

Двухпозиционный сверхкороткоимпульсный локатор

А.Н.Титов, А.А.Разин

АО «Научно-исследовательский институт приборостроения им.В.В. Тихомирова»
140180, Московская обл., г. Жуковский, ул. Гагарина, д.3, E-mail: niip@niip.ru

Предложен метод определения пространственного положения цели в двухпозиционном сверхкороткоимпульсном локаторе. Приведены формулы для определения местоположения цели при использовании прямоугольной системы координат.

This paper proposes a method for determining the spatial position of the target in the bistatic radar. Authors give formulas for determining the target location using rectangular coordinate system.

В настоящее время угроза террористической опасности ставит ряд проблем в плане борьбы с этим явлением. Необходимость оснащения современными техническими средствами специальных подразделений очевидна. При разработке таких средств одной из проблемных задач является определение точного местоположения объекта в закрытом помещении, например, в соседней комнате. Известные пути решения этой проблемы сводятся к применению радиолокационных методов, в том числе к увеличению точности измерения координат и улучшению разрешающей способности. При этом для повышения точности измерения угловых координат используют такие приемы, как увеличение физических размеров антенн, синтезирование апертуры, использование многопозиционных систем, интерферометрические методы. Повышение точности измерения по дальности связывают с использованием широкополосных и сверхширокополосных сигналов.

Во всех случаях совершенствования радиолокационных методов измерения координат цели, прежде всего в отношении точности, однозначности и разрешающей способности, возникает необходимость расширения как спектра зондирующих сигналов, так и расширения области пространства, в которой функционируют используемые антенны.

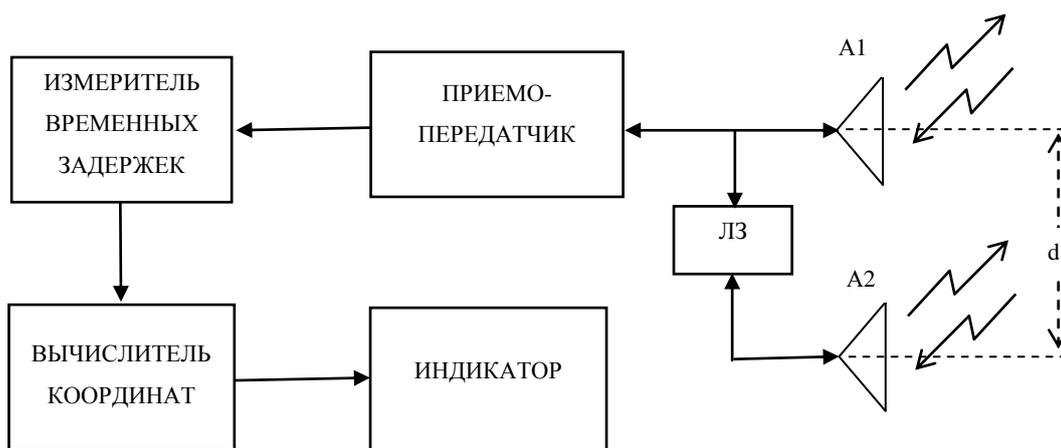


Рис.1. Функциональная схема РЛС.

Одним из направлений развития методов импульсной радио- и гидролокации является повышение точности измерения координат целей, повышение разрешающих

способностей, а также обеспечение однозначности измерений. Современные исследования в области гидроакустических радаров направлены на освоение синтезированной апертуры, использование двух- и многопозиционных систем (в том числе и техники ММО локации [1]), интерферометрические методы, а повышение качества дальностной информации связывают с использованием широкополосных, сверхширокополосных и сверхкороткоимпульсных сигналов. В свою очередь высокое разрешение по дальности позволяет измерять местоположение объекта без измерения угловых координат, например используя теорему синусов.

В настоящей работе предлагается принцип построения локационной системы, в котором по-новому сочетаются некоторые из вышеперечисленных приемов. Основной особенностью предлагаемой системы является использование сверхширокополосных сигналов, пространственная протяженность которых много меньше размеров пространства, занимаемого антеннами. Идея системы изображена на рис.1. В состав системы входят приемопередатчик, работающий со сверхкороткими зондирующими и принимаемыми импульсами, и две импульсные приемо-передающие слабонаправленные антенны A1 и A2, которые разнесены в пространстве на некоторое расстояние d (это эквивалент базы в интерферометре). Это расстояние должно быть много больше, чем пространственная протяженность сверхкоротких зондирующих импульсов, т.е. $c\tau_u \ll d$. Каждый сверхкороткий зондирующий импульс излучается через антенны A1 и A2 с некоторым временным сдвигом, что на рис.1 обозначено введением линии задержки в цепь возбуждения антенны A2. Соответственно отраженные от цели сигналы, принимаемые антеннами, поступают на вход приемника со сдвигом во времени, который определяется пространственным разносом антенн, временным сдвигом сигнала, обусловленным задержкой сигнала в линии задержки, и координатами цели. Геометрия возможных трасс распространения сигнала показана на рис.2 для случая, когда сдвиг моментов возбуждения антенн в режиме излучения равен $\frac{d}{c}$.

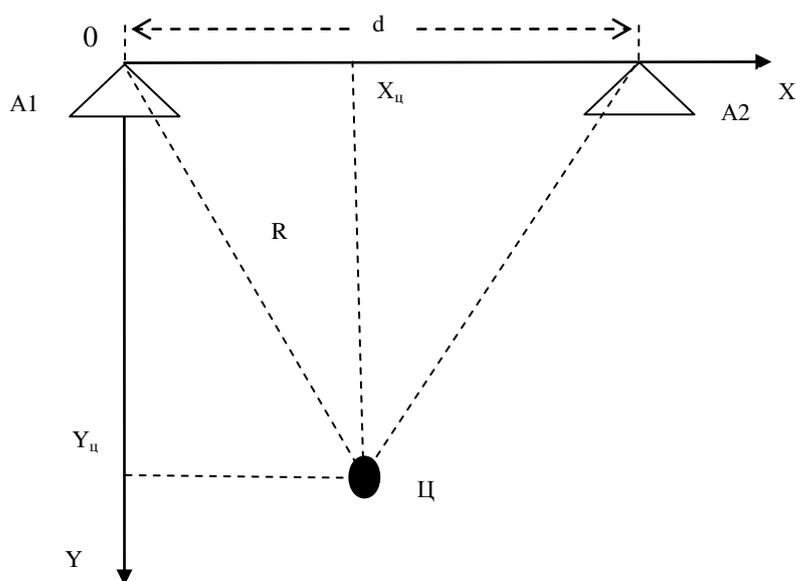


Рис.2. Геометрическая интерпретация метода.

Ниже приведены 4 возможные трассы распространения сигналов:

1. $A1 \rightarrow Ц \rightarrow A1$
2. $A1 \rightarrow Ц \rightarrow A2 \rightarrow A1$
3. $A1 \rightarrow A2 \rightarrow Ц \rightarrow A1$
4. $A1 \rightarrow A2 \rightarrow Ц \rightarrow A2 \rightarrow A1$

Таким образом, в ответ на каждый сверхкороткий зондирующий импульс на входе приемника появляются, в принципе, 4 сверхкоротких отраженных сигнала. Однако из-за того, что протяженность трасс 2 и 3 одинакова, в действительности на входе приемника от каждой цели получается тройка сверхкоротких импульсов, средний из которых имеет удвоенную амплитуду.

На рис.3 показаны эпюры генерируемых передатчиком импульсов и отраженных сигналов на входе приемника. По временному интервалу t_0 между моментом излучения зондирующего импульса и моментом прихода первого импульса тройки, а также временному разнесу импульсов в тройке Δ , можно однозначно определить координаты цели.

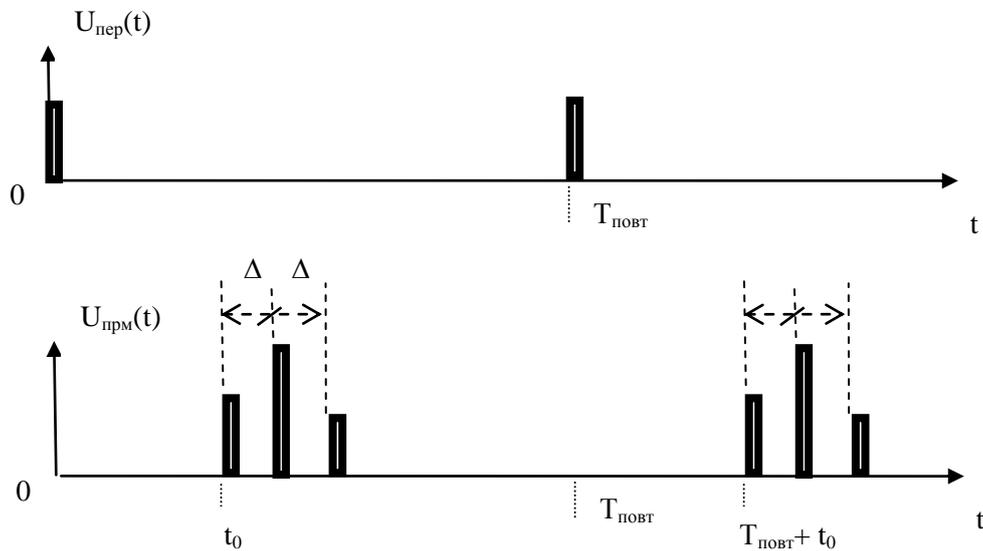


Рис.3. Эпюры напряжений в тактах приема-передачи

Например, для ситуации, показанной на рис.2, строгие формулы имеют вид:

$$x_{ц} = c \cdot \left(\Delta + \frac{t_0}{2} \right) - \frac{c^2}{2d} (\Delta^2 + t_0 \cdot \Delta) \quad (1)$$

$$y_{ц} = \sqrt{\left(\frac{c \cdot t_0}{2} \right)^2 - x_{ц}^2} \quad (2),$$

где c – скорость распространения сигнала в среде.

Ниже приводится пример для оценки порядка величин применительно к радиолокационной ситуации, показанной на рис.2. Пусть $d=2м$, а измерение временных интервалов показало, что $t_0 = 33нс$, а $\Delta = 5нс$. Тогда по формулам (1) и (2) получаем, что $X_{ц} = 2,2м$ и $Y_{ц} = 4,65м$. Предлагаемый способ формирования и обработки зондирующего сигнала в случае реализации разрешающей способности 5 нс

позволяет получить измерение расстояния с погрешностью менее 0,75 м. Наиболее сложным вопросом для реализации данного способа является обработка сигнала в полосе 200 МГц и более.

Следует отметить, что в описываемом способе локации определение положения цели производится непосредственно в прямоугольной системе координат без использования направленных свойств антенны. В этом способе снимается проблема неоднозначности измерения углов, характерная для интерферометрических методов. Отсутствует также необходимость перемещения сверхширокополосной РЛС (сканирование), что характерно, например, для георадаров.

Для определения положения целей в трехмерном пространстве необходимо использовать третью импульсную слабонаправленную антенну. В портативных системах для выполнения функции третьей антенны может быть использована антенна А2, установленная на конце вращающейся штанги. Такой прием для имитации двумерной антенны используется в технике георадаров [2].

Аппаратура, использующая описанный принцип локации, может быть применена в частности в охранных системах, в том числе подводного базирования, системах скрытого наблюдения через преграды (стены), в системах гуманитарного разминирования и т.д.

Вышеописанный способ измерения пространственных координат цели может быть использован и в радионавигационных системах ближнего действия. В этом случае навигационная аппаратура в виде сверхкороткоимпульсного запросчика устанавливается на объекте, а двухэлементный переизлучатель сверхкоротких импульсов (маяк) в точке с известными координатами.

Литература

1. Г.С. Нахмансон. Пространственно-временная обработка широкополосных сигналов. М. «Радиотехника», 2015г.
2. F.Sabath, D.V.Giry. Ultrawideband, Short Pulse Electromagnetics 9. Springer. 2010, p 388.