



А.



Б.

Фигура 2.