

УДК 621.396.96

А.В. Мякинъков, Д.М.Смирнова, С.В. Шишанов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ЦЕЛЕЙ В МНОГОПОЗИЦИОННОЙ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ РЛС

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрены методы определения координат целей в многопозиционной сверхширокополосной радиолокационной системе. Предложен способ уменьшения вычислительной сложности алгоритма измерения координат. Для уменьшения размерности векторов первичных измерений предложен алгоритм сортировки первичных измерений, который позволяет исключить избыточную информацию после предварительной локализации цели. Приведены результаты математического моделирования.

Ключевые слова: многопозиционная радиолокационная система, метод измерения координат, точечная отметка цели, ложная отметка, вектор первичных измерений.

Введение

Сверхширокополосные радиолокационные системы (СШП РЛС) обеспечивают высокую разрешающую способность по дальности и точность измерения координат целей [1,2]. Это играет определяющую роль при построении систем ближнего действия, в задачи которых входит, например, обнаружение и определение координат объектов (людей) в закрытом помещении [3, 4]. Дополнительные преимущества по разрешающей способности и точности определения координат объектов обеспечиваются применением многопозиционной конфигурации СШП РЛС [1, 5]. Многопозиционная сверхширокополосная РЛС, обеспечивающая радиолокационный обзор вокруг автомобиля, может применяться для решения задач обеспечения безопасности дорожного движения [6].

В многопозиционных СШП РЛС для формирования совместной зоны обнаружения нескольких разнесенных позиций на расстояниях, сравнимых с расстоянием между позициями, могут применяться слабонаправленные антенны [5,6]. При использовании короткоимпульсного СШП сигнала на каждой из позиций такой системы можно измерить только дальность до объекта. Используя измерения дальностей, полученные различными позициями до одного и того же объекта, можно различными способами вычислить его координаты.

Для определения координат цели дальномерным методом необходимо не менее двух приемных позиций, каждая из которых позволяет измерить время задержки отраженного сигнала и оценить дальность до цели [7]. Однако в многоцелевой ситуации дальномерный метод не позволяет однозначно измерить координаты целей [5].

В условиях многоцелевой обстановки для однозначного измерения координат целей необходимо использовать не менее трех позиций многопозиционной РЛС [5,7]. В качестве первой группы оценок координат целей можно найти точки пересечения линий положения (окружностей), соответствующих крайним приемным позициям. Затем из полученной группы точек следует отобрать те, которые находятся на таких дальностях от фазового центра приемной позиции, в окрестности которых в центральном приемном канале также обнаружены цели. Недостатком описанного метода является то, что в центральном канале в окрестности той же дальности может быть обнаружен другой объект, находящийся в другой азимутальной позиции.

Постановка задачи

Местоположение целей определяется по пересечению линий положения. При наличии случайных ошибок измерения дальностей вместо линий положения получим области конечной ширины. Увеличение числа целей и среднеквадратического отклонения (СКО) ошибок

измерения координат пересечение этих областей неопределенности приводит к появлению ложных отметок. Описанная ситуация иллюстрируется на рис. 1, где дугами окружностей показаны линии положения, кружками положение целей, а крестами – локализация ложных отметок. Среднее число возникающих ложных отметок целей тем больше, чем больше целей в зоне обнаружения и больше СКО ошибок измерения дальности каждой из позиций.

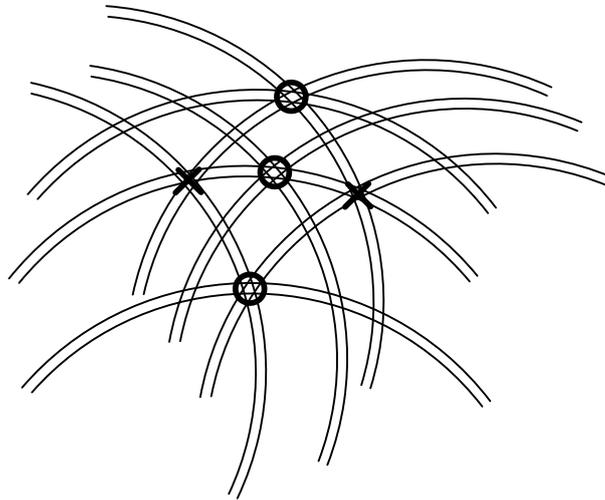


Рис. 1. Формирование ложных отметок целей

В работе [5] предложен способ уменьшения вероятности появления ложных отметок, основанный на межобзорной идентификации точечных отметок целей. Способ заключается в вычислении координат целей двумя различными методами и выборе совпадающих результатов.

