

УДК 004.931

ОБНАРУЖЕНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОПАСНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДАПТИВНЫХ МАТРИЧНЫХ ПРИЕМНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ

А. Е. Городецкий^а, доктор техн. наук, профессор

И. Л. Тарасова^б, канд. техн. наук, доцент

^аСанкт-Петербургский государственный политехнический университет, Санкт-Петербург, РФ

^бИнститут проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург, РФ

Цель: рассмотрение возможности использования адаптивных матричных приемников миллиметрового диапазона при обнаружении и идентификации опасных космических объектов в радиоастрономической локации. **Результаты:** описаны пути создания адаптивных матричных приемников, основанных на приемниках радиоизлучения миллиметрового диапазона типа НЕВ (Hot Electron Bolometer). Такие приемники снабжены блоком коммутации, например на тонкопленочных криотронах, устанавливаемым вместе с матрицей НЕВ в гелиевый криостат. При этом необходимо исключать влияние на работу пикселей токов управления ключами коммутаторов за счет их экранирования. Представлены обобщенная структура адаптивного матричного приемника типа НЕВ и блок-схема его системы управления, содержащая физически реализуемую НЕВ-матрицу, виртуальную матрицу, запоминающее устройство, блок управления адаптивного матричного приемника, внешнее запоминающее устройство, блок адаптации, систему автоматического управления радиотелескопом, коммутатор, блок измерения колебаний контррефлектора, блок измерения колебаний главного зеркала, точку измерения колебаний на краю главного зеркала, точку измерения колебаний на краю контррефлектора. Приведен алгоритм работы системы управления адаптивного матричного приемника радиотелескопа в режиме обнаружения опасных космических объектов. Рассмотренные возможности применения адаптивных матричных приемников радиоизлучения миллиметрового диапазона позволяют сделать вывод, что при создании сверхбыстрых адаптивных матричных приемников целесообразно использовать НЕВ-пиксели и осуществлять необходимый подбор сверхпроводниковых материалов с малым временем электрон-фононного взаимодействия. Решена проблема создания адаптивного матричного приемника миллиметрового диапазона, обеспечивающего оптимальный выбор размеров пикселей матрицы, исходя из угла места, длины волны излучения и ожидаемых параметров опасных космических объектов, и высокую эффективность получения радиоизображений в радиоастрономической локации. **Практическая значимость:** предложенная система управления адаптивных матричных приемников типа НЕВ позволяет не только настраивать параметры матрицы для оптимального поиска опасных космических объектов по методу равносигнальной зоны, но и проводить аппаратными средствами эффективную предобработку их изображений, а в ряде случаев — и осуществлять идентификацию их формы.

Ключевые слова — матричный приемник, радиолокация, НЕВ-пиксели, система управления радиотелескопом, опасные космические объекты.

Введение

Актуальность проблемы обнаружения и идентификации опасных космических объектов (ОКО) после падения Чабаркульского метеорита стала очевидной. Однако до сих пор готовность к защите Земли от астероидной опасности находится на очень низком уровне [1]. Поэтому в последнее время большое внимание уделяется разработке новых методов и средств локации ОКО. Среди них рассматриваются и методы радиоастрономической локации, хотя идея использования радиоастрономических инструментов для обнаружения малоразмерных космических объектов (космического мусора, астероидов или комет) не нова. Подобные задачи решались и решаются в радиолокационной астрономии. Например, на РТ-70 в Евпатории с 1992 г. проводятся с международным участием радиоастрономические и радиофизические эксперименты по изучению планет Солнечной системы, космического мусора; определению параметров движения астероидов, их формы и изображения. В 2005 г. с по-

мощью РТ-70 впервые обнаружены мелкие фрагменты космического мусора на геостационарных орбитах. До 2009 г. РТ-70 два раза в год применялся в рамках проекта «Астероидная опасность» [2].

