

Использование оптических датчиков для взаимного позиционирования антенн при испытаниях радиосистем

Е. Старовойтов, к. т. н.¹, Е. Скиба², В. Руссанов³

УДК 629.056.8 | ВАК 2.2.11

Испытания локальных систем навигации и других радиосистем, предназначенных для зон с плотной застройкой и закрытых сооружений должны проводиться в условиях, в которых планируется дальнейшая эксплуатация. При этом возникает проблема выполнения антенных измерений в труднодоступных секторах пространства. Для ее решения могут быть использованы оптические датчики – лазерные приборы и телекамеры, позволяющие определять дальность до объектов и их ориентацию.

Для постоянного навигационного обеспечения объектов критической инфраструктуры России вне зависимости от наличия сигналов глобальных навигационных систем (ГНСС) типа ГЛОНАСС/GPS, создаются локальные системы навигации, развертываемые в заданном районе [1, 2].

Еще одной актуальной задачей является обеспечение непрерывной навигации подвижных объектов, часть маршрута которых проходит вне зоны покрытия ГНСС – под мостами, эстакадами, в туннелях, закрытых сооружениях и т. д.

И в том, и в другом случае для создания навигационного поля потребуется установка в выбранных точках, так называемых «псевдоспутников» (англ. Pseudolite – pseudosatellite), к которым относятся радионавигационные опорные станции (для открытого пространства) и радионавигационные датчики (для закрытых сооружений и помещений).

Места установки выбираются после проведения в них измерений окружающей электромагнитной обстановки, а для установленных приемопередатчиков должна быть определена форма диаграммы направленности их антенн.

Антенные измерения в условиях городской и промышленной застройки являются технически сложной задачей, для решения которой выполняются измерения электромагнитных полей с учетом переотражения и интерференции от расположенных рядом зданий и сооружений.

Таким образом, актуальной является разработка методов и средств для антенных измерений в труднодоступных секторах пространства, где недоступны сигналы ГНСС и отсутствуют какие-либо опорные точки с известными координатами. Новые средства измерений должны обладать высокой степенью готовности и автономности, не требующей постоянного вмешательства человека-оператора. Базой для размещения этих средств могут быть мобильные роботы и беспилотные летательные аппараты (БПЛА), управление которыми выполняется с использованием технологий искусственного интеллекта. Неотъемлемой частью данных интеллектуальных роботизированных измерительных комплексов является система их взаимного позиционирования.

ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АНТЕННЫ

Измерения электромагнитной обстановки выполняются в заданных точках, привязанных к координатам приемопередатчиков или плану закрытого сооружения (помещения) с экранирующими стенами. При исследовании формы диаграммы направленности антенны должны быть решены две задачи: определение координат измерительной антенны и направления на фазовый центр исследуемой антенны.

Поэтому перед началом измерений должна быть осуществлена взаимная привязка измерительной и исследуемой антенн. Привязка может осуществляться геодезическими методами или другими способами, обеспечивающими высокую точность.

В условиях отсутствия сигналов ГНСС местоположение измерительной антенны может определяться с использованием различных типов датчиков. Для позиционирования роботов и БПЛА широко применяются лазерно-оптические системы, комплексированные с другими типами датчиков

¹ АО «НИИМА «Прогресс», заместитель начальника отдела разработки смешанных СВЧ-модулей.

² АО «НИИМА «Прогресс», начальник отдела главного конструктора.

³ АО «Концерн радиостроения «Вега», советник генерального конструктора.

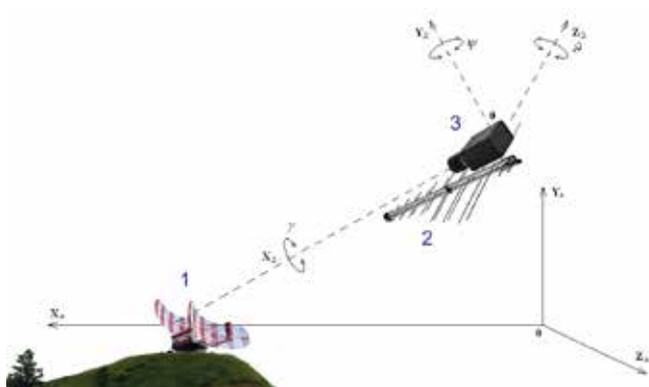


Рис. 1. Определение ориентации исследуемой антенны оптическим датчиком, жестко связанным с измерительной антенной: 1 – исследуемая антенна; 2 – измерительная антенна; 3 – оптический датчик

для автономных измерений (инерциальными приборами, телекамерами, одометрами, баровысотометрами).

