

## СЕНСОРНО-ПРОГРАММНЫЕ УСТРОЙСТВА В РОБОТОТЕХНИКЕ

Ю.А. Осокин

Создание оптимальных интерактивных условий человека в производственном процессе возможно в случае оснащения применяемых технических средств, роботов достаточно развитой сенсорной обратной связью.

Как правило, несмотря на то, что робот работает на высоких скоростях (поступательная скорость 1,8 м/с, вращательная скорость – 90 градусов за 0,7 с) процесс организуется с промежуточным пакетированием при загрузке и выгрузке, поскольку за время цикла робот не успевает обслужить штамп в темпе загрузки-выгрузки. Для ускорения цикла как в отечественном производстве, так и за рубежом (например, компании Brush Electrical Machines) используется, как правило, двурукий робот. В серийном производстве это обычно робот – перекладчик, оперирующий с заготовками, имеющими размеры до 1000 мм, которые обрабатываются на механических прессах до 200 т. (рисунок 1).

При этом проблемой является надежное отделение одной заготовки от другой. Отделения прилипших заготовок в стопе выполняются с помощью магнитного поля, отделение от захвата возможно простой пружиной или деформацией заготовки (или детали). Заготовки переносятся на центрирующий стол, где выставляются по упорам в нужное положение. После этого робот перемещает заготовку в штамп. Податливость захватного устройства (вакуумных прихватов) дает возможность на допуск (на размеры паза) в пределах 0,01 мм, а повторяемость параметров движения руки – порядка 0,1 мм. Схват робота оснащен фотозлектрическим датчиком, с помощью которого определяется расстояние до верхней пластины сердечника в пакете.

Перемещение схвата в вертикальной плоскости контролируется индуктивным датчиком. На основе информации этих датчиков и вакуумного переключателя, стратегия

управления имеет своей целью опускать схват с большой скоростью и плавно его останавливать за минимально короткий промежуток времени. Конечная, позиционная остановка манипулятора производится достижением упоров, подтормаживание и промежуточная остановка - формированием пачки взаимно-реверсных команд для электропневмоклапанов привода.

Чтобы избежать одновременной загрузки в штамп двух деталей, наряду с магнитным взвешиванием и изгибной деформации используются два индуктивных датчика, между которыми перемещается пластина.

Бесконтактные методы измерения толщины менее чувствительны к отклонениям формы поверхности пластины, чем распространенные контактные датчики.

Правильность положения пластины в штампе выполняется комплектом датчиков (например, четырьмя или шестью аналоговыми датчиками), установленными на загрузочном схвате.

С помощью микроконтроллеров (ранее - микро-ЭВМ) контролируются локальные отклонения траектории движения, в частности, при выводе «руки» из пресса.

Опыт разработки данных устройств показывает, что наиболее надежным и эксплуатационно приемлимым является простой алгоритм распознавания типового контура, изображения для разбраковки изделий и определения износа инструмента с помощью датчиков.

Для контроля перекрытия во времени движения ползуна пресса и руки робота, и предотвращения их столкновения применяются индуктивные или фотозлектрические инкрементные датчики и счетчики, концевые переключатели, двухканальные оптические дисковые дешифраторы, надежно связанные с приводами пресса и манипулятора.

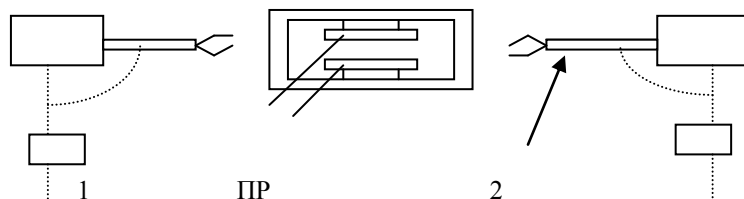


Рисунок 1 – Робототехнический комплекс. 1 и 2 - автоматические манипуляторы; ПП - прессформы

В ряде зарубежных вариантов в системе управления используется до двух контроллеров (микро-ЭВМ): для обеспечения мультипрограммного режима, и контроля аварийной ситуации (и выхода системы в этом случае).

Программирование в мультипрограммном режиме задает синхронизм движения роботов и периферийного оборудования, их блокировку. Программы включают в себя режимные команды, наборы условий и блокировок.

Наиболее прост и получил хорошее развитие пневматический привод с гидравлическими демпферами, хотя он груб для получения точных перемещений и создает много шума. В ряде случаев, при сложных формах деталей применение вакуумного разряжения в схвате с помощью трубы Вентури на сильфонных прихватах, как способ вакуумирования, дает определенные преимущества перед системами с централизованным вакуумным насосом (возможностью оптимального расположения контрольных точек в схвате).

Остается проблемой обеспечение оптимальных динамических характеристик. Самым слабым по надежности звеном остается механическая часть манипулятора. Модульный принцип дает возможность собрать различное число кинематических звеньев, но не обеспечивает оптимальной функциональной структуры механизма в целом. Как правило, сложная механическая конструкция быстро выходит из строя даже при средних скоростях (до 1,5 м/с и ускорениях 1,5 g). Только облегчение и упрочнение конструкции может увеличивать надежность. При этом, консольные и другие звенья, не обладающие достаточной жесткостью при больших скоростях испытывают значительные деформации, работают в режиме вибрации и для поддержания надежности требует ограничения скоростей звеньев. Затухание вращательных вибраций можно достичь плавным расцеплением с приводом, демпфированием, упругим упором.

Считается актуальным разработка демпфирующей системы с параметрами, выбранными на основе анализа динамических характеристик исполнительного механизма.

Описанный набор датчиков в некоторых случаях оказывается недостаточным. Считается полезным применение ультразвуковых датчиков и простого программного обеспечения для обработки информации микропроцессорами.

Критерием эффективности алгоритма вычислительного устройства (ВУ) системы

управления роботом является максимум показателя:

$$A_{\text{эв}} = \frac{I}{L} \quad (1)$$

$I$  - количество информации, выдаваемое за один такт;

$L$  - полная длительность задачи в двоичных единицах.

Затраты на операции по решению задачи вычислительным устройством и степень использования ёмкости памяти ВУ практически можно определить:

$$A_{\text{эв}} = \frac{I}{S \log_2 M_0}, \quad (2)$$

где  $S$  – число операций ВУ за один такт продолжительностью  $t = S/r$ ,  $r$  – скорость элементарной операции;  $M_0$  – общее число всех возможных выходов, состояний устройства за одну операцию.

Программирование вычислительных операций для микроконтроллеров, работающих по обычной схеме, сопровождается использованием значительного числа промежуточных операций, что приводит к увеличению значения  $S$ .

Так, если имеется два числа с разрядностью  $N$ , то средняя длительность операции в этом случае при суммировании с учетом возможного множества значений сумм  $M_2 = 2^{2N}$  будет составлять:

$$L = \log_2 M_2 = 2N.$$

Однако, что повторяющиеся значения не несут полезной информации, а большое число повторяющихся значений сумм к тому же занимает значительные вычислительные мощности. Количество информации, доставляемое за одну операцию составляет:

$$I = \log_2 M = \log_2 (2^N - 1).$$

При этом, эффективность вычислений при большой разрядности числа  $N$  для сумм двух чисел составляет около 50 процентов:

$$A = (N+1)/2N.$$

При суммировании  $Q$  чисел полная длительность задачи в двоичных единицах:

$$L = \log_2 M_0 = QN.$$

Количество информации с учетом повторяющихся сумм [1]:

$$I = \log_2 (Q(2^N - 1) + 1). \quad (3)$$

График зависимости эффективности вычислительного устройства в зависимости от числа операций и разрядности чисел приведен на рисунке 2.

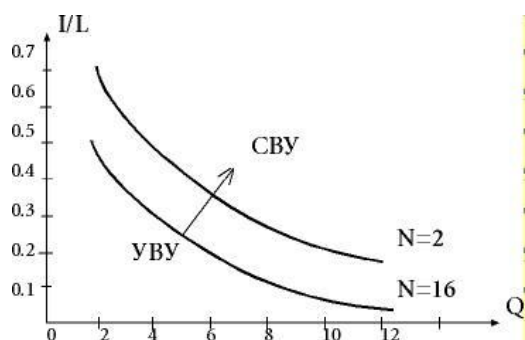


Рисунок 2 – График зависимости эффективности вычислительного устройства в зависимости от числа операций и разрядности чисел

Например, если длительность сложения двух чисел  $t_i = 1$  мкс, длительность операций запись/чтения пренебрежительно мала, то эффективность применения специального вычислительного устройства (СВУ), используемого в сенсорно-программных устройствах для операций сложения десяти восьми разрядных чисел можно оценить следующим образом. В обычном сумматоре для получения всех сумм  $Q$  за фиксированный отрезок времени  $t_i$  необходимо иметь среднюю скорость вычислений:

$$L^1 = QN / (Qt_i) = 8/10^{-6}, \text{ дв. ед. /с.}$$

Если составить алгоритм так, чтобы один раз найденные суммы в последующем не вычислялись, а читались из памяти, то средняя скорость вычислений определится:

$$L_c = \frac{(\log_2(Q(2^N - 1) + 1))}{Q \cdot t_i} = \frac{(\log_2(10(2^8 - 1) + 1))}{10 \cdot 10^{-6}} = 1,13 \cdot 10^6.$$

Таким образом, алгоритмическая эффективность универсального устройства в сравнении с специализированным вычислительным устройством:

$$L_c / L^1 = 0,14.$$

Данный анализ показывает, что при многих достоинствах общедоступных унифицированных вычислительных устройств их недостатком является то, что при решении сложных вычислений даже при использовании оптимальных алгоритмов, не обеспечивается достижение максимальной скорости вычислений.

Радикальное решение проблемы повышения скоростной алгоритмической эффективности заключается в проектировании спе-

циальных вычислительных устройств, в частности, в виде специальных автоматов с жёсткой логикой, обеспеченных памятью параметров и решений, не требующих трудоемких вычислительных операций. Вариантом такого устройства, в котором реализован скоростной алгоритм, является сенсорно-программное устройство СПУ-3К [2].

Сигналы с датчиков исполнительных устройств автоматического манипулятора представляют собой высокий уровень напряжения, передаваемый по соответствующей сигнальной линии.

Блок формирования входных сигналов формирует четыре канала, каждый из которых несет информацию о том, в каком состоянии находится автоматический манипулятор. Соответствие сформированных сигналов состоянию автоматического манипулятора приведено в таблице 1.

Комбинация этих сигналов подается на вход дешифратора.

Таблица 1

Состояния автоматического манипулятора		Сигнал
Ход рук, X	Руки вытянуты	1
	Руки втянуты	0
Поворот, П	Поворот вправо	1
	Поворот влево	0
Захват, З	Есть захват	1
	Нет захвата	0
Опускание, О	Руки вниз	1
	Руки вверх	0

Дешифратор в зависимости от имеющейся на его входах комбинации выдает сигнал на одном из своих выходов, который устанавливает соответствующий триггер в нужное состояние. Сигнал на выходе каждого триггера является управляющим для соответствующего ему электропневмоклапана. Этот сигнал усиливается блоком усиления до 24 В, что является необходимым для приведения электропневмоклапана в действие.

После того, как сработал датчик, свидетельствующий о выполнении операции, комбинация на входе дешифратора меняется. Сигнал с выхода дешифратора, соответствующего предыдущей комбинации снимается, и подается на вывод, определяемый текущей комбинацией, устанавливая нужный сигнал на соответствующем триггере. Триггер, давший команду на выполнение предыдущей операции, переходит в режим хранения до требуемого по программе состояния системы управления в целом.

По сигналу “Пуск” выполняется цикл, приведенный в таблице 2.

Таблица 2

Типовая последовательность операций автоматического манипулятора	
1.Ход рук вперед.	7.Ход рук вперед.
2.Опускание.	8.Опускание.
3.Захват.	9.Расхват.
4.Подъем.	10.Подъем.
5.Ход рук назад.	11.Ход рук назад.
6.Поворот вправо.	12.Поворот влево.

Входные и выходные комбинации сигналов системы представлены в таблице 3.

Таблица 3

Входные сигналы				Следующая операция	Выходные сигналы системы управления			
О	З	П	Х		О	З	П	Х
0	0	0	0	ХРВ	0	0	0	1
0	0	0	1	Опускание	1	0	0	1
1	0	0	1	Захват	1	1	0	1
1	1	0	1	Подъем	0	1	0	1
0	1	0	1	ХРН	0	1	0	0
0	1	0	0	Поворот вправо	0	1	1	0
0	1	1	0	ХРВ	0	1	1	1
0	1	1	1	Опускание	1	1	1	1
1	1	1	1	Расхват	1	0	1	1
1	0	1	1	Подъем	0	0	1	1
0	0	1	1	ХРН	0	0	1	0
0	0	1	0	Поворот влево	0	0	0	0

Данные кодовые преобразования достаточно просто реализуются применением отечественной элементной базы с использованием интегральных микросхем.

Применение сенсорно-программных устройств с оптимальным по быстродействию алгоритмом увеличивает быстродействие устройства в целом в 2-10 раз. Компактность устройства в сравнении с унифицированными вариантами улучшилась в 1000 и более раз [2].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солодов А.В. Теория информации и ее применение к задачам автоматического управления и контроля. М.: Наука, 1967, - 432 с.
2. Осокин Ю.А. Комбинаторный метод в системах программного управления. В сб. Координатно-чувствительные фотоприемники и оптико-электронные устройства на их основе.- Барнаул: АПИ, 1987, ч.2. - С.104-105.

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова*