

УДК 62-50+007.52

**Ю.П. КОНДРАТЕНКО, А.С. ШИШКИН, МАХМУД МОХАММАД
САЛЕМ АЛЬ-СУОД**

Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Украина

HDL МОДЕЛЬ ЦИФРОВОГО КОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ САМОНАСТРАИВАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АДАПТИВНОГО РОБОТА

Представлена структура и HDL-модель устройства для адаптации робота к априорно неизвестному весу захватываемых объектов. Проводится анализ влияния технических характеристик функциональных блоков устройства на уровень гарантийности и надежности элементов адаптивных роботов в процессе выполнения технологических операций. Приведены VHDL-модели и результаты моделирования в среде Active-HDL, подтверждающие работоспособность и эффективность отдельных функциональных блоков и синтезированного контроллера в целом.

программируемые логические матрицы, HDL-модель, управление, роботы, надежность

Введение

Адаптивные роботы широко используются практически во всех сферах народного хозяйства. К современным роботам предъявляют высокие требования по функциональности, быстродействию, адаптивным способностям, возможности работать в условиях повышенной влажности, загазованности и других агрессивных средах. Роботы должны осуществлять не только вспомогательные операции по транспортировке объектов между обрабатывающим технологическим оборудованием, но и уметь адаптироваться к изменениям среды функционирования и параметров объектов манипулирования. При разработке таких роботов особое внимание уделяется самонастраивающимся системам управления, позволяющим роботам адаптироваться к весу захватываемых объектов (деталей), так как от их технических характеристик, отказоустойчивости и надежности во многом зависит гарантийность адаптивных роботов в целом. Такие устройства позволяют захватному устройству робота (ЗУ) выполнить операцию захватывания с исключением повреждений объектов манипулирования [3 – 5].

При создании самонастраивающихся систем

управления адаптивных роботов возникает ряд проблем: учет временных задержек, необходимых роботу для завершения выполнения последней полученной команды (например, отработка роботом нового значения величины сжимающего усилия ЗУ); необходимость адаптации робота к объектам с различной массой и различной степенью шероховатости поверхности; учет особенностей материалов объектов, характеризующихся разными допустимыми значениями предельно максимальных величин сжимающего усилия и др. Например, при захвате скользкого хрупкого объекта (стеклянная колба и т.п.) необходимо ограничивать величину максимально допустимого усилия сжатия объекта, выбирая одновременно низким начальное значение сжимающего усилия ЗУ для исключения деформации объекта. В то же время подобное ограничение может привести к невозможности захватывания роботом металлического объекта большой массы (без предварительной перенастройки устройства), т.к. для этого необходимо создавать большее сжимающее усилие. Одновременно, существует необходимость перенастройки и величины начального сжимающего усилия. Неправильный выбор данного параметра может привести к деформации объекта на

начальном этапе захватывания (при завышенном значении параметра). Заниженное значение начального сжимающего усилия может привести к невозможности захватывания объекта из-за необходимости совершения большого количества пробных движений для создания сжимающего усилия, достаточного для удержания объекта в ЗУ робота. В этом случае проходное рукой робота в процессе совершения пробных движений расстояние может превысить вертикальный габаритный размер захватываемого объекта. Следовательно, современные устройства для адаптации робота к весу захватываемых объектов должны иметь возможность гибкой настройки таких параметров как величины начального и предельно максимального сжимающих усилий.

В настоящее время большое количество современных систем управления адаптивных роботов строится на базе высоконадежных программируемых логических интегральных матриц типа FPGA (Field Programmable Gate Array) с использованием языков описания оборудования VHDL и Verilog [6, 7]. Использование языков VHDL и Verilog позволяет разработчикам цифровых электронных устройств переместить основное внимание с непосредственного проектирования на верификацию проектов, которая занимает около 70% времени разработки и существенно влияет на качество проектирования [8, 9]. Получаемые в процессе проектирования поведенческие VHDL- или Verilog-модели позволяют исследовать реальную работу цифровых устройств без физической реализации их схемотехнических решений [2, 8, 9, 10].

Данная статья посвящена синтезу структуры и HDL модели представленного в работе [1] цифрового контроллера для самонастраивающейся системы управления адаптивного робота, способного адаптироваться к весу захватываемых объектов. Такой контроллер на основании входных данных формирует соответствующие выходные сигналы, с помощью которых осуществляет управление процессом захватывания объекта манипулирования самона-

страивающимся ЗУ робота. Особенностью представленной ниже реализации (в сравнении с устройством, предложенном в [1]) является возможность гибкого задания параметров начального и максимального значений сжимающего усилия ЗУ робота.

