

Объективная оценка режимов работы робота с речевым интерфейсом в сборочном процессе машиностроения

*И.Ф. Ревонченкова,
н.с., rinna@ipu.ru,
ИПУ РАН, г. Москва*

Статья посвящена робототехническому управлению сборочного процесса производства деталей и узлов в конечный модуль. Рассматривается модель управления робота-манипулятора с использованием речевого интерфейса. Команды, произнесенные оператором и воспринятые роботом сборки с помощью речевого интерфейса (РИ), используются в дополнении к стандартному процессу сборки. Производится оценка режимов работы робота с речевым интерфейсом. Для оценки показателей сборочного процесса применяются различные методы вычислительной математики и математической статистики.

This article is devoted to robotic control of the assembly process for the parts and units production in the final module. A model for a robot-manipulator controlling using a speech interface is considered. An estimation of the robot operation modes with the speech interface is made. Commands spoken by the operator and perceived by the assembly robot using a speech interface are used in addition to the standard production assembly process. To assess the assembly process parameters, various methods of computational mathematics and mathematical statistics are used.

Для обеспечения конкурентоспособности сложных технических систем приходится искать компромисс между исходными затратами на производство, его модернизацию и использования новых идей и полученным качеством конечного продукта. Это в первую очередь касается управления роботом сборочного процесса. Естественным способом решения этой очень сложной задачи является оценка режима работы робота в сборочном процессе с учетом вложений на модернизацию процесса управления.

Управление роботом сборки чаще всего производится с помощью электронного пульта управления. На этом пульте оператор нажимает определенные кнопки управления роботом и тем самым вводит конкретные команды, жестко закрепленные к различным операциям робота сборки. Кроме того оператор может вводить с этого пульта необходимую информацию и данные, опять же жестко закрепленные регламентом программы управляющей системы. Программное управление роботом сборки стандартизировано и зашито в памяти компьютера в приложении к данной конструкции и типу робота. Все команды заранее запрограммированы и имеют четкую иерархию и последовательность использования. Никакие видоизменения в управлении роботом не возможны. Такая ситуация имеет место быть в управлении сборочным процессом в производстве на сегодняшний день. Эта статичность определяет информационное поле общения человека и робота только с помощью числового индикатора, табло, дисплея и телекамеры и не позволяет производить динамическую корректировку оператором слежения на месте в зависимости от сложившейся ситуации. Что бы разорвать этот замкнутый круг, необходимо максимально интеллектуализировать сборочный процесс и работу робота сборки в соответствии с современными тенденциями мирового уровня производства. Достижения науки и техники сегодняшних дней позволяют все чаще использовать устные команды и сообщения оператора. Что позволит роботу отступить на один или несколько шагов назад, без перепрограммирования, но в реальном масштабе времени дополняя определенные команды или уточняя данные. Интеллектуализация промышленного робота и его определенная самостоятельность в принятии решения может в некоторых случаях требовать только подтверждения оператора в выборе стратегии выхода из сложной ситуации.

В зарубежной практике и отечественных разработках, уже созданы домашние модели роботов для выполнения простейших операций по уборке помещений, управлению системой безопасности, функционирования «умного дома» и жизнеобеспечения человека в нем. Что же касается сборочных операций в машиностроении, то они гораздо сложнее и требуют большой затраты времени и кропотливого труда. Операции сборки составляют более 40 % от общей трудоемкости изготовления конечного изделия. Кроме того, требуется обработка огромного количества данных, входной информации, точность расчетов параметров и размеров с учетом заранее определенных числовых диапазонов допусков, погрешностей и безукоризненного исполнения команд.

К оборудованию робототехнических систем предъявляются повышенные требования по качеству выполняемых операций и надежности всего оборудования, робота и средств оснащения к нему. Для достижения наибольшего эффекта в контроле работы робота механосборочных операций применение интеллектуального робота играет главенствующую роль, так как на этапе подгонки, корректировки, доводки, регулировки, настройки и шлифовки определяется совместимость или несовместимость компонентов детали в готовом изделии. В результате происходит отбраковка, что влечет за собой увеличение себестоимости конечного продукта. Это приводит к необоснованным экономическим затратам, потери времени и затраченного труда. Выход из сложившейся ситуации только в полной формализации процесса сборки роботом под непосредственным руководством человека в реальном масштабе времени. Поэтому интеллектуализация промышленных роботов идет рука в руку с речевым интерфейсом (РИ).

На этапе создания и внедрения управляющей системы роботом с РИ и его программного обеспечения (ПО), разработчики могут руководствоваться лишь формальной качественной оценкой эффективности системы. Это время работы робота на определенных операциях сборки в процессе эксплуатации, управления, реакции системы и скорости принятия решения оператором слежения. Также в оценку режимов работы робота включается время получения результата выполнения поставленной задачи или получения отказа от выполнения команды с объяснением причин отказа. По всему жизненному циклу производимого изделия составляется полная циклограмма производственного процесса.

Анализ работы робота проводится по наличию следующих условий выполнения операций:

- идеальное – отсутствие, каких-либо простоев в работе робота сборки;
- предпочтительное – отсутствие простоя управляющей системы и затруднений у оператора;

- негативное – простои робота и управляющей системы.

В последнем случае выясняются причины простоя, эти причины устраняются, а циклограмма изготовления детали корректируется. Технология сборки начинается с разработки схемы сборочного процесса, сборочной единицы, маршрутной технологии сборки и последовательности операционной технологии с полным нормированием всех переходов операций сборки и допусков. В результате технологической подготовки сборочного процесса оформляется структурная схема сборки, маршруты, режимы, операционные процессы обработки и сборки объекта. Данные по нормированию с учетом всех видов выполняемых операций по сборке готового продукта вносятся в циклограмму производственного процесса. При этом определяются сборочные единицы 1 и 2 порядка и их послесборочная обработка. Далее определяются сборочные единицы 3 и 4 порядка и методы их обработки. Разрабатывается комплекс необходимого оборудования, обслуживаемый данным роботом. После чего, разрабатываются способы передачи объекта на следующую станцию сборки, выгрузку и режим подачи. Производится выбор соответствующего вспомогательного оборудования, распределение режимов работы, количество операций, соответствующее заданным исходным данным. При проектировании выбирается список операций из библиотеки переходов. Это довольно сложный период сбора и оформления информации для составления программы управления роботом [2].

По этапам можно расписать все операции сборки и компоновки готовой продукции:

- получение исходных данных по ТЗ;
- разработка структурной схемы организации работы;
- получение технологических данных;
- выбор компоновки и проектирования;
- планировка последовательности операции;
- разработка циклограммы;
- разработка программы управления роботом во всех операциях и переходах [3].

Для оценки показателей процесса обработки детали и ее сборки используются различные методы вычислительной математики и математической статистики.

Основным показателем при разработке циклограммы является оценка полного времени обслуживания одного объекта сборки роботом-манипулятором. Время работы робота должно быть меньше или равно вспомогательному времени технологической операции обработки сборочной единицы.

Общее время обслуживания роботом сборки одной сборочной единицы с использованием искусственного интеллекта робота составляет:

$$T_{об} = T_m + T_{тр} + T_f + T_{пр} + T_d, \quad (1)$$

где T_m – машинное время обработки детали роботом;

$T_{тр}$ – время обслуживания роботом рабочего места и транспортировка детали на спутник для последующей обработки;

T_f – время фиксации манипулятора робота в заданном положении на спутнике (обычно $T_f \sim 0.1$ мин.);

$T_{пр}$ – время простоя робота по техническим причинам или останов на неопределенное время по различным причинам;

T_d – диалог оператора с роботом.

Время обслуживания одного объекта сборки роботом состоит из следующих трех этапов обработки без учёта возможных простоев:

$$T_n = (t_z + t_c + t_{вв} + t_{рз} + t_{вз}) + (t_{врз} + t_{зп} + t_{вз} + t_{пт} + t_{рт} + t_{об}) + (t_{рс} + t_{зс}), \quad (2)$$

где, при загрузке детали это время составляет первый этап:

t_z – время захвата детали на транспортере;

t_c – время переноса детали на спутник;

$t_{вв}$ – ввод детали в рабочую зону;

$t_{рз}$ – режим захвата детали;

$t_{вз}$ – выход захвата из рабочей зоны.

второй этап – машинное время обработки:

$t_{врз}$ – ввод детали в рабочую зону;

$t_{зп}$ – захват детали в приспособлении;

$t_{вз}$ – выход захвата с деталью из рабочей зоны;

$t_{пт}$ – перенос детали к отводному транспортеру;

$t_{рт}$ – разжим детали на транспортере;

$t_{об}$ – непосредственно обработка детали в рабочей зоне;

третий этап – общее время функциональных простоев для фиксации детали:

$t_{рс}$ – раскрепление детали на спутнике;

$t_{зс}$ – закрепление детали на спутнике.

Кроме этого, могут быть сбои в работе самого робота и нефункциональные простои по различным причинам, которые существенно увеличивают время обработки одной детали:

$$T_{пр} = t_c + t_{пр} \quad (3)$$

где t_c – время сбоя в работе робота по независимым от него причинам;

$t_{пр}$ – простой робота из-за внутренних причин (сбои в работе робота, неполадки управляющей системы робота или технический останов).

Простои могут быть из-за поломки агрегата, робота, отсутствия питания, нужной заготовки, несоответствия размеров стыкуемых частей или брак детали, ее составляющих и т.д.

При вводе в процесс работы робота сборки РИ, происходит увеличение общего времени обслуживания одного объекта обработки на диалог оператора слежения за производственным процессом с искусственным интеллектом

работа сборки. Но при этом уменьшается расход материала и заготовок деталей и отчуждения в брак готового продукта и его составляющих. Кроме того, уменьшается риск долговременного простоя системы управления работа из-за несогласованности деталей и их составляющих по различным причинам. Время, затраченное на весь диалог, можно определить по следующей формуле:

$$T_d = t_1 + \sum_{k=1}^n K_j (t_2 + t_3 + \dots + t_j), \quad (4)$$

где n – число шагов диалога и K_j – число повторений отдельного шага диалога.

Формула (4) позволяет оценить время, потраченное на уточнение одного шага и количество одинаковых шагов внутри одного диалогового решения. При этом происходит незначительное увеличение общего времени обслуживания одного объекта обработки на диалог оператора слежения за производственным процессом с искусственным интеллектом робота сборки. Эта формула уточняет формулу (1) и позволяет учесть повторение этапов диалога внутри каждого шага вклада каждого параметра в общее время диалога T_d . По сути, это не столько оценка каждого шага диалога, а определение одинаковых шагов внутри самого шага, т.к. они являются подтверждением или опровержением сообщения системы управления об ошибке в расчетах или самом процессе сборки.

Кроме того, эффективность работы робота определяется по обобщенному критерию:

$$F_{np} = \left[\sum_{i=1}^n \frac{T_{i_{np}}}{t_0} \right] \rightarrow \min \quad (5)$$

где T_{np} - время простоя робототехнической системы,

t_0 – время на обработку одной детали,

n - число простоев в процессе производства одной сборочной единицы.

Для того чтобы получить оценку среднего времени выполнения отдельного шага, рассмотрим примерный алгоритм взаимодействия робототехнической системы и оператора слежения. В этом случае диалог человека с роботом имеет свою специфику. Общий алгоритм диалогового интерфейса состоит из следующих этапов [1]:

- поступление заявки на диалог;
- идентификация оператора слежения за работой робототехнического комплекса сборки;
- формирование и загрузка словаря распознавания слов и приглашение к диалогу;
- сообщение оператору о неполадках или изменении режима работы робота – манипулятора сборки;
- ожидание системой сообщения или команды оператора;
- распознавание команды или заданного вопроса оператора;
- формирование списка распознанных слов;
- анализ списка распознанных слов и их параметров;
- уточнение полученной фразы у оператора слежения и принятие решения о правильности распознавания команды;
- обработка полученных данных на текущем шаге диалога и запись полученных данных и команды оператора;
- переход к системе управления роботом;
- окончание диалога.

Если команда оператора слежения за производственным процессом распознана робототехнической системой с РИ, то она произносится декодером в соответствии с распознанным сообщением. В ответ система запрашивает подтверждение или отмены приказа оператора. Далее следует сообщение о том, что команда принята к исполнению или отменена. Только после этого робототехническая система переходит к выполнению следующей операции.

Помимо обработки физических величин и решения возникающих проблем в ходе производственного процесса сборки, происходит анализ функций робота, проверка технического состояния управляющей системы и самого робота, синтез его реакции и возможность выполнения текущих операций, смоделированных оператором или самим роботом в процессе обучения.

На предварительном этапе обработки информации, производится структурная и параметрическая идентификация объекта обработки. При этом учитываются нелинейности, ограничения, допуски, посадки, упругости сборочных элементов обрабатываемой детали и соотношение различных степеней свободы всех подвижных механизмов самого манипулятора. Принимается решение возможности или невозможности выполнения последовательности команды из запрограммированных команд. Управляющая программа обеспечивает ввод исходных данных, их предварительную обработку и формирование задания на сборочный процесс. Формируется матрица пересчета координат, при этом используется программа пересчета абсолютных и относительных координат. Осуществляется расчет траекторий движения приводов робота, формируются данные для устройства управления роботом. Затем для этих значений вычисляются значения обрабатываемых переменных и соответствующие погрешности. Вырабатывается последовательность действий для решения соответствующей задачи анализа и выполнения всех необходимых процедур. На этом этапе вводятся новые элементы схемы действий и соответствующие процедуры коррекции ранее введенных алгоритмов действий. То есть, производятся уточнение и вносятся изменения в структурную схему действий робота. Командное управление оператора осуществляется исключительно как дополнительный способ управления. Например, в качестве программирования действий робота методом обучения или в аварийных или нештатных ситуациях в сборочном процессе производства. Обычно быстрдействие управляющей программы и системы в целом при этом резко снижается и зависит целиком от знаний оператора и его скорости реакции [7]. Часто, при этом, бывают случаи необходимости консультации специалистов в области экспертных систем, администраторов баз данных (БД) и специалистов в области аппаратных средств компьютера и самого робота.

Робототехническая система является в основном слушателем и исполнителем, т.е. робот должен четко следовать указаниям оператора и поставленной перед ним задачей. Производственный цикл следует по заложенной в программу управления роботом схеме до внепланового останова. В этом случае нормальный цикл прерывается и программа останавливается. Для продолжения работы система управления вырабатывает соответствующее сообщение о причинах останова и в процесс управления включается оператор слежения. Для

помощи ему в системе управления роботом должно быть запрограммировано не только четкое выполнение шагов циклограммы, но и возможность отката на один-два шага назад для прояснения ситуации, а также остановов по техническим причинам по команде оператора. В свою очередь система может предложить подсказку оператору для выхода из сложной ситуации или варианты дальнейших действий, а также список возможных причин останова. Это существенно облегчит работу оператора и системы управления роботом.

Не следует забывать, что все эти действия управляющей системы робота производятся в режиме on-line и постоянной динамики производства, а этот процесс далек от совершенства. Кроме того, не может быть полной изоляции оператора слежения и его микрофона от производственных шумов. В этом случае внешние шумы производят различные наводки и искажения на входной речевой сигнал, которые имеют нестационарный тип и для их ликвидации должны быть предусмотрены фильтрация и выделение голосового сигнала в поступающем потоке входного сигнала.

При вводе в процесс работы робота сборки системы с РИ увеличивается время на подготовительный этап программирования системы управления дополнительными функциями. Но при этом себестоимость готового изделия уменьшается и соответственно при этом уменьшается расход материала и заготовок деталей. А также решается вопрос экономии и отчуждения в брак готовых деталей и его составляющих. Соответственно себестоимость конечного продукта уменьшится, а скорость производительности робота сборочного процесса возрастет. Диалог с оператором внесет ясность в действия робота, его обучение и самообучение в процессе производства и в экстренных случаях. Что дает возможность изменить ход действий робота в режиме on-line.

Экономический эффект от внедрения системы распознавания речи (РР) в робототехнический комплекс зависит от стоимости этой системы на всех этапах проектирования, внедрения и эксплуатации, вложенных средств на создание ПО для конкретной разрабатываемой системы управления, оборудования, средств коммуникации с роботом сборки, передачи речевого сигнала, его приема, расшифровки и синтеза ответного сообщения. Оценка эффективности при этом несет весьма субъективный характер.

Естественно, говорить о практическом применении системы распознавания речи в управлении роботом сборки в современных реалиях возможно только в том случае, если создаваемая система управления роботом будет отвечать требованиям актуальности и эффективности всей системы производственного процесса. В этом случае она будет весьма экономична, окупаема и перспективна. Только в этом случае будут оправданы средства на разработку и внедрение системы программного управления роботом с РИ.

Литература

1. Потапова Р.К. Речевое управление роботом // - М. Изд. «URSS» 2005, 324 с.
2. Рыбина Г.В. Основы построения интеллектуальных систем // - М. изд. «Финансы и статистика» 2010, 430 с.
3. Иванов А.А. Автоматические сборочные системы // - М.Изд. «Форум» 2012, 335 с.
4. Берлинер Э.М., Таратынов О.В. САПР технолога машиностроителя // - М. изд. «Форум» 2015, 335 с.
5. Самаркин А.И., Самаркина Е.И., Дмитриев С.И., Евгеньева Е.А. Автоматизированное проектирование технологических процессов сборки // - М. Журнал «Сборка в машиностроении, приборостроении» 2016 №1, С.19-24
6. Ямников Ф.С. Научные основы технологии машиностроения Часть 1. Тула, Изд. ТулГУ 2014, 400 с.
7. Юревич Е.И. Основы робототехники 3- изд. С.-П., изд. «БХВ-Петербург» 2010, 360 с.
8. Ревонченкова И.Ф. Особенности создания системы распознавания речи в управлении роботом // I - Международная научная конференция INTELLECTUAL MACHINES // -М. МГТУ (МАМИ) 2009, С.95-99
9. Ревонченкова И.Ф. Особенности использования роботов с применением речевого интерфейса при автоматизации механосборочных работ в машиностроении // «CAD/CAM/PDM – 2016» -М. ИГУ РАН 2016, С. 206-210