

УДК 681.5

**НАВЫКОВАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ  
ПРОМЫШЛЕННЫМИ РОБОТАМИ С  
ГРАДИЕНТНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ  
ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ**Попиков Пётр Иванович  
д.т.н., профессорКавыгин Валерий Васильевич  
к.т.н., доцентМосковко Александра Сергеевна  
студент  
*Voronezhskaya gosudarstvennaya lesotekhnicheskaya  
akademija, Voronezh, Rossija*В статье представлено теоретическое  
обоснование нового способа обработки  
изображений в адаптивных системах управления  
промышленными роботамиКлючевые слова: ИДЕНТИФИКАЦИЯ,  
ИЗОБРАЖЕНИЯ, РОБОТ, ВЕБ-КАМЕРА,  
ПИКСЕЛЬ, ГРАДИЕНТ, ПРОВОДИМОСТЬ

UDC 681.5

**SKILLED CONTROL SYSTEM OF  
INDUSTRIAL ROBOTS WITH GRADIENT  
DISTRIBUTION OF WEIGHT FACTORS**Popikov Peter Ivanovich  
Dr.Sci.Tech., professorKavygin Valery Vasilejvich  
Cand.Tech.Sci., senior lecturerMoskovko Aleksandra Sergeevna  
student  
*Voronezh State Academy of Forestry and  
Technologies, Voronezh, Russia*In the article, theoretical provement of the new way  
of image processing in adaptive systems of  
management of industrial robots is presentedKeywords: IDENTIFICATION, IMAGES, ROBOT,  
WEBCAMS, PIXEL, GRADIENT,  
CONDUCTIVITY

Автоматизация производственных процессов, в частности управление промышленными роботами, контроль качества продукции, связана с разработкой и исследованием методов и технических средств обработки зрительной информации [1,2,3]. Одним из подходов данного направления является использование нейроподобных методов, которые позволяют обрабатывать трудноформализуемую информацию большой размерности. Для практического применения систем технического зрения во многих случаях очень важно обеспечить приемлемое быстродействие, способность не только распознавать сложные объекты, но и выделять их характерные особенности, определять похожие объекты. Достижения в области создания аппаратуры для обработки зрительной информации создают предпосылки для разработок систем технического зрения приближающихся по возможностям к зрению человека или животных.

Рассмотрим задачу обучения робота поиску объекта. Робот оснащён навыковой системой технического зрения [4]. Зададим условие: находить

объекты произвольной формы независимо от их ориентации, используя только две управляемые координаты ( $X$  и  $Y$ ). Такая задача может встречаться при использовании магнитного или пневматического захвата. В этом случае достаточно, управляя приводами по  $X$  и по  $Y$ , переместить захват робота так, чтобы он был над искомым объектом. Далее следует стандартное срабатывание цикловой электроавтоматики: перемещение захвата по оси  $Z$  вниз в вертикальном направлении, срабатывание электромагнитного или пневматического захвата и подъём объекта. Сложность решения этой задачи заключается в поиске объекта произвольной формы, используя лишь две управляемые координаты, так как в общем случае объект может иметь определённую ориентацию. В этом случае для его распознавания обычно используется ещё и третья управляемая координата – вращение вокруг оси  $Z$ . Навыковая система технического зрения способна решить такую задачу не используя вращение по оси  $Z$ .

Система управления приводами робота состоит из веб-камеры, навыковой системы, реализованной на персональном компьютере, мобильного контроллера и сервоприводов (рис.1). Функцию обратной связи по положению осуществляет веб-камера, закреплённая на захвате робота. Взаимосвязанное движение руки робота по координатам  $X$  и  $Y$  происходит в зависимости от изображения, которое попадает в поле зрения веб-камеры.



