

УДК 007.52 (075.8)

А.Г. Колбасников, канд. техн. наук, доцент

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ ОБЪЕКТОВ ОРИЕНТИРОВАНИЯ

Рассматриваются некоторые вопросы структурного анализа объектов ориентирования, решение которых на подготовительном этапе позволяет построить модель объекта в виде идентифицируемой в произвольном положении прямоугольной системы координат.

Основной проблемой современного роботостроения является создание интеллектуальных роботов, обладающих многими качествами, присущими человеку. В недалеком будущем все большее количество роботов будет использоваться для выполнения задач, а именно работ в сфере повышенной опасности либо в космическом применении. Ловкие руки – это мощный универсальный инструмент, посредством которого можно взаимодействовать с неупорядоченной мировой окружающей средой. В этой связи активность исследований в области тактильного восприятия не ослабевает, находя и расширяя возможные сферы применения результатов исследований.

Теоретическое описание существующих закономерностей тем ближе к истине, чем глубже выявлены структурные отношения элементов исследуемого сложного объекта. В данной работе рассматриваются некоторые вопросы структурного анализа объектов ориентирования, решение которых на подготовительном этапе позволяет построить модель объекта в виде идентифицируемой в произвольном положении прямоугольной системы координат. Выбор в качестве модели объекта ориентирования его прямоугольной системы координат объясняется векторной структурой конфигурации предмета, позволяющей отождествить орты некоторых структурных векторов (СВ) с ортами осей системы координат [1]. Структурные векторы моделируют направление определенных величин. Моделируемую СВ величину и ее модуль будем называть «наименованием» СВ. Наименование является распознаваемым признаком вектора, если имеется возможность снимать информацию с объекта в виде μ -векторного поля его поверхности [2]. Если $\langle G, H \rangle$ упорядоченная пара СВ известных координат и наименований, на базе которых построена система координат объекта ориентирования в его сориентированном положении, то для определения произвольного положения объекта достаточно на μ -векторном поле его поверхности идентифицировать векторы G и H и воспроизвести систему координат в ее новом положении. Однако, не любой СВ может выступать в качестве базисного вследствие того, что не каждый СВ может быть идентифицирован.

Целью статьи является определение в структуре предмета таких отношений, которые бы позволили в условиях отсутствия идентифицируемых СВ осуществить выбор базиса системы координат, однозначно определяющей положение предмета. Структура, как схема отношений между элементами системы, представляет собой отношения очередности вступления СВ в качество базисных [3]. Очередность зависит от количественного состава и относительного положения СВ различных наименований, моделирующих конфигурацию предмета. На этапе анализа структуры объекта ориентирования все СВ и образованные суммы СВ являются предположительно базисными или «квазибазисными» векторами (КБВ).

Чтобы описать структуру, необходимо всё множество КБВ отнести к двум классам: кл.1 и кл.2. К первому классу (Кл.1) КБВ относятся СВ или векторные суммы СВ данного наименования, если они единственны во множестве СВ или сумм СВ различных наименований. Ко второму классу (Кл.2) КБВ относятся СВ или суммы СВ, являющиеся элементами непустого множества СВ одного наименования, векторная сумма элементов которого равна 0. Не останавливаясь на подробностях классификации, отметим формальные отношения, возникающие между КБВ различных классов при априорном определении базисных векторов. Согласно [3], условия образования идентифицируемой упорядоченной пары базисных векторов будут следующие.

П.1. Оба вектора относятся к Кл.1.

П.2. При невыполнении П.1 первым вектором пары $\langle G, H \rangle$ становится вектор Кл.1 i -го наименования. Вторым вектором (при отсутствии в предметной области двух векторов первого класса) становится вектор Кл.2 j -го наименования. При этом модуль векторного произведения этих векторов единственен по своему значению во множестве модулей векторных произведений КБВ i -го и j -го наименований.

П.3. При невыполнении П.1 и П.2, – оба КБВ Кл.2 i -го и j -го наименований, входящие как множимое и множитель в векторное произведение, модуль которого единственен во множестве модулей векторных произведений КБВ указанных наименований.

