

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ ДЛЯ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ ПОКАЗОМ

Ф. М. Кулаков, А. И. Нечаев, С. Э. Чернакова

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН  
199178, Санкт-Петербург, 14 линия В.О., д.39

E-mail: Kul@mail.iias.spb.su

---

УДК 681.3

Ф. М. Кулаков, А. И. Нечаев, С. Э. Чернакова. **Моделирование внешней среды для процесса обучения показом** // Труды СПИИРАН, Вып. 1, т. 2. — СПб: СПИИРАН, 2002.

**Аннотация.** Представлены результаты исследований Многофазного метода и робастного алгоритма управления нечеткой логики, основанных на Модели памяти формы, с визуальным наведением для автономных роботов и космических манипуляторов.

Также, представлены результаты экспериментов по использованию метода применительно к задаче обучения показом сборочных роботов в режиме реального времени с использованием 6-ти координатной задающей перчатки. Описаны различные варианты задающих реперных устройств.

Эти исследования направлены на создание нового человеко-машинного интерфейса для мини- и микро- робототехники, сборочных роботов для промышленности и космоса. — Библ.13 назв.

UDC 681.3

F. M. Kulakov, A. I. Nechaev, S. E. Chernakova. **Modeling of environment for the teaching by showing process** // SPIIRAS Proceedings, Issue 1, v. 2. — SPb: SPIIRAS, 2002.

**Abstract.** The researches of the Multiphase Method and the robust control algorithm of the fuzzy logic, based on the Model Memory of the Shape, with visual guiding for autonomous robots and space manipulators are submitted.

Also, there are submitted the experiments on usage of a method with reference to the task of teaching by showing of assembly robots in a real time with usage 6-coordinates assigning glove. The different versions of assigning reference devices are described.

This researches are represented the creation of the new human-machine interface for mini- and micro- robotics, assembly robots for an industry and space. — Bibl. 13 items.

---

## 1. Моделирование формы движений и объектов внешней среды

Основные вопросы рассматривались в данной работе применительно к сборочным роботам с гибким управлением, работающим в условиях недетерминированной среды, а также, для манипуляторов с гибкими звеньями.

На основе современных концепций объектно - ориентированного зрения [9], Мультиагентной системы и модели Конечного автомата [10], других новых идей "видения в движении" (активного видения) [11] разработан ряд имитационных моделей и экспериментальные робототехнические системы для сборки.

Современные сборочные роботы управляются путем интегрирования команд естественного языка. Восприятие и действие являются основой для выполнения данных задач гибким и адекватным задаче способом.

Целенаправленное общение между обучающим оператором и роботом требует создания новых языков описания [12] и новых методов обучения показом для сборочных роботов [4].

Нами предложено использовать для процесса обучения показом сочетание модели объекта и модели движения, которые основаны на работах М. Минского [8].

Моделирование внешней среды в нашем исследовании основано на новом Многофазном Методе (МФМ) описания движений для автономных роботов и космических манипуляторов, а также на исследовании алгоритмов управления, основанных на принципах нечеткой логики с Моделью Памяти Формы (МПФ) [1, 5].

## **1.1. Особенности Многофазного Метода анализа сцен для сборочных роботов**

Основная идея нового многофазного метода (МФМ) состоит в представлении движения, как изменения формы композиции сцены (сцена - объект - наблюдатель), процесса перехода композиции из одной "фазы" в другую.

Многофазный метод описания композиции или ситуации сцены может эффективно использоваться при выполнении автоматической сборки с использованием робота-манипулятора.

Для выбора и взятия произвольно-ориентированной детали и соединения ее с другой деталью автоматически необходимо многократно выдерживать строго определенные положения или заданные композиции. Процесс сборки, на языке МФМ, это последовательное чередование правильных конфигураций (телекамера + деталь, схват + деталь, деталь + деталь и т.п.), и наше предложение сводится к упрощенному целостному описанию процесса сборки, как чередования "фаз", характеризующихся определенной формой композиции.

Каждую единичную конфигурацию ("фазу") предлагается описывать "фреймом фазы". Фрейм фазы представляет собой связную структуру компонент с указанием их взаимной ориентации и позиции (рис. 7, 8 приложения).

Переход от одной "фазы" к другой "фазе" в процессе сборки также описывается фреймом, но в данном случае — "фреймом формы движения", различным в зависимости от поставленной задачи (поиска, распознавания или захвата объекта).

Запоминать движение в процессе обучения предлагается также на языке фреймов [8, 13].

