



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G01S 13/89 (2006.01); G01S 13/90 (2006.01); G01C 11/06 (2006.01); G01C 11/08 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2016148235, 08.12.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
08.12.2016

Дата регистрации:
06.02.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 08.12.2016

(45) Опубликовано: 06.02.2018 Бюл. № 4

Адрес для переписки:

111250, Москва, ул. Красноказарменная, 14,
ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ", НИЧ, Центр
патентования, защиты и оценки
интеллектуальной собственности, Лобзовой Т.А.

(72) Автор(ы):

Шимкин Павел Евгеньевич (RU),
Баскаков Александр Ильич (RU),
Бабокин Михаил Иванович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Национальный
исследовательский университет "МЭИ"
(ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ") (RU)

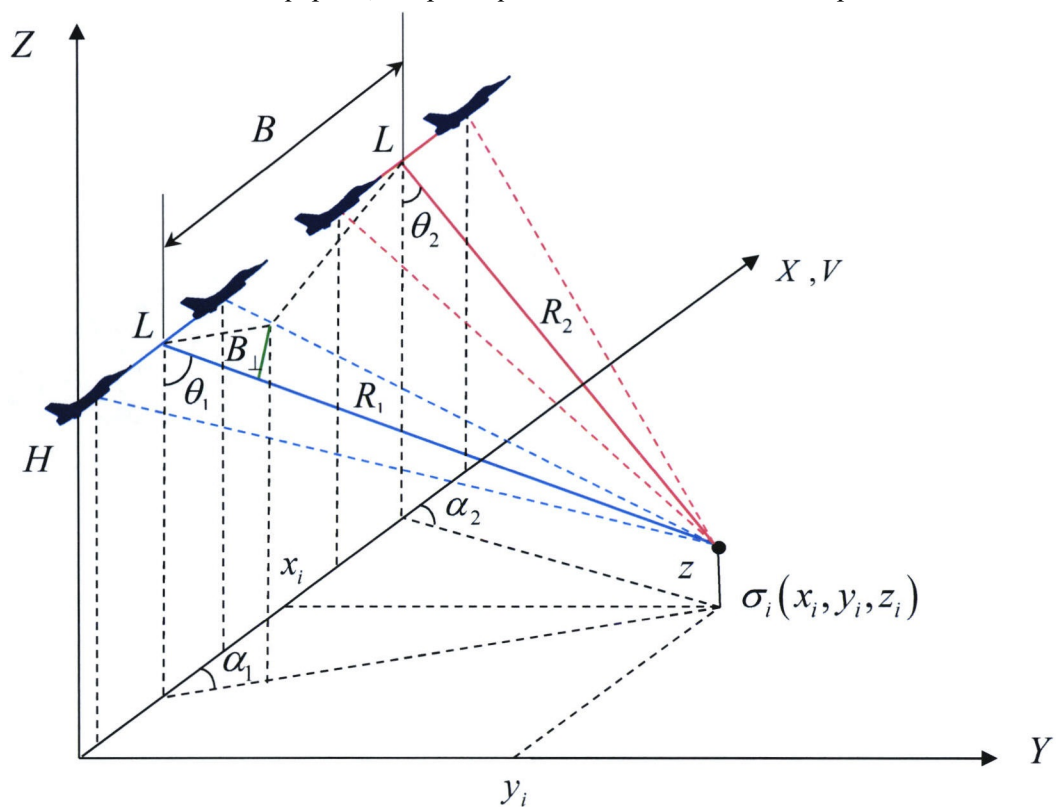
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: GEUDTNER D. et al. RADARSAT
Repeat-pass SAR Interferometry/ In
Proceedings IEEE 1998 International
Geoscience and Remote Sensing Symposium
(IGARSS,98), vol.3, July, 6-10 1998, pp. 1635-
1637. RU 2347237 C1, 20.02.2009. RU 2351949
C1, 10.04.2009. RU 2436134 C1, 10.12.2011. US
7145501 B1, 05.12.2006. EP 1728104 B1,
24.07.2013. US 6914553 B1, (см. прод.)

