

СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ АНТЕННЫМИ СИСТЕМАМИ ПО ДАННЫМ АППАРАТУРЫ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ

А.Н. Загорулько
(представил д.т.н. С.В. Козелков)

Предложен способ управления антенными системами с использованием данных аппаратуры спутниковой навигации (АСН), который может быть применен в наземных станциях космических систем.

Антенные системы наземных станций космических радиолиний характеризуются высоким КНД, соответствующим коэффициенту усиления 45 – 55 дБ и более, при малом уровне боковых лепестков. Исходя из требований достижения больших коэффициентов усиления, несмотря на применение довольно высоких (до десятков мегагерц) диапазонов частот, размеры антенных устройств достаточно велики [1].

Как показывают расчеты [2], при реализуемых в настоящее время СВЧ-трактах со значением шумовой температуры 60° К, необходимый энергетический потенциал радиолинии X-диапазона для информационного потока более 64 Мбит/с может быть обеспечен при диаметре отражателя антенной системы более 5 м. Наряду с этим конструкция антенны должна предусматривать возможность непрерывного слежения за космическими аппаратами (КА) с точностными характеристиками, определяемыми диаграммой направленности.

Для параболических антенн ширина диаграммы направленности (ДН) определяется выражением [1]:

$$\vartheta_{(pnd)} = k \frac{\lambda}{d}, \quad (1)$$

где k – коэффициент, характеризующий тип антенны и облучателя (для параболоида вращения и точечного облучателя $k \approx 1$); λ – длина волны; d – диаметр раскрыва.

Так, для X-диапазона (8,0 – 8,4 ГГц) при диаметре отражателя 12,5 м (ТНА-57КР) ширина ДН составляет 11 – 13 угл. минут.

1. Основные режимы работы систем управления АС. Основным назначением систем управления наземными антеннами является наведение максимума ДН на КА (или любую заданную точку на небесной полусфере) и сопровождение его по направлению в пространстве в соответствии с реальным законом движения с целью обеспечения качественной и устойчивой радиосвязи.

Требуемая точность наведения (допустимая ошибка) не должна превышать десятых долей ширины ДН по половинной мощности.

Отличительной особенностью систем управления большинства антенных систем является то, что они функционируют, как правило, в условиях, когда параметры движения КА с той или иной точностью априорно известны. Это позволяет заранее вычислить траекторию движения КА, то есть прогнозировать закон изменения угловых координат во времени.

В настоящее время используется три основных режима [2]:

- программное управление;
- автоматическое сопровождение;
- комбинированное наведение.

Режим программного управления заключается в осуществлении перемещения ДН антенны по программе в соответствии с законом перемещения КА. При этом управляющие сигналы вычисляются и формируются в реальном масштабе времени в программном устройстве на основании априорных данных о движении КА. В связи с низкой точностью режим программного управления в основном используется для антенн радиотехнических комплексов, работающих с КА дальнего космоса, находящимися на расстояниях более 30 000 км.

Режим автосопровождения широко используется для связи с КА ближнего космоса, поскольку обеспечивает существенное повышение точности наведения антенного луча по сравнению с режимом программного наведения. В основе АС лежат радиотехнические методы измерения угловых координат источников излучения.

По принципу действия системы автосопровождения можно разделить на системы, работающие по равносигнальному направлению в режиме конического вращения антенного луча, системы моноимпульсного типа и экстремальные системы. Следует отметить, что кроме режима автосопровождения, во всех системах АС имеется режим поиска и захвата. Захват КА возможен в пределах угла, примерно равного ширине ДН. Поэтому для захвата КА системой сопровождения необходимо наведение антенны на КА с угловой точностью не хуже, чем ширина ДН на уровне половинной мощности.

Режим комбинированного наведения основан на сочетании программного управления и автосопровождения по радиосигналу.

Кроме указанных режимов предусматриваются и другие, вспомогательные режимы систем управления:

- ручное дистанционное наведение;
- полуавтоматическое наведение;
- синхронное наведение от ведущей антенны.

2. Управление антенными системами с использованием сигналов аппаратуры спутниковой навигации. Рассмотренным выше системам присущи существенные недостатки (низкая точность программного наведе-

ния, рассогласования направления ДН от направления на КА при автосопровождении, сложность технической реализации и т.д.).

Широкие возможности для упрощения систем наведения наземных станций космических радиолиний, перехода на новые методы управления, повышения точностных характеристик открываются с установкой на борту КА аппаратуры спутниковой навигации, сигналы которой передаются на наземные станции в составе информационных потоков в реальном масштабе времени.

В настоящее время использование GPS-приемников на низкоорбитальных КА является обычной практикой. В качестве примера можно привести приемники «Topstar 3000» (Alcatel, Франция), SGR (Surrey Satellite Technology LTD, Великобритания). Совместная фильтрация данных наблюдений GPS-приемника и модельного движения КА на основе законов Кеплера позволяет достичь высокой точности определения положения КА на орбите (радиальная составляющая лучше 10 см для одночастотного приемника и 3 см для двухчастотного приемника) [3].

На борту КА «Січ-1М» и «Микроспутник» планируется установка аппаратуры спутниковой навигации разработки АО НИИРИ (г. Харьков) с характеристиками [3], приведенными в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики аппаратуры спутниковой навигации, устанавливаемой на борту КА «Січ-1М» и «Микроспутник»

– погрешность определения параметров движения в Гринвичской системе координат:	
по координатам X, Y, Z	≤ 100 м
по составляющим вектора скорости $\dot{X}, \dot{Y}, \dot{Z}$	$\leq 0,5$ м/с
– предельная погрешность привязки результатов определения параметров движения к шкале UTC, не более	10 мкс
– темп выдачи навигационной информации	1 с;
– диапазон частот	L1 (1575,42 МГц)
– код	C/A
– количество измерительных каналов	12

Суть предлагаемого метода состоит в следующем: данные АСН в реальном масштабе времени вместе с телеметрической и другой информацией, формируемой на борту, по радиолинии передаются на наземные пункты во время нахождения КА в зоне их видимости.

Сигнал с приемного устройства (ППМ) поступает в устройство выделения сигналов АСН (рис. 1), где из общего информационного потока выделяются текущие координаты КА в Гринвичской системе координат $x_r(t_i), y_r(t_i), z_r(t_i)$. Вычислительное устройство по текущим координатам

там КА, координатам пункта приема и модели движения КА рассчитывает положение КА в сферической системе координат $R(t_i)$, $\beta(t_i)$, $\varepsilon(t_i)$ и производит прогнозирование движения КА на момент t_i+I .

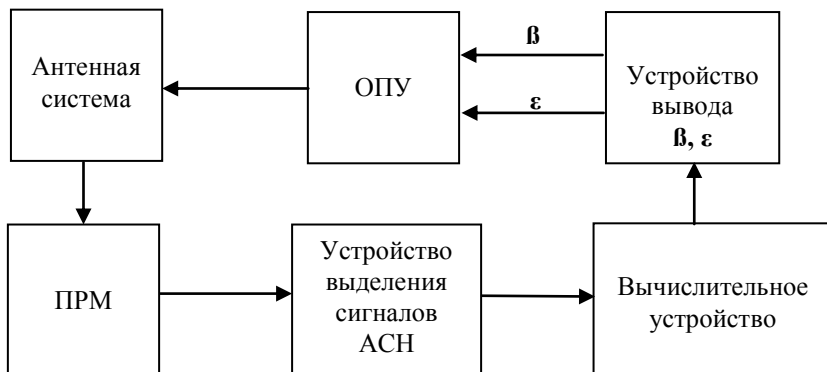


Рис. 1. Структурная схема управления АС по данным сигналов АСН

Устройство вывода формирует сигналы, управляющие приводами антенны по азимуту β и углу места ε .

3. Алгоритм работы вычислительного устройства. Зная текущие координаты КА в Гринвичской системе координат $x_r(t_i)$, $y_r(t_i)$, $z_r(t_i)$, координаты КА в измерительной системе координат пункта приема определяются следующим соотношением [4]:

$$\begin{bmatrix} x(t_i) \\ y(t_i) \\ z(t_i) \end{bmatrix} = A_{ИГ} \begin{bmatrix} x_{Г}(t_i) \\ y_{Г}(t_i) \\ z_{Г}(t_i) \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $A_{ИГ}$ – матрица перехода от Гринвичской к измерительной системе координат. Направляющие косинусы матрицы выражаются через значения углов λ и φ (долгота и широта пункта приема), поэтому матрица $A_{ИГ}$ имеет вид:

$$A_{ИГ} = \begin{bmatrix} -\text{Cos}\lambda \cdot \text{Sin}\varphi & -\text{Sin}\lambda \cdot \text{Sin}\varphi & \text{Cos}\varphi \\ \text{Cos}\lambda \cdot \text{Cos}\varphi & \text{Sin}\lambda \cdot \text{Cos}\varphi & \text{Sin}\varphi \\ -\text{Sin}\lambda & \text{Cos}\lambda & 0 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

а наклонная дальность до КА определяется как

$$R(t_i) = \sqrt{x^2(t_i) + y^2(t_i) + z^2(t_i)}. \quad (4)$$

Направление на движущийся в зоне радиовидимости пункта приема КА определяется двумя углами (рис. 2): азимутом $\beta(t_i)$, отсчитываемым

