



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014117385/07, 29.04.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.04.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.04.2014

(45) Опубликовано: 10.09.2015 Бюл. № 25

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: Радиозлектронная борьба. Цифровое запоминание и воспроизведение радиосигналов и электромагнитных волн. Под ред. КУПРИЯНОВА Ф.И., Москва, Вузовская книга, 2009, с.221-274. RU 2493530 C1, 20.09.2013. RU 2347238 C1, 20.02.2009. RU 2347239 C1, 20.02.2009. RU 2310884 C1, 20.11.2007. US 7236119 B2, 26.06.2007. uS 8416118 B1, 09.04.2013. FR 2847675 A1, 28.05.2004

Адрес для переписки:

394064, г.Воронеж, ул. Старых Большевиков,
54А, ВУНЦ ВВС "ВВА", Центр ОНР и ПНПК

(72) Автор(ы):

Купряшкин Иван Федорович (RU),
Усов Николай Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Российская Федерация, от имени которой
выступает Министерство обороны
Российской Федерации (RU),
Федеральное государственное казенное
военное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
"Военный учебно-научный центр Военно-
воздушных сил "Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А.
Гагарина (г. Воронеж) Министерства
обороны Российской Федерации (RU)

(54) СПОСОБ ИМИТАЦИИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ЦЕЛЕЙ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области радиотехники, в частности к технике радиозлектронного подавления космических радиолокационных станций с синтезированной апертурой антенны (РСА). Достижимый технический результат - снижение вероятности правильного обнаружения маскируемых объектов космическими РСА. Указанный результат достигается тем, что в способе имитации радиолокационных целей, основанном на приеме ретранслятором зондирующих импульсов космической РСА $s_p(t)$, их усилении, переносе несущей частоты f_0 на промежуточную частоту $f_{пч}$, фильтрации, аналого-цифровом преобразовании с интервалом дискретизации δt , записи полученной последовательности цифровых отсчетов $s_{pi}=s_p((i-1)\delta t)$, фильтрации, усилении ретранслируемых радиолокационных сигналов и их излучении в направлении космической РСА,

дополнительно задают число формируемых на радиолокационном изображении ложных отметок N , векторы геоцентрических координат точек земной поверхности, соответствующих положению n -й ложной отметки $x_{лп}=[x_{лп}, y_{лп}, z_{лп}]$, где $n = \overline{1, N}$, и амплитудный коэффициент передачи сигнала n -й ложной отметки $a_n \in [0; 1]$, вычисляют для каждого p -го зондирования текущее расстояние между космической РСА и каждой из N точек на земной поверхности, соответствующих положению ложных отметок $R_{л\ pп}$, и расстояние между космической РСА и ретранслятором $R_{гр}$, задают закон модуляции импульсов в виде последовательности цифровых отсчетов отметки на p -м зондировании, считывают i -й отсчет p -го зондирующего импульса s_{pi} через интервал времени τ_r , умножают его на соответствующий отсчет модулирующей

функции M_{pi} , преобразуют полученную последовательность цифровых отсчетов произведений $s_{pi}M_{pi}$ в аналоговый

ретранслируемый импульс и переносят его частоту с промежуточной $f_{пч}$ на несущую f_0 . 2 ил.

R U 2 5 6 2 2 6 1 4 C 1

R U 2 5 6 2 2 6 1 4 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2014117385/07, 29.04.2014**(24) Effective date for property rights:
29.04.2014

Priority:

(22) Date of filing: **29.04.2014**(45) Date of publication: **10.09.2015** Bull. № **25**

Mail address:

**394064, g. Voronezh, ul. Starykh Bol'shevikov, 54A,
VUNTs VVS "VVA", Tsentr ONR i PNPK**

(72) Inventor(s):

**Kuprjashkin Ivan Fedorovich (RU),
Usov Nikolaj Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Rossijskaja Federatsija, ot imeni kotoroj
vystupaet Ministerstvo oborony Rossijskoj
Federatsii (RU),
Federal'noe gosudarstvennoe kazennoe voennoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovanija "Voennyj
uchebno-nauchnyj tsentr Voennno-vozdushnykh
sil "Voennno-vozdushnaja akademija imeni
professora N.E. Zhukovskogo i Ju.A. Gagarina
(g. Voronezh) Ministerstva oborony Rossijskoj
Federatsii (RU)**(54) **METHOD OF SIMULATING RADAR TARGETS**

(57) Abstract:

FIELD: radio engineering, communication.

SUBSTANCE: method of simulating radar targets, based on receiving, by a relay station, probing signals of a space synthetic-aperture radar station $s_p(t)$, amplifying said signals, shifting the carrier frequency f_0 to an intermediate frequency f_{if} , filtering, analogue-to-digital conversion with a sampling interval $\delta\tau$, recording the obtained sequence of digital samples $s_{pi}=s_p((i-1)\delta\tau)$, filtering, amplifying the relayed radar signals and emission thereof towards the space synthetic-aperture radar station, further specifying the number of false marks N formed on the radar image, vectors of geocentric coordinates of points on the earth's surface corresponding to the position of the n -th false mark $x_{fn}=[x_{fn}, y_{fn}, z_{fn}]$, where $n = \overline{1, N}$, and the amplitude transfer coefficient of the signal of the n -th false mark $a_n \in [0; 1]$, calculating for each p -th probing the current distance between the space synthetic-

aperture radar station and each of the N points on the earth's surface, corresponding to the position of the false marks R_{1pn} , and the distance between the space synthetic-aperture radar station and the relay station R_{rp} , specifying the pulse modulation law in the form of a sequence of digital samples of the mark at the p -th probing, reading the i -th sample of the p -th probing pulse s_{pi} through a time interval τ_r , multiplying said sample with the corresponding reading of the modulating frequency M_{pi} , converting the obtained sequence of digital samples of the products $s_{pi}M_{pi}$ into an analogue relayed pulse and shifting its frequency from the intermediate frequency f_{if} to the carrier frequency f_0 .

EFFECT: low probability of correct detection of masked objects with space synthetic-aperture radar.

2 dwg

Изобретение относится к области радиотехники, в частности, к способам и технике радиоэлектронного подавления космических радиолокационных станций с синтезированной апертурой антенны (РСА).

