



## ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ РАЗВИТИЯ РОБОТОТЕХНИКИ В МИРЕ

Б.Е. Бердичевский (ВИНИТИ РАН)

Представлен обзор состояния развития стационарных и мобильных робототехнических систем за период 2006-2008 гг., собранный на основе анализа специализированных выставок и публикаций в прессе.

На протяжении последних трех лет — 2006-2008 гг. продолжалось интенсивное развитие промышленных роботов (по данным статистического департамента Международной Федерации Роботов (МФР)). Так в 2006 г. использовалось 951 тыс., в 2007 г. — 999 тыс., а на 2010 г. планируется использование 1173 тыс. промышленных роботов.

По данным МФР в 2006 г. наиболее интенсивное увеличение числа используемых роботов наблюдалось только в Европе, в Азии, Австралии и Южной Америке эта тенденция не проявлялась. При этом во всем мире автомобилестроительная и электротехническая промышленности, до 2005 г. считавшиеся основными покупателями роботов, заметно уменьшили свои закупки (отметим, что автомобилестроительная промышленность в основном закупает усовершенствованных "умных" роботов), в то время как повысилась интенсивность закупок роботов другими отраслями промышленности. Разработчики принимают меры, чтобы роботы закупались предприятиями средне- и малосерийной промышленности.

За последние годы интенсивно развивается техника автоматизации производственных процессов в машиностроении, особенно в станкостроении. При этом в схемах автоматизации успешно используются роботы, предназначенные для выполнения самых разнообразных работ. "Умные" роботы, несколько лет назад примененные в автомобилестроительной промышленности, совершенствуются и начинают широко

применяться в других отраслях промышленности. Оснащение систем управления роботами функциями обработки изображений заметно повышает универсализацию робототехнических систем. Например, по данным отделения Объединения германских инженеров машиностроителей Robototechnik + Automation закупки средств робототехники и автоматики за последние 3 года увеличились в Германии на 15 %, при этом отмечается повышение спроса на роботов, оборудованных средствами переработки изображений (машинное зрение). Очень интенсивно в последние годы развиваются также исследования по программированию функций роботов.

Современные промышленные роботы можно подразделить на две основные группы: стационарные и мобильные.

### Стационарные роботы

Все чаще используются промышленные роботы новейших поколений, снабженные множеством программ, переключаемых по командам оператора или автоматически после выполнения одного этапа работ и перехода к другому. Руководитель предприятия Motoman Robotec отмечает в журнале VDE Nachrichten (2007 г.), что "за последнее десятилетие роботы от года к году становятся все важнее в качестве помощников". Например, 7-осный однорукий робот Motoman IA-20 и 13-осный двурукий робот Motoman DA-20 используются для сварки в защитном газе, для точечных сварок при монтажных работах. Руководитель предприятия FPT Robotec сообщает о широком использовании роботов, о точном позиционировании изделий упаковываемых с помощью роботов: "Анализ потоков материалов комбинируемых с робототехнической технологией обеспечивает оптимальный порядок на предприятиях".

Предприятие TM Robotics показало на выставке Motec-2007 (Германия) две новинки: робота специализированного для монтажа по задаваемым программам, пригодного для использования малосерийными предприятиями, и робота для микромонтажа, выполняющего по задаваемым программам монтажные работы с точностью  $\pm 0,01$  мм.

Там же был показан малый робот с размахивающей рукой фирмы Schtaubly Robotics имеющий максимальную подъемную силу 1 кг, максимальный размах руки — 220 мм, максимальный подъем руки — 100 мм. Он используется при монтаже малых прибо-

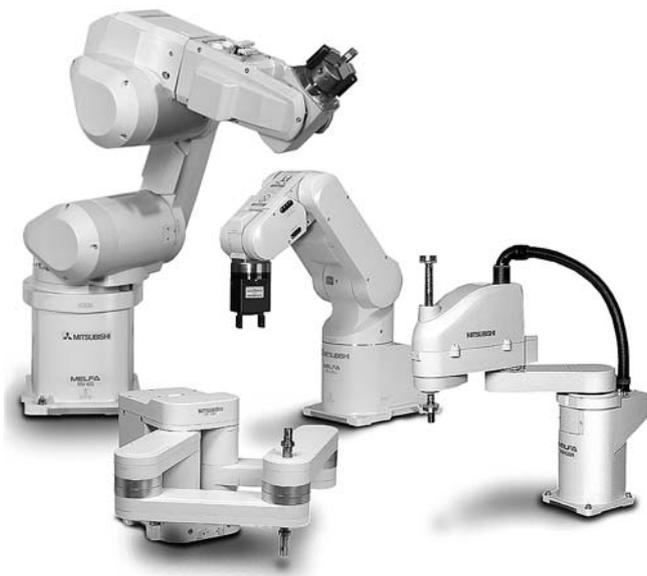


Рис. 1. Промышленные роботы компании Mitsubishi

ров по задаваемым программам и машин малосерийного производства, экономя ручной труд рабочих.

На специализированной выставке Automatica-2008 (г. Штутгарт, Германия) разработчики и изготовители роботов показали инновации – возможности работы по сложным программам. В выставке приняли участие около 900 экспонентов, среди которых ABB, Fanuc, Kuka, Reis, Motoman, Staubly и др., выставку посетили более 30000 специалистов. Организаторы выставки отмечают, что в последнее время увеличился спрос на роботов, использующих быстро и просто заменяющиеся программы, повышающие работоспособность малосерийных предприятий.

На выставке Automatica-2008 была показана новая серия роботов фирмы Reis Robotics (Германия) с вертикальной ломающейся рукой с диапазоном грузоподъемности 16...130 кг. Фирма Kuka Roboter (Германия) показала два новых сварочных робота KR 5 arc и KR 5 ark HW с грузоподъемностью по 5 кг каждый, с собственным весом по 12 кг, с радиусом действия 1400 мм. Роботы компактны, могут размещаться на полу и стенах. Робот с индексом HW может работать в атмосфере защитного газа. Установленный гарантируемый срок службы роботов 40 тыс. ч, смена масла в подшипниках требуется через 20000 ч. Эта же фирма представила робота "Титан" (KR 1000) с рекордной грузоподъемностью – 1000 кг при радиусе размаха 3200 мм. Он может поднимать грузы на высоту около 4 м. Новый робот реализует выполнение сложных программ.

Фирма Kawasaki Robotics (германское представительство японской фирмы) показала три серии роботов грузоподъемностью 3...500 кг. Серия F имеет облегченную руку и грузоподъемность до 3...60 кг. Серия Z со стандартной средней рукой имеет грузоподъемность до 130...300 кг. Серия M имеет грузоподъемность до 500 кг. Отмечается целесообразность использования этих роботов для разных производственных работ и повышения производительности труда.

Новый робот фирмы Fanuc (Япония) Roboter M-410 iB 700 работает с угловой скоростью до 120°/с, при 700 рабочих циклов/ч. Кубическая область действия Roboter M-410 iB 700 составляет 1600x1600x2100 мм. Производитель отмечает возможность использования робота в разных областях техники и исполнения им сложных программ.

Фирма AEW Delford Systems (Великобритания) продемонстрировала нового "разумного" робота, предназначенного для упаковки продовольственных товаров широкого потребления и фармацевтических изделий. Робот выполняет работы по заменяемым сложным алгоритмам, причем смена программ и их составление упрощены.

Фирма Stefan Maier (Германия) разработала систему робототехнической лазерной сварки трехмерных

объектов, в которой робот в соответствии с программой поворачивает перемещаемый линейно объект и подставляет под луч лазера в заданных местах. Обрабатываемое изделие может иметь размеры 3000x2000x700 мм. При необходимости программа может изменять мощность лазера для выполнения сварки в разных точках обрабатываемого объекта. Точность выбора места сварки в зависимости от программы может варьироваться в пределах  $\pm 0,2... \pm 0,035$  мм. Уже продано около 100 подобных систем.

На совещании представителей специальных университетских кафедр в Германии отмечалось, что коэффициент полезного использования универсальных обрабатывающих центров при круглосуточной их работе не превышает 75%. Этот коэффициент может быть повышен при передаче роботам ряда работ на машиностроительных предприятиях. Это подтверждается практикой. По опубликованным данным в Германии к концу 2005 г. на станкостроительных предприятиях было установлено >8300 роботов, выполнявших вспомогательные операции.

Фирма Samag Group (Германия) поставляет обрабатывающие центры, использующие для загрузки и разгрузки специализированных роботов. В комплекте с роботами поставляются конвейеры, конструкция которых согласуется с заказчиками.

С целью упрощения работы средних и малых предприятий, нуждающихся в составлении удобных, надежных программ для роботов, появились фирмы специализирующиеся на составлении программ по заказам предприятий. Фирма Rockwell Automation (Германия) разрабатывает системы программирования

работы разных роботов для машиностроительных предприятий. Фирмой построена специализированная платформа Control-Logix, задающая программы работ, необходимые предприятию с учетом характеристик используемого робота.

Работа одних и тех же роботов по разным программам с изделиями нередко разной формы, веса потребовала изменения конструкции захватов и их универсализации. В Германии и США появились фирмы, разрабатывающие универсальные вакуумные захваты, способные захватить и прочно удерживать объекты разной формы.

#### Мобильные роботы

Промышленные мобильные роботы широко используются лишь в последние годы, они были мало востребованы в автомобилестроительной промышленности. Их разработка и широкое использование связаны с развитием робототехники для других отраслей промышленности. Разработка промышленных мобильных роботов требует в некоторой степени



Рис. 2. Робототехнический комплекс компании Kuka

иных подходов, выполнения иных требований, применения других датчиков, чем для стационарных промышленных роботов.

