

УДК 004.896

## ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ НА ОСНОВЕ АВТОМАТНОГО ПОДХОДА

В.О. Клебан, В.Г. Парфенов, А.А. Шалыто

(Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики)

В настоящей работе описывается подход к созданию системы автоматического управления мобильным роботом на основе автоматного подхода. Автоматное программирование применяется для написания программного обеспечения робота КВАРК-М на всех трех уровнях: на верхнем уровне применяется три автомата, на среднем – пять, а на нижнем – одиннадцать. Такой подход позволяет существенно повысить качество программного обеспечения роботов.

Ключевые слова: автоматное программирование, мобильный робот, автоматическое управление

Для построения надежного программного обеспечения (ПО) целесообразно использовать технологию автоматного программирования [1], в которой, в частности, предлагается строить программу как систему автоматов, взаимодействующих между собой за счет *вложенности и вызываемости*. Использование автоматного подхода при создании ПО обладает рядом достоинств: документируемость [2], возможность верификации [3], упрощение внесения изменений и т.д.

Рассмотрим в качестве примера применения автоматного программирования проектирование модуля свободного движения мобильного робота *КВАРК-М* (рис. 1)[4].

Модуль свободного движения должен осуществлять случайные перемещения мобильного робота, при этом контролируя наличие препятствий на пути робота.



Рис. 1. Мобильный робот *КВАРК-М*

Разделим модуль свободного движения на три составляющих: модуль датчиков, модуль двигателей, расчетный модуль.

Рассмотрим *модуль датчиков*. В качестве сенсоров для определения препятствий выступает пара индикаторов дальности смонтированных на поворотной платформе. Поворот платформы регулируется с некоторой дискретностью.

Задача рассматриваемого модуля – обеспечить робота как можно более точными данными о наличии препятствий на маршруте. При решении этой задачи стало ясно, что

поворотный стол должен вращаться не с постоянной скоростью, а изменять ее в зависимости от наличия препятствий. Так, например, при наличии препятствия справа необходимо усилить контроль правой части обзора. При этом для поворотного стола можно выделить четыре режима (состояния) вращения: влево, вправо, влево точно, вправо точно. Автомат управления этим объектом будет иметь одноименные состояния.

Пусть переменные  $x_1$  и  $x_2$  обозначают соответственно помеху слева или справа, а переменная  $x_3$  будет устанавливаться в ноль, когда платформа повернута вправо, и в единицу, когда она повернута влево. Выделим также событие  $e_0$ , соответствующее достижению платформой крайнего положения. Это воздействие используется как событие, так как это воздействие импульсное. Для указанных состояний, переменных и события построим управляющий автомат  $A$ , граф переходов которого приведен на рис. 2.

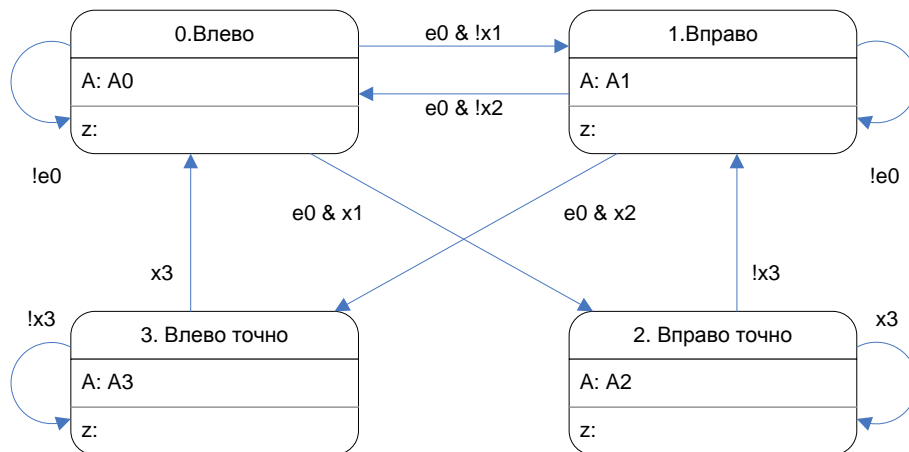


Рис. 2. Граф переходов автомата управления поворотным столом

В  $i$ -ое состояние этого автомата вложим автомат  $A_i$  ( $i = 0, \dots, 3$ ), реализующий действия, необходимые для обеспечения работы объекта управления в этом состоянии. Результат работы модуля датчиков приведен на рис. 3.

