
УДК 681.3.06

А.И. Бронников

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА И СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ РОБОТА

В статье рассматривается моделирование рабочего пространства робота, модель распознавания и идентификации объектов рабочей зоны. Также рассматривается построение модели системы адаптивного визуального управления, которая позволяет гибко изменять процессы управления роботами на основе информации системы технического зрения.

Ключевые слова: адаптивная система, моделирование рабочего пространства, система технического зрения.

Введение

На современном этапе развития производственных технологий все большее внимание привлекают робототехнические системы. Поэтому разработка и внедрение роботов с усовершенствованными системами управления является одной из важнейших задач развития производства.

При управлении роботом в сложных и неизвестных условиях выполнения задач алгоритмы обработки информации и управления оказываются малоэффективными или даже непригодными. Это связано с тем, что алгоритмы выполнения поставленных задач не способны автоматически приспособиться к существующим (но заранее неизвестным) условиям функционирования. Управление роботами становится более медленным, т.е. происходит своеобразное «запаздывание», так как управление осуществляется по ранее полученной, а не по «реальной» информации. Все это вызывает необходимость применения различных адаптивных методов и различных устройств адаптации.

Создание системы адаптивного управления связано с необходимостью увеличения быстродействия и уменьшения уровня неопределенности системы в процессе функционирования робота, т.е. повышением качества и скорости управления роботом и заключается в адаптации системы управления к изменениям в работе самого объекта и окружающей его среды.

Одной из актуальных задач робототехники является создание адаптивной системы управления роботом, которая функционирует на основе информации, поступающей от системы технического зрения, и формирует систему адаптивного визуального управления. Основной задачей такой системы является адаптация системы управления на основе полученной визуальной (зрительной) информации.

Для создания модели адаптивного визуального (зрительного) управления, необходимо создать несколько моделей:

- модель рабочего пространства робота;
- модель распознавания и идентификации объектов рабочей зоны робота;
- модель блока адаптивного управления.

Каждая из этих моделей описывает отдельный блок, входящий в состав модели адаптивного управления роботом. Далее рассмотрим разработку перечисленных моделей.

1. Модель рабочего пространства робота

Рассмотрим моделирование рабочего пространства мобильного робота, функционирующего в составе гибкой производственной системы (ГПС) [1].

Пусть существует рабочее пространство P робота Rb , которое обладает такими свойствами: геометрические размеры, объекты рабочей зоны, климатические условия, временные параметры.

$$P(D(x, y, z), Obj, Clm, T) .$$

В рабочем пространстве существуют определенные объекты: станки (St), инструмент (Ins), оснастка (Osn), человек (Hum), робот (Rb):

$$\exists St \in P; \exists Ins \in P; \exists Osn \in P;$$

$$\exists Hum \in P; \exists Rb \in P .$$

Объекты также обладают определенным набором свойств. Эти свойства обладают значениями и входят в множества имен и значений свойств.

Пусть наблюдение за рабочей зоной робота осуществляется с помощью системы компьютерного зрения Z_{Rb} , являющейся подсистемой робота.

$$Z_{Rb} \subset Rb .$$

Z_{Rb} обладает такими свойствами: диаметр объектива; фокусное расстояние; разрешающая способность; геометрические параметры наблюдаемой зоны, ограниченные рабочим пространством:

$$Z_{Rb}(z_1, \dots, z_n) .$$

Между объектами (предметами) и их свойствами существуют отношения принадлежности, т.е. определенному объекту принадлежат свойства (объект обладает свойствами) [2].

Предметы взаимодействуют между собой отношениями принадлежности $Pt(x)$, следования $Rt_1(x, y)$, совместности $Rt_2(x, y)$, отношениями предопределения $Rt_3(x, y)$, отношениями ограничения $Rt_4(x, y)$, отношениями совместности $Rt_5(x, y)$, отношениями ограничения по доступу одних объектов пространства к другим $Rt_6(x, y)$.

Наличие отношений позволяет ввести определения.

Определение 1. Каждый объект рабочей зоны робота обладает хотя бы одним свойством.

$$\forall x (x \in Obj) \exists s (s \in S) [x(s)] ,$$

где \forall – квантор общности, \exists – квантор существования, Obj – множество объектов рабочей зоны, S – множество свойств.