Алгоритм и архитектура

Детальный алгоритм работы контроллера представлен на рис. 1.

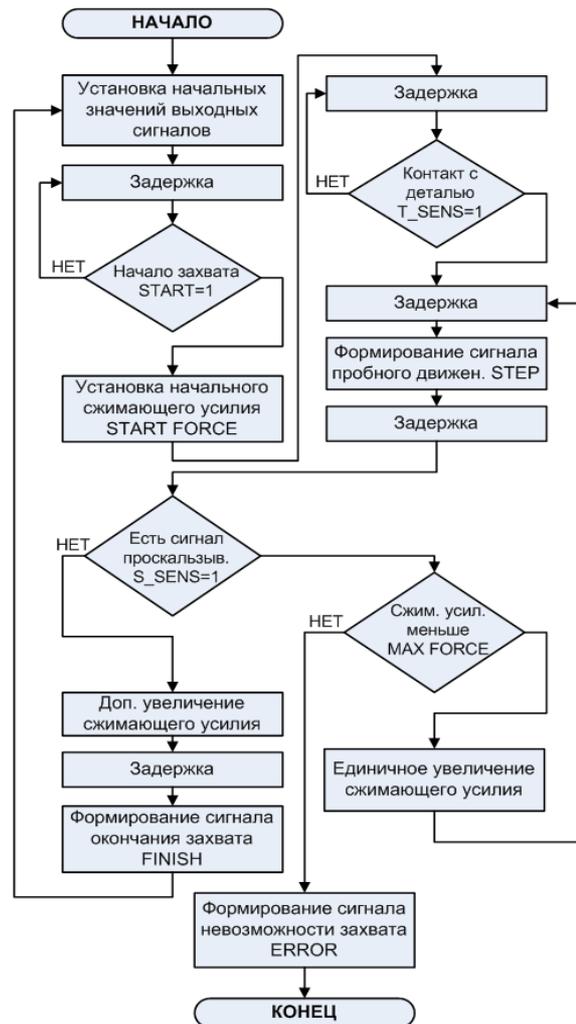


Рис. 1. Алгоритм работы контроллера

Перед выполнением операции захватывания объекта выходы FINISH (сигнал успешного захватывания объекта), STEP (команда на выполнение роботом пробного движения) и ERROR (сигнал о невозможности осуществления захватывания объекта) установлены в неактивное состояние (логический 0). Сигнал на выходе FORCE (формируемое значение сжимающего усилия ЗУ робота) отсутствует. Еди-

нический импульс на входе START сигнализирует о начале выполнения операции захвата объекта, на основании которого контроллер генерирует на выходе FORCE значение F_{MIN} , соответствующее начальному сжимающему усилию START FORCE. При контакте губок ЗУ с объектом на вход T_SENS с тактильного датчика поступает импульс, приводящий к формированию на выходе STEP импульса, который является командой на совершение рукой робота пробного движения. Если при совершении роботом пробного движения объект в захватном устройстве начинает проскальзывать, то на выходе датчика проскальзывания формируется импульс, который поступает на вход S_SENS контроллера и приводит к инкрементированию значения (увеличению на величину ΔF) на выходе FORCE. Затем на выходе STEP формируется команда на совершение роботом следующего пробного движения. Если после очередного пробного движения на вход S_SENS не поступает сигнал с датчика проскальзывания, то контроллер осуществляет дополнительное увеличение значения на выходе FORCE на обеспечивающую гарантированность величину F_{ADD} (для обеспечения надежной фиксации объекта в ЗУ при реализации роботом динамических режимов перемещения объектов с различной скоростью) и формирует сигнал FINISH, сигнализирующий об успешном захвате объекта и возможности выполнения роботом запланированной технологической операции. В процессе самонастройки губками ЗУ робота формируется значение сжимающего усилия F_{RES} , которое определяется формулой

$$F_{RES} = F_{MIN} + \sum_{i=0}^{N-1} \Delta F_i + F_{ADD},$$

где N – количество совершенных пробных движений; i – номер пробного движения. На выходе ERROR формируется активный сигнал, информирующий систему управления робота о невозможности захватывания объекта, в тех случаях, если сфор-

мированное на выходе FORCE значение достигло максимально допустимого MAX_FORCE, но при этом захватным устройством робота не создана величина сжимающего усилия, достаточная для надежного удержания объекта манипулирования.

Для синтеза HDL-модели контроллера разработана (рис. 2) архитектура цифровой части контроллера, описанного в [1].

