

Об особенностях моделирования работы бистатической (многопозиционной) радиолокации для обзора воздушного пространства, морской и земной поверхности с неподвижных носителей.

Калинкевич А.А., Крылова М.С., Масюк В.М., Тамонов Д.В.

Институт Радиотехники и Электроники им. В.А. Котельникова РАН, 103907, Москва, ул. Моховая, 11. корп.7. 8-495-407-03-07, e-mail: kalinkevich@newmail.ru

Рассматриваются особенности наблюдения воздушного пространства, обзора морской поверхности и поверхности земли при создании макета многопозиционной (двухпозиционной) стационарной системы РЛС.

The problem to develop the radar system consisting of several samples for the observation of the air space of the review to sea surface and surfaces of the land is considered.

Введение

Работа многоканальных радиолокационных комплексов с пространственным разнесением каналов (МПРЛС, ММО) подробно рассмотрена в [4-5]. Как отмечается в работе [5] построение радиолокационной системы ведется на основе передающей и приемной антенных систем, состоящих из пространственно распределенных слабонаправленных элементов с излучением ими взаимно ортогональных зондирующих сигналов. В качестве зондирующих сигналов рассматриваются всевозможные виды ШП и СШП ($S_0(t)$) сигналов. При рассмотрении предполагают, что имеется n приемных устройств и m передающих, что в зону обзора попадают p отражателей имеющих вектор координат r_p и амплитуды A_p . Суммарный сигнал принятый k -ым приемным устройством от p отражателей при одном работающем

передатчике j -ого передатчика будет $v_{kj} = \sum_1^p A_p S_0(t - \tau_{kj}(r_p))$. При работе всех передатчиков необходимо взять дополнительно сумму по J . Обработка осуществляется

с помощью вычисления частных корреляционных интегралов $q_{kj} = \int_0^T v_{kj} S_0(t - \tau) dt$

(где T - период повторения) с последующим нахождением обобщенного интеграла обработки, т.е. суммированием по всевозможным парам передатчик-приемник. Аналогичная процедура осуществляется и для мультипликативных систем.

Рассмотрение ведется для решения задач по обнаружению объектов в воздушном пространстве или отдельных отражающих целей. Однако вопросам возможного применения многопозиционных систем для обзора подстилающей поверхности уделяется относительно мало внимания.

Наиболее распространенными системами для непрерывного обзора подстилающих поверхностей являются стационарные РЛС, размещенные на возвышенных участках Земной поверхности. В последнее время все больше уделяется внимания возможности использования летательных средств, типа дирижаблей, позволяющих поднять аппаратуру на большую высоту, что приводит к увеличению зоны обзора. Пример - дирижабль для разведки, рассматриваемый в [1]. Он поднят на высоту около 7 километров и позволяет наблюдать в пределах прямой видимости все уголки Афганистана. Следует отметить, что для непрерывного обзора выбранного участка

подстилающей поверхности используются также РЛС, работающие на поверхностных волнах [2, 3]. Представленный доклад касается вопросов возможности создания многопозиционной РЛС для непрерывного обзора выбранного участка подстилающей поверхности. Рассмотрение ведется в предположении, что используются ШП или СШП сигналы.

Основные принципы построения мультипликативных систем.

В мультипликативных системах обработка предполагает перемножение сигналов от разных каналов. Предположим, что имеются две антенны, имеющие узкие веерообразные диаграммы А и В. После перемножения выходной сигнал будет соответствовать излучению, принятому их общей частью О, что соответствует узкой диаграмме карандашного типа. Если имеется цель в этой области, то она обнаруживается. При качании антенн появляется зона обзора. Системы эффективно используются в аэродромных службах, когда в зону обзора антенн попадают только отдельные цели. Однако, если в зоны веерообразных диаграмм А и В попадают несколько целей, то ситуация меняется – возможны ошибки в правильном определении координат цели. При обзоре земной поверхности ситуация в корне меняется. Так как принимаемые сигналы определяются площадями облучения, то после перемножения выделение сигнала, соответствующего общей части О представляет серьезную проблему. Материалы доклада касаются именно этой проблемы.

