

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ВИРТУАЛЬНОГО РОБОТА

Частиков А.П., Тотухов К.Е., Урвачев П.М.

ГОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар, Россия (350072, г. Краснодар, ул. Московская, д. 2), e-mail: adm@kgtu.kuban.ru

Приведены общие сведения о характерных особенностях разработки компьютерных симуляторов технических систем. Предпринята попытка детализировать и структурировать данные, обработка которых осуществляется симулятором в виртуальной среде. Сформировано теоретическое представление целостной модели, описывающей виртуальный объект управления. Подробно исследованы проблемы, возникающие при переносе объекта управления из реальной окружающей среды в виртуальное пространство симулятора, и предложены пути их решения. Произведён анализ существующих объектов управления и выбор подходящего прототипа. Теоретическая база, описывающая процессы в робототехнике, применена для получения зависимостей, необходимых для определения параметров виртуального объекта управления. Полученные закономерности согласованы с ранее представленной моделью, описывающей принципы действия и ограничения работы виртуальных объектов управления. Достигнута целостность и непротиворечивость всех описанных подсистем и блоков. Получен полноценный теоретический базис, способный стать фундаментом для формирования интеллектуальной системы диагностики поведения виртуального робота.

Ключевые слова: компьютерная симуляция, робот, виртуальный объект управления, интеллектуальная диагностика.

THEORETICAL BASIS OF THE INTELLECTUAL DIAGNOSTIC OF THE VIRTUAL ROBOT

Chastikov A.P., Totukhov K.E., Urvachev P.M.

Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia, (350072, Krasnodar, Moskovskaya street, 2), e-mail: adm@kgtu.kuban.ru

The common information about particular qualities of the development of computer simulators of technical systems is presented. There is performed an attempt to itemize and to structure the data, which is being maintained by the simulator in the virtual environment. There is formed the theoretical representation of holistic model, which describes the virtual object of managing. The problems, emerging at transferring of the object of managing from real environment to virtual space of simulator, are researched and the ways of solving them are suggested. The analysis of the existing objects of managing and the selection of proper prototype are performed. The theoretical basis, which describes processes of robotics, applied for obtaining of the dependencies, required for the determination of parameters of the virtual object of managing. The obtained regularities are agreed with the previously presented model, describing functions and restrictions of the action of virtual object of managing. The continuity and the consistency of all of the described subsystems and blocks are achieved. There is obtained the theoretical basis, which is able to become the fundament for the future intellectual system of the virtual robot's actions diagnostics.

Keywords: computer simulation, robot, virtual object of managing, intellectual diagnostic.

Введение

Разработка компьютерного симулятора робота с программным управлением призвана решить задачу тестирования и испытания создаваемой управляющей программы в виртуальной среде ПК до её запуска на реальной робототехнической системе. Это позволит избежать возможных сбоев или иных неприемлемых ситуаций, связанных с нештатным использованием технологического оборудования. Для решения этой задачи целесообразно использование средств ЭВМ совместно с искусственным интеллектом в виде систем продукционного типа [4; 7-8].

Цель

При создании системы компьютерной симуляции основной проблемой, возникающей перед разработчиком, является достижение соответствия виртуальных процессов, протекающих в симуляторе, их реальным аналогам, т.е. тем процессам, которые и необходимо симулировать в виртуальной среде. По этой причине симуляция робота в виртуальном пространстве с целью последующей интеллектуальной диагностики требует подходящей теоретической базы, формулирующей все необходимые данные о работе манипулятора.

Материал и методы

В качестве теоретической основы виртуализации целевой системы, рассмотрим обобщённую модель виртуального объекта управления, построенную по типу «вход-состояние-выход» (рис. 1).

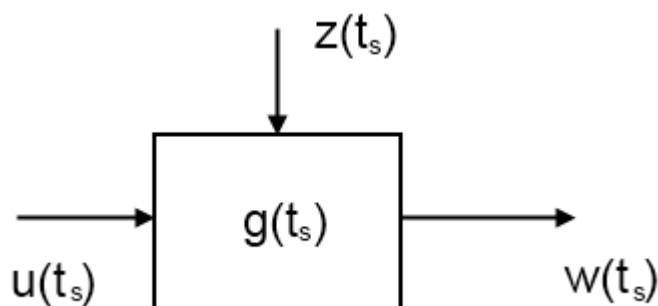


Рис. 1. Обобщённая модель виртуального объекта управления.

