

УДК 535.317.1

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КООРДИНАТ ТОЧЕЧНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ДВУХМЕРНЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

М.В. Самойленко^а

^аМосковский авиационный институт МАИ (национальный исследовательский университет), Москва, 125080, Российская Федерация

Адрес для переписки: Samoi.Mar@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию 25.04.17, принята к печати 30.05.17

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-4-651-657

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Самойленко М.В. Восстановление пространственных координат точечных объектов по двумерным изображениям // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 4. С. 651–657. doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-4-651-657

Аннотация

Предложен метод восстановления пространственных координат точечных объектов, расположенных в свободном пространстве, а также их количества и интенсивностей излучения. Необходимой измеряемой информацией являются стереоизображения контролируемой области пространства, полученные с помощью телевизионной или тепловизионной системы. Пространственные положения плоскостей изображений предполагаются известными. Метод основан на томографическом подходе в обработке сигналов. Для его реализации контролируемая область пространства разбивается на элементы разрешения с известными пространственными координатами. Размер элемента разрешения задает точность определения пространственных координат объектов. С помощью предлагаемого метода восстанавливается вектор распределения интенсивностей излучения по элементам разрешения. Этот вектор содержит информацию о количестве, пространственных положениях и мощностях излучения наблюдаемых объектов. Номера компонент, значения которых превышают фоновый уровень, являются номерами элементов разрешения, в которых есть объекты, а значения и количество этих компонент определяют интенсивности излучений и количество объектов соответственно. Реализация метода не требует идентификации точек на изображениях. Не требуется активных устройств, что обеспечивает возможность реализации пассивной системы наблюдения за объектами. Широта поля зрения систем регистрации изображений позволяет решать одновременно задачи обнаружения и восстановления пространственных координат объектов в контролируемой области пространства.

Ключевые слова

томографический подход, точечные объекты, двумерные изображения, пространственные координаты, восстановление

RECONSTRUCTION OF POINT OBJECTS SPATIAL COORDINATES FROM TWO-DIMENSIONAL IMAGES

M.V. Samoilenko^a

^aMoscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, 125080, Russian Federation

Corresponding author: Samoi.Mar@mail.ru

Article info

Received 25.04.17, accepted 30.05.17

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-4-651-657

Article in Russian

For citation: Samoilenko M.V. Reconstruction of point objects spatial coordinates from two-dimensional images. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2017, vol. 17, no. 4, pp. 651–657 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-4-651-657

Abstract

The paper presents a method of reconstruction of spatial coordinates for the point objects, located in free space, together with their number and radiation light intensity. The required information to be measured consists of the stereo images of the observed area received by the television or thermal imaging system. The image planes spatial positions are taken to be known. The method is based on the tomography approach in signal processing. For its implementation the observed space area is divided into resolution elements with known spatial coordinates. Resolution element size specifies determination accuracy of the object spatial coordinates. The suggested method makes it possible to restore a vector of optical radiation intensity distribution over the resolution elements of the observed area. This vector contains the information on the number

and spatial coordinates of objects as well as their radiation power. Component numbers with values that exceed the background level are the numbers of resolution elements with the objects, the amount of such components is the amount of objects, while their values determine the radiation intensity. The main advantage of the method is that it does not require points identification on the images for solving the problem. No active scanners or range measured channels are required that gives the possibility for the passive object observation. The breadth of view limits of image registration systems enables to solve simultaneously both the tasks of detection and reconstruction of spatial coordinates of objects in the observed space area.

Keywords

tomography approach, point objects, two-dimensional images, spatial coordinates, reconstruction

Введение

В работе приводится решение задачи восстановления пространственных координат точечных объектов, находящихся в свободном пространстве, по их двухмерным стереоизображениям. По сути, это задача оптической локации точечных объектов. К настоящему времени разработано множество методов и вариантов построения оптических локационных систем [1–5]. Они разделяется на активные [1, 2], или лазерные, и пассивные [3–5], в которых зондирующее излучение отсутствует.

Пассивные локационные системы в качестве измеряемых данных используют телевизионные или тепловизионные изображения. В таких системах для определения искомым локационных параметров наблюдаемых точечных объектов используются стереоизображения, т.е. изображения одной и той же области пространства в различных ракурсах. Описана, например, система, позволяющая по двум стереоизображениям определять дальность объекта [5]. Возможно определение расчетным путем и угловых координат, однако просто эта задача решается лишь в случае единственного объекта в поле зрения.

Если же точечных объектов несколько, то известные методы обработки стереоизображений оказываются неприменимыми. Объясняется это следующим. Существующие методы определения пространственных координат точек по их стереоизображениям основаны на одном общем принципе. Он заключается в необходимости предварительной идентификации изображений, т.е. выявлении на изображениях соответственных точек, которые являются изображениями одной и той же пространственной точки. После этого пространственные координаты точек рассчитываются известным образом по координатам их изображений. Выявление соответственных точек и определяет разнообразие методов определения пространственных координат [6–14] объектов. Так, возможен корреляционный подход, когда соответственные точки определяются по окружающим их фрагментам изображений [8, 9]. Однако при неструктурированных изображениях, что имеет место в решаемой задаче, такой подход неприменим. Другим вариантом является подсветка – лазерная [10], организованная специальным образом, фактически структурирующая пространство для выявления соответственных точек, или структурированная световая [11, 12]. Но и этот подход оказывается нереализуемым при нахождении точечных объектов в свободном пространстве, которое не отражает излучение и по этой причине не позволяет таким методом структурировать изображения.

В настоящей работе предлагается новый метод восстановления пространственных координат точечных объектов, находящихся в свободном пространстве. Он основан на томографическом подходе в обработке сигналов [15], который разрабатывается автором. Этот метод позволяет обойтись без выявления соответственных точек на изображениях и является пассивным, не требующим подсветки.

Отметим также, что принцип реализации метода позволяет определять не только количество и координаты всех находящихся в контролируемой области пространства объектов, но и интенсивности их излучений. Таким образом, появляется возможность получать дополнительную, некоординатную информацию, актуальную для решения различных задач вторичной обработки, например, для распознавания объектов.

Постановка задачи

Пусть известна контролируемая область пространства Ω , в которой находится множество точечных объектов, имеющих собственное излучение (или переизлучение) в видимом или тепловом диапазоне. Ставится задача пассивными средствами, по зарегистрированным изображениям, определить пространственные координаты этих объектов, а также интенсивности их излучений.

Полагаем, что имеется M стереоизображений контролируемой области пространства. Под стереоизображениями понимаются изображения одной и той же сцены в разных ракурсах; при этом не будем ограничивать базу стереоскопичности, полагая, что она может быть большой, т.е. изображения контролируемой области пространства могут регистрироваться из разных точек пространства, расстояние между которыми не ограничено. Изображения могут формироваться телевизионными или тепловизионными системами.

Обозначим функцией $f(\mathbf{p})$ распределение интенсивности по контролируемой области пространства Ω , где \mathbf{p} – трехмерный координатный вектор. Представим отображение контролируемой области

пространства на плоскость изображения в виде линейной системы отображения (рис. 1), где \mathbf{r} – двухмерный координатный вектор плоскости изображения; $g(\mathbf{r})$ – распределение интенсивности в плоскости изображения; $h(\mathbf{p}, \mathbf{r})$ – характеристика отображателя.



Рис. 1. Линейная система отображения контролируемой области пространства с точечными объектами в двумерное изображение

Формирование изображения этой системы опишем интегральным уравнением

$$g(\mathbf{r}) = \int_{\Omega} h(\mathbf{p}, \mathbf{r}) f(\mathbf{p}) d\mathbf{p}. \quad (1)$$

В этом выражении функция $g(\mathbf{r})$ известна – это зарегистрированное изображение. Характеристику отображателя $h(\mathbf{p}, \mathbf{r})$ тоже полагаем известной. Искомой является функция $f(\mathbf{p})$ распределения интенсивности по контролируемой области пространства. В случае нескольких точечных источников $f(\mathbf{p})$ будет иметь δ -образный вид с несколькими максимумами, обусловленными пространственными координатами, количеством и интенсивностями источников. В соответствии с выражением (1) задача заключается в определении функции, входящей в подынтегральное выражение.