В состав архитектуры (рис. 2) входят следующие функциональные блоки: а) блок разрешения операций (BEO); б) блок анализа сигнала проскальзывания (BASS); в) блок генерации сигнала пробного движения (BGSS); г) блок генерации величины сжимающего усилия (BGVF); д) блок генерации сигнала успешного захватывания объекта (BGSF); е) блок формирования сигнала ошибки (BGSE).

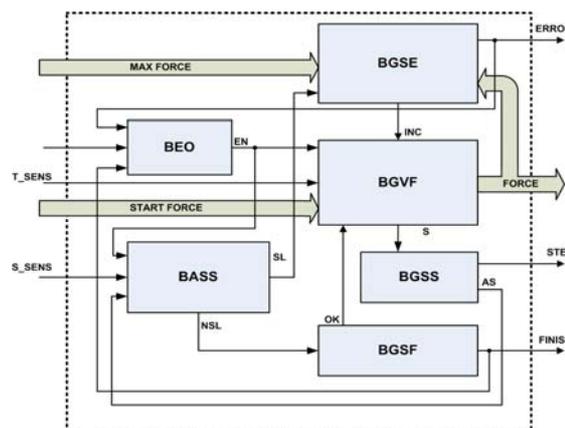


Рис. 2. Архитектура контроллера

Контроллер работает в соответствии с описанным выше алгоритмом, представленным на рис. 1. Рассмотрим более детально внутренние сигналы контроллера. Сигнал EN на выходе BEO разрешает выполнение операций блокам BASS и BGVF и позволяет нивелировать влияние наводок и ложных срабатываний на входах T_SENS и S_SENS до начала выполнения операции захватывания объекта и после его успешной реализации. На основании сигнала S на выходе BGVF блок BGSS генерирует команду на выполнение роботом пробного движения STEP и сигнал AS, по которому BASS анализирует сигнал S_SENS. Если в момент совершения рукой

робота пробного движения BASS регистрирует сигнал проскальзывания на входе S_SENS, то на его выходе SL формируется импульс, поступающий на вход BGSE. При отсутствии сигнала проскальзывания формируется импульс на выходе NSL, сигнал с которого поступает на блок BGSF. Блок BGSE при поступлении импульса на вход SL сравнивает значение текущего сжимающего усилия FORCE с максимальным допустимым значением MAX_FORCE и генерирует импульс на выходе INC (при условии $FORCE < MAX_FORCE$) или переводит выход ERROR блока в активное состояние (при условии $FORCE = MAX_FORCE$). Блок BGSF при поступлении импульса на вход NSL генерирует импульс на выходе OK, который поступает на вход блока BGVF, приводя к дополнительному увеличению значения F на выходе FORCE.

HDL-модель

На базе указанной выше архитектуры (рис. 2) разработана HDL-модель контроллера (рис. 3).

Рассмотрим входящие в состав HDL-модели (рис. 3) функциональные блоки и опишем их назначение, выполняемые функции и результаты моделирования как отдельных блоков, так и всей HDL-модели в целом.

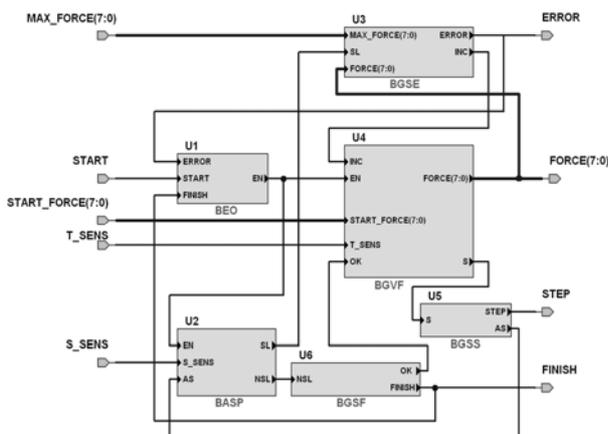


Рис. 3. HDL модель контроллера

Функциональный блок BEO – блок разрешения выполнения операций. Обеспечивает перевод ключевых блоков контроллера из «неактивного» со-

стояния в «активное». На вход блока поступают сигналы START, ERROR и FINISH, на выходе формируется сигнал EN. Блок работает по принципу триггера с блокировкой. При поступлении импульса на вход START на выходе EN формируется активный сигнал (логическая 1). Сигнал FINISH используется для сброса триггера к исходному состоянию. Активный сигнал на входе ERROR (логическая 1) принудительно формирует на выходе EN сигнал низкого уровня (логический 0) независимо от значения сигнала на входе START.