На рисунке 1 представлена модель виртуального объекта управления. Здесь $u(t_s)$ – виртуальные управляющие воздействия, $z(t_s)$ – виртуальные параметры окружающей среды, $g(t_s)$ – переменные состояния объекта управления, $w(t_s)$ – виртуальные выходные параметры. Аргумент t_s выражает значение времени, причём индекс s означает, что время здесь является виртуальной (симулированной) величиной. Очевидно, что именно $w(t_s)$ является целевым вектором, получение которого и представляет собой решение задачи симуляции технической системы. Для того чтобы данные векторов $w(t_s)$ и $g(t_s)$ были максимально приближены к аналогичным данным, полученным на реальном объекте управления, величины векторов $u(t_s)$ и $z(t_s)$ также должны быть в как можно большей степени приближены к их реальным аналогам. В случае робота-манипулятора вектор $u(t_s)$ управляющих воздействий в большинстве случаев состоит из электрических сигналов системы управления, изменяющих состояние силовых приводов робота различного рода (электрических, гидравлических, пневматических или сервоприводов) [1; 5]. Кроме того, в состав этого вектора входят технологические параметры, также выраженные сигналами системы управления. Таким

образом, симуляция входных сигналов не требует серьёзного теоретического фундамента для реализации в симуляторе. Вектор $z(t_s)$ содержит в себе т.н. возмущающие воздействия, т.е. все те параметры, которые не связаны с управляющим воздействием, однако тем не менее оказывают влияние на процессы, протекающие в объекте управления. Основным фактором окружающей среды, оказывающим возмущающее воздействие на перемещение манипулятора, является ускорение свободного падения [3]. Однако в большинстве случаев применяемые приводы роботов-манипуляторов имеют достаточную мощность, чтобы нивелировать влияние силы ускорения свободного падения в процессе перемещения [5]. По этой причине можно упростить поставленную задачу и отказаться от учёта силы ускорения свободного падения в создаваемой системе симуляции робота-манипулятора. Промежуточное положение между векторами управления $u(t_s)$ и выходных данных $w(t_s)$ занимает вектор переменных состояния $g(t_s)$. Этот вектор содержит в себе данные о перемещениях исполнительных органов манипулятора и режимах работы его подсистем. Данные о перемещении исполнительных органов в пространстве являются ключевыми сведениями о состоянии манипулятора и могут быть получены с использованием теоретических способов вычисления положений звеньев механизма.

Первоначально исследуем представление времени в компьютерных симуляторах. Симуляция, технической основой которой выступает ЭВМ, неизбежно ограничивается теми временными закономерностями, которые используются в самих вычислительных машинах. Речь идёт о дискретности течения времени в представлении ЭВМ. В связи с этим взамен реального непрерывного времени в симуляторе следует использовать такты, т.е., дискретные «скачки» времени, разделённые интервалами [9]. Введём зависимость (1), выражающую аргумент времени виртуального объекта управления.

$$T = N \cdot k_t^{so} \quad (1)$$

где k_t^{so} – безразмерный коэффициент;

N – количество тактов симуляции;

T – время, прошедшее в реальном объекте управления.

Используя данную закономерность, можно получить выражение (2), формулирующее изменение положения звена с угловой степенью свободы, взяв за основу зависимость из [2].

$$\varphi(t_s) = \varphi(t_{s,0}) + \omega \cdot N_s \cdot k_t^{so} \quad (2)$$

где t_s – симулированное текущее значение времени;

$t_{s,0}$ – симулированное начальное значение времени;

$\varphi(t)$ – угол поворота звена в момент времени t_s ;

$\varphi(t_{s,0})$ – угол поворота звена в начальный момент времени $t_{s,0}$;

N_s – количество тактов симуляции, осуществлённых между начальным и текущим значениями симулированного времени;

ω – угловая скорость звена манипулятора.

Аналогично формулируются выражения для линейных перемещений звеньев. Таким образом, симулятор способен вычислять относительные положения звеньев манипулятора, т.е. данные вектора внутреннего состояния $g(t_s)$.

Теперь исследуем: как, используя значения вектора внутренних переменных, вычислить выходные данные виртуального объекта управления. Для решения этой задачи в робототехнике чаще всего используют метод однородных матричных преобразований, известный как метод Денавита-Хартенберга (ДХ-представление). Данный способ позволяет определить положение любого i -го звена манипулятора относительно системы координат любой j -й системы координат. В основе данного метода лежит единое расположение координатных осей для каждого из сочленений звеньев: ось z_i направляется вдоль оси перемещения i -го звена, ось x_i дополняет оси z_i и z_{i-1} до правосторонней системы координат, ось y_i дополняет оси z_i и x_i до правосторонней системы координат. ДХ-представление твёрдых звеньев зависит от четырёх геометрических параметров, соответствующих каждому звену. Эти четыре параметра полностью описывают любое вращательное или поступательное движение и определяются в соответствии с [5] следующим образом:

- 1) θ_i – присоединенный угол – угол, на который надо повернуть ось x_{i-1} вокруг оси z_{i-1} , чтобы она стала сонаправлена с осью x_i (знак определяется в соответствии с правилом правой руки);
- 2) d_i – расстояние между пересечением оси z_{i-1} с осью x_i и началом $(i-1)$ -й системы координат, отсчитываемое вдоль оси z_{i-1} ;
- 3) a_i – линейное смещение – расстояние между пересечением оси z_{i-1} с осью x_i и началом i -й системы координат, отсчитываемое вдоль оси x_i , т.е. это кратчайшее расстояние между осями z_{i-1} и z_i ;
- 4) α_i – угловое смещение – угол, на который надо повернуть ось z_{i-1} вокруг оси x_i , чтобы она стала сонаправлена с осью z_i (знак определяется в соответствии с правилом правой руки).

Для вращательных сочленений параметры d_i , a_i и α_i являются константами, а θ_i – изменяющейся величиной. С другой стороны, для поступательных сочленений θ_i , a_i и α_i – постоянные величины, а d_i – переменное значение. Значения θ_i для вращательного сочленения и d_i для поступательного называются обобщёнными координатами [5; 6].

Согласно ДХ-представлению, преобразование i -й системы координат к $(i-1)$ -й, при заданных значениях θ_i , a_i , α_i , d_i , производится путём перемножения четырёх матриц однородных преобразований (3).

$$A_i = Rot(z_i, \theta_i) \cdot tr(0, 0, d_i) \cdot tr(a_i, 0, 0) \cdot Rot(x_i, \alpha_i) =$$

$$= \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i \cdot \cos\alpha_i & \sin\theta_i \cdot \sin\alpha_i & a_i \cdot \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i \cdot \cos\alpha_i & -\cos\theta_i \cdot \sin\alpha_i & a_i \cdot \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

А положение i -й системы координат относительно j -й выражается матричным произведением (4):

$$T_j^i = A_{j+1} \cdot A_{j+2} \cdot \dots \cdot A_i = \prod_{n=j}^i A_n, j < i. \quad (4)$$

С точки зрения достаточного соответствия реально существующим промышленным манипуляционным системам [5], решено использовать в качестве манипулятора-прототипа плоский механизм с 6-ю степенями подвижности различных типов и одним неподвижным звеном (рис. 2).

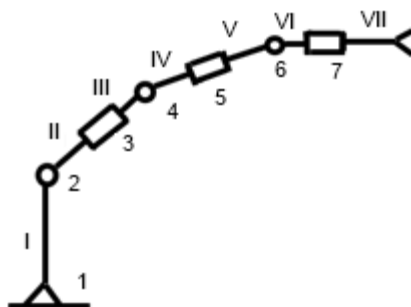


Рис. 2. Кинематическая компоновка манипулятора-прототипа. Арабскими цифрами обозначены сочленения, римскими – звенья механизма.

Результаты и их обсуждение

Для заданного манипулятора запишем значения матриц перехода A_i для двух различных кинематической пар: вращательной (A_6) и поступательной (A_7) соответственно.

$$A_6 = \begin{bmatrix} -\cos\theta_6 & 0 & -\sin\theta_6 & 0 \\ -\sin\theta_6 & 0 & \cos\theta_6 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} A_7 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_7 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Аналогично, с некоторыми уточнениями, формулируются матрицы A_i для остальных сочленений звеньев.