Известен способ имитации радиолокационных целей, заключающийся в
 5 переотражении падающего на объект радиолокационного сигнала на рабочей частоте космической РСА в направлении, противоположном направлению падения, с помощью уголкового отражателя [см., например, Вакин С.А., Шустов Л.Н. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки. - М.: Советское радио, 1968, с. 321-326; Палий А.И. Радиоэлектронная борьба. - М.: Воениздат, 1989, с. 90-99] или линз
 10 Люнеберга [см., например, Теоретические основы радиолокации / Под ред. Я.Д. Ширмана - Учебное пособие для вузов. - М.: Советское радио, 1970, с. 80-81].

Однако данный способ эффективно работает лишь в относительно узком секторе углов падения зондирующего сигнала космической РСА и обеспечивает формирование только одиночных отметок ложных целей на радиолокационном изображении (РЛИ).

Известен также способ имитации радиолокационных целей, применяемый в процессе
 15 эксплуатации РСА для их радиометрической и геометрической калибровки [см., например, Радиолокационные системы воздушной разведки, дешифрирование радиолокационных изображений / Под ред. Л.А. Школьного. - М.: Изд. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008, с. 318-320]. Он заключается в имитации радиолокационных
 20 целей путем приема, усиления и переизлучения радиолокационного сигнала с сохранением его когерентности калибровочным транспондером [см., например, Радиолокационные системы воздушной разведки, дешифрирование радиолокационных изображений / Под ред. Л.А. Школьного. - М.: Изд. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008, с. 318-320].

Недостатком рассматриваемого способа является то, что он позволяет получить
 25 лишь одиночную отметку цели на РЛИ, формируемом космической РСА. Отсюда следует, что при радиоподавлении космической РСА путем имитации радиолокационных целей ограниченным числом калибровочных транспондеров количество имитируемых радиолокационных целей на РЛИ может оказаться недостаточным для маскировки
 30 изображений реальных объектов, линейные размеры которых превышают соответствующие элементы разрешения космической РСА.

Наиболее близким по сущности и достигаемому результату (прототипом) к заявляемому способу имитации радиолокационных целей является способ создания
 35 ложных отметок целей на РЛИ, основанный на приеме ретранслятором зондирующих импульсов космической РСА $s_p(t)$, где $p = \overline{1, P}$; $P = T_s / T_{\text{и}}$; T_s и $T_{\text{и}}$ - временной интервал синтеза апертуры антенны и период следования зондирующих импульсов соответственно; t - текущее время, их усилении, переносе несущей частоты импульсов f_0 на промежуточную частоту $f_{\text{пч}}$, фильтрации, аналого-цифровом преобразовании с
 40 интервалом дискретизации δt , записи полученной последовательности цифровых

отсчетов $s_{pi} = s_p((i-1)\delta t)$, где $i = \overline{1, N_{\text{отсч}}}$; $N_{\text{отсч}} = \frac{\tau_{\text{и}}}{\delta t}$ - количество цифровых отсчетов p -

го зондирующего импульса; $\tau_{\text{и}}$ - длительность импульса, считывании отсчетов s_{pi} , их
 45 цифро-аналоговом преобразовании, переносе восстановленного таким образом сигнала с промежуточной частоты $f_{\text{пч}}$ на несущую частоту f_0 , фильтрации, амплитудно-фазовой модуляции импульсов в интересах изменения времени задержки от импульса к импульсу для уводящих по дальности помех или изменения значения доплеровского сдвига

частоты от импульса к импульсу для уводящих по скорости помех, усилении полученных радиолокационных сигналов и их излучении в направлении космической РСА [см., например, Радиоэлектронная борьба. Цифровое запоминание и воспроизведение радиосигналов и электромагнитных волн / Под ред. А.И. Куприянова. - М.: Вузовская

5 книга, 2009, с. 221-274].
Недостатками прототипа являются излучение в ответ на каждый зондирующий импульс космической РСА только одного ретранслированного импульса (одна отметка ложной цели на РЛИ) и отсутствие учета в законе амплитудно-фазовой модуляции изменения текущего расстояния между космической РСА и имитируемым объектом.

10 Технический результат изобретения выражается в снижении вероятности правильного обнаружения маскируемых объектов космическими РСА.

Технический результат достигается тем, что в известном способе имитации радиолокационных целей, основанном на приеме ретранслятором зондирующих импульсов космической РСА $s_p(t)$, их усилении, переносе несущей частоты f_0 на
15 промежуточную частоту $f_{пч}$, фильтрации, аналого-цифровом преобразовании с интервалом дискретизации $\delta\tau$, записи полученной последовательности цифровых отсчетов $s_{pi}=s_p((i-1)\delta\tau)$, фильтрации, усилении ретранслируемых радиолокационных сигналов и их излучении в направлении космической РСА, дополнительно задают число формируемых на РЛИ ложных отметок N , векторы геоцентрических координат точек земной поверхности, соответствующих положению n -й ложной отметки $x_{лп}=[x_{лп}, y_{лп}, z_{лп}]$,
20 где $n = \overline{1, N}$, и амплитудный коэффициент передачи сигнала n -й ложной отметки $a_n \in [0; 1]$, вычисляют для каждого p -го зондирования текущее расстояние между космической РСА и каждой из N точек на земной поверхности, соответствующих положению ложных
25 отметок $R_{лп}$ и расстояние между космической РСА и ретранслятором R_{rp} , задают закон модуляции импульсов (модулирующую функцию) в виде последовательности цифровых отсчетов:

$$30 \quad M_{pi} = \sum_{n=1}^N A_{pn} \exp \left\{ -j \left[-b_n t_{зpn}(i-1)\delta\tau + \frac{4\pi}{\lambda} R_{лпn} \right] \right\},$$

$$\text{где } A_{pn} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R_{rp}} \right)^2 G_{рса} G_r a_n \Theta(\Delta\epsilon_p, \Delta\beta_p) \sqrt{P_{рса} K_r} - \text{амплитуда сигнала } n\text{-й ложной}$$

35 отметки на p -м зондировании; $j = \sqrt{-1}$ - мнимая единица; $G_{рса}$ и G_r - коэффициенты усиления приемопередающих антенн космической РСА и ретранслятора соответственно; $\Theta(\Delta\epsilon_p, \Delta\beta_p)$ - нормированная диаграмма направленности космической РСА по мощности; $\Delta\epsilon_p$ и $\Delta\beta_p$ - рассогласование между осью диаграммы направленности антенны
40 космической РСА и направлением на ретранслятор по углу места и азимуту соответственно; $P_{рса}$ - мощность излучаемого космической РСА зондирующего импульса; K_r - коэффициент передачи ретранслятора, определяемый как отношение мощности зондирующего импульса космической РСА на входе его приемника к
45 мощности импульса на выходе передатчика ретранслятора; b_n - скорость линейного

изменения частоты в пределах зондирующего импульса; $t_{зpn} = \frac{2}{c} (R_{лпn} - R_{rp}) - \tau_r$ -

длительность временной задержки в ретрансляторе; $c=3 \cdot 10^8$ м/с - скорость света в свободном пространстве; τ_r - длительность процесса обработки зондирующего импульса РСА в ретрансляторе; λ - длина волны зондирующего сигнала космической РСА, считают i -й отсчет p -го зондирующего импульса s_{pi} через интервал времени τ_r , умножают его на соответствующий отсчет модулирующей функции M_{pi} , преобразуют полученную последовательность цифровых отсчетов произведений $s_{pi}M_{pi}$ в аналоговый ретранслируемый импульс и переносят его частоту с промежуточной $f_{пч}$ на несущую f_0 .