При наличии трех измерений дальностей до цели, полученных в трех разнесенных позициях, координаты цели можно определить пеленгационно-дальномерным, дальномерно-суммарно-дальномерным и разностно-дальномерным методами [6,7]. Однако при малом, по сравнению с дальностью до цели, расстоянии между приемными позициями точность определения координат дальномерно-суммарно-дальномерным и разностно-дальномерным методами оказывается неудовлетворительной [3].

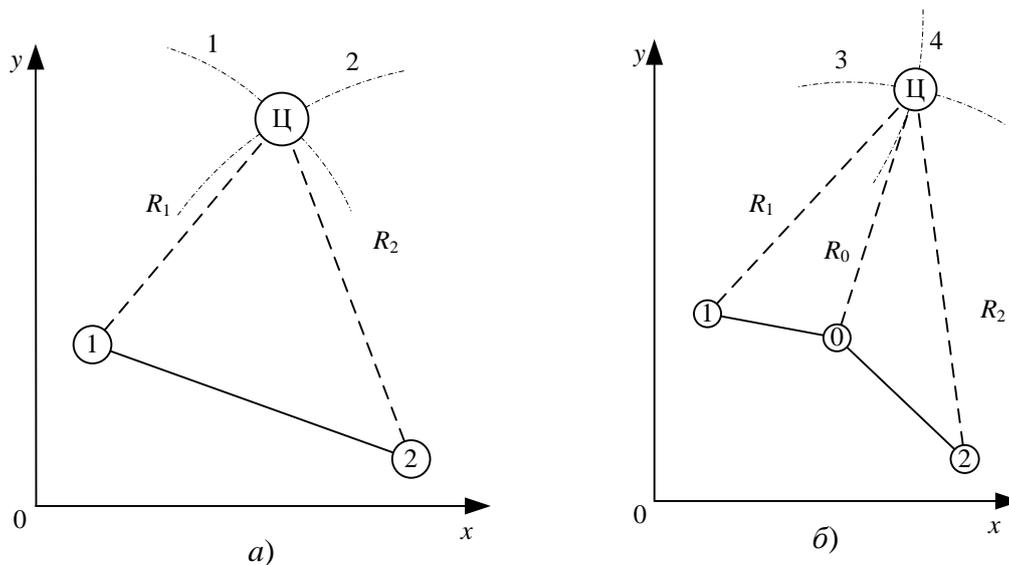


Рис. 2. Геометрия системы

При использовании алгоритма объединения векторов, описанном в [5], в качестве первой группы отметок могут использоваться точки пересечения линий положения, постро-

енных по измерениям дальностей R_1 и R_2 до цели в крайних приемных позициях системы (рис. 2, а), а в качестве второй группы – оценки местоположения целей, полученные по измерениям разности дальностей в крайних позициях и дальности R_0 в центральной приемной позиции (рис. 2, б).

На рис. 2 цифрами 1 и 2 показаны фрагменты линий положения для дальномерного метода измерения координат (окружности), цифрами 3 и 4 – фрагменты линий положения для пеленгационно-дальномерного метода (окружность и гипербола).

В многоцелевой ситуации каждая группа точек будет содержать как правильные, так и ложные отметки целей. Обозначим две группы отметок векторами:

$$\vec{G}_1 = \begin{bmatrix} x_1^{(1)} & y_1^{(1)} \\ x_2^{(1)} & y_2^{(1)} \\ \dots & \dots \\ x_{N_1}^{(1)} & y_{N_1}^{(1)} \end{bmatrix} = \mathbf{F}_1 \begin{bmatrix} r_{11}, r_{21} \\ r_{11}, r_{22} \\ \dots \\ r_{1N}, r_{2N} \end{bmatrix}, \quad \vec{G}_2 = \begin{bmatrix} x_1^{(2)} & y_1^{(2)} \\ x_2^{(2)} & y_2^{(2)} \\ \dots & \dots \\ x_{N_2}^{(2)} & y_{N_2}^{(2)} \end{bmatrix} = \mathbf{F}_2 \begin{bmatrix} r_{11}, \Delta r_{21} \\ r_{11}, \Delta r_{22} \\ \dots \\ r_{1N}, \Delta r_{2N} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где \vec{G}_1 – вектор отметок, полученных дальномерным методом, \vec{G}_2 – вектор отметок, полученных пеленгационно-дальномерным методом, $r_{11} \dots r_{1N}, r_{21} \dots r_{2N}$ – оценки соответствующих дальностей от приемных позиций до целей, $\Delta r_{21} \dots \Delta r_{2N}$ – оценки разности дальностей от крайних приемных позиций до целей, \mathbf{F}_1 и \mathbf{F}_2 – нелинейный векторный функционал, который реализует операцию оценки координат целей соответствующим методом, N – число целей, $x_1^{(1)} \dots x_{N_1}^{(1)}$ и $y_1^{(1)} \dots y_{N_1}^{(1)}$ – координаты цели, вычисленные дальномерным методом, $x_1^{(2)} \dots x_{N_2}^{(2)}$ и $y_1^{(2)} \dots y_{N_2}^{(2)}$ – координаты цели, вычисленные пеленгационно-дальномерным методом, N_1 – размерность вектора \vec{G}_1 , N_2 – размерность вектора \vec{G}_2 .

