РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 491 685** (13) **C2**

(51) МПК
*H01Q 1/28* (2006.01)

# (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: **2010106098/07, 18.07.2008**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
**18.07.2008**

Приоритет(ы):
(30) Конвенционный приоритет:
**20.07.2007 GB 0714179.9**
**20.07.2007 EP 07252896.1**

(43) Дата публикации заявки: **27.08.2011** Бюл. № 24

(45) Опубликовано: **27.08.2013** Бюл. № **24**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2273923 C2, 10.04.2006. RU 2255396 C2, 27.06.2005. US 4257050 A, 17.03.1981. EP 0917240 A1, 19.05.1999. US 6559797 B1, 06.05.2003.**

(85) Дата начала рассмотрения заявки PCT на национальной фазе: **24.02.2010**

(86) Заявка PCT:
**GB 2008/050593 (18.07.2008)**

(87) Публикация заявки PCT:
**WO 2009/013527 (29.01.2009)**

Адрес для переписки:
**129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр.3, ООО "Юридическая фирма Городисский и Партнеры", пат.пов. А.В.Мищу, рег.№ 364**

(72) Автор(ы):
**КРЭЙГ Энтони Дункан (GB),**
**СТИРЛЭНД Саймон Джон (GB)**

(73) Патентообладатель(и):
**АСТРИУМ ЛИМИТЕД (GB)**

RU 2491685 C2

## (54) СИСТЕМА ДЛЯ УПРОЩЕНИЯ ОБРАБОТКИ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ДИАГРАММООБРАЗУЮЩЕЙ СХЕМЫ В ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКЕ ДЛЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО СПУТНИКА

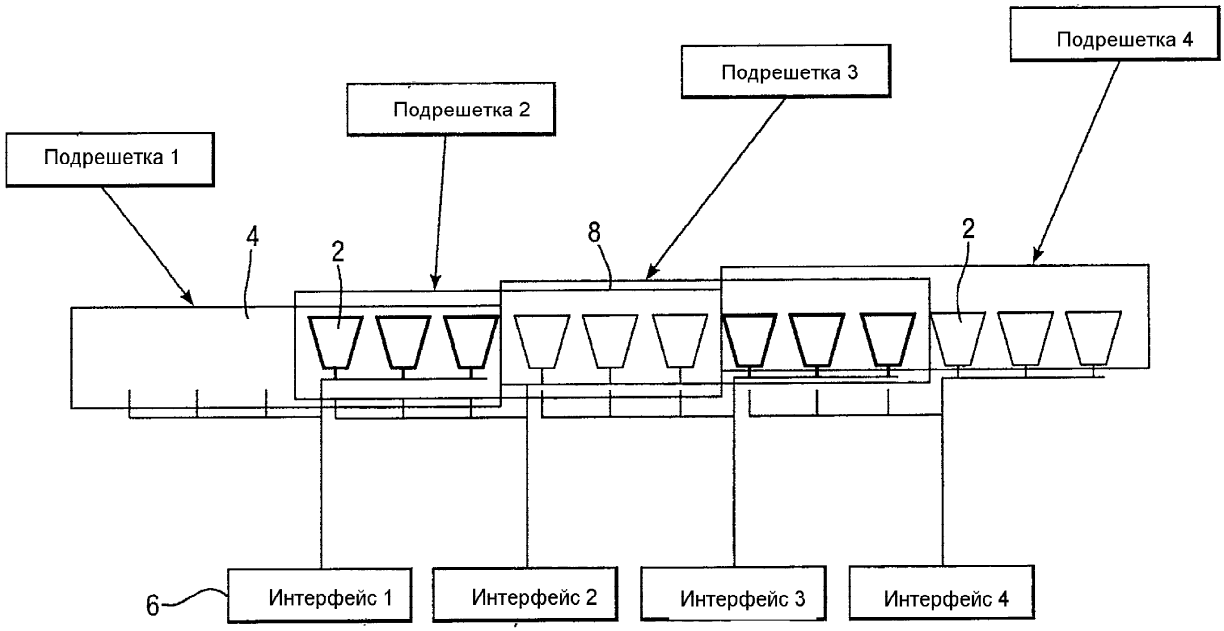
(57) Реферат:

Изобретение относится к фазированным антенным решеткам, при этом функция формирования диаграммы направленности в пределах фазированной решетки упрощена разделением ее на две стадии, среди которых стадия подрешетки относится к постоянному или нечасто изменяемому набору перекрывающихся подрешеток, а основная стадия обеспечивает реконфигурирование главной схемы в виде многочисленных реконфигурируемых сфокусированных лучей в пределах определенной области покрытия. Технический результат заключается в значительном сокращении количества точек управления формирования лучей второй стадии (в которых применяются независимые амплитуда и фаза) по сравнению с традиционной фазированной решеткой (где управление амплитудой и фазой применяется



RU 2491685 C2

для каждого элемента решетки). Формирование диаграммы направленности стадии подрешетки может быть реализовано в аналоговой технологии. Формирователь главного луча может быть реализован в цифровой технологии, где ключевые функции обработки аналого-цифрового или цифроаналогового преобразования, частотного (де)мультиплексирования и цифрового формирования диаграммы направленности, все, масштабируются в зависимости от количества точек управления. 3 н. и 32 з.п. ф-лы, 13 ил.




Фиг.1

RU 2491685 C2

RU 2491685 C2

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 491 685** (13) **C2**

(51) Int. Cl.
*H01Q 1/28* (2006.01)

## (12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2010106098/07, 18.07.2008**

(24) Effective date for property rights:
**18.07.2008**

Priority:
(30) Convention priority:
**20.07.2007 GB 0714179.9**
**20.07.2007 EP 07252896.1**

(43) Application published: **27.08.2011** Bull. 24

(45) Date of publication: **27.08.2013 Bull. 24**

(85) Commencement of national phase: **24.02.2010**

(86) PCT application:
**GB 2008/050593 (18.07.2008)**

(87) PCT publication:
**WO 2009/013527 (29.01.2009)**

Mail address:
**129090, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, str.3, OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery", pat.pov. A.V.Mitsu, reg.№ 364**

(72) Inventor(s):
**KREhJG Ehntoni Dunkan (GB),**
**STIRLEhND Sajmon Dzhon (GB)**

(73) Proprietor(s):
**ASTRIUM LIMITED (GB)**

RU 2491685 C2

## (54) SYSTEM FOR SIMPLIFICATION OF RECONFIGURABLE BEAM-FORMING NETWORK PROCESSING WITHIN PHASED ARRAY ANTENNA FOR TELECOMMUNICATION SATELLITE

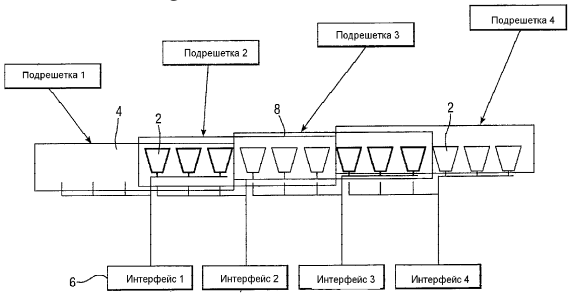
(57) Abstract:

FIELD: radio engineering, communication.

SUBSTANCE: invention relates to phased array antennae, wherein the beam-forming function within the phased array is simplified by partitioning it into two stages, in which the sub-array stage relates to a fixed or rarely changed set of overlapping sub-arrays and the main stage provides the main pattern reconfiguration in the form of multiple reconfigurable spot beams within a defined coverage region. The sub-array stage beam-forming may be implemented in analogue technology. The main beam-former may be implemented in digital technology, where the key processing functions of analogue-to-digital or digital-to-analogue conversion, frequency (de)multiplexing and digital beam-forming are all scaled depending on the number of control points.

EFFECT: significant reduction in number of second stage beam-forming control points compared to a conventional phased array.

35 cl, 13 dwg




Фиг.1

RU 2491685 C2

Область техники

Настоящее изобретение в целом относится к формированию диаграммы направленности фазированной антенной решетки для телекоммуникационного космического аппарата и, в частности, относится к упрощению обработки реконфигурируемой диаграммообразующей схемы в фазированной антенной решетке для телекоммуникационного спутника.

Уровень техники

Явной тенденцией в спутниковой связи является использование многолучевого покрытия для обеспечения высокого усиления (для снижения мощности и работы с малыми терминалами) и поддержки пространственного повторного использования частот (для повышения пропускной способности в системах с ограниченной шириной полосы). Известно, что следует точно определять такие узкие сфокусированные лучи с помощью многоэлементной антенной системы посредством цифровых технологий формирования диаграммы направленности, включающих в себя назначение комплексных цифровых весов элементам для каждого частотного канала связи для управления параметрами сфокусированного луча: см. A. M. Bishop et al «The INMARSAT 4 Digital Processor and Next Generation Developments», 23rd AIAA ICSSC, Rome, Italy, сентябрь 2005 г. Постоянная проблема состоит в том, что хотя есть постоянные усовершенствования в задействовании технологий цифровых процессоров, есть постоянно растущие потребности с точки зрения формирования диаграммы направленности и ассоциированной обработки, связанные с необходимостью выдавать большее количество более узких сфокусированных лучей, работающих в более широких полосах пропускания.

Важным классом антенны, которая может обеспечивать такое покрытие, является фазированная антенная решетка в форме непосредственно излучающей решетки (DRA) или зеркально излучающей решетки (IRA). В случае DRA антенна может содержать двумерную матрицу антенных элементов, типично, но не обязательно, идентичных, причем каждый антенный элемент имеет соответствующий сигнал элемента (работающий в режиме передачи или приема). В IRA диаметр раскрыва первичной DRA увеличивается посредством антенной «оптики» (например, параболических рефлекторов). Для целей настоящего описания изобретения термин «фазированная антенная решетка» включает в себя DRA, IRA и другие решетки, имеющие множество антенных элементов, каждый из которых выдает сигнал антенного элемента, имеющий фазовое соотношение и амплитудное соотношение с сигналами других элементов. Фазированная антенная решетка предлагает улучшенные рабочие характеристики в показателях гибкости и реконфигурируемости, вытекающие из управления амплитудными и фазовыми весами элемента в схеме формирования диаграммы направленности. Также хорошо известно, что фазированные решетки сложны, массивны и дорогостоящи. По сравнению с альтернативными типами антенн, например, питаемыми решеткой рефлекторами (AFR), они типично требуют гораздо большего количества излучающих элементов и, таким образом, формирования диаграммы направленности гораздо большей сложности и стоимости.

Диаграммообразующая схема обеспечивает реконфигурируемое управление амплитудой и фазой (эквивалентное комплексным весам в цифровой области) для каждого антенного элемента (и, потенциально, на основе отдельного частотного канала), чтобы сложность формирования диаграммы направленности определяла масштаб в зависимости от количества элементов. Даже следующее поколение

бортовых цифровых процессоров не может поддерживать сложность, необходимую для обеспечения полностью гибкого формирования диаграммы направленности для фазированной решетки, предназначенной для формирования (например) 100 диаграмм направленности диаметром 0,5°, покрывающих Европу на частоте 20 ГГц с шириной полосы 500 МГц, что является современным коммерческим требованием.

Известны различные упрощенные конструкции фазированной антенной решетки. В частности, известно разделение фазированных антенных решеток на подрешетки, что может упростить конструкцию и сигнальную обработку. Перекрытие подрешеток описано в «Design Considerations and Results for an Overlapped Sub-array Radar Antenna», Jeffrey S. Herd et al, 2005 IEEE Aerospace Conference, pp. 1087-1092.

Сущность изобретения

Настоящее изобретение, в первом аспекте, предлагает способ формирования диаграммы направленности для антенны телекоммуникационного космического аппарата, причем антенна содержит фазированную антенную решетку, и антенна обеспечивает множество лучей связи в пределах предопределенной географической области, причем способ содержит:

предоставление фазированной антенной решетки как множества антенных элементов, причем каждый антенный элемент имеет сигнал антенного элемента, имеющий фазовое соотношение и амплитудное соотношение с сигналами других элементов, и разделение упомянутых антенных элементов на множество перекрывающихся подрешеток, каждая подрешетка содержит подмножество всех антенных элементов фазированной решетки, и по меньшей мере некоторые или все антенные элементы участвуют в более чем одной подрешетке,

назначение элементам каждой подрешетки соответствующих весов формирования диаграммы направленности подрешетки, и назначение каждой подрешетке соответствующих весов формирования главного луча для упомянутого множества лучей, чтобы составная диаграмма излучения антенны обеспечивала упомянутое множество лучей в пределах упомянутой области.

Во втором аспекте изобретение предлагает фазированную антенную решетку космического летательного аппарата дальней связи для обеспечения покрытия на предопределенной географической области, причем антенна обеспечивает множество лучей связи в пределах упомянутой области и содержит:

множество антенных элементов, каждый антенный элемент имеет сигнал антенного элемента, имеющий фазовое соотношение и амплитудное соотношение с сигналами других элементов, и упомянутые антенные элементы разделяются на множество перекрывающихся подрешеток, каждая подрешетка содержит подмножество всех антенных элементов фазированной решетки, и по меньшей мере некоторые из антенных элементов участвуют в более чем одной подрешетке,

диаграммообразующую схему подрешеток, которая назначает элементам каждой подрешетки соответствующие веса формирования диаграммы направленности подрешетки, и

схему формирования главного луча, которая назначает каждой подрешетке веса формирования главного луча для каждого из упомянутого множества лучей связи, чтобы сформировать упомянутое множество лучей связи в пределах упомянутой области.

Для целей настоящего описания термин «подмножество» предполагается означающим группу из некоторых, но не всех, антенных элементов.

В обычной ситуации все антенные элементы будут участвовать в более чем одной

подрешетке, кроме некоторых на краях антенны.

Термин «направленность» хорошо понятен специалистам в данной области техники, но во избежание неопределенности в материалах настоящей заявки он должен пониматься как свойство диаграммы излучения, создаваемой антенной. В случае передачи он может рассматриваться как отношение плотности потока мощности антенны в заданном направлении к плотности потока мощности, которая создавалась бы, если бы диаграмма антенны была изотропной. Он часто выражается в дБи (децибелах изотропических).

Лучи связи, формируемые в соответствии с изобретением, могут быть сфокусированными лучами, имеющими очень узкую ширину; в примере, приведенном ниже, достигается диаметр 0,5°.

Упомянутая предопределенная географическая область может не содержать одиночную связанную область. Она может быть реконфигурируемой из связанной зоны (скажем, Европы) в несколько несвязанных зон (скажем, подмножество Европы плюс Канарских островов), или даже быть постоянной на множестве несвязанных зон. За счет обеспечения формирователя диаграммы направленности на уровне подрешетки множеством выходов антенна могла бы обеспечивать покрытие двух или более независимо реконфигурируемых областей.

Фазированная антенная решетка по настоящему изобретению может использоваться в качестве приемной антенны, передающей антенны или для обеих функций приема и передачи. Каждая упомянутая подрешетка имеет порт (в качестве альтернативы, в настоящем описании «точка управления» - для определения весов формирования диаграммы направленности), который функционирует как выходной порт, когда антенна находится в режиме приема, и как входной порт, когда антенна находится в режиме передачи. В случае режима приема каждая подрешетка включает в себя функцию суммирования для комбинирования взвешенных сигналов элементов подрешетки в одиночный выходной сигнал, а в случае функции передачи каждая подрешетка включает в себя функцию разделения для распределения одиночного входного сигнала по каждому из весов элементов.

Значения весов, предусмотренные в соответствии с изобретением, будут комплексными значениями, имеющими действительную и мнимую составляющие в цифровой форме, эквивалентные амплитудной и фазовой информации (A, φ), где веса выражены в аналоговой форме.

Дополнительный аспект этого изобретения относится к фазированной антенной решетке, сформированной как множество перекрывающихся подрешеток, имеющей оптимизированное формирование лучей в пределах предопределенной географической области, и способу для оптимизации характеристик формирования диаграммы направленности такой фазированной антенной решетки.

Соответственно, настоящее изобретение, в третьем аспекте, предлагает способ оптимизации для определения параметров формирования диаграммы направленности фазированной антенной решетки, причем антенна обеспечивает покрытие на предопределенной географической области и выдает множество лучей в пределах упомянутой области, антенна имеет множество антенных элементов, каждый антенный элемент выдает сигнал антенного элемента, имеющий фазовое соотношение и амплитудное соотношение с сигналами других элементов, и антенные элементы разделяются на множество перекрывающихся подрешеток, каждая подрешетка содержит подмножество всех антенных элементов фазированной решетки, и по меньшей мере некоторые из антенных элементов участвуют в более чем одной

подрешетке,

причем способ оптимизации содержит:

первый этап, на котором веса формирования диаграммы направленности подрешетки, назначенные элементам каждой упомянутой подрешетки, устанавливаются в начальные значения, и

второй этап, на котором определяются значения весов формирования главного луча, назначенные упомянутым подрешеткам, для обеспечения значений направленности в местоположениях по меньшей мере некоторых из упомянутых лучей; и

итерационное повторение упомянутых первого и второго этапов, включающее в себя изменение значений упомянутых весов формирования диаграммы направленности подрешетки до тех пор, пока не будет достигнут желательный уровень направленности для упомянутых лучей.

В четвертом аспекте изобретение предлагает фазированную антенную решетку, причем антенна обеспечивает покрытие на предопределенной географической области и выдает множество лучей в пределах упомянутой области, антенна имеет множество антенных элементов, каждый антенный элемент выдает сигнал антенного элемента, имеющий фазовое соотношение и амплитудное соотношение с сигналами других элементов, и антенные элементы разделяются на множество перекрывающихся подрешеток, каждая подрешетка содержит подмножество всех антенных элементов фазированной решетки, и по меньшей мере некоторые из антенных элементов участвуют в более чем одной подрешетке,

при этом веса формирования диаграммы направленности подрешетки, назначенные каждой упомянутой подрешетке, оптимизированы для достижения желательного уровня направленности для упомянутого множества лучей посредством способа оптимизации, при этом упомянутые веса формирования диаграммы направленности подрешетки изменяются по значению в итерациях, и на каждой итерации определяются значения весов формирования главного луча, назначенные упомянутым подрешеткам.

Признак оптимизации в соответствии с изобретением состоит в том, что оптимизация включает в себя определение значений направленности посредством значений весов формирования главного луча на каждой итерации значений весов формирования диаграммы направленности подрешетки.

Предпочтительно, все или по меньшей мере некоторые из упомянутых лучей имеют упомянутое желательное значение направленности, которое является по меньшей мере предопределенным минимальным значением, как будет прояснено ниже.

Кроме того, упомянутые подрешетки желательно являются по существу идентичными друг другу, в частности, с по существу подобными наборами весов, с амплитудами и фазами, назначенными соответствующим антенным элементам, и, в частности, имеют подобную геометрическую конфигурацию. Это не обязательно имеет место, однако подрешетке не требуется содержать смежные наборы элементов и подрешетке не требуется иметь идентичные наборы амплитуд и фаз, реализованных на них. Фактически, если подрешетки реализованы как реконфигурируемые посредством MEMS (микроэлектромеханических систем) или подобных компонентов, они могут быть отличны друг от друга, но за счет увеличения этапов оптимизации. Кроме того, самой основной решетке не требуется содержать элементы, расположенные в правильной сетке или правильном многоугольнике, или идентичные элементы.

Таким образом, изобретение предусматривает схему, посредством которой функция формирования диаграммы направленности в фазированной решетке может быть упрощена за счет разделения ее на две стадии, среди которых стадия подрешетки (смежной с физической решеткой) относится к постоянному или нечасто изменяемому набору перекрывающихся подрешеток, а основная стадия обеспечивает реконфигурирование главной диаграммы направленности, типично, в виде множества реконфигурируемых сфокусированных лучей в пределах определенной области покрытия. Ключевое преимущество заключается в значительном сокращении количества точек управления стадии формирования главного луча (в которых применяются независимые амплитудные и фазовые сигналы) по сравнению с традиционной фазированной решеткой (где управление амплитудой и фазой применяется для каждого элемента решетки). В случае, в котором формирование главного луча и ассоциированная обработка выполняются в цифровой форме, сокращение количества точек управления формированием главного луча упрощает обработку до степени, при которой реализация становится осуществимой в пределах ограничений современной цифровой технологии.

Формирование диаграммы направленности подрешетки может быть реализовано в аналоговой и цифровой технологии, но, предпочтительно, использовало бы аналоговую технологию. Стадия формирователя главного луча может реализовываться подобным образом в аналоговой или цифровой технологии, но основные преимущества относятся к цифровым системам, где ключевые функции обработки аналого-цифрового (A/D) или цифро-аналогового (D/A) преобразования, частотного (де)мультиплексирования и цифрового формирования диаграммы направленности, все, масштабируются в зависимости от количества точек управления. Хотя изобретение само естественно применяется к реализации гибридного аналогового/цифрового формирования диаграммы направленности, это необязательный признак. Возможно осуществление полностью аналогового или полностью цифрового вариантов изобретения.

Краткое описание чертежей

Предпочтительный вариант осуществления изобретения далее будет описан со ссылкой на прилагаемые чертежи, на которых:

фиг.1 - схематичное представление, иллюстрирующее фазированную антенную решетку, разделенную на перекрывающиеся подрешетки;

фиг.2 - блок-схема схем формирования диаграммы направленности, связанных с фазированной антенной решеткой, в режиме работы приема, которая разделена на перекрывающиеся подрешетки, согласно первому предпочтительному варианту осуществления изобретения;

фиг.3 - блок-схема схем формирования диаграммы направленности, связанных с фазированной антенной решеткой, в режиме работы передачи, которая разделена на перекрывающиеся подрешетки, согласно первому предпочтительному варианту осуществления изобретения;

фиг.4 - блок-схема схем формирования диаграммы направленности, связанных с фазированной антенной решеткой, разделенной на перекрывающиеся подрешетки, согласно второму предпочтительному варианту осуществления изобретения;

фиг.5 - блок-схема схем формирования диаграммы направленности, связанных с фазированной антенной решеткой, разделенной на перекрывающиеся подрешетки, согласно третьему предпочтительному варианту осуществления изобретения;

фиг.6 - блок-схема основных этапов в способе оптимизации весов формирования

диаграммы направленности согласно изобретению;

фиг.7 - диаграмма лицевой поверхности примерной фазированной антенной решетки, показывающая разделение антенных элементов на перекрывающиеся подрешетки;

фиг.8 - диаграмма, показывающая предопределенную географическую область земного шара, Европу, с 100 сфокусированными лучами, покрывающими область;

фиг.9 - диаграмма, показывающая покрытие европейской области в показателях направленности, созданное примером одиночной подрешетки согласно изобретению;

фиг.10 - диаграмма, показывающая покрытие европейской области в показателях направленности, созданное наложением всех подрешеток фазированной антенной решетки согласно примеру осуществления изобретения;

фиг.11 и 12 - диаграммы, показывающие сфокусированные лучи, сформированные согласно примеру осуществления изобретения, в показателях направленности; и

фиг.13 - диаграмма повторно оптимизированного сфокусированного луча по фиг.12.

Описание предпочтительных вариантов осуществления

Непосредственно излучающие фазированные решетки имеют интервал между элементами, выбранный так, что они не формируют дифракционных максимумов решетки в пределах некоторого определенного поля зрения. Для спутников, работающих на геостационарной орбите, обычно обязательно (для подавления помех) удерживать дифракционные максимумы решетки удаленными от земли. Это, вместе с необходимостью, чтобы антенна обычно была способна сканировать лучами везде по видимой земной поверхности, предполагает, что интервал между элементами не должен превышать 2-3 длины волны. С другой стороны, габаритный размер решетки определяется в обратно пропорциональной зависимости по отношению к угловому размеру лучей, для формирования которых она предназначена. Для выдачи сфокусированных лучей шириной 0,5 градуса полный раскрыв диаметром приблизительно 2,4 м может потребоваться на выбранной частоте 20 ГГц. При интервале между элементами приблизительно 3,3 см (2,2 длины волны на 20 ГГц), требуется более чем 4000 элементов.

Было бы непрактичным предоставлять фазированную антенную решетку, специально предназначенную и имеющую пространственные размеры, только для покрытия исключительно европейской области, вследствие вышеприведенных соображений. С другой стороны, рефлекторная антенна AFR (которой не свойственна проблема дифракционных максимумов решетки), предназначенная для покрытия только европейской области, в которой содержится 100 лучей, может быть сконструирована для подобных рабочих характеристик с использованием порядка 150 облучателей. Ясно, что есть огромная разница в сложности диаграммо-образующей схемы, необходимой для двух антенных архитектур. Это препятствует широкому распространению технологии фазированной решетки, несмотря на широкое признание фазированной антенной решетки в качестве очень гибкого и реконфигурируемого средства.

Один из путей для снижения сложности фазированной решетки состоит в том, чтобы уменьшать количество активных точек управления (портов антенны), требуемых в фазированной решетке для определения весов формирования диаграммы направленности, посредством формирования элементов в неперекрывающиеся кластеры («подрешетки»), типично идентичные подрешетки, где элементы в каждой подрешетке имеют некоторые фиксированные амплитудные и фазовые веса (часто

равномерную амплитуду, равную фазу), так что количество активных точек управления сокращается в количество раз, равное среднему количеству элементов в каждой подрешетке. Недостаток этого подхода состоит в том, что снижается эффективность сканирования антенны, так что лучи, нацеленные на кромку интересующей области покрытия, испытывают снижение эффективности. Кроме того, угловой интервал дифракционных максимумов решетки для антенны теперь соответствует интервалу между подрешетками, а не между отдельными элементами, значит теряется свойство избегания дифракционных максимумов решетки, попадающих на землю.

Изобретение избегает обоих из вышеприведенных недостатков, не увеличивая количество точек управления. Это достигается увеличением размера подрешеток, но не интервала. Таким образом, подрешетки «перекрываются», и каждый элемент участвует в некотором количестве подрешеток. Количество точек управления (портов), тем не менее, сокращается. Со ссылкой на фиг.1 показан пример перекрывающейся подрешетки, содержащей линейную решетку антенных элементов 2. Сформированы четыре подрешетки 4, каждая содержит шесть элементов, и каждая имеет точку управления/соответствующий интерфейсный порт 6. Три элемента 8 из каждой подрешетки также образуют часть соседней подрешетки (на каждой стороне), так что в главной, центральной части антенны каждый элемент (в этом примере линейной решетки) участвует в двух подрешетках.

Преимущества этого подхода, прежде всего, состоят в том, что большие подрешетки, не ограниченные своей физической расстановкой, предлагают увеличенный объем для оптимизации диаграммы направленности отдельных подрешеток. Это может включать в себя профилирование диаграммы направленности так, что она обеспечивает низкую направленность в зоне вне области покрытия, отсюда активное подавление дифракционных максимумов решетки. Оно также может включать в себя оптимизацию для улучшенных рабочих характеристик сканирования в пределах области покрытия до точки, где потери сканирования луча могут быть всего лишь незначительно худшими, чем рабочие характеристики сканирования непрореженной решетки. Рабочие характеристики (в пределах заданной области) по существу равны таковым у полной решетки, но сложность формирования главного луча снижается с большим коэффициентом (около 20 в примере, описанном ниже). Формирование диаграммы направленности на уровне луча выполняется сильно упрощенным формирователем главного луча. Формирование диаграммы направленности, реализованное (предпочтительно аналоговым средством) на уровне подрешетки, может быть постоянным, или могло бы предоставлять возможность случающегося время от времени реконфигурирования (например, посредством компонентов микроэлектромеханических систем (MEMS) или монолитных интегральных схем СВЧ-диапазона (MMIC)) для реконфигурирования большой области покрытия с одной зоны земли к другой, например, с Европы к Америке.

Во-вторых, ключевой признак изобретения состоит в том, что комплексные веса на подрешетках сами настраиваются на требуемое покрытие. Например, веса подрешетки могут оптимизироваться специально для детализированного профиля европейского покрытия с тем результатом, что рабочие характеристики сканирования всей антенны являются высоко оптимизированными для Европы, так что есть очень небольшие потери сканирования в пределах Европы и быстрое понижение рабочих характеристик вне, как требуется для подавления дифракционных максимумов решетки.

Изобретение имеет некоторое количество высокоуровневых вариантов в показателях разделения между цифровой и аналоговой технологией. Первый вариант предполагает использование аналоговой технологии для формирования диаграммы направленности подрешетки и цифровой технологии для формирования главного луча. Архитектура уместна для случаев как приема (фиг.2), так и передачи (фиг.3).

Далее, со ссылкой на фиг.2, первый вариант осуществления изобретения содержит фазированную антенную решетку, сконфигурированную в режиме приема и содержащую непосредственно излучающую решетку (DRA) с раскрывом, образованным 2-мерной решеткой NE антенных элементов 20 (только 1 измерение показано на фиг.2). Решетка типично, но не обязательно, является плоской. Конформные решетки (то есть решетки, в которых элементы размещены на некоторой неплоской поверхности, обычно уже существующей для другой цели) могли бы использоваться с тем же успехом. Решетка содержит правильную геометрию в смысле местоположений центров элементов (но не по существу) обычно в квадратной, прямоугольной или шестиугольной сетке; настоящее описание предполагает квадратную сетку.

Каждый элемент выдает принятый сигнал элемента в соответствующий малошумящий усилитель 22 (МШУ, LNA) с ассоциированной фильтрацией для ограничения насыщения усилителя, когда происходит передача.

Элементы выдают входные сигналы в набор диаграммообразующих схем 24 (BFN) подрешетки NS, которые реализованы в аналоговой технологии (типично для РЧ (ГГц), но, в качестве альтернативы, для низкой ПЧ, где происходит преобразование с понижением частоты на ранней стадии, когда компоненты схем 24 могут иметь более низкие технические характеристики. Каждая подрешетка 24 содержит, как показано в этом отдельном примере, четыре смежных геометрически подобных элемента, причем каждая подрешетка перекрывает соседнюю подрешетку на два элемента. Поэтому, каждый элемент участвует в двух подрешетках в показанном линейном направлении, так что интервал между подрешетками является удвоенным интервалом между элементами. Подобная компоновка подрешеток имеется во втором направлении, так что по площади решетки количество подрешеток NS является меньшим в 4 раза, чем количество элементов NE. Подрешетки, однако, могут иметь любой размер, если требуется, а элементы каждой подрешетки могут не быть смежными друг другу, но могут быть распределены по лицевой поверхности антенны.

Каждая диаграммообразующая схема 25 подрешетки содержит соответствующее устройство взвешивания амплитуды и устройство взвешивания фазы, присоединенное к каждому входу элемента, с последующим устройством суммирования для суммирования взвешенных вкладов элементов, чтобы выдавать суммарный выходной сигнал подрешеток на выходном порте 26. Типично, но не обязательно, один и тот же набор весов может применяться к каждой подрешетке. Диаграмма излучения, сформированная подрешеткой, дает огибающую диаграмм, которые могут быть сформированы полной системой DRA, так что диаграмма подрешетки покрывает область, в пределах которой требуется формировать сетку сфокусированных лучей, и, в дополнение, может ограничивать усиление вне этой области для того, чтобы ограничить помехи. В одном из вариантов веса в пределах подрешетки могут быть постоянными во времени. Во втором варианте они могут быть регулируемыми, в таком случае становится возможным реализовывать большое реконфигурирование огибающей покрытия, находясь на орбите. Точные значения комплексных весов подрешеток определяются в процессе оптимизации, как более подробно описано ниже.

Выход каждой подрешетки, или точка 26 управления, соединяется с преобразователем 28 с понижением частоты для понижения РЧ-сигнала до ПЧ-частоты. Преобразование с понижением частоты требует общего источника 30 частоты гетеродина для поддержки слежения за фазой между сигналами подрешеток. Полосовые фильтры 32 ограничивают сигналы подрешеток суммарной интересующей полосой частот, и каждый сигнал подрешетки преобразуется аналого-цифровым преобразователем 34 в последовательность цифровых отсчетов.

Преобразование с понижением частоты типично помещает интересующую полосу близко к нулевой частоте (учитывая ширину полосы сигнала и частоту выборки отсчетов АЦП 34) для каждой из подрешеток. Частота выборки отсчетов аналого-цифровых преобразователей является по меньшей мере удвоенной шириной полосы для интересующей полосы и может предусматривать вещественную выборку (один аналого-цифровой преобразователь на подрешетку) или комплексную выборку (пару аналого-цифровых преобразователей на подрешетку, работающих со сдвигом в 90 градусов). Комплексная выборка требует преобразования входного сигнала в (синфазно-квадратурный) IQ-формат перед аналого-цифровым преобразованием, и это может происходить известным образом на стадии 28 преобразования с понижением частоты, где сигналы гетеродина выдаются в квадратуре.

Суммарная интересующая полоса содержит K узкополосных каналов, которые содержатся в набор сфокусированных лучей, сформированных в пределах области покрытия, как определено диаграммой подрешетки. Каждый оцифрованный сигнал подрешетки демультиплексируется в цифровой форме по частоте в K отдельных каналов в демультиплексоре 36. Преимущественно, сигнал каждого канала типично будет предусматривать прореживание в демультиплексоре с частотой комплексной выборки, согласующейся с шириной полосы канала, для упрощения последующей обработки.

Имеется цифровая диаграммообразующая схема 38 (BFN), ассоциированная с каждым из K каналов, которая присоединена к соответствующим выходам каждого демультиплексора 36, чтобы объединять все компоненты соответствующего канала. Каждая цифровая BFN умножает дискретизированный входной сигнал из каждой из подрешеток на комплексный коэффициент (эквивалентно амплитудному и фазовому управлению в аналоговых терминах) и суммирует взвешенные выходные сигналы для формирования суммарного выходного сигнала канала. Выбор комплексных весов для данного канала определяет свойства луча для такого канала. Например, для того чтобы формировать сфокусированный луч в заданном направлении, при условии, что веса подрешетки уже определены, веса выбираются с помощью процесса, который очевиден специалисту в данной области техники, чтобы был однородный градиент фазы по набору перекрытых подрешеток, чтобы диаграммы подрешеток когерентно суммировались в требуемом направлении. Таким образом, выбор весов DBFN может использоваться, чтобы управлять пропускной способностью между имеющимися в распоряжении направлениями сфокусированных лучей в ответ на изменение схемы трафика или для осуществления более общего управления свойствами луча (размером и формой). В дополнительном варианте заданный частотный канал может повторно использоваться многочисленными сфокусированными лучами, и в этом случае имеется множество DBFN для данного канала, каждая из которых формирует отдельный луч, для которой имеется достаточное разнесение, чтобы ограничивать взаимные помехи.

Ключевой признак изобретения состоит в том, что использование перекрытых подрешеток служит для упрощения цифровой обработки в пределах общей

архитектуры по сравнению с системой фазированной решетки, причем каждый из Ne главных элементов дискретизируется и обрабатывается в цифровой форме. Более точно, количество преобразователей с понижением частоты, полосовых фильтров, аналого-цифровых преобразователей и частотных демультиплексоров сокращается с Ne до Ns (то есть в 4 раза в этом примере), а кроме того, размерность цифровых BFN сокращается с Ne до Ns подобным образом. Это упрощение переводится в уменьшение массы и мощности в практической реализации, которая может создавать различие между осуществимостью или неосуществимостью для космического летательного аппарата, при заданном состоянии соответствующих используемых цифровых технологий.

Что касается отдельного примера, описанного ниже для европейского сфокусированного луча, количество точек управления является приблизительно в 20 раз меньшим, чем количество элементов (4000). Это означает резкое и значительное уменьшение сложности цифровой обработки, которое может сделать такую систему осуществимой.

На фиг.3 представлена архитектура, эквивалентная фиг.2, но для режима передачи, при этом каждый из K узкополосных каналов связи подается в соответствующую цифровую диаграммообразующую схему 40 (DBFN), где комплексное взвешивание применяется для определения сфокусированных лучей. Взвешенные каналы мультиплексируются в наборе Ns K-канальных цифровых частотных мультиплексоров 42. Выход каждого мультиплексора присоединен к соответствующему цифро-аналоговому преобразователю 44, и аналоговый выходной сигнал подается на полосовой фильтр 46 и преобразователь 48 с повышением частоты для преобразования мультиплексированного сигнала в РЧ-частоту. РЧ-сигнал подается на входной порт 50 подрешетки 52. Каждая подрешетка имеет диаграммообразующую схему 54, где сигнал разделяется распределителем на отдельные сигналы антенных элементов, четыре в этом случае, каждый сигнал подвергается соответствующему амплитудному и фазовому взвешиванию. Взвешенные сигналы элементов комбинируются на устройстве 56 суммирования с соответствующими сигналами элементов с других подрешеток 52 и подаются через усилитель 58 большой мощности (HPA) на излучающий элемент 20.

Функции DBFN 40 и диаграммообразующих схем 52 подрешетки являются такими же, как в случае приема по фиг.2, и дополнительно описываться не будут.

Существуют дополнительные варианты для других архитектур цифровой обработки. Один пример относится к эффективному подходу для цифрового формирования диаграммы направленности, при котором БПФ (FFT, быстрое преобразование Фурье) используется для формирования правильной сетки сфокусированных лучей. Оцифрованные выходные сигналы подрешетки формируют входные сигналы в БПФ, в то время как выходные сигналы из БПФ представляют правильную сетку сфокусированных лучей. Вновь, подход перекрытых подрешеток дает упрощение в смысле количества аналого-цифровых преобразователей и размерности БПФ.

Во втором главном варианте осуществления (варианте реализации), как показано на фиг.4, формирование диаграммы направленности подрешетки и формирование главного луча реализуются с использованием цифровой технологии. На фиг.4 части, подобные таковым на фиг.2, обозначены такими же ссылочными позициями. На фиг.4 каждый элемент 20 присоединен к блоку 60, который содержит малошумящий усилитель, преобразователь с понижением частоты, полосовой фильтр, АЦП, то есть

блок 40 замещает элементы 22, 28-34 по фиг.2. Таким образом, каждый из Ne элементов 20 имеет функцию аналогового приема, содержащую МШУ, общую полосовую фильтрацию и преобразование с понижением частоты. Каждый цифровой сигнал элемента цифровым образом дискретизируется в аналого-цифровом преобразователе таким же образом, как на фиг.2.

Перекрывающаяся схема подрешеток является такой же, как по фиг.2, с четырьмя элементами, образующими подрешетку в показанном линейном направлении. Цифровая диаграммообразующая схема 62 предусмотрена для каждой подрешетки; формирование диаграммы направленности реализуется цифровым образом с последовательностью комплексных весов и цифровым суммированием. Как для аналоговых весов по фиг.2, веса могут быть постоянными или переменными, но этот подход сам по себе хорошо применяется к реализации с переменными весами. Выходные сигналы подрешетки частотно демультиплексируются на 66 и формируются в решетку сфокусированных лучей с помощью цифровых диаграммообразующих схем 68.

Преимущества этого подхода, по сравнению с цифровой системой без подрешеток, менее очевидны. Количество аналого-цифровых преобразователей и ассоциированных каналов приема увеличивается до Ne, но остаются преимущества в смысле сокращения количества частотных демультиплексоров (которые имеют высокую нагрузку обработки) и размерности основных цифровых BFN.

В третьем главном варианте осуществления (варианте реализации), как показано на фиг.5, формирование диаграммы направленности подрешетки и формирование главного луча реализуются с использованием аналоговой технологии. На фиг.5 части, подобные таковым на фиг.2, обозначены такими же ссылочными позициями. На фиг.5 подрешетки 24 имеют набор аналоговых диаграммообразующих схем, как на фиг.2. Выходы 26 BFN подрешетки формируют входные сигналы в аналоговое устройство 70 BFN, детали которого не описываются, поскольку они очевидны специалисту в данной области техники. Преимущество подхода заключается в уменьшении размера аналоговой BFN 70 по сравнению с полностью аналоговой реализацией без подрешеток.

На фиг.6 показана блок-схема последовательности операций способа оптимизации для определения характеристик подрешетки и весов формирования главного луча, как изложено ниже:

Этап 1 (71): Определить общий размер антенны на основании требования направленности сфокусированного луча (пик ~52,5 дБи для этого примера).

Этап 2 (72): Определить размер отдельного элемента на основании требования к размеру запретной зоны дифракционного максимума решетки или к реконфигурации глобальной зоны (видимой земли для этого примера).

Этап 3 (74): Определить интервал между точками управления (портов) подрешеток, исходя из максимального размера географической области, которая должна покрываться (Европы в этом примере).

Этап 4 (76): Определить размер подрешеток (степень перекрытий) посредством установки в начальное предопределенное значение и затем, если необходимо, итерациями, включающими в себя следующие этапы с 5 по 7.

Этап 5 (78): Установить начальные веса в пределах подрешеток всеми равными или для максимизации минимальной направленности подрешетки в области покрытия. В этом примере все подрешетки имеют идентичные веса, но это не обязательно, и улучшения рабочих характеристик могут быть достижимы с неидентичными

подрешетками.

Этап 6 (80): На основании текущих весов внутри подрешетки (весов в пределах подрешеток) рассчитать пиковые направленности в местоположениях желательных сфокусированных лучей (100 в этом примере). При заданных весах внутри подрешетки просто определять внешние веса для установки точек управления подрешетки, чтобы достигать этого, как изложено ниже. Всего лишь с небольшой потерей рабочих характеристик центры подрешеток рассматриваются в качестве отдельных элементов, с равной амплитудой, применяемой к подрешеткам, и фазой, определяемой из местоположения центра подрешетки и желательного направления ориентации луча. Для применения полностью строгого решения потребуется дополнительная матричная обработка, которая будет очевидна специалисту в данной области техники.

Этап 7 (82): Определение сходимости рабочей характеристики к (локальному) максимуму на основании некоторой согласованной метрики качества,

если Да, записать результаты и остановиться (84),

если Нет, итерационно изменять веса внутри подрешетки (86). Если Нет, для всех весов внутри подрешетки итерационно изменять размер (этап 4) и, если необходимо, интервал (этап 3) подрешеток.

Пример

На фиг.8 показана желательная компоновка для европейского покрытия из 100 сфокусированных лучей, равносигнальное направление ориентировано на 17°E, 48,5°N, из геостационарного положения в 7°E.

Для исходных соображений проектирования антенны:

Начнем с раскрыва DRA в 2,4 м (сравнимо с размером рефлектора AFR), интервал между элементами 2,12 длины волны. Интервал между элементами определяет величину потерь в рабочих характеристиках антенны, когда она сканирует. То есть ухудшение рабочих характеристик каждого отдельного элемента между центром и краем на поверхности земли дает в результате неисправимую потерю рабочих характеристик. С другой стороны, чем меньше элементы, тем больше их требуется, значит есть компромисс, который обычно, для геостационарных спутников, дает в результате размер элемента в диапазоне 2-3 длин волны.

Покрытие имеет протяженность 6,75° E/W (с запада на восток), 3,12° N/S (с севера на юг).

Испытывался элемент 2,12 длины волны, прореживание в перекрывающиеся подрешетки на 3 E/W и 6 N/S в квадратной решетке элементов.

Это дает в результате решетку, содержащую 4349 элементов и 249 точек управления, как показано на фиг.7. Светлые пики показывают точки управления, тонкая структура показывает отдельные элементы.

Что касается выбора подрешеток, для достижения компромисса между степенью перекрытия и аналоговой радиочастотной сложностью подрешеток подрешетки выбраны, чтобы занимать прямоугольники 2×2 точек управления. Каждый элемент участвует в 4 подрешетках, за исключением краев решетки. Каждая подрешетка содержит 12×6=72 элемента.

На фиг.7 показана плоская фазированная решетка приблизительно кругового очертания диаметром 2,4 м, содержащая приблизительно 4000 элементов. Элементы сгруппированы в перекрывающиеся подрешетки из 72 элементов, разнесенные на шесть элементов в одном направлении и три в другом. Подрешетки могут быть реализованы как взаимосвязанные мозаичные структуры, и каждый элемент участвует в четырех подрешетках.

Элементы в подрешетке имеют веса, изначально оптимизированные, чтобы максимизировать минимальную пиковую направленность сфокусированного луча, достижимую в местоположениях центров 100 лучей, посредством последовательности операций, описанной выше со ссылкой на фиг.6.

Частично заполненные подрешетки просто усекаются; веса на заполненных элементах являются такими же, как на полных подрешетках.

Оптимизация также может выполняться для подавления направленности в потенциальных направлениях дифракционного максимума решетки.

Результаты показывают, что когда подрешетка содержит ячейки 2×2 точек управления, минимальная направленность в любом из 100 направлений имеет значение 52,60 дБи после амплитудной и фазовой оптимизации на элементах подрешетки.

Элементы 2,12 длины волны (согласно этой простой модели) имеют пиковую направленность 16,7 дБи с падением ~0,3 дБ на 4°.

Отсюда, наилучшим возможным минимумом, со всеми 4349 элементами, является ~52,8 дБи.

Когда подрешетка содержит ячейки 1×1 (то есть они не перекрываются), наилучшим достижимым значением будет 50,4 дБи из 249 точек управления.

Фиг.9 показывает график пика сфокусированного луча в зависимости от направления для одиночной подрешетки. Фиг.9 показывает, что луч подрешетки центрирован на европейской области. Другие подрешетки будут обеспечивать лучи подобной амплитуды. Фиг.10 показывает составную диаграмму направленности подрешеток, и следует отметить, что имеет место очень высокое значение направленности в пределах европейской области, которое очень быстро спадает вне этой области. Относительное фазирование между подрешетками формирует сфокусированные лучи. Два отдельных сфокусированных луча показаны на фиг.11 и 12.

Для последующей оптимизации сфокусированных лучей, с сохранением внутренних весов подрешетки, оптимизированных выше, веса на 249 подрешетках были оптимизированы для 100 лучей, в свою очередь:

с целого комбинирования направленности лучей по краям и уровней боковых лепестков. Для этих 100 лучей шириной 0,45° оптимизированные пиковые направленности типично имеют значение 52 дБи, приблизительно на 0,5 дБ ниже максимально возможной направленности, предположительно потому, что лучи несколько больше, чем минимально возможные из этой апертуры, а оптимизация боковых лепестков требует определенного спада на краях.

Фиг.13 показывает результат повторной оптимизации для сфокусированного луча по фиг.12.

## Формула изобретения

1. Способ формирования диаграммы направленности для антенны телекоммуникационного космического аппарата, причем антенна содержит фазированную антенную решетку, и антенна обеспечивает множество лучей связи в пределах предопределенной географической области, причем способ состоит в том, что предоставляют фазированную антенную решетку как множество антенных элементов, каждый антенный элемент имеет сигнал антенного элемента, имеющий фазовое соотношение и амплитудное соотношение с сигналами других элементов, и разделяют упомянутые антенные элементы на множество перекрывающихся

подрешеток, каждая подрешетка содержит подмножество всех антенных элементов фазированной решетки, и по меньшей мере некоторые или все антенные элементы участвуют в более чем одной подрешетке, назначают элементам каждой подрешетки соответствующие внутриподрешеточные веса формирования диаграммы направленности, и назначают каждой подрешетке соответствующие веса формирования главного луча для упомянутого множества лучей связи, так что составная диаграмма излучения антенны обеспечивает упомянутое множество лучей связи в пределах упомянутой области, при этом желательный уровень направленности антенны для множества лучей связи достигают процессом оптимизации, включающим в себя изменение итерациями упомянутых внутриподрешеточных весов формирования диаграммы направленности вместе с определением направленности луча на каждой упомянутой итерации.

2. Способ по п.1, в котором упомянутая антенна выполнена с размерами для обеспечения покрытия на глобальной зоне, и упомянутая область содержит ограниченную часть упомянутой глобальной зоны.

3. Способ по п.2, в котором упомянутая область содержит две или более географически отдельных зон.

4. Способ по п.2, в котором упомянутый космический аппарат является геостационарным спутником.

5. Способ по п.1, в котором упомянутые лучи являются фокусированными лучами, каждый из которых имеет по меньшей мере предопределенное минимальное значение направленности антенны.

6. Способ по любому из пп.1-5, в котором упомянутые веса формирования главного луча дополнительно оптимизируются с целью комбинирования направленности луча на краях и уровней боковых лепестков.

7. Способ по любому из пп.1-5, в котором каждой подрешетке назначается набор весов, который является таким же, как наборы, назначенные другим подрешеткам.

8. Способ по любому из пп.1-5, в котором упомянутые внутриподрешеточные веса формирования диаграммы направленности выражены в аналоговой форме, а упомянутые веса формирования главного луча выражены в цифровой форме.

9. Фазированная антенная решетка, обеспечивающая покрытие на предопределенной географической области и обеспечивающая множество лучей в пределах упомянутой области, содержащая множество антенных элементов, каждый антенный элемент имеет сигнал антенного элемента, имеющий фазовое соотношение и амплитудное соотношение с сигналами других элементов, и упомянутые антенные элементы разделены на множество перекрывающихся подрешеток, каждая подрешетка содержит подмножество всех антенных элементов фазированной решетки, и по меньшей мере некоторые из антенных элементов участвуют в более чем одной подрешетке, диаграммообразующую схему подрешеток, которая назначает элементам каждой подрешетки соответствующие внутриподрешеточные веса формирования диаграммы направленности, и схему формирования главного луча, которая назначает каждой подрешетке веса формирования главного луча для каждого из упомянутого множества лучей, чтобы сформировать упомянутое множество лучей в пределах упомянутой области, при этом внутриподрешеточные веса формирования диаграммы направленности, назначенные каждой подрешетке, оптимизированы для достижения желательного уровня направленности для упомянутого множества лучей посредством процесса оптимизации, при этом упомянутые внутриподрешеточные веса формирования диаграммы направленности изменяются по значению итерациями, и на

каждой итерации определяются значения весов формирования главного луча, назначенные упомянутым подрешеткам.

10. Фазированная антенная решетка по п.9, в которой по меньшей мере некоторые из упомянутых лучей имеют упомянутое желательное значение направленности, которое является по меньшей мере предопределенным минимальным значением.

11. Фазированная антенная решетка по п.9, в которой каждая упомянутая подрешетка имеет по существу подобный набор внутриподрешеточных весов формирования диаграммы направленности, назначенных другим подрешеткам.

12. Фазированная антенная решетка по п.9, в которой упомянутые подрешетки имеют по существу подобную геометрическую конфигурацию.

13. Фазированная антенная решетка по п.9, причем упомянутые лучи являются лучами связи, и фазированная антенная решетка предназначена для телекоммуникационного космического аппарата.

14. Фазированная антенная решетка по п.9, в которой упомянутая антенна выполнена с размерами для обеспечения покрытия на глобальной зоне, и упомянутая область содержит ограниченную часть или более чем одну часть упомянутой глобальной зоны.

15. Фазированная антенная решетка по п.14, в которой упомянутый космический аппарат является геостационарным спутником.

16. Фазированная антенная решетка по п.9, причем фазированная антенная решетка сформирована в двух измерениях, и каждая подрешетка продолжается по обоим измерениям.

17. Фазированная антенная решетка по п.9, в которой упомянутая диаграммообразующая схема подрешетки назначает каждой подрешетке набор весов, который является таким же, как наборы, назначенные другим подрешеткам.

18. Фазированная антенная решетка по п.9, в которой упомянутая диаграммообразующая схема подрешетки содержит соответствующее аналоговое средство сдвига фазы и соответствующее аналоговое средство сдвига коэффициента усиления, связанные с каждым антенным элементом.

19. Фазированная антенная решетка по любому из пп.9-18, причем фазированная антенная решетка имеет функцию приема, а упомянутая диаграммообразующая схема подрешетки содержит для каждой подрешетки средство комбинирования сигналов для сигналов элементов подрешетки, чтобы выдавать комбинированный выходной сигнал на выходной порт подрешетки.

20. Фазированная антенная решетка по п.19, причем фазированная антенная решетка имеет функцию приема и содержит средство преобразования с понижением частоты для преобразования с понижением частоты выходных сигналов подрешетки или для преобразования с понижением частоты сигналов отдельных элементов.

21. Фазированная антенная решетка по п.19, содержащая в себя средство аналого-цифрового преобразования для оцифровывания выходных сигналов каждой подрешетки, средство частотного демультиплексирования для демультиплексирования выходного сигнала каждой подрешетки во множество (К) сигналов каналов и соответствующую цифровую диаграммообразующую схему для каждого из упомянутого множества (К) каналов, присоединенную для приема сигнала соответствующего канала с выхода каждой подрешетки и выполненную с возможностью применения комплексного веса к каждому упомянутому сигналу канала и для суммирования взвешенных сигналов каналов, чтобы выдавать выходной сигнал канала.

22. Фазированная антенная решетка по п.21, содержащая в себя множество цифровых диаграммообразующих схем для одного из упомянутого множества (К) каналов для выдачи множества выходных сигналов канала для такого канала для повторного использования частот.

23. Фазированная антенная решетка по любому из пп.9-18, содержащая средство аналого-цифрового преобразования для оцифровывания выходных сигналов каждой подрешетки и содержащая средство БПФ, присоединенное для приема оцифрованных сигналов и содержащее упомянутую схему формирования главного луча, и выполненное с возможностью выдачи выходного сигнала, представляющего множество сфокусированных лучей.

24. Фазированная антенная решетка по любому из пп.9-17, в которой диаграммообразующая схема подрешетки выполнена в цифровой форме.

25. Фазированная антенная решетка по любому из пп.9-18, в которой схема формирования главного луча и диаграммообразующая схема подрешетки выполнены в аналоговой форме.

26. Фазированная антенная решетка по любому из пп.9-18, при этом фазированная антенная решетка имеет функцию передачи и для каждой подрешетки упомянутая диаграммообразующая схема подрешетки включает средство распределения сигналов, присоединенное к входному порту подрешетки, для выдачи сигналов элементов подрешетки.

27. Фазированная антенная решетка по п.26, содержащая в себя соответствующую цифровую диаграммообразующую схему для каждого из множества (К) каналов связи, выполненную с возможностью применения комплексного веса к каждому упомянутому сигналу канала, средство мультиплексирования для объединения взвешенных сигналов каналов во множество выходных сигналов, содержащих соответствующий сигнал для каждой подрешетки, и цифроаналоговое средство для преобразования выходных сигналов средства мультиплексирования в аналоговую форму.

28. Способ оптимизации для определения параметров формирования диаграммы направленности фазированной антенной решетки, причем антенна обеспечивает покрытие на предопределенной географической области и множество лучей в пределах упомянутой области, антенна имеет множество антенных элементов, каждый антенный элемент выдает сигнал антенного элемента, имеющий фазовое соотношение и амплитудное соотношение с сигналами других элементов, и антенные элементы разделяются на множество перекрывающихся подрешеток, каждая подрешетка содержит подмножество всех антенных элементов фазированной решетки, и по меньшей мере некоторые из антенных элементов участвуют в более чем одной подрешетке, причем способ оптимизации содержит

первый этап, на котором внутриподрешеточные веса формирования диаграммы направленности, назначенные каждой подрешетке, устанавливаются в начальные значения, и второй этап, на котором определяются значения весов формирования главного луча, назначенные упомянутым подрешеткам, для обеспечения значений направленности в местоположениях по меньшей мере некоторых из упомянутых лучей; и итерационное повторение упомянутых первого и второго этапов, заключающееся в том, что изменяют значения упомянутых внутриподрешеточных весов формирования диаграммы направленности до тех пор, пока не будет достигнут желательный уровень упомянутой направленности для упомянутых лучей.

29. Способ оптимизации по п.28, в котором на упомянутом втором этапе

упомянутые значения весов формирования главного луча определяются для выдачи пиковых значений направленности в упомянутых местоположениях.

30. Способ оптимизации по п.28, включающий в себя определение общего размера антенны на основании требования к направленности сфокусированного луча.

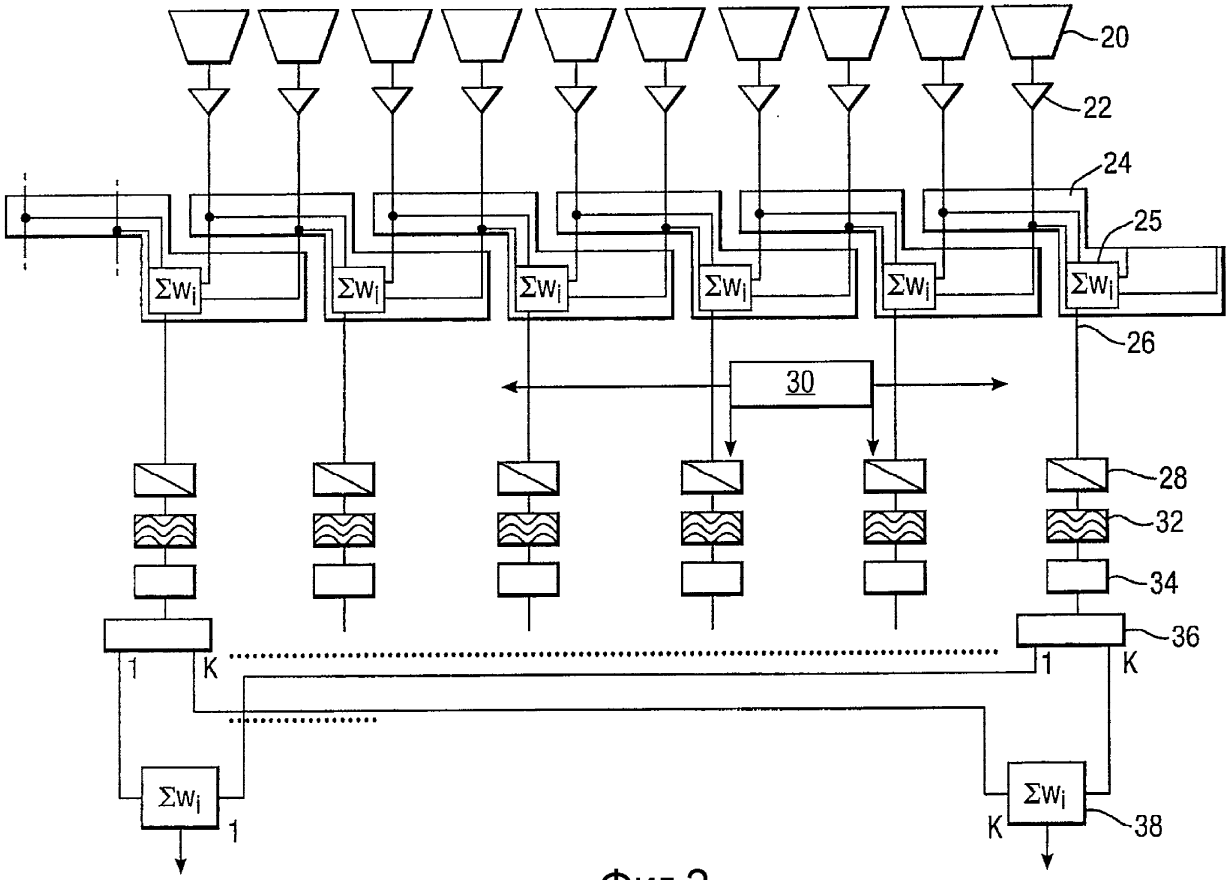
31. Способ оптимизации по п.28, содержащий определение размера/интервала отдельного элемента на основании размера запретной зоны дифракционного максимума решетки.

32. Способ оптимизации по п.28, содержащий определение интервала портов упомянутых подрешеток из максимального размера упомянутой области.

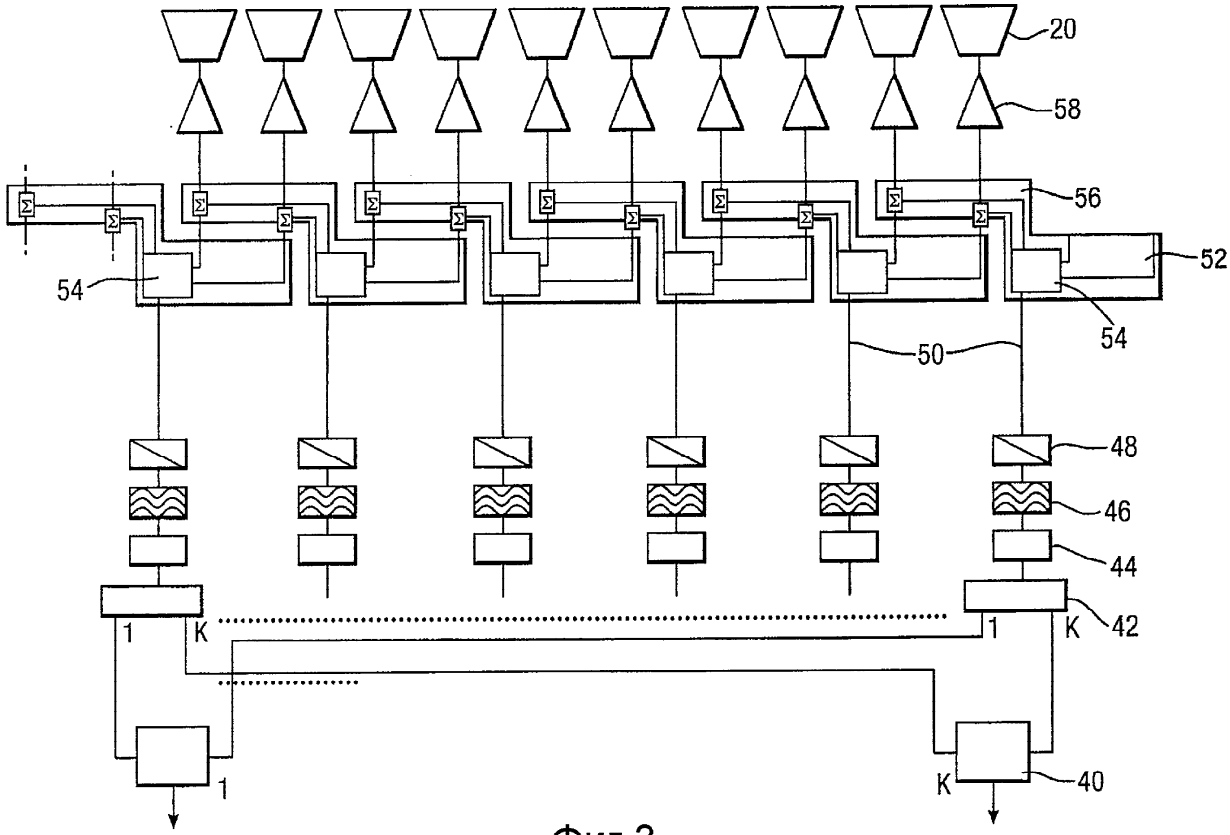
33. Способ оптимизации по п.28, содержащий определение размера подрешеток и степени перекрытий посредством итерационного повторения последовательности операций по п.28.

34. Способ оптимизации по любому из пп.28-32, в котором начальные веса внутри каждой подрешетки установлены как все равные или для максимизации минимальной направленности подрешетки в упомянутой области.

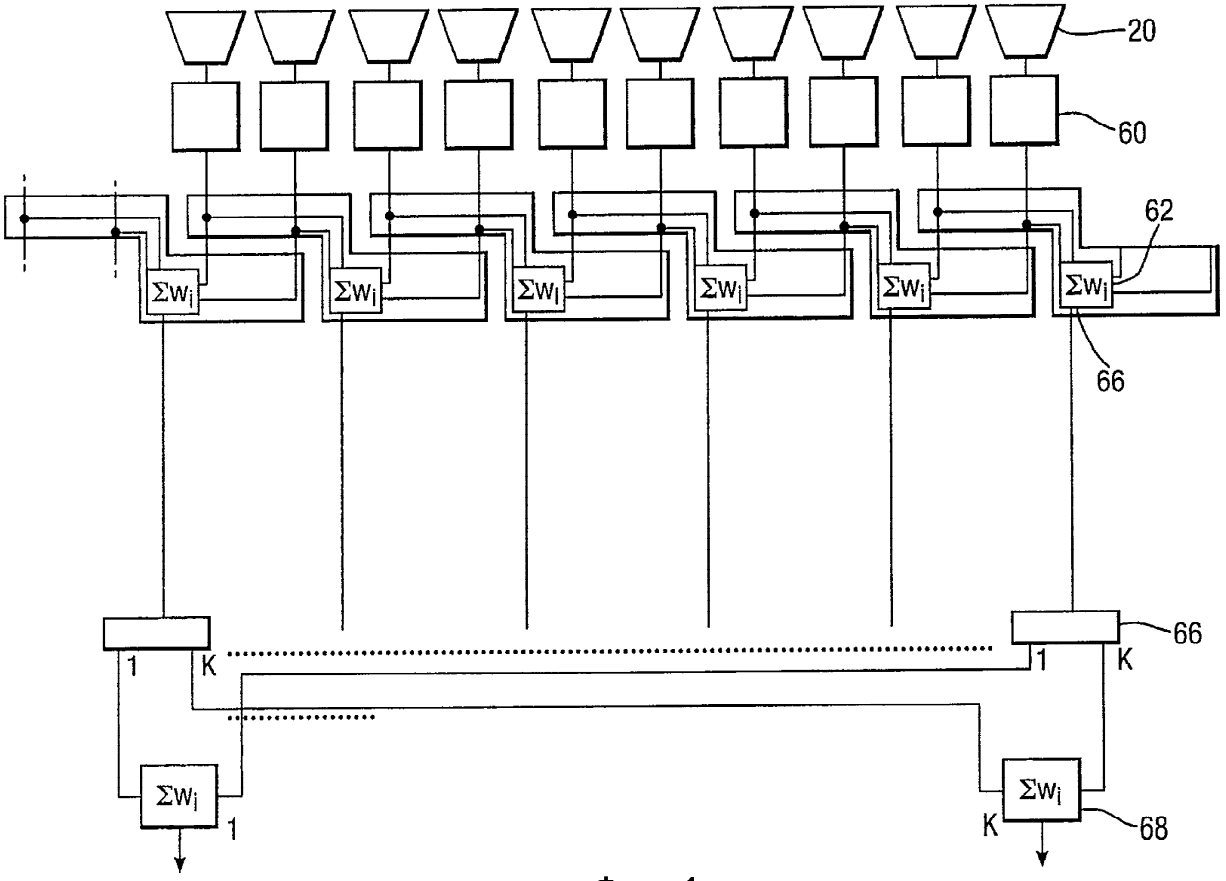
35. Способ оптимизации по любому из пп.28-32, содержащий дополнительную оптимизацию, при этом упомянутые веса формирования главного луча оптимизируются с целью комбинирования направленности лучей на краях и уровней боковых лепестков.


