

НОВЫЙ ПОДХОД В РАСЧЕТЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РОБОТА- МАНИПУЛЯТОРА СБОРОЧНОГО ПРОЦЕССА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕЧЕВОГО ИНТЕРФЕЙСА

И.Ф. Ревонченкова

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65

E-mail: rinna@ipu.ru

Ключевые слова: промышленные роботы, роботы-манипуляторы, дистанционное управление роботом, механосборочный процесс, робототехнические системы, интеллектуальный процесс сборки деталей, речевой интерфейс, экономическая эффективность.

Аннотация: статья посвящена определению эффективности работы робототехнического комплекса сборочного процесса производства деталей и узлов в конечный модуль. Рассматривается вариант управления робота-манипулятора с использованием речевого интерфейса. Производится примерный расчет экономической эффективности по базовому и проектируемому варианту. Базовым является обычный вариант расчета. Проектируемый вариант предполагает использование в управлении речевого интерфейса.

1. Введение

Для обеспечения конкурентоспособности сложных технических систем приходится искать компромисс между исходными затратами на производство, его модернизацию и использования новых идей в производственном процессе и полученным качеством конечного продукта [1-7]. Это в первую очередь касается управления роботом сборочного процесса, так как это очень трудоемкий и сложный процесс. В автоматизированных системах управление роботом-манипулятором является основной частью функционирования всего робототехнического комплекса производственного процесса.

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 исходные данные, опять же определенные регламентом программы управляющей системы. Программное управление роботом сборки стандартизировано и зашито в памяти управляющей системы и программы 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 предусмотрены. Кроме того, эта программа закрыта в специальном шкафу блока управления роботом.

Любое изменение в ходе работ не прописанное в инструкции, отвергается и не принимается управляющей системой. Отступление от прописных действий на шаг или

более назад, требует перепрограммирования всей управляющей программы. Такая ситуация 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 в механосборочном процессе.

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод, что требуется достаточно кардинально изменить сам подход к проблеме управления сборочным процессом. Это значит, что для изменения этой ситуации необходимо максимально интеллектуализировать сборочный процесс и работу робота сборки в соответствии с современными тенденциями мирового уровня производства.

Современные достижения науки и техники позволяют все чаще использовать устные команды и сообщения оператора и изменять процесс производства в зависимости от текущей ситуации. Что позволит роботу отступить на шаг или несколько шагов назад, не перепрограммируя, но дополняя определенные команды и уточняя данные.

В сборочном процессе производства диалог «человек-машина» должен происходить на естественном языке (ЕЯ). Это предполагает использование новых информационных технологий, в том числе и создание уникального речевого интерфейса.

Исследования в данной области показали, что для этого необходимо привлечение не только узких специалистов по технологическому процессу сборки и программированию, но и специалистов в области экспертных систем, лингвистов, а также специалистов в области аппаратных средств коммуникации, компьютера и администраторов баз данных.

В зарубежной практике на уровне бытовых роботов и в презентациях отечественных разработок, созданы домашние модели для выполнения простейших операций по уборке помещений, управлению домашней техникой, управлению системой безопасности, функционирования «умного дома» и жизнеобеспечения человека в нем. В управлении военной техникой давно уже используются системы искусственного интеллекта с речевым интерфейсом для повышения «точности», «дальности», «кучности» и т.п.

Но что касается сборочного процесса в серийном производстве, то интеллектуализация процесса остается по-прежнему за чертой возможного. Основная причина в том, что сборочный процесс довольно сложно классифицировать по командам, трудно идентифицировать составляющие узла сборки и отладить процесс подгонки детали ее составляющих. Что же касается самих сборочных операций в машиностроении, то они действительно очень сложны и требуют большой затраты времени и кропотливого труда, которые 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. Но на самом деле «игра стоит свеч», потому что в выигрыше будет эффективность всего производства. Эта система должна обладать определенной интеллектуальной составляющей для принятия решения в любой критической ситуации и подразумевает помощь оператору в виде системы подсказок и обработка входных данных.

На рис. 1 продемонстрирован весь процесс распознавания речи (РР) в последовательном применении различных методов.

Это довольно сложный процесс анализа произнесенных слов, который может быть произведен с помощью нейросетевых технологий поиска аналогов в списке конкретного словаря с конечным ограниченным числом слов. Причем заметим, что команды оператора слежения представляют собой четко произнесенные отдельные слова, сформулированные в конкретные предложения.