Функциональный блок BASP – блок анализа сигнала проскальзывания. Используется для анализа сигнала проскальзывания после выполнения рукой работа пробного движения. На вход блока BASP поступают сигналы S_SENS, EN и AS, на выходе формируются сигналы SL и NSL. При активном сигнале EN после поступления импульса на вход AS блок BASP генерирует импульс на выходе SL (при наличии проскальзывания) или на выходе NSL (при отсутствии проскальзывания). Результаты моделирования работы блока BASP приведены на рис. 4.

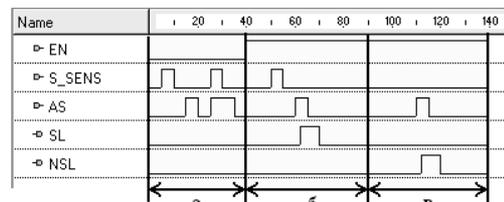


Рис. 4. Временная диаграмма работы блока BASP

На участке «а» временной диаграммы (рис. 4) приведена работа блока BASP при неактивном сигнале EN (блок не реагирует на внешние сигналы). На участке «б» (рис. 4) при активном сигнале EN показано реакцию блока BASP на поступление на вход S_SENS импульса с датчика проскальзывания, а на участке «в» – при отсутствии сигнала проскальзывания на входе S_SENS после совершения роботом пробного движения.

Функциональный блок BGSF – блок генерации сигнала успешного захватывания объекта. При по-

ступлении импульса на вход NSL блок *BGSF* генерирует импульс на выходе ОК. Затем, через интервал времени, достаточный для отработки приводом губок ЗУ нового значения сжимающего усилия, на выходе FINISH формируется импульс, информирующий систему управления робота об успешном захвате объекта. Одновременно импульс поступает на вход блока ВЕО, сбрасывая сигнал EN и возвращая контроллер в первоначальное состояние.

Функциональный блок BGSS – блок генерации сигнала пробного движения. Обеспечивает формирование команды на совершение роботом очередного пробного движения. На вход блока *BGSS* поступает сигнал S, на выходе формируются сигналы STEP и AS. Сигнал STEP повторяет сигнал S с задержкой, необходимой для обработки ЗУ робота нового значения сжимающего усилия, а сигнал AS повторяет сигнал STEP с задержкой, необходимой роботу на выполнение пробного движения.

Функциональный блок BGVF – блок генерации величины сжимающего усилия. Основное назначение блока: формирование значения FORCE величины сжимающего усилия ЗУ робота в процессе выполнении операции захватывания объекта. На вход блока *BGVF* поступают сигналы EN, ОК, INC, T_SENS, START_FORCE, а на выходе формируются сигналы FORCE, S. Результаты моделирования работы блока *BGVF* приведены на рис. 5.

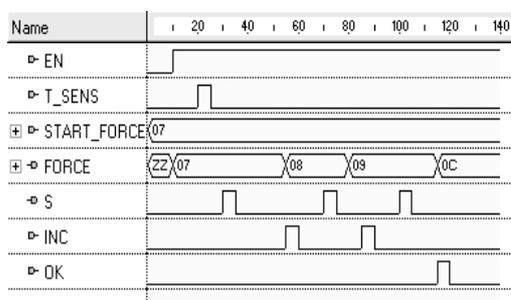


Рис. 5. Временная диаграмма работы блока *BGVF*

Если на входе EN установлен сигнал низкого уровня (логический 0), то выходы FORCE и S неактивны. При появлении активного сигнала на входе EN блок *BGVF* сохраняет во внутренней памяти

значение на входе START_FORCE. При появлении импульса на входе T_SENS на выходе FORCE устанавливается значение START_FORCE. В дальнейшем для каждого импульса на входе INC осуществляется инкрементирование значения выхода FORCE. При появлении импульса на входе ОК осуществляется дополнительное увеличение значения на выходе FORCE.

Функциональный блок BGSE – блок генерации сигнала ошибки. На вход блока *BGSE* поступают сигналы FORCE, MAX_FORCE и SL, а на выходе формируются сигналы INC и ERROR. При поступлении импульса на вход SL блок *BGSE* сравнивает значение на входе FORCE с значением на входе MAX_FORCE и генерирует импульс на выходе INC (при условии $FORCE < MAX_FORCE$) или переводит выход ERROR блока *BGSE* в активное состояние (при условии $FORCE = MAX_FORCE$), информируя систему управления робота о невозможности выполнения операции захвата объекта.