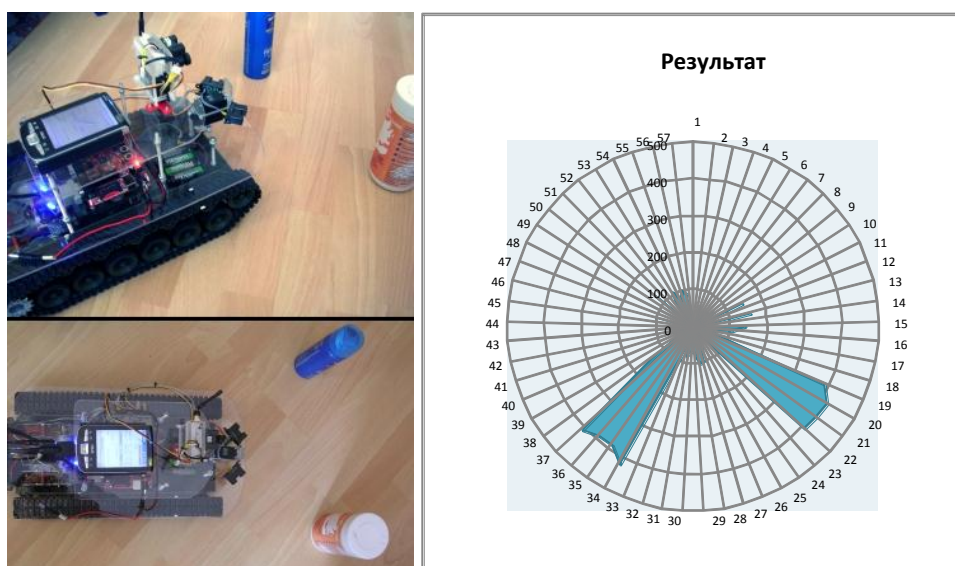


Рис. 3. Результат работы модуля датчиков

Рассмотрим *модуль обеспечения передвижения*. Робот приводится в движение с помощью пары коллекторных двигателей, которые оборудованы импульсными энкоде-

рами. Задачей данного модуля является отслеживание пройденного роботом пути и скорости его передвижения.

Рассмотрим автомат  $A1$ , реализующий функцию отслеживания пройденного пути (рис. 4). Задачей данного автомата является измерения пройденного пути роботом и остановка по завершению задания.

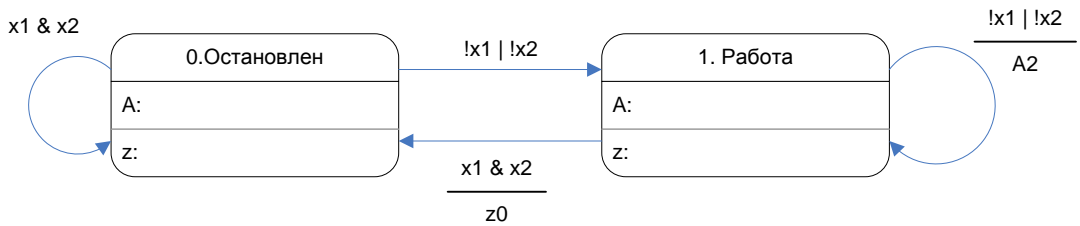


Рис. 4. Автомат  $A1$  контроля пройденного пути

В данном автомате использованы следующие переменные:  $x1$ ,  $x2$  обозначают, достигнут ли датчик пройденного пути для левого и правого борта робота соответственно. Выходное воздействие  $z0$  – останов двигателей. В состоянии «Работа» при переходе по петле ( $!x1 | !x2$ ) происходит вызов автомата  $A2$ .

Построим автомат  $A2$ , регулирующий скорость вращения вала двигателя (рис. 5). Входными воздействиями в данном случае являются:  $x0$  – текущая скорость двигателя,  $x1$  – задатчик необходимой скорости двигателя. Выходными воздействиями  $z0.z3$  являются непрерывные законы управления применимые для каждого из состояний автомата. Переключение законов управления осуществляется автоматом, образуя, так называемый, гибридный автомат (гибридную систему) [5].