Сущность изобретения заключается в следующем. Радиолокационная станция с синтезированной апертурой антенны формирует отметки объектов на радиолокационном изображении за счет доплеровского сдвига частоты, пропорционального отклонению азимута объекта относительно центра зоны обзора в соответствующем элементе разрешения по дальности [см., например, Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли: Учебное пособие для вузов / Под ред. Г.С. Кондратенкова. - М.: Радиотехника, 2005, с. 135-159]:

$$f_d = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d\varphi(t)}{dt} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d\left(\frac{4\pi}{\lambda} Vt \cos(\theta_n + \theta)\right)}{dt} = \frac{2V}{\lambda} [\cos\theta_n \cos\theta - \sin\theta_n \sin\theta], \quad (1)$$

где $\varphi(t)$ - составляющая полной фазы $\Phi(t)$ принимаемого радиолокационного сигнала с несущей частотой f_0 , изменяющаяся во времени по квадратичному закону; t - текущее время; V - скорость искусственного спутника Земли (носителя космической РСА); θ_n - угол наблюдения, определяемый видом обзора пространства РСА; θ - угол, соответствующий истинному азимутальному положению наблюдаемого объекта относительно центра зоны обзора космической РСА.

Если РСА используется в режиме бокового обзора пространства $\left(\theta_n = \frac{\pi}{2}\right)$, то выражение доплеровского сдвига частоты примет вид:

$$f_d = \frac{2V}{\lambda} \left[\cos \frac{\pi}{2} \cos\theta - \sin \frac{\pi}{2} \sin\theta \right] = -\frac{2V}{\lambda} \sin\theta. \quad (2)$$

Далее, полагая угол θ малым (таким, что $\sin\theta \approx \theta$), формула (2) может быть переписана в окончательном виде:

$$f_d = -\frac{2V}{\lambda} \theta. \quad (3)$$

Тогда преднамеренное изменение доплеровского сдвига частоты путем модуляции зондирующего импульса и ретрансляция полученного импульса в направлении космической РСА позволит дополнительно сформировать ложную отметку на РЛИ с азимутом, отличающимся от азимута наблюдаемого объекта. Необходимый элемент разрешения по дальности может быть выбран путем изменения времени задержки ретранслируемого импульса относительно принятого зондирующего. Таким образом, излучение в направлении космической РСА N ретранслированных импульсов с различными значениями времени задержки и доплеровского сдвига частоты обеспечит

формирование на РЛИ N ложных отметок целей.

Как правило, современные космические РСА в качестве зондирующих сигналов используют радиоимпульсы с линейной частотной модуляцией. Особенностью согласованного приема (сжатия) таких сигналов, реализуемого во всех РСА, является временное смещение (задержка) выходного (сжатого) импульса согласованного фильтра на величину, пропорциональную смещению несущей частоты принимаемого импульса относительно несущей частоты излученного. Так, смещение несущей частоты f_0 на

величину Δf обуславливает задержку сжатого импульса, равную $\frac{2\pi\Delta f}{b_{\text{и}}}$.

Это обеспечивает возможность одновременного внесения в параметры r -го ретранслированного импульса информации как о времени задержки (в виде дополнительного смещения его несущей частоты), так и о доплеровском сдвиге частоты с помощью дополнительной модуляции r -го зондирующего импульса по заданному закону.

Способ имитации радиолокационных целей может быть реализован с помощью устройства, структурная схема которого приведена на фиг. 1.

Схема состоит из приемной антенны 1, первого усилителя 2, опорного генератора 3, первого смесителя 4, устройства ввода данных 5, первого фильтра 6, первого запоминающего устройства 7, аналого-цифрового преобразователя 8, устройства управления 9, второго запоминающего устройства 10, перемножителя 11, блока вычислителей 12, включающего вычислитель расстояний R_{rp} и $R_{лrp}$ 12.1, вычислитель амплитуды сигнала n -й ложной отметки на r -м зондировании A_{pn} 12.2, вычислитель времени задержки $t_{зrp}$ 12.3 и вычислитель отсчетов модулирующей функции M_{pi} 12.4, цифро-аналогового преобразователя 13, второго смесителя 14, второго фильтра 15, второго усилителя 16 и передающей антенны 17, соединенных как показано на фиг. 1.

Приемная антенна 1 предназначена для выполнения операции преобразования падающих на нее электромагнитных волн ЗС космической РСА в связанные с линией передачи (фидером) электрические сигналы. Первый усилитель 2 обеспечивает усиление принимаемых зондирующих импульсов космической РСА до уровня, необходимого для работы первого смесителя 4. Опорный генератор 3 вырабатывает сигнал с частотой $f_{ог}=f_0-f_{пч}$, требуемый для переноса частоты зондирующих импульсов космической РСА с несущей f_0 на промежуточную $f_{пч}$ и обратно. В первом смесителе 4 формируются сигналы суммарной и разностной частот $f_0+(f_0-f_{пч})=2f_0-f_{пч}$ и $f_0-(f_0-f_{пч})=f_{пч}$ соответственно.

Устройство ввода данных 5 служит для осуществления ручного или автоматического ввода параметров, необходимых для вычисления отсчетов модулирующей функции M_{pi} (число формируемых на РЛИ ложных отметок N , векторы геоцентрических координат точек земной поверхности, соответствующих положению n -й ложной отметки $x_{лп}=[x_{лп}, y_{лп}, z_{лп}]$, амплитудный коэффициент передачи сигнала n -й ложной отметки $a_n \in [0;1]$, параметры функционирования космической РСА - $T_s, T_{и}, \tau_{и}, \lambda, b_{и}, G_{рса}, P_{рса}$, нормированную диаграмму направленности антенны космической РСА $\Theta(\epsilon, \beta)$, где ϵ и β - соответственно угол места и азимут, вектор геоцентрических координат космической РСА в момент r -го зондирования $x_p=[x_p, y_p, z_p]$, вектор геоцентрических координат центра зоны обзора космической РСА $x_{оп}=[x_{оп}, y_{оп}, z_{оп}]$, параметры функционирования ретранслятора - $G_r, K_r, \tau_r, \delta t$ и вектор геоцентрических координат

ретранслятора $x_r=[x_r, y_r, z_r]$). Первый фильтр 6 выделяет сигнал разностной частоты $f_0 - (f_0 - f_{пч})$, соответствующей промежуточной частоте $f_{пч}$, с требуемой полосой частот $\Delta f_{1ф}$. В первом запоминающем устройстве 7 хранятся в цифровом виде данные о всех

введенных параметрах. Аналого-цифровой преобразователь 8 необходим для преобразования r -го аналогового импульса, поступающего с выхода первого фильтра 6, в последовательность цифровых отсчетов s_{pi} с интервалом дискретизации $\delta\tau$.

Устройство управления 9 предназначено для управления процессами записи и считывания цифровых отсчетов s_{pi} . Во втором запоминающем устройстве 10 хранятся

в цифровом виде данные о всех отсчетах r -го зондирующего импульса s_{pi} .

Перемножитель 11 выполняет процедуру умножения i -го отсчета r -го зондирующего импульса и соответствующего отсчета модулирующей функции, т.е. $s_{pi}M_{pi}$. Блок

вычислителей 12 необходим для реализации процедур вычисления закона модуляции импульсов (модулирующей функции) в виде последовательности цифровых отсчетов:

$$M_{pi} = \sum_{n=1}^N A_{pn} \exp \left\{ -j \left[-b_n t_{3pn} (i-1) \delta\tau + \frac{4\pi}{\lambda} R_{n pn} \right] \right\}$$

Цифро-аналоговый преобразователь 13 восстанавливает аналоговый сигнал, представляющий собой ретранслируемый импульс, по его цифровым отсчетам $s_{pi}M_{pi}$.

Во втором смесителе 14 формируются сигналы суммарной и разностной частот $f_{пч} + (f_0 - f_{пч}) = f_0$ и $f_{пч} - (f_0 - f_{пч}) = 2f_{пч} - f_0$ соответственно. Второй фильтр 15 выделяет сигнал суммарной частоты $f_{пч} + (f_0 - f_{пч})$, соответствующей несущей частоте f_0 , с требуемой

полосой частот $\Delta f_{2ф}$. Второй усилитель 16 обеспечивает усиление ретранслируемых импульсов до необходимого уровня. Передающая антенна 17 осуществляет преобразование связанных с линией передачи (фидером) электрических сигналов, поступающих с выхода второго усилителя 16, в электромагнитные волны, свободно распространяющиеся в направлении космической РСА.

Схема работает следующим образом. Зондирующий импульс космической РСА на r -м зондировании $s_p(t)$ принимается приемной антенной 1, усиливается первым

усилителем 2 и подается на первый вход первого смесителя 4. На второй вход первого смесителя 4 поступает сигнал опорного генератора 3. В результате на выходе первого смесителя 4 формируются сигналы суммарной и разностной частот $f_0 + (f_0 - f_{пч}) = 2f_0 - f_{пч}$

и $f_0 - (f_0 - f_{пч}) = f_{пч}$ соответственно. Далее разностный сигнал промежуточной частоты $f_{пч}$ выделяется первым фильтром 6, имеющим полосу пропускания $\Delta f_{1ф}$, и подается на

вход аналого-цифрового преобразователя 8, где преобразуется в последовательность цифровых отсчетов s_{pi} с интервалом дискретизации $\delta\tau$, т.е. $s_{pi} = s_p((i-1)\delta\tau)$. Полученные

цифровые отсчеты r -го зондирующего импульса s_{pi} последовательно записываются во второе запоминающее устройство 10 по сигналу записи, поступающему на его второй вход с первого выхода устройства управления 9. Через интервал времени, равный длительности процесса обработки зондирующего импульса РСА в ретрансляторе $\delta\tau$,

на третий вход второго запоминающего устройства 10 со второго выхода устройства управления 9 подается сигнал считывания, в результате чего цифровые отсчеты s_{pi}

последовательно считываются и подаются на первый вход перемножителя 11. В первое запоминающее устройство 7 с помощью устройства ввода данных 5 заносятся данные о числе формируемых на РЛИ ложных отметок N , векторах положению n -й ложной

отметки $x_{лп}=[x_{лп}, y_{лп}, z_{лп}]$, амплитудном коэффициенте передачи сигнала n -й ложной
 отметки $a_n \in [0;1]$, параметрах функционирования космической РСА - T_s , $T_{и}$, $\tau_{и}$, λ , $b_{и}$,
 $G_{рса}$, $P_{рса}$, нормированной диаграмме направленности антенны космической РСА Θ
 5 (ϵ, β) , векторе геоцентрических координат космической РСА в момент p -го зондирования
 $x_p=[x_p, y_p, z_p]$, векторе геоцентрических координат центра зоны обзора космической РСА
 $x_{\Theta p}=[x_{\Theta p}, y_{\Theta p}, z_{\Theta p}]$, параметрах функционирования ретранслятора - G_r , K_r , τ_r , $\delta\tau$ и векторе
 геоцентрических координат ретранслятора $x_r=[x_r, y_r, z_r]$. При этом в первом
 запоминающем устройстве 7, имеющем восемнадцать информационных выходов,
 10 формируются сигналы, содержащие информацию: на первом и втором выходах - о
 временных интервалах T_s и $T_{и}$, на третьем выходе - о числе формируемых на РЛИ
 ложных отметок N , на четвертом, пятом и шестом выходах - о векторах x_p , $x_{лп}$ и x_r
 соответственно, на седьмом и восьмом выходах - о коэффициентах усиления
 15 приемопередающих антенн космической РСА $G_{рса}$ и ретранслятора G_r соответственно,
 на девятом выходе - об амплитудном коэффициенте передачи сигнала n -й ложной
 отметки $a_n \in [0;1]$, на десятом выходе - о векторе $x_{\Theta p}$, на одиннадцатом выходе - о
 нормированной диаграмме направленности антенны космической РСА $\Theta(\epsilon, \beta)$, на
 двенадцатом, тринадцатом, четырнадцатом, пятнадцатом, шестнадцатом, семнадцатом
 20 и восемнадцатом выходах - о величинах $P_{рса}$, K_r , τ_r , $\tau_{и}$, $\delta\tau$, $b_{и}$ и λ соответственно. В
 вычислителе расстояний R_{rp} и $R_{лп}$ 12.1 при поступлении на его первый, второй, третий,
 четвертый, пятый и шестой входы сигналов с соответствующих информационных
 выходов первого запоминающего устройства 7 реализуется выполнение математических
 25 процедур:

$$R_p = \sqrt{(x_p - x_r)^2 + (y_p - y_r)^2 + (z_p - z_r)^2}, \quad (4)$$

$$R_{пн} = \sqrt{(x_p - x_{лп})^2 + (y_p - y_{лп})^2 + (z_p - z_{лп})^2}. \quad (5)$$

30 При этом цифровые сигналы, пропорциональные значениям R_{rp} и $R_{лп}$, формируются
 на первом и втором выходах вычислителя расстояний R_{rp} и $R_{лп}$ 12.1 соответственно.

Вычислитель амплитуды сигнала n -й ложной отметки на p -м зондировании $A_{пн}$ 12.2
 при поступлении на его первый, второй, третий, четвертый, пятый, шестой, седьмой,
 35 восьмой, девятый, десятый, одиннадцатый и двенадцатый входы данных с первого,
 второго, третьего, седьмого, восьмого, девятого, четвертого, шестого, десятого,
 одиннадцатого, двенадцатого и тринадцатого информационных выходов первого
 запоминающего устройства 7 соответственно, а также при поступлении на тринадцатый
 вход вычислителя амплитуды сигнала n -й ложной отметки на p -м зондировании $A_{пн}$
 40 12.2 сигнала с первого выхода вычислителя расстояний R_{rp} и $R_{лп}$ 12.1 выполняет
 расчеты в соответствии с аналитическим выражением:

$$A_{пн} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R_p} \right)^2 G_{рса} G_r a_n \Theta(\Delta\epsilon_p, \Delta\beta_p) \sqrt{P_{рса} K_r}, \quad (6)$$

45 где $\Delta\epsilon_p = \gamma(x_p, x_r) - \gamma(x_p, x_{\Theta p}); \quad \Delta\beta_p = \alpha(x_p, x_r) - \alpha(x_p, x_{\Theta p});$

$$\alpha(\mathbf{x}_p, \mathbf{x}_r) = \begin{cases} \mu_r, & \sin(\lambda_r - \lambda_p) \geq 0 \\ 2\pi - \mu_r, & \sin(\lambda_r - \lambda_p) < 0 \end{cases}; \quad \alpha(\mathbf{x}_p, \mathbf{x}_{\Theta p}) = \begin{cases} \mu_{\Theta p}, & \sin(\lambda_{\Theta p} - \lambda_p) \geq 0 \\ 2\pi - \mu_{\Theta p}, & \sin(\lambda_{\Theta p} - \lambda_p) < 0 \end{cases};$$

$$\gamma(\mathbf{x}_p, \mathbf{x}_r) = \arctg \left(\frac{\sqrt{(R_{1p}^2 - h_c^2)(4R_3(R_3 + h_c) - R_{1p}^2 + h_c^2)}}{h_c(2R_3 + h_c) + R_{1p}^2} \right);$$

$R_3=6371$ км - приведенный радиус Земли; h_c - высота ИСЗ с космической РСА на борту;

$$\gamma(\mathbf{x}_p, \mathbf{x}_{\Theta p}) = \arctg \left(\frac{\sqrt{(R_{2p}^2 - h_c^2)(4R_3(R_3 + h_c) - R_{2p}^2 + h_c^2)}}{h_c(2R_3 + h_c) + R_{2p}^2} \right);$$

$$R_{1p} = \sqrt{(x_p - x_r)^2 + (y_p - y_r)^2 + (z_p - z_r)^2}; \quad R_{2p} = \sqrt{(x_p - x_{\Theta p})^2 + (y_p - y_{\Theta p})^2 + (z_p - z_{\Theta p})^2};$$

$$\mu_r = \arccos \left(\frac{\sin \varphi_r - \cos \mu_{1p} \sin \varphi_p}{\sin \mu_{1p} \cos \varphi_p} \right); \quad \mu_{1p} = \arccos(\sin \varphi_p \sin \varphi_r + \cos \varphi_p \cos \varphi_r \cos(\lambda_r - \lambda_p));$$

$$\lambda_p = \arctg \left(\frac{y_p}{x_p} \right); \quad \varphi_p = \arctg \left(\frac{z_p}{\sqrt{x_p^2 + y_p^2}} \right); \quad \lambda_r = \arctg \left(\frac{y_r}{x_r} \right); \quad \varphi_r = \arctg \left(\frac{z_r}{\sqrt{x_r^2 + y_r^2}} \right);$$

$$\mu_{\Theta p} = \arccos \left(\frac{\sin \varphi_{\Theta p} - \cos \mu_{2p} \sin \varphi_p}{\sin \mu_{2p} \cos \varphi_p} \right); \quad \mu_{2p} = \arccos(\sin \varphi_p \sin \varphi_{\Theta p} + \cos \varphi_p \cos \varphi_{\Theta p} \cos(\lambda_{\Theta p} - \lambda_p));$$

$$\lambda_{\Theta p} = \arctg \left(\frac{y_{\Theta p}}{x_{\Theta p}} \right); \quad \varphi_{\Theta p} = \arctg \left(\frac{z_{\Theta p}}{\sqrt{x_{\Theta p}^2 + y_{\Theta p}^2}} \right).$$

Сигнал, пропорциональный амплитудам ложных отметок (6), с выхода вычислителя амплитуды сигнала n -й ложной отметки на p -м зондировании A_{pn} 12.2 поступает на шестой вход вычислителя отсчетов модулирующей функции M_{pi} 12.4.

Вычислитель времени задержки t_{3pn} 12.3 при поступлении на его первый, второй, третий и четвертый входы сигналов соответственно с первого, второго, третьего и четырнадцатого информационных выходов первого запоминающего устройства 7 соответственно, а на пятый и шестой входы - сигналов с первого и второго выходов вычислителя расстояний R_p и R_{pn} 12.1 соответственно выполняет расчеты в соответствии с выражением:

$$t_{3pn} = \frac{2}{c}(R_{pn} - R_p) - \tau_r. \quad (7)$$

Выходной сигнал вычислителя времени задержки t_{3pn} 12.3, пропорциональный (7), подается на седьмой вход вычислителя отсчетов модулирующей функции M_{pi} 12.4. Помимо этого, на первый, второй, третий, четвертый, пятый, восьмой и девятый входы

вычислителя отсчетов модулирующей функции M_{pi} 12.4 поступают сигналы соответственно с пятнадцатого, шестнадцатого, первого, второго, третьего, семнадцатого и восемнадцатого информационных выходов первого запоминающего устройства 7, а на десятый и одиннадцатый входы - сигналов с первого и второго выходов вычислителя расстояний R_p и R_{pn} 12.1 соответственно. В результате реализации в вычислителе отсчетов модулирующей функции M_{pi} 12.4 математической процедуры:

$$M_{pi} = \sum_{n=1}^N A_{pn} \exp \left\{ -j \left[-b_{it3pn}(i-1)\delta\tau + \frac{4\pi}{\lambda} R_{pn} \right] \right\}, \quad (8)$$

на его выходе формируется цифровой сигнал, пропорциональный отсчету модулирующей функции, который подается на второй вход перемножителя 11, в котором вычисляется отсчет произведения $s_{pi}M_{pi}$. Цифровой сигнал, пропорциональный $s_{pi}M_{pi}$, поступает на вход цифро-аналогового преобразователя 13, где из отсчетов $s_{pi}M_{pi}$ восстанавливается аналоговый сигнал, представляющий собой p -й ретранслируемый импульс. Этот импульс поступает на первый вход смесителя 14. Смеситель 14, на второй вход которого подается сигнал опорного генератора 3, формирует на своем выходе сигналы суммарной и разностной частот $f_{пч} + (f_0 - f_{пч}) = f_0$ и $f_{пч} - (f_0 - f_{пч}) = 2f_{пч} - f_0$ соответственно. Суммарный сигнал несущей частоты f_0 выделяется вторым фильтром 15, имеющим полосу пропускания $\Delta f_{2ф}$, и подается на вход второго усилителя 16, где усиливается до необходимого уровня. Сформированный таким образом ретранслируемый импульс с выхода второго усилителя 16 поступает на вход передающей антенны 17 для излучения в направлении космической РСА.

Снижение вероятности правильного обнаружения маскируемых объектов космическими РСА поясняется следующим образом.

Пусть космическая РСА формирует на радиолокационном изображении одну отметку истинной точечной цели. С помощью способа-прототипа на радиолокационном изображении, получаемом в космической РСА, обеспечивается формирование одной ложной отметки точечной цели за счет создания ретранслятором уведящих по дальности или по скорости помех. Простейший подход к определению вероятности правильного обнаружения одной истинной цели в рассматриваемом случае позволяет получить

$$P_{по} = \frac{N_{ио}}{N_{ио} + N_{ло}} = \frac{1}{1+1} = 0,50$$

для прототипа, где $N_{ио}$ и $N_{ло}$ - число истинных и ложных отметок целей соответственно.

В случае же реализации предлагаемого способа имитации радиолокационных целей при $N = N_{ло}^* = 8$ (фиг.2) получаем для одной истинной точечной цели:

$$P_{по}^* = \frac{N_{ио}}{N_{ио} + N_{ло}^*} = \frac{N_{ио}}{N_{ио} + N} = \frac{1}{1+8} = \frac{1}{9} \approx 0,11.$$

Таким образом, очевидно, что предложенный способ имитации радиолокационных целей позволяет снизить вероятность правильного обнаружения цели по сравнению с прототипом с 0,50 до 0,11.

Предлагаемое техническое решение является новым, поскольку из общедоступных сведений не известен способ имитации радиолокационных целей, отличающийся от известного способа, основанного на приеме ретранслятором зондирующих импульсов

космической РСА $s_p(t)$, их усилении, переносе несущей частоты f_0 на промежуточную частоту $f_{пч}$, фильтрации, аналого-цифровом преобразовании с интервалом дискретизации $\delta\tau$, записи полученной последовательности цифровых отсчетов $s_{pi}=s_p((i-1)\delta\tau)$, фильтрации, усилении ретранслируемых радиолокационных сигналов и их излучении в направлении космической РСА тем, что дополнительно задают число формируемых на РЛИ ложных отметок N , векторы геоцентрических координат точек земной поверхности, соответствующих положению n -й ложной отметки $x_{лп}=[x_{лп}, y_{лп}, z_{лп}]$, где $n = \overline{1, N}$, и амплитудный коэффициент передачи сигнала n -й ложной отметки $a_n \in [0; 1]$, вычисляют для каждого p -го зондирования текущее расстояние между космической РСА и каждой из N точек на земной поверхности, соответствующих положению ложных отметок $R_{лп}$ и расстояние между космической РСА и ретранслятором R_{rp} , задают закон модуляции импульсов (модулирующую функцию) в виде последовательности цифровых отсчетов:

$$M_{pi} = \sum_{n=1}^N A_{pn} \exp \left\{ -j \left[-b_{и} t_{зpn} (i-1) \delta\tau + \frac{4\pi}{\lambda} R_{лпn} \right] \right\},$$

$$\text{где } A_{pn} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R_{rp}} \right)^2 G_{рса} \times$$

$\times G_r a_n \Theta(\Delta\epsilon_p, \Delta\beta_p) \sqrt{P_{рса} K_r}$ - амплитуда сигнала n -й ложной отметки на p -м

зондировании; $j = \sqrt{-1}$ - мнимая единица; $G_{рса}$ и G_r - коэффициенты усиления приемопередающих антенн космической РСА и ретранслятора соответственно; $\Theta(\Delta\epsilon_p, \Delta\beta_p)$ - нормированная диаграмма направленности космической РСА по мощности; $\Delta\epsilon_p$ и $\Delta\beta_p$ - рассогласование между осью диаграммы направленности антенны космической РСА и направлением на ретранслятор по углу места и азимуту соответственно; $P_{рса}$ - мощность излучаемого космической РСА зондирующего импульса; K_r - коэффициент передачи ретранслятора, определяемый как отношение мощности зондирующего импульса космической РСА на входе его приемника к мощности импульса на выходе передатчика ретранслятора; $b_{и}$ - скорость линейного изменения частоты в пределах

зондирующего импульса; $t_{зpn} = \frac{2}{c} (R_{лпn} - R_{rp}) - \tau_r$ - длительность временной задержки

в ретрансляторе; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с - скорость света в свободном пространстве; τ_r - длительность процесса обработки зондирующего импульса РСА в ретрансляторе; λ - длина волны зондирующего сигнала космической РСА, считывают i -й отсчет p -го зондирующего импульса s_{pi} через интервал времени τ_r , умножают его на соответствующий отсчет модулирующей функции M_{pi} , преобразуют полученную последовательность цифровых отсчетов произведений $s_{pi} M_{pi}$ в аналоговый ретранслируемый импульс и переносят его частоту с промежуточной $f_{пч}$ на несущую f_0 .

Предлагаемое техническое решение имеет изобретательский уровень, поскольку из опубликованных научных данных и известных технических решений явным образом не следует, что способ имитации радиолокационных целей позволяет снизить вероятность

правильного обнаружения зондируемых объектов.

Предлагаемое техническое решение заявляемого способа имитации радиолокационных целей промышленно применимо, поскольку может быть реализовано на базе стандартных устройств - антенн [см., например, Кочержевский Г.Н. Антенно-фидерные устройства. - М.: Связь, 1972; Справочник по радиолокации / Под ред. М. Скольника, Нью-Йорк, 1970: Пер. с англ. (в четырех томах) / Под общей ред. К.Н. Трофимова; Том 2. Радиолокационные антенные устройства. - М.: Сов. радио, 1979], устройств записи и воспроизведения сигналов [см., например, Радиоэлектронная борьба. Цифровое запоминание и воспроизведение радиосигналов и электромагнитных волн / Под ред. А.И. Куприянова. - М.: Вузовская книга, 2009, с. 221-274]. При этом из состава устройств записи и воспроизведения сигналов могут быть заимствованы конструкции, например, приемной и передающей антенн 1 и 17, первого и второго усилителей 2 и 16, опорного генератора 3, первого и второго смесителей 4 и 14, первого и второго фильтров 6 и 15, аналого-цифрового преобразователя 8, устройства управления 9, второго запоминающего устройства 10 и цифро-аналогового преобразователя 13.

Для реализации устройства ввода данных 5, первого запоминающего устройства 7, перемножителя 11 и блока вычислителей 12 могут применяться персональные компьютеры (ПК) [см., например, Симонович С.В. и др. Большая книга персонального компьютера. - М.: ОЛМА Медиа Групп, 2007]. При этом в качестве устройства ввода данных 5 можно использовать стандартную клавиатуру ПК и манипулятор типа «мышь» [см., например, Симонович С.В. и др. Большая книга персонального компьютера. - М.: ОЛМА Медиа Групп, 2007], а первое запоминающее устройство 7, перемножитель 11 и блок вычислителей 12 могут быть реализованы программно. Кроме того, первое запоминающее устройство 7 может быть выполнено также с помощью стандартных оперативных или постоянных запоминающих устройств [Угрюмов Е.П. Цифровая схемотехника: Учеб. пособие для вузов. / Е.П. Угрюмов. - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005, с. 227-343], а перемножитель 11 - по схемам матричных умножителей [Угрюмов Е.П. Цифровая схемотехника: Учеб. пособие для вузов. / Е.П. Угрюмов. - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005, с. 132-138].

Формула изобретения

Способ имитации радиолокационных целей, заключающийся в приеме ретранслятором зондирующих импульсов космической радиолокационной станции с синтезированной апертурой антенны (РСА) $s_p(t)$, где $p = \overline{1, P}$; $P = T_s / T_{\text{и}}$; T_s и $T_{\text{и}}$ - временной интервал синтеза апертуры антенны и период следования зондирующих импульсов соответственно; t - текущее время, их усилении, переносе несущей частоты f_0 на промежуточную частоту $f_{\text{пч}}$, фильтрации, аналого-цифровом преобразовании с интервалом дискретизации $\delta\tau$, записи полученной последовательности цифровых отсчетов $s_{pi} = s_p((i-1)\delta\tau)$, где $i = \overline{1, N_{\text{отсч}}}$; $N_{\text{отсч}} = \frac{\tau_{\text{и}}}{\delta\tau}$ - количество цифровых отсчетов p -го зондирующего импульса; $\tau_{\text{и}}$ - длительность импульса, фильтрации, усилении ретранслируемых радиолокационных сигналов и их излучении в направлении космической РСА, отличающийся тем, что дополнительно задают число формируемых на радиолокационном изображении ложных отметок N , векторы геоцентрических координат точек земной поверхности, соответствующих положению n -й ложной отметки $\mathbf{x}_{\text{лн}} = [x_{\text{лн}}, y_{\text{лн}}, z_{\text{лн}}]$, где $n = \overline{1, N}$, и амплитудный коэффициент передачи сигнала

п-й ложной отметки $a_n \in [0; 1]$, вычисляют для каждого р-го зондирования текущее расстояние между космической РСА и каждой из N точек на земной поверхности, соответствующих положению ложных отметок $R_{л\ p n}$ и расстояние между космической РСА и ретранслятором $R_{г\ p}$, задают закон модуляции импульсов (модулирующую функцию) в виде последовательности цифровых отсчетов:

$$M_{pi} = \sum_{n=1}^N A_{pn} \exp \left\{ -j \left[-b_n t_{з\ pn} (i-1) \delta \tau + \frac{4\pi}{\lambda} R_{л\ pn} \right] \right\},$$

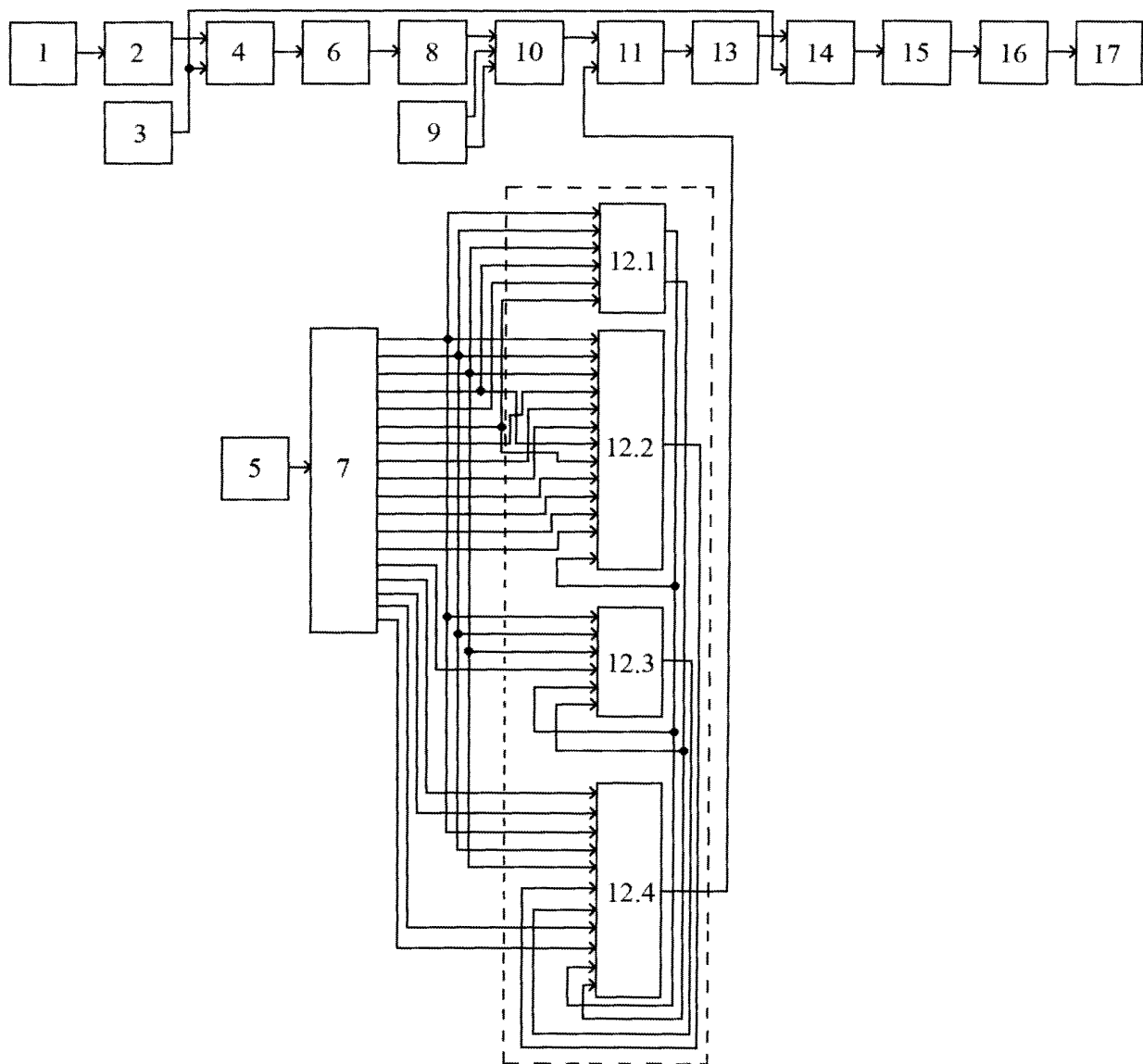
где $A_{pn} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R_{г\ p}} \right)^2 G_{рса} G_{г} a_n \Theta(\Delta \varepsilon_p, \Delta \beta_p) \sqrt{P_{рса} K_{г}}$ - амплитуда сигнала п-й ложной

отметки на р-м зондировании; $j = \sqrt{-1}$ - мнимая единица; $G_{рса}$ и $G_{г}$ - коэффициенты усиления приемопередающих антенн космической РСА и ретранслятора соответственно;

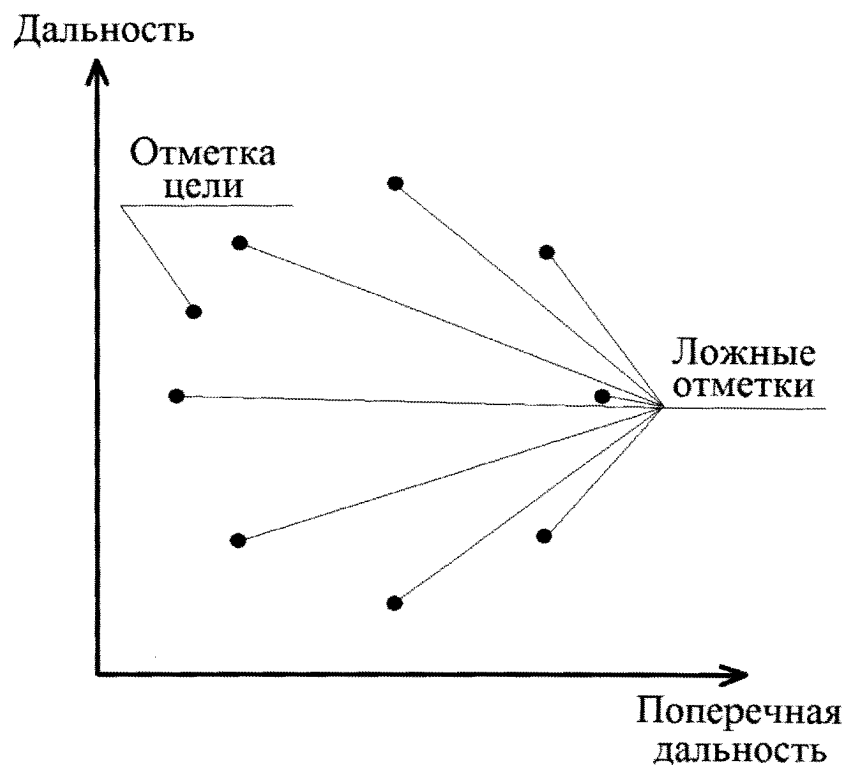
$\Theta(\Delta \varepsilon_p, \Delta \beta_p)$ - нормированная диаграмма направленности космической РСА по мощности; $\Delta \varepsilon_p$ и $\Delta \beta_p$ - рассогласование между осью диаграммы направленности антенны космической РСА и направлением на ретранслятор по углу места и азимуту соответственно; $P_{рса}$ - мощность излучаемого космической РСА зондирующего импульса; $K_{г}$ - коэффициент передачи ретранслятора, определяемый как отношение мощности зондирующего импульса космической РСА на входе его приемника к мощности импульса на выходе передатчика ретранслятора; b_n - скорость линейного изменения частоты в

пределах зондирующего импульса; $t_{з\ pn} = \frac{2}{c} (R_{л\ pn} - R_{г\ p}) - \tau_{г}$ - длительность временной

задержки в ретрансляторе, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с - скорость света в свободном пространстве; $\tau_{г}$ - длительность процесса обработки зондирующего импульса РСА в ретрансляторе; λ - длина волны зондирующего сигнала космической РСА, считывают i-й отсчет р-го зондирующего импульса s_{pi} через интервал времени $\tau_{г}$, умножают его на соответствующий отсчет модулирующей функции M_{pi} , преобразуют полученную последовательность цифровых отсчетов произведений $s_{pi} M_{pi}$ в аналоговый ретранслируемый импульс и переносят его частоту с промежуточной $f_{пч}$ на несущую f_0 .



Фиг. 1



Фиг. 2