

УДК 621.391.5

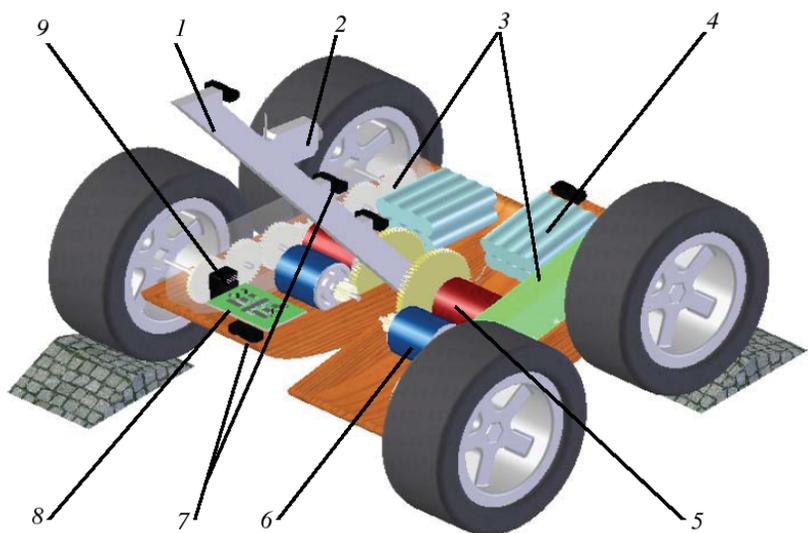
А. Т. Фан, С. А. Воротников

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЛЕГКИМ РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНЫМ РОБОТОМ

*Предложен макет малогабаритного мобильного робота, предназначенного для функционирования в недетерминированной среде в целях визуального мониторинга рабочего пространства. Приведены конструктивные и алгоритмические решения для реализации системы управления роботом, а также технические характеристики разработанного макета робота и результаты экспериментальных исследований.*

В настоящее время возникает много задач, связанных с необходимостью разработки легких мобильных робототехнических средств, имеющих высокую проходимость. Это особенно актуально для задач экстремальной робототехники, например, при перемещении и наблюдении в труднодоступных местах (под днищем автомобиля, на лестничных пролетах), при проведении разведки местности в боевых условиях, при движении по сильно пересеченной местности и т.д. Однако в большинстве существующих разработок не удается удовлетворить противоречивые требования по маневренности и сложности мобильного робота: как правило, высокая проходимость и маневренность достигаются вследствие повышения сложности конструкции и системы управления. Возможным решением этой проблемы является разделение функции собственно движения и функции преодоления препятствий непосредственно в конструкции мобильного робота. Выбор же соответствующей функции должен производиться автоматически — на основе данных, формируемых системой датчиков. Таким образом, при организации движения робота следует предусматривать решение как задач движения и преодоления препятствий, так и задач получения необходимой информации. Особенности управления такой системой рассмотрены ниже.

**Конструкция робота.** На кафедре “Робототехнические системы” МГТУ им. Н.Э. Баумана разработан легкий разведывательный робот (ЛРР), предназначенный для перемещения в ограниченном пространстве и исследования окружающей обстановки с помощью телевизионной камеры и системы дальномеров. Робот должен преодолевать препятствия, размеры которых соизмеримы с его собственными размерами. Для обеспечения высокой проходимости и маневренности транспортный модуль ЛРР выполнен в виде двух независимых колесных



**Рис. 1. Конструкция ЛРР:**

1 — штанга; 2 — телекамера; 3 — блок редукторов; 4 — аккумуляторы; 5 — двигатель привода колес правого борта; 6 — привод штанги; 7 — инфракрасные дальномеры; 8 — платы управления; 9 — импульсный датчик угла