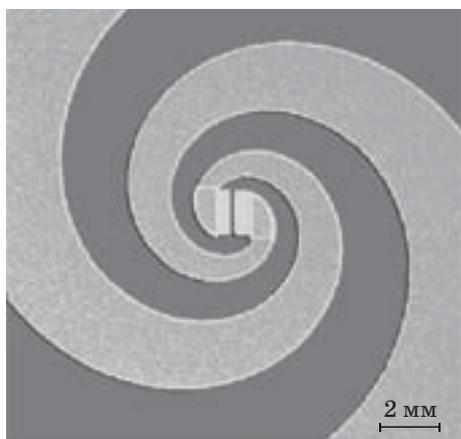
При использовании больших радиотелескопов миллиметрового диапазона значительно повышается чувствительность и, соответственно, высокое угловое разрешение. В частности, используя известные соотношения и существующие на сегодняшний день типы излучателей и приемников радиоизлучения миллиметрового диапазона, можно получить следующие оценки: объекты радиуса порядка $R = 100$ м можно обнаруживать на расстоянии почти в 3 раза дальше, чем от Земли до Луны, а при $R = 10$ м — почти на двойном расстоянии до Луны [3]. Однако радиоастрономическая локация с такими радиотелескопами неизбежно потребует применения матричных приемников радиоизлучения, что в значительной мере решает проблему поиска объектов узкой диаграммой направленности, так как поле зрения у матричного приемника может быть

значительно больше, чем у точечного. Очевидно, что в этом случае главной проблемой будет поиск объекта на матричном приемнике путем цифровой фильтрации и ряда пространственно-временных преобразований сигналов с выхода матричного приемника. Однако для обеспечения высокой эффективности использования матричных приемников для получения радиоизображений в радиоастрономической локации прежде всего необходимо решить проблему создания адаптивного матричного приемника (АМП) миллиметрового диапазона, обеспечивающего оптимальный выбор размеров пикселей матрицы исходя из угла места, длины волн излучения и ожидаемых параметров ОКО [4].

Возможности создания адаптивных матричных приемников

Известны приемники радиоизлучения миллиметрового диапазона типа НЕВ (Hot Electron Bolometer) [5–8], основанные на эффекте электронного разогрева в сверхпроводящих пленках [9]. Они имеют рекордные чувствительность (до $5 \cdot 10^{-14}$ Вт/Гц^{1/2}) и быстродействие (до 1 ТГц). Ближайшими их конкурентами являются полупроводниковые детекторы на основе InSb и Ge [10]. Оба имеют чувствительность порядка 10^{-12} Вт/Гц^{1/2} и малое быстродействие (1 МГц для InSb и 200 Гц для Ge). Поэтому в качестве пикселей АМП-излучения целесообразно применять НЕВ болометры (рис. 1).

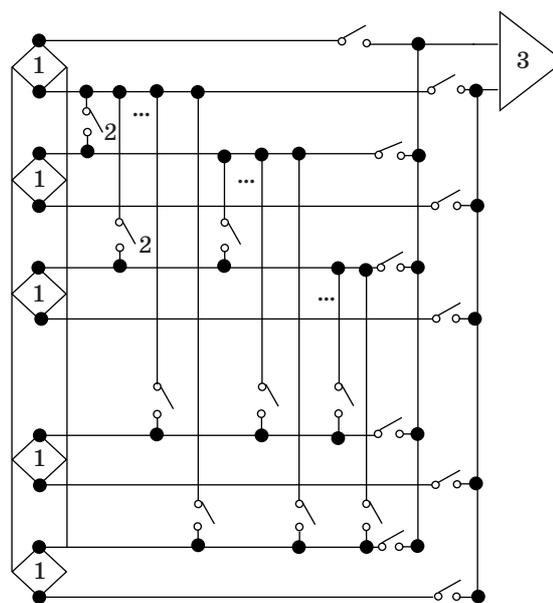
В работе [10] описываются болометры, использующие тонкие пленки из NbN и MoRe, которые имели время остывания электронной подсистемы 50 пс и 1 нс соответственно. Чувствительная область этих болометров имела размеры 0,1×1 мкм и была интегрирована с планарной спиральной антенной



■ **Рис. 1.** Чувствительный элемент НЕВ болометра, интегрированного с планарной спиральной антенной

лосной антенной. Для улучшения согласования с излучением использовалась кремниевая линза, фокусирующая излучение на антенну. Поэтому размер пикселя АМП, использующих указанные болометры, может составлять несколько десятков микрон. При создании сверхбыстрых АМП с указанными пикселями (НЕВ АМП) необходим подбор сверхпроводниковых материалов с малым временем электрон-фононного взаимодействия, а также создание условий для уменьшения времени выхода неравновесных фононов в подложку. Последнее достигается уменьшением толщины сверхпроводящей пленки и при уменьшении акустического согласования сверхпроводящей пленки и подложки. Кроме того, при конструировании матрицы из указанных пикселей необходимо, прежде всего, уменьшить взаимовлияние последних за счет выбора оптимального расстояния между пикселями (скважности) и обеспечить наилучшее акустическое согласование сверхпроводящих пленок пикселей с подложкой. Естественно, что НЕВ АМП должен быть снабжен блоком коммутации, например, на тонкопленочных криотронах, устанавливаемым вместе с матрицей НЕВ в гелиевый криостат. При этом необходимо исключить влияние на работу пикселей токов управления ключами коммутаторов за счет их экранирования.