П.4. При невыполнении П.1, П.2, П.3 – любая пара КБВ Кл.2 i -го и j -го наименований из полного числа наименований КБВ данного объекта ориентирования, когда каждое множество векторных произведений одноименных пар включает произведения одного модуля.

В зависимости от количества КБВ различных классов, моделирующих конфигурацию предмета, последний можно отнести к одному из пяти классов объектов ориентирования: d_1, d_2, d_3, d_4, d_5 при этом выбор базисных СВ (см. таблицу 1) становится проще. Согласно векторному составу объектов ориентирования для объектов классов d_2, d_3, d_4, d_5 (см. таблицу 1) выбор базисных пар однозначен, так как в основном включает КБВ Кл.1, т.е. одиночные КБВ, идентифицируемые по своим наименованиям. Этого нельзя утверждать в отношении объектов класса d_1 , включающих только КБВ Кл.2, представляющих множество подмножеств КБВ различных наименований.

Таблица 1 — Выбор классов КБВ синтезируемой пары базисных векторов

Класс объекта ориентирования	Векторный состав ориентируемого объекта данного класса		Класс КБВ синтезируемой пары $\langle G, H \rangle$		Примечание
	Число n_1 КБВ первого класса	Число n_2 КБВ второго класса	G	H	
d_1	$n_1 = 0$	$n_2 > 1$	Кл.2	Кл.2	Векторной моделью объекта ориентирования класса d_4 является один вектор
d_2	$n_1 > 1$	$n_2 = 0$	Кл.1	Кл.1	
d_3	$n_1 > 1$	$n_2 > 1$	Кл.1	Кл.1	
d_4	$n_1 = 1$	$n_2 = 0$	Кл.1	—	
d_5	$n_1 = 1$	$n_2 > 1$	Кл.1	Кл.2	

Рассмотрим выбор базисных пар на примерах предметов простейшей конфигурации, относящихся к объектам класса d_1 . Для этого введем следующие определения:

1) нулевой упорядоченной парой КБВ будем называть пару КБВ, результатом векторного произведения которых является 0-вектор;

2) множество первого типа – множество не нулевых упорядоченных пар КБВ, модули векторных произведений КБВ которых между собой равны, наименования первых КБВ между собой и наименования вторых КБВ между собой одинаковы, а наименования первых и вторых КБВ между собой различны;

3) множество второго типа – множество не нулевых упорядоченных пар КБВ, модули векторных произведений которых между собой равны, наименования первых КБВ между собой, наименования вторых КБВ между собой, а также наименования первых и вторых КБВ между собой одинаковы.

Примем следующие обозначения:

- P – число наименований КБВ в конфигурации предмета ориентирования;
- $i \in \{1, 2, \dots, P\}$ – множество номеров наименований КБВ;
- n_i – число КБВ i -го наименования;
- n_{ii}^0 – число нулевых пар КБВ, образуемых КБВ одного наименования;
- n_{ij}^0 – число нулевых пар КБВ, образуемых КБВ различных наименований;
- n_{ij} – число элементов множества первого типа, определяемое по формуле

$$n_{ij} = n_i n_j - n_{ij}^0;$$

- n' – число множеств первого типа пар КБВ определяется, как число сочетаний по два из числа P наименований КБВ в конфигурации объекта ориентирования

$$n' = \frac{P!}{2 \cdot (P-2)!};$$

- n_{ii} – число элементов множества второго типа, равное разности числа сочетаний КБВ по два из числа n_i КБВ i -го наименования и числа n_{ii}^0 нулевых пар этого наименования, т.е.

$$n_{ii} = \frac{n_i!}{2 \cdot (n_i - 2)!} - n_{ii}^0;$$

- n'' – число множеств второго типа пар КБВ равно числу наименований P , т.е.

$$n'' = P.$$

Пусть символы: $q, r, \dots, m$ – обозначения рациональных положительных чисел. Тогда модули векторных произведений двух векторов одного наименования, могут быть условно обозначены как m_{ii} , а векторов различных наименований – m_{ij} , где i, j – порядковые номера наименований КБВ. Структурный

анализ объектов ориентирования класса d_1 в отношении синтеза на множестве КБВ пар $\langle G, H \rangle$ позволяет констатировать:

а) в объекте ориентирования класса d_1 базисом $\langle G, H \rangle$ являются пары КБВ, которые в свою очередь являются элементами множеств первого типа минимальной мощности из числа не нулевых мощностей множеств этого типа;

б) в объекте ориентирования класса d_1 базисом $\langle G, H \rangle$ являются пары КБВ, которые в свою очередь являются элементами множеств второго типа минимальной мощности из числа не нулевых мощностей множеств первого и второго типа.