Рис. 1. Схема управления робота с навыковой системой технического зрения

Навыковые системы [5,6] подобно живым организмам формируют навыки, на основании которых и принимаются решения. Навыки

формируются автоматически, путём многократного итерационного обучения. Сформированные в результате обучения весовые коэффициенты аналогичны проводимостям синапсов корковых нейронов живых организмов.

Процесс обучения сводится не к запоминанию образов ситуаций, а к формированию такой проводимости памяти технического мозга, проходя через которую рецепторная информация превращается в сигналы управления.

Процесс обучения технических навыков систем подобен выработке условного рефлекса у животного, как и в опытах И.П. Павлова, поэтому такие системы, по сути, являются рефлекторными. Навыковой системе предъявляется образ или ситуация, характеризуемые множеством факторов:  $X = \{X_1, \dots, X_n\}$

Рецепторы воспринимают эти факторы-сигналы, возбуждаясь пропорционально им и собственной чувствительности. Возбуждения рецепторов образуют множество:  $B = \{b_1 \dots b_n\}$

Каждый нейрон формирует свою долю управляющего сигнала, пропорциональную своей проводимости:

$$y^0 = \sum_{j=1}^n (k \cdot b_j \cdot c_j) = k \cdot y,$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности;

$b_j$  – возбуждения рецепторов;

$c_j$  – весовые коэффициенты.

База данных может содержать  $i = 1 \dots m$  образов. Расчётный отклик равен:

$$Y_{pi} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} \cdot c_j$$

Процесс обучения заключается в определении весовых коэффициентов, аналогов проводимостей синапсов коры головного мозга живых существ. Обучение производится без изменения структуры системы, к которой дополнительно подключается база данных, содержащая цифровые портреты образов или ситуаций и значения кодов откликов системы на эти образы. Из базы данных берётся очередной образ - множество  $\{B\}$ , а из базы навыков множество  $\{C\}$  и определяется множество  $\{Y\}$ . После суммирования расчётное значение  $Y_{pi}$  сравнивают с заданным  $Y_{zi}$ :

$$\Delta = Y_{pi} - Y_{zi}$$

Если ошибка не превышает допуска на ошибку, то система считается обученной. В противном случае следует перерасчёт весовых коэффициентов. Расчёт ведётся по рекуррентно - итерационному алгоритму [2]. Величина поправки каждого весового коэффициента  $C_j$  определяется в зависимости от ошибки и возбуждения рецептора. Процесс обучения осуществляется автоматически, как правило, многократным повторением:

- Ø предъявление очередного образа,
- Ø вычисление расчётного управляющего сигнала,
- Ø определение ошибки,
- Ø расчёт весовых коэффициентов  $C_j$  с учётом поправок,
- Ø предъявление очередного образа и т.д.

Это продолжается до тех пор, пока  $C_j$  не будут равны таким значениям, при которых сумма произведений элементов любого

множества  $\{B\}$  из базы данных на элементы множества  $\{C\}$  будет равна соответствующему коду множества из базы знаний.

До непосредственного распознавания объекта следует реализовать наведение веб-камеры на него. Для управления приводами робота при наведении можно использовать два нейрона, каждый из которых отвечает за отдельную координату движения робота. Обучение нейронов можно провести по 4 опорным примерам, включенным в обучающую выборку (рис. 2 а, б, в, г).

