

МНОГОПРОЦЕССОРНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Игорь Каляев, Сергей Капустян, Валентин Клименко, Леонид Усачев,
Сергей Стоянов, Олег Луконин

Статья посвящена проблемам создания интеллектуальных мобильных роботов (ИМР), способных автономно функционировать в опасных для жизни человека условиях.

Необходимость создания интеллектуальных мобильных роботов (ИМР), способных автономно функционировать в условиях, опасных для жизни человека, назрела во многих областях науки и техники, например, при проведении космических и подводных исследований, при работе в зоне радиоактивного или химического загрязнения, при создании безэкипажных боевых машин и т. д. Однако до сих пор интеллектуальные роботы не выходят из стен лабораторий. Это связано с большими трудностями как алгоритмического, так и аппаратного характера, возникающими при создании систем управления подобных роботов.

Постановка задачи

С точки зрения алгоритмического обеспечения, на систему управления ИМР возлагается сложный комплекс задач, структура которого показана на рис. 1. В него входят такие задачи, как:

- обработка комплексной сенсорной информации (телевизионной, дальнометрической, тепловизионной и т.

д.) и формирование на ее основе модели видимой зоны среды движения;

- накопление и корректировка базы знаний робота о среде на основе моделей, формируемых с помощью сенсорных устройств;
- планирование оптимального движения робота к цели на основе накопленной в базе знаний информации о среде и принятие решения о текущем движении робота с учетом его динамических свойств;
- формирование управляющих воздействий на исполнительные устройства робота для отработки выбранного движения;
- обработка навигационной информации и определение координат текущего положения робота в среде, а также текущих значений его курса, крена и дифферента;
- определение целевого положения робота и обеспечение безопасности его движения в ближней зоне препятствий.

С точки зрения аппаратной реализации, система управления ИМР должна отвечать двум основным требованиям: с одной стороны, она должна обладать

быстродействием, достаточным для решения возлагаемого на нее комплекса задач движения ИМР в реальном времени, а с другой стороны, должна отвечать типичным требованиям к бортовым системам, то есть быть компактной, надежной и потреблять мало энергии.

Исследования в области разработки и создания систем управления интеллектуальных мобильных роботов ведутся в НИИ многопроцессорных вычислительных систем и Научно-исследовательском центре супер-ЭВМ и нейрокомпьютеров (г. Таганрог) уже более 15 лет. Исследования проводились в двух основных направлениях. Первое направление посвящено разработке и отладке алгоритмического обеспечения систем управления ИМР. В частности, в рамках этих работ совместно с НПП «Квинт» (г. Таганрог) была разработана и создана программная модель системы «ИМР-среда», включающая в себя модель виртуальной среды движения ИМР, модель сенсорных систем, в частности, сканирующего дальномера, модель шасси ИМР, учитывающая его динамические свойства, и собственно модель системы управления ИМР. Путем моде-