Рассмотрим (см. рисунки 1 – 3) примеры выбора базисных пар из множеств КБВ в трёх предметах различной конфигурации, относящихся к классу d_1 объектов ориентирования.

В качестве примеров взяты предметы, представляющие собой прямоугольные параллелепипеды, один из которых (рисунок 1) является кубом; второй, (рисунок 2), – брус, имеющий квадратное поперечное сечение; и третий (рисунок 3) – пластина, три ортогональные сечения которой являются не равными прямоугольниками.

На рисунках 1 – 3 символом W с приданием ему двух числовых индексов обозначены КБВ. В обозначениях первый индекс – номер наименования КБВ, второй индекс – порядковый номер КБВ во множестве КБВ данного наименования. КБВ моделируют следующие величины:

вектор W_{1j} – единичный вектор плоскости;

векторы W_{2j} , W_{3j} , W_{4j} – векторы направлений различных расстояний между параллельными плоскостями.

В таблицах 2 – 4, сопровождающих изображения объектов, в пересечении строк и столбцов даны условные обозначения модулей векторных произведений КБВ. Буквенными символами условно обозначаются числовые значения модулей с приданием им двух числовых индексов. Первый индекс отражает номер наименования первого КБВ пары (множимого операции векторного перемножения). Второй индекс – номер наименования второго КБВ пары, множителя операции векторного перемножения. В результате модули векторных произведений различных числовых значений обозначены различными буквами. Принадлежность модуля векторных произведений КБВ множеству определяется его числовым значением (здесь буквенным обозначением) и числовыми индексами. Множества модулей произведений пар КБВ, составляющих множества 1-го и 2-го типа, которые отвечают требованиям П.1 и П.2, в таблицах выделены.

Таблица 2 – Синтез базисных пар $\langle G, H \rangle$ объекта ориентирования класса d_1 типа «куб»

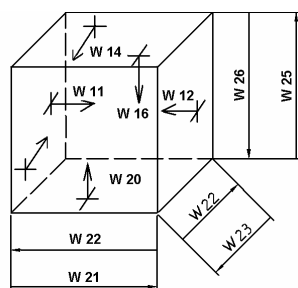
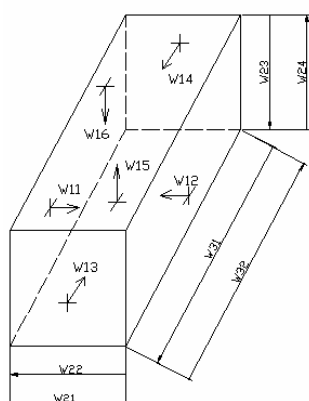


Таблица 3 – Синтез базисных пар $\langle G, H \rangle$ объекта ориентирования класса d_1 типа «брус»Рисунок 2 – Векторная структура конфигурации объекта класса d_1 типа «брус»

	w_{11}	w_{12}	w_{13}	w_{14}	w_{15}	w_{16}	w_{21}	w_{22}	w_{23}	w_{24}	w_{31}	w_{32}
w_{11}		0	h_{11}	h_{11}	h_{11}	h_{11}	0	0	a_{12}	a_{12}	b_{13}	b_{13}
w_{12}			h_{11}	h_{11}	h_{11}	h_{11}	0	0	a_{12}	a_{12}	b_{13}	b_{13}
w_{13}				0	h_{11}	h_{11}	a_{12}	a_{12}	a_{12}	a_{12}	0	0
w_{14}					h_{11}	h_{11}	a_{12}	a_{12}	a_{12}	a_{12}	0	0
w_{15}						0	a_{12}	a_{12}	0	0	b_{13}	b_{13}
w_{16}							a_{12}	a_{12}	0	0	b_{13}	b_{13}
w_{21}								0	m_{22}	m_{22}	e_{23}	e_{23}
w_{22}									m_{22}	m_{22}	e_{23}	e_{23}
w_{23}										0	e_{23}	e_{23}
w_{24}											e_{23}	e_{23}
w_{31}												0