Преимуществом лазерно-оптических датчиков являются низкая погрешность измерений дальности и углов (единицы миллиметров и доли угловых минут), а также полная развязка исследуемого и измерительного каналов между собой (не требуется применение дополнительных антенн и согласование радиочастот).

Определение ориентации антенн в этом случае может осуществляться триангуляционным методом, а измерения дальности выполняются времяпролетным или фазовым методом (в лазерных приборах), либо угломерным методом с помощью телекамер. На небольших расстояниях также может применяться стереодальномерный метод измерения дальности при помощи двух телекамер.

Ориентация исследуемой антенны определяется по их характерным геометрическим признакам, либо по специально установленным реперам, которые могут быть активными или пассивными (излучающие или отражающие).

Данные решения ранее были разработаны для задач мониторинга подстилающей поверхности и антенных измерений с борта БПЛА, а также при определении положения привязного аэростата с радиоизмерительной аппаратурой [3–6]. Представляет большой практический интерес использование имеющегося задела для применения в области испытаний и исследований навигационно-связных систем, в частности, локальных систем навигации.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРИЕНТАЦИИ АНТЕНН

Далее рассмотрим два случая решения задачи позиционирования измерительной антенны.

1. В створе излучения исследуемой антенны находятся жестко связанные измерительная антенна и оптический датчик. Исследуемая антенна находится

в поле зрения датчика, определяющего ее координаты и ориентацию относительно измерительной антенны (рис. 1). Тогда взаимное положение исследуемой и измерительной антенн определяется с использованием следующей модели

$$v_A^H = R_n \cdot v_A^C + v_D^H, \tag{1}$$

где

$$v_A^H = \begin{pmatrix} X_A^H \\ Y_A^H \\ Z_A^H \end{pmatrix}, \tag{2}$$

вектор, задающий координаты исследуемой антенны относительно датчика в нормальной земной системе координат;

$$v_A^C = \begin{pmatrix} X_A^C \\ Y_A^C \\ Z_A^C \end{pmatrix}, \tag{3}$$

вектор, задающий координаты исследуемой антенны в связанной с датчиком системе координат;

$$v_D^H = \begin{pmatrix} X_D^H \\ Y_D^H \\ Z_D^H \end{pmatrix}, \tag{4}$$

вектор, задающий координаты датчика в нормальной земной системе координат;

$$R_n = \begin{pmatrix} \cos\psi \cdot \cos\vartheta \sin\psi \cdot \sin\gamma - \cos\psi \cdot \sin\vartheta \cdot \cos\gamma & \sin\psi \cdot \cos\gamma + \cos\psi \cdot \sin\vartheta \cdot \sin\gamma \\ \sin\vartheta & \cos\vartheta \cdot \cos\gamma & -\cos\vartheta \cdot \sin\gamma \\ -\sin\psi \cdot \cos\vartheta & \cos\psi \cdot \sin\gamma + \sin\psi \cdot \sin\vartheta \cdot \cos\gamma & \cos\psi \cdot \cos\gamma - \sin\psi \cdot \sin\vartheta \cdot \sin\gamma \end{pmatrix}, \tag{5}$$

матрица перехода из связанной в нормальную земную систему координат.

2. Измерительная антенна находится в створе излучения исследуемой антенны, к которой по координатам привязан оптический датчик, находящийся вне створа излучения. Например, диаграмма излучения исследуемой антенны направлена над горизонтом, измерительная антенна поднята на некоторую высоту (с помощью специального подъемника, БПЛА или аэростата), а оптический датчик находится на земной поверхности и направлен на измерительную антенну, координаты и ориентацию которой он определяет (рис. 2).

В этом случае модель (1) имеет вид:

$$v_{И}^C = R_n \cdot (v_A^H - v_{И}^H), \tag{6}$$

где

$$v_{И}^C = \begin{pmatrix} X_{И}^C \\ Y_{И}^C \\ Z_{И}^C \end{pmatrix}, \quad (7)$$

вектор, задающий координаты исследуемой антенны в связанной системе координат измерительной антенны;

$$v_{И}^H = \begin{pmatrix} X_{И}^H \\ Y_{И}^H \\ Z_{И}^H \end{pmatrix}, \quad (8)$$

вектор, задающий координаты измерительной антенны в нормальной земной системе координат. R_n – матрица перехода из нормальной земной в связанную систему координат.

