

Библиографический список

1. *Ширман Я. Д.* Теоретические основы радиолокации. М.: Советское радио, 1970.
2. *Бердышев В. А., Гарин Е. Н., Фомин А. Н.* и др. Радиолокационные системы. Красноярск: Сиб. Федер. Ун-т, 2011.
3. *Бакулев П. А.* Радиолокационные системы: Учебник для вузов. М.: Радиотехника, 2004.
4. *Lehtinen, M., Dantie B., Nygren T.* Optimal binary phase codes and sidelobe-free decoding filters with application to incoherent scatter radar // *Annales Geophysicae*, 2004. Vol. 22, pp. 1623–1632.
5. *Ершов Г. А., Синицын Е. А., Фридман Л. Б.* Анализ эффективности обработки сложных сигналов с различными типами фазовой манипуляции при наличии доплеровского сдвига частоты // Сб. докладов 26-ой международной конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». Севастополь: 2016. С. 444 – 448.
6. *Korshunov A. Y., Fridman L.B., Sinitsin E.A.* Analysis of influence of Doppler frequency shift on effectiveness of phase-shift keyed signal compression // 2013 36th International Conf. on Telecommunications and Signal Processing (TSP-2013). Rome, Italy, pp. 667 – 671.
7. *Кориунов А. Ю., Синицын Е. А., Фридман Л. Б.* Согласованная и подоптимальная обработка фазоманипулированного сигнала с увеличенной базой при наличии доплеровского сдвига частоты // Труды седьмой ОНПК «Инновационные технологии и технические средства специального назначения». СПб: БГТУ «Военмех», 2014. С. 195 – 198.
8. *Levanon N., Mozeson E.* Radar signals. John Wiley & Sons, Inc. 2004.

УДК 621.396.969

ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ НАБЛЮДАЕМОСТИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ МЕТОДАМИ МНОГОПОЗИЦИОННОЙ РАДИОЛОКАЦИИ

Г. А. Ершов, В. А. Завьялов, В. А. Синицын

*АО «Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры»
Балтийский государственный технический университет «Военмех» имени Д. Ф. Устинова*

В настоящее время возникает необходимость создания перспективных комплексных систем наблюдения и ближней навигации для обширного контроля пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов (ЛА) Воздушно-космических сил (ВКС) Российской Федерации (РФ), при этом ужесточаются требования к характеристикам таких систем. Одной из основных задач при создании комплексных систем наблюдения и ближней навигации является улучшение параметров радиолокационной наблюдаемости ЛА. К параметрам радиолокационной наблюдаемости отнесем: зону действия радиолокационной станции, её разрешающую способность и точность измерения координат и параметров ЛА.

Ряд преимуществ многопозиционных радиолокационных систем (МПРЛС) перед традиционными однопозиционными РЛС позволяет рассматривать их как основное средство радиолокационного и радионавигационного обеспечения в комплексах наблюдения и ближней навигации [1]. К этим преимуществам можно отнести:

- повышение общей энергетики системы за счет добавления позиций;
- увеличенная точность определения координат ЛА;
- увеличенная разрешающая способность;
- повышение помехозащищенности;
- возможность создания требуемой зоны действия (напр., в условиях горной местности);

- возможность обнаружения низколетящих малозаметных ЛА;
- живучесть (выход из строя одной позиции не приведет к системному выходу из строя).

Далее будут рассмотрены три группы факторов МПРЛС, которые вносят наибольшее влияние на улучшение параметров радиолокационной наблюдаемости воздушных целей.

К одному из основных факторов МПРЛС можно отнести расположение передающих и приемных позиций и их параметров. От параметров позиций, в первую очередь, зависят размеры зоны действия МПРЛС. Зона действия МПРЛС является многопараметрической характеристикой, изменяя расположение наземных позиций, а также вводя дополнительные сенсоры (воздушного или космического базирования) можно управлять зоной действия в реальном времени. На рис. 1 показана предлагаемая схема управления зоной действия МПРЛС.

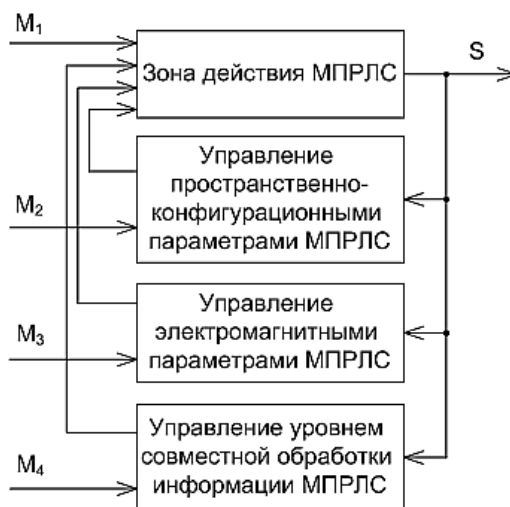


Рисунок 1 – Схема управления зоной действия МПРЛС [1]:

S – выходная величина, характеризующая размеры и форму зоны действия МПРЛС; M_1 – массив воздействий, которые не подлежат управлению; M_2 – массив управляющих воздействий, связанных с пространственно-конфигурационными параметрами МПРЛС; M_3 – массив управляющих воздействий, связанных с электромагнитными параметрами МПРЛС; M_4 – массив управляющих воздействий, связанных с уровнем совместной обработки информации МПРЛС

К массиву M_1 относятся постоянные параметры среды, такие как постоянная Больцмана и факторы распространения сигнала от передатчика до воздушной цели и от цели до приемника. Массивы воздействий M_2 , M_3 и M_4 определяют желательный характер показателя S . Изменяя параметры МПРЛС можно получить требуемые размеры и форму зоны действия в соответствии с ожидаемой радиолокационной обстановкой. В массив M_2 входят следующие параметры: расстояния между передающими и приемными позициями и количество позиций МПРЛС. При изменении воздействий массива M_2 следует учитывать особенности формирования зон действия МПРЛС, в случае увеличения расстояний между сенсорами [1, 2]. В массив M_3 входят параметры: мощность передаваемого сигнала, несущая частота (длина волны) сигнала, форма сигнала, коэффициенты усиления антенн и различные коэффициенты шумовых потерь в системе. Массив M_4 позволяет переходить в системе от автономного приема (одна приемная позиция обслуживает только одну передающую позицию) к частично-кооперативному приему (несколько приемных позиций обслуживают несколько передающих позиций) или к полностью кооперативному приему (каждая приемная позиция принимает сигнал от каждой передающей позиции).

Параметр, характеризующий отражательную способность цели – эффективная площадь рассеяния (ЭПР), можно рассматривать для МПРЛС как входное воздействие, однако он имеет двойственный характер. С одной стороны, ЭПР – это характеристика отражающих свойств цели, и она не подлежит управлению, а с другой стороны, ЭПР цели можно увеличивать путем оптимального построения геометрии МПРЛС благодаря эффекту теневого поля [1].

Расположение сенсоров МПРЛС также влияет на точность определения координат ЛА, так как исходными данными для вычисления местоположения ЛА являются координаты сенсоров, образующих зону действия МПРЛС. Математической функцией, связывающей результирующую ошибку определения местоположения ЛА по измеренным суммарным дальностям [1] средствами МПРЛС и ошибки исходных данных, является функция «геометрического фактора», учитывающая конфигурацию расположения сенсоров и положения ЛА в момент измерения суммарных дальностей. Ошибка исходных данных характеризует интегрированную ошибку позиционирования сенсора МПРЛС и ошибку измерения суммарной дальности. На рис. 2 представлен расчет влияния геометрического фактора МПРЛС (6 сенсоров, расположенных на плоскости в вершинах правильного шестиугольника) на результирующую ошибку вычисления координат ЛА.

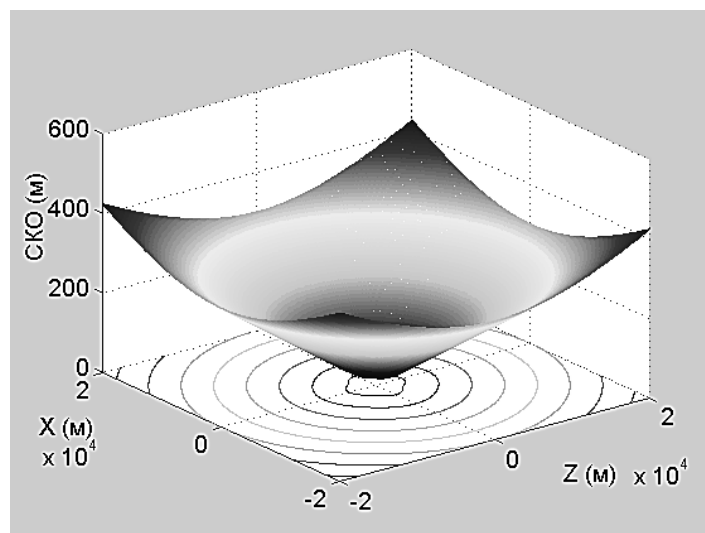


Рис. 2. Оценка влияния геометрического фактора МПРЛС на результирующую ошибку оценки координат ЛА