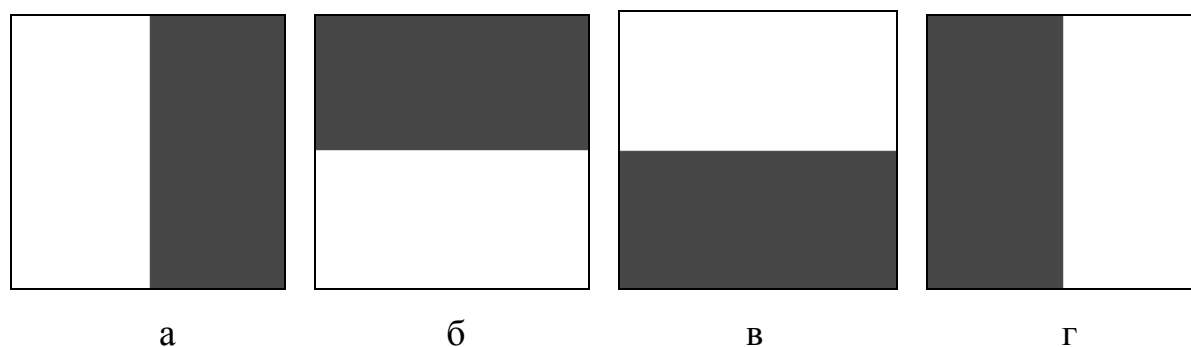


Рис. 2. Опорные примеры для наведения веб-камеры на предмет.

После обучения робот будет наводить веб-камеру на «центр площади» изображения предмета, то есть так, чтобы отклики левой и правой половины поля зрения, а также верхней и нижней половины поля были равны.

Далее следует реализация непосредственно распознавания. Обычно для распознавания предметов используется обучение на целевом примере. При этом в область зрения камеры помещают искомый предмет и обучают систему с заданным откликом, равным нулю. Этот метод даёт относительно высокую точность распознавания, однако при этом система оказывается очень чувствительной к расположению предмета, в частности к углу его поворота относительно осей. Следовательно, если предмет произвольно повернут относительно веб-камеры, то для реализации распознавания требуется добавление ещё одного нейрона, отвечающего за

поворот веб-камеры. При этом поворот может быть реализован как физически (движение отдельного привода, отвечающего за вращение камеры), так и программно. Это не всегда удобно, так как требует дополнительного времени и средств.

Для реализации распознавания возможно использование другого свойства нейроподобных систем – способности к сравнению. В общем случае, независимо от конкретного значения весовых коэффициентов, отклик обученной системы на две различные ситуации будет различаться тем больше, чем больше данные ситуации различны между собой. Следовательно, для распознавания не обязательно переобучать систему на каждый искомый предмет, а достаточно один раз сформировать определённое поле весовых коэффициентов, а потом только запоминать отклик на искомый предмет и сравнивать его с откликом на каждый из предложенных. При этом, тот предмет, отклик на который окажется наиболее близким к отклику на искомый и есть искомый или наиболее на него похожий. Поле проводимостей весовых коэффициентов может быть симметричным относительно центра изображения, что исключит влияние угла поворота предмета относительно веб-камеры. В частности, оно может выглядеть, как градиент с увеличением проводимости от центра к краям на одну и ту же величину (рис.3). В данном случае поле проводимостей и пиксели изображения удобно рассматривать в полярной системе координат с началом координат в центре поля зрения. При этом коэффициент проводимости синапса центрального пикселя является минимальным, а проводимость всех остальных можно определить как:

$$c_i = c_0 + r_i \cdot \text{grad } c, \quad (1)$$

где  $c_i$  – проводимость синапса данного пикселя;  $c_0$  – проводимость синапса центрального пикселя;  $r_i$  – расстояние от центра изображения до данного пикселя; а  $\text{grad } c$  – величина изменения проводимости, то есть градиент.

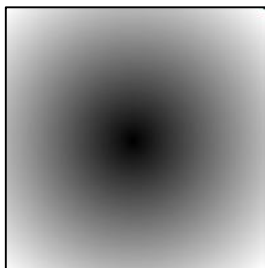


Рис.3. Поле проводимости весовых коэффициентов

Изображение в данном представлении характеризуется совокупностью пикселей:

$$B = \{b_i(r_i, j_i)\},$$

где  $b_i$  – значение  $i$ -го пикселя;  $j_i$  – угол поворота радиус-вектора данного пикселя.