блоков с двумя ведущими колесами на каждом, шарнирно соединенных горизонтальной осью (рис. 1). Каждый из блоков, представляющих собой колесную пару, способен поворачиваться вокруг этой оси относительно другого колесного блока. Для снижения как массы робота, так и сложности управления в каждый блок входит только один двигатель 5 постоянного тока и блок редукторов 3, через который вращение передается на оба колеса (все колеса — ведущие). Для преодоления габаритных препятствий в конструкции ЛРР предусмотрена вертикальная штанга 1, установленная посередине горизонтальной оси на равном расстоянии от каждого колесного блока. Допустимый угол поворота штанги составляет  $\pm 180^\circ$ . Привод 6 вращения штанги содержит два мотор-редуктора постоянного тока, по одному на каждом борту ЛРР. На штанге смонтирована беспроводная телевизионная камера 2 и система инфракрасных дальномеров 7.

Такая конструктивная схема позволяет роботу функционировать в трех основных режимах:

- перемещение по пересеченной местности. В этом режиме препятствия могут располагаться произвольно, но их высота не должна превышать половины диаметра колес (около 70 мм). Перемещение осуществляется с помощью приводов колесных блоков;

- перемещение в ограниченном пространстве. Размер зоны обслуживания в этом режиме составляет  $450 \times 500 \times 150$  мм, что соответствует, например пространству под днищем автомобиля. Штанга устанавливается в горизонтальное положение;

- преодоление габаритных препятствий. Высота препятствия в этом режиме больше радиуса колес, но меньше половины длины ЛРР (около 200 мм). Движение производится с помощью привода поворота штанги.

**Автономное управление роботом.** Управление ЛРР осуществляется с пульта оператора. Однако возможны ситуации, когда ЛРР оказывается вне зоны наблюдения или связь с ним теряется. В этих случаях ЛРР должен автоматически определять типы возникающих перед ним препятствий и выбирать соответствующий способ их преодоления. Для этой цели в состав бортовой системы управления включены пять малогабаритных инфракрасных дальномеров GP2D12F фирмы Sharp, расположенных на штанге и транспортном модуле ЛРР (см. рис. 1). Положение штанги контролируется шестью бесконтактными концевыми датчиками. В алгоритме распознавания типа препятствий предусмотрено определение высоты препятствия с последующим отнесением его к одной из трех категорий — малое, высокое и непреодолимое, а также предусмотрено определение условий работы в ограниченном пространстве. На рис. 2 приведен алгоритм управления ЛРР в зависимости от типов возникающих препятствий.

На рис. 2 обозначено:  $X1$  — состояние, соответствующее малым препятствиям (режим перемещения по пересеченной местности — “Go”);  $X2, X3, X4$  — промежуточные состояния;  $X5$  — состояние, соответствующее режиму перемещения в ограниченном пространстве — “Crawl”;  $X6$  — состояние, соответствующее непреодолимым препятствиям, порождающее команду “Stop”;  $X7$  — состояние, соответствующее габаритным препятствиям (режим переворота — “Turn Over”). Дальномеры могут находиться в двух возможных состояниях: препятствие обнаружено ( $S_i1$  — дальномер  $S_i$  срабатывает) и препятствие не обнаружено ( $S_i0$  — дальномер  $S_i$  не срабатывает).

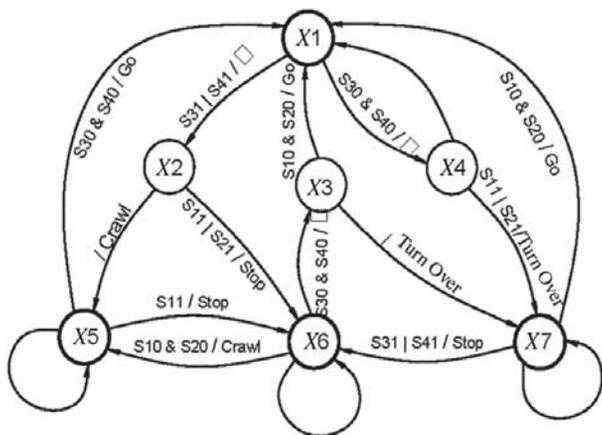


Рис. 2. Алгоритм управления ЛРР

**Структура системы управления роботом.** Структура системы управления ЛРР, представлена на рис. 3. Она состоит из двух функциональных блоков: системы управления транспортным модулем и пульта ручного управления, с помощью которого оператор дистанционно управляет роботом. Система управления транспортным модулем включает в себя бортовую систему управления, приводы колес левого и правого бортов, привод штанги с механизмом переворачивания, телекамеру, систему дальномеров и концевых датчиков.

Бортовая система управления построена на основе микроконтроллера PIC18F1320 и платы драйверов ШИМ, установленных на транспортном модуле. Система управления приводами колес замкнута по



**Рис. 3. Структура системы управления ЛРР**

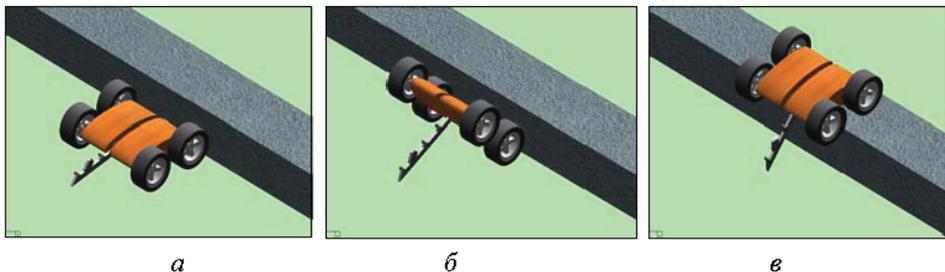


Рис. 4. Принципы преодоления габаритных препятствий

скорости с помощью импульсного оптического датчика Bourns-EN. Положение штанги относительно корпуса транспортного модуля определяется шестью бесконтактными концевыми датчиками (герконами). Подобная структура системы управления позволяет в автоматическом режиме управлять одновременно колесами транспортного модуля и штангой, что необходимо для преодоления габаритных препятствий. Рассмотрим этот режим подробнее (рис. 4). Транспортный модуль в процессе движения упирается в препятствие (рис. 4, а), затем штанга поворачивается относительно колесных блоков до упора в грунт, поднимая тем самым заднюю часть транспортного модуля (рис. 4, б). При вращении колес транспортный модуль переворачивается, наезжая на препятствие, и либо преодолевает его, либо продолжает движение уже по поверхности препятствия (рис. 4, в).

**Исследование системы управления.** Режимы распознавания и преодоления препятствий исследовали с помощью математической модели системы управления ЛПП, разработанной в среде MATLAB, и графической 3D модели робота, построенной в пакетах SolidWorks и CosmosMotion.

Обобщенная блок-схема модели системы управления роботом в среде MATLAB показана на рис. 5. Она включает в себя контроллер, три модуля управления приводами (левого и правого бортов, а также штанги), сенсорный блок и корпус робота. Сенсорный блок содержит пять датчиков, сигналы с которых поступают в контроллер. В контроллере реализован автомат распознавания препятствий, идею которого поясняет рис. 6.

При автоматическом распознавании препятствий используются четыре датчика — три из них расположены на штанге и один спереди, на борту робота (рис. 6, а).

На рис. 6, а цифрами I...IV обозначены характерные препятствия, возникающие при движении ЛПП. Препятствия I соответствуют режиму движения по пересеченной местности, препятствие II — режиму преодоления габаритных препятствий, препятствия III — режиму

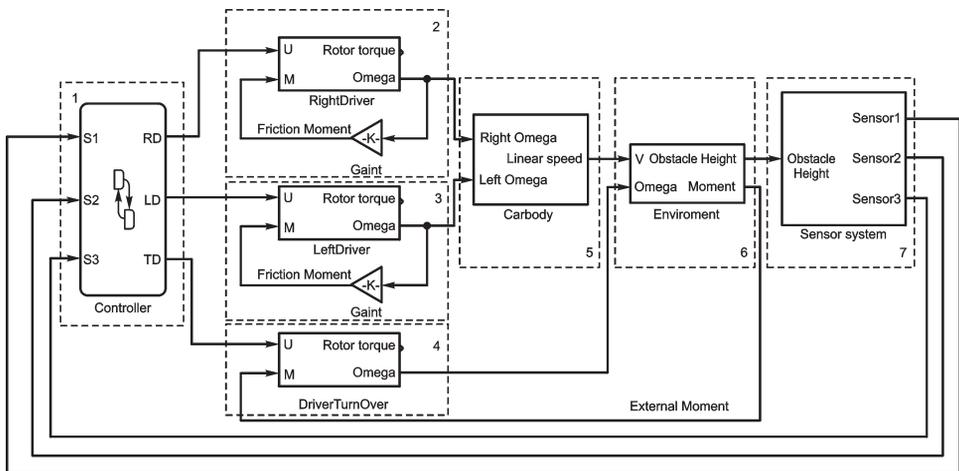
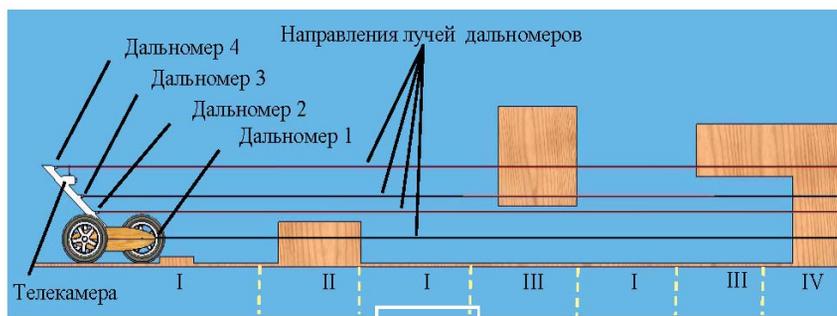
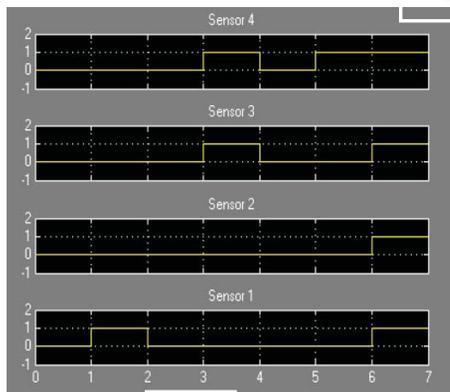


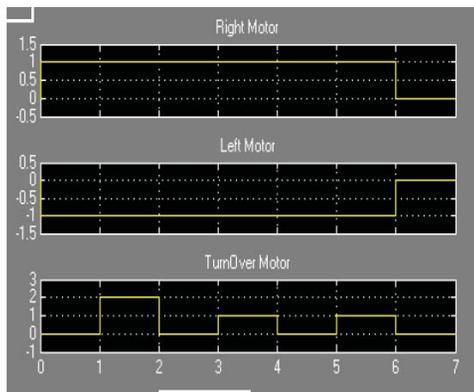
Рис. 5. Блок-схема системы управления ЛРР



а



б



в

Рис. 6. Схема распознавания (а), диаграммы сигналов дальномеров (б) и сигналов управления приводами (в) в режиме автоматического распознавания препятствий

перемещения в ограниченном пространстве. Препятствие IV относится к категории непреодолимых. Каждый дальномер настроен на определенное пороговое значение дальности. Как следует из рис. 6, а, препятствие идентифицируется, например как “препятствие II”, при