Основная цель использования ДХ-преобразования – получение координат конечного звена манипулятора относительно базовой системы отсчёта. Эти данные необходимы для осуществления симуляции и интеллектуальной диагностики работы манипулятора. Запишем результирующее ДХ-преобразование в виде матрицы T_0^7 .

$$T_0^7 = \begin{bmatrix} \sin(\theta_2 + \theta_4 + \theta_6) & 0 & \cos(\theta_2 + \theta_4 + \theta_6) & T_{1,4} \\ 0 & -1 & 0 & T_{2,4} \\ -\cos(\theta_2 + \theta_4 + \theta_6) & \sin(\theta_2 + \theta_4 + \theta_6) & \sin(\theta_2 + \theta_4 + \theta_6) & T_{3,4} \\ 0 & 0 & 0 & T_{4,4} \end{bmatrix}$$

Для компактности записи элементы матрицы T_0^7 под индексами $T_{1,4}$, $T_{2,4}$, $T_{3,4}$, $T_{4,4}$ будут представлены в виде отдельного вектора $T_{1-4,4}$.

$$T_{1-4,4} = \begin{bmatrix} d_3 \cdot \cos\theta_2 + d_5 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_4) + d_7 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_4 + \theta_6) \\ 0 \\ d_1 + d_3 \cdot \sin\theta_2 + d_5 \cdot \sin(\theta_2 + \theta_4) + d_7 \cdot \sin(\theta_2 + \theta_4 + \theta_6) \\ 1 \end{bmatrix}$$

Отметим, что обобщённые координаты θ_i (угол поворота для вращательного сочленения) и d_i (перемещение для поступательного), очевидно, могут быть подменены симулированными значениями углового (2) и линейного перемещения. Таким образом, параметры вектора внутреннего состояния $g(t_s)$ используются для вычисления вектора выходных значений $w(t_s)$. Данные матриц ДХ-преобразований будут использованы в симуляторе для вычисления абсолютных координат манипулятора в виртуальном пространстве.

Заключение

Данные об изменении положений звеньев манипулятора в пространстве являются основными сведениями, необходимыми для анализа осуществляемой роботом деятельности и определения технологии, по которой работает робот. Эта информация является главной составляющей базы знаний интеллектуальной подсистемы, которая будет диагностировать поведение виртуального робота под программным управлением. Таким образом, получена теоретическая основа интеллектуальной диагностики работы виртуального робота.

Список литературы

1. Асфаль Р. Роботы и автоматизация производства / пер. с англ. М.Ю. Евстегнеева и др. – М. : Машиностроение, 1989. – 448 с. : ил. ISBN 5-217-00620-X.
2. Василенко Н.В. [и др.] Основы робототехники. – Томск : МГП «РАСКО», 1993. – 470 с. : ил. – ISBN 5-88276-044-5.
3. Корендясев А.И. Теоретические основы робототехники. В 2 кн. / Корендясев А.И., Саламандра Б.Л., Тывес Л.И. ; отв. ред. Каплунов С.М. ; Ин-т машиноведения им А.А. Благонравова РАН. – М. : Наука, 2006. – Кн. 2. – 376 с., ил. – ISBN 5-02-034445-1.
4. Малыхина М.П., Частикова В.А. Программирование на языке высокого уровня C# : учеб. пособие. – Краснодар : Изд. КубГТУ, 2011. – 251 с.
5. Спыну Г.А. Промышленные роботы. Конструирование и применение : учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев : Выща шк., 1991. – 311 с. : ил. – ISBN 5-11-002474-X.

6. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника / пер. с. англ. – М. : Мир, 1989. – 624 с. : ил. – ISBN 5-03-000805-5.
7. Частиков А.П., Глушко С.П., Тотухов К.Е. Компьютерная симуляция программного управления виртуальным роботом : монография. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 145 с. – ISBN 978-3-659-11131-0.
8. Частиков А.П., Тотухов К.Е., Урвачев П.М. Интеллектуальная диагностика состояния виртуального робота с программным управлением // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – URL: <http://www.science-education.ru/106-7507> (дата обращения: 23.11.2012).
9. Bell A.J. A graphical robotic simulation; SJSU ScholarWorks. – San Jose State University, 1995. – 108с. : ил. – URL: http://scholarworks.sjsu.edu/etd_theses/

Рецензенты:

Видовский Леонид Адольфович, д.т.н., доцент, профессор кафедры ВТиАСУ ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар.

Максименко Людвиг Александрович, д.т.н., профессор кафедры ВТиАСУ ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар.