

Трепещите, станки – роботы уже идут...

Иво Липсте (COLLA Ltd., Рига)

ivo@colla.lv

Применение промышленных роботов, особенно для механической обработки, знаменует появление на производстве относительно новых технологий. Несмотря на новизну и непривычность, они уже успели прекрасно показать себя. Тем не менее, вопросы, связанные с робототехникой, еще далеки от полной определенности, что, как правило, вызывает вполне понятное недоверие у потенциальных пользователей. Более подробное рассмотрение на страницах журнала этой тематики – о промышленных роботах, разных аспектах их применения, а также о программном обеспечении для них – позволит читателям более глубоко “влезать” в эти очень перспективные технологии. Это, в свою очередь, даст читателям возможность точнее прицельиться, осмысливая возможности их применения на своем производстве.

Робот против станка?!

Если не вести речь о простейших задачах типа “возьми и положи”, то в деле использования роботов в промышленности для широких масс инженеров еще достаточно много темных пятен. Неясность и сомнения тем более усиливаются, когда, при выборе решения для механообработки, человек вдруг узнаёт, что в его случае комплекс на базе робота окажется более эффективным, чем на базе классического станка с ЧПУ.

Деятельность нашей компании на рынке роботизированных технологий позволила четко выявить некоторые негативные аспекты отношения к роботам со стороны потенциальных пользователей. С другой стороны, мировая практика применения роботов, напротив, выявляет ряд их важных преимуществ.

Попробуем суммировать в виде тезисов основные доводы с обеих сторон.

✓ Сомнения потенциальных пользователей

1 Робот – это, конечно, хорошая штука для замены человека, которая не устает, работает быстрее и точнее, не требует повышения зарплаты. Однако



Робот размещен на линейной направляющей, а деталь – на поворотной оси

она хороша только для простейших операций по схеме “возьми побольше и положи подальше”. Применение роботов в качестве эффективной замены станков с ЧПУ? Да несерьезно это!

2 Да, манипуляторы могут достаточно ловко дотянуться до неудобных зон и обработать деталь со всех сторон, но их точность крайне низка.

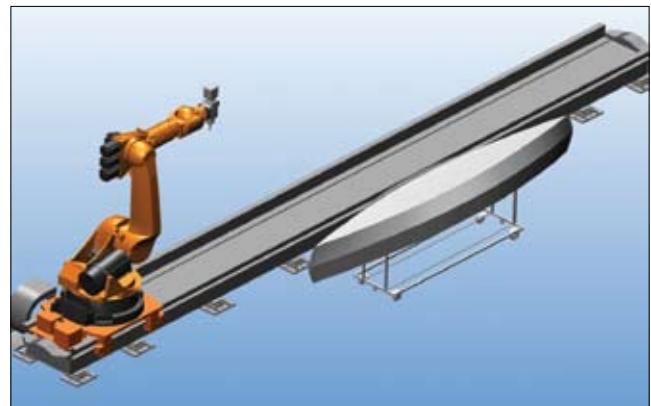
3 Роботы – это роскошь для богатых предприятий.

4 Промышленные роботы ориентированы на автомобилестроение (многие смотрели видеоролик, где стая роботов складывает и варит кузова).

✓ Результаты мировой практики

1 На сегодняшний день роботы, помимо задач “возьми да положи”, могут успешно выполнять целый ряд технологических операций механообработки, включая типичные задачи многоосевых фрезерных станков, объемную резку лазером, плазмой, водяной струей, а также покраску, пескоструйную чистку, шлифовку, полировку, контактную сварку, сварку проволокой и т.д.

2 Если задуматься, история классических станков с ЧПУ – не слишком древняя. Их развитие началось в 70-е годы прошлого столетия, и промышленники поначалу тоже смотрели на них с недоверием. Сегодня же сомнений в полезности таких станков нет ни у кого. История промышленных роботов еще короче (фактически – одно десятилетие), причем, изначально они действительно предназначались для выполнения простых операций: взять, повернуть, позиционировать. Но уже несколько лет назад роботы серьезно заявили о себе в качестве конкурентов классических станков с ЧПУ. Поставщики робототехники уже начали выпускать модели, полностью ориентированные на выполнение операций механообработки. На многих предприятиях по всему миру роботы успешно фрезеруют детали даже из материалов высокой твердости, причем с достаточной точностью. На сегодняшний день “сотка” – уже не предел для робота, а такая точность вполне достаточна для доброй половины всех задач. Оставаться верными



Робот размещен на линейной направляющей для обработки длинных деталей

станкам с ЧПУ классического исполнения вынуждены лишь те, кому необходима сверхвысокая точность обработки без дополнительных операций доводки деталей.

3 По стоимости оборудованная рабочая ячейка на базе робота может оказаться в несколько раз дешевле подобного станка с ЧПУ, особенно в случае крупногабаритных 5-осевых станков. Если трезво оценить потребности предприятия и возможности современных роботов, то может оказаться, что даже небольшая компания, которая не может позволить себе покупку станка с ЧПУ, вполне способна “потянуть” решение на базе робота.

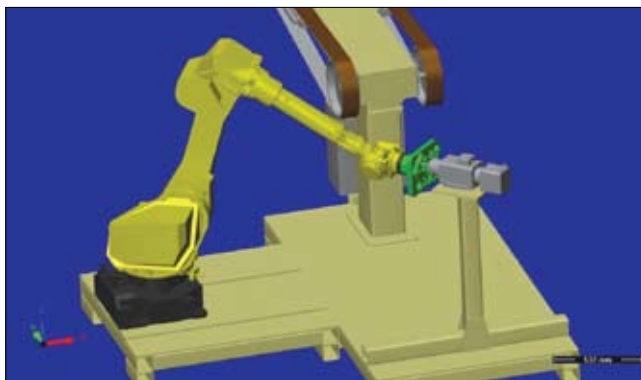
4 Неоспоримым преимуществом робота является наличие 6 степеней свободы при движении манипулятора. Помимо этого, создавая рабочие ячейки на базе роботов, можно задействовать еще и 3 дополнительные линейные оси плюс разного рода комбинации двух наружных поворотных осей. Следовательно, в сумме количество степеней свободы достигает 11.

Наличие дополнительных осей дает возможность сделать рабочую зону условно безграничной. Например, самый простой вариант – установить робота на горизонтальном рельсе, а по обе стороны разместить несколько столов. Для обработки особо крупных объектов (корпус яхты, рама прицепа) можно смонтировать рабочую ячейку на горизонтальной П-образной раме.

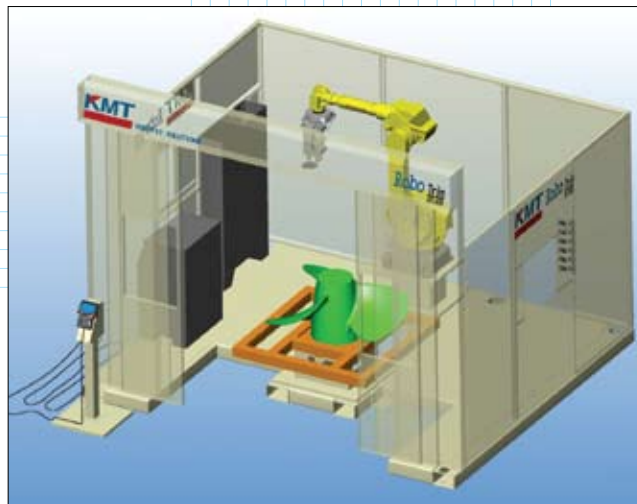
5 Не стоит забывать, что, помимо задач обработки, любой робот в состоянии выполнять и традиционные операции из разряда “взять и положить”. Для этого имеются различные системы наведения и позиционирования. Таким образом, робот может самостоятельно взять деталь, установить её в рабочей зоне, затем обработать и убрать (переместить к готовым деталям или передать на следующий участок для дальнейшей обработки).

6 В одной роботизированной ячейке можно организовать неограниченное количество рабочих зон с разной конфигурацией дополнительных осей.

7 Дополнительные возможности открывает способность робота выполнять задачи по схеме “деталь к инструменту”. Это означает, что робот может, взяв деталь в свою “руку”, подносить её к различным инструментам, установленным неподвижно, для выполнения целой цепочки технологических задач.



Пример реализации схемы “деталь к инструменту” – с неподвижным фрезерным шпинделем и шлифовальным агрегатом



Полностью сконфигурированная роботизированная ячейка с поворотным столом

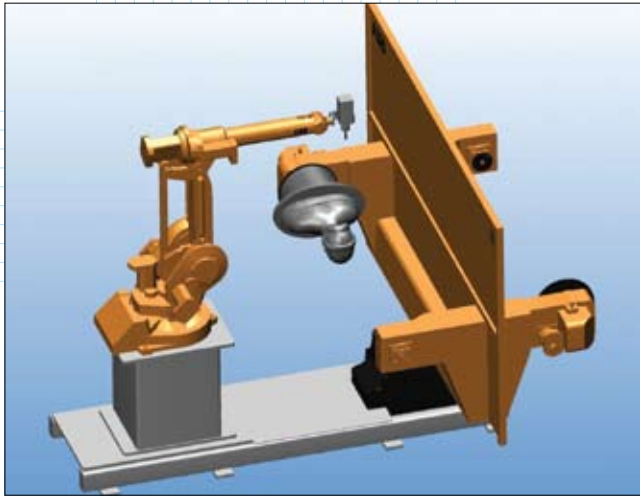
Если соотнести всё вышесказанное, подсчитав плюсы и минусы, то можно сделать весьма эмоциональный (хотя и поспешный) вывод, что классические многоосевые станки с ЧПУ скоро будут просто отдыхать... Конечно, это не так. Я отнюдь не утверждаю, что робот является абсолютным решением на все случаи производственной жизни. Тем не менее, учитывая изумительную гибкость и сравнительно низкую цену подобных решений, задуматься об их применении для выполнения реальных задач следует всенепреренно.

На этом мы закончим обсуждение возможностей аппаратной части и обратимся к задачам программирования обработки для роботизированных ячеек.

Обучение роботов вручную и его недостатки

Традиционно основным средством обучения роботов был выносной пульт (*Teach pendant*). С его помощью можно в ручном режиме управлять всеми сочленениями манипулятора, вести “на глазок” условный инструмент в нужном положении к нужной точке и запоминать её. Таким образом, повторяя действия, можно запомнить необходимое количество точек. Кроме того, в каждой точке роботу требуется пояснение, какие дополнительные действия следует выполнить. После такого обучения формируется управляющая программа, запуская которую, можно заставить робота выполнять осмысленные движения.

Если задача относится к классу “возьми и положи”, а количество точек на траектории невелико, то, имея некоторый опыт, справиться с обучением можно относительно быстро. Но если точек будет много, то создание УП может занять значительное время. Как правило, после тестового запуска и проверки УП выясняется, что движения необходимо подкорректировать (что зачастую занимает еще больше времени, чем первоначальная подготовка). Как утверждают специалисты, в зависимости от условной сложности движения такие маневры для получения удовлетворительных результатов могут потребовать от одного часа до нескольких дней.



Ячейка для выполнения фрезерных задач с горизонтальной поворотной осью и поворотным узлом для двух зон обработки

Минусы такого способа обучения очевидны:

- всё то время, пока оператор возится с роботом, тот не может быть задействован для выполнения производственных задач;
- точность созданных таким образом УП в принципе зависит от глазомера оператора;
- в случае механообработки такие УП могут быть пригодны только для выполнения очень примитивных задач (да и то, зачастую, обработку придется подгонять по результатам измерения пробных деталей).
- непроизводительные затраты времени оказываются внушительными.

В компьютерный век естественным путем минимизации простоев роботизированных участков стало создание специализированного программного обеспечения. Этот класс ПО известен под названием средства *offline*-программирования.

Два вида автономного программирования роботов

Вопрос автономного программирования (*offline programming*) крайне важен, и его прояснение поможет специалистам, которые уже сегодня “мучают” роботов, лучше понять кардинально новый подход к созданию УП для роботов и, возможно, позволит переоценить функционал имеющегося ПО для офлайн-программирования.

Тем, кто серьезно думает о внедрении на своем предприятии роботов для выполнения технологических операций (в особенности, если роботы будут применяться для механической обработки), обязательно нужно осознать различие между тем, что обычно называют *offline*-программированием для роботов, и программированием на базе *CAM*-систем. Это позволит им избежать не только терминологической путаницы, но и приобретения дорогостоящего софта (предлагаемого для комплекта поставщиками робототехники), эффективность которого для их конкретных задач может, мягко говоря, вызывать большие сомнения.

Итак, имеются два похожих термина, за которыми скрываются два совершенно разных подхода и, соответственно, разные программные решения. Объединяет эти подходы лишь общая идея, которая стоит за понятием автономного программирования обработки на отдельно стоящем компьютере: уйти от необходимости обучения робота с пульта, а также, по возможности, сделать это обучение более удобным. Но фокусировка на автономности (*offline*) в данном случае не является правильной, ибо это еще не дает информации о сути процесса подготовки управляющих программ для роботов.

Попробуем разложить по полочкам основные различия этих двух подходов. Нетрудно будет заметить, что ПО, реализующее эти подходы, весьма различается по своим возможностям:

1 *Offline*-эмуляторы – программы, которые на отдельном компьютере тем или иным образом имитируют традиционный процесс ручного обучения робота с выносного пульта. Именно это обычно и понимают под термином программирование в автономном режиме.

2 *CAM based offline programming*, то есть автономное программирование на базе *CAM*-среды, что подразумевает возможность использования 3D-модели изделия.

Обычное *offline*-программирование

Если внимательно посмотреть на то, как происходит создание УП в программах-эмуляторах, то мы увидим, что единственным существенным отличием в процессе подготовки траекторий является только то, что делается это на отдельном компьютере без физического привлечения робота. Однако процесс обучения всё-таки остается пошаговым. Справедливости ради следует отметить преимущества эмуляции по сравнению с обучением вручную. При таком подходе повышается точность, так как имеется возможность считать координаты точек от модели, вокруг которой предполагаются движения. Так как все подобные системы созданы на базе виртуального симулятора, то весь процесс происходит на виртуальном роботе. Подготовленную последовательность движений можно и отобразить в виде действий робота. Бесспорно, это помогает подготавливать УП быстрее и устраняет риск поломки робота из-за ошибочных действий. Однако такое средство всё же не приспособлено для получения траекторий, связанных с обработкой.

Роботам присуще одно вредное свойство, которое не мешает в задачах типа “возьми и положи”, но крайне осложняет задачи обработки: речь идет о проблеме однозначности движения между двумя точками. По определению, робот выполняет задачи перехода между точками не обязательно по прямой линии. Кроме того, он при этом не обязательно выдерживает ориентацию условного инструмента в пространстве или по отношению к детали. Данная особенность вызвана встроенной “математикой” для контроллера, управляющего приводами, которая весьма своеобразно оптимизирует последовательность разворотов суставов при движении. К сожалению, такое вольнодумство для мехобработки непозволительно.

Единственное, что могут предложить *offline*-эмуляторы в таком случае – вводить промежуточные точки

и назначать для них условия (что тоже, по большому счету, придется делать вручную). Если, например, с помощью такого ПО пытаться подготовить УП для обработки простой прямоугольной детали роботом, который оснащен фрезерным шпинделем, то вам придется назначать массу условий в каждой точке. Компенсацию траектории на радиус инструмента при этом придется считать вручную.

В мою задачу не входит детальный анализ ПО данного класса. И без того однозначно ясно, что для создания траекторий обработки эти средства не приспособлены.

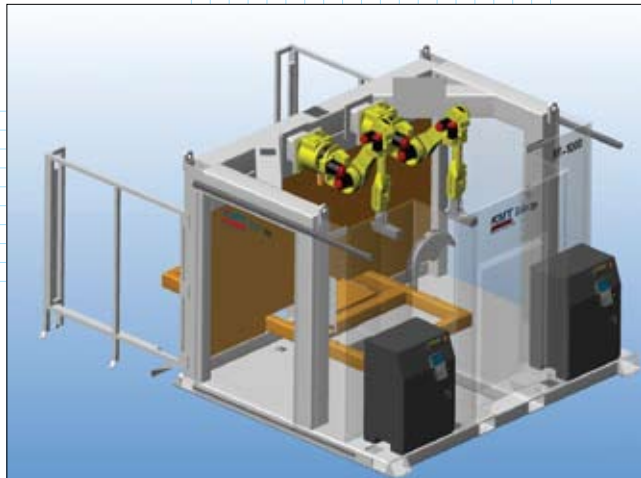
Программирование на базе САМ-систем

Особенностью автономного программирования на базе САМ-систем (*CAM based offline programming*) является возможность формировать траектории условного инструмента в программной среде для создания УП для станков с ЧПУ. Таким образом, специалист, осуществляющий подготовку той или иной обработки с помощью робота, может пользоваться всеми теми стратегиями из арсенала САМ-системы, которые обеспечивают необходимые движения и ориентацию инструмента для изготовления детали согласно 3D-модели.

Не секрет, что САМ-системы предназначены для программирования обработки на классических станках с ЧПУ. Попробуем задуматься: чем такой станок отличается от промышленного робота? В определенном смысле – только непривычностью исполнения. У обоих есть механическая часть, датчики контроля движения, приводы, обеспечивающие различные виды перемещений (степени свободы), и, наконец, есть стойка управления и пульт для общения с ней. Следовательно, уместен вопрос – а почему бы не попытаться использовать классическую САМ-систему и для программирования роботов?

Сложность задач, которые в состоянии выполнить робот (оснащенный, к примеру, фрезерным шпинделем), во многом превосходит возможности 5-осевого станка. Однако обучить робота таким действиям в ручном режиме или обычными средствами *offline*-программирования (эмуляторами) практически невозможно. Единственный способ – взять САМ-систему, обеспечивающую возможность подготовить необходимые для обработки движения, и затем, на основе готовых траекторий обработки, сформировать УП для робота в понятном для него виде. Другими словами, требуются средства *offline*-программирования на базе САМ-систем.

Как было сказано выше, внутренняя математика роботов на сегодняшний день устроена весьма специфично, что значительно усложняет задачу (а зачастую и делает невозможным) добиться однозначной ориентации условного инструмента при движении между двумя точками. В то же время, для выполнения операций механообработки это крайне важно. Таким образом, для того чтобы средства *offline*-программирования были “дееспособными”, они должны понимать принципы функционирования роботов и учитывать их специфику при создании УП – причем, не требуя специальных усилий со стороны технолога-программиста, как в случае обучения по точкам.



Полностью сконфигурированная ячейка с двумя роботами

Система Robotmaster

Компания *JABEZ Technologies* (Канада), создавшая программный пакет *Robotmaster*, базовой средой для работы которого является известная во всем мире САМ-система *Mastercam*, фактически и положила начало новому направлению – *offline*-программированию на базе САМ-систем. Занимаясь непростыми вопросами оптимизации движений манипуляторов, специалисты этой компании стали развивать программные технологии, которые в итоге воплотились в продукт, реализующий уникальный на данный момент подход – программирование обработки для роботизированных ячеек на основе траектории условного инструмента. Если сказать это другими словами, то *Robotmaster* заставляет манипулятор четко отработать заранее определенную для обработки конкретной детали траекторию инструмента.

В комплексе *Mastercam + Robotmaster* задачи распределяются следующим образом. Система *Mastercam* отвечает за графическую среду, за подготовку 3D-моделей (собственными средствами или путем загрузки файлов из других систем) и их редактирование, а также за формирование траекторий инструмента и симуляцию обработки на экране. Модуль *Robotmaster* отвечает за настройку и конфигурацию параметров робота, за перерасчет траекторий, полученных средствами *Mastercam* (вычисляются необходимые величины поворотов суставов робота), и их оптимизацию, а также за постпроцессирование и симуляцию отработки УП на виртуальном роботе или полностью сконфигурированной роботизированной ячейке (под этим понимается огражденное место, где находится робот, относящиеся к нему приспособления и дополнительное оборудование). Поскольку симуляция движений робота ведется непосредственно на основе УП, то она практически на 100% соответствует реальности. Это дает высокий уровень гарантии относительно сохранности имущества при реальной работе.

Для более подробного ознакомления с возможностями систем *Mastercam* и *Robotmaster* рекомендую регулярно читать журнал *Observer*. ☒