Для решения задачи используем томографический подход в обработке сигналов. В терминах этого подхода $f(\mathbf{p})$ – функция-оригинал, для восстановления которой необходимо сформировать ее томографическое отображение, которое представляет собой множество интегралов, полученных при различающихся условиях интегрирования. Интегральное уравнение (1) в этом смысле является аналогом интегрального уравнения Радона – основы классической томографии; различие заключается в том, что вместо интегрирования по прямой производится интегрирование по контролируемой области пространства Ω , а вместо различающихся путей интегрирования фигурируют различающиеся условия интегрирования, которые задаются характеристикой отображателя $h(\mathbf{p}, \mathbf{r})$.

Перейдем к дискретному варианту задачи. Для этого разобьем контролируемую область пространства на элементы разрешения (ЭР) $\Delta\Omega$, пронумеруем их и зафиксируем координаты, обозначив их трехмерными векторами $\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \dots, \mathbf{p}_N$, где N – число ЭР в контролируемой области пространства. С учетом сделанного разбиения перепишем (1) в виде интегральной суммы

$$g(\mathbf{r}) = \sum_{i=1}^N \Delta\Omega h(i \Delta\Omega, \mathbf{r}) f(i \Delta\Omega) = \sum_{i=1}^N h_i(\mathbf{r}) f_i = \mathbf{h}^T(\mathbf{r}) \mathbf{f}, \quad (2)$$

где $h_i(\mathbf{r}) = \Delta\Omega h(i \Delta\Omega, \mathbf{r})$ – весовой коэффициент, характеризующий преобразование интенсивности i -го ЭР в точку на плоскости изображения с координатным вектором \mathbf{r} ; $f_i = f(i \Delta\Omega)$ – интенсивность излучения i -го ЭР в видимом или тепловом диапазоне; $\mathbf{h}(\mathbf{r}) = [h_1(\mathbf{r}) h_2(\mathbf{r}) \dots h_N(\mathbf{r})]^T$ – весовой вектор; $\mathbf{f} = [f_1 f_2 \dots f_N]^T$ – вектор-оригинал, представляющий собой дискретизированную по ЭР функцию-оригинал $f(\mathbf{p})$, индекс T обозначает транспонирование.

В дискретном варианте интегральное уравнение (1) заменяется интегральной суммой (2), функция-оригинал $f(\mathbf{p})$ – вектором-оригиналом \mathbf{f} , а условия интегрирования – это весовой вектор $\mathbf{h}(\mathbf{r})$, определяемый формирователем изображения. Решение задачи теперь заключается в восстановлении вектора-оригинала \mathbf{f} по множеству интегральных сумм.

В идеальном случае компоненты вектора \mathbf{f} равны либо 0, если источников в соответствующих ЭР нет, либо интенсивностям источников, находящихся в этих ЭР. Таким образом, по восстановленному вектору \mathbf{f} можно определить количество, пространственные координаты и интенсивности излучения объектов в контролируемой области пространства.

Метод решения

Найдем координаты всех ЭР контролируемой области пространства на плоскости изображения. Для этого необходимо определить характеристику формирователя изображения. Она зависит от параметров оптической системы, удаленности ее от контролируемой области пространства, атмосферных условий. Чтобы сконцентрировать внимание на сути предлагаемого метода, рассмотрим упрощенный вариант формирователя изображения: примем модель ортогонального проецирования, исключив из рассмотрения влияние искажений, вносимых оптической системой и условиями распространения излучения. Фактически, это модель идеального отображателя. Для определения проецирующего оператора введем в рассмотрение базовую систему координат с направляющими ортами $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$. Будем полагать, что плоскость изображения перпендикулярна вектору \mathbf{R} размером 3×1 , заданному в базовой системе координат. Найдем оператор проецирования на эту плоскость.

Согласно [16], оператор проецирования на вектор \mathbf{R} определяется выражением $\mathbf{P}_R = \frac{\mathbf{R}\mathbf{R}^T}{\mathbf{R}^T\mathbf{R}}$, а оператор проецирования на ортогональную вектору \mathbf{R} плоскость (плоскость изображения) – оператором

$$\mathbf{Q} = \mathbf{I} - \mathbf{P}_R = \mathbf{I} - \frac{\mathbf{R}\mathbf{R}^T}{\mathbf{R}^T\mathbf{R}}. \tag{3}$$

Оператор ортогонального проецирования \mathbf{Q} , как и оператор \mathbf{P}_R , имеет размер 3×3 ; проецируемые с его помощью векторы будут иметь размер 3×1 , а расположены они будут в плоскости, ортогональной вектору \mathbf{R} (в плоскости изображения). Найдем базисные орты плоскости изображения. Будем полагать, что направление базисного орта оси ординат \mathbf{j}_0 определяется проекцией базисного орта \mathbf{j} базовой системы координат на плоскость изображения, а базисный орт оси абсцисс \mathbf{i}_0 составляет с векторами \mathbf{j}_0 и \mathbf{R} правую систему координат. Это значит, что $\mathbf{j}_0 = \mathbf{Q}\mathbf{j}$, $\mathbf{i}_0 = \frac{[\mathbf{j}_0\mathbf{R}]}{[[\mathbf{j}_0\mathbf{R}]]}$, где оператор \mathbf{Q} определяется выражением (3); $[\mathbf{j}_0\mathbf{R}]$ – векторное произведение; $[[\mathbf{j}_0\mathbf{R}]]$ – модуль векторного произведения.

Чтобы определить положения всех ЭР на плоскости изображения, необходимо найти проекции их координатных векторов $\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \dots, \mathbf{p}_N$ на оси координат, задаваемые ортами $\mathbf{i}_0, \mathbf{j}_0$. Проецирующие на эти оси операторы определяются выражениями

$$\mathbf{P}_{i_0} = \frac{\mathbf{i}_0\mathbf{i}_0^T}{\mathbf{i}_0^T\mathbf{i}_0} = \mathbf{i}_0\mathbf{i}_0^T, \quad \mathbf{P}_{j_0} = \frac{\mathbf{j}_0\mathbf{j}_0^T}{\mathbf{j}_0^T\mathbf{j}_0} = \mathbf{j}_0\mathbf{j}_0^T. \tag{4}$$

В выражениях (4) учтены равенства $\mathbf{i}_0^T\mathbf{i}_0 = 1, \mathbf{j}_0^T\mathbf{j}_0 = 1$. Таким образом, проецирующий оператор на оси плоскости изображения равен $\mathbf{P}_0 = \begin{bmatrix} \mathbf{i}_0^T \\ \mathbf{j}_0^T \end{bmatrix}$ и имеет размер 2×3 , а проекция вектора \mathbf{p}_i на эту плоскость определяется выражением

$$\mathbf{p}_{i0} = k_i \mathbf{P}_0 \mathbf{p}_i, \tag{5}$$

в котором вектор \mathbf{p}_i – трехмерный вектор пространственных координат i -го ЭР; \mathbf{p}_{i0} – двумерный вектор координат проекции \mathbf{p}_i на плоскость изображения; k_i – масштабирующий коэффициент, определяемый параметрами системы формирования изображения и расстоянием до i -го ЭР. Значения k_i для всех ЭР могут быть рассчитаны из геометрических соотношений.

Подставляя в (5) координатные векторы всех ЭР, получим проекции центров ЭР на плоскость изображения. Чтобы получить области изображений ЭР, окружим проекции центров ЭР областями с равнотстоящими от соседних центров границами. При этом не обязательно все ЭР займут отдельные участки плоскости изображения: они могут накладываться, попадая в один участок плоскости изображения, который назовем *элементом площади* (ЭП). Количество ЭП может быть меньшим, чем число ЭР в контролируемой области пространства; оно равно количеству различающихся на изображении проекций ЭР. Если в накладывающихся ЭР есть объекты, то интенсивности их будут суммироваться в одном ЭП, что отвечает рассматриваемой модели точечных объектов.

Пронумеруем получившиеся на изображении ЭП, например, в соответствии со строчно-столбцовой разверткой. Сформируем для каждого ЭП весовой вектор \mathbf{h} , который включает столько компонент, сколько всего элементов разрешения содержит контролируемая область пространства, причем i -я компонента вектора \mathbf{h} равна 1, если изображение i -го элемента разрешения совпадает с данным элементом площади, и равна 0, если не совпадает. Тогда интенсивность k -го ЭП определится формулой

$$g_k = \sum_{i=1}^N h_{ki} f_i = \mathbf{h}_k^T \mathbf{f}, \quad (6)$$

где \mathbf{h}_k – весовой вектор k -го ЭП, h_{ki} и f_i – i -я компонента векторов \mathbf{h}_k и искомого вектора \mathbf{f} . Измерим интенсивность изображения в каждом элементе площади и составим из них вектор изображения \mathbf{g} , в котором измеренные интенсивности располагаются в соответствии с номерами ЭП: $\mathbf{g} = [g_1 \ g_2 \ \dots \ g_K]^T$, а все весовые векторы объединим в весовую матрицу $\mathbf{H} = [\mathbf{h}_1 \ \mathbf{h}_2 \ \dots \ \mathbf{h}_K]$, имеющую смысл характеристики отображателя, где K – число ЭП на плоскости изображения. С учетом этих обозначений и в соответствии с (6), опишем изображение контролируемой области пространства выражением $\mathbf{g} = \mathbf{H}^T \mathbf{f}$.

Представим таким образом все имеющиеся изображения:

$$\begin{aligned} \mathbf{g}_1 &= \mathbf{H}_1^T \mathbf{f}, \\ \mathbf{g}_2 &= \mathbf{H}_2^T \mathbf{f}, \\ &\dots \\ \mathbf{g}_M &= \mathbf{H}_M^T \mathbf{f}, \end{aligned} \quad (7)$$

где M – число изображений контролируемой области пространства; \mathbf{g}_i – вектор, описывающий i -ое изображение; \mathbf{H}_i – весовая матрица, характеризующая формирование i -го изображения. Заметим, что размеры векторов изображений в общем случае различны: \mathbf{g}_1 имеет размер $K_1 \times 1$, \mathbf{g}_2 – $K_2 \times 1$ и т.д. Соответствующие размеры имеют и матрицы $\mathbf{H}_1, \mathbf{H}_2, \dots$.

Составим уравнение отображения. Для этого объединим полученные для всех изображений весовые матрицы в матрицу $\mathbf{H}_0 = [\mathbf{H}_1 \ \mathbf{H}_2 \ \dots \ \mathbf{H}_M]$, где $\mathbf{H}_1 \ \mathbf{H}_2 \ \dots \ \mathbf{H}_M$ – весовые матрицы 1-го, 2-го, ... M -го изображений, а все векторы измерений объединим в вектор $\mathbf{g}_0 = [\mathbf{g}_1^T \ \mathbf{g}_2^T \ \dots \ \mathbf{g}_M^T]^T$. При этом размер вектора \mathbf{g}_0 будет равен $(K_1 + K_2 + \dots + K_M) \times 1$, а размер матрицы \mathbf{H}_0 – $N \times (K_1 + K_2 + \dots + K_M)$. С учетом введенных обозначений перепишем систему уравнений (7) в форме векторно-матричного уравнения

$$\mathbf{g}_0 = \mathbf{H}_0^T \mathbf{f}. \quad (8)$$

Это уравнение и является уравнением отображения, в котором \mathbf{g}_0 – вектор-отображение, \mathbf{H}_0^T – матрица отображения. Вектор-отображение и матрица отображения в этом уравнении известны: они определяются распределением интенсивностей по ЭП изображений и взаимным расположением контролируемой области пространства и плоскостей изображений соответственно.

Для восстановления вектора \mathbf{f} надо решить уравнение (8). При этом необходимо учитывать форму матрицы отображения, которая может быть существенно отличной от квадратной. Решение в этом случае можно получить, например, методом псевдообращения:

$$\mathbf{f}_{\text{вос}} = (\mathbf{H}_0^T)^+ \mathbf{g}_0, \quad (9)$$

где индекс $+$ обозначает операцию псевдообращения матрицы.

Компоненты вектора $\mathbf{f}_{\text{вос}}$ являются оценками интенсивностей излучения всех ЭР контролируемой области пространства. Это либо фоновое излучение, либо излучение объекта, существенно превышающее фоновое.

Осталось определить по этому вектору интересующие нас параметры. Для этого выделим компоненты вектора $\mathbf{f}_{\text{вос}}$, превышающие фоновый уровень интенсивности. Номера этих компонент – это номера ЭР, в которых есть объекты, их число определяет количество объектов. Пространственные координаты источников равны координатам ЭР, номера которых совпадают с номерами выделенных компонент вектора $\mathbf{f}_{\text{вос}}$. Соответственно, интенсивности излучения объектов определяются значениями выделенных компонент. Без учета пространственного ослабления интенсивности излучений источников равны значениям выделенных компонент.

Однако восстановление по формуле (9) возможно не всегда. Для восстановления необходимо, чтобы матрица отображения \mathbf{H}_0^T имела линейно независимые столбцы. Это объясняется следующим. При линейно независимых столбцах $(\mathbf{H}_0^T)^+ = (\mathbf{H}_0 \mathbf{H}_0^T)^{-1} \mathbf{H}_0$. Подставив это выражение в (9) с учетом (8), получим

$$\mathbf{f}_{\text{вос}} = (\mathbf{H}_0^T)^+ \mathbf{g}_0 = (\mathbf{H}_0 \mathbf{H}_0^T)^{-1} \mathbf{H}_0 \mathbf{H}_0^T \mathbf{f} = \mathbf{f},$$

что соответствует восстановлению вектора-оригинала. В противном случае вычисление псевдообратной матрицы даст иной результат, и восстановления не получится.

Компьютерное моделирование

Моделирование проводилось без учета коэффициентов масштабирования. На рис. 2 показано пространственное расположение множества точечных объектов и два изображения контролируемой области пространства, расположенных ортогонально векторам $\mathbf{R}_1 = (1, 1, 1)^T$ и $\mathbf{R}_2 = (-1, 4, 0)^T$. Число ЭР в контролируемой области пространства $N=125$; число ЭП, на которые спроецировались ЭР, составляет на первом изображении $K_1 = 61$, на втором $K_2 = 105$.

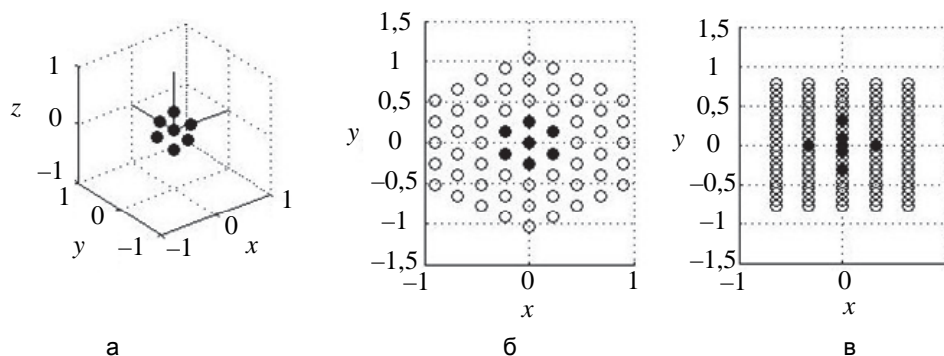


Рис. 2. Контролируемая область пространства (а) и ее изображения, полученные с направлений \mathbf{R}_1 (б) и \mathbf{R}_2 (в)

На изображениях кружками показаны проекции ЭР на плоскости изображения. Закрашенные кружки соответствуют проекциям ЭР, в которых есть объекты. При этом размеры векторов изображений составляют: $\mathbf{g}_1 - 61 \times 1$, $\mathbf{g}_2 - 105 \times 1$. Размер матрицы отображения \mathbf{H}_0^T составляет 166×125 , а вектора отображения $\mathbf{g}_0 - 166 \times 1$. Восстановленный по формуле (9) вектор-оригинал $\mathbf{f}_{\text{вос}}$ практически совпадает с истинным. Для определения по этому вектору пространственных координат выделяем его ненулевые компоненты. Номера этих компонент равны номерам ЭР, в которых находятся объекты, а значения соответствующих компонент равны интенсивностям их излучения. Восстановленный вектор $\mathbf{f}_{\text{вос}}$ и пространственные положения источников, определенные по нему, показаны на рис. 3.

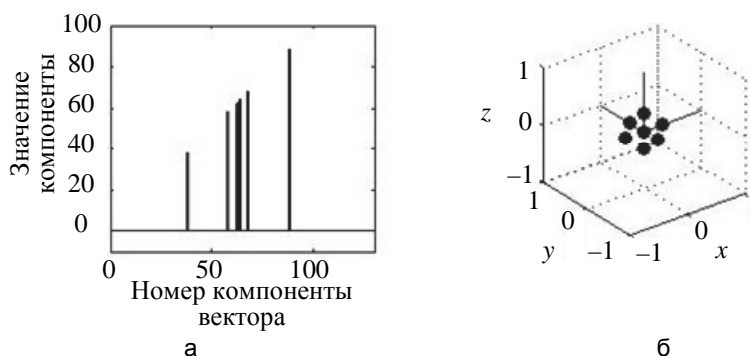


Рис. 3. Восстановленный вектор-оригинал (а) и определенные по нему пространственные положения объектов (б)

Как видно из рис. 2 и 3, пространственные положения источников восстановились по вектору $\mathbf{f}_{\text{вос}}$ правильно. Интенсивности источников задавались при моделировании равными номерам ЭР, в которых они находятся. Эти интенсивности тоже восстановились правильно в виде соответствующих значений компонент вектора $\mathbf{f}_{\text{вос}}$.

Заключение

Предложенный метод основан на томографическом подходе в обработке сигналов и имеет преимущества перед известными методами восстановления по изображениям точек их пространственных координат. Пространственные координаты точечных объектов определяются без обычного для решения этой задачи нахождения соответственных точек на изображениях. Это важное и принципиальное преимущество, поскольку задача идентификации точек достаточно сложно решается, особенно в случае, когда изображения не структурированы и все объекты – точечные, не имеющие различий в форме или других структурных особенностей, как это имеет место в рассматриваемой задаче.

В решении не используются и такие приемы, как активная лазерная подсветка или дальномерные устройства. Метод позволяет реализовать пассивную систему определения пространственных координат точечных объектов.

Принцип реализации метода ориентирован на использование оптических систем с широким полем зрения, в которое попадает вся контролируемая область пространства. Это обеспечивает возможность одновременно решать задачи обнаружения и определения пространственных координат объектов, а также их количества в контролируемой области пространства.

Появляется возможность определять, помимо пространственных координат, также и интенсивности излучения объектов, т.е. некоординатную информацию, которая может использоваться в интересах вторичной обработки, например, для идентификации объектов.

Литература

1. Устинов Н.Д., Матвеев И.Н., Протопопов В.В. Методы обработки оптических полей в лазерной локации. М.: Наука, 1983. 272 с.
2. Малебный В.В. Опτικο-локационные системы. М.: Машиностроение, 1981. 181 с.
3. Старовойтов Е. Современные технические средства пассивной оптической локации // Современная электроника. 2011. № 2. С. 40–43.
4. Лебедько Е.Г. Системы оптической локации: Учебное пособие для ВУЗов. СПб.: НИУ ИТМО, 2012. Ч. 2. 129 с.
5. Зубарь А.В., Майстренко В.А., Каиков К.В. Программно-аппаратная реализация опико-электронной стереосистемы определения дальности // Омский научный вестник. 2013. № 3 (123). С. 273–277.
6. Фурсов В.А., Гошин Е.В. Информационная технология реконструкции цифровой модели местности по стереоизображениям // Компьютерная оптика. 2014. Т. 38. № 2. С. 335–342.
7. Егоров И.В., Лачугин Д.В. Оптимизация параметров системы технического зрения на базе трех камер // Вестник СГТУ. 2012. Т. 1. № 2 (64). С. 393–397.
8. Назаров А.С. Фотограмметрия. Минск: ТетраСистемс, 2006. 368 с.
9. Hartley R., Zisserman A. Multiple View Geometry in Computer Vision. 2nd ed. Cambridge University Press, 2000. 672 p.
10. Коротаев В.В., Ждамижков Т.С., Нгуен Х.В., Ярышев С.Н. Метод определения пространственных координат в активной стереоскопической системе // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. № 6 (94). С. 48–53.
11. Salvi J., Pages J., Batlle J. Pattern codification strategies in structured light systems // Pattern Recognition. 2004. V. 37. N 4. P. 827–849. doi: 10.1016/j.patcog.2003.10.002
12. Geng J. Structured-light 3D surface imaging: a tutorial // Advances in Optics and Photonics. 2011. V. 3. P. 128–160. doi: 10.1364/AOP.3.000128
13. Bleyer M., Gelautz M. A layered stereo matching algorithm using image segmentation and global visibility constraints // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2005. V. 59. N 3. P. 128–150. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2005.02.008
14. Ogale A., Aloimonos Y. Shape and the stereo correspondence problem // International Journal of Computer Vision. 2005. V. 65. N 3. P. 147–162. doi: 10.1007/s11263-005-3672-3
15. Самойленко М.В. Обработка сигналов в задачах локационных измерений и оценивания. М.: ИД Спектр, 2016. 260 с.
16. Самойленко В.И., Пузырев В.А., Грубрин И.В. Техническая кибернетика. М.: МАИ, 1994. 280 с.