Результаты моделирования работы контроллера в целом приведены на рис. 6.

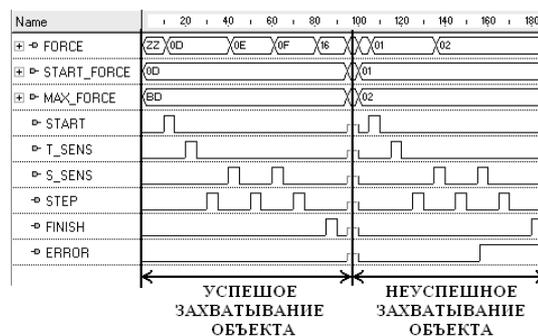


Рис. 6. Моделирование работы контроллера

В левой части временной диаграммы приведен пример корректного захватывания объекта самонастраивающимся захватным устройством робота. В данном примере робот совершает три пробных движения (импульсы на выходе STEP). После первых двух пробных движений контроллер регистрирует сигналы проскальзывания (импульсы на входе S_SENS) и, соответственно, инкрементирует значе-

ние сжимающего усилия ЗУ робота (изменения значений на выходе FORCE). После третьего пробного движения (при отсутствии проскальзывания) на входе S_SENS соответственно не регистрируется импульс с датчика проскальзывания, что приводит к дополнительному увеличению (на величину F_{ADD}) значения на выходе FORCE и к формированию контроллером сигнала FINISH, сообщающего об успешном окончании процесса захвата объекта (в соответствии с алгоритмом, приведенным на рис. 1). В правой части временной диаграммы (рис. 6) приведен вариант, при котором в процессе коррекции сжимающего усилия на выходе FORCE формируется максимальное допустимое значение (равное MAX_FORCE), но при очередном пробном движении контроллер регистрирует сигнал проскальзывания на входе S_SENS. Так как дальнейшее увеличение сжимающего усилия недопустимо, то контроллер прекращает выполнение операций роботом, формируя на выходе ERROR сигнал высокого уровня (логическая 1).

Разработанная архитектура и VHDL-модель контроллера являются основой для аппаратной реализации устройства на базе программируемых логических интегральных матриц типа FPGA (Field Programmable Gate Array). Результаты моделирования разработанной VHDL-модели в вычислительной среде Active-HDL доказывают адекватность синтезированной модели, позволяют моделировать процессы реальной обработки сигналов и исследовать реакцию отдельных элементов и разработанного устройства в целом с учетом факторов временной длительности протекания соответствующих процессов.

Литература

1. Кондратенко Ю.П., Захаров О.М, Миронец Г.В. Устройство для адаптации робота к весу захватываемых деталей // Авт. свид. СССР №888067, 1981.

2. Кондратенко Ю.П., Мохор В.В., Сидоренко С.А. Verilog-HDL для моделирования и синтеза цифровых электронных схем. – Николаев: НГТУ им. Петра Могилы, 2002. – 208 с.

3. Кондратенко Ю.П., Шишкин А.С. Датчики проскальзывания в сенсорных системах военных роботов // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2007. – Вип. №8. – 252 с.

4. Кондратенко Ю.П., Шишкин А.С. Программно-аппаратный комплекс для анализа уровня гарантоспособности элементов адаптивных робототехнических систем // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2006. – №6 (18). – С. 37-43.

5. Кондратенко Ю.П., Шишкин А.С. Синтез регрессионных моделей магнитных систем датчиков проскальзывания // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2007. – № 6 (25) – С. 210-215.

6. Семенец В.В., Хаханова И.В., Хаханов В.И. Проектирование цифровых систем с использованием языка VHDL. – Х.: ХНУРЭ, 2003. – 492 с.

7. Сергиенко А.М., Корнейчук В.И. Микропроцессорные устройства на программируемых логических ИС. – К.: “Корнійчук”, 2005. – 108 с.

8. Сергиенко А.М. VHDL для проектирования вычислительных устройств. – К.: “Корнійчук”, “Диасофт”, 2003. – 203 с.

9. Скобцов Ю.А., Скобцов В.Ю. Логическое моделирование и тестирование цифровых устройств. – Донецк: ИПММ НАН Украины, ДонНТУ, 2005. – 436 с.

10. Hollstein, S.K. Halgamuge Computer-Aided Design of Fuzzy Systems Based on Generic VHDL Specifications. IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEMS, VOL. 4, NO. 4, NOVEMBER 1996.

Поступила в редакцию 15.02.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.А. Скобцов, Донецкий национальный технический университет, Донецк.