При решении обеих задач могут быть использованы как оптические датчики активного типа (излучающие) – лазерные дальномеры или локаторы (лидары), так и датчики пассивного типа (телекамеры), в сочетании с различными типами активных и пассивных реперов (маяков, угловых отражателей, визуальных меток).

В качестве реперов могут быть использованы имеющиеся на исследуемой антенне световые приборы (например, заградительные огни). Установленные дополнительно реперы могут быть реализованы на базе лазерных или светодиодных источников света, излучающих в определенном режиме, обеспечивающем неоднозначность измерений и выделение сигнала при наличии помех. Определение ориентации исследуемой антенны может производиться по изображениям характерных элементов ее конструкции с известными геометрическими параметрами.

К настоящему моменту времени в задачах управления летательными аппаратами и робототехникой получен задел, позволяющий применять оптические датчики для высокоточного позиционирования при антенных измерениях. Это позволит определять форму диаграмм направленности антенн в труднодоступных местах, в том числе в закрытых сооружениях, и облегчит решение задач радиоэлектронной защиты и защиты персонала от электромагнитных полей. Таким образом, в арсенале испытателей радиосистем имеется инструмент, который может быть использован для проверок локальных систем навигации и других радиоэлектронных средств.

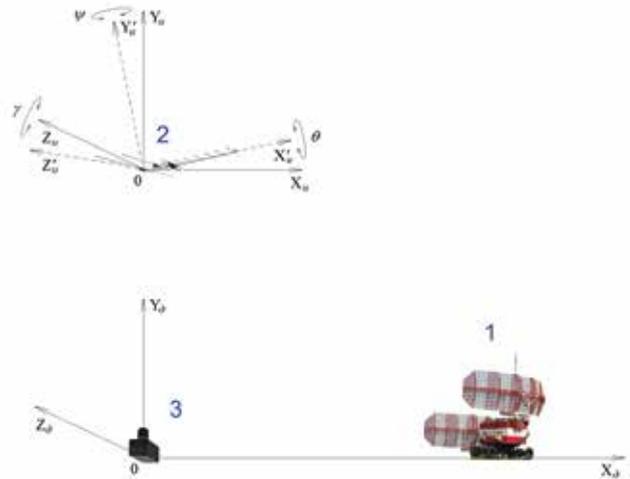


Рис. 2. Определение ориентации измерительной антенны датчиком, связанным по координатам с исследуемой антенной: 1 – исследуемая антенна; 2 – измерительная антенна; 3 – оптический датчик

ЛИТЕРАТУРА

1. **Корнеев И.Л., Кузнецов А.С., Королев В.С.** Режимы работы локальной системы навигации в проекте «КОНСУЛ». Потребители системы «КОНСУЛ» // Наноиндустрия. Спецвыпуск. 2021. 7с. Т.14 (107). С. 57–59.
2. **Старовойтов Е.И., Скиба Е.С., Синильщиков И.В., Алпатов А.А.** Синхронизация базовых станций в комплексированной навигационно-связной системе «КОНСУЛ-Р» // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2024. № 7. С. 100–104. DOI: 10.22184/1992-4178.2024.238.7.100.104.
3. **Старовойтов Е.И.** Навигационное обеспечение мониторинга подстилающей поверхности БПЛА с пассивным оптическим датчиком // Радиостроение. 2020. №5. С. 13–41. <https://doi.org/10.36027/rdeng.0520.0000183>. Режим доступа: <https://www.radiovega.su/jour/article/view/183>.
4. **Старовойтов Е.И., Руссанов В.И.** Перспективные технологии облетных методов радиотехнических измерений // Радиостроение. 2022. № 1. С. 1–30. <https://doi.org/10.36027/rdeng.0122.0000204>.
5. **Старовойтов Е.И., Руссанов В.И.** Навигационное обеспечение БПЛА для выполнения облетных радиотехнических измерений в условиях городской и промышленной застройки // Радиостроение. 2022. № 2. С. 1–15. <https://doi.org/10.36027/rdeng.0222.0000205>.
6. **Старовойтов Е.И., Козлов К.В., Голиус А.Б., Руссанов В.И.** Сравнение возможностей применения привязного аэростата и БПЛА для антенных измерений при испытаниях РЛС // Электромагнитные волны и электронные системы. 2023. Т.28. № 6. С. 48–65. <https://doi.org/10.18127/j15604128-202306-06>.

Посты оптического микроскопирования



• Микроскоп МИКРО 200



• Высокоразрешающий комплекс ГУФ



• Комплекс автоматизированный МА-300



• Комплекс аналитический «ФОТОН»

тел.: (+375 17) 377-90-64, e-mail: office@optes.by