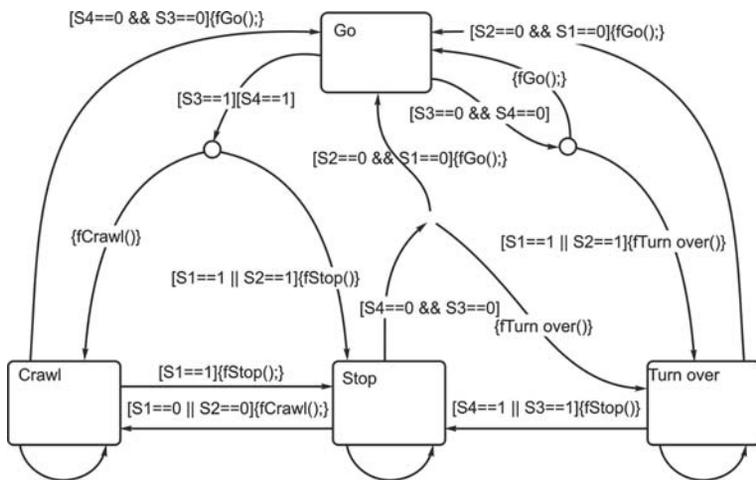


Рис. 7. Автомат распознавания препятствий в среде Matlab

срабатывании дальномера 1, при этом сигналы с дальномеров 2...4 должны отсутствовать. На рис. 6, б... в показаны диаграммы дискретных сигналов, полученных с дальномеров (см. рис. 6, б), и диаграммы сигналов управления приводами левого и правого бортов и штанги (см. рис. 6, в). Рассматриваемый алгоритм распознавания препятствий можно формализовать в виде автомата, приведенного на рис. 7. Здесь использовались те же обозначения состояний, что и на рис. 2.

Описанный выше алгоритм распознавания препятствий использовался при моделировании движения графической модели ЛРР в недетерминированной среде. Моделирование подтвердило работоспособность алгоритма управления ЛРР в автоматическом режиме.

**Экспериментальное исследование.** Для проверки работоспособности предложенной системы управления в реальных условиях был изготовлен макет ЛРР (рис. 8). Размеры транспортного модуля массой 8 кг составляют 400×440×140 мм. Беспроводная телевизионная камера работает в диапазоне частот 2,4 ГГц. В ручном режиме оператор управляет движением робота с пульта ручного управления, контролируя рабочую зону с помощью пультавого монитора. Управляющие сигналы от пульта к транспортному модулю ЛРР передаются на двух частотных диапазонах: 35 МГц — для приводов колесных блоков; 27 МГц — для привода штанги. В автоматическом режиме оператор задает направление движения робота, визуально контролируя процесс движения и преодоления препятствий. Переключает режимы управления оператор также с пульта.

Испытания макета ЛРР показали, что при движении по пересеченной местности робот имеет высокую маневренность, преодолевая препятствия (камни, кирпичи, бордюры) высотой до 70 мм (половина диаметра колеса) со скоростью более 2 м/с.



**Рис. 8. Испытания макета ЛРР**

В режиме преодоления габаритных препятствий робот переходит через барьеры высотой до 210 мм (т.е. более половины длины робота), скорость переворота при этом составляет около 0,5 об/с.

В режиме перемещения в ограниченном пространстве робот легко маневрирует под днищем легкового автомобиля (на рис. 8 показана работа ЛРР под днищем автомобиля Volvo). Отметим, что в этом случае оператор задает только направление движения. Легкий разведывательный робот работает в автоматическом режиме.

**Заключение.** Выполненные исследования позволяют сделать вывод о возможности построения эффективных малогабаритных мобильных роботов, обладающих высокой маневренностью и проходимостью. Немаловажным обстоятельством является также сравнительно низкая стоимость разработки, что позволит широко использовать подобные системы при патрулировании территорий, мониторинге местности и при решении других задач экстремальной робототехники.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воротников С. А., Михайлов Б. Б., Ющенко А. С. Дистанционное управление адаптивными роботами // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2005. – № 12.
2. Стасевич В. П., Воротников С. А. Адаптивная самообучаемая система управления мобильным роботом // Экстремальная робототехника. Материалы XIV науч.-техн. конф. С.-П.: Изд. СПб, ГТУ, 2003.

Статья поступила в редакцию 25.10.2007