Из представленной на рис. 2 обобщенной структуры НЕВ АМП без блока управления видно, что за счет управления ключами 2 можно на усилителе 3 осуществлять суммирование сигналов с пикселей 1 в любом заданном сочетании. При этом [4] в большинстве случаев с достаточ-



■ **Рис. 2.** Структура НЕВ АМП

ной точностью для оценки оптимального размера пикселя l_{\max} матричного приемника может быть использовано выражение

$$l_{\max} = \sqrt{k_z^2 \alpha_1^2 + k_r^2 \alpha_2^2},$$

где α_1 и α_2 — амплитуды колебаний краев главного зеркала и контррефлектора антенны радиотелескопа;

$$k_z = \frac{\sin \psi_1}{\sin \psi_3};$$

$$k_r = \frac{2 \sin \psi_2}{\sin \psi_3}.$$

Здесь ψ_1 — угол падения излучения на край поверхности главного зеркала; ψ_2 — угол падения излучения на край поверхности контррефлектора; ψ_3 — угол падения излучения от края поверхности контррефлектора на фокальную плоскость.

Указанные углы могут быть выражены через параметры антенны [4]. Очевидно, что за минимальный размер пикселя можно принять величину

$$l_{\min} = H,$$

где H — ширина диаграммы направленности антенны в фокальной плоскости, которая зависит от длины волны λ и размера апертуры (раскры- ва) антенны d_a [4]:

$$H \approx \lambda / d_a.$$

Блок-схема системы управления НЕВ АМП радиотелескопа представлена на рис. 3.

Блок управления АМП предназначен для обеспечения взаимодействия между остальными блоками системы управления. *БИ-гз* и *БИ-кр* измеряют колебания краев главного зеркала и контррефлектора. *ЗУ* предназначено для хранения исходных данных для расчета параметров *ВАМП*, а *ВЗУ* — для записи и хранения информации (сигналов) от АМП, который преобразует принимаемое излучение в электрические сигналы. *БА* вычисляет текущие и конечные значения размеров пикселей *ВАМП*, которые формируются коммутатором путем соответствующего объединения пикселей АМП. *САУ РТ* обеспечивает перемещение элементов антенны радиотелескопа по заданной траектории и передачу в *БА* текущих значений угла места β антенны, а также амплитуд и частот колебаний краев главного зеркала и контррефлектора.

Система управления в режиме настройки оптимальных размеров виртуальных пикселей работает следующим образом.

Блок управления выдает команду в *САУ РТ* на перемещение элементов антенны радиоте-

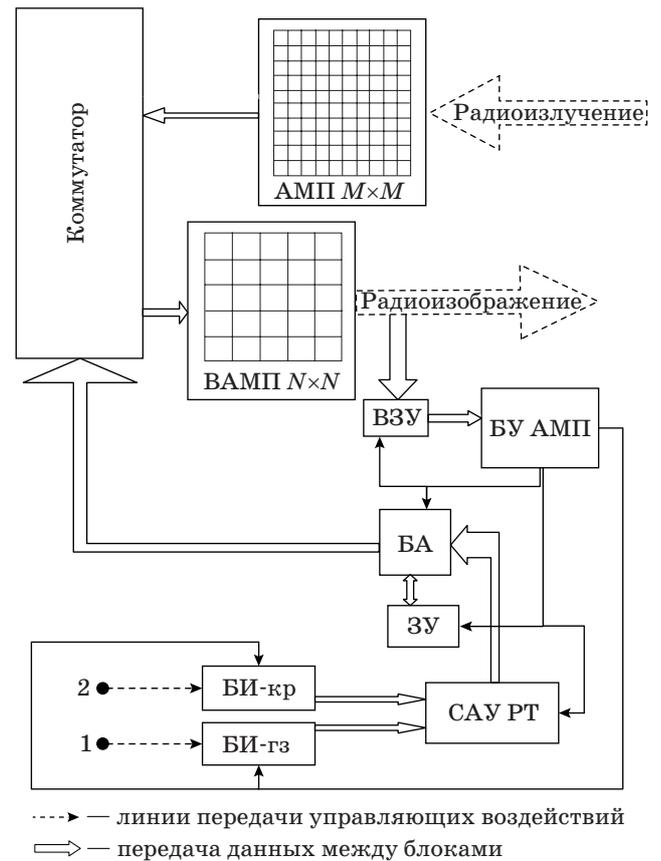


Рис. 3. Блок-схема системы управления НЕВ АМП радиотелескопа: ВАМП — виртуальный АМП; ЗУ — запоминающее устройство; БУ АМП — блок управления АМП; ВЗУ — внешнее запоминающее устройство; БА — блок адаптации; САУ РТ — система автоматического управления радиотелескопом; БИ-кр — блок измерения колебаний контррефлектора; БИ-гз — блок измерения колебаний главного зеркала; 1 — точка измерения колебаний на краю главного зеркала; 2 — точка измерения колебаний на краю контррефлектора

лескопа по заданной траектории и команды на начало измерений в *БИ-гз* и *БИ-кр*, которые начинают измерять колебания краев главного зеркала и контррефлектора и передавать их в *САУ РТ*. Периодически *САУ РТ* вычисляет амплитуды и частоты колебаний краев главного зеркала и контррефлектора и по команде из *БУ АМП* передает эти величины вместе с измеренной в *САУ РТ* величиной угла места β антенны в *БА*.

Последний периодически вычисляет шаги измерения Δt_1 и записи Δt , период T , а также минимальную H , оптимальные l_{opt} , максимальный l_{\max} и текущий l_n размеры пикселей *ВАМП*, используя исходные данные, получаемые из *ЗУ* по команде из *БУ АМП*. После вычислений *БА* по команде из *БУ АМП* периодически (с периодом Δt_1) передает вычисленное значение l_n в коммутатор, который коммутирует выходы пикселей

АМП таким образом, чтобы в ВАМП образовалась матрица с размером пикселя l_n . АМП через коммутатор и ВАМП преобразует излучение в радиоизображение, которое в виде электрических сигналов периодически (с периодом T) по команде из БУ АМП записывается в ВЗУ.

В дальнейшем алгоритм работы системы управления изменяется в зависимости от текущего режима работы радиотелескопа.

Режим обнаружения опасных космических объектов

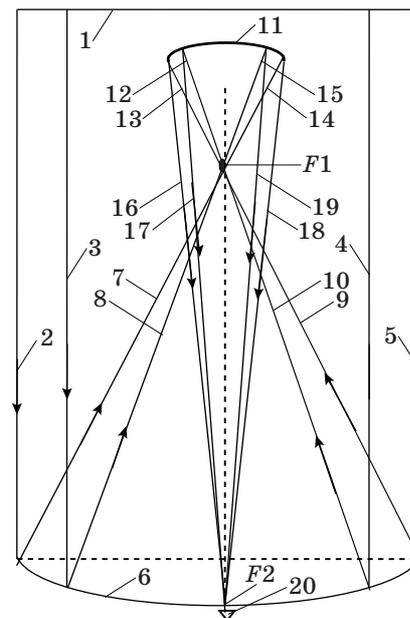
Для обеспечения оптимальных параметров радиотелескопов с АМП в режиме радиоастрономической локации целесообразно производить подстройку (адаптацию) размеров пикселей матричных приемников излучения под параметры предполагаемых ОКО. При этом на начальном этапе, до захвата ОКО, устанавливается максимальный размер виртуального пикселя, т. е. все пиксели матрицы объединяются в один и производится сканирование главным зеркалом или контррефлектором антенны. Затем, после захвата ОКО, включается режим сканирования платформы матричного приемника или перископического зеркала и уточнение координат ОКО по методу равносигнальной зоны [11]. После чего размер виртуального пикселя l_n на каждом следующем проходе уменьшают в соответствии с формулой $l_n = (l_0 M) / 2^n$, где l_0 — размер пикселя матричного приемника; M — размерность матрицы приемника; n — номер прохода. Процесс сканирования заканчивается либо когда будет $l_n = l_0$, либо когда изображение ОКО будет совершенно неразличимо на фоне помех.

Повысить качество изображения на матрице приемника излучения можно за счет периодической фокусировки зеркальной системы антенны путем адаптации поверхностей главного зеркала и контррефлектора к внешним воздействиям, основными из которых являются угол места и азимут, ветер и температура. В этом случае главное зеркало и контррефлектор должны состоять из щитов, положение которых может регулироваться специальными приводами в САУ [11]. Для уменьшения фазовых искажений при перемещении указанных щитов в согласованное положение следует учитывать длину волны принимаемого излучения [12].

В способе адаптации по измеренным значениям положений щитов главного зеркала [12] для каждого щита строят в компьютере свой аппроксимирующий параболоид таким образом, чтобы фокусное расстояние и положение основания каждого параболоида минимально отличались от соседних и при этом разности между их фокусными расстояниями были кратны длине вол-

ны принимаемого антенной радиоизлучения. Затем вычисляют отклонения каждого щита от соответствующего своего аппроксимирующего параболоида и осуществляют их необходимые перемещения. После окончания перемещений щитов главного зеркала измеряют положения каждого щита второго зеркала (контррефлектора), строят в компьютере модель хода лучей, отраженных от щитов главного зеркала в сторону контррефлектора, и положение отражающих поверхностей щитов контррефлектора. Вычисляют рассогласования крайних лучей, отраженных от щитов главного зеркала, с положениями соответствующих краев отражающих поверхностей щитов контррефлектора. Далее с помощью САУ перемещают каждый щит контррефлектора в сторону уменьшения указанных рассогласований таким образом, чтобы положения их фокусов минимально расходились между собой и с положением вторичного фокуса зеркальной системы и (или) с положением приемника излучения при условии, что длины лучей (оптических путей) от первичного фокуса до отражающих поверхностей щитов контррефлектора и расхождения между ними, а также длины лучей (оптических путей) от отражающих поверхностей щитов контррефлектора до вторичного фокуса и расхождения между ними были кратны длине волны принимаемого излучения (рис. 4).

Схема зеркальной системы антенны (см. рис. 4) содержит плоскость 1 фронта принимаемого антенной радиоизлучения; лучи 2–5 принимаемого антенной радиоизлучения, падающего



■ Рис. 4. Схема хода лучей в зеркальной системе антенны

на главное зеркало; отражающую поверхность 6 главного зеркала; лучи 7–10, отраженные от щитов главного зеркала до первичного фокуса F_1 ; отражающую поверхность 11 контррефлектора; лучи 12–15 от первичного фокуса F_1 до отражающей поверхности контррефлектора, лучи 16–19 от отражающей поверхности контррефлектора до вторичного фокуса F_2 ; приемник 20 радиоизлучения.

Предобработка радиоизображений адаптивным матричным приемником

Использование АМП радиоизлучения позволяет на аппаратном уровне легко производить такие стандартные операции предобработки изображений, как [13]:

- повышение/снижение яркости, т. е. сложение/вычитание значения яркости с некоторым фиксированным значением;
- повышение/снижение контрастности, т. е. соответственно умножение/деление значения яркости на некоторое значение, что приводит к более четким яркостным границам;
- получение негатива за счет простой замены каждого значения на его дополнение;
- бинаризацию, т. е. преобразование изображения к двум тонам по амплитуде;
- изменение положения за счет апертуры фильтра: апертура фильтра — это размер окна (части изображения), с которым фильтр работает непосредственно в данный момент времени; это окно постепенно передвигается по изображению слева направо и сверху вниз на один пиксель (т. е. на следующем шаге фильтр работает с окном, состоящим не только из элементов исходного изображения, но и из элементов, ранее подвергнувшихся преобразованию);
- масштабирование, т. е. изменение размеров пикселей;
- сглаживающую фильтрацию, т. е. нахождение среднеарифметического значения всех элементов рабочего окна изображения (отдельно по каждому из каналов), после чего это среднее значение становится значением среднего элемента (речь идет о нечетной апертуре фильтра; для двумерного случая средним элементом будет средний элемент по горизонтали и вертикали, т. е. центр квадрата);
- медианную фильтрацию, основанную на нахождении медианы — среднего элемента последовательности в результате ее упорядочения по возрастанию/убыванию и присваиванию найденного значения только среднему элементу;
- выделение границ различными методами (Робертса, Лапласа, Уоллеса и др.), в основе ко-

торых лежит работа с двумерной апертурой 2×2 либо 3×3 .

Кроме того, использование АМП радиоизлучения позволяет легко выделить такие признаки двумерных изображений, как зависимость числа пикселей, попавших в контур изображения от их масштаба за счет изменения размеров виртуальных пикселей. Гармонический анализ этих зависимостей позволяет распознавать форму двумерных объектов. Также представляет интерес получение с помощью коммутации пикселей приемника масок типов двумерных объектов, по максимальному совпадению с которыми можно легко классифицировать изображения ОКО, проектируемые на матрицу с помощью зеркальной системы антенны.

Заключение

Рассмотрены возможности создания АМП радиоизлучения миллиметрового диапазона для обеспечения высокой эффективности получения радиоизображений в радиоастрономической локации. При создании сверхбыстрых АМП целесообразно использовать НЕВ-пиксели и осуществлять необходимый подбор сверхпроводниковых материалов с малым временем электрон-фононного взаимодействия, а также создавать условия для сокращения времени выхода неравновесных фононов в подложку, что происходит при уменьшении толщины сверхпроводящей пленки и улучшении акустического согласования сверхпроводящей пленки и подложки. Кроме того, при конструировании матрицы из указанных пикселей необходимо, прежде всего, уменьшить взаимовлияние последних за счет выбора оптимального расстояния между пикселями (скважности) и обеспечить наилучшее акустическое согласование сверхпроводящих пленок пикселей с подложкой. При этом оптимальный размер пикселя НЕВ АМП должен быть согласован с амплитудами колебаний краев главного зеркала и контррефлектора антенны радиотелескопа.

Предложенная система управления НЕВ АМП позволяет не только настраивать параметры матрицы для оптимального поиска ОКО по методу равносигнальной зоны, но и проводить аппаратными средствами эффективную предобработку изображений ОКО, а в ряде случаев и осуществлять идентификацию формы ОКО.

Эффективность радиовидения с помощью НЕВ АМП можно повысить за счет оптимальной фокусировки антенны и адаптации ее зеркальных поверхностей с учетом длины волны принимаемого излучения.

Литература

1. Лебедев В. В. Готовность России к защите Земли от астероидной опасности // Вестник Российской академии наук. 2013. Т. 83. № 9. С. 807–814.
2. Кисляков А. Г. Радиоастрономические исследования в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах волн // Успехи физических наук. 1970. Т. 101. Вып. 4. С. 607–653.
3. Возможности обнаружения малоразмерных космических объектов радиоастрономическими инструментами миллиметрового диапазона / Н. Ф. Морозов, Д. А. Индейцев, А. Е. Городецкий, В. Г. Курбанов, В. А. Агапов // Антенны. 2013. № 12. С. 56–59.
4. Адаптивные матричные приемники миллиметрового диапазона / А. Е. Городецкий, В. В. Дубаренко, В. Г. Курбанов, А. Ю. Кучмин, В. А. Агапов // Многоликая Вселенная: тез. докл. Всерос. астрономической конф. (ВАК-2013), Санкт-Петербург, 23–27 сентября 2013 г. СПб., 2013. С. 59.
5. Финкель М. И., Масленников С. И., Гольцман Г. Н. Супергетеродинные терогерцовые приемники со сверхпроводниковым смесителем на электронном разогреве // Изв. вузов. Радиофизика. 2005. Т. 48. № 10–11. С. 964–970.
6. Гольцман Г. Н., Лудков Д. Н. Сверхпроводниковые смесители на горячих электронах терагерцового диапазона и их применение в радиоастрономии // Изв. вузов. Радиофизика. 2003. Т. 46. № 8–9. С. 671–686.
7. Semenov A., Gol'tsman G. N., Sobolewski R. Hot-Electron Effect in Superconductors and its Applications for Radiation Sensors // Superconductor Science and Technology. 2002. Vol. 15. P. 1–16.
8. Dobrovolsky V. N., Sizov F. F. Room Temperature, or Moderately Cooled, Fast THz Semiconductor Hot Electron Bolometer // Semiconductor Science and Technology. 2007. Vol. 22. P. 103–106.
9. Гершензон Е. М., Гершензон М. Е., Гольцман Г. Н. Разогрев квазичастиц в сверхпроводящей пленке, находящейся в резистивном состоянии // Письма в ЖЭТФ. 1981. Т. 34. Вып. 5. С. 281–283.
10. Быстродействующий терогерцовый приемник и инфракрасный счетчик одиночных фотонов на эффекте разогрева электронов в сверхпроводниковых тонкопленочных наноструктурах / И. В. Пентин, К. В. Смирнов, Ю. Б. Вахтомин, А. В. Смирнов, Р. В. Ожегов, А. В. Дивочий, Г. Н. Гольцман // Физика, электроника, нанотехнологии: тр. МФТИ. 2011. Т. 3. № 2. С. 38–42.
11. Пат. 2319171 РФ, МПК8 G01S13/66. Система автоматического наведения радиотелескопа / А. Е. Городецкий, В. В. Дубаренко, Ю. Н. Артеменко, А. А. Парщиков, В. Г. Гиммельман, Г. С. Кучинский, А. П. Мозгов, А. Ю. Кучмин (РФ). — № 2319171; заявл. 17.07.06; опубл. 10.03.06, Бюл. № 7, ч. 3. — С. 824–825.
12. Пат. 2518398 РФ, МПК G 01S. Способ адаптации отражающих поверхностей антенны / Ю. Н. Артеменко, А. Е. Городецкий, В. В. Дубаренко, А. Ю. Кучмин, И. Л. Тарасова, А. И. Галушкин, В. А. Агапов (РФ). — № 2518398; заявл. 20.10.12; опубл. 10.06.14, Бюл. № 16. — С. 1–10.
13. Пат. 987643 СССР, МКИ G 06 K 9/30. Способ выделения признаков для распознавания объектов / Э. И. Панков, И. А. Краснов, П. П. Кузьмин, А. Е. Городецкий, Н. Н. Ляшенко (СССР). — № 3240697/18-24; заявл. 10.12.80; опубл. 07.01.83, Бюл. № 1.

UDC 004.931

Detection and Identification of Dangerous Space Objects Using Adaptive Matrix Radio Receivers

Gorodetskiy A. E.^a, Dr. Sc., Tech., Professor, g27764@yandex.ru

Tarasova I. L.^b, PhD, Tech., Associate Professor, g172651@yandex.ru

^a Saint-Petersburg State Polytechnical University, 29, Politekhicheskaya St., 195251, Saint-Petersburg, Russian Federation

^b Institute of Problems of Mechanical Engineering of RAS, 61, Bol'shoi Pr. V. O., 199178, Saint-Petersburg, Russian Federation

Purpose: Consideration of the possibility to use adaptive millimeter-wave matrix receivers for the detection and identification of dangerous space objects in radio astronomy location. **Results:** The ways to create adaptive matrix receivers are discussed, based on millimeter-wave radio emission receivers of HEB type (Hot Electron Bolometer). These receivers are equipped with a switching unit (for example, on thin-film cryotrons) installed together with the HEB matrix into a helium cryostat. It is also necessary to screen the currents that control the switch keys, so they do not affect the functioning of the pixels. A generalized structure of the adaptive matrix-type HEB receiver is given, along with a block diagram of its control system, containing the physically realizable HEB matrix, the virtual matrix, the storage device, the adaptive matrix receiver control unit, the external storage, the adaptation unit, the radio telescope automatic control unit, the switch, the counter-reflector oscillation measurement unit, the primary mirror oscillation measurement unit, the point of the oscillation measurement on the edge of the primary mirror and the point of the oscillation measurement on the edge of the counter-reflector. An algorithm is given for a radio telescope adaptive matrix receiver in the mode of detecting dangerous space objects. The discussed ways of using adaptive matrix receivers of millimeter-wave radio emission suggest that for creating ultrafast adaptive matrix receivers it is advisable to use HEB pixels and properly select superconducting materials with low electron-phonon interaction. The problem of creating an adaptive millimeter-wave matrix receiver is solved, providing optimal sizing of the matrix pixels (based on the elevation angle, radiation wavelength and the expected parameters of the dangerous space objects) and high efficiency of getting

radio images in radio astronomy location. **Practical relevance:** The proposed HEB-like adaptive matrix receiver control system helps you not only configure the template for optimal search of dangerous space objects by beam method, but also perform an efficient hardware preprocessing of their images. In some cases, it can help you identify their shape.

Keywords — Matrix Detector, Radar, HEB Pixels, Radio Telescope Control System, Dangerous Space Objects.