Последовательность "фазовых" переходов может быть описана более общим "субфреймом движения". Субфреймы движения при обучении выстраиваются в пространственные многомерные конфигурации - "генетические молекулы движений" с учетом оптимальности переходов, задаваемых оператором на основе использования его собственного опыта выполнения, в данном случае, сборочных операций.

## **1.2. Описание формы движений и формы объектов на языке Модели Памяти Формы**

Модель памяти формы (МПФ) определяется как способ хранения информации о форме объектов или движений. Язык описания, используемый в МПФ, представляет собой многоуровневую, иерархическую систему фреймов, содержащих описание элементов формы, метрические характеристики, методы и процедуры при работе с данными объектами. Структура памяти отражает (ко-

пирует) внутреннюю структуру формы объекта или движения. Структура МПФ развивается в процессе обучения робота распознаванию объектов и обучения показом выполнению типовых движений.

Примером записи элементарного фрейма на языке МПФ является описание формы буквы "А" (рис. 1).









Тип элемента	Размер: X, Y, Z	Ориентация: $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$
Буква А	20, 10, 0;	0, 0, 0;
Угол 45 	12, 8, 0;	0, 0, 0;
Скоба Т 	8, 10, 0;	90, 0, 0;
Угол 45 	12, 8, 0;	0, 0, 0;
Отрезок 	7, 0, 0;	45, 0, 0;
Отрезок 	10, 0, 0;	135, 0, 0;
Скоба Т 	24, 10, 0;	0, 0, 0;
Угол Т 	12, 0, 0;	135, 0, 0;
Угол Т 	12, 0, 0;	225, 0, 0.

Рис. 1. Элементарный фрейм формы МПФ

Сборочные операции, выполняемые роботом в автоматическом режиме, должны быть заранее описаны, желательно на естественном языке, понятном и роботу и человеку. Человеку свойственно дополнять всякое объяснение процесса сборки показом ("лучше один раз увидеть..."). При этом предлагается использовать язык описания движений (операций сборки), аналогичный языку описания геометрической формы объектов: наклонить, вращать (по кругу), вдвинуть (рис. 7, 8 приложения).

Примером записи элементарного фрейма движения на языке МПФ для случая обхода препятствия является описание формы траектории (рис. 2).










Тип элемента	Размер: X, Y, Z	Ориентация: $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$
Обход 	120, 50, 0;	90, 0, 0;
Зигзаг 1 	80, 50, 0;	90, 0, 0;
Зигзаг 2 	80, 50, 0;	90, 0, 0;
Зигзаг 1 	80, 50, 0;	90, 0, 0;
Угол 90 	50, 50, 0;	0, 0, 0;
Угол 90 	50, 50, 0;	180, 0, 0;
Зигзаг 2 	80, 50, 0;	90, 0, 0;
Угол 90 	50, 50, 0;	90, 0, 0;
Угол 90 	50, 50, 0;	270, 0, 0.

Рис. 2. Элементарный фрейм движения на языке МПФ

Точность описания формы движений, сопровождающих сборку, должна быть достаточна для обеспечения максимальной эффективности процесса сборки.

Для моделирования формы объектов и формы движений предлагается использовать общий язык структурированных описаний МПФ, в которых считается, что форма объекта определяется и описывается формой его элементов, а траектория движения сборки — фреймом из описаний формы элементарных движений.

Будем хранить в памяти модели объектов, дополненные видами, полученными с определенной позиции обзора роботом-манипулятором, связанными между собой фреймами движений — переходов, записанными в пространстве координат робота.

В результате предполагается достичь создания на основе МПФ общей модели описания и хранения знаний робота об окружающей его внешней среде, возможных и необходимых (целесообразных) действиях в ней.

## **2. Особенности моделирования для технологии обучения показом**

Основная задача обучения показом состоит в обучении робота форме движения путем отслеживания движения руки или головы оператора.

Формирование траектории путем обучения показом может выполняться в следующих режимах, характерных для сборочного процесса:

- задание траектории предварительного сканирования роботом внешней среды для поиска нужного объекта сборки;
- обучение робота методам осмотра внешней среды, удобным для надежного распознавания объектов сцены;
- обучение робота выполнению рабочих движений сборки изделий;
- коррекция модели и контроль действий человека – оператора, управляющего роботом в режиме предикции при работе с моделью робота, а также — реальным роботом.

Моделирование внешней среды с использованием МПФ при обучении робота дает возможность запоминания и реализации типовых движений стандартной формы, например, "рассматривания в движении", различных "пробных движений" для измерений глубины сцены [1].

Различные этапы процесса сборки отличаются определенными видами движений, которым и должно проводиться обучение робота, таким как:

- движение для распознавания (поиска) нужного объекта на сцене,
- движение с целью распознавания ориентации заданного объекта,
- движение для точного измерения пространственных координат объекта,
- движение для выполнения надежного захвата объекта и т.д.

Описание формы движения фреймом содержит не только информацию о форме композиции, но и указание на методы выполнения операций, а также, необходимые параметры, такие как: высота и точность перемещения, форма и размеры движения и др.

Например, для фазы "Пробных движений" описание включает некоторые применяемые целевые методы: измерения глубины сцены, вычисление расстояния до объекта и т.д.

Процесс распознавания и обучения с использованием МПФ отличается следующим:

- существует возможность выбрать ракурсы, обеспечивающие максимальную точность измерений (максимальное число видимых характерных точек, оптимальный угол проекции плоскостей и т.п.);
- само движение становится более "осмысленным", информационно - насыщенным, разнообразным по форме и содержанию.

При этом "интеллектуализация" движений позволяет достигнуть более высоких надежности и точности управления, приближающихся к возможностям процесса сборки с участием человека-оператора.

Предложенный для задачи сборки метод моделирования движений основан на следующем: вид траектории локальных движений манипулятора в про-

цессе сборки зависит как от вида технологических операций, так и от формы объектов сцены.

Порождение типовых движений (аналогично генетическим алгоритмам) вызывается во время работы или обучения показом (в широком смысле - показа ситуаций или простого показа движения) взаимодействием двух процессов: распознавания объектов и уточнения (детализации) текущей задачи [4].

### 3. Эксперименты обучения показом

Данная работа основана на результатах многолетних исследований и разработок оптико-телевизионных систем трехмерного управления и определения пространственного положения объектов для робототехнических систем [2, 3, 6].

Были разработаны конструкции реперных устройств и локационных датчиков, проведены экспериментальные исследования систем управления пространственным движением робота посредством естественного движения головы и/или руки оператора.

Разработаны и опробованы задающие устройства следующих основных типов (рис. 3, 4):

- 1). "обруч" — для управления с помощью головы;
- 2). "рукоятка", "браслет" — для управления рукой;
- 3). "указка" — для показа направления движения мобильного автономного робота;
- 5) "рога" — для осмотра псевдо-голографических изображений в стерео-очках;
- 6). "перчатка" — реперы размещены на перчатке;
- 7). "метки" — метки контрастного цвета на руке;
- 8). "повязка" — эластичная лента на голове с кодировкой различных зон разным цветом.



а). стик



б). рукоятка

..... Рис. 3.а-б. Варианты ручных реперных устройств

в). браслет с лазерными указками и реперами

г). браслет, вид на камеру

д). реперный узел автономного робота

е). браслет управления манипулятором

Рис. 3.в-е. Варианты ручных реперных устройств

а). реперное устройство на стерео-очках    б). реперное устройство на стерео-очках

Рис. 4а-б. Задающие устройства для управления головой и рукой оператора



в). повязка и указка для наведения автономного робота

г). реперное устройство на гарнитуре



д). пассивные цветные маркеры на перчатке



е). пассивные цветные маркеры на повязке

Рис. 4в-е. Задающие устройства для управления головой и рукой оператора

Выполнены эксперименты по определению пространственного положения автономного робота, а также — движений "руки" космического манипулятора и наведения на такелажный элемент макета "шагающего" космического манипулятора с переменными точками крепления.

Технология обучения робота показом разработана в основном для промышленных роботов и управления космическими манипуляторами. Предложенные методы основаны на 6D – мультимедиа системе управления с созданием псевдо - голографических изображений, которые привносятся в реальную сцену [4].

Работа удаленного оператора с обеспечением эффекта присутствия требует создания и использования реконструированных изображений реальных объектов. Оператор может наблюдать 3-х мерные изображения с любой стороны, как в голографии, можно коснуться или перемещать виртуальные объекты, включая осязание и силовое воздействие с имитацией веса или условий невесомости.

Для работы с произвольно - ориентированными деталями на рабочей сцене выполняется предобучение взятию конкретных деталей путем показа позиций, оптимальных для распознавания и удобных для их взятия.

Предложенная процедура обучения показом [4] в данном проекте осуществляется естественными движениями руки оператора (рис. 5).

