

Метод восстановления реальных координат объекта по его плоскому изображению

В.Н. Нестеров^{1,2}, В.М. Мухин¹, Д.В. Нестеров¹

¹АО «Самарский электромеханический завод», Степана Разина 16, Самара, Россия, 443099

²Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

Аннотация. Представлен оригинальный метод восстановления реальных координат объекта по его плоскому изображению. Метод основан на использовании тестового объекта с известными геометрическими параметрами, которые используются в качестве мер. Представлены положения метода измерения, имеющего конкретную практическую направленность.

1. Введение

Одной из серьезных проблем в робототехнике является проблема невозможности восстановления реальных координат объектов в трехмерном пространстве по его плоскому изображению. Эта проблема обсуждалась в фундаментальной работе известных специалистов в области робототехники и технического зрения К. Фу, Р. Гонсалеса и К. Ли [1]. Для ее решения традиционно используется бинокулярное зрение, с которым связывают ряд дополнительных проблем, касающихся калибровки камер, их размещения в пространстве, алгоритмов обработки получаемой видеoinформации и т.д. Если взглянуть на проблему более широко, то следует упомянуть работы, связанные с геоинформатикой [2]. В настоящее время геоинформационные системы все чаще дополняются средствами работы с пространственными геометрическими объектами, что позволяет решать задачи трехмерного моделирования объектов, имеющих пространственную привязку к поверхности Земли. Восстановление трехмерных координат объектов по плоским проекциям в фотограмметрии решается путем обработки стереопар снимков [3]. Для иллюстрации проблемы рассмотрим процесс формирования изображения трехмерного объекта на поверхности изображения видеокамеры. С некоторыми упрощениями схема формирования изображения показана на рисунке 1.

На рисунке 1 плоскость изображения совпадает с плоскостью x, y системы координат видеокамеры $\{o, x, y, z\}$, а оптическая ось, установленная по центру линзы, направлена вдоль оси z . Центр плоскости изображения является началом координат, а центр линзы имеет координаты $(0, 0, \lambda)$.

Обозначим координаты точки трехмерного пространства, расположенной на некотором расстоянии перед линзой, как (X, Y, Z) . Для всех точек контролируемого пространства: $Z > \lambda$. Установим функции связи между координатами (X_1, Y_1, Z_1) точки $M_1(X_1, Y_1, Z_1)$ и

координатами (x_0, y_0) точки $m(x_0, y_0)$, являющейся изображением точки $M_1(X_1, Y_1, Z_1)$. Из рассмотрения соответствующих прямоугольных треугольников на рисунке 1 можно записать:

$$\frac{x_0}{\lambda} = \frac{X_1}{\lambda - Z_1}, \quad \frac{y_0}{\lambda} = \frac{Y_1}{\lambda - Z_1}. \quad (1)$$

Тогда связь между координатами точек $M_1(X_1, Y_1, Z_1)$ и $m(x_0, y_0)$ определяется функциями:

$$x_0 = \frac{\lambda X_1}{\lambda - Z_1}, \quad y_0 = \frac{\lambda Y_1}{\lambda - Z_1}. \quad (2)$$

Ими можно пользоваться для перехода от декартовых координат точки $M_1(X_1, Y_1, Z_1)$ к координатам точки ее изображения $m(x_0, y_0)$.

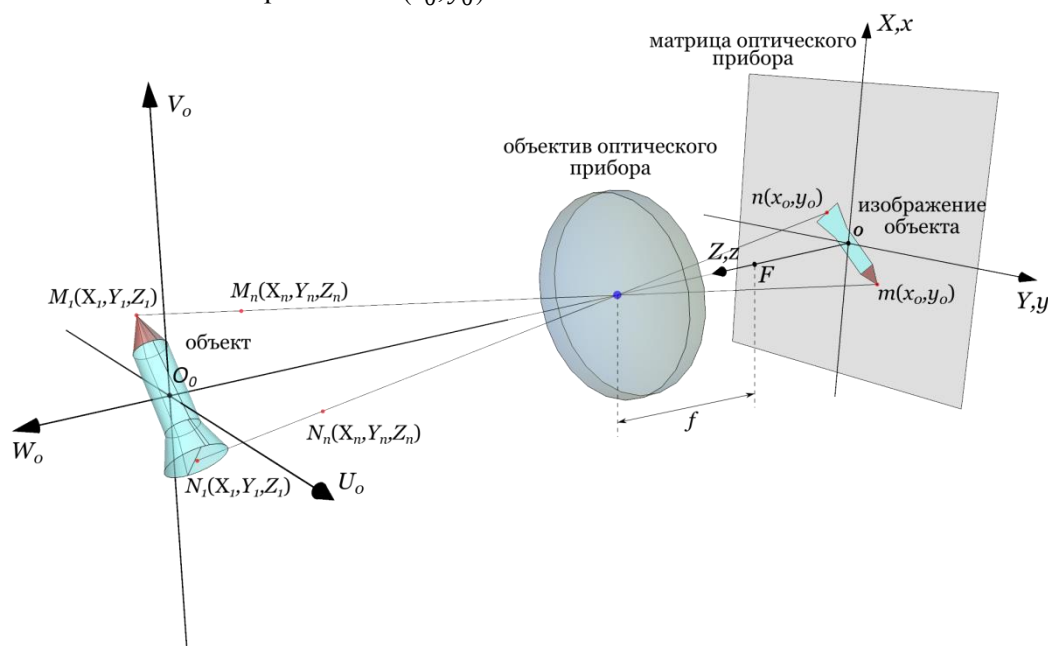


Рисунок 1. Схема формирования изображения.

Предположим, что заданная точка на изображении имеет координаты $(x_0, y_0, 0)$.

В данном случае вся плоскость изображения по оси z имеет координату $z = 0$. Точка изображения $m(x_0, y_0)$ соответствует всем точкам, лежащим на прямой, проходящей через точки с координатами $(x_0, y_0, 0)$ и $(0, 0, \lambda)$. Уравнения этой прямой в декартовых координатах:

$$X_1 = \frac{x_0}{\lambda}(\lambda - Z_1), \quad Y_1 = \frac{y_0}{\lambda}(\lambda - Z_1). \quad (3)$$

Очевидна неоднозначность данного преобразования. По координатам изображения точки $m(x_0, y_0)$ нельзя однозначно восстановить в трехмерном пространстве точку $M_1(X_1, Y_1, Z_1)$, как и точки $M_2(X_2, Y_2, Z_2)$, $M_n(X_n, Y_n, Z_n)$, лежащие на упомянутой прямой.

Во всех известных методах решения данной некорректной задачи, в том числе и в упомянутых выше работах, организуется информационная избыточность, например, за счет использования дополнительной камеры (бинокулярное зрение) или использования другого способа получения не менее двух проекций реального трехмерного объекта.

Для решения этой проблемы в последние годы авторами развивается оригинальное научное направление, получившее название: метод многомерных тестовых объектов в оптических измерительных системах [4]. Сущность метода состоит в том, что для обеспечения процесса измерения с реальным объектом связывают распределенный в пространстве контрольный

объект, обладающий известными с высокой точностью геометрическими параметрами, которые используются в процессе реализации метода в качестве мер [5,6]. Рассмотрим базовые основы данного метода.

2. Основные положения метода многомерных тестовых объектов

Отметим, что представленные далее положения и модели имеют конкретную практическую направленность и, прежде всего, касаются восстановления информативных перемещений трехмерных объектов в пространстве. Поэтому следует иметь в виду определенные ограничения на предметную область, хотя по имеющимся у авторов соображениям, положения метода могут быть распространены на более широкий круг задач.

Поскольку речь идет о восстановлении составляющих многомерных перемещений объектов в трехмерном пространстве, являющихся векторными величинами, то и элементы многомерных тестовых объектов, включаемые в модели, также являются векторными величинами. Особенностью метода является также то, что параметры многомерного тестового объекта отражают многомерность контролируемых перемещений и функционально связываются с ними в моделях в процессе формирования соответствующих измерительно-вычислительных алгоритмов:

$$\left. \begin{aligned} X_x(\mathbf{r}, \tau) &= F(\mathbf{x}_{1x}(\mathbf{r}, \tau), \dots, \mathbf{x}_{px}(\mathbf{r}, \tau), L_{1x}, \dots, L_{qx}); \\ X_y(\mathbf{r}, \tau) &= F(\mathbf{x}_{1y}(\mathbf{r}, \tau), \dots, \mathbf{x}_{py}(\mathbf{r}, \tau), L_{1y}, \dots, L_{qy}); \\ X_z(\mathbf{r}, \tau) &= F(\mathbf{x}_{1z}(\mathbf{r}, \tau), \dots, \mathbf{x}_{pz}(\mathbf{r}, \tau), L_{1z}, \dots, L_{qz}), \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $X_x(\mathbf{r}, \tau)$, $X_y(\mathbf{r}, \tau)$, $X_z(\mathbf{r}, \tau)$ – проекции многокомпонентного перемещения $X(\mathbf{r}, \tau)$ на оси декартовой системы координат; $\mathbf{r}$ – радиус-вектор от начала базовой системы координат до контролируемой точки исследуемого объекта; τ – время; F – функция связи компонентов $\mathbf{x}_{1k}(\mathbf{r}, \tau), \dots, \mathbf{x}_{pk}(\mathbf{r}, \tau)$ и $L_{1k}, \dots, L_{qk}$ координатной составляющей L_k ($k \in \{x, y, z\}$) многомерного теста L ; $\mathbf{x}_{1k}(\mathbf{r}, \tau), \dots, \mathbf{x}_{pk}(\mathbf{r}, \tau)$ – информативные компоненты k -й координатной составляющей многокомпонентного перемещения $X(\mathbf{r}, \tau)$; p – количество информативных компонентов многокомпонентного перемещения; $L_{1k}, \dots, L_{qk}$ – компоненты k -й координатной составляющей L_k многомерного теста L ; q – количество компонентов k -й координатной составляющей L_k многомерного теста L .

Как уже отмечалось, принципиальная особенность модели (4) состоит во введении в нее в качестве известных информативных составляющих параметров $L_{1k}, \dots, L_{qk}$ тестовых объектов, заданных в векторной форме.

На рисунке 2 в качестве иллюстрации показан двухмерный тестовый объект, полученный комбинацией двух одномерных.

Тестовый объект ABCD расположен в плоскости $O_0X_0Y_0$ и имеет следующие образцовые параметры (тесты):

$$\begin{aligned} AO_i &= nL_{ABx} \text{ и } BO_i = (1-n)L_{ABx}, \quad (n=0,5); \\ CO_i &= nL_{CDy} \text{ и } DO_i = (1-n)L_{CDy}, \quad (n=0,5); \\ EB &= (1-n)L_{ABx} \text{ и } FD = (1-n)L_{CDy}, \quad (n=0,75). \end{aligned}$$

Тестовый объект ABCD является двухмерным многокомпонентным, а его параметры в моделях (5) используются в векторном виде, например:

$$\begin{aligned} AO_i &= nL_{ABx} = nL_{ABx} \cdot \mathbf{i}, \quad (n=0,5); \quad BO_i = (1-n)L_{ABx} = (1-n)L_{ABx} \cdot \mathbf{i}, \quad (n=0,5); \\ CO_i &= nL_{CDy} = nL_{CDy} \cdot \mathbf{j}, \quad (n=0,5); \quad DO_i = (1-n)L_{CDy} = (1-n)L_{CDy} \cdot \mathbf{j}, \quad (n=0,5); \\ EB &= (1-n)L_{ABx} = (1-n)L_{ABx} \cdot \mathbf{i}, \quad (n=0,75); \quad FD = (1-n)L_{CDy} = (1-n)L_{CDy} \cdot \mathbf{j}, \quad (n=0,75), \end{aligned}$$

где $\mathbf{i}$ и $\mathbf{j}$ – базисные векторы, направление которых совпадает с направлением осей O_0X_0 и O_0Y_0 .

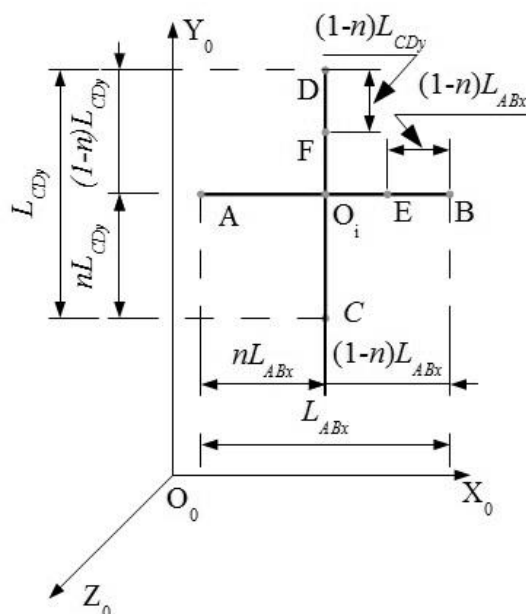


Рисунок 2. Двухмерный тестовый объект ABCD.

Здесь не ставится задача классифицировать или отобразить многообразие тестовых объектов. Формулируются лишь основные предъявляемые к ним требования, которые являются принципиальными.

Проводя аналогию между параметрами (составляющими) многомерного тестового объекта и составляющими сложных перемещений, компоненты многомерных тестов или их проекции на координатные оси будем рассматривать как многокомпонентные величины – многокомпонентные тесты, составляющие которых также являются векторными величинами. Соответственно, общая методика формирования многомерных тестов и функции связи их компонентов с многокомпонентными величинами подпадают под основные положения концепции векторных многокомпонентных физических величин [4] и формулируются следующим образом:

- многомерные многокомпонентные тесты рассматриваются как функции множества составляющих их компонентов;
- функции связи названных компонентов в моделях многокомпонентных тестов определяются законами векторной алгебры;
- модели векторных многомерных многокомпонентных тестов допускают многовариантность представления указанных составляющих в зависимости от решаемой задачи.

Опираясь на приведенные положения о многомерном тестовом объекте, определим вид функции связи $\mathbf{F}$ информативных компонентов $\mathbf{x}_{1k}(\mathbf{r}, \tau), \dots, \mathbf{x}_{pk}(\mathbf{r}, \tau)$ и компонентов $\mathbf{L}_{1k}, \dots, \mathbf{L}_{qk}$ k -й координатной составляющей $\mathbf{L}_k$ многомерного теста $\mathbf{L}$ в модели (4):

$$\mathbf{F}_{ik} \{ \mathbf{x}_{1k}(\mathbf{r}, \tau), \dots, \mathbf{x}_{pk}(\mathbf{r}, \tau), \mathbf{L}_{1k}, \dots, \mathbf{L}_{qk} \} = \sum_k^{\{x,y,z\}} \sum_{\mu=1}^q v_{iuk} \mathbf{L}_{iuk} + \sum_k^{\{x,y,z\}} \sum_{i=1}^p \eta_{ijk} \mathbf{x}_{ijk}(\mathbf{r}, \tau), \quad (5)$$

где i – порядковый номер функции связи; $k \in \{x, y, z\}$ – множество координатных составляющих; u – порядковый номер компонентов многокомпонентного теста $\mathbf{L}_{iuk}$; j – порядковый номер информативных компонентов k -й координатной составляющей