На Ганноверской (Германия) технической выставке в 2008 г. был показан мобильный робот Pallro фирмы Pollybag (Великобритания), управляющийся фотоэлементами. Робот автоматически упаковывает изделия высотой до 2,1 м по программе, задаваемой для каждого вида изделия. После упаковки, если это предусмотрено программой, робот отвозит изделие на погрузочную площадку и аккуратно укладывает его в автомобиль или в железнодорожный вагон.

В январском номере 2008 г. журнала *Journal of Intelligent and Robotics Systems* предложен новый способ автоматического планирования пути мобильного робота, объединяющий возможности обхода препятствий и реализации оптимальной вероятностной оценки направления движения при заданной программой цели движения. Этот метод применим также и для управления движением мобильного робота в сложной дорожной обстановке при отсутствии детальной информации о скорости перемещающихся препятствий и траектории их перемещения. Моделирование и экспериментальные проверки на реальном колесном роботе подтвердили приемлемость и практичность предложенного метода, позволили оценить характеристики необходимых для его реализации датчиков. Предложенный способ проверялся фирмой Team-Lux (Германия). Более простой, но требующий предварительной оценки пути, по которому будет двигаться мобильный робот, использован в разработках Paqo фирмы Roteg (Великобритания). Путь должен пролегать только при неподвижных препятствиях, он заранее анализируется, оптимизируется и закладывается в программу, управляющую каждым конкретным роботом. Такой способ позволяет эффективно управлять мобильными роботами, используемыми на заводских складах, стабильных погрузочных площадках и других стационарных объектах.

В разных номерах журнала *Journal of Intelligent and Robotic Systems* публикуется множество вариантов систем автоматического управления движением мобильных роботов. Как правило, все они описывают успешные результаты моделирования, а иногда экспериментальные проверки на макетах. Это свидетельствует о большом интересе исследователей, университетов, теоретиков к проблемам управления мобильными роботами и вероятно о приближающемся интересе фирм-разработчиков к промышленным мобильным роботам и эффективным схемам управления ими.

Журнал *VDI Nachrichten* сообщил о результатах соревнований транспортных мобильных роботов *Darpa Grand Chaiendge-2007* (большие соревнования подвижных объектов). Эти соревнования ежегодно проводятся в США с 2005 г. с участием разработчиков из разных стран. Всего в 2007 г. для участия в испытаниях подали заявки

35 организаций. Однако после предварительных проверок техники к соревнованиям были допущены только 11 транспортных мобильных роботов, созданных американскими университетами Стенфордским, Питтсбургским, Вирджинским, рядом американских фирм, а также два мобильных робота из Германии, один из Израиля и др. Команда, запускавшая автомобили-роботы располагалась вне робота в командном наземном пункте в точке старта. Автороботы должны были пройти по трассе, расположенной в городских условиях, по не очень загруженному транспортом шоссе, близ города Мильвали (примерно 150 км от Чикаго), расстояние 60 миль (около 96 км.) и обратно за время  $\leq 6$  ч, по пути полностью подчиняясь правилам автомобильного движения, сигналам светофоров и др. Роботы-конкурсанты не имели связи с командным пунктом. По этому же пути следовало все остальное городское автомобильное движение. В публикации описан авторобот, представленный на соревнованиях фирмой Team-Lux (Германия). На нем были установлены три лазерные сканнера, формирующие систему управления двигателем по заданной программе, три высокочувствительные лазерные сканнера для распознавания пути, выявления препятствий, уточнения показаний светофоров. Они были установлены на внешней поверхности кузова, обеспечивали обзор по углу  $360^\circ$ . Подробно объясняется роль каждого из сканнеров, электронных регуляторов двигателей и других элементов системы управления мобильным роботом. Все внешние сигналы на роботе Team-Lux воспринимались и обрабатывались 15520 датчиками. Робот Team-Lux занял на соревнованиях третье место (по длительности прохождения трассы). Первым стал робот из Питтсбургского университета.

В последние годы в прессе появились описания подводных мобильных роботов разного назначения. В США, Канаде, Германии разрабатываются подводные роботы для очистки подводной части морских судов от грязи, ракушек и других наслоений. Иногда мобильные роботы предназначаются для глубинных морских исследований. В издании, посвященном системе Mesa Werde, обслуживающей подводные морские норвежские газо- и нефтедобывающие платформы, описаны подводные морские мобильные роботы, играющие важную роль в системах управления работой оборудования.

Доказательством того, что использование роботов средними и малыми предприятиями расширяется, является предложение торгового предприятия CSI (Германия), названное "готовый к пользованию робот". Фирма предоставляет роботов в аренду на любой требуемый срок. По желанию пользователя срок аренды может, за оговоренную заранее цену, быть продлен или робот может быть выкуплен. Перед транспортировкой робот устанавливается на раму и помещается в водонепроницаемый кожух. Подобная схема позволяет малым и средним предприятиям при относительно малых расходах "попробовать" роботы в работе.

*Бердичевский Борис Ефимович — д-р техн. наук, профессор ВИНТИ РАН.*

*Контактный телефон (495) 930-97-40.*