

ИСТОРИЯ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

УДК 531(092)

Выдающийся новатор робототехники (к 85-летию со дня рождения Ф.М. Кулакова)

Г. В. Алферов, П. А. Ефимова, А. В. Матросов, Д. В. Шиманчук

Санкт-Петербургский государственный университет
Россия, 198504, Санкт-Петербург, Петергоф, Университетский просп., 35
alferoqv@gmail.com, (812) 428-43-56

Посвящается 85-летию со дня рождения российского ученого, специалиста по робототехнике и мехатронике, заслуженного деятеля науки РФ, профессора кафедры механики управляемого движения факультета прикладной математики – процессов управления Санкт-Петербургского государственного университета Феликса Михайловича Кулакова.

Ключевые слова: *робот; манипулятор; космические роботы; телеуправление; супервизорное управление.*

DOI: 10.17072/1993-0550-2016-2-142-146



4 июля 2016 г. исполняется 85 лет со дня рождения Феликса Михайловича Кулакова. Он родился в г. Надеждинске Уральской области. Окончив школу с золотой медалью в 1949 году, поступил в Ленинградский политехнический институт им. Калинина (ЛПИ) на факультет электромеханики. С отличием окончил вуз в 1955 г. по специальности "Автоматика и телемеханика" и поступил на работу в НИИ электрофизической аппаратуры. Молодой специалист активно включился в работу по разработке новых методов систем управления. Позже потребность в научной деятельности побудила его к поступлению в аспирантуру ЛПИ. Научным руководителем

аспиранта Ф.М. Кулакова стал заведующий кафедрой "Автоматика и телемеханика" профессор Б.И. Доманский, автор одной из первых книг по автоматическому управлению не только в нашей стране, но и за рубежом.

В 1966 г. Ф.М. Кулаков успешно защитил кандидатскую диссертацию "Методы управления полем электромагнита синхротрона" и был оставлен на кафедре по конкурсу в должности старшего научного сотрудника. В то время научно-исследовательская работа на кафедре интенсивно велась в области создания АСУ ракетно-воздушных сил страны. Ф.М. Кулаков влился в коллектив молодых ученых и принял активное участие в создании системы мягкой посадки спускаемых на Землю космических аппаратов, в том числе и с космонавтами.

Однако к этому времени Ф.М. Кулаков определил для себя сферу научных интересов, которая была связана с созданием роботов. Под роботом он понимал управляемый с помощью ЭВМ манипулятор, оснащенный сенсорами, техническим зрением и интерфейсом для общения с человеком. Задача создания робота, в основном, заключалась

– в разработке методов и соответствующего программного обеспечения ЭВМ для обработки командной информации, поступающей от человека, и информации с сенсоров робота,

– в разработке методов программного обеспечения для управления исполнительными органами (чтобы реализовать команды человека-оператора с учетом особенностей внешней среды и текущего состояния робота).

Известно, что система управления должна иметь многоуровневую структуру с иерархическими связями между уровнями, т.е. для каждого нижележащего уровня вышележащий уровень должен формировать установку-цель. Так, самой высшей установкой является определенным образом формализованная команда человека, т.е. оператор специального языка общения с роботом. Самая нижняя установка – это программная траектория для следящих систем приводов, которые являются нижним управляющим уровнем.

В конце 1960-х гг. осуществлялось теоретическое осмысление проблемы, поиск подходов к построению системы принятия решений и методов оцувствления роботов. В результате один из найденных подходов сводил задачу построения системы принятия решений тактического уравнения, формирующей программную траекторию для низшего уровня, к задаче нелинейного математического программирования. Результатом решения этой задачи явилось построение последовательности аргументов функционала, которая приводит его к глобальному минимуму, равному нулю. Этот функционал представляет собой геометрическую разность между векторами, формализующими целевое и текущее состояние робота и окружающей среды. Минимизирующая последовательность строится в реальном масштабе времени, соответствующем темпу перемещения робота. Каждый ее элемент является программным значением выходных координат приводов в соответствующий момент времени. Ограничения на аргумент в виде равенств и неравенств фор-

мализуют область допустимых положений робота, свободную от препятствий.

Алгоритм минимизации строится так, чтобы ни один элемент минимизирующей последовательности не выходил из допустимой области. Предложенный подход дает возможность использовать для построения алгоритмов реализации тактического уровня аппарат теории математического программирования.

Другой подход сводил задачу построения программной траектории для низшего уровня к нахождению решения системы дифференциальных уравнений первого порядка, построенной в соответствии с теоремой Н.П. Еругина. Частными интегралами этих уравнений являются приравненный к нулю функционал рассогласования и равенства, формализующие свободную от препятствий зону.

