

*В. Э. Прукс, А. Э. Прукс*

## ТЕХНИЧЕСКАЯ НЕРВНАЯ СИСТЕМА МОБИЛЬНОГО РОБОТА

*Описана концепция технической нервной системы мобильного робота, ее математическая модель, алгоритм обучения. Дается краткое описание предметной области; объясняется особенность поставленной задачи. Указаны способы применения в мобильном роботе. Намечен путь дальнейшего развития теории.*

*The concept of the technical neural system for mobile robots is described. Mathematical description and the algorithm of learning are provided. A brief description of a subject domain is given and a feature of the problem is explained. The ways of application of the theory to mobile robotics are specified. The future design of the theory is provided.*

**Ключевые слова:** система технического зрения, искусственный интеллект, техническая нервная система, обучаемая система управления, алгоритм Качмажа, нейронная сеть.

**Key words:** computer vision system, artificial intelligence, technical neural system, adaptive control system, Kaczmarz method, neural network.

### Введение

Технические нервные системы, или обучаемые системы управления со зрением [1], — концепция системы управления с интегриро-



ванной системой технического зрения для промышленных роботов. Функционально технические нервные системы состоят из трех компонентов:

- 1) технического глаза — устройства восприятия изображений;
- 2) технического мозга — устройства, преобразующего входящий сигнал в сигнал управления (также мозг может быть обучен);
- 3) исполнительных механизмов — устройств, приводящих в движение технический глаз и другие подвижные части робота.

В общепринятой схеме построения систем зрения сигнал с устройства восприятия изображений сначала попадает в блок распознавания образов, после этого результат распознавания — код класса изображения и его пространственные координаты — преобразуются в сигналы управления [1]. В отличие от этого, в технических нервных системах сигнал, поступающий с технического глаза, преобразуется техническим мозгом сразу в сигнал управления.

### 1. Математическая модель технической нервной системы со зрением

Параметры технического мозга:  $n$  фоторецепторов,  $m$  исполнительных механизмов. Пусть  $\mathbf{b}$  —  $n$ -мерный вектор возбуждений фоторецепторов,  $\mathbf{e}$  —  $m$ -мерный вектор сигналов управления,  $\mathbf{C}$  — матрица  $n \times m$  весовых коэффициентов, а за формирование управляющих сигналов исполнительным механизмам (ИМ) отвечают строки  $C_i$ . Тогда сигналы управления вычисляются по формуле  $\mathbf{bC} = \mathbf{e}$ . Сигнал управления для  $i$ -го ИМ вычисляется по формуле  $\mathbf{bC}_i = e_i$ . Во время обучения технического мозга веса, соответствующие исполнительным механизмам, подстраиваются независимо друг от друга.

В основе алгоритма обучения лежит подстройка весовых коэффициентов таким образом, чтобы они соответствовали предъявленным возбуждениям фоторецепторов и требуемым величинам сигналов управления.

Обучающая выборка состоит из пар возбуждения фоторецепторов — требуемые сигналы управления.

Пусть обучающая выборка состоит из  $l$  ситуаций,  $\mathbf{B}$  — матрица  $l \times n$  возбуждений фоторецепторов обучающей выборки,  $\mathbf{E}$  — матрица  $n \times l$  сигналов управления. Обозначим через  $\mathbf{E}_i$   $l$ -мерный вектор, соответствующий сигналам управления  $i$ -го исполнительного механизма в  $l$  ситуациях обучающей выборки. И пусть  $\mathbf{C}_i$  —  $m$ -мерный вектор весовых коэффициентов, соответствующий  $i$ -му исполнительному механизму. Тогда алгоритм обучения будет заключаться в решении  $n$  систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ)

$$\mathbf{BC}_i = \mathbf{E}_i. \quad (1)$$



С учетом большой размерности данных СЛАУ для их решения был выбран итерационный алгоритм Качмажа.

Если на технический мозг отправить возбуждения фоторецепторов, минуя процесс обучения, то результатом станет матрица  $E^f$  размером  $n \times l$  фактических сигналов управления  $\mathbf{B}\mathbf{C} = \mathbf{E}^f$ . Векторы  $\mathbf{e}_i^f$  будут отличаться от желаемых векторов  $\mathbf{e}_i$  на величину рассогласования –  $n$ -мерного вектора  $\Delta \mathbf{e}_i = \mathbf{e}_i - \mathbf{e}_i^f$ , где  $i = \overline{1, n}$  – номер ИМ.