Пусть в точках O_1 и O_2 , находящихся на некоторой высоте над поверхностью, расположены две радиолокационные станции работающие в импульсном режиме с длительностью импульса τ и имеющие широкие диаграммы направленности (ДНА). Одна из РЛС работает в режиме прием-передача, другая только на прием. По поверхности будет распространяться «кольцо» с площадью S_1 от приемо-передающей станции, расположенной в т. O_1 , отражение от которого определяет принимаемый сигнал U_1 . Сигнал V_1 , который будет принимать РЛС, расположенная в т. O_2 , соответствует другой площади поверхности S_2 . Сигналы от различных участков площадей s_1, s_2 случайны и независимы между собой, за исключением общей части (рис.1).

Предполагается, что работа двух РЛС жестко синхронизирована, а регистрация принимаемых сигналов осуществляется в цифровом виде. Принимаемый сигнал $U_1(t)$ определяется распространяющимся по поверхности кольцом s_1 , в то время, как сигнал $V_1(t)$ - распространяющимся по поверхности эллипсом s_2 . Время излучения импульсов радиолокационных станций конструируется с учетом постоянных задержек, таким образом, что пересечение импульсов излучения происходит в области s (рис.2), размер которой соответствует разрешающей способности Δs . В соответствии с цифровым приемом изменение времени излучения и приема импульсов осуществляется простым смещением гребенок сигналов относительно друг друга. Это позволяет осуществить сканирование по пространству. Режимы работы этих станций поочередно могут меняться. При изменении функций работы этих двух РЛС области облучения поверхности, за исключением s , меняются, $U_1 \neq U_2, V_1 \neq V_2$, т.е., сигналы не являются взаимнообратимыми.

Вопросы разрешающей способности двухпозиционной импульсной РЛС

Рассмотрим вопрос пространственного разрешения при пересечении двух колец S_1 и S_2 .

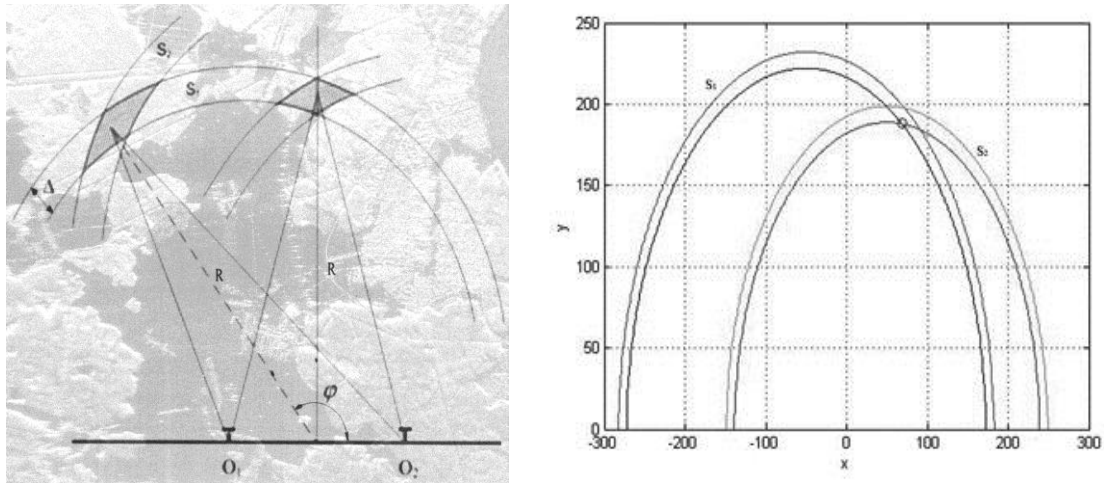


Рис.1. Построение двухпозиционной РЛС для обзора земной поверхности

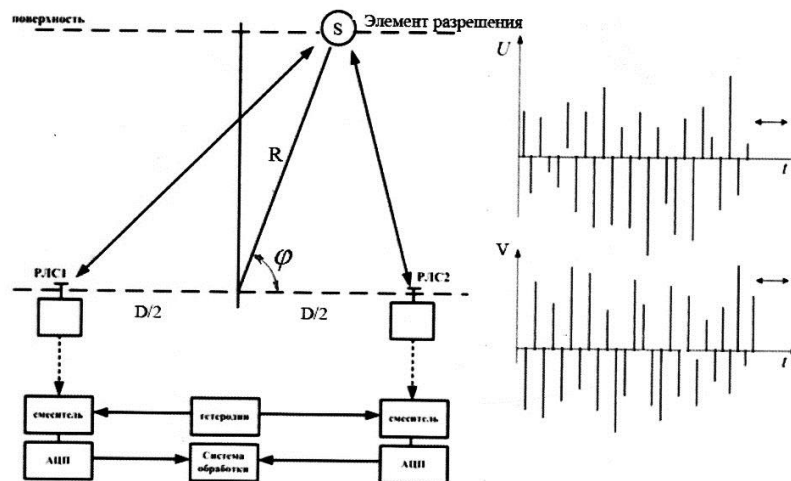


Рис.2. Блок-схема построения двухпозиционной РЛС

Расчеты зависимости разрешающей способности δx и δy в зависимости от угла φ при различных расстояниях между антеннами D и Δ представлены на рис.3.