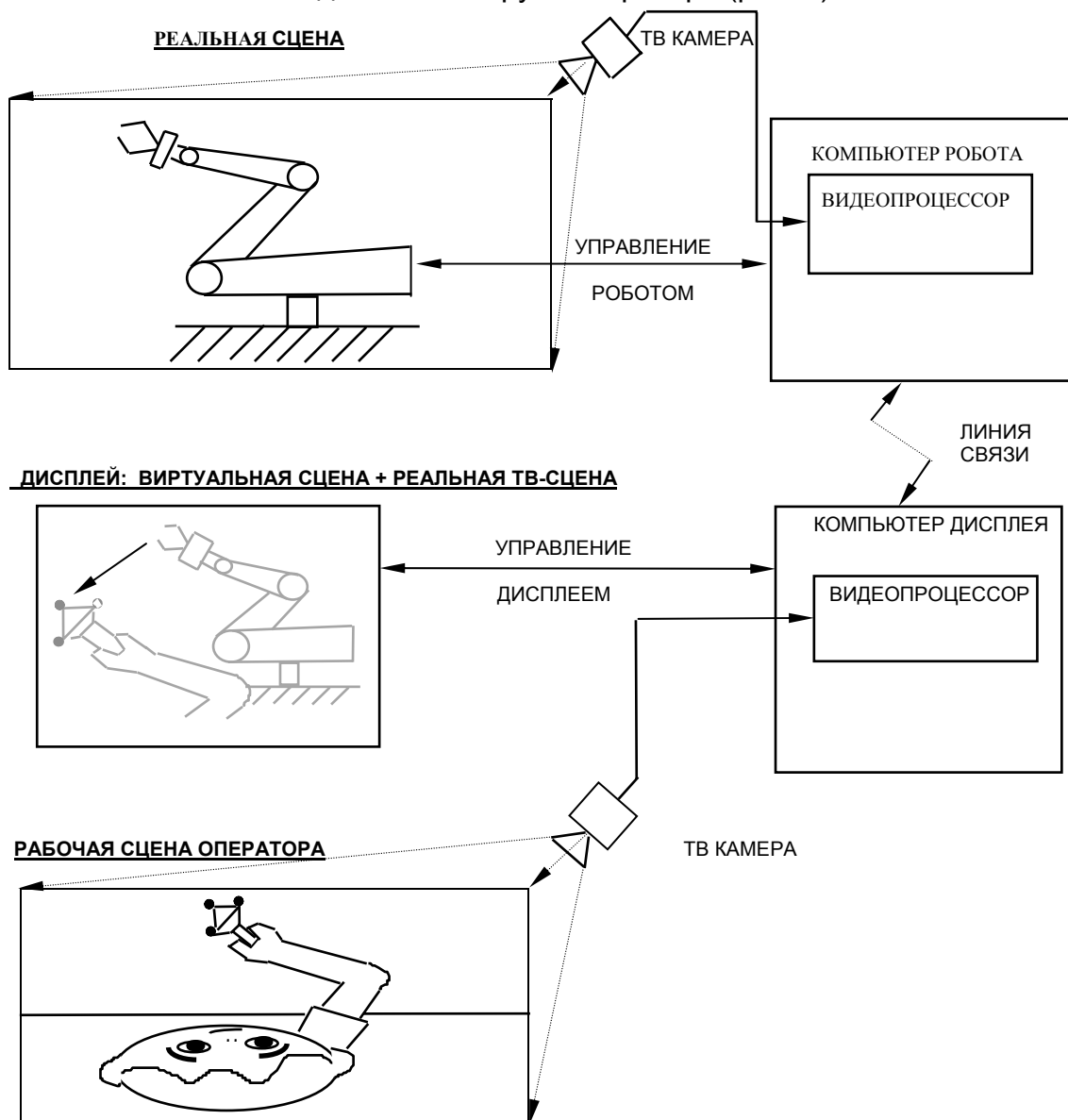


Рис. 5. Технология обучения робота показом

Для выполнения обучения робота движениям методом показа применяется специальная комбинированная конструкция браслета, имитирующая захватное устройство робота, включающая в себя (рис. 2 приложения):

- малогабаритную цветную телекамеру;
- лазерные указки, имитирующие губки захватного устройства и наглядно показывающие оператору направление руки с браслетом,
- реперные метки для точного измерения движений руки оператора.

Регистрируются одновременно как траектория движения руки оператора, так и видимая конфигурация объектов на реальной сцене с запоминанием ситуации в виде фреймов в обобщенной модели ситуации (рис. 1-4 приложения).

Обучение показом осуществляется как на стадии предобучения, так и во время выполнения сборочных операций в режиме предикции с корректировкой модели ситуации по вариациям как сенсорной, так и целевой (задаваемой извне) информации.



Нами проведены исследования возможности обучения показом на динамическом телевизионном стенде, а также с роботом типа PUMA (рис. 1-4 приложения). Организовано рабочее место для анализа и редактирования опыта, накапливаемого системой обучения.

Тем самым мы в эксперименте подтвердили необходимость и возможность объединения двигательных и распознающих процессов при обучении показом, на основе предложенной модели, обеспечивающей хранение формы движения и формы объектов, описанных на одном (общем) языке фреймов.

В дальнейшем планируется исследовать не только обучение движениям в пространстве рабочей зоны робота, но и обучение демонстрацией мысленного движения [8] в пространстве задач для реализации сценария действий в зависимости от смены сюжетов сцены.

#### 4. Литература

- [1] Бурдыгин А. И., Кулаков Ф. М., Нечаев А. И., Чернакова С. Э. "Многофазный метод и алгоритм измерения пространственных координат объектов для обучения сборочного робота". Сборник трудов СПИИ РАН, 2001г.
- [2] Бурдыгин А. И., Буняков В. А., Колесник А. М., Нечаев А. И., Чернакова С. Э. "Компьютерная телевизионная система измерения параметров взаимного движения космических аппаратов и управления объектами в реальном времени". Труды Международной школы-семинара им. А. Петрова "Адаптивные роботы и GSLT", 7-10 июля 1998г.
- [3] Бурдыгин А. И., Буняков В. А., Колесник А. М., Нечаев А. И., Чернакова С. Э. "Алгоритм автоматического наведения автономного робота". Материалы X Научно - технической Конференции "Экстремальная Робототехника", Россия, СПб, 1999г.
- [4] Кулаков Ф. М., Нечаев А. И., Чернакова С. Э. "Обучение робота методом показа с использованием "осязательной" перчатки", Первая Международная Конференция по Мехатронике и Робототехнике, Россия, СПб, 29 мая–2 июня, 2000г.
- [5] Бурдыгин А. И., Буняков В. А., Нечаев Ф. И., Колесник А. И., Хлебникова Е. С., Чернакова С. Э. "Модель системы технического зрения, управляемой фрейм-структурированным потоком задач". Конференция по фундаментальным исследованиям СПб ГТУ 1998г.
- [6] Бурдыгин А. И., Буняков В. А., Колесник А. М., Чернакова С. Э. "Оптико-телевизионная система целеуказания". Труды Международной школы-семинара им. А. Петрова "Адаптивные роботы и GSLT" 7-10 июля 1998г.
- [7] Коллектив авторов. Ответственный редактор, кандидат психологических наук, Н. Н. Корж. Исследование памяти. М: "Наука", 1990.
- [8] М. Минский. Фреймы для представления знаний: Пер. с англ. - М.:Энергия, 1979. — 152с.
- [9] G. Hirzinger, B. Brunner, S. Knoch, R. Koeppel, M. Schedl. Towards a new Robot Generation. Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt e. V. (DLR) Oberpfaffenhofen, Wessling. The 8th International Symposium, Schohan, Japan, 4-7 Oct. 1997.
- [10] K. Vollmann, Minh Chinh Nguyen. Manipulator control by calibration-free stereo vision. SPIE's International Conference on Intelligent Robots and Computer Vision XV, Boston, November 1996.
- [11] A. Mori, K. Hiramatsu, F. Naya, N. Osato. A Robot-Controlling Agent Description with Finite State Machines. NTT Communication Science Laboratories, Hikaridai, Seika-cho, Souracugun, Kyoto, Japan.
- [12] K. Peters, S. Strippgen, J. -T. Milde. CoRA-An Instructable robot. University of Bielefeld, Department of linguistics and Literature, Bielefeld, Germany. Mechatronics'98. Kitokiushu.
- [13] G. Hirzinger, J. Butterfaß, M. Fischer, M. Grebenstein, M. Hiihnle, H. Liu, I. Schaefer, N. Sporer. A Mechatronics Approach to the design of light-weight arms and multifingered hands. DLR Oberpfaffenhofen German Aerospace Center Institute of Robotics and Mechatronics D-Wessling. Proceedings of the 2000 IEEE. International Conference on Robotics and Automation San Francisco, CA. April 2000.