Отклик системы, подставляя (1), можно определить, как:

$$Y = \Sigma(b_i \cdot c_i) = \Sigma(b_i \cdot (c_0 + r_i \cdot \text{grad } c)). \quad (2)$$

Рассмотрим два изображения одного и того же предмета, находящегося под разным углом относительно камеры (рис.4 а и б). Для всех значений пикселей данных изображений:  $r_{ia} = r_{ib}$ , но  $j_{ia} \neq j_{ib}$ . С другой стороны, в определении отклика (2) значение  $j$  не учитывается, следовательно:

$$\begin{aligned} \Sigma(b_{ia} \cdot (c_0 + r_{ia} \cdot \text{grad } c)) &= \Sigma(b_{ib} \cdot (c_0 + r_{ib} \cdot \text{grad } c)); \\ \Sigma(b_{ia} \cdot c_i) &= \Sigma(b_{ib} \cdot c_i); \\ Y_a &= Y_b. \end{aligned}$$

Отклики системы на эти два изображения будут одинаковыми, а у различных изображений в общем случае  $r_{ia} \neq r_{ib}$ . Следовательно, система будет давать на них различные отклики.

Предмет считается найденным, когда отклик системы на его изображение равен заданному с некоторым допуском, то есть попадает в интервал  $[Y_s - \Delta Y; Y_s + \Delta Y]$ , или:

$$|Y_s - Y| \leq \Delta Y,$$

где  $Y_s$  – заданный отклик,  $\Delta Y$  – величина допуска на распознавание. При этом изменение возбуждения каждого рецептора на единицу приводит к изменению отклика системы на величину проводимости синапса данного рецептора.

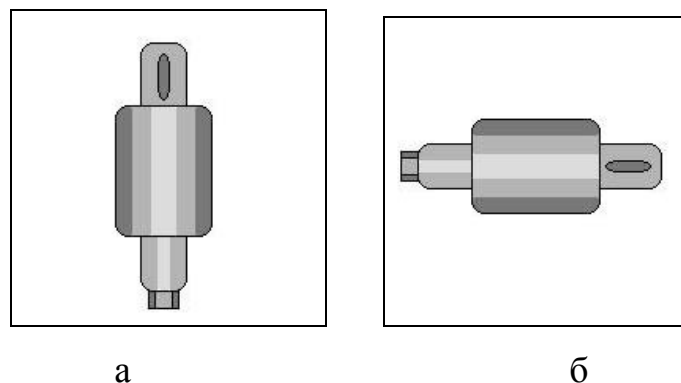


Рис. 4. Один и тот же предмет с различной ориентацией

Основным достоинством применения нейронов с градиентным расположением проводимостей синапса является их нечувствительность к углу поворота предмета относительно камеры.

### Литература

1. Андрианов, Ю.Д. Управляющие системы промышленных роботов [Текст] / Ю.Д. Андрианов [и др.]; под ред. И.М. Макарова. М.: Машиностроение, 1984. – 288 с.
2. Брагин, В.Б. Системы очувствления и адаптивные промышленные роботы [Текст] / В.Б. Брагин [и др.]; под ред. Е.П. Попова. - М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.
3. Пью, А. Техническое зрение роботов [Текст] / Под ред. А. Пью. - М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.
4. Кавыгин, В.В., Попиков, П.И. Навыковая система технического зрения «Изображение 1.0» // Зарегистр. в ВНИИЦ 50200601685 от 26.09.2006 г.
5. Мещеряков, В.Н. Обучаемые навыковые системы: технического зрения, диагностики гепатитов, экологического мониторинга и выбора оборудования [Текст] / В.Н. Мещеряков, В.В. Кавыгин, С.В. Полозов // Информационно-измерительные и управляющие системы, №1-3, т.4, 2006.
6. Шмырин, А.М. Применение теории окрестностных систем для описания работы обучаемой навыковой системы [Текст] / А.М. Шмырин, В.В. Кавыгин, О.А. Шмырина // Приборы и Системы. Управление, Контроль, Диагностика. - 2008. - №9.