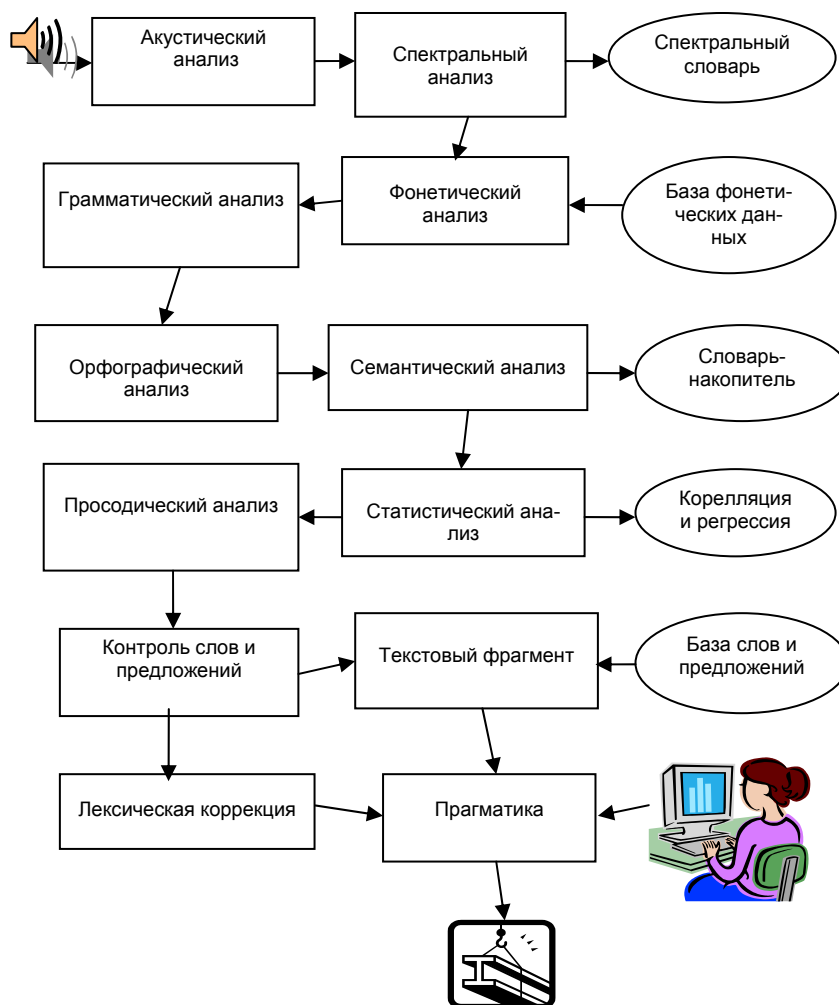


Рис. 1. Пример анализа и поиска в базе данных аналогов произнесенных слов команды оператора для робота-манипулятора.

Интеллектуализация промышленного робота и его определенная самостоятельность в принятии решения может в некоторых случаях требовать только подтверждения в выборе стратегии выхода из сложной ситуации. Кроме прямого синхронного программного управления роботом-манипулятором предлагается использовать речевой интерфейс в режиме on-line.

2. Показатели эффективности робототехнического комплекса

К оборудованию робототехнических систем предъявляются повышенные требования по качеству выполняемых операций и надежности всего оборудования, робота и средств оснащения к нему. Так как на этапе подгонки, корректировки, доводки, регулировки, настройки и шлифовки определяется совместимость или несовместимость компонентов детали в готовом изделии. Часто в результате проверки происходит неоправданная отбраковка составляющих, что влечет за собой увеличение себестоимости конечного продукта. Это приводит к необоснованным экономическим затратам, потери времени и затраченного труда. Выход в сложившейся ситуации только в полной фор-

мализации процесса сборки роботом, его интеллектуализация под непосредственным руководством оператора сборки в реальном масштабе времени.

Годовая экономическая эффективность работы робототехнического комплекса рассчитывается в следующей последовательности:

- 1) Выбираются исходные показатели по зарплате всех задействованных работников (включая программистов, обслуживающего персонала, оператора слежения, дежурных по ремонту производственного оборудования и робота-манипулятора и т.д.) и их значения и сводятся в таблицу исходных данных:
 - средний разряд работ – R_j ;
 - тарифная ставка в час по данному разряду – T_j ;
 - коэффициент переработки – P_j ;
 - дополнительная зарплата за перевыполнение нормы – Z_k ;
 - режим работы в сменах – C_j ;
 - численность персонала для обслуживания – H_j ;
 - номинальный фонд времени работника – F_j .
- 2) Выбираются показатели производственного цикла по базовому и проектируемому вариантам:
 - годовой выпуск изделий – G_i ;
 - норма выпуска изделий в месяц – N_k ;
 - процент от стоимости на текущий ремонт – P_k ;
 - отчисления на коммунальные расходы – O_k ;
 - годовой расход и стоимость электроэнергии – E_i ;
 - годовой фонд времени работы оборудования – F_i .
- 3) Выбираются показатели капиталовложения в производство готового изделия по:
 - стоимости оборудования и инструментов – S_o ;
 - стоимости робототехники – S_r ;
 - стоимости программного обеспечения – $S_{по}$;
 - текущим затратам – Z_t ;
 - норма амортизационных отчислений – N_a (8 %)
- 4) Производится расчет условной годовой экономии средств по базовому и проектируемому варианту:
 - трудоемкость на одно изделие $T_i = F_i \times H_j / G_i$;
 - амортизационные отчисления от стоимости оборудования $A_i = S_o \times 0,08$;
 - расчет основной зарплаты работника $Z_{осн} = T_j \times P_j \times N_j$;
 - расчет дополнительной зарплаты $Z_{доп} = Z_{осн} \times Z_k$.
- 5) Далее производится расчет годовой экономической эффективности в следующем порядке. Выбираются исходные показатели и их значения по базовому и проектируемому вариантам, это капиталовложения:
 - по стоимости оборудования – K ,
 - по текущим затратам – Z_t ,
 - нормативный коэффициент экономической эффективности – N_e (0,33).
- 6) Производится расчет приведенных затрат $Z_{пр} = Z_z + N + S_o$
 Производится расчет показателей:
 - по приведенным затратам – $Z_{пр}$;
 - по снижению трудоемкости – $N_{тр}$;
 - по повышению производительности труда – Π ;
 - по удельным капиталовложениям – K_y ;
 - по снижению численности персонала – H_p .

В результате расчета получим показатели годовой эффективности. Анализируя полученные технико-экономические показатели проектируемой системы делается вывод о целесообразности ее проектирования.

3. Временные показатели эффективности внедрения речевого интерфейса в робототехнический комплекс сборочного процесса

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

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

где T_m – машинное время обработки детали роботом; $T_{тр}$ – время обслуживания роботом рабочего места и транспортировка детали на спутник для последующей обработки; $T_{ф}$ – время фиксации манипулятора робота в заданном положении на спутнике (обычно $T_{ф} \sim 0.1$ 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 учета возможных простоев:

$$T_{п} = (t_3 + t_c + t_{вв} + t_{рз} + t_{вз}) + (t_{врз} + t_{зп} + t_{вз} + t_{пт} + t_{рт} + t_{об}) + (t_{рс} + t_{зс}),$$

где, при загрузке детали это время составляет первый этап: t_3 – 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:

$$T_{пр} = t_c + t_{пр},$$

где t_c – время сбоя в работе робота по независящим 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 робота 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 робота из-за несогласованности деталей и их составляющих по различным причинам. Время, затраченное на весь диалог, можно определить по следующей формуле:

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

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

Эта формула 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:

$$F_{\text{пр}} = \left[\sum_{i=1}^n \frac{T_{i\text{пр}}}{t_0} \right] \rightarrow \min,$$

где $T_{\text{пр}}$ – 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:

- 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 и прописывается на мониторе. 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 следующих 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 нелиней-

ности, 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, программирования действий робота методом обучения или в аварийных или нештатных ситуациях в сборочном процессе производства. Обычно быстрое действие управляющей программы и системы в целом при этом резко снижается и зависит целиком от знаний оператора и его скорости реакции. Часто, при этом, бывают случаи необходимости консультации специалистов в области экспертных систем, администраторов баз данных 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.

4. Заключение

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.

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 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 останов 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 этого, в цехе предприятия не может быть полной изоляции оператора слежения и его микрофона от производственных шумов. Внешние шумы произво-

дят 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.

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 тогда будут оправданы средства на разработку и внедрение системы программного обеспечения для управления роботом сборочного процесса.

Список литературы

1. Берлинер Э.М., Таратынов О.В. САПР технолога машиностроителя. М.: Форум, 2015. 335 с.
2. Бурдо Г.Б., Палюх Б.В., Семенов Н.А. Основы построения интеллектуальных систем управления технологическими процессами в многономенклатурном машиностроительном производстве. Тверь: ТГТУ, 2015. 180 с.
3. Иванов А.А. Автоматические сборочные системы. М.: Форум, 2012. 335 с.
4. Ревонченкова И.Ф. Особенности создания системы распознавания речи в управлении роботом // Международная научная конференция «INTELLECTUAL MACHINES». М.: МГТУ МАМИ, 2009. С. 95-99.
5. Ревонченкова И.Ф. Особенности использования роботов с применением речевого интерфейса при автоматизации механосборочных работ в машиностроении // CAD/CAM/PDM – 2016. М.: ИПУ РАН, 2016. С. 206-210.
6. Рыбина Г.В. Основы построения интеллектуальных систем. М.: Финансы и статистика, 2010. 430 с.
7. Самаркин А.И., Самаркина Е.И., Дмитриев С.И., Евгеньева Е.А. Автоматизированное проектирование технологических процессов сборки // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2016. № 1