ладов Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2007). Т.2. - СПб, 2007.-С.21-30.
6. Нестеров В.Н., Мещанов А.В. Математическое моделирование многокомпонентных перемещений подвижных объектов для алгоритмической обработки оптической информации //Сб. докл. научной сессии ГУАП. Ч. II. Технические науки. - СПб.: ГУАП, 2007. - С.171-176.
7. Нестеров В.Н., Мещанов А.В. Математическое моделирование в задачах определения многокомпонентных перемещений простых объектов // Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности: Сб. тр. третьей международной научно-практ. конф. - СПб., 2007. - С.82-83.
8. Пат. заявка №2006114270/28 РФ, МКИ G 01 B 11/00. Способ измерения компонентов сложных перемещений объекта / В.Н.Нестеров, В.М.Мухин, А.В.Мещанов.

ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИИС ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ЦЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА МНОГОМЕРНЫХ ТЕСТОВЫХ ОБЪЕКТОВ

В. Н. Нестеров, В. М. Мухин
Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Оптические средства измерения, широко используемые для определения различных параметров движения, позволяют решать задачу без непосредственного контакта с контролируемым объектом. Появление в последнее время видеокамер с достаточно высокой разрешающей способностью и стандартным интерфейсом сопряжения с цифровыми средствами обработки информации явилось дополнительным стимулом их использования в сложных системах промышленного, бытового и специального назначения. Одной из актуальных задач, решение которой основано на предложенном авторами методе и оптических средствах измерения, является задача бесконтактного определения информативных составляющих перемещения тела, движущегося по произвольной траектории и меняющего свою ориентацию в пространстве. Перспективной областью использования предложенных решений является подсистемы контроля и вычисления параметров движения подвижных целей в системах наведения на цель специального назначения.

Поэтому авторами поставлена и решается задача обоснования и разработки метода и алгоритмов измерения составляющих сложных перемещений на базе цифровых оптических видеокамер, обладающих высокими метрологическими характеристиками и возможностями оперативной переориентации систем на решение широкого класса задач.

В общем случае информационная модель многокомпонентного перемещения $\vec{X}$, отражающего сложные движения механической системы, представляется в следующем виде [1,2]:

$$\left.\begin{aligned} \vec{X}_x(r,\tau) &= F\left(\vec{x}_{1x}(r,\tau),...,\vec{x}_{px}(r,\tau)\right); \\ \vec{X}_y(r,\tau) &= F\left(\vec{x}_{1y}(r,\tau),...,\vec{x}_{py}(r,\tau)\right); \\ \vec{X}_z(r,\tau) &= F\left(\vec{x}_{1z}(r,\tau),...,\vec{x}_{pz}(r,\tau)\right), \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

где $\vec{X}_x, \vec{X}_y, \vec{X}_z$ - проекции перемещения $\vec{X}$ на координатные оси декартовой системы координат; $\vec{x}_{1k}(r,\tau),...,\vec{x}_{pk}(r,\tau)$ - информативные компоненты k -й координатной составляющей перемещения $\vec{X}$; r,τ - пространственные и временные координаты; F - функция связи информативных компонентов $\vec{x}_{1k}(r,\tau),...,\vec{x}_{pk}(r,\tau)$, определяемая физикой исследуемого объекта или процесса и законами сложения векторов.

Проблема измерения названных информативных компонентов проявляющихся в составе многокомпонентных перемещений обусловлена, с одной стороны, многовариантностью их представления в модели, с другой стороны, - одинаковой физической размерностью и совпадающим спектральным диапазоном, что при векторном сложении приводит к неселективности прямых методов измерения.

Для решения последней составляющей проблемы используется метод, основанный на обеспечении в структуре соответствующей измерительной системы нескольких измерительных каналов, «асимметричных» по отношению к информативным компонентам многокомпонентных физических величин [1,2].

Методообразующие признаки данного подхода следующие:

1. Наличие в структуре измерительной системы n каналов, «асимметричных» относительно информативных компонентов

$$\vec{x}_{1k}(r,\tau),...,\vec{x}_{pk}(r,\tau)$$

многокомпонентных перемещений $\overrightarrow{X_k}$:

$$\left.\begin{aligned} &Y_1(\tau)=\psi_1\left\{\overrightarrow{F_1}\left\{\vec{x}_{1k}(r,\tau),...,\vec{x}_{pk}(r,\tau)\right\}\right\};\\ &..\\ &..\\ &Y_n(\tau)=\psi_n\left\{\overrightarrow{F_p}\left\{\vec{x}_{1k}(r,\tau),...,\vec{x}_{pk}(r,\tau)\right\}\right\}, \end{aligned}\right\} (n\geq p\geq 2); \qquad (2)$$

$$\overrightarrow{F_1}\left\{\vec{x}_{1k}(r,\tau),...,\vec{x}_{pk}(r,\tau)\right\}\neq...\neq\overrightarrow{F_p}\left\{\vec{x}_{1k}(r,\tau),...,\vec{x}_{pk}(r,\tau)\right\}, \qquad (3)$$

где $Y_1(\tau),...,Y_n(\tau)$ - функции преобразования измерительных каналов; $\overrightarrow{F_1}\left\{\vec{x}_{1k}(r,\tau),...,\vec{x}_{1k}(r,\tau)\right\},...,\overrightarrow{F_p}\left\{\vec{x}_{1k}(r,\tau),...,\vec{x}_{pk}(r,\tau)\right\}$ - векторные функции множества составляющих их информативных компонентов, поступающие на входы соответствующих измерительных каналов.

2. Реализуемость в системе измерительно-вычислительных алгоритмов:

$$\left.\begin{aligned} &\vec{x}_{1k}(r,\tau)=f_1\left\{Y_1(\tau),...,Y_n(\tau)\right\};\\ &..\\ &..\\ &\vec{x}_{pk}(r,\tau)=f_p\left\{Y_1(\tau),...,Y_n(\tau)\right\}. \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

Условием существования последних, при непрерывности и дифференцируемости $Y_1(\tau),...,Y_n(\tau)$ по $\vec{x}_{1k}(r,\tau),...,\vec{x}_{pk}(r,\tau)$ во всем диапазоне измерения, является тождественное неравенство нулю Якобиана:

$$\frac{\partial(Y_1,Y_2,...,Y_n)}{\partial\left(x_1,x_2,...,x_p,k_{p+1},...,k_n\right)}\neq 0, \qquad (5)$$

где $k_{p+1},...,k_n$ - неизвестные параметры в $Y_1(\tau),...,Y_n(\tau)$.

В соответствие с положениями концепции векторной многокомпонентной физической величины [1] математическая модель многокомпонентных перемещений для общего случая имеет следующий вид:

$$\overrightarrow{X_i}(r,\tau)=\overrightarrow{F_i}\left\{\overrightarrow{\chi_1}(r,\tau),...,\overrightarrow{\chi_p}(r,\tau)\right\}=\sum_{j=1}^{p}\overrightarrow{\chi_j}(r,\tau). \qquad (6)$$

Переходя от векторной модели (6) к скалярной с учетом требования (3) запишем:

$$X_i\left(r,\tau\right)=\xi_i\chi_i+\sum_{j=1}^{p}\zeta_{ij}\chi_i\left(r,\tau\right), \qquad (7)$$

где i - соответствует порядковому номеру многокомпонентного перемещения; χ_i - расстояние от точки, принятой за начало отсчета до точки, перемещения которой обуславливаются информативными компонентами $\chi_i\left(r,\tau\right)$;

$$\xi_i,\varsigma_{ij}=\begin{cases}+1, \textit{если проекции векторов } \overrightarrow{\chi_i}, \overrightarrow{\chi_j} \textit{ совпадают с} \\ \textit{направлением соответствующей оси координат;} \\ -1, \textit{если проекции векторов } \overrightarrow{\chi_i}, \overrightarrow{\chi_j} \textit{ не совпадают с} \\ \textit{направлением соответствующей оси координат;} \\ 0, \textit{если соответствующая компонента отсутствует.}\end{cases} \qquad (8)$$

Модель (7) является основой для построения системы уравнений вида (2). Однако комбинирование коэффициентов $\xi_i,\varsigma_{ij}\in\left\{-1,0+1\right\}$ в (7) не всегда обеспечивается корректное выполнение условия (3) и, соответственно, условия (5), что необходимо для существования измерительно-вычислительных алгоритмов (4).

Сущность решения последней проблемы заключается в создании совмещаемого с контролируемым объектом распределенного в пространстве контрольного объекта, обладающего известными с высокой точностью геометрическими параметрами, и использовании названных параметров в качестве мер для обеспечения измерительно-вычислительных алгоритмов. Совокупность указанных мер, объединенных в контрольном объекте, назовем многомерным тестом, а метод, основанный на использовании многомерных тестов для определения информативных составляющих векторных многокомпонентных физических величин, - методом многомерных тестов.

В рамках общей концепции векторной многокомпонентной физической величины [2] проекции многомерных тестов на координатные оси рассматриваются как многокомпонентные величины – многокомпонентные тесты, составляющие которых, также являются векторными величинами, функционально связанными с измеряемыми величинами. Причем, функции связи и общая идеология с необходимостью подпадают под основные положения названной концепции:

- 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.

Соответственно, компоненты многокомпонентных тестов наряду с модулем характеризуются и направлением в пространстве. Переходя от векторных моделей к скалярным, в соответствие с требованием (3) модель (7) может быть записана в следующем виде:

$$x_i(r,\tau) = \xi_i L_i + \sum_{j=1}^{p} \varsigma_{ij} \chi_i(r,\tau), \tag{9}$$

где $\overrightarrow{L}$ - модуль i -й компоненты $\overrightarrow{L_i}$ многомерного теста $\vec{L}$ (i -я компонента в общем случае может быть равна самому многомерному тесту $\overrightarrow{L_i} = \overrightarrow{L}$) ; ξ_i - коэффициент, учитывающий направление $\overrightarrow{L_i}$ в пространстве, который принимает значения в соответствие с соглашением (8).

Конкретизируя модель (2) для оптического измерительного преобразователя и используя скалярную модель (9) для p информативных компонентов многокомпонентных перемещений $\sum_{j=1}^{p} \varsigma_{ij} \chi_i(r,\tau)$ выбранных точек изображения контрольного объекта, можем записать систему уравнений:

$$\left.\begin{array}{l} Y_1(r,\tau) = \gamma_1 k \left\{ \xi_1 L_1 + \sum\limits_{j=1}^{p} \varsigma_{1j} x_j(r,\tau) \right\}; \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ Y_n(r,\tau) = \gamma_n k \left\{ \xi_n L_n + \sum\limits_{j=1}^{p} \varsigma_{nj} x_j(r,\tau) \right\}, \end{array}\right\} n = p+1, \tag{10}$$

где k - коэффициент передачи оптического канала;

$$\gamma_i = \begin{cases} +1, \textit{если направления проекций векторов от} \\ \textit{точки начала отсчета до контролируемой} \\ \textit{точки совпадают с направлением соответ}- \\ \textit{ствующей координатной оси;} \\ -1, \textit{если направления проекций векторов от} \\ \textit{точки начала отсчета до контролируемой} \\ \textit{точки противоположно направлению} \\ \textit{соответствующей координатной оси.} \end{cases} . \quad (11)$$

Комбинируя значения $\gamma_i \in \{-1, +1\}$, $\xi_i, \varsigma_{ij} \in \{-1, 0 +1\}$ в системе уравнений (10), выявляем варианты, когда условие (5) выполняется. Осуществив выбор физически реализуемых вариантов, и решая систему (10) относительно $\chi_j(r,\tau)$, получаем искомые измерительно-вычислительные алгоритмы:

$$\left.\begin{array}{c} x_{1k}(r,\tau) = f_1\{f(L), Y_1(\tau), ..., Y_n(\tau)\}; \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ x_{pk}(r,\tau) = f_p\{f(L), Y_1(\tau), ..., Y_n(\tau)\}. \end{array}\right\}. \quad (12)$$

Представленный метод измерения и получаемые на его основе измерительно-вычислительные алгоритмы могут служить основой для разработки интеллектуальных систем измерения, обработки информации и выдачи соответствующих сигналов управления при решении широкого спектра задач, связанных с определением взаимного положения тел в процессе из сложных перемещений, в том числе для определения параметров движения подвижных целей.

Список использованных источников

1. Нестеров В.Н. Принципы измерений векторных многокомпонентных физических величин // Информационно-измерительные и управляющие системы. - 2003, №2-3. - С.92-98.
2. Нестеров В.Н. Теоретические основы измерений составляющих векторных многокомпонентных физических величин // Измерительная техника. - 2004. - №7. - С. 12-16.