

Управление радиотелескопом РТ-70 с адаптивной поверхностью в миллиметровом диапазоне

© В. В. Дубаренко¹, А. Ю. Кучмин¹,
Ю. Н. Артеменко², А. М. Корнюшин¹

¹ИПМаш РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

²АКЦ ФИАН, г. Москва, Россия

В докладе рассмотрены результаты работ по созданию систем управления наземных и космических радиотелескопов (РТ) миллиметрового диапазона, в том числе высокоточных систем наведения на основе механизмов параллельной структуры. Важнейшими проблемами при разработке системы управления радиотелескопом РТ-70 в миллиметровом диапазоне являются: создание компьютерных моделей динамики конструкции РТ и приводов наведения (идентификаторов состояния) для получения оценок их координат, недоступных для прямого измерения; создание системы демпфирования собственных механических частот РТ посредством гироскопических датчиков угловых скоростей; создание матричного многопиксельного балометрического приемника, наличие которого в контуре системы управления позволяет достигнуть точности наведения оптической оси РТ лучше 3" путем автономного управления отдельными щитами адаптивной поверхности зеркала аналогично оптическим телескопам.

Ключевые слова: радиотелескоп, адаптивная поверхность, радиоизлучения, гексапод.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.48.29-33>

Введение

Проблемы обнаружения и идентификации удаленных космических объектов и приема слабого радиоизлучения от них возникают во многих областях радиоастрономии, космонавтики и ракетно-космической обороны. Системы наведения РТ предназначены для перенаправления принимаемого от космического источника радиоизлучения (КИР) потока энергии в радиоприемник посредством системы отражающих поверхностей (зеркал). Зеркальная система (ЗС) РТ строится таким образом, чтобы пространственно-временные характеристики радиоизлучения в точке расположения приемника были бы наилучшими для радиоприема. Радиоизлучение в миллиметровом диапазоне частот позволяет реализовать самую высокую угловую разрешающую способность, как при использовании отдельных РТ, так и с помощью радиоинтерферометров. В миллиметровом диапазоне резко уменьшаются эффекты рассеяния и поглощения радиоизлучения в космической плазме (по сравнению с более длинными волнами), что позволяет обнаруживать наиболее компактные объекты, исследовать их внутреннюю структуру, переменность и поляризационные свойства. Наконец, астрономические объекты обладают в миллиметровом диапазоне необычайно богатым набором излучения атомов и молекул в спектральных линиях.

Сложность обнаружения, наблюдения и идентификации таких объектов и сигналов во многом объясняется отсутствием современных инструментальных средств и недостаточным развитием теории идентификации в условиях большой информационной неопределенности и сильной зашумленности. Успехи в этом направлении в настоящее время во многом связывают с развитием инструментальных средств миллиметрового диапазона и в особенности больших наземных полноповоротных РТ. Именно поэтому передовые страны (США, Япония и др.) уделяют огромное внимание созданию больших РТ соответствующего диапазона, вкладывая значительные финансовые средства.

Существует несколько не решенных до сих пор основных проблем создания указанных РТ. Во-первых, проблема заключается в том, что при наведении РТ на КИР под воздействием гравитационных, тепловых, ветровых и инерционных сил возникают некомпенсируемые деформации элементов ЗС, что приводит к расфокусировке ЗС и, как следствие, понижению эффективности радиоприема.

Система автоматического управления радиотелескопом

Основным назначением системы автоматического управления радиотелескопом является механическое перемещение элементов его ЗС и радиоприемного устройства (облучателя) в такое положение, которое обеспечивает наилучшие условия приема радиоизлучения от его космического источника [1].

Целью управления приводами главного зеркала (ГЗ) является отработка углового рассогласования между линией, определяющей направление на КИР и осью аппроксимирующего параболоида ГЗ. Линия целеуказания КИР задается в форме программы, как функция его координат от времени, а угловое положение аппроксимирующего параболоида ГЗ должно быть вычислено по результатам измерений координат элементов металлоконструкции РТ. Эта процедура является одной из главных задач управления РТ.

Анализ результатов многолетних исследований НИР «Суффа» и натурных испытаний на РТ-70 в Евпатории и Уссурийске показал: изменение угла места при наведении ЗС на КИР влечет изменение весовых деформаций конструкции ЗС. Поэтому относительно системы координат (СК) опорного кольца расчетные координаты вершины и фокуса аппроксимирующего параболоида главного зеркала и координаты вершины и фокуса эллипсоида контррефлектора (КР) являются функциями угла места. Это приводит к несовпадению (расфокусировке) координат фазовых центров ЗС и облучателя радиоприемника, ухудшению условий приема, вплоть до его срыва.

Перископическое зеркало в трехзеркальном варианте ЗС может лишь частично скомпенсировать влияние расфокусировки, вызванной указанными выше причинами, поэтому вместо варианта с перископическим зеркалом рассмотрен вариант установки облучателя на специальную управляемую адаптивную платформу облучателя, подвеска которой может быть выполнена аналогично подвеске КР.

Существующая в настоящее время система наведения КР РТ-70 предназначена главным образом для компенсации весовых деформаций, является инерционной (медленно действующей), поэтому в динамике лишь грубо обе-

спечивает компенсацию угловых колебаний КР относительно ГЗ. Для повышения точности наведения ЗС на КИР, систему наведения КР желательнее выполнить как следящую систему, отрабатывающую угловое рассогласование между фокальной осью аппроксимирующего эллипсоида КР и фокальной осью аппроксимирующего параболоида ГЗ, а также линейное рассогласование между координатами фокусов этих поверхностей [2].

В качестве базовой СК ЗС принята СК опорного кольца. В этой СК проводится расчет координат аппроксимирующих отражающих поверхностей ГЗ и КР, а также координат фазовых центров принимаемого радиоизлучения, определяющих желаемое положение облучателя. Координаты фазового центра, с помощью электродинамической или корпускулярной модели ЗС, рассчитываются как функции отклонений элементов ЗС, вызванных нежесткостью ее конструкции, от теоретических значений, которые имели бы место, если бы конструкция была бы абсолютно жесткой.

При наблюдении КИР в миллиметровом диапазоне ширина диаграммы направленности антенны становится соизмеримой с ошибками измерения пространственного положения базовых элементов конструкции РТ относительно среднего квадратического значения (СКЗ), поэтому разрешающую способность РТ по угловым координатам нельзя прямо связывать с точностью наведения.

Радиоприем целесообразно вести на матричный приемник, расположенный во вторичном фокусе. Так как положение фокуса изменяется во времени, положение матричного приемника должно изменяться в пространстве за счет установки его на специальную управляемую адаптивную платформу облучателя на подвеске, аналогичной подвеске КР, и перемещению по управляющим воздействиям, вычисляемым посредством электродинамической или корпускулярной моделей зеркальной системы.

Основные контуры системы автоматического управления РТ

Система управления большим РТ состоит из 4 основных контуров [3]:

1. Контур управления ГЗ. Наведение ГЗ осуществляется по азимуту и углу места так, чтобы фокальная ось аппроксимирующего параболоида, построенного по методу наименьших квадратов по измерениям реперных точек поверхности ГЗ, совместились с линией визирования КИР;

2. Контур управления КР. Положение КР изменяется так, чтобы фокус и фокальная ось аппроксимирующего параболоида ГЗ, а также фокус и фокальная ось аппроксимирующего эллипсоида КР совместились с минимальными ошибками;

3. Контур управления адаптивной поверхностью ГЗ. Положение щитов ГЗ меняется при помощи электромеханических актуаторов так, чтобы обеспечить минимальное среднеквадратическое отклонение (СКО) профиля поверхности от рассчитанного аппроксимирующего параболоида ГЗ;

4. Контур автофокусировки приемника. По данным о координатах КИР и взаимном положении элементов ЗС с измерительной системы и наблюдателя программно-методического комплекса с помощью электродинамической модели ЗС рассчитываются координаты фазового центра. Затем определяется управление, выдаваемое на привод адаптивной платформы облучателя, чтобы СК приемника совместились с СК фазового центра. Основной режим рабо-

ты РТ — это программное наведение, слежение за заданной траекторией КИР. Угловые координаты КИР задаются в СК, связанной с географическим местом на Земле (СКЗ), в котором установлен РТ. Относительно СКЗ рассчитывается программа целеуказания КИР, в которой для дискретных моментов времени с высокой точностью учитываются все астрономические поправки, связанные с нутацией, прецессией, параллаксом и т. д. СКЗ является базовой СК и все другие СК, используемые при наведении РТ, должны быть к ней привязаны. Наиболее жесткая часть ГЗ — верхняя часть центральной трубы, называемая опорным кольцом. На нем расположена система лазерных дальномеров, с помощью которой измеряются координаты реперных точек КР, поверхности ГЗ и приемника. С опорным кольцом связана подвижная система координат, система координат опорного кольца, в которой производится расчет аппроксимирующего параболоида ГЗ, аппроксимирующего эллипсоида КР и электродинамической модели ЗС.

Заключение

В течение 10 лет ИПМаш РАН проводил НИР в рамках проекта «Суффа» с привлечением 15 организаций. Результатом НИР явилось модельное и аппаратное обоснование современной системы управления РТ-70 с адаптивной поверхностью. Система имеет четыре контура управления: контур управления главным зеркалом, контур управления его адаптивной поверхностью, контур управления контррефлектором на основе гексапода и контур управления третьим (перископическим) зеркалом. Система управления позволяет путем автофокусировки элементов зеркальной системы РТ с применением лазерных, гироскопических и оптических средств измерений обеспечить в режиме наблюдения следующие значения углового разрешения на длине волны 1 мм: для одиночного приемника — 3"; для матричного многопиксельного балометрического приемника — 0.25".

Результаты НИР в 2003, 2012, и 2015 гг. заслушивались на бюро Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН, под руководством академиков-секретарей отделения РАН (В. Е. Фортова и А. Н. Лагарькова), были одобрены и включены в отчеты Президиума РАН по фундаментальным исследованиям.

Литература

1. *Kuchmin A. Yu., Dubarenko V. V. Linerized Model Of The Mechanism With Parallel Structure // In Book Smart Electromechanical Systems: The Central Nervous System. Andrey E. Gorodetsky And Vugar G. Editors Publish Studies In Systems Decision And Control Springer International Publishind Switzerland, 2017. — Vol. 95. — P. 169–200.*

2. *Дубаренко В. В., Городецкий А. Е., Кучмин А. Ю., Артеменко Ю. Н. Проблемы наведения радиотелескопов на источники радиоизлучений // ВАК — 2017: материалы Всероссийской Астрономической Конференции 2017, 17–22 сентября 2017, Ялта. — С. 2–8.*

3. *Дубаренко В. В., Кучмин А. Ю., Артеменко Ю. Н. Автофокусировка зеркальной системы радиотелескопа // МКПУ–2017: материалы 10-й Всероссийской Мультиконференции по проблемам управления, Том 2, С. Дивноморское, Геленджик, Ростов-На-Дону, Таганрог, 11–16 сентября 2017. — Ростов н/Д: Издательство ЮФУ, 2017. — С. 225–230.*

Control of the RT-70 Radio Telescope with an Adaptive Surface over the Millimeter Range

**V. V. Dubarenko, A. Yu. Kuchmin,
Yu. N. Artyomenko, A. M. Korniyushin**

The paper considers the results of the control systems development for the mm range ground based and space radio telescopes (RT), including the high precision pointing systems based on the mechanisms of parallel structure. The major problems of the RT-70 radio telescope control systems in the mm range are: designing the computer models of RT-70 dynamics and pointing drives (state identifiers) for obtaining estimates of their coordinates which are not accessible to direct measurement; designing the damping system for RT own mechanical frequencies by means of angular rate gyroscopic sensors; designing a bolometric matrix multipixel receiver which allows to reach in the contour of a control system the accuracy pointing an RT optical axis better than 3" by controlling the separate facets of a dish adaptive surface, which is similar to optical telescopes.

Keywords: radio telescope, adaptive surface, radio emissions, hexapod.