Пусть  $\Delta \mathbf{e}_i = \mathbf{e}_i - \mathbf{e}_i^f$  – вектор рассогласований сигналов управления  $i$ -го исполнительного механизма. Тогда подстройка весовых коэффициентов на  $k$ -м шаге обучения осуществляется по формуле

$$c_{ij}(t) = c_{ij}(t-1) + \frac{\Delta e_{ik} b_{kj}}{\sum_{j=1}^m b_{kj}^2}. \quad (2)$$

Условием окончания обучения является выполнение условия  $|\Delta e_{ik}| < \delta_E$ , где  $i = \overline{1, n}$ ,  $k = \overline{1, l}$ ,  $\delta_E$  – показатель качества обучения, то есть пока все рассогласования фактических и требуемых сигналов управления не окажутся в пределах допустимых отклонений, обучение не закончено.

Продолжительность обучения зависит от порядка предъявления ситуаций обучающей выборки, поэтому суммарное согласование для каждого исполнительного механизма не вводится. Блок-схема алгоритма обучения приведена на рисунке.

Алгоритм Качмажа сходится, если все СЛАУ (1) совместны. Точность нахождения искомого предмета может обеспечить определенность этих СЛАУ, для этого они (1) должны иметь свойства [2]:

1) матрица  $\mathbf{B}$  – квадратная, то есть размер обучающей выборки равен количеству фоторецепторов;

2)  $\det \mathbf{B} \neq 0$ . Это условие выполняется, если строки и столбцы матрицы  $\mathbf{B}$  линейно независимы. Линейную независимость строк матрицы авторы метода обеспечили путем добавления дополнительного сенсора к массиву фоторецепторов так называемого «датчика наличия искомого предмета», который может принимать значения 0 или 1. Этот датчик всегда равен 1, образуя единичный столбец; таким образом, все строки линейно независимы, если только среди них нет одинаковых строк. Линейную независимость столбцов матрицы должен обеспечить оператор, позаботившись, в частности, о том, чтобы не было столбца с одной и той же константой.

При выполнении этих условий СЛАУ (1) будут иметь единственное решение, соответствующее точному позиционированию манипулятора над искомым предметом.

Датчик наличия искомого предмета играет также дополнительную роль. Благодаря этому знаменатель в формуле (2) не равняется нулю при обозревании техническим глазом пустого поля зрения.