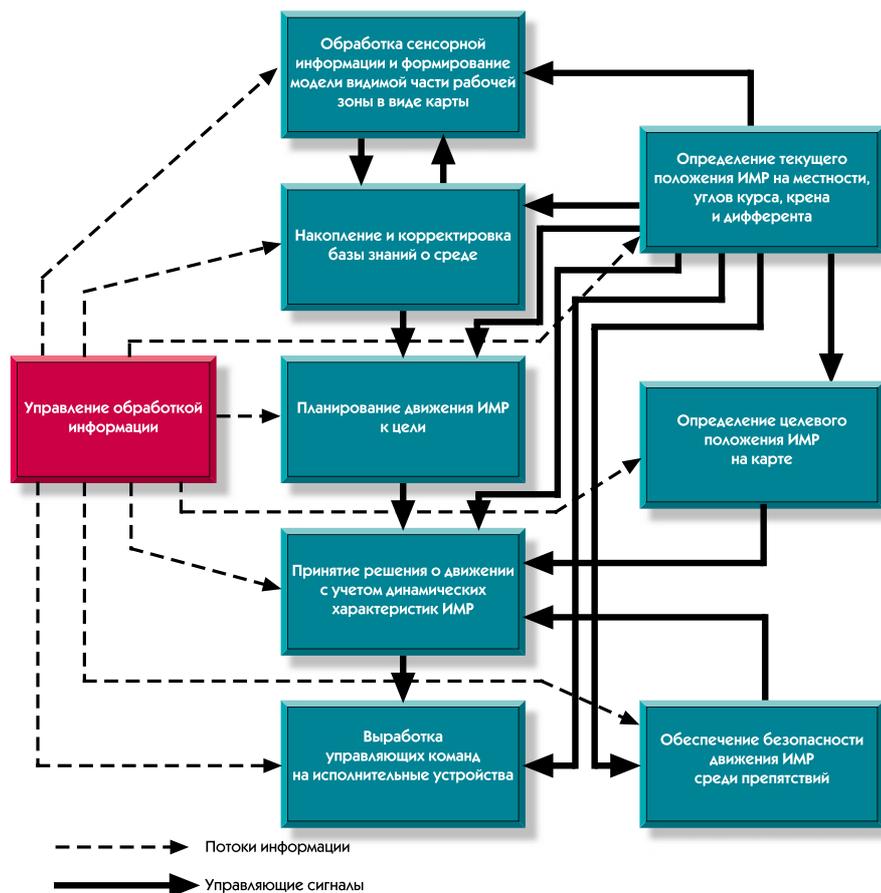


Рис. 1. Структура комплекса задач системы управления ИМР

лирования движения ИМР в виртуальной среде осуществлялась отработка и оптимизация алгоритмов решения как отдельных задач, возлагаемых на систему управления ИМР, так и алгоритмов функционирования системы в целом. В частности, на рис. 2 показана типичная тестовая ситуация в виртуальной среде, отображаемая на экране дисплея в трехмерном графическом изображении. В результате данных исследований были разработаны и апробированы в тестовых ситуациях:

- алгоритмы обработки дальнометрической и телевизионной информации, а также формирования на ее основе интегральной модели среды движения ИМР;
- алгоритмы формирования, накопления и корректировки иерархической базы знаний робота о среде;
- алгоритмы планирования оптимального безопасного движения ИМР к цели и принятия решения о текущем движении с учетом динамических свойств шасси робота, а также их комплексное взаимодействие в рамках единой системы управления ИМР.

Второе направление исследований посвящено проблемам разработки аппаратных средств систем управления ИМР, обеспечивающих возможности

реализации разработанных алгоритмов в реальном времени. Как показали проведенные исследования, возможность решения всего комплекса задач, возлагаемых на систему управления ИМР на базе однопроцессорного вычислительного устройства, очень проблематична. Проведенное моделирование показало, что для удовлетворения требований ре-

ального времени эквивалентная производительность такого устройства должна, по крайней мере, в 50-100 раз превышать производительность процессора Pentium 100, причем эти цифры существенно возрастают при увеличении скорости движения ИМР. С другой стороны, жесткие требования к бортовому оборудованию, такие как малые габариты и высокая надежность, ограничивают возможности использования сверхбыстродействующих суперкомпьютеров для создания систем управления ИМР.

Таким образом, к системе управления ИМР предъявляются следующие противоречивые требования: с одной стороны, она должна обладать высоким быстродействием, обеспечивающим возможность решения задач обработки информации и принятия решения в реальном времени, с другой стороны, она должна отвечать жестким требованиям, предъявляемым к бортовым устройствам. Решение данной проблемы лежит, по-видимому, на пути построения системы управления ИМР в виде многопроцессорной распределенной системы, в которой каждый из процессорных узлов решает определенную часть комплекса задач, возлагаемых на систему.

Практическая реализация

В результате многолетних теоретических и практических исследований был разработан и создан целый ряд образцов многопроцессорных распределенных систем управления ИМР различного назначения. Данные разработки, в частности, проводились совместно с такими организациями, как ВНИИ транспортного машиностроения (г. Санкт-Петер-

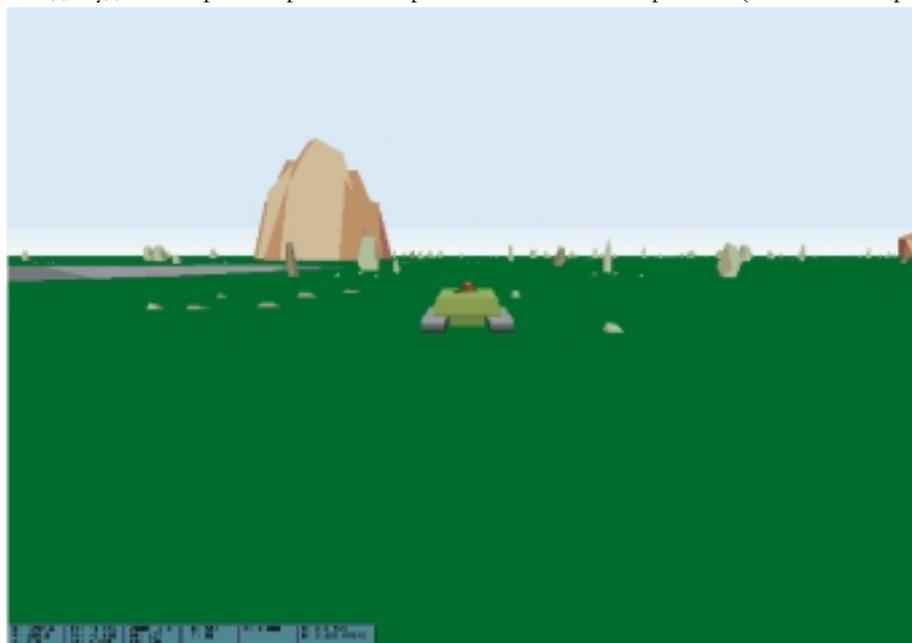


Рис. 2. Типичная тестовая ситуация, отображаемая на экране дисплея

бург), в рамках работ по созданию интеллектуального робота-планетохода, предназначенного для исследования поверхности других планет, в частности, Марса, а также НИИ спецмашиностроения МГТУ им. Н.Э. Баумана в рамках работ по созданию роботов специального назначения.

На рис. 3 показана обобщенная структурная схема многопроцессорной распределенной системы управления ИМП. В ее состав входят четыре основные подсистемы, а именно:

- подсистема восприятия информации,
- подсистема планирования движения,
- навигационная подсистема и
- исполнительная подсистема.

Каждая из этих подсистем представляет собой самостоятельное вычислительное устройство, координация работы которых осуществляется с помощью центрального процессора.

Рассмотрим более подробно один из реализованных вариантов многопроцессорной системы управления ИМП. В качестве базовых были использованы вычислительные блоки, выпускаемые фирмой Advantech. Этот выбор объясняется компактностью и высокой надежностью аппаратных узлов, произво-

димых данной фирмой, что позволило обеспечить компактность и надежность системы управления ИМП в целом.

В качестве центрального процессора в системе используется процессорный модуль на базе процессора 486DX2-66. На него возлагаются функции координации работы отдельных подсистем, а также функции накопления и корректировки базы знаний робота о среде. Функции обработки сенсорной информации (дальнометрической и телевизионной) возлагаются в системе на два процессорных модуля, каждый из которых включает в себя плату сопряжения с соответствующим источником информации (телевизионной камерой или сканирующим лазерным дальномером) и плату обработки на базе сигнального процессора TMS320.

Особенность системы заключается в том, что задача планирования движения ИМП к цели решается в ней с помощью однородной нейронподобной структуры (ОНС), построенной на базе оригинальных СБИС фрагмента ОНС (разработчик – НИИ многопроцессорных вычислительных систем при ТРТУ, г. Таганрог, изготовитель – НИИ точных технологий, г. Зеленоград). Необходимость использования ОНС с параллельным прин-

ципом обработки информации вызвана тем обстоятельством, что процессоры последовательного типа не справляются с решением задачи планирования движения в реальном времени. Так, например, время решения данной задачи на процессоре типа 486DX2-66 составляет до 5 с, в то время как время ее решения при скорости движения ИМП в 15 км/ч должно составлять не более 0,24 с.

Плата ОНС содержит 4096 элементарных нейропроцессоров, объединенных в одно решающее поле и реализованных с помощью 32 СБИС фрагмента ОНС. С помощью ОНС параллельно анализируются всевозможные варианты движения ИМП к цели и выбирается оптимальный, исходя из имеющейся в текущий момент времени в базе знаний информации о среде движения.

Все устройства, входящие в состав системы, связаны с центральным процессором по шине ISA, для чего используется пассивная объединительная плата фирмы Advantech, рассчитанная на 12 посадочных мест. Питание системы осуществляется с помощью блока питания PS-150/DC24, преобразующего бортовое напряжение 24 В в напряжения, необходимые для работы отдельных обрабатывающих узлов.

В целом система работает следующим образом. На основе информации, поступающей в текущий момент времени от сенсорного датчика (сканирующего лазерного дальномера или TV-камеры), соответствующий процессорный модуль строит модель проходимости видимой в текущий момент времени области среды, каждому участку которой ставится в соответствие интегральный признак, определяющий трудность его прохождения для робота. После того как данная модель сформирована, процессорный модуль формирует запрос в центральный процессор, по которому последний переходит на подпрограмму считывания построенной модели. С помощью специального алгоритма центральный процессор «накладывает» модель осмотренного участка на созданную ранее иерархическую модель среды движения ИМП, привязанную к координатам текущего положения ИМП и составляющую его базу знаний о среде.

После этого ЦП переходит к основной программе обработки, суть которой заключается в следующем. Модель среды движения, хранящаяся в базе знаний, отображается в ОНС, где параллельно разыгрываются всевозможные варианты траекторий движения ИМП к цели и выбирается оптимальный, информация о котором передается обратно в ЦП. Последний, на основании хра-

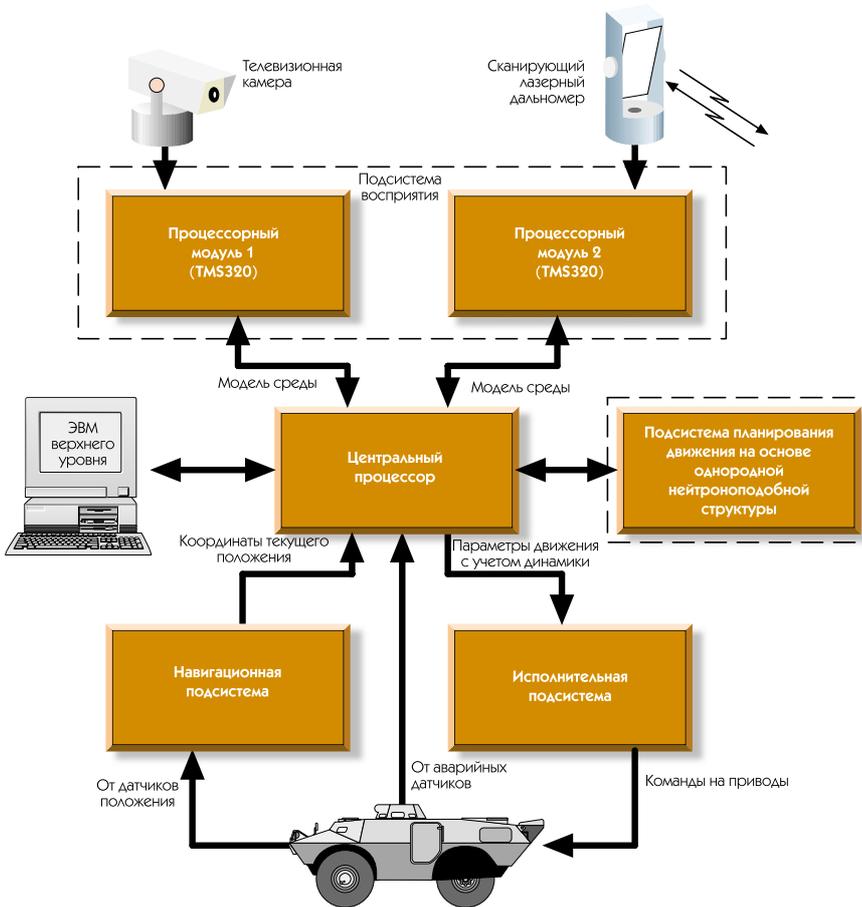


Рис. 3. Обобщенная структурная схема многопроцессорной распределенной системы управления ИМП

нимой динамической модели шасси ИМР, рассчитывает параметры текущего движения ИМР (радиус поворота и скорость) для движения по оптимальной траектории. Эти параметры передаются далее на исполнительные приводы ИМР с помощью специального блока сопряжения с приводами. Выработка управляющих воздействий на приводы осуществляется через каждые 0,2 с, что обеспечивает предельную скорость движения ИМР в 10-15 км/ч.

Разработанные в рамках проведенных исследований многопроцессорные системы управления ИМР прошли успешные испытания в условиях, приближенных к реальным, что подтвердило эффективность заложенных в них принципов. В частности, на рис. 4 показан процесс испытаний прототипа интеллектуального мобильного робота-планетохода, оснащенного подобной системой, на реальном полигоне на Камчатке.

Заключение

В результате проведенных исследований разработаны алгоритмическое обеспечение, теоретические и практические основы построения многопроцессорных систем управления интеллектуальными мобильными роботами, которые могут быть использованы при



Рис. 4. Процесс испытаний прототипа интеллектуального мобильного робота-планетохода на Камчатке

создании ИМР различного назначения, например, научных роботов-исследователей, предназначенных для работы в космосе и под водой; роботов-инспекторов, предназначенных для исследования опасных для человека зон, например, зон радиоактивного или химического загрязнения; роботов-транспортников, предназначенных для транспортировки грузов на производствах;

роботов бытового назначения, в частности, роботов-уборщиков производственных и бытовых помещений и т. п. ●