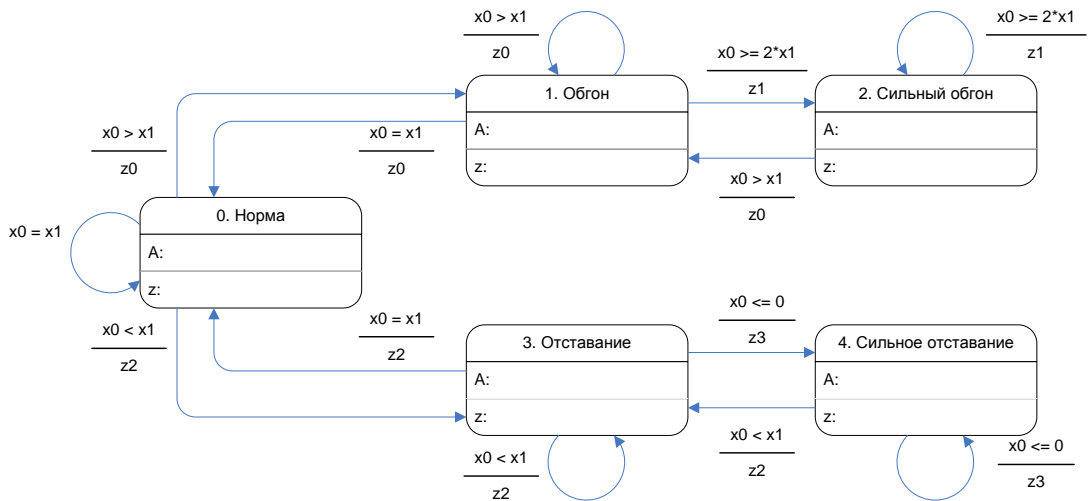


Рис. 5. Автомат стабилизации скорости вращения вала двигателя

Рассмотрим *расчетный модуль*, задачей которого является выдача команд на передвижение мобильного робота. Для обеспечения случайных, но «осмысленных» движений робота построим вероятностный конечный автомат (рис. 6). Данный автомат в случае отсутствия препятствий с вероятностью 0.6 будет выдавать роботу команду на движение вперед, с вероятностями 0.2 влево либо вправо. Входными воздействиями

данного автомата являются:  $x0$  – присутствует препятствие,  $x1$  – операция перемещения завершена.

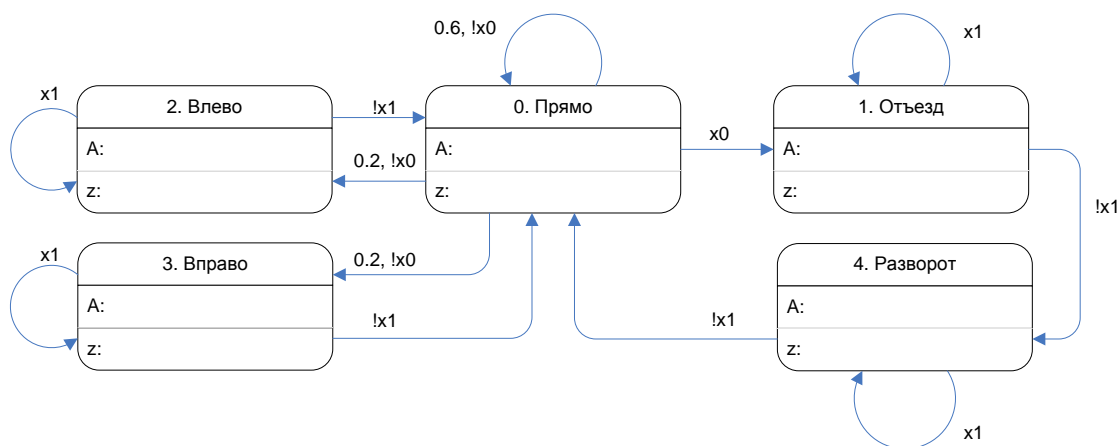


Рис. 6. Вероятностный автомат расчетного модуля

Полученные автоматы объединяются в иерархическую систему взаимодействующих автоматов.

В настоящее время программный комплекс управления мобильным роботом *КВАРК-М* является трехуровневой системой. Верхний (первый) уровень (автоматизированное рабочее место оператора телеуправления) реализован на переносном персональном компьютере с использованием беспроводной связи *Wi-Fi*. Средний (второй) уровень (бортовой компьютер) обеспечивает автономное управление, например, при отключении телеуправления. Он реализован на основе карманного персонального компьютера. Нижний (третий) уровень (периферийные модули), реализованный на контроллерах, например, *AT91SAM7P256*. Эти модули управляют различными узлами робота.

Программирование всех уровней системы выполнялось на основе автоматного подхода. При этом на верхнем уровне применялось три автомата, на среднем – пять, а на нижнем – одиннадцать (два из них – гибридные, а четыре – однотипные). При помощи гибридных автоматов осуществляется контроль и управление скоростью вращения гусениц (используется пять законов непрерывного управления).

Дальнейшее развитие методов автоматного программирования применительно к проектированию ПО мобильных роботов связано с применением автоматизированных сервисов для обеспечения повторного использования модулей ПО, которые также реализуются с помощью конечных автоматов [6].

В заключение работы отметим, что применение автоматов в мобильных роботах, как и в работе [7], позволяет резко повысить качество ПО.

### Литература

1. Шалыто А. А. Switch-технология. Алгоритмизация и программирование задач логического управления. – СПб: Наука, 1998. – Режим доступа: <http://is.ifmo.ru/books/switch/1>
2. Сайт по автоматному программированию. Разделы «Проекты» и «UniMod-проекты». – Режим доступа: <http://is.ifmo.ru>
3. Сайт по автоматному программированию. Раздел «Верификация». – Режим доступа: <http://is.ifmo.ru>

4. Клебан В.О. Мобильный робот КВАРК-М. – Режим доступа: <http://quark-bot.blogspot.com>
5. Сениченков Ю.Б., Колесов Ю.Б. Моделирование систем. Динамические и гибридные системы. – СПб: БХВ-Петербург, 2005.
6. Клебан В.О., Шалыто А.А. Автоматизированные сервисы и мобильные роботы / Настоящий сборник.
7. Brooks R.A. A Robust Layered Control System for a Mobile Robot // IEEE Journal of Robotics and Automation. – 1986. – 2. – P.14–23.