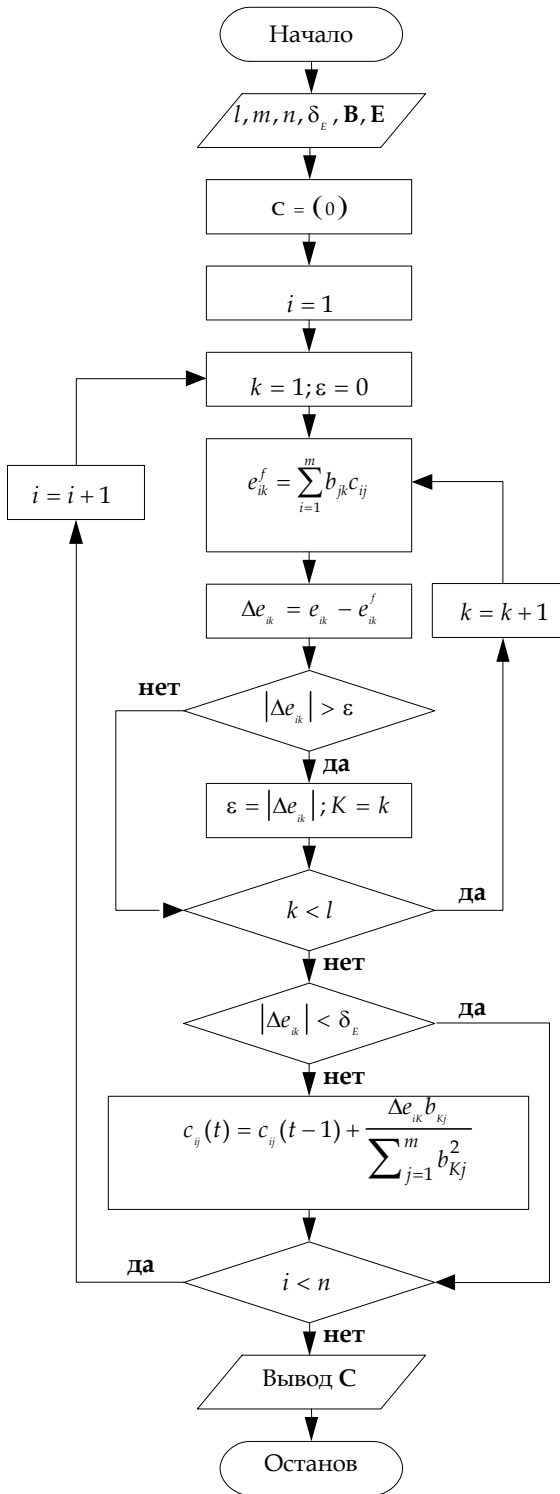


Рис. 1. Алгоритм расчета весовых коэффициентов



## 2. Принцип функционирования мобильного робота под управлением технической нервной системы

Существует три возможных подхода к реализации технической нервной системы в мобильном роботе.

1. Все изображение с видеокамер поступает непосредственно на *технический глаз*.

2. На видимом изображении выделяется *область внимания*, которая может свободно перемещаться по захваченному кадру.

3. Перед *техническим глазом* можно разместить модуль компьютерного зрения, который будет вычислять инвариантные параметры изображения: границы объектов, положения геометрических примитивов.

Запуск программы функционирования приведет к тому, что робот сразу начнет осматривать предоставленное ему пространство, а при обнаружении искомого объекта подъедет к нему на расстояние, заданное в процедуре обучения. Начиная с этого момента робот может начать выполнение операции манипулирования с искомым объектом.

154

### Заключение

В технические нервные системы заложен неявный принцип прогнозирования обозреваемой информации. Сигналом обратной связи выступает непосредственно обозреваемая картина. Сигналы управления передаются на исполнительные механизмы таким образом, чтобы совместить технический глаз с искомым предметом.

Предложен вариант технической нервной системы с внутренними обратными связями [3], который составляет прогноз перед тем, как сигналы управления будут переданы на исполнительные механизмы.

Дальнейшее развитие технической нервной системы — в усложнении структуры технического глаза:

1) создание многослойной структуры технического глаза с обратными связями;

2) учет влияния сигналов фоторецепторов друг на друга;

3) учет временной составляющей зрительного сигнала [4].

В зависимости от задач, которые техническая нервная система будет решать, ее можно дополнить модулями выделения границ, определения геометрических примитивов, обработки стереоскопических изображений, наподобие тех функций, которые выполняет ранняя зрительная кора головного мозга человека [5].

### Список литературы

1. Буков А. А. Технические нервные системы. Обучаемые системы управления со зрением для промышленных роботов. Липецк, 2001.

2. Иванов В. А., Чемоданов Б. К., Медведев В. С. Математические основы теории автоматического регулирования. М., 1971.

3. Антонов В. М., Буков А. А. Обучаемое устройство управления // А. с. СССР №1824625 G 05 B 19/08, приоритет 23.04.1990, заявка №4837584/08, опублик. 30.06.1993. Бюл. №7.



4. Хокинс Дж., Блейкли С. Об интеллекте / пер. с англ. М., 2007.
5. Марр Д. Зрение. Информационный подход к изучению представления и обработки зрительных образов / пер. с англ. М., 1987.

### **Об авторах**

Виталий Эдуардович Прукс – асп., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: v.prooks@kendo-kaliningrad.ru

Александр Эдуардович Прукс – руководитель информационного центра обработки данных, ФГУП «Ростехинвентаризация – Федеральное БТИ», Санкт-Петербург.

E-mail: alexander.prooks@gmail.com.

### **About authors**

Vitaliy Prooks – postgraduate student, I. Kant Federal University, Kaliningrad.

E-mail: v.prooks@kendo-kaliningrad.ru

Alexander Prooks – chief of informational data processing center, FSUE “Rostehinventarizaciya – Federal TIB”, Saint-Petersburg.

E-mail: a.prooks@kendo-kaliningrad.ru.