многокомпонентного перемещения $\mathbf{X}_k(\mathbf{r}, \tau)$; $v_{iuk} \in [0,1]$ – весовые коэффициенты, отражающие отсутствие – 0 – или наличие – (0,1] – соответствующей компоненты многокомпонентного теста $\mathbf{L}_{iuk}$ в модели (5); $\eta_{ijk} \in [0,1]$ – весовые коэффициенты, отражающие отсутствие – 0 – или наличие – (0,1] – соответствующей информативной компоненты $\mathbf{x}_{ijk}(\mathbf{r}, \tau)$ в модели (5).

Используя (5) можно представить модель (4) в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{X}_{ix}(\mathbf{r}, \tau) &= \sum_{u=1}^q v_{iux} \mathbf{L}_{iux} + \sum_{j=1}^p \eta_{ijx} \mathbf{x}_{ijx}(\mathbf{r}, \tau); \\ \mathbf{X}_{iy}(\mathbf{r}, \tau) &= \sum_{u=1}^q v_{iuy} \mathbf{L}_{iuy} + \sum_{j=1}^p \eta_{ijy} \mathbf{x}_{ijy}(\mathbf{r}, \tau); \\ \mathbf{X}_{iz}(\mathbf{r}, \tau) &= \sum_{u=1}^q v_{iuz} \mathbf{L}_{iuz} + \sum_{j=1}^p \eta_{ijz} \mathbf{x}_{ijz}(\mathbf{r}, \tau), \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где векторы $\mathbf{L}_{iux}$, $\mathbf{L}_{iuy}$, $\mathbf{L}_{iuz}$, $\mathbf{x}_{ijx}$, $\mathbf{x}_{ijy}$, $\mathbf{x}_{ijz}$ определены в одномерных пространствах, совпадающих с соответствующими осями декартовой системы координат.

Такое представление модели (5), сохраняя ее универсальный характер, дает механизм адаптации к конкретным практическим задачам за счет комбинирования коэффициентов $v_{iux} \in [0,1]$, $v_{iuy} \in [0,1]$, $v_{iuz} \in [0,1]$, $\eta_{ijx} \in [0,1]$, $\eta_{ijy} \in [0,1]$, $\eta_{ijz} \in [0,1]$ в области их определения.

Для иллюстрации процесса перемещения тестового объекта, на основании которого записывается модель (6), представлен рисунок 3. На рисунке 3 показано перемещение в пространстве крестообразной фигуры, являющейся по существу тестовым объектом, и отражение этого перемещения на плоской матрице оптического прибора.