(54) Способ измерения рельефа поверхности Земли

(57) Реферат:

Изобретение относится к радиотехнике и может быть использовано в радиолокаторе с синтезируемой апертурой антенны (РСА). Достижимый технический результат – измерение рельефа поверхности Земли и формирование цифровой модели рельефа с помощью РСА, установленного на борту носителя РСА. Сущность способа измерения рельефа поверхности Земли заключается в последовательном наблюдении за поверхностью при постоянной высоте полета носителя и скорости полета, при этом первый сеанс наблюдения, заключающийся в излучении зондирующих сигналов и приеме отраженных от поверхности Земли сигналов с синтезом радиолокационных изображений (РЛИ) при

телескопическом обзоре на интервале синтезирования L, осуществляется на дальности до поверхности R_1 , угле места θ_1 и угле азимута α_1 , отличном от строго бокового, т.е. меньше 90° . После естественного перемещения носителя радиолокатором с синтезируемой апертурой (РСА) на расстояние базы интерферометра В осуществляется второй сеанс наблюдения за той же области поверхности на дальности R_2 , азимуте α_2 , угле места θ_2 , также заключающийся в излучении зондирующих сигналов и приеме отраженных от поверхности Земли сигналов с синтезом РЛИ при телескопическом обзоре на интервале синтезирования L. После проведения пары сеансов наблюдения производится стандартная интерферометрическая обработка



(56) (продолжение):
05.07.2005.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G01C 11/00 (2006.01)
G01S 13/89 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

G01S 13/89 (2006.01); *G01S 13/90* (2006.01); *G01C 11/06* (2006.01); *G01C 11/08* (2006.01)(21)(22) Application: **2016148235, 08.12.2016**(24) Effective date for property rights:
08.12.2016Registration date:
06.02.2018

Priority:

(22) Date of filing: **08.12.2016**(45) Date of publication: **06.02.2018** Bull. № 4

Mail address:

111250, Moskva, ul. Krasnokazarmennaya, 14,
FGBOU VO "NIU "MEI", NICH, Tsentr
patentovaniya, zashchity i otsenki intellektualnoj
sobstvennosti, Lobzovoj T.A.

(72) Inventor(s):

**Shimkin Pavel Evgenevich (RU),
Baskakov Aleksandr Ilich (RU),
Babokin Mikhail Ivanovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Natsionalnyj issledovatel'skij
universitet "MEI" (FGBOU VO "NIU "MEI")
(RU)**

(54) **METHOD OF EARTH SURFACE RELIEF MEASUREMENT**

(57) Abstract:

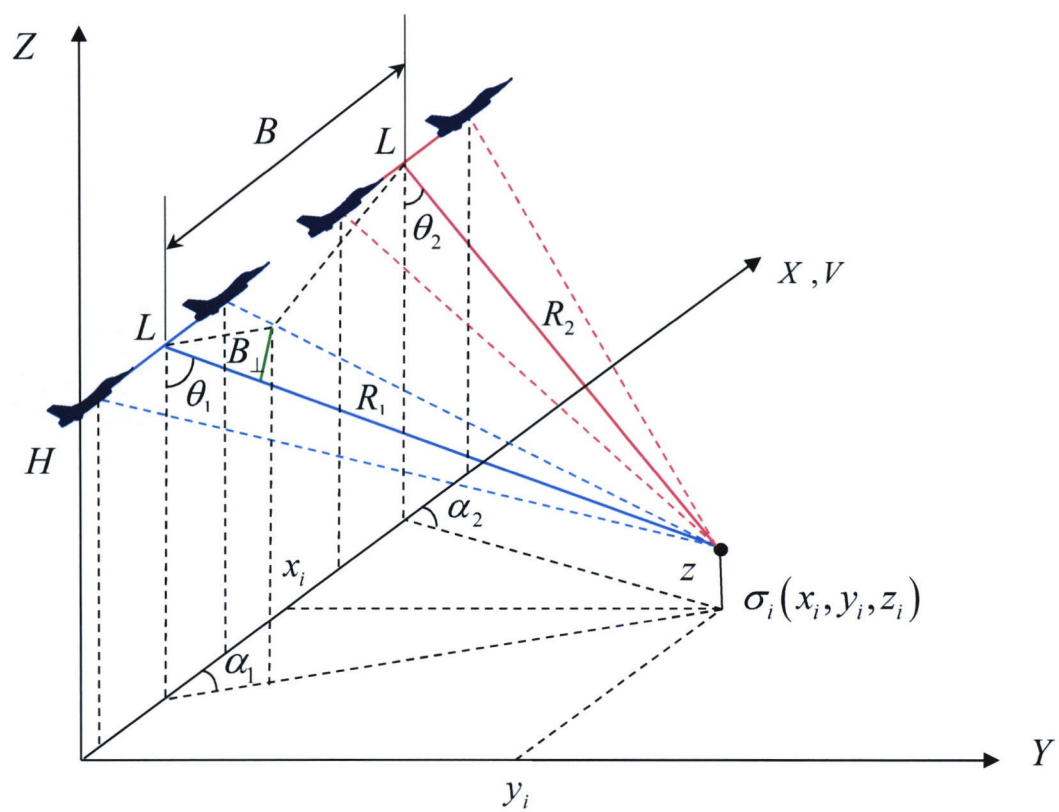
FIELD: radio engineering, communication.

SUBSTANCE: earth surface relief measurement consists of sequential observation of the surface at a constant altitude of carrier flight and flight speed, at that the first observation session consisting of the emission of probing signals and reception of signals reflected from the Earth's surface with the synthesis of radar images (RI) under telescopic survey at the synthesis interval L, is carried out at the range to the surface R_1 , elevation angle θ_1 and azimuth angle α_1 , different from strictly lateral, i.e. less than 90° . After the carrier is naturally moved by a synthetic aperture radar (SAR) to the distance of the base of the interferometer B, the second observation session is made over the same surface region at the range R_2 ,

azimuth α_2 , elevation angle θ_2 , also consisting in the emission of probing signals and the reception of signals reflected from the surface of the Earth with the synthesis of radar images during a telescopic survey in the synthesis interval L. After conducting a pair of observation sessions, a standard interferometric processing of the radar images pair is performed, and information on the relief of the underlying surface is extracted.

EFFECT: measuring the relief of the Earth's surface and forming a digital relief model using a radar with synthesized aperture mounted on a radar carrier with synthesized aperture.

1 dwg



Изобретение относится к радиотехнике и может быть использовано в радиолокаторе с синтезируемой апертурой антенны (РСА), установленном на борту летательного/космического/беспилотного аппарата, использующем интерферометрическую обработку радиолокационных изображений (РЛИ) для оперативного определения и измерения рельефа подстилающей поверхности Земли с дальнейшим составлением цифровых моделей рельефа (ЦМР) и топографических карт местности.

Известен способ топографического картирования с помощью интерферометрического РСА (ИРСА) с «жесткой» базой [Rabus B. et al. The Shuttle Radar Topography Mission - a New Class of Digital Elevation Models Acquired by Spaceborne Radar. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 57, 2003, pp. 241-262], при котором передатчик и два приемных канала с независимыми антеннами размещаются на одном космическом аппарате (КА). В данном способе реализована сложная конструкция с выдвижной 60-метровой штангой, на которой установлен второй приемный РСА. Наблюдение ведется в строго боковом обзоре (ортогонально вектору движения носителя РСА) и система жестко связанных РСА располагается таким образом, что база интерферометра (расстояние между приемными антеннами) строго перпендикулярна линии пути. Первый приемопередатчик РСА используется для излучения зондирующих сигналов и приема отраженных сигналов от земной поверхности, в то время как второй РСА используется только на прием. После получения пары РЛИ производят их интерферометрическую обработку с дальнейшим извлечением информации о рельефе.

Недостатками данного способа являются, во-первых, значительная сложность, начиная с установки на носитель значительного размера «жесткой» базы интерферометра. Во-вторых, построение комплекса с «жесткой» базой физически предполагает наличие двух приемных апертур (при этом одна из антенн работает на излучение и прием), на каждой из которых имеется независимый когерентный приемник, что несомненно сказывается на стоимости такой системы. В-третьих, ограничение по размеру базы интерферометра не позволяет достичь близких к потенциальной точности измерений разности фаз, влияющих на точность измерения рельефа поверхности Земли.

Наиболее близким по технической сущности является способ измерения рельефа поверхности Земли [Geudtner D., et al. RADARSAT Repeat-pass SAR Interferometry. In Proceedings IEEE 1998 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'98), vol. 3, July, 6-10 1998, pp. 1635-1637] с использованием одного РСА, установленной на борту одного носителя. В данном способе интерферометрические измерения проводят во время последовательных проходов с искусственным формированием базы интерферометра (ИРСА с «мягкой базой»). При этом, база интерферометра располагается строго перпендикулярно линии пути. При первом проходе носителя над исследуемой поверхностью с помощью РСА осуществляется излучение зондирующих сигналов и прием отраженных от земной поверхности сигналов с формированием первого РЛИ. Во время второго прохода с помощью того же РСА осуществляется излучение зондирующих сигналов и прием отраженных от земной поверхности сигналов с формированием второго РЛИ. После проведения интерферометрической обработки пары РЛИ происходит извлечение информации о рельефе поверхности Земли.

Недостатком данного способа является сложность контроля размера базы, связанная с высокоточным выходом носителя на второй проход, и временная декорреляция, вызванная тем, что проходы могут происходить через значительный промежуток времени, за который возможны значительные изменения мелкомасштабного рельефа местности, разрушающего разностно-фазовый сюжет при интерферометрической обработке. Наиболее существенным недостатком является низкая оперативность

получения информации о рельефе поверхности Земли. Связано это с тем, что, например, в космических комплексах ИРСА с «мягкой» базой принципом работы является смена орбиты спутника Земли, которая может происходить несколько дней.

Технической задачей изобретения является радиолокационное измерение рельефа поверхности Земли и формирование ЦМР с помощью РСА, установленной на борт одного носителя РСА.

Техническим результатом изобретения является повышение оперативности получения информации о рельефе поверхности Земли на борту за один проход носителя РСА, упрощение системы измерения рельефа поверхности Земли.

Это достигается тем, что в известном способе измерения рельефа поверхности Земли, заключающемся в том, что на борту одного носителя размещают один радиолокатор с синтезируемой апертурой антенны (РСА), с помощью которого искусственно формируют базу интерферометра во время последовательных наблюдений за поверхностью Земли, при этом осуществляют излучение зондирующих сигналов и прием отраженных от земной поверхности сигналов с синтезом пары радиолокационных изображений (РЛИ) и их интерферометрической обработкой, что базу интерферометра формируют вдоль трассы полета носителя РСА при его естественном перемещении в пространстве, осуществляют последовательные наблюдения за поверхностью Земли при постоянной высоте и скорости полета носителя РСА, причем первый сеанс наблюдения осуществляют путем излучения зондирующих сигналов и приема сигналов, отраженных от поверхности Земли с синтезом РЛИ при азимутальном телескопическом обзоре на интервале синтезирования, после перемещения носителя РСА на расстояние базы интерферометра осуществляют второй сеанс наблюдения за той же областью поверхности Земли, также путем излучения зондирующих сигналов и приема сигналов, отраженных от поверхности Земли с синтезом РЛИ при азимутальном телескопическом обзоре на интервале синтезирования, после проведения пары сеансов наблюдения осуществляют интерферометрическую обработку пары РЛИ с извлечением информации о рельефе подстилающей поверхности, при этом наличие перпендикулярной проекции базы интерферометра, возникающей при использовании телескопического обзора с азимутальным углом α_1 меньшим 90° , обеспечивает получение соотношения, отображающего однозначную связь между рельефом поверхности Земли и параметрами наблюдения с интерферометрической разностью фаз в виде -

$$z_i = H - R_1 \sqrt{1 - \frac{\left(R_1^2 + B^2 - \left(R_1 - \frac{\lambda}{4\pi} \phi \right)^2 \right)^2}{2 R_1 B \cos \alpha_1}}, \quad (1)$$

где H - постоянная высота полета носителя РСА; R_1 - дальность до поверхности Земли; B - расстояние базы интерферометра; α_1 - азимутальный угол; λ - рабочая длина волны передатчика РСА; ϕ - интерферометрическая разность фаз.

Сущность изобретения поясняется чертежом, на котором представлена схема организации интерферометрической съемки.

Способ измерения рельефа поверхности Земли заключается в следующем.

Принцип работы ИРСА поясняется на примере одиночной точечной цели σ_i , имеющей координаты (x_i, y_i, z_i) . Он заключается в последовательном наблюдении за поверхностью при постоянной высоте полета носителя H и скорости полета V . Первый сеанс

наблюдения, заключающийся в излучении зондирующих сигналов и приеме отраженных от поверхности Земли сигналов с синтезом РЛИ при телескопическом обзоре на интервале синтезирования L , осуществляется на дальности до поверхности R_1 , угле места θ_1 и угле азимута α_1 , отличном от строго бокового, т.е. меньше 90° . После естественного перемещения носителя РСА на расстояние базы интерферометра B осуществляется второй сеанс наблюдения за той же областью поверхности на дальности R_2 , азимуте α_2 , угле места θ_2 , также заключающийся в излучении зондирующих сигналов и приеме отраженных от поверхности Земли сигналов с синтезом РЛИ при телескопическом обзоре на интервале синтезирования L . После проведения пары сеансов наблюдения производится стандартная интерферометрическая обработка пары РЛИ с извлечением информации о рельефе подстилающей поверхности.