В качестве оценок местоположения объектов следует выбирать те элементы векторов \vec{G}_1 (\vec{G}_2), для которых выполняется условие $d_{ij} < R_{ij}$, где d_{ij} – евклидово расстояние между отметками, i, j – номера отметок цели, полученных дальномерным и разностно-дальномерным методами, R_{ij} – радиус области неопределенности в точках $\vec{r}_i^{(1)}, \vec{r}_j^{(2)}$, который зависит от величины флуктуационных ошибок измерения дальности:

$$d_{ij} = D(\vec{r}_i^{(1)}, \vec{r}_j^{(2)}) = \sqrt{(x_i^{(1)} - x_j^{(2)})^2 + (y_i^{(1)} - y_j^{(2)})^2},$$

$$R_{ij} = k \sqrt{\sigma_x^2(\vec{r}_i^{(1)}, \vec{r}_j^{(2)}) + \sigma_y^2(\vec{r}_i^{(1)}, \vec{r}_j^{(2)})},$$

где x_i, y_i – элемент вектора \vec{G}_1 с номером i , x_j, y_j – элемент вектора \vec{G}_2 с номером j , величина k выбирается исходя из допустимых вероятностей появления ложной отметки и пропуска истинной, σ_x^2, σ_y^2 – дисперсии ошибок измерения координат объектов в окрестности предполагаемого местоположения.

Способ уменьшения размерности анализируемых векторов

С увеличением числа целей резко возрастают размерности векторов \vec{G}_1 и \vec{G}_2 . Для дальномерного метода размерность вектора \vec{G}_1 увеличивается пропорционально N^2 , для пеленгационно-дальномерного метода размерность вектора \vec{G}_2 увеличивается пропорционально $2 \cdot N^3$, где N – число целей, обнаруженных в центральной позиции [1]. Поэтому в многоцелевой обстановке становится актуальной задача уменьшения вычислительной сложности алгоритма измерения координат. Для решения этой задачи предлагается алгоритм предварительной сортировки первичных измерений, позволяющий сократить размерность векторов \vec{G}_1 и \vec{G}_2 .

При вычислении координат дальномерным методом можно учесть, что если дальность до некоторой цели от левой приемной позиции равна R_1 , то дальность до этой же цели из правой приемной позиции будет лежать в области, ограниченной максимально и минимально возможными дальностями R_{\max} и R_{\min} , которые определяются как длины отрезков от правой приемной позиции до точек пересечения окружности радиуса R_1 с границами зоны обнаружения (рис. 3, а).

