

Адаптивная платформа SEMS с матричным приемником для получения радиоизображений в астрономии

© А. Е. Городецкий¹, В. Г. Курбанов^{1,2}, И. Л. Тарасова^{1,3}

¹ИПМаш РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

²СПбГУАП, г. Санкт-Петербург, Россия

³СПбПУ, г. Санкт-Петербург, Россия

Рассматриваются проблемы создания адаптивных матричных приемников с системой автоматического управления, устанавливаемых на адаптивную платформу типа SEMS (Smart Electromechanical System — интеллектуальная электромеханическая система). Приводится анализ динамики зеркальной системы антенны большого диаметра при ее перемещениях, в результате которого получены инженерные формулы для расчета оптимальных размеров пикселей адаптивных матричных приемников, которые можно использовать в системе управления радиотелескопом для настройки на оптимальное быстроедействие при заданной чувствительности.

Ключевые слова: адаптивная платформа SEMS, матричный приемник, оптимальный размер пикселей, алгоритм адаптации, система управления.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.46.31-36>

Введение

В последнее время все большее внимание уделяется вопросам создания новых методов и средств «радиовидения», т. е. преобразования принимаемого радиоизлучения в оптическое изображение. Такие системы разрабатываются для прикладных задач (например, навигации), а также для радиоастрономии [1–2]. Однако для получения радиоизображения какой-либо области частот при использовании антенны с точечным приемником необходимо просматривать последовательно отдельные участки. Поэтому в настоящее время предлагается использовать матричный приемник, который позволит видеть сразу всю область целиком.

Проблемы создания матричного приемника радиоизлучения

Оптическая схема матричных приемников должна обеспечивать формирование необходимой диаграммы направленности каждого элемента, их достаточно плотную «упаковку», минимальный уровень кросс-поляризационной компоненты, по возможности большое время накопления и проч. Расчет квазиоптической схемы обычно ведется на основе теории гауссовых пучков. При этом возникает проблема «упаковки» облучателей, размещаемых обычно в фокальной плоскости антенны. С одной стороны, для получения полной в смысле Найквиста выборки облучатели должны располагаться на расстояниях: $l_0 \leq \lambda F/2D$, где λ — длина волны, F — эффективное фокусное расстояние, D — диаметр антенны; размеры пикселей матрицы для обеспечения максимальной разрешающей способности должны соответствовать ширине диаграммы направленности в фокальной плоскости H , которая зависит от длины волны λ и диаметра апертуры: $H \sim \lambda/d_a$, где d_a — размер апертуры (раскрыва) антенны. Однако для оптимального облучения антенны размеры рупоров должны быть в несколько раз больше ширины диаграммы направленности, для обеспечения достаточного времени накопления и соответственно высокой чувствительности пикселей размеры последних тоже должны быть в несколько раз больше ширины диаграммы направленности. Так, например, из амплитудно-частотной характеристики, полученной экспериментально на РТ-70 в Евпатории сотрудником СПбГЭТУ «ЛЭТИ» Постниковым Ю. В., следует, что для обеспечения накопления сигнала на пикселе в процессе наблюдения точечного источника, т. е. для обеспечения условия невыхода его изображения за пределы пикселя, требуются размеры пикселей $l \approx 10 H$. Кроме того, из этой характеристики видно, что амплитуда колебаний зависит от угла места антенны, а также от конструкции антенны и параметров системы автоматического управления приводами антенны, т. е. от собственных частот ω . Следовательно, для обеспечения высокой эффективности использования матричных приемников для получения радиоизображений в астрономии прежде всего необходимо решить проблему оптимального выбора размеров пикселей, исходя из угла места и длины волны излучения, что может решаться на основе компромисса между указанными требованиями и адаптации матричного приемника к текущим значениям угла места и длины волны принимаемого данной антенной излучения. Рассмотрим один из вариантов решения указанной проблемы.

Оценка оптимальных размеров пикселей матричных приемников

Одной из причин использования интенсивности колебания фокуса в фокальной плоскости приемника излучения в качестве оценки оптимального размера пикселя для получения максимального времени накопления, а также чувствительности приемника, может быть тот факт, что действие волны излучения на приемник определяется, как правило, ее интенсивностью I , т. е.