Как и следовало ожидать, расстояние между антеннами сильно влияет на разрешающую способность по азимуту. Представленные зависимости показывают, что при азимутальных углах приближающихся к значениям 0^0 и 180^0 разрешение δy резко возрастает. Приемлемыми углами наблюдения являются углы $50^0 \leq \varphi \leq 150^0$.

О вопросе выделения сигнала, соответствующего общей части O.

Сигналы U и V в каждый момент времени соответствуют отражениям от площадей S_1 и S_2 , в каждой из которых находится много точек отражения, наша же

цель выделить сигналы, соответствующие только площади пересечения. Конечно, при перемножении сигналов роль общего элемента по сравнению с другими областями несколько выделяется, но на фоне других элементов отражения она может оказаться крайне малой. Выделение сигнала, соответствующего общей части **O** представляет серьезную проблему. Мы видим решение этой проблемы следующим образом.

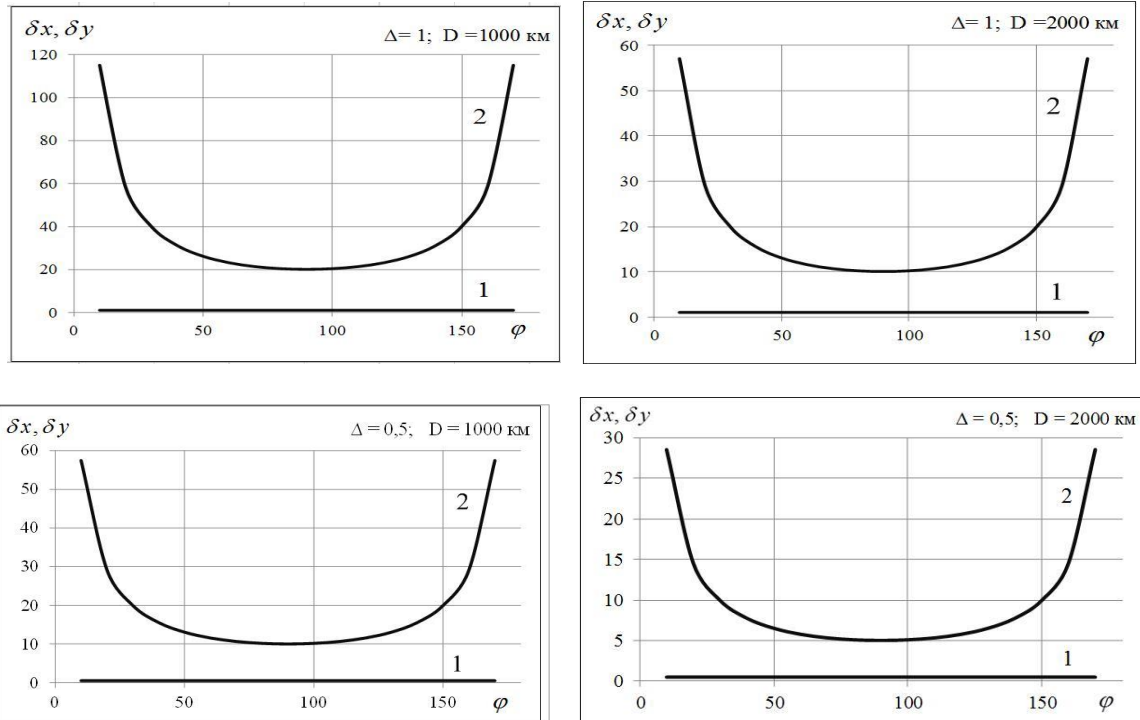


Рис.3. Зависимости разрешающей способности δx и δy от угла φ при различных расстояниях между антеннами D и длительностях Δ для расстояния $R=10000\text{м}$. Кривые 1 соответствуют δx , 2 - δy .

Рассмотрение велось при условии, что использовалась длительность импульса τ , которая определяла разрешающую способность. Представим, что мы используем более короткий зондирующий импульс $\tau_0 \ll \tau$. Тогда каждое кольцо разобьется на $Z = \tau\tau_0^{-1}$ частей, а общая часть **O** на $N = \tau^2\tau_0^{-2}$ элементов с площадью S_0 . Разобьем каждое кольцо Z на K_0 одинаковых частей, полагая, что к каждой части достаточное количество элементов отражения, т.е. чтобы отражения от них были независимыми. Кроме того, будем считать, что в пересекающую часть кольца попадает несколько элементов разбиения (на пример $A_i = a_1^i + a_2^i + a_3^i$). Тогда сумма сигналов двух пересекающих колец можно представить следующим видом $u_j = \sum_1^{K_0-3} u_i^j + A_j$,

$v_j = \sum_1^{K_0-3} v_i^j + A_j$, где j – определяет пару пересекающих колец

Так как u_i и v_j взаимно независимые величины, то корреляция будет определяться усреднением суммы попарно близлежащих независимых колец.

В случае $\delta x = 20$ м и использования $\tau_0 = 10^{-9}$ сек результаты обработки приведены на рис.4б. Для моделирования было сделано предположение, что сигналы, отраженные от поверхностей S_1 и S_2 , имеют равномерное распределение. При этом возникает возможность определить корреляционную функцию (рис.4.б). обработки сигналов по N реализациям. Предварительное математическое моделирование показало, что имеется предпосылка выделения сигнала, соответствующий общей части O пересечения колец S_1 и S_2 рис. 4(а). Не смотря на то, что некоторое математическое моделирование выполнено и получены предварительные обнадеживающиеся результаты, на данный момент реализации такого метода радиолокации требует дополнительных исследований.

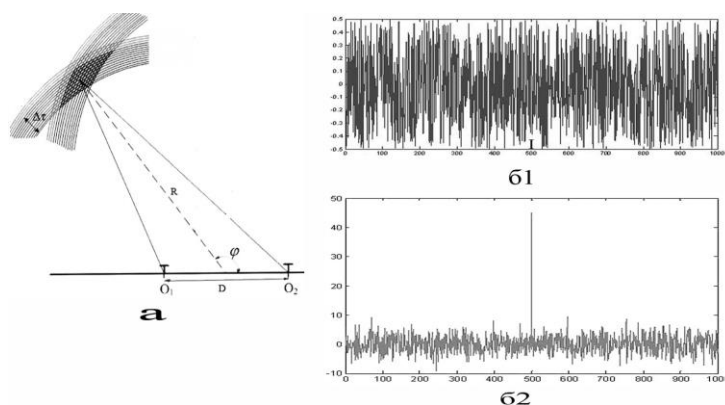


Рис.4. Некоторые результаты моделирования выделения сигнала для общей части O
 а) Схема измерения, б1) Модель отражения от кольца, б2) Модель отражения от кольца после усреднения по 100 реализациям

Выводы

Первые попытки моделирования процесса выделения сигнала, соответствующего общей площади двух перекрывающихся колец дал обнадеживающиеся результаты. Основная трудность заключается в моделировании сигналов, отраженных от разнородных площадей S_1 и S_2 . Приведенные результаты являются предварительными и служат скорее отправной точкой для дальнейших исследований, чем материалом для окончательных выводов.

Литература

1. Военные технологии, Космос и Авиация и космонавтика №3 2003 С.47, Авиация за 28 августа 2009 г
2. В.Петров «Современное состояние и перспективы развития загоризонтных систем и средств обнаружения» ж. "Зарубежное военное обозрение" №3,2006
3. В.Н.Дацко «О новом подходе к проблеме загоризонтной радиолокации и связи», Материалы 6-ой Всероссийской научно-технической конференции «Радиолокация и радиосвязь» 19-22 ноября 2012 г. Москва ИРЭ им.В.А.Котельникова РАН, т.2, стр.255-257.
4. В.В.Чапурский. Мультипликативная обработка сигналов с подавлением отражений от местных предметов в задачах сверхширокополосной ММО-локации, Успехи современной радиоэлектроники, 1-2, 2009, стр. 114-122
5. В.С.Черняк. О новых и старых идеях в радиолокации: ММО РЛС. Успехи современной радиоэлектроники 2, 2011, стр. 5-20.