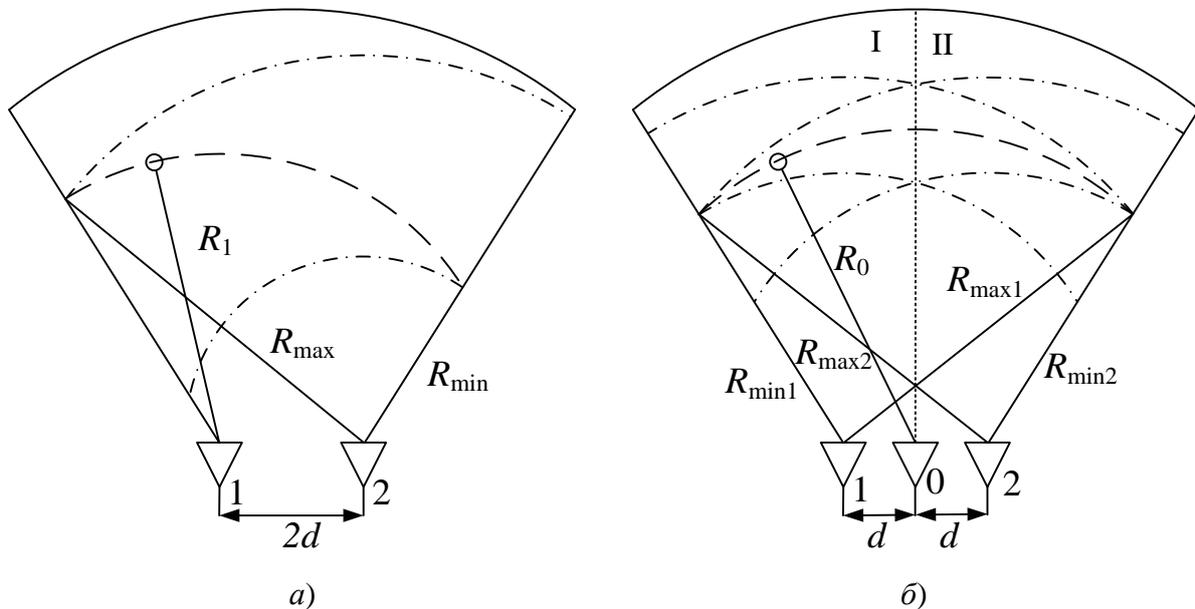


Рис. 3. Пояснение принципа уменьшения числа ложных отметок

При вычислении координат пеленгационно-дальномерным методом можно учесть, что если дальность до цели от центральной приемной позиции равна R_0 , то дальности до этой же цели из крайних позиций, аналогично, будут лежать в соответствующих областях, ограниченных максимально и минимально возможными дальностями $R_{\max1}$ и $R_{\min2}$, $R_{\max2}$ и $R_{\min1}$, которые определяются как длины отрезков от соответствующих крайних приемных позиций до точек пересечения окружности с радиусом R_0 с границами зоны обнаружения (рис. 3, б).

Таким образом, для уменьшения размерности векторов \vec{G}_1 и \vec{G}_2 , при оценке координат целей необходимо учитывать только те значения дальностей, которые принадлежат соответственно следующим интервалам:

$$R_{1\min} < R_1 < R_{1\max},$$

$$R_{2\min} < R_2 < R_{2\max}.$$

Для каждой пары разности дальностей до цели $\Delta R = R_1 - R_2$ и дальности до цели в центральной позиции R_0 пеленгационно-дальномерный метод дает две оценки координат [6]. При вычислении координат цели можно исключить часть ложных отметок целей, определив положение цели относительно центральной приемной позиции (рис. 3, б). Если разность дальностей ΔR отрицательная, то цель располагается в левой полуплоскости (I), если разность дальностей ΔR положительная, то в правой полуплоскости (II).

Таким образом, при использовании пеленгационно-дальномерного метода измерения координат, размерность вектора измерений (\vec{G}_2) можно сократить в два раза.

В пределе размерность векторов \vec{G}_1 и \vec{G}_2 уменьшается до N - числа обнаруженных целей в центральной приемной позиции.

Результаты математического моделирования

Предложенный способ уменьшения числа ложных отметок исследовался методом математического моделирования. При этом полагали, что расстояние между приемными позициями $d = 1$ м, сектор обзора равен 120° , максимальная дальность обнаружения равна 30 м. Результаты усреднялись по 100 реализациям случайного размещения целей в зоне обнаружения.

На рис. 4 приведены графики зависимости размерностей N_1 и N_2 векторов \vec{G}_1 и \vec{G}_2 от числа целей N . Кривые 1 и 3 соответствуют исходной размерности векторов \vec{G}_1 и \vec{G}_2 , кривые 2 и 4 – после применения предложенного способа уменьшения числа ложных отметок, N – число целей.

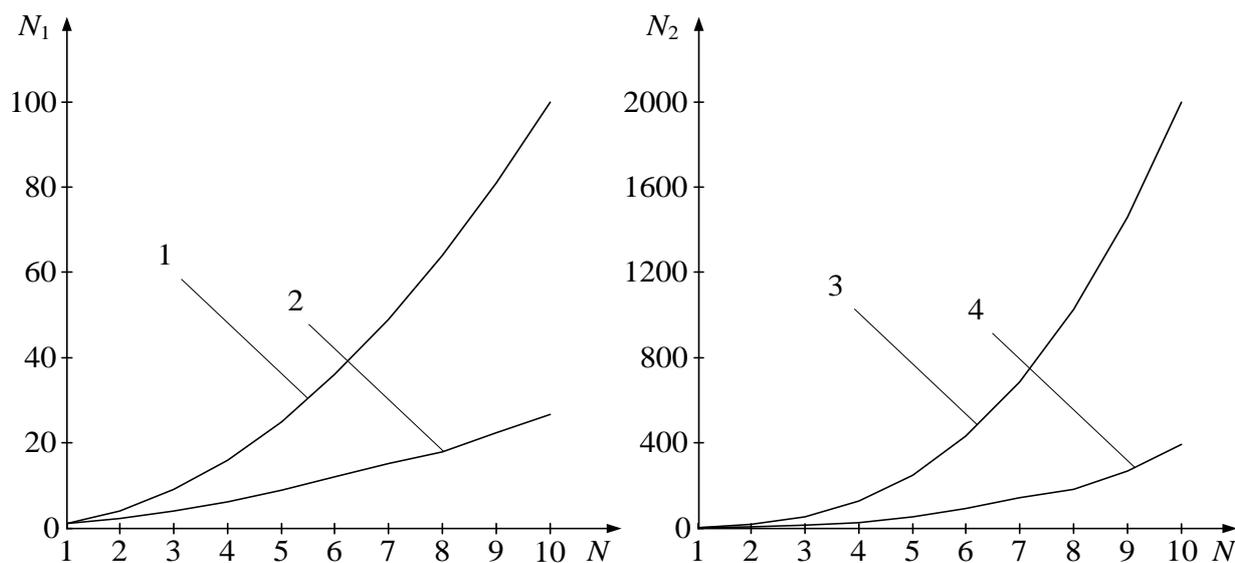


Рис. 4. Размерность векторов \vec{G}_1 и \vec{G}_2 при различном числе целей до и после использования алгоритма

Из рис. 4 видно, что предложенный способ снижения вычислительной сложности алгоритма определения координат целей позволяет уменьшить размерности объединяемых векторов \vec{G}_1 и \vec{G}_2 . При числе обнаруженных целей $N=10$ способ обеспечивает сокращение размерности векторов \vec{G}_1 и \vec{G}_2 в среднем в пять раз.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-37-20383 мол_а_вед.

Библиографический список

1. **Чапурский, В.В.** Избранные задачи теории сверхширокополосных радиолокационных систем / В.В. Чапурский. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 279 с.
2. **Иммореев, И.Я.** Сверхширокополосные радары. Особенности и возможности // Радиотехника и электроника. – 2009. – Т. 54. – № 1. – С. 5–31.
3. **Андрянов, А.В.** Устройства для обнаружения и мониторинга живых движущихся объектов с использованием короткоимпульсных сверхширокополосных измерительных сигналов / А.В. Андрянов [и др.] // Успехи современной радиоэлектроники. – 2009. – Вып. 1–2. – С. 73–82.
4. **Андрянов, А.В.** Обработка сигналов сверхширокополосного радара с антенной решеткой / А.В. Андрянов, А.В. Мякинков // Радиотехника. – 2011. – № 6. – С. 31–36.
5. **Myakinkov, A. V.** Measurement of coordinates of the targets placed behind of radio-transparent

- barrier with multi-static ultra-wide band radar / A. V. Myakinkov, D. M. Smirnova // Ultrawideband and ultrashort impulse signals. Ukraine: Sevastopol, 6-12 September 2010. – P. 1–3.
6. **Шишанов, С. В.** Система кругового обзора транспортных средств на основе сверхширокополосных датчиков / С. В. Шишанов, А. В. Мякинков // Известия вузов России. Радиоэлектроника. – 2015. – №2. – С. 55–60.
 7. **Кондратьев, В. С.** Многопозиционные радиотехнические системы / В.С. Кондратьев, А.Ф. Котов, Л. Н. Марков; под ред. В. В. Цветнова. – М.: Радио и связь, 1986. – 264 с.

*Дата поступления
в редакцию 22.10.2015*

A.V. Myakinkov, D.M. Smirnova, S.V. Shishanov

TARGET COORDINATE MEASUREMENT IN MULTI-STATIC ULTRA WIDEBAND RADAR

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: The purpose is to develop approach providing reduction of required computational power for target tracking in multi-static ultra wideband radar when observing multiple targets via omni-directional antennas.

Approach/method: To reduce the sizes of vectors of primary parameters used for target identification, the algorithm of preliminary sorting of measurements is used. This algorithm allows excluding of excess information after specifying of possible location of target inside of observation area.

Findings: When big quantity of targets is observed, the proposed technique provides significant reduction of computational complexity of target identification. For the case when more than ten targets are detected, five times reduction takes place.

Research implications: The proposed algorithm can be applied in ultra wideband multi-static radars aimed for detection of targets placed behind of radio-transparent barrier as well as in automotive radars providing observation of targets around the vehicle.

Key words : multi-radar system, method of measuring coordinates, point, mark target, the mark is false, the vector of primary measurements.