в плоскости местного горизонта пункта от направления на север (положительного направления оси Ox) до проекции вектора наклонной дальности $\vec{R}(t_i)$ на плоскость местного горизонта, углом места $\varepsilon(t_i)$ между вектором наклонной дальности и его проекцией на плоскость местного горизонта. Из геометрических соотношений следует:

$$\begin{cases} \beta(t_i) = \arcsin \frac{z(t_i)}{\sqrt{x^2(t_i) + z^2(t_i)}}; \\ \varepsilon(t_i) = \arcsin \frac{y(t_i)}{R(t_i)}. \end{cases} \quad (5)$$

где $x(t_i)$, $y(t_i)$, $z(t_i)$ – проекции вектора наклонной дальности $\vec{R}(t_i)$ на оси измерительной системы координат (или координаты КА в ИСК).

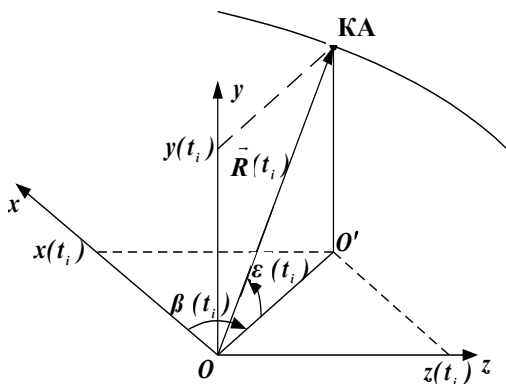


Рис. 2. Схема положения КА в СК $Oxyz$

Далее по текущим значениям координат КА и заданной модели движения производится расчет положения КА в сферической (измерительной) системе координат на момент времени $t_i + I$ (момент следующего определения координат по данным АСН).

Дальнейшая работа осуществляется, как и в устройствах программного наведения, путем интерполирования: линейного – при использовании КА, перемещения которых относительно пункта характеризуются малыми угловыми скоростями, или при малом значении $\Delta t = t_{i+1} - t_i$ (частом уточнении координат по данным АСН); нелинейного – при больших угловых скоростях, большом значении Δt . В первом случае часть функции $\varphi(t)$ между двумя соседними точками заменяется отрез-

ком линейной функции, во втором – полиномом второго или третьего порядка.

В качестве примера можно отметить используемую в универсальных устройствах программного наведения интерполяцию по кубическому закону [4]:

$$\varphi(t) = a + b \cdot t + c \cdot t^2 + d \cdot t^3, \quad (6)$$

где $\varphi(t)$ – текущий угол поворота антенны; $a = \varphi_{нач}$ – начальное значение угла данного интервала интерполяции; $b = \dot{\varphi}_{нач}$ – значение угловой скорости в начале данного интервала интерполяции;

$$c = (3\Delta\varphi - \Delta\dot{\varphi}\Delta t - 3\ddot{\varphi}\Delta t^2) / \Delta t^2;$$

$$d = (2\ddot{\varphi}\Delta t + \Delta\ddot{\varphi}\Delta t - 2\Delta\varphi) / \Delta t^3;$$

$\Delta\varphi$ – разность значений углов в начале и конце интерполяции.

Выбор формул для этих коэффициентов обусловлен наибольшим совпадением аппроксимированной траектории с истинной на большом временном участке.

Заключение. Предложенный способ управления антенными системами с использованием данных АСН может быть применен в наземных станциях космических систем, оборудованных АСН как автономно, так и в сочетании с другими, классическими способами управления, в первую очередь – с программным управлением, позволяет упростить систему управления, технически легко реализуем с использованием современной вычислительной техники и элементной базы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калашников Н.И. Системы связи через ИСЗ. – М.: Связь, 1969. – 384 с.
2. Невзоров В.И., Титов Ю.М. Антенные системы радиотехнических средств. – Л.: ВИКИ им. Можайского, 1987. – 107 с.
3. Ефимов С.К., Нестерович А.Г., Яковченко А.И. Аппаратура спутниковой навигации КА “Сич – 1М” и “Микроспутник” // *Космічна наука і технологія*. – 2001. – Т. 7, № 4. – С. 114 – 116.
4. Моделирование в радиолокации / Под ред. А.И. Леонова. – М.: Сов. радио, 1979. – 264 с.

Поступила 4.10.2002

ЗАГОРУЛЬКО Александр Николаевич, зам. начальника ЦУП (г. Евпатория). В 1979 году окончил ХВВКНУ. Область научных интересов – радиотехника.