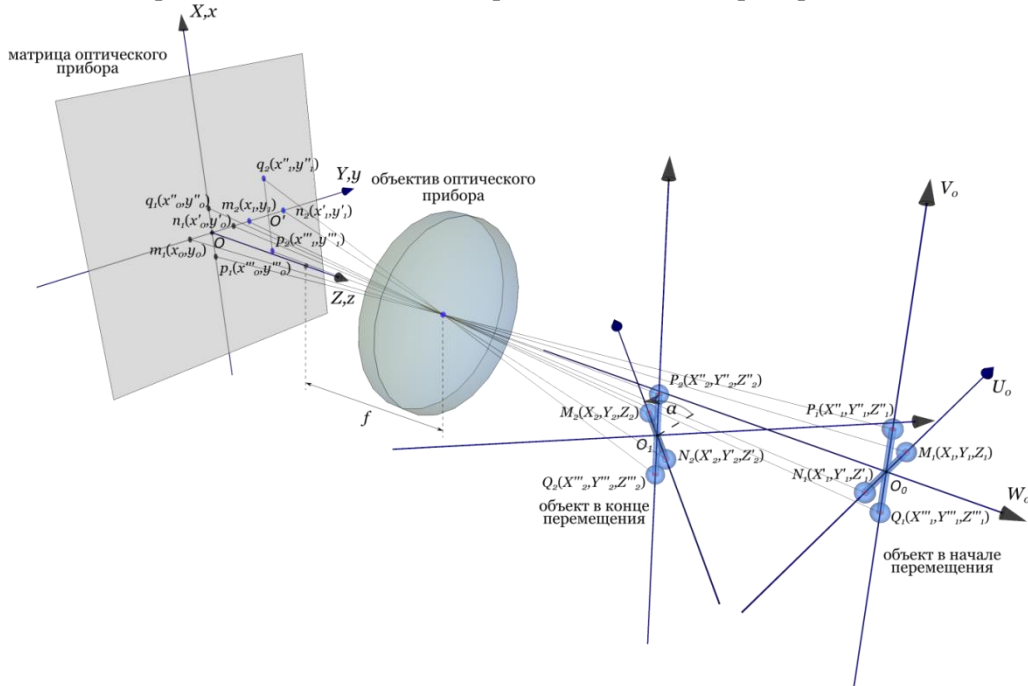


Рисунок 3. Иллюстрация к модели (6).

Любое перемещение, в том числе и многокомпонентное, описывается в соответствии с законами и положениями векторной алгебры. Для упрощения и формализации [7] процесса генерирования моделей разработана формальная процедура генерирования названных моделей, что необходимо для создания соответствующих измерительно-вычислительных алгоритмов.

3. Физическая реализуемость метода измерения

Опираясь на сформулированные положения о многомерных тестовых объектах, перечислим методообразующие признаки, выполнение которых позволит решить проблему физической реализуемости метода:

1. Наличие (возможность сформировать) системы из n уравнений, асимметричных относительно информативных компонентов $\mathbf{x}_{1k}(\mathbf{r}, \tau), \dots, \mathbf{x}_{pk}(\mathbf{r}, \tau)$ ($k \in \{x, y, z\}$ – множество координатных составляющих) перемещений соответствующих точек изображения тестового объекта:

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{Y}_1(\mathbf{r}, \tau) &= \Psi_1 \{ \mathbf{F}_1 \{ \mathbf{x}_{1k}(\mathbf{r}, \tau), \dots, \mathbf{x}_{pk}(\mathbf{r}, \tau), \mathbf{L}_{1k}, \dots, \mathbf{L}_{qk} \} \}; \\ &\dots\dots\dots \\ \mathbf{Y}_n(\mathbf{r}, \tau) &= \Psi_n \{ \mathbf{F}_p \{ \mathbf{x}_{1k}(\mathbf{r}, \tau), \dots, \mathbf{x}_{pk}(\mathbf{r}, \tau), \mathbf{L}_{1k}, \dots, \mathbf{L}_{qk} \} \}, \end{aligned} \right\} (n \geq p \geq 2), \quad (7)$$

$$\mathbf{F}_1 \{ \mathbf{x}_{1k}(\mathbf{r}, \tau), \dots, \mathbf{x}_{pk}(\mathbf{r}, \tau), \mathbf{L}_{1k}, \dots, \mathbf{L}_{qk} \} \neq \dots \neq \mathbf{F}_p \{ \mathbf{x}_{1k}(\mathbf{r}, \tau), \dots, \mathbf{x}_{pk}(\mathbf{r}, \tau), \mathbf{L}_{1k}, \dots, \mathbf{L}_{qk} \}, \quad (8)$$

где $\mathbf{Y}_1(\mathbf{r}, \tau), \dots, \mathbf{Y}_n(\mathbf{r}, \tau)$ – функции перемещений соответствующих точек изображения контролируемого объекта относительно выбранных(ой) на изображении точек(чки) отсчета; $\mathbf{F}_1 \{ \mathbf{x}_{1k}(\mathbf{r}, \tau), \dots, \mathbf{x}_{pk}(\mathbf{r}, \tau), \mathbf{L}_{1k}, \dots, \mathbf{L}_{qk} \}, \dots, \mathbf{F}_p \{ \mathbf{x}_{1k}(\mathbf{r}, \tau), \dots, \mathbf{x}_{pk}(\mathbf{r}, \tau), \mathbf{L}_{1k}, \dots, \mathbf{L}_{qk} \}$ – векторные функции множества составляющих их информативных компонентов $\mathbf{x}_{1k}(\mathbf{r}, \tau), \dots, \mathbf{x}_{pk}(\mathbf{r}, \tau)$ и компонентов $\mathbf{L}_{1k}, \dots, \mathbf{L}_{qk}$ k -й координатной составляющей $\mathbf{L}_k$ многомерного тестового объекта (многомерного теста) $\mathbf{L}$.

2. Реализуемость специальных измерительно-вычислительных алгоритмов:

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{x}_{1k}(\mathbf{r}, \tau) &= f_1 \{ \mathbf{Y}_1(\mathbf{r}, \tau), \dots, \mathbf{Y}_n(\mathbf{r}, \tau) \}; \\ &\dots\dots\dots \\ \mathbf{x}_{pk}(\mathbf{r}, \tau) &= f_p \{ \mathbf{Y}_1(\mathbf{r}, \tau), \dots, \mathbf{Y}_n(\mathbf{r}, \tau) \}, \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

условием существования которых, при непрерывности и дифференцируемости $\mathbf{Y}_1(\mathbf{r}, \tau), \dots, \mathbf{Y}_n(\mathbf{r}, \tau)$ во всем диапазоне измерения, является неравенство нулю Якобиана:

$$\det \left[\frac{\partial \mathbf{Y}_i(\mathbf{r}, \tau)}{\partial \mathbf{x}_{jk}(\mathbf{r}, \tau)} \right] \neq 0 \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, p}. \quad (10)$$

Условие (10) обеспечивается реализацией «асимметрии» величин $\mathbf{Y}_1(\mathbf{r}, \tau), \dots, \mathbf{Y}_n(\mathbf{r}, \tau)$ относительно составляющих их компонентов $\mathbf{x}_{1k}(\mathbf{r}, \tau), \dots, \mathbf{x}_{pk}(\mathbf{r}, \tau)$ и $\mathbf{L}_{1k}, \dots, \mathbf{L}_{qk}$, которая выражена неравенством (8).

Очевидно, что при использовании одноканальной оптической системы функции $\Psi_1, \dots, \Psi_n$ одинаковы. Если использовать коэффициент передачи оптического преобразователя σ , то (7) можно переписать:

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{Y}_1(\mathbf{r}, \tau) &= \sigma \{ \mathbf{F}_1 \{ \mathbf{x}_{1k}(\mathbf{r}, \tau), \dots, \mathbf{x}_{pk}(\mathbf{r}, \tau), \mathbf{L}_{1k}, \dots, \mathbf{L}_{qk} \} \}; \\ &\dots\dots\dots \\ \mathbf{Y}_n(\mathbf{r}, \tau) &= \sigma \{ \mathbf{F}_p \{ \mathbf{x}_{1k}(\mathbf{r}, \tau), \dots, \mathbf{x}_{pk}(\mathbf{r}, \tau), \mathbf{L}_{1k}, \dots, \mathbf{L}_{qk} \} \}, \end{aligned} \right\} (n \geq p \geq 2). \quad (11)$$

Последнее и показывает все перспективы оптического способа измерения. Учитывая ограничения, налагаемые на объем материала, для более подробного рассмотрения вопросов реализации следует обратиться к работам [4-7]. Оригинальность и новизна метода измерения подтверждена рядом патентов РФ на изобретения [8-10].

4. Выводы

Подводя итоги можно сделать вывод, что на основе метода многомерных тестовых объектов решена некорректная задача восстановления координат движущихся в трехмерном пространстве объектов по их плоскому изображению.

Представлены также основы оптических измерений информативных составляющих многокомпонентных перемещений на основе метода многомерных тестовых объектов, обеспечивающего информационную избыточность на входе оптического приемника изображения. Дополнительная информация на входе системы в виде известных параметров многомерных тестовых объектов создает возможности повышения качества и (или) количества результирующей информации.

Отдельного внимания требует проблема генерирования многомерных тестовых объектов, исследовать влияния их вида, количества и оптимизации тестовых составляющих (параметров многомерного тестового объекта) на качество измерительной системы и в общетеоретическом аспекте, и для решения конкретных прикладных задач. Данные вопросы должны составить предмет дальнейших исследований.

5. Литература

- [1] Фу, К. Робототехника / К. Фу, Р. Гонсалес, К. Ли. – М.: Мир, 1989. – 624 с.
- [2] Костюк, Ю.Л. Технология создания трехмерных моделей объектов по плоским проекциям и ее применение в геоинформатике / Ю.Л. Костюк, А.С. Парамонов, В.Г. Гриценко // Геоинформатика: теория и практика. – Томск: Изд. Томск. ун-та, 1998. – Т. 1. – С. 96-106.
- [3] Костюк, Ю.Л. Эффективные алгоритмы обработки и отображения графических данных и их реализация в программных комплексах / Ю.Л. Костюк. – Автореф. дис....докт. техн. наук. – Томск: ТГУ, 2002. – 39 с.
- [4] Нестеров, В.Н. Метод многомерных тестовых объектов в оптических измерительных системах / В.Н. Нестеров, В.М. Мухин, А.В. Мещанов. – Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН, 2013. – 224 с.
- [5] Nesterov, V.N. Models for Vector Multicomponent Physical Quantities and a Multivariate Test Method for Optical Measurement Systems / V.N. Nesterov, A.V. Meshchanov // Measurement Techniques. – 2006. – Vol. 49(12). – P. 1182-1188.
- [6] Nesterov, V.N. Theoretical principles of optical measurements on the components of multicomponent displacements for mobile objects on the basis of multivariate tests / V.N. Nesterov, A.V. Meshchanov // Measurement Techniques. – 2007. – Vol. 50(11). – P. 1127-1136.
- [7] Nesterov, V.N. Formal synthesis of a data-acquisition system for multicomponent physical quantities / V.N. Nesterov, D.B. Zhmurov // Measurement Techniques. – 2007. – Vol. 50(9). – P. 903-907.
- [8] Нестеров, В.Н. Пат. 2315948 Российская Федерация, МПК G 01 B 11/00. Способ измерения компонентов сложных перемещений объекта / В.Н. Нестеров, А.В. Мещанов, В.М. Мухин // №2006114270; заявл. 26.04.2006; опубл. 27.01.2008. – Бюл.№3.
- [9] Нестеров, В.Н. Пат. 2466858 Российская Федерация, МПК В 25 J 19/00. Способ контроля точности контурных перемещений промышленных роботов / В.Н. Нестеров, В.М. Мухин, А.В. Мещанов // №2011121961/02; заявл. 01.06.2011; опубл. 20.11.2012. – Бюл.№32.
- [10] Нестеров, В.Н. Пат. 2610425 Российская Федерация, МПК G 01 B 11/00. Способ измерения компонентов сложных перемещений объекта / В.Н. Нестеров, Д.В. Нестеров, В.М. Мухин // №2015116367; заявл. 30.04.2015; опубл. 10.02.2017. – Бюл.№4.

The method of restoring the real coordinates of the object from its flat image

V.N. Nesterov^{1,2}, V.M. Mukhin¹, D.V. Nesterov¹

¹JSC «Samara Electromechanical Plant», Stepan Razin street 16, Samara, Russia, 443099

²Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

Abstract. The original method of restoring the real coordinates of an object from its flat image is presented. The method is based on the use of a test object with known geometric parameters, which are used as measures. The provisions of the measurement method are presented, which has a specific practical orientation.