Возможность оценки высоты элемента разрешения при построении интерферометра с помощью такой геометрии визирования появляется благодаря наличию перпендикулярной проекции $B_\perp$ базы интерферометра B , которая возникает при использовании скошенного обзора с азимутальным углом α_1 меньшим 90° , т.е. отличного от строго бокового. Соотношение для высоты элемента разрешения, отображающее однозначную связь между рельефом поверхности и параметрами наблюдения с интерферометрической разностью фаз ϕ , определяется с помощью (1):

$$z = H - R_1 \sqrt{1 - \frac{\left(R_1^2 + B^2 - \left(R_1 - \frac{\lambda}{4\pi} \phi \right)^2 \right)^2}{2 R_1 B \cos \alpha_1}}, \quad (1)$$

где λ - рабочая длина волны передатчика РСА.

Рабочий диапазон дальностей до поверхности R_1 , влияющий на выбор H , θ_1 , определяется тактическими параметрами РСА. Выбор первоначального азимутального угла визирования α_1 сводится к возможности синтеза РЛИ при скошенном телескопическом обзоре, что в свою очередь требует специальных методов формирования РЛИ. Длина интервала синтезирования L выбирается из необходимой разрешающей способности по азимуту и рабочей длины волны λ . Размер базы интерферометра B является наиболее критичным параметром при выборе параметров ИРСА. В ряде случаев размер базы интерферометра B может оказаться меньше, чем интервал синтезирования РЛИ L . Поэтому, возможно использование одного увеличенного интервала синтезирования с разбиением на подинтервалы для организации базы интерферометра на этапе цифровой обработки сигналов.

Использование изобретения позволяет повысить оперативность получения информации о рельефе поверхности Земли на борту за один проход носителя РСА, упростить систему измерения рельефа поверхности Земли.

(57) Формула изобретения

Способ измерения рельефа поверхности Земли, заключающийся в том, что на борту одного носителя размещают один радиолокатор с синтезируемой апертурой антенны (РСА), с помощью которого искусственно формируют базу интерферометра во время последовательных наблюдений за поверхностью Земли, при этом осуществляя излучение зондирующих сигналов и прием отраженных от земной поверхности сигналов с синтезом

пары радиолокационных изображений (РЛИ) и их интерферометрической обработкой, отличающийся тем, что базу интерферометра формируют вдоль трассы полета носителя РСА при его естественном перемещении в пространстве, осуществляют последовательные наблюдения за поверхностью Земли при постоянной высоте и скорости полета носителя РСА, причем первый сеанс наблюдения осуществляют путем излучения зондирующих сигналов и приема сигналов, отраженных от поверхности Земли с синтезом РЛИ при азимутальном телескопическом обзоре на интервале синтезирования, после перемещения носителя РСА на расстояние базы интерферометра осуществляют второй сеанс наблюдения за той же областью поверхности Земли, также путем излучения зондирующих сигналов и приема сигналов, отраженных от поверхности Земли с синтезом РЛИ при азимутальном телескопическом обзоре на интервале синтезирования, после проведения пары сеансов наблюдения осуществляют интерферометрическую обработку пары РЛИ с извлечением информации о рельефе подстилающей поверхности, при этом наличие перпендикулярной проекции базы интерферометра, возникающей при использовании телескопического обзора с азимутальным углом α_1 , меньшим 90° , обеспечивает получение соотношения, отображающего однозначную связь между рельефом поверхности Земли и параметрами наблюдения с интерферометрической разностью фаз в виде -

$$z_i = H - R_1 \sqrt{1 - \left(\frac{R_1^2 + B^2 - \left(R_1 - \frac{\lambda}{4\pi} \phi \right)^2}{2R_1 B \cos \alpha_1} \right)^2}, \quad (1)$$

где H - постоянная высота полета носителя РСА; R_1 - дальность до поверхности Земли; B - расстояние базы интерферометра; α_1 - азимутальный угол; λ - рабочая длина волны передатчика РСА; ϕ - интерферометрическая разность фаз.

Способ измерения рельефа поверхности Земли