20
22
24
25
ΣWi
26
30
28
32
34
36
1
K
38

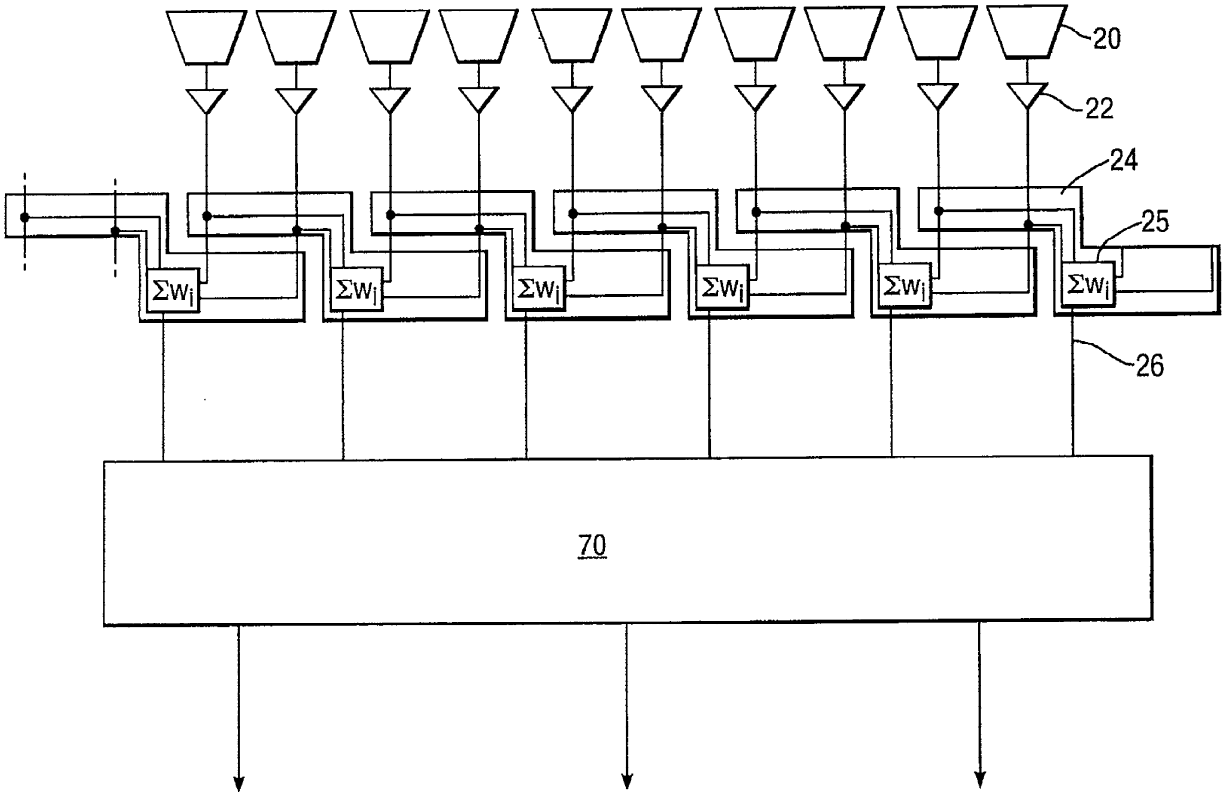
Фиг.2


20
58
56
52
54
50
48
46
44
42
40
1
K

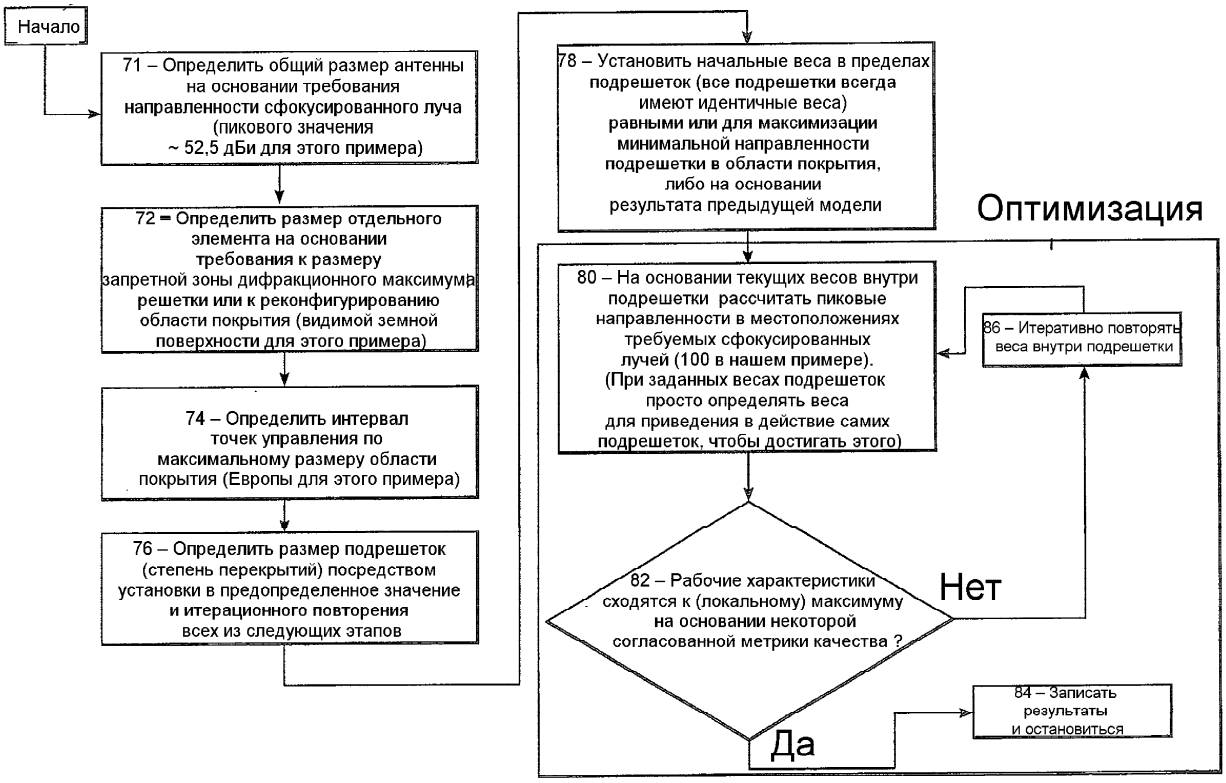
Фиг.3



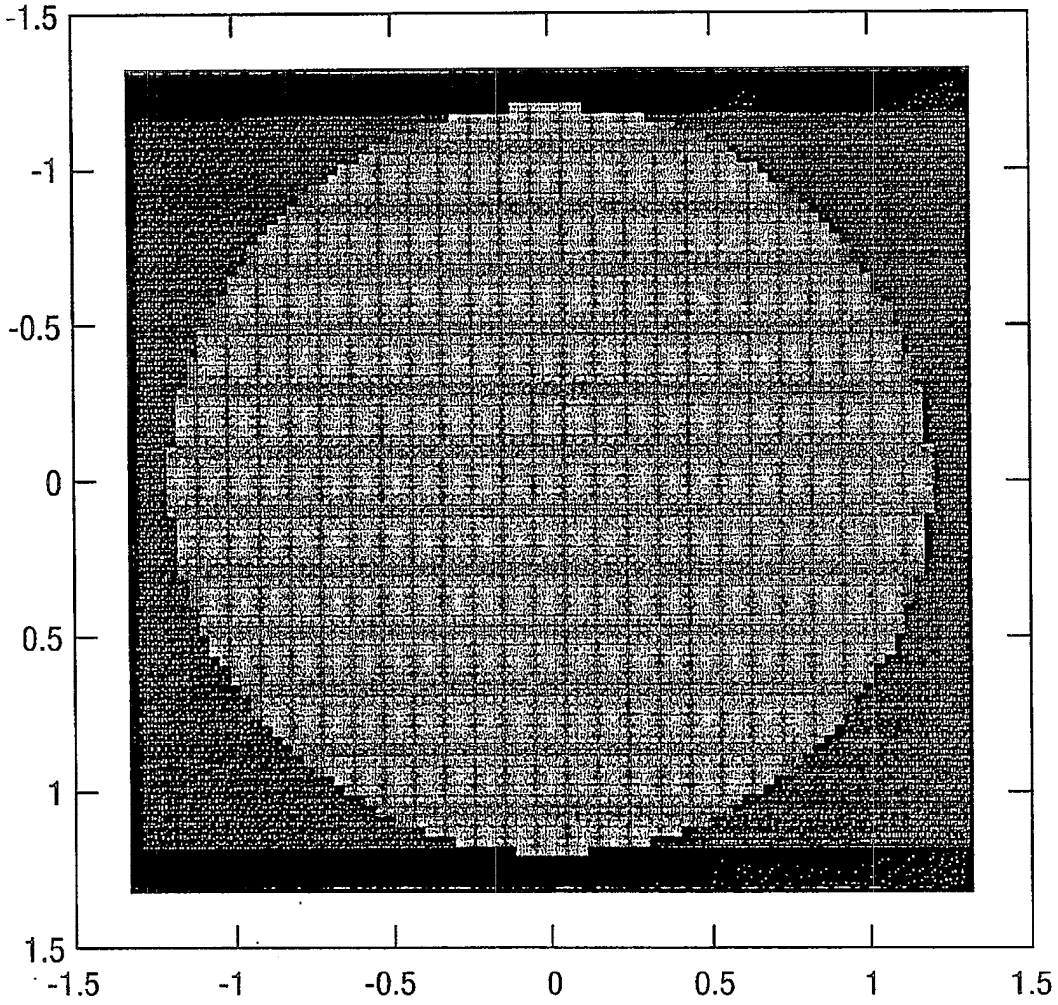

Фиг.4




Фиг.5

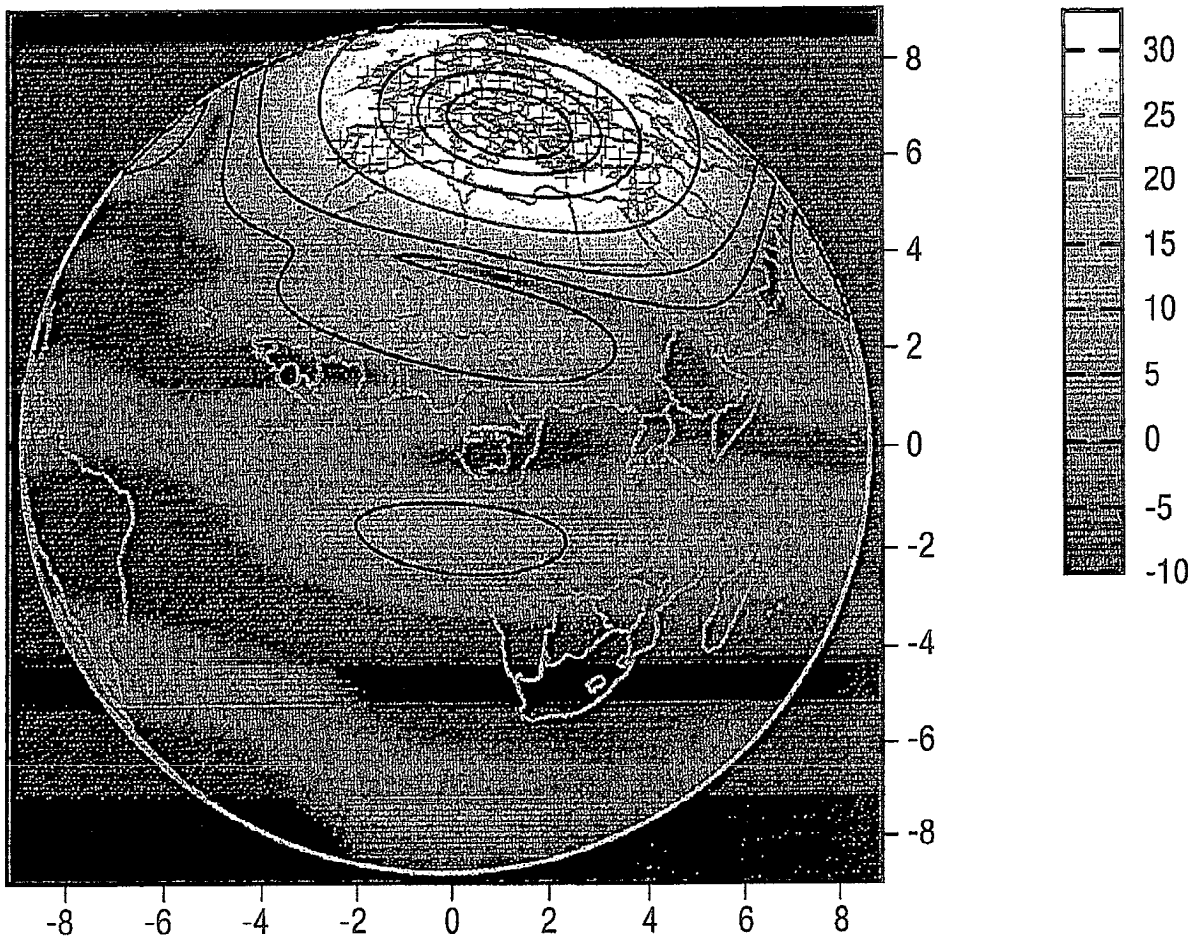

Начало
71 – Определить общий размер антенны на основании требования направленности сфокусированного луча (пикового значения ~ 52,5 дБи для этого примера)
72 – Определить размер отдельного элемента на основании требования к размеру запретной зоны дифракционного максимума решетки или к реконфигурированию области покрытия (видимой земной поверхности для этого примера)
74 – Определить интервал точек управления по максимальному размеру области покрытия (Европы для этого примера)
76 – Определить размер подрешеток (степень перекрытий) посредством установки в предопределенное значение и итерационного повторения всех из следующих этапов
78 – Установить начальные веса в пределах подрешеток (все подрешетки всегда имеют идентичные веса) равными или для максимизации минимальной направленности подрешетки в области покрытия, либо на основании результата предыдущей модели
Оптимизация
80 – На основании текущих весов внутри подрешетки рассчитать пиковые направленности в местоположениях требуемых сфокусированных лучей (100 в нашем примере). (При заданных весах подрешеток просто определять веса для приведения в действие самих подрешеток, чтобы достигать этого)
86 – Итеративно повторять веса внутри подрешетки
82 – Рабочие характеристики сходятся к (локальному) максимуму на основании некоторой согласованной метрики качества ?
Нет
Да
84 – Записать результаты и остановиться