Множество Obj предметов пространства включает в себя следующие подмножества: St – станок роботизированного пространства, Ins – инструмент, Osn – оснастка, Hum – человек, Rb – робот. Таким образом, данное выражение можно записать в виде:

$$Obj = St \cup Ins \cup Osn \cup Hum \cup Rb .$$

Множество S свойств предметов включает в себя такие параметры как: S_{St} – множество свойств станков; S_{Ins} – множество свойств инструментов; S_{Osn} – множество свойств оснастки; S_{Hum} – множества свойств людей; S_{Rb} – множество свойств роботов. Отсюда следует, что

$$S = S_{St} \cup S_{Ins} \cup S_{Osn} \cup S_{Hum} \cup S_{Rb} .$$

Из этих определений следует, что

$$\forall x \exists S [S_{St}(x)] ;$$

$$\forall x \exists S [S_{Ins}(x)] ;$$

$$\forall x \exists S [S_{Osn}(x)] ;$$

$$\forall x \exists S [S_{Hum}(x)] ;$$

$$\forall x \exists S [S_{Rb}(x)] .$$

Определение 2. Каждый предмет пространства связан каким-либо отношением Rt с другим предметом:

$$\forall x \exists y (x Rt y) .$$

Определение является истинным, так как каждый из предметов создан для взаимодействия с другими предметами.

Определение 3. Все объекты рабочего пространства являются упорядоченными по отношению к другим:

$$\forall x \exists y [Rt_1(x, y)] .$$

Определение 4. Для каждого предмета рабочей зоны найдется другой предмет, который совместен с первым в процессе работы:

$$\forall x \exists y [Rt_2(x, y)] .$$

Оно является истинным, так как каждый из предметов роботизированного участка существует с целью участвовать в техпроцессе.

Определение 5. Существуют такие предметы, которые предопределяют друг друга в технологическом процессе.

$$\exists x \exists y [Rt_3(x, y)] .$$

Это отношение является частным случаем выражения из определения 4, поэтому оно существует между теми же объектами.

Определение 6. Существуют одни и те же предметы.

$$\exists x \exists y [Qt_2(x, y)] ,$$

где Qt_2 – отношение равенства, используемое для сравнения значений свойств. Для каждого значения $[s_1]$ свойства найдется равное ему. В символическом виде это выражение можно записать так:

$$\forall s_1 \exists s_2 ([s_1] = [s_2]) .$$

Определение 7. Для каждого числового значения свойства (кроме максимального на конечном множестве значений N) можно найти значение больше рассматриваемого.

$$\forall s_i \exists s_j ([s_i] < [s_j], s_i \in N, s_j \in N).$$

Проведем анализ технологических определений, содержащих цели проектирования ТП: переходов (движение), операций, маршрута.

Если $s_{12}^1, \dots, s_{12}^n$ – конкретные свойства изменения маршрута робота, то описание переходов робота в рабочем пространстве будет таким:

$$s_{12}^1(Rb) \wedge s_{12}^2(Rb) \wedge \dots \wedge s_{12}^n(Rb).$$

Тогда из определения следует, что описание технологических операций будет таким, что свойства робота будут взаимодействовать со свойствами инструмента, оснастки, человека и станка.

$$s_i(Rb) \wedge s_i(Ins) \wedge s_i(Osn) \wedge s_i(Hum) \wedge s_i(St).$$

Маршрут робота M будет состоять из операций Op и переходов Tr . Описание маршрута может быть представлено в следующем виде:

$$M = Op_1 \wedge Tr_1 \wedge Op_2 \wedge Tr_2 \wedge \dots \wedge Op_n \wedge Tr_n,$$

$$Op_i = \{s_i(Rb) \wedge s_i(Ins) \wedge s_i(Osn) \wedge s_i(Hum) \wedge s_i(St)\},$$

$$Tr_i = s_{12}^i(Rb) \wedge \dots \wedge s_{12}^n(Rb).$$

После определения рабочего пространства робота и его составляющих (предметов, объектов и т.д.) необходимо выделить их, то есть идентифицировать и распознать каждый из объектов. Это необходимо для ориентации робота относительно других предметов в рабочей зоне.

2. Распознавание и идентификация объектов рабочей зоны робота

Каждый из предметов рабочей зоны (станки, инструмент, оснастка, человек) входят в состав рабочей зоны робота. Все свойства объектов запишем в базе данных свойств предметов S_G , так называемой матрице признаков объектов [3]. Данную матрицу представим следующим образом:

$$S_G = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{n1} & s_{n2} & \dots & s_{nn} \end{bmatrix}.$$

Системе компьютерного зрения робота необходимо провести операцию идентификации и распознавания объектов рабочей зоны для последующего выполнения роботом поставленных задач с помощью блока адаптивного управления.

Процесс идентификации будет заключаться в том, что определенный объект Obj_i рабочего пространства робота может быть распознан по подмножеству признаков (свойств) объектов S'_G .

Для всего множества объектов Obj_i набор подмножеств S'_i формирует множество S'_G :

$$S'_G = \begin{bmatrix} s'_{11} & s'_{12} & \dots & s'_{1n} \\ s'_{21} & s'_{22} & \dots & s'_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s'_{n1} & s'_{n2} & \dots & s'_{nn} \end{bmatrix}.$$

Общий вид процедуры распознавания объектов формально представим в виде:

$$Rb_z \times Obj \Rightarrow Obj',$$

где Rb_z – робот, оснащенный системой датчиков Z ; Obj – множество объектов; Obj' – множество распознанных объектов.

Процедуру распознавания и идентификации объектов запишем в виде

$$Rb_z \times Obj \equiv \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \dots \\ Z_n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{n1} & s_{n2} & \dots & s_{nn} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} s'_{11} & s'_{12} & \dots & s'_{1n} \\ s'_{21} & s'_{22} & \dots & s'_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s'_{n1} & s'_{n2} & \dots & s'_{nn} \end{bmatrix} \Rightarrow Obj'$$

где $\begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \dots \\ Z_n \end{bmatrix}$ – множество сенсоров;

$\begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{n1} & s_{n2} & \dots & s_{nn} \end{bmatrix}$ – множество признаков;

$\begin{bmatrix} s'_{11} & s'_{12} & \dots & s'_{1n} \\ s'_{21} & s'_{22} & \dots & s'_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s'_{n1} & s'_{n2} & \dots & s'_{nn} \end{bmatrix}$ – множество распознанных признаков; Obj' – множество распознанных объектов.

Процедура идентификации будет состоять в определении в матрице распознанных признаков тех из них, которые являются необходимыми и достаточными для идентификации объектов:

$$I \times \begin{bmatrix} s'_{11} & s'_{12} & \dots & s'_{1n} \\ s'_{21} & s'_{22} & \dots & s'_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s'_{n1} & s'_{n2} & \dots & s'_{nn} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} s''_{11} & s''_{12} & \dots & s''_{1n} \\ s''_{21} & s''_{22} & \dots & s''_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s''_{n1} & s''_{n2} & \dots & s''_{nn} \end{bmatrix} \Rightarrow Obj''$$

где $\begin{bmatrix} s''_{11} & s''_{12} & \dots & s''_{1n} \\ s''_{21} & s''_{22} & \dots & s''_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s''_{n1} & s''_{n2} & \dots & s''_{nn} \end{bmatrix}$ – матрица идентифициро-

ванных признаков, характеризующая множество идентифицированных объектов Obj^n .

После того, как объекты рабочей зоны найдены, необходимо описать блок адаптивного управления, который будет управлять поведением робота в среде (рабочей зоне).

3. Блок адаптивного управления робота

Под блоком адаптивного управления следует понимать блок, позволяющий выбирать оптимальный путь движения робота для достижения конечной точки. Формально, система адаптивного визуального управления определяется следующим образом.

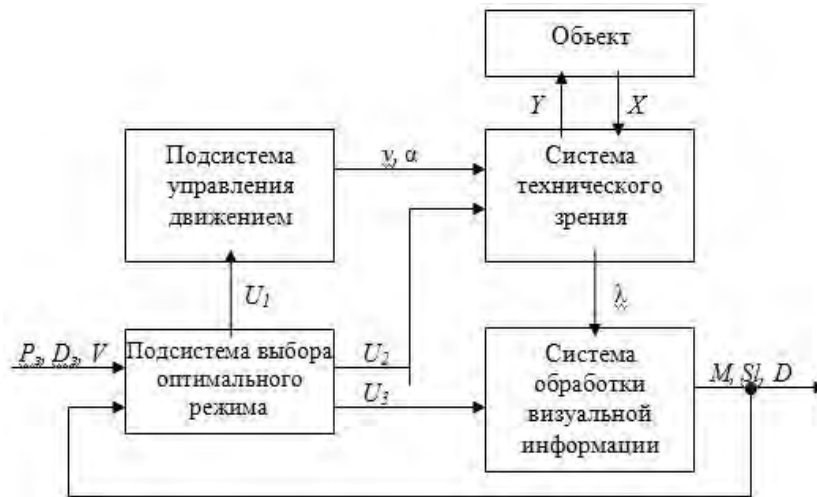


Рис. 1. Модель адаптивной системы управления для мобильного робота

- Как видно из рисунка, в состав модели входят:
- объект управления (робот);
 - система технического зрения робота;
 - подсистема выбора оптимального режима управления;
 - система обработки визуальной информации;
 - подсистема управления движением.

СТЗ посредством камеры получает информацию об объектах рабочей зоны робота. Система обработки визуальной информации обеспечивает определение местоположение объектов рабочей зоны робота и их отдельные характеристики (линейные размеры, центры масс и т.д.) Возможным развитием системы является реализация функций распознавания и идентификации. Подсистема выбора оптимальных режимов на основе информации системы технического зрения осуществляет расчет оптимальных режимов перемещения мобильного робота, которые реализуются подсистемой управления движением.

Система визуального управления характеризуется заданным значением распознавания R_5 и вектором параметров \vec{S} :

$$V = \{Pu_1, Pu_2, Pu_3, [Pu_{1min}, Pu_{1max}],$$

$$[Pu_{2min}, Pu_{2max}], [Pu_{3min}, Pu_{3max}], Cr^*\},$$

где Pu_1, Pu_2, Pu_3 – параметры управления;

$$[Pu_{1min}, Pu_{1max}], [Pu_{2min}, Pu_{2max}],$$

$[Pu_{3min}, Pu_{3max}]$ – диапазоны изменения параметров управления; Cr^* – критерий оптимальности (минимизации затрат):

$$Cr^* = \min Z(Per, R), Per \geq Per_s, R \geq R_s,$$

где Per_s и Per – заданная и фактическая производительность системы, R_s и R – заданная и фактическая достоверность оценки состояния окружающего мира. Модель системы адаптивного управления представлена на рис. 1.

Параметры управления данной модели системы можно представить так:

– $Pu_1 = \{\Delta v, \Delta \theta\}$, где v – адаптация скорости, θ – адаптация направления движения робота;

– $Pu_2 = \{\Delta \gamma, S_Z, S_U, F\}$, где γ – угол поворота камеры; S_Z – режимы работы камеры (разрешение, частота кадров); S_U – параметры устройств воздействия на объект, которым является окружающий мир, например с помощью освещения; F – фокусировка камеры. Этот параметр осуществляет управление потоком поступающей информации на подсистему через устройства и программы, взаимодействующими с объектом и передающими данными;

– $Pu_3 = \{M_Z, Par_M\}$, где M_Z – метод технического зрения; Par_M – параметры метода. Метод осуществляет адаптацию параметров, т.е. выбор алгоритмов и их характеристик.

Первоначально задаются значения параметров управления, которые равны следующим входным параметрам:

$$Pu_1 = Pu_{10}, Pu_2 = Pu_{20}, Pu_3 = Pu_{30}.$$

Подсистема взаимодействия с объектом может воздействовать на объект с параметрами $Y = \varphi_1(S_U)$, а положение этой подсистемы по отношению к объекту определяется скоростью и направлением движения, задаваемые в соответствующей подсистеме управления. Принимаемые данные зависят от воздействия:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}, X = \varphi_2(S_U),$$

где N – число признаков.

Интенсивность потока информации λ определяется режимами работы средств регистрации блока взаимодействия (система технического зрения). Данные на систему технического поступают порциями, поэтому поток характеризуется объёмом информации Inf в порции, количеством передаваемых снимков изображения $X^* = \{x_1^*, x_2^*, \dots\}$, которое зависит от числа камер, и периодом между предыдущей группой данных Δt :

$$\lambda = X^* : \Delta t, Inf; X^* = \varphi_2(Pu_2, X).$$

В системе технического зрения осуществляется составление трёхмерной модели M видимой части окружающего мира, оценка сложности распознавания SI и достоверности R :

$$M = S_M(W, \lambda), R = S_R(W, \lambda),$$

$$SI = S_{SI}(W, \lambda).$$

Так как данные поступают в реальном времени, то результат распознавания трёхмерной модели является функцией от времени $M = f(t)$, также как и $SI = f_1(t)$, $R = f_2(t)$.

В подсистеме выбора оптимального режима производится расчёт рассогласования между заданной и фактической оценками достоверностей распознавания состояния объекта:

$$\Delta R = R_S - R.$$

После чего, согласно критерию Cr^* , а также руководствуясь ΔR , SI , M и вектором входных пара-

метров \vec{S} , устанавливается оптимальный режим движения робота и функционирования подсистем с параметрами управления, вычисленными для конкретного случая:

$$Pu_1 = F_{Pu_1}(\vec{S}, \Delta R, SI, M), Pu_2 = F_{Pu_2}(\vec{S}, \Delta R, SI, M),$$

$$Pu_3 = F_{Pu_3}(\vec{S}, \Delta R, SI, M).$$

Выбор оптимального режима осуществляется путём нахождения минимума целевой функции $Z(P, D)$ для каждого момента изменения режима.

Выводы

Создание системы адаптивного управления робототехнической системой должно учитывать несколько критериев, такие как рабочее пространство, предметы и объекты рабочей зоны. Для составления модели адаптивного управления, основанного на полученной визуальной информации, необходимо анализировать рабочее пространство, в котором производит действие робот. Система адаптивного управления требует появления нового свойства системы – гибко адаптировать (перестроить) систему, в зависимости от внешних воздействий на робота. Применение системы технического зрения и так называемой адаптивной визуальной системы управления позволит адаптировать работу всей функционирующей системы с помощью визуальной информации о состоянии рабочего пространства.

Список литературы

1. Рассел С. Искусственный интеллект: современный подход [Текст] / С. Рассел, П. Норвиг. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1408 с.
2. Челищев Б.Е. Автоматизация проектирования технологии в машиностроении [Текст] / Б.Е. Челищев, И.В. Боброва, А. Гонсалес-Сабатер. – М.: Машиностроение, 1987. – 264 с.
3. Пупков Е.П. Методы робастного, нейронечеткого и адаптивного управления: учебник / под ред. Е.Д. Егупова [Текст] / Е.П. Пупков. – М.: Изд. МГТУ им. Баумана, 2001. – 744 с.

Поступила в редколлегию 4.10.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.М. Синотин, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧОГО ПРОСТОРУ ТА СЕНСОРІВ РОБОТІВ

А.І. Бронніков

У статті розглядається моделювання робочого простору робота, модель розпізнавання і ідентифікації об'єктів робочої зони. Також розглядається побудова моделі системи адаптивного візуального управління, яка дозволяє гнучко змінювати процеси управління роботами на основі інформації системи технічного зору.

Ключові слова: адаптивна система, моделювання робочого простору, система технічного зору.

WORKSPACE AND SENSOR SYSTEM SIMULATION

A.I. Bronnikov

In the article examined designs of working space of robot, model of recognition and authentication of objects of working area. The construction of model of the system of adaptive visual control, which allows flexibly to change the processes of management robots on the basis of information of the system of technical sight, is also examined.

Keywords: adaptive system, design of working space, system of technical sight.