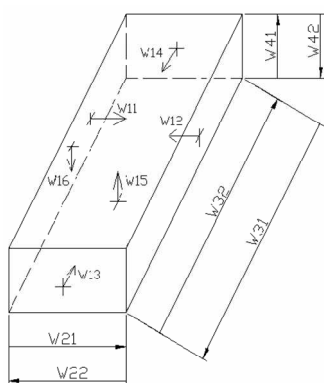
Таблица 4 – Синтез базисных пар $\langle G, H \rangle$ объекта ориентирования класса d_1 типа «пластина»

Рисунок 3 – Векторная структура конфигурации объекта ориентирования типа «пластина»

	w_{11}	w_{12}	w_{13}	w_{14}	w_{15}	w_{16}	w_{21}	w_{22}	w_{31}	w_{32}	w_{41}	w_{42}
w_{11}		0	h_{11}	h_{11}	h_{11}	h_{11}	0	0	b_{13}	b_{13}	c_{14}	c_{14}
w_{12}			h_{11}	h_{11}	h_{11}	m_{11}	0	0	b_{13}	b_{13}	c_{14}	c_{14}
w_{13}				0	h_{11}	h_{11}	a_{12}	a_{12}	0	0	c_{14}	c_{14}
w_{14}					h_{11}	h_{11}	a_{12}	a_{12}	0	0	c_{14}	c_{14}
w_{15}						0	a_{12}	a_{12}	b_{13}	b_{13}	0	0
w_{16}							a_{12}	a_{12}	b_{13}	b_{13}	0	0
w_{21}								0	e_{23}	e_{23}	f_{24}	f_{24}
w_{22}									e_{23}	e_{23}	f_{24}	f_{24}
w_{31}										0	g_{34}	g_{34}
w_{32}											g_{34}	g_{34}
w_{41}												0

Таблица 5 – Результаты анализа и выбора базисных пар векторов объектов ориентирования

Объекты анализа	Мощности множеств первого типа						Мощности множеств второго типа			
	Обозначения модулей векторных произведений КБВ не нулевых пар						h_{11}	m_{22}	m_{33}	m_{44}
Куб	24	—	—	—	—	—	12	12	—	—
Брус	16	8	—	8	—	—	12	4	—	—
Пластина	8	8	8	4	4	4	12	—	—	—

В объекте брус имеют место пять множеств пар КБВ. Из трех множеств первого типа два множества мощностью 8 элементов удовлетворяют требованию а). Из двух множеств 2-го типа только одно множество мощностью 4 элемента удовлетворяет требованию б). Пары КБВ с номерами наименований $\langle 1,3 \rangle$, $\langle 2,3 \rangle$, $\langle 2,2 \rangle$ являются парами базисных векторов.

В объекте пластина имеют место семь множеств пар КБВ. Из шести множеств первого типа три мощностью 4 элемента отвечают требованиям а). Множество 2-го типа не отвечает требованиям б). Поэтому базисными можно считать лишь пары векторов с номерами наименований $\langle 2,3 \rangle$, $\langle 2,4 \rangle$, $\langle 3,4 \rangle$.

Из полученных вариантов множеств базисов систем координат (СК) объектов в качестве рабочего (принятого) для построения СК можно выбрать тот, который по тем или иным критериям может считаться оптимальным. Примем в качестве критерия оценки минимально необходимое число точек касания объекта чувствительным элементом распознающего устройства для идентификации вектора

того или иного наименования. Из числа используемых в рассмотренных примерах векторов единичный вектор плоскости W_{1j} требует всего одну точку для своей идентификации [4]. Поэтому базисы, включающие этот вектор наиболее предпочтительны, т.е., для куба (см. таблицу 5) из трех вариантов множеств это множество базиса $\langle W_{1i}, W_{1j} \rangle$, для бруса так же из трех вариантов множеств оптимальным является множество базиса $\langle W_{1j}, W_{3j} \rangle$, для пластины нет вариантов базисов, включающих вектор W_{1j} , поэтому остаются базисы $\langle W_{2i}, W_{3j} \rangle$, $\langle W_{2i}, W_{4j} \rangle$, $\langle W_{3i}, W_{4j} \rangle$.

Построение СК предполагает построение на основе базиса $\langle G, H \rangle$ упорядоченной тройки взаимортогональных векторов $\langle M_1, M_2, M_3 \rangle$, орты которых m_1^0, m_2^0, m_3^0 тождественны ортам осей СК. Априори при сориентированном положении объекта, полагая, что координаты векторов G и H известны, получим:

$$\begin{aligned} M_1 &= G, \\ M_2 &= G \times H, \\ M_3 &= M_1 \times M_2 = G \times (G \times H). \end{aligned} \quad (5)$$

Если прямоугольная система $X'O'Y'Z'$ с ортами i', j', k' и есть синтезируемая СК, то для ее привязки к конфигурации объекта достаточно отождествить точку начала координат O' со структурным точечным элементом $T(x_T, y_T, z_T)$ конфигурации объекта, а орты i', j', k' – с единичными векторами m_1^0, m_2^0, m_3^0 . Привязка тройки ортов к выбранной вершине осуществляется путем определения проекций $\{\mu_x, \mu_y, \mu_z\}$ суммарного μ -вектора вершины T на оси $O'X', O'Y', O'Z'$ соответственно.

Число систем координат, фиксируемых относительно детали, равно произведению мощности базисного множества на число структурных точечных элементов объекта, принятых в качестве точек начал координат (ТНК). Для рассмотренных объектов ориентирования число СК равно: для куба – 96, для бруса – 64, для пластины – 96. Определение СК, необходимой для расчета ориентирующих перемещений, производится исходя из условия минимальности значений ориентирующих перемещений для данного варианта репера.

Выводы

1. Определены правила априорного выбора базисных пар в объектах, не имеющих идентифицируемых векторов (объектах класса d_1).
2. Базисная упорядоченная пара векторов может оставаться не идентифицируемой, но должна принадлежать идентифицируемому множеству первого или второго типа минимальной мощности.
3. Правило выбора базисных пар в объектах класса d_1 осуществляется по признаку минимума мощности множеств пар векторов $\langle G, H \rangle$, составленных из векторов двух различных наименований (множество 1-го типа), или двух векторов одного наименования (множество 2-го типа).
4. Условия по П.1 – П.4 образования идентифицируемой базисной пары векторов являются частными случаями закономерности выбора базисных пар, определяемой согласно а) и б) для объектов ориентирования класса d_1 .
5. С учетом того, что при рассмотрении охвачены все классы объектов ориентирования, принятую согласно а) и б) закономерность выбора базисных пар можно считать всеобщей для всех классов объектов ориентирования.

Теоретические исследования и преобразователь ППВ-ЗИ, разработанный на кафедре Автоматизированных приборных систем СевНТУ открывают возможность дальнейших исследований в создании развитой информационно-измерительной системы искусственного осязания робота-манипулятора.

Библиографический список

1. Колбасников А.Г. Оптимизация привязки системы координат к конструкции ориентируемой детали / А.Г. Колбасников // Оптимизация производственных процессов: сб. науч. тр. — Севастополь. 2002. — Вып. 5. — С. 52–60.
2. Kolbaśnikov A.G. Wybór danych początkowych przy identyfikowaniu powierzchni orientowanych części / A.G. Kolbasnikov // Technika i technologia montażu maszyn: Materiały 4 Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej-2001. — Rzesów, Pol.: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzesowskiej, 2001. — S. 25–30.
3. Колбасніков О.Г. Автоматична підготовка процесу орієнтування деталі з використанням координатно-вимірювальних машин (КВМ) / О.Г. Колбасніков, О.В. Черноіванов // Машинознавство. — 2005. — № 8. — С. 20–28.

Поступила в редакцию 20.07.2007 г.