По результатам проведенных исследований была написана совместно с М.Б. Игнатьевым, А.М. Покровским и издана в 1972 г. монография "Алгоритмы управления роботами-манипуляторами" (Л.: Машиностроение, 1972 г.), переизданная в 1978 г. и в 1973 г. переведена в США.

Для гидравлического манипулятора с пятью степенями свободы и кнопочным управлением каждой степенью свободы, спроектированного в институте Океанологии АН СССР и предназначенного для выполнения подводных работ, Ф.М. Кулаков предложил оснастить схват манипулятора тактильными датчиками. Эти датчики позволяли "ощупывать" дно, препятствия и целевые объекты-конкреции. Система управления этого подводного робота-манипулятора имела два иерархически связанных управляющих уровня. Низшим управляющим уровнем являлась система из пяти следящих приводов, каждый из которых управлял своей степенью свободы.

Верхний – тактический управляющий уровень формировал задание для каждого из приводов, строя такую программную траекторию, которая обеспечивала выполнение задачи. Этот уровень управления был реализован как программное обеспечение для ЭВМ.

При реализации этого уровня был использован предложенный Ф.М. Кулаковым подход, основанный на решении задачи нелинейного математического программирования. Система оцувствления была представлена группой тактильных датчиков, среди которых имелись датчики, регистрирующие попадание объекта в зону между губками схвата. Рука,

управляемая ЭВМ, успешно собирала объекты на самых разнообразных поверхностях достаточно произвольного и сложного профиля.

Дальнейшие исследования Ф.М. Кулакова были нацелены на разработку методов и средств, позволяющих создавать более совершенный информационно-управляющий комплекс робота, увеличивающий степень универсализма и автономности его поведения.

Ф.М. Кулаков успешно преодолел главную трудность при решении этой задачи, которая была связана с формированием компьютерной модели, объединяющей формализованные знания о внешнем мире и о самом роботе.

Полученные результаты послужили основой для докторской диссертации "Супервизорное управление роботами", которую успешно защитил в 1974 г. Это была одна из первых диссертаций в стране по робототехнической тематике. Основным оппонентом по диссертации был член-корреспондент АН СССР Е.П. Попов, а среди положительных отзывов были отзывы академика П.И. Артоболевского и члена-корреспондента АН СССР Д.Е. Охотимского. Результаты этих и дальнейших исследований по супервизорному управлению были опубликованы в монографии "Супервизорное управление манипуляционными роботами" (Москва, Наука, 1980 г.).

С 1977 года и по настоящее время Ф.М. Кулаков работает по совместительству в качестве профессора на кафедре механики управляемого движения Ленинградского государственного университета. В 1981 г. совместно с доцентом упомянутой выше кафедры Г.В. Алферовым организовал филиал кафедры при Ленинградском научно-исследовательском вычислительном центре АН СССР. Работа этого филиала представляет собой пример сотрудничества академической и вузовской науки.

Под руководством Ф.М. Кулакова успешно защищено большое количество кандидатских и докторских диссертаций, посвященных самым разнообразным научным направлениям, связанным с управлением, обработкой информации и принятием решений в робототехнических системах. Среди них доктора наук В.В. Никифоров, С.Ф. Бурданов, А.В. Зеньковский, профессор Бранденбургского университета Х. Лоозе, кандидаты технических наук В.А. Павлов, С.И. Новаченко, В.М. Гришкин, Н.С. Телешов, В.Н. Неокесарийский, А.М. Горизонтов и др.



Общение с коллегами



Проведение занятий

В последние годы научные интересы Ф.М. Кулакова связаны с актуальными вопросами разработки методов и аппаратно-программных средств визуально-кинестетического взаимодействия с виртуальными объектами и моделями космических объектов с имитацией невесомости, гравитации планет и их спутников.

Важные результаты получены Ф.М. Кулаковым в области применения методов виртуальной реальности в задачах управления роботами и другими мехатронными системами. Особую ценность они имеют при решении проблем создания тренажеров для космических и подводных роботов с функциями интеллектуальных интерфейсов человек-робот.

За многолетний научный и педагогический труд Ф.М. Кулакову в 1992 г. присвоено почетное звание "Заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации".

Ф.М. Кулаков встречает свой юбилей, продолжая исследования по робототехнике, развивая новые в этой области и в том числе в области телеуправления космическими роботами. Созданный им неформальный научный коллектив из преподавателей, аспирантов и талантливых студентов, вместе с ним успешно работает в этой очень интересной, перспективной и актуальной области.



Практические занятия в классе робототехники

Основные публикации Ф.М. Кулакова

1. Кулаков Ф.М. Алгоритмы управления роботами–манипуляторами (Совм. с М.Б. Игнатьевым, А.М. Покровским). Л.: Машиностроение, 1972.
2. Kulakov F.M., Ignatiev M.B., Pokrovsky A.M. Robot manipulator control algorithms – Virginia. Joint Publications Research, Service Arlington, 1973. P. 275.
3. Кулаков Ф.М. Организация супервизорного управления робота-манипулятора / Известия АН СССР, Техническая кибернетика. 1976. № 5. С. 37–46.
4. Кулаков Ф.М. Подводные роботы. Л.: Судостроение. 1977 (совм. с М.Б. Игнатьевым, В.С. Ястребовым).
5. Кулаков Ф.М. Супервизорное управление манипуляционными роботами. М., Наука, 1980. 448 с.
6. Кулаков Ф.М. Кинематические и динамические модели исполнительных систем робота (совм. с Г.В. Алферовым, В.Н. Нечесарийским). Л., 1983, 80 с.
7. Кулаков Ф.М. Автоматизация проектирования гибких производственных систем ГПС (совм. с Сольницевым). Машиностроение, 1990
8. Kulakov F.M. Robust Motion Control for Robots with Flexible Elements. Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Theory and control systems. 2000.
9. Кулаков Ф.М. Робастное управление податливым движением роботов с упругими элементами // Известия РАН. ТиСУ. 2000. № 4. С. 161–191.
10. Кулаков Ф.М. Технология погружения виртуального объекта в реальный мир // Информационные технологии. Приложение к журналу. 2004. № 10.
11. Кулаков Ф.М. Информационные системы виртуальной реальности в мехатронике и робототехнике: учеб. пособие (совм. с Г.В. Алферовым, А.И. Нечаевым, С.Э. Чернаковой). СПб.: СОЛЮ, 2006. 146 с.
12. Кулаков Ф.М. Информационные системы виртуальной реальности в мехатронике и робототехнике (совм. с Г.В. Алферовым, А.И. Нечаевым, С.Э. Чернаковой). Изд-во СПбГУ, 2009. 167 с.
13. Kulakov F.M. Control systems of haptic man-machine interfaces / Journal of Computer and

- Systems Sciences International. 2010, Vol. 49, № 4. P. 643–671.
14. Active force-torque robot control without using wrist force-torque sensors. *Journal of Computer and Systems Sciences International*. February 2012. Vol. 51, № 1. P. 147–168.
 15. Кулаков Ф.М. Кинематический анализ исполнительской системы манипуляционных роботов (совм. с Г.В. Алферовым, О.А. Малафеевым) // Проблемы механики и управления: Нелинейные динамические системы. 2014. Вып. 46. С. 31–38.
 16. Кулаков Ф.М. Динамический анализ исполнительской системы манипуляционных роботов (совм. с Г.В. Алферовым, О.А. Малафеевым) // Проблемы механики и управления: Нелинейные динамические системы. 2014. Вып. 46. С. 39–46.
 17. Кулаков Ф.М. Кинематические модели манипуляционных роботов (совм. с Г.В. Алферовым, А.С. Шарлаем) // Потенциал современной науки. 2014. № 2. С. 37–41.
 18. Кулаков Ф.М. Управление многозвенными манипуляционными роботами при наличии связей у перемещаемых ими объектов (совм. с П.А. Ефимовой, Г.В. Алферовым, Д.В. Шиманчуком, А.С. Шарлаем) // Устойчивость и процессы управления: матер. III междунар. конф. 2015. С. 121–122.
 19. Kulakov F., Alferov G.V., Efimova P., Chernakova S., Shymanchuk D. Modeling and control of robot manipulators with the constraints at the moving objects 2015 International Conference "Stability and Control Processes" in Memory of V.I. Zubov (SCP). P. 102–105. DOI: 10.1109/SCP.2015.7342075
 20. Кулаков Ф.М. Моделирование внешней среды для процесса обучения показом (совм. с С.Э. Чернаковой, А.И. Нечаевым) / Сб. тр. СПИИ РАН. Т. 2, вып. 1. С. 105–113.

An Outstanding Innovator in Robotics (on the occasion of the 85th anniversary of F.M. Kulakov's birth)

G. V. Alferov, P. A. Efimova, A. V. Matrosov, D. V. Shymanchuk

Saint Petersburg State University; 35, Universitetskiy prospekt, Saint Petersburg, 198504, Russia

The paper is dedicated to the 85th birth anniversary of the Russian scientist Felix Mikhailovich Kulakov, a specialist in robotics and mechatronics, Honored Scientist of the Russian Federation, Corresponding Member of the Russian Academy of Technological Sciences, Professor at the Department of Mechanics of Controlled Motion at the Faculty of Applied Mathematics and Control Processes of Saint Petersburg State University.

Keywords: *dynamics; robot; manipulator; space robots; remote control; supervisory control.*