Авторы

Самойленко Марина Витальевна – кандидат технических наук, доцент, доцент, Московский авиационный институт МАИ (национальный исследовательский университет), Москва, 125080, Российская Федерация, Samoi.Mar@mail.ru

References

1. Ustinov N.D., Matveev I.N., Protopopov V.V. *Methods for Optical Fields Processing in Laser Locations*. Moscow, Nauka Publ., 1983, 272 p. (In Russian)
2. Molebnyi V.V. *Optical-Location Systems*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1981, 181 p. (In Russian)
3. Starovoitov E. Modern technical tools of passive optical location. *Sovremennaya Elektronika*, 2011, no. 2, pp. 40–43. (In Russian)
4. Lebed'ko E.G. *Sistemy Opticheskoi Lokatsii: Uchebnoe Posobie* [Systems of Optical Ranging. Textbook]. Part 2. St. Petersburg, NIU ITMO Publ., 2012, 129 p.
5. Zubar A.V., Maistrenko V.A., Kaikov K.V. Hardware-software implementation of optical-electronic stereo system for determination of distance. *Omsk Scientific Bulletin*, 2013, no. 3, pp. 273–277.
6. Furov V.A., Goshin Y.V. Information technology for digital terrain model reconstruction from stereo images. *Computer Optics*, 2014, vol. 38, no. 2, pp. 335–342. (In Russian)
7. Egorov I.V., Lachugin D.V. Method of choosing the optimal parameters combination of machine vision system based on three cameras. *Vestnik Saratov State Technical University*, 2012, vol. 1, no. 2, pp. 393–397. (In Russian)
8. Nazarov A.S. *Photogrammetry*. Minsk, TetraSystems Publ., 2006, 368 p. (In Russian)
9. Hartley R., Zisserman A. Multiple View Geometry in Computer Vision. 2nd ed. Cambridge University Press, 2000. 672 p.
10. Korotaev V.V., Djamiykov T.S., Nguyen H.V., Yaryshev S.N. Method for determining the spatial coordinates in the active stereoscopic system. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2014, no. 6, pp. 48–53. (In Russian)
11. Salvi J., Pages J., Batlle J. Pattern codification strategies in structured light systems. *Pattern Recognition*, 2004, vol. 37, no. 4, pp. 827–849. doi: 10.1016/j.patcog.2003.10.002
12. Geng J. Structured-light 3D surface imaging: a tutorial. *Advances in Optics and Photonics*, 2011, vol. 3, pp. 128–160. doi: 10.1364/AOP.3.000128
13. Bleyer M., Gelautz M. A layered stereo matching algorithm using image segmentation and global visibility constraints. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2005, vol. 59, no. 3, pp. 128–150. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2005.02.008
14. Ogale A., Aloimonos Y. Shape and the stereo correspondence problem. *International Journal of Computer Vision*, 2005, vol. 65, no. 3, pp. 147–162. doi: 10.1007/s11263-005-3672-3
15. Samoilenko M.V. *Signal Processing in Problems of Location Measurements and Estimation*. Moscow, Spektr Publ., 2016, 260 p. (In Russian)
16. Samoilenko V.I., Puzyrev V.A., Grubrin I.V. *Technical Cybernetics*. Moscow, MAI Publ., 1994, 280 p. (In Russian)

Authors

Marina V. Samoilenko – PhD, Associate Professor, Associate Professor, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, 125080, Russian Federation, Samoi.Mar@mail.ru