Как видно из рис. 2, максимальное значение результирующей ошибки достигается в наиболее отдаленных точках. Значение геометрического фактора зависит только от взаиморасположения сенсоров МПРЛС друг относительно друга и относительно точки коррекции. Следовательно, для любой конфигурации сенсоров существует бесконечное число симметричных конфигураций, которые могут быть получены с помощью поворота текущей конфигурации на некоторый угол относительно точки коррекции. Глобальный минимум геометрического фактора для заданного числа сенсоров, можно получить при расположении сенсоров по окружности относительно центра координат с радиусом $R = \sqrt{2} \cdot H_z$, где H_z – высота точки коррекции. Геометрический фактор уменьшается по мере добавления дополнительных сенсоров.

К следующей группе факторов относятся алгоритмы и устройства первичной обработки МПРЛС. Совершенствование алгоритмов первичной обработки радиолокационной информации, применение новых адаптивных фильтров [4] и помехоустойчивых зондирующих сигнала

лов позволят также улучшить параметры радиолокационной наблюдаемости ЛА. Применение таких фильтров позволит также снизить влияние отражений от местных предметов, подстилающей земной поверхности и гидрометеоров.

Третья группа факторов объединяет в себя алгоритмы и устройства вторичной, третичной и комплексной обработки информации. Конечным результатом радиолокационного наблюдения обычно является построение траекторий целей. Если в каждом такте наблюдения МПРЛС формирует результирующей единичный замер вектора состояния цели, то МПРЛС можно заменить на «эквивалентную» однопозиционную РЛС с повышенной точностью единичных замеров. Повышенная точность единичных замеров обеспечивает более высокую точность построения траекторий. Однако во многих случаях (например, при одновременном измерении «первичных координат» цели разными сенсорами) целесообразно по измеренным «первичным координатам» сразу строить траектории. При построении траектории ЛА возможны два подхода:

- 1) объединение единичных замеров «первичных координат» в результирующую траекторию цели;
- 2) объединение траекторий цели, построенных в разных сенсорах, в результирующую траекторию.

На первом этапе поступающие от разнесенных сенсоров данные преобразуются в единую центральную систему координат. На втором этапе происходит отождествление – определяется принадлежность поступивших данных тем или иным ЛА или уже имеющимся траекториям. Неотождествленные данные могут использоваться для завязки новых траекторий. На третьем этапе осуществляется построение траекторий. Как правило, для этого используют рекуррентные алгоритмы фильтрации. Совершенствование алгоритмов фильтрации (например, применение нелинейного ансцентного фильтра Калмана) и позволит повысить качество построения траекторий, что в свою очередь, позволит улучшить параметры радиолокационной наблюдаемости ЛА.

Если же говорить о комплексной обработке радиолокационной информации, то можно рассматривать создание комплексных систем наблюдения на базе МПРЛС. В таких системах радиолокационная информация поступает с нескольких независимых источников, например, МПРЛС, системы автоматического зависящего наблюдения-вещания (АЗН-В), радиотехнические системы ближней навигации (РСБН), глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС). Поступающая со всех независимых источников радиолокационная и радионавигационная информация проходит комплексную обработку, что позволит увеличить точность определения местоположения ЛА. Также за счет комплексной обработки информации можно осуществлять верификацию информации от независимых источников, что в свою очередь повысит помехозащищенность каждого независимого источника радиолокационной и радионавигационной информации.

Библиографический список

1. *Черняк В. С.* Многопозиционная радиолокация. М.: Радио и связь, 1993.
2. *Аверьянов В. Я.* Разнесенные радиолокационные станции и системы. Мн.: Наука и техника, 1978.
3. *Ковалев, Ф. Н., Рындык А. Г.* Основы теории управления и радиоавтоматики: учеб. Пособие для студентов ВУЗов. Н. Новгород: НГТУ, 2006.
4. *Завьялов В. А.* и др. Подоптимальный фильтр сжатия шумоподобных сигналов с фазовой манипуляцией / Тезисы 4-ой Всероссийской НТК «Системы связи и радионавигации».