усредненным по времени значением плотности потока энергии [3]. Поэтому в качестве максимального размера пикселя матричного приемника целесообразно брать следующий:

$$l_{\max} = \sqrt{2I},$$

где, как правило, для *двухзеркальной* антенны можно считать, что

$$I = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} i^2(t) dt, \quad T = \frac{4\pi^2}{\omega_1 \omega_2},$$

$i(t)$ — колебание фокуса антенны в процессе ее функционирования, T — период колебания фокуса антенны в процессе ее функционирования, ω_1 и ω_2 — частоты первых тонов колебаний главного зеркала и контррефлектора соответственно.

Тогда колебание фокуса *двухзеркальной* антенны можно в первом приближении выразить через колебания краев главного зеркала и контррефлектора следующим образом:

$$i(t) = k_z a_1 \sin \omega_1 t + k_r a_2 \sin(\omega_2 t + \phi),$$

где: a_1, a_2 — амплитуды колебаний краев главного зеркала и контррефлектора соответственно, ϕ — фазовый сдвиг между колебаниями краев главного зеркала и контррефлектора, k_z — коэффициент зависимости колебаний фокуса от колебания края главного зеркала и k_r — коэффициент зависимости колебаний фокуса от колебания края контррефлектора.

Выражение для максимального размера пикселя матричного приемника l_{\max} приведено в [4] и имеет следующий вид:

$$l_{\max} = \sqrt{k_z^2 a_1^2 + k_r^2 a_2^2}. \quad (1)$$

В большинстве случаев выражение (1) может быть использовано с достаточной точностью для оценки максимального размера пикселя матричного приемника. При этом за минимальный размер пикселя можно принять величину $l_{\min} = H$.

Система адаптации матричного приемника

Выше было показано, что в радиотелескопах миллиметрового диапазона размер пикселя, обеспечивающий максимальную чувствительность приемника, значительно отличается от размера пикселя, обеспечивающего максимальное пространственное разрешение антенны. Поэтому для обеспечения оптимальных параметров таких радиотелескопов при радиоастрономических наблюдениях и радиоастрономической локации целесообразно производить подстройку (адаптацию) размеров пикселей матричных приемников