References

1. Lebedev V. V. Russia's Willingness to Protect Earth Against Asteroid Danger. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk*, 2013, vol. 83, no. 9, pp. 807–814 (In Russian).
2. Kislyakov A. G. Radio Astronomy Research in Millimeter and Submillimeter Wavelengths. *Uspekhi fizicheskikh nauk*, 1970, vol. 101, no. 4, pp. 607–653 (In Russian).
3. Morozov N. F., Indians D. A., Gorodetskiy A. E., Kurbanov V. G., Agapov V. A. Detection of Small-Size Space Objects Radio Astronomy Instruments of Millimeter Range. *Antenny*, 2013, no. 12, pp. 56–59 (In Russian).
4. Gorodetskiy A. E., Dubarenko V. V., Kurbanov V. G., Kuchmin A. Y., Agapov V. A. Adaptivnye Matrichnye Priemniki Millimetrovogo Diapazona. *Tezisy dokladov Vserossiiskoi astronomicheskoi konferentsii "Mnogolikaya Vselennaya" (VAK-2013)* [Proc. of Russian Astronomical Conf. "The Many Faces of the Universe"]. Saint-Petersburg, 2013, p. 59 (In Russian).
5. Finkel M. I., Maslennikov S. I., Gol'tsman G. N. Superheterodyne Teragertsovyi Receivers with Superconducting Mixer on Electronic Heating. *Izvestiia vuzov. Radiofizika*, 2005, vol. 48, no. 10–11, p. 964–970 (In Russian).
6. Gol'tsman G. N., Ludkov D. N. Superconducting Mixers on the Hot Electrons Terahertz Range and their Application in Radio Astronomy. *Izvestiia vuzov. Radiofizika*, 2003, vol. 46, no. 8–9, pp. 671–686 (In Russian).
7. Semenov A., Gol'tsman G. N., Sobolewski R. Hot-Electron Effect in Superconductors and its Applications for Radiation Sensors. *Semiconductor Science and Technology*, 2002, vol. 15, pp. 1–16.
8. Dobrovolsky V. N., Sizov F. F. Room Temperature, or Moderately Cooled, Fast THz Semiconductor Hot Electron Bolometer. *Semiconductor Science and Technology*, 2007, vol. 22, pp. 103–106.
9. Gershenzon E. M., Gershenzon M. E., Gol'tsman G. N. Heating of Quasiparticles in a Superconducting Film in the Resistive State. *Pis'ma v ZhETV*, 1981, vol. 34, no. 5, pp. 281–283 (In Russian).
10. Pentin I. V., Smirnov K. V., Vahtomin Y. B., Smirnov A. V., Ozhegov R. V., Divochi A. V., Gol'tsman G. N. Fast Teragertsovyi Receiver and Infrared Counter Single Photons on the Effect of Heating of Electrons in Superconducting Thin-Film Nanostructures. *Fizika, elektronika, nanotekhnologii. Trudy MFTI*, 2011, vol. 3, no. 2, pp. 38–42 (In Russian).
11. Gorodetskiy A. E., Dubarenko V. V., Artemenko Y. N., Parschikov A. A., Himmelman V. G., Kuchinsky G. S., Mozgov A. P., Kuchmin A. Y. *Sistema avtomaticheskogo navedeniia radioteleskopa* [Controlled Pointing of the Radiotelescope]. Patent RF, no. 2319171, 2006.
12. Artemenko Y. N., Gorodetskiy A. E., Dubarenko V. V., Kuchmin A. Y., Tarasova I. L., Galushkin A. I., Agapov V. A. *Sposob adaptatsii otrazhaiushchikh poverkhnostei anteny* [The Way of Adaptation of Reflecting Surfaces Antenna]. Patent RF, no. 2518398, 2014.
13. Pankov E. I., Krasnov I. A., Kuzmin P. P., Gorodetskiy A. E., Lyashenko N. N. *Sposob vydeleniia priznakov dlia raspoznavaniia ob'ektov* [The Allocation Method of Characteristics for Object Recognition]. Patent USSR, no. 3240697/18–24, 1983.

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

Научная электронная библиотека (НЭБ) продолжает работу по реализации проекта SCIENCE INDEX. После того как Вы регистрируетесь на сайте НЭБ (<http://elibrary.ru/defaultx.asp>), будет создана Ваша личная страничка, содержание которой составят не только Ваши персональные данные, но и перечень всех Ваших печатных трудов, имеющихся в базе данных НЭБ, включая диссертации, патенты и тезисы к конференциям, а также сравнительные индексы цитирования: РИНЦ (Российский индекс научного цитирования), h (индекс Хирша) от Web of Science и h от Scopus. После создания базового варианта Вашей персональной страницы Вы получите код доступа, который позволит Вам редактировать информацию, помогая создавать максимально объективную картину Вашей научной активности и цитирования Ваших трудов.