Фиг.6


-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5

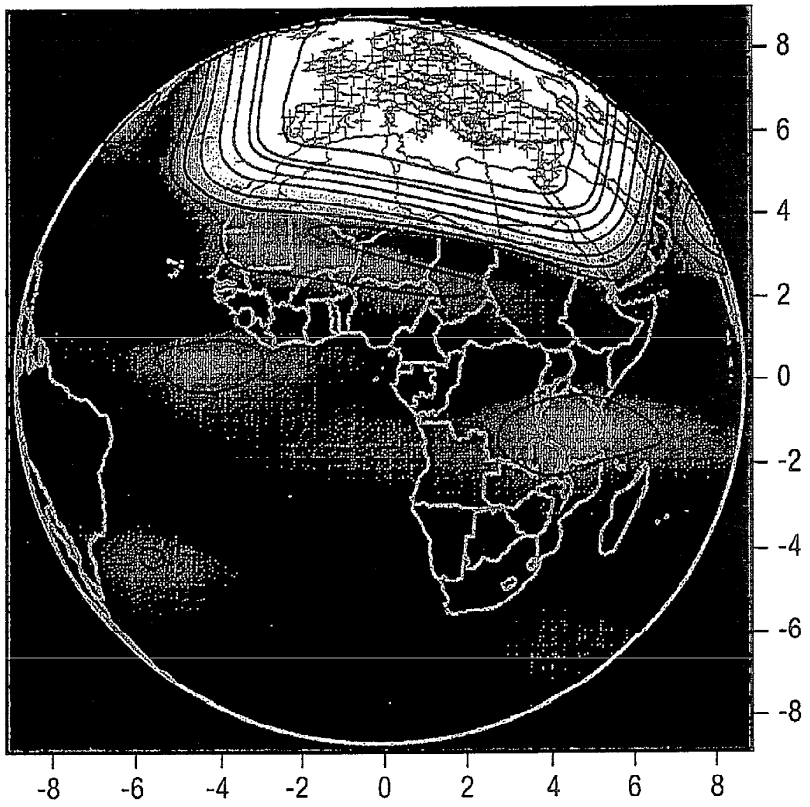
Фиг.7

Контуры 5, 15, 25, 30, 32, 33 дБи



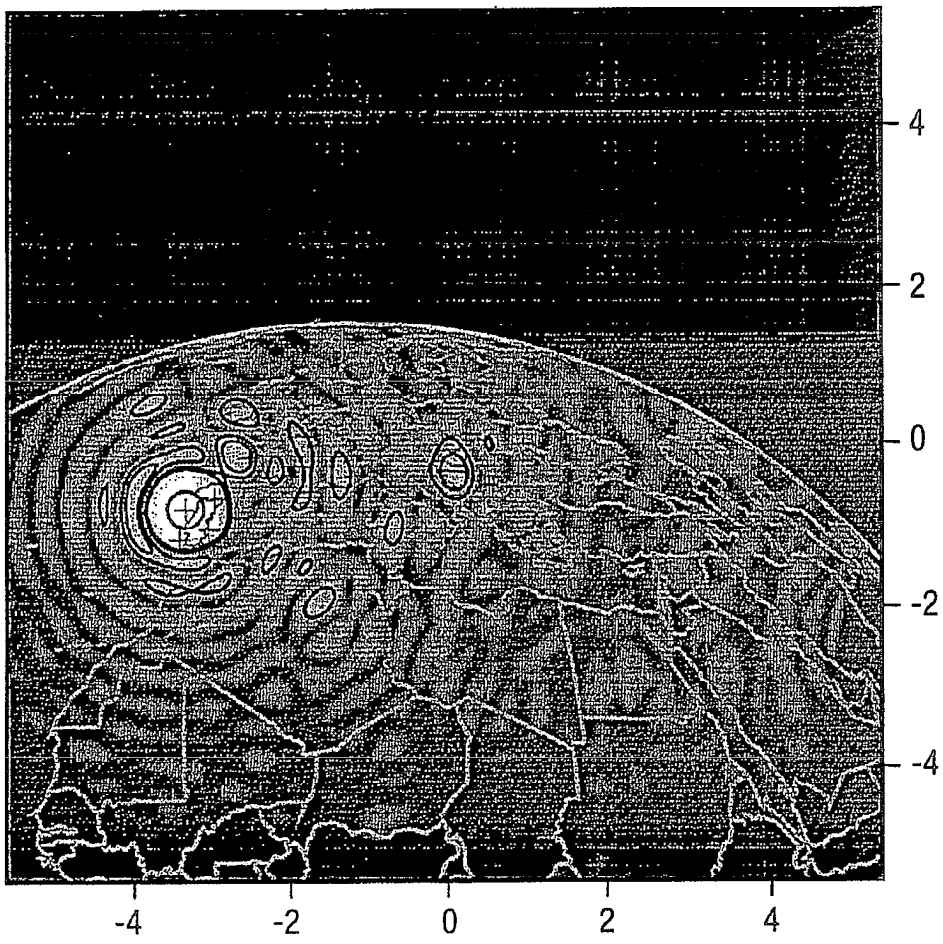

Фиг.9

Перекрытие подрешеток 2×2 ячейки (72 элемента)

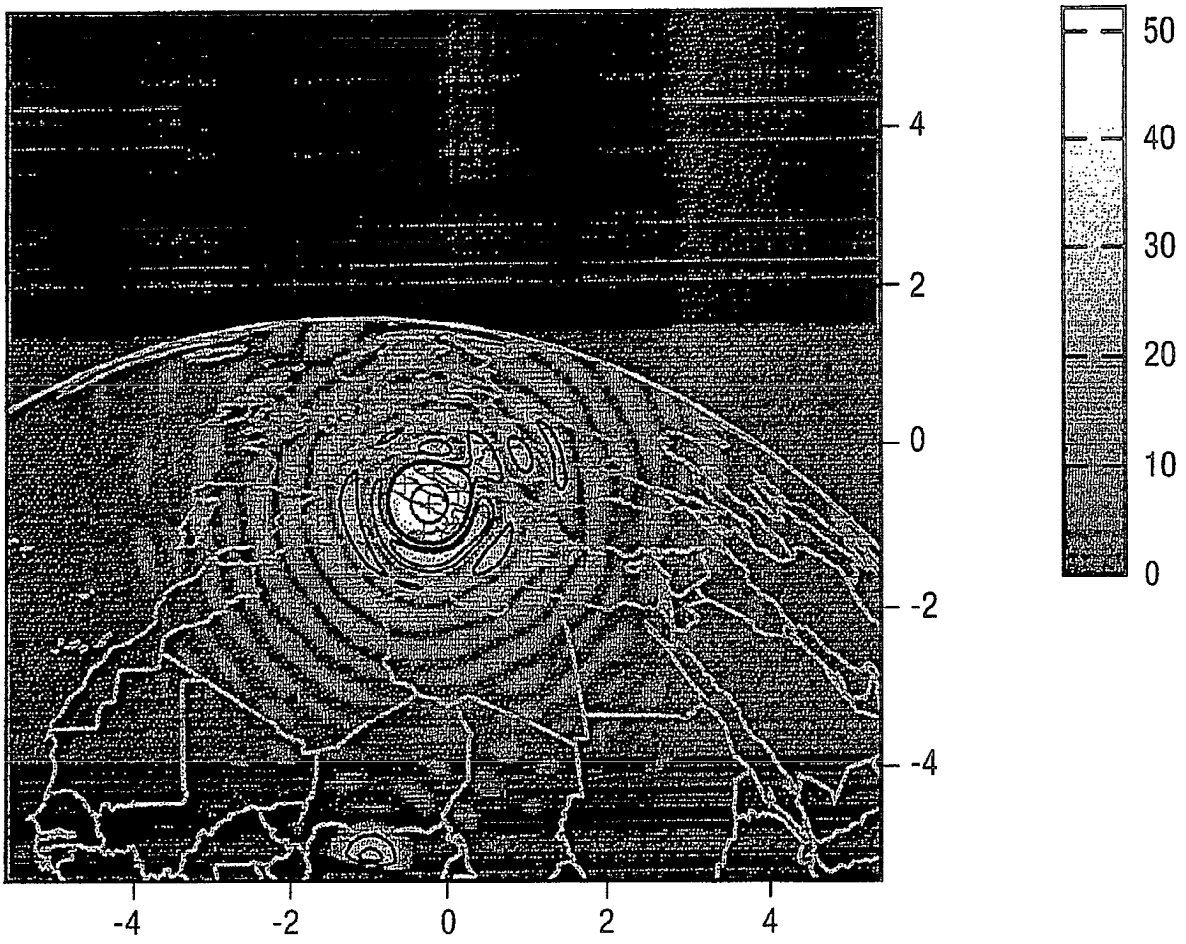



Контурами являются 30, 35, 40, 45, 50,4, 51,4, 52,6 дБи

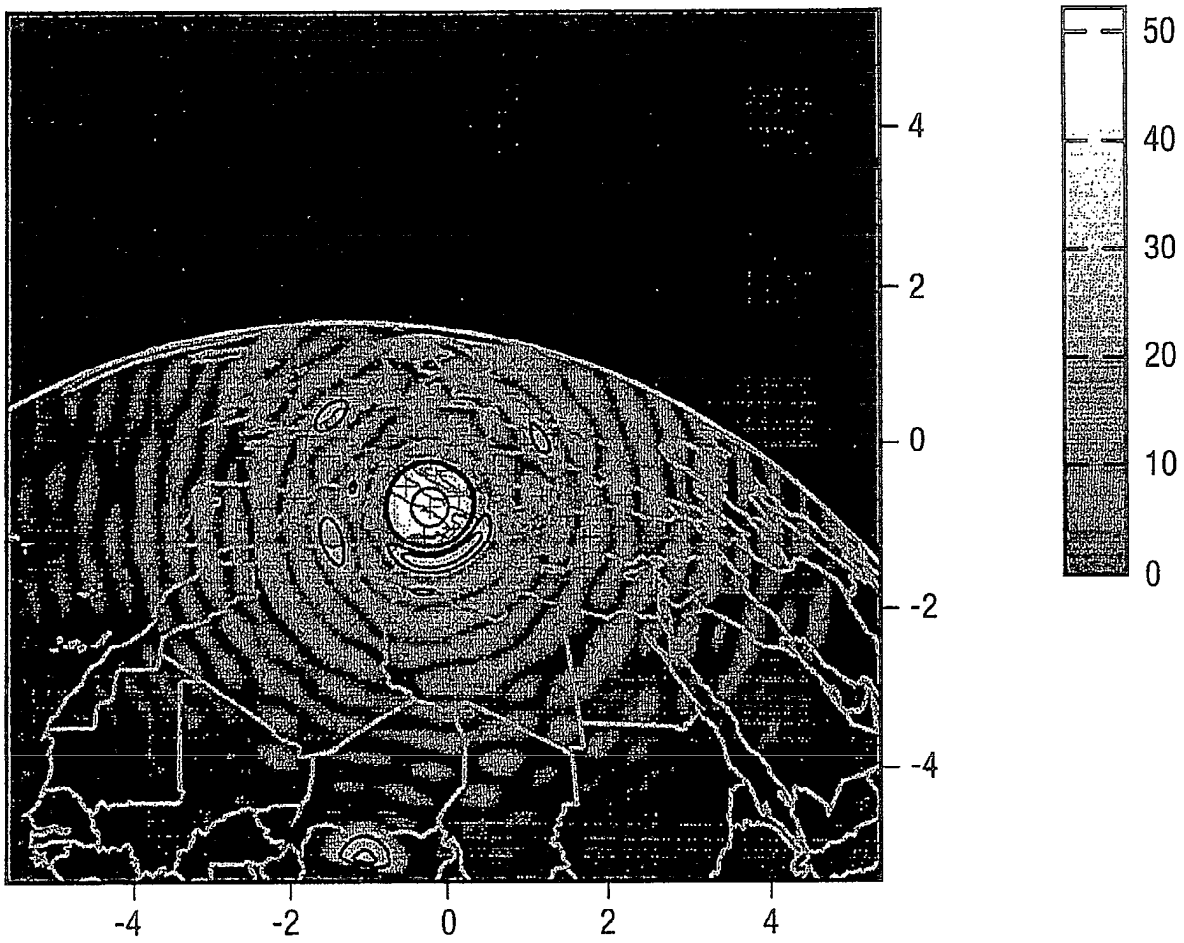
Фиг.10




Фиг.11




Фиг.12




Фиг.13