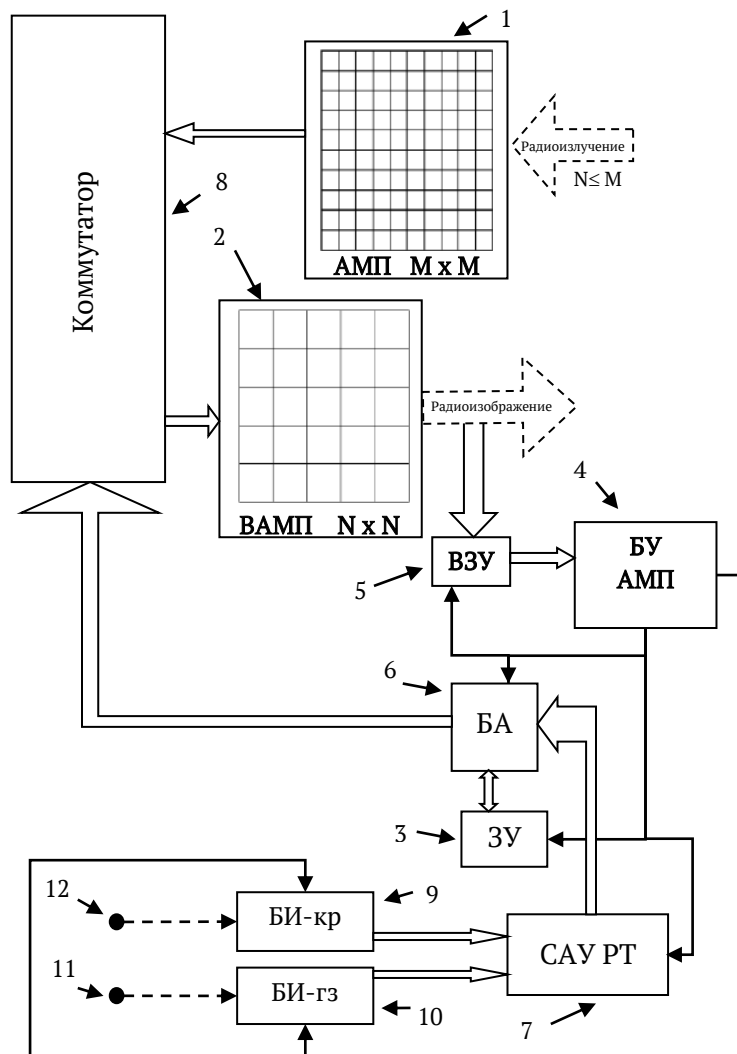


Рис.1. Блок-схема системы управления адаптивным матричным приемником:
 1 — адаптивный матричный приемник (АМП), 2 — виртуальный адаптивный матричный приемник (ВАМП), 3 — запоминающее устройство (ЗУ), 4 — блок управления адаптивным матричным приемником (БУАМП), 5 — внешнее запоминающее устройство (ВЗУ), 6 — блок адаптации (БА), 7 — система автоматического управления радиотелескопом (САУ РТ), 8 — коммутатор, 9 — блок измерения колебаний контррефлектора (БИ-кр), 10 — блок измерения колебаний главного зеркала (БИ-гз), 11 — точка измерения колебаний на краю главного зеркала, 12 — точка измерения колебаний на краю контррефлектора

излучения под наблюдаемые источники излучения. При этом алгоритмы адаптации матричных приемников будут незначительно варьироваться в зависимости от режимов работы радиотелескопа.

На рис. 1 одинарными стрелками обозначены направления передачи управляющих воздействий, двойными — направления передачи данных между блоками. Алгоритмы работы указанной системы адаптации подробно описаны в [4], а система управления адаптивной платформы на базе модуля SEMS — в [5].

Заключение

В результате проведенного анализа динамики зеркальной системы антенны большого диаметра при ее перемещениях были получены инженерные формулы для расчета оптимальных размеров пикселей адаптивных матричных приемников, которые можно использовать в системе их управления. Кроме того, эти соотношения могут быть использованы и для настройки системы управления радиотелескопом на оптимальное быстродействие при заданной чувствительности.

Литература

1. *Вдовин В. Ф., Зинченко И. И.* Малошумящие приемники миллиметровых и субмиллиметровых волн // Изв. вузов. Радиофизика. — 1998. — Т. 41. — С. 1424.
2. *Зинченко И. И.* Современная миллиметровая и субмиллиметровая астрономия // Изв. вузов. Радиофизика. — 2003. — Т. 46. — С. 641.
3. *Городецкий А. Е., Тарасова И. Л., Артеменко Ю. Н.* Интерференционно-кодовые преобразователи. — СПб.: Наука, 2005. — 472 с.
4. *Городецкий А. Е., Курбанов В. Г. и др.* Проблемы повышения эффективности использования матричных приемников для получения радиоизображений в астрономии / Городецкий А. Е., Курбанов В. Г., Тарасова И. Л., Агапов В. А. // Радиотехника. — М.: Радиотехника, 2015. №1. — С. 88–96.
5. *Gorodetskiy A. E.* Smart Electromechanical Systems. — Springer International Publishing.— 2016. — P. 277. doi: 10.1007/978-3-319-27547-5.

The SEMS Adaptive Platform with a Matrix Receiver to Obtain Radio Images in Astronomy

A. E. Gorodetskiy, V. G. Kurbanov, I. L. Tarasova

The article considers the issue of creating adaptive matrix receivers with an automatic control system installed on the SEMS type adaptive platform (Smart Electromechanical System). It analyses the dynamics of mirror systems within the large diameter antennas moved. Engineering formulas to calculate the optimal pixel sizes of the adaptive matrix receivers are obtained as a result. These matrix receivers can be used within the radio telescope control system to adjust the high operation speed at a defined sensitivity. In some cases, the installation of the matrix receiver on the SEMS platform can reduce significantly the effect of fluctua-

tions in the focus of the antenna due to the wind and weight disturbances by measuring these oscillations and compensating for them shifting the platform with the matrix receiver appropriately.

Keywords: SEMS adaptive platform, matrix receiver